В. В. МАЙВАЛДОВ
В. Е. КАЗАНСКИЙ
К. В. СПИРИДОНОВ

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА

1940

УДУНТ
(ДІІТ)

В. В. МАЙВАЛДОВ, В. Е. КАЗАНСКИЙ,
В. К. СПИРИДОНОВ

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Утверждено ГУУЗ НКЭП СССР
качестве учебного пособия для
курсов технического минимума

ДИИТ
БИБЛИОТЕКА
Инв. № 10408

НКЭП СССР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1940 ЛЕНИНГРАД

[illegible] 1963

УДУНТ
(ДІІТ)

Напечатано по приказу Народного комиссариата электростанций и электропромышленности СССР № 57[а от 4 марта 1940 г.

Авторы ставили себе целью помочь электромонтерам службы защиты и электролабораторий в их практической работе на электростанциях и в сетях системы НКЭП. Книга содержит описание релейной аппаратуры, изготовляемой союзными заводами, основные схемы защиты, в большинстве своем рекомендуемые руководящими указаниями в системе НКЭП, а также практические способы испытаний как отдельных реле, так и защитных устройств в целом.

Книга может быть полезна также для лиц, не работающих непосредственно по эксплоатации релейной защиты, но с ней соприкасающихся.

Редакторы: инж. *П. И. Устинов* и *А. Д. Смирнов*
Техн. редактор *А. Д. Чаров*
ЭЭ-30-2-2. *Пр. ТКК № 6 от 15/III 1940 г.*

Сдано в производство 25/VI 1939 г.	Подписано к печати 13/XI 1939 г.
Формат бумаги 60×92¹/₁₆	Изд. № 239
Тираж 6 000	Печ. листов 17,5
Учетный № 7718 Заказ № 1831	Учетн.-автор. листов 19,75
Уполн. Главлита № А-20535	Знаков в печ. листе 47 200

Набрано в 4-й типографии ОГИЗ'а РСФСР треста «Полиграфкнига» имени Евгении Соколовой, Ленинград, Проспект Красных Командиров, 29.
Отпечатано с матриц 1-й тип. НКПС. Москва, Б. Переяславская, 46. Зак. 1284.

УДУНТ (ДІІТ)

ВВЕДЕНИЕ

Электричество находит самое широкое распространение во всех областях народного хозяйства и быта, являясь одной из наиболее удобных для практического применения форм энергии.

В. И. Ленин еще задолго до победы Великой Октябрьской революции в России в своих работах писал об электричестве: «Электрическая энергия дешевле паровой силы, она отличается большей делимостью, ее гораздо легче передавать на очень большие расстояния, ход машин при этом правильнее и спокойнее, — она гораздо удобнее...» [1].

В статье «Одна из великих побед техники» В. И. Ленин писал: «Электрификация всех фабрик и железных дорог сделает условия труда более гигиеничными, избавит миллионы рабочих от дыма, пыли и грязи, ускорит превращение грязных отвратительных мастерских в чистые, светлые, достойные человека лаборатории» [2].

Электрификация по Ленину — это новый уклад техники, техники социалистического хозяйства. «Коммунизм — это есть советская власть плюс электрификация всей страны. Только тогда, когда страна будет электрифицирована, когда под промышленность, сельское хозяйство и транспорт будет подведена техническая база современной крупной промышленности, только тогда мы победим окончательно» [3].

Рабочий класс после Октябрьской революции унаследовал от капиталистов отсталое и слабо развитое энергетическое хозяйство.

Мощность всех электростанций дореволюционной России составляла в 1913 г. 1 098 000 *квт*.

Выработка электрической энергии составляла около 1 945 000 000 *квтч*.

Незначительность этих цифр станет ясной, если указать, что к 1938 г. мощность всех электростанций в СССР составляет 8 150 000 *квт*, т. е. возросла по сравнению с 1913 г. в 7,45 раза, а выработка электрической энергии возросла в 18,7 раза. С пят-

---

[1] В. И. Ленин, Сочинения, т. IV, изд. 2-е, стр. 208.
[2] В. И. Ленин, Сочинения, т. XVI, изд. 2-е, стр. 369.
[3] В. И. Ленин, Сочинения, т. XXVI, изд. 2-е, стр. 46—47.

УДУНТ (ДІІТ)

надцатого места, которое занимала царская Россия по выработке электрической энергии, Советский Союз вышел теперь на третье место в мире.

Огромная роль и значение электрификации нашли свое яркое выражение в первом едином хозяйственном плане, составленном советским государством, — в плане Гоэлро, разработанном под руководством Ленина и представляющем собой программу работ по электрификации страны, тесно увязанную с задачей восстановления и технической реконструкции ее народного хозяйства. В этом плане впервые выдвинута и обоснована идея создания единого энергетического хозяйства и идея плановой электрификации.

Великий продолжатель дела Ленина, организатор и вдохновитель величайших побед социализма тов. Сталин в своем историческом письме Ленину писал о плане Гоэлро: «Превосходная, хорошо составленная книга. Мастерской набросок действительно единого и действительно государственного хозяйственного плана без кавычек. Единственная в наше время марксистская попытка подведения под советскую надстройку хозяйственно отсталой России действительно реальной и действительно возможной при нынешних условиях технически-производственной базы» [1].

Планом Гоэлро намечалось сооружение в 10—15-летний срок тридцати крупных электрических станций общей мощностью 1 500 000 *квт*. Этот план был уже выполнен к 1 января 1931 г., т. е. в минимальный предусмотренный срок, а к 1 января 1936 г. — перевыполнен почти в три раза. Из отсталой аграрной страны СССР превратился в передовую мощную страну.

Третьим пятилетним планом развития народного хозяйства СССР (1938—1942 гг.) предусматривается дальнейшее развитие электрохозяйства: выработка электроэнергии в 1942 г. достигнет 75 млрд. *квтч*. Мощность всех электрических станций к концу 1942 г. составит 17 200 000 *квт*, т. е. в 2,1 раза превысит мощность всех станций в конце 1937 г.

Всего за годы третьей пятилетки должна быть введена в эксплоатацию мощность свыше 9 000 000 *квт*.

Планом предусматривается строительство, главным образом, электростанций небольших и средних мощностей. Но вместе с тем развертывается строительство величайшего в мире сооружения — двух Куйбышевских гидростанций на Волге общей мощностью 3 400 000 *квт*. В итоге выполнения третьего пятилетнего плана энергетическое хозяйство СССР выйдет на первое место в Европе и будет уступать только США.

Огромные достижения в деле электрификации СССР оказались возможными только благодаря твердому проведению в жизнь плановой политики партии и правительства по индустриализации страны, успешное выполнение которой обеспечено активной поддержкой миллионных масс трудящихся.

---

[1] В. И. Ленин, Об электрификации, Партиздат, 1934, стр. 78.

УДУНТ (ДІІТ)

В своей исторической речи на выпуске академиков красной армии тов. Сталин говорил: «Техника без людей, овладевших техникой, — мертва. Техника во главе с людьми, овладевшими техникой, может и должна дать чудеса» [1].

В ответ на призыв вождя в недрах нашего народа родилось и с громадной быстротой распространилось по всей стране стахановское движение, «которое войдет в историю нашего социалистического строительства, как одна из самых славных ее страниц» (Сталин) [2].

Враги народа и вредители из троцкистско-бухаринско-рыковской фашистской группы пытались затормозить строительство социалистической энергетики диверсионными актами и вредительством, чтобы сорвать социалистическую индустриализацию и ослабить обороноспособность Советского Союза. Однако все эти подлые попытки были своевременно разоблачены и вредительские гнезда разгромлены.

Новые возросшие задачи по осуществлению грандиозного плана третьей Сталинской пятилетки и по ликвидации последствий вредительства с особой силой выдвигают перед всеми работниками энергохозяйства требования всестороннего повышения своей квалификации, поднятия своего политического и технического уровня и овладения стахановскими методами работы.

Для всей армии энергетиков исключительное значение имеет указание пленума ЦК ВКП(б), состоявшегося в декабре 1935 г., о том, по каким путям должно пойти развитие стахановского движения в энергохозяйстве: «На электростанциях и электросетях переход на безаварийную работу, повышение использования оборудования за счет уменьшения простоев котельных и турбинных агрегатов в текущем и капитальном ремонте, сокращение удельного расхода топлива» [3].

Обеспечение безаварийной работы электрических установок имеет особо большое значение, так как всякий хотя бы и кратковременный перерыв в их работе влечет за собой огромные потери для народного хозяйства.

Релейная защита и автоматика являются мощным оружием в борьбе с аварийностью. Ответственное назначение релейных защитных устройств предъявляет к персоналу, обслуживающему их, особые требования хорошей подготовки и знания дела. Достаточная подготовленность кадров по защите, четкая постановка эксплоатации должны обеспечить совершенно надежную безошибочную работу защитных устройств и тем самым значительно повысить надежность и бесперебойность работы всех элементов электроэнергетических установок.

---

[1] Речь тов. Сталина на выпуске академиков Красной армии 4 мая 1935 г., Партиздат, стр. 11.

[2] Первое всесоюзное совещание рабочих и работниц стахановцев, Партиздат, 1935, стр. 363.

[3] Из резолюции декабрьского пленума ЦК ВКП(б), «Правда» от 26 декабря 1935 г.

УДУНТ (ДІІТ)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

ГЛАВА ПЕРВАЯ
НАЗНАЧЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НЕЙ

1. Ненормальные режимы работы и повреждения 8
2. Назначение релейной защиты 12
3. Основные требования, предъявляемые к релейной защите 13
4. Развитие релейной защиты 15
5. Оперативный ток 19
6. Условные обозначения и вычерчивание схем 20
7. Маркировка проводов . 21
8. Служба релейной защиты 23

ГЛАВА ВТОРАЯ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

9. Общие сведения . . . 23
10. Трансформаторы напряжения 24
11. Трансформаторы тока 27
12. Однополярные зажимы измерительных трансформаторов 35
13. Промежуточные трансформаторы и автотрансформаторы 36

ГЛАВА ТРЕТЬЯ
РЕЛЕ

14. Классификация и принципы действия реле 38
15. Параметры реле 41
16. Максимальные токовые реле 44
17. Реле напряжения . 57
18. Реле мощности 59
19. Тепловые реле . . 65
20. Дистанционные реле . 70
21. Вспомогательные реле 76
22. Специальные реле . 86

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ
ЗАЩИТА СЕТЕЙ

23. Общие сведения . . . 89
24. Защита радиальной сети 90
25. Защита кольцевой сети и сети с двухсторонним питанием 100
26. Защита коротких линий 103
27. Защита двойных параллельных линий 110
28. Защита сложных сетей 115

ГЛАВА ПЯТАЯ
ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ

29. Общие сведения . . 120
30. Перегрузка генераторов . . . 121
31. Короткие замыкания в генераторах . 126
32. Недопустимое повышение напряжения . . . 141
33. Повреждения при неправильной синхронизации 142

УДУНТ (ДІІТ)

34. Пожар в генераторах 142
35. Повреждения в цепи возбуждения . . . 143
36. Устройство для гашения поля генераторов . 145
37. Применяемые виды защитных устройств для генераторов 147

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

38. Основные повреждения и ненормальные режимы работы трансформаторов 149
39. Применяемые защиты трансформаторов 150
40. Защита агрегата генератор-трансформатор 162

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ЗАЩИТА УСТАНОВОК СОБСТВЕННОГО РАСХОДА

41. Общие сведения 163
42. Виды основных электрических повреждений и ненормальных режимов работы двигателей и устанавливаемые типы защит . 164
43. Применяемые схемы защит . . 165

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕРКИ И ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

44. Общие сведения 174
45. Классификация электроизмерительных приборов и правила пользования ими 175
46. Приборы для измерения небольших токов 185
47. Электронный вольтметр . . . 188
48. Приборы для измерения времени . . . 189
49. Приборы для измерения сопротивления 192
50. Вспомогательная аппаратура . . 196
51. Аппаратура для регулировки тока . . . 200
52 Аппаратура для регулирования напряжения 203
53. Комплектные устройства для испытаний 206

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ИСПЫТАНИЯ РЕЛЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

54. Общая программа испытания и проверки реле 209
55. Проверка шкалы токов трогания реле максимального тока, работающих на замыкание контактов 213
56. Измерения выдержки времени реле максимального тока, работающих на замыкание контактов 216
57 Проверка шкалы напряжений трогания реле напряжения 217
58. Измерения выдержки времени реле минимального напряжения, работающего на замыкание контактов 219
59. Испытание электромагнитного реле времени . . 221
60. Испытание промежуточных реле 222
61. Определение тока трогания, настройка и проверка характеристики теплового реле 223
62. Испытание реле мощности 226
63. Испытание реле транслей для защиты трансформаторов 231
64. Испытание реле транслей для защиты линий . . 235
65. Испытание трансфоматоров тока . 235

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

66. Виды и сроки испытаний защитных устройств 240
67. Проверка схем вторичной коммутации и ее отдельных элементов 241
68. Методы комплектного испытания защитных устройств 248
Приложение 258
Алфавитный указатель . . . 279

УДУНТ (ДІІТ)

ГЛАВА ПЕРВАЯ

НАЗНАЧЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НЕЙ

1. НЕНОРМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ

В любой электрической установке при неправильной эксплоатации ее возможны ненормальные режимы работы и повреждения отдельных элементов, вызывающие ухудшение качества энергии, длительный перерыв передачи ее и вывод поврежденных агрегатов в ремонт.

Всякое вынужденное нарушение нормального режима работы установки, сопровождающееся перерывом энергоснабжения с недоотпуском энергии потребителю или сбросом нагрузки станции или таким повреждением основного оборудования, которое снизило установленную мощность электростанции, подстанции, линии электропередачи, считается а в а р и е й.

Причины, вызывающие аварии, разнообразны и в большинстве своем являются результатом неудовлетворительной эксплоатации, плохого и несвоевременного ремонта, недоброкачественной приемки оборудования после ремонта или монтажа, а также неисправностей оборудования, своевременно не обнаруженных и не устраненных.

Всякая авария может быть исключена правильным проектированием и монтажом и грамотной эксплоатацией установки. Если же авария произошла, то виновниками являются обычно люди.

Наиболее распространенным видом нарушений нормального режима и аварий являются перегрузки и короткие замыкания. При п е р е г р у з к е оборудования ток увеличивается сверх допустимой для обмотки величины, что влечет за собой недопустимое повышение температуры и разрушение изоляции. В результате длительной перегрузки может значительно сократиться срок службы установки и произойти повреждение оборудования.

Например для изоляции класса А, применяемой при обмотке двигателей, предельно допустимой температурой является 95° С. Нормальный срок службы изоляции при 95° С составляет около 15—20 лет.

УДУНТ (ДІІТ)

При температуре 105° С срок службы изоляции составляет около трех лет, а при температуре 125° — только 30 дней.

Порча изоляции от длительной перегрузки вызывает обычно необходимость замены всей обмотки, а не части ее, поэтому недопустимая перегрузка является весьма нежелательным явлением.

Причины возникновения перегрузки могут быть самыми различными, так, например, источники питания перегружаются потребителями энергии, при отключении одного из источников питания вся нагрузка переходит на оставшиеся в работе; двигатели перегружаются при увеличении нагрузки, при заедании или поломке механизма, приводимого ими в движение.

Причиной перегрузки может явиться также неудовлетворительное качество энергии. Например, при отклонении напряжения от заданной величины или несимметрии его может увеличиться ток, потребляемый двигателями.

Короткие замыкания обычно вызывают тяжелые повреждения оборудования. При коротких замыканиях к месту повреждения притекают очень большие токи, которые могут причинить разрушения не только поврежденного, но и неповрежденного оборудования.

В месте короткого замыкания часто возникает дуга, которая перебрасывается на соседние здоровые участки и вызывает значительные разрушения.

При коротких замыканиях обычно понижается напряжение в системе, что нарушает нормальную работу потребителей, а в некоторых случаях является причиной выхода из синхронизма параллельно работающих генераторов и распада всей системы.

Во избежание нарушения нормальной работы системы и расширения аварии место короткого замыкания должно быть по возможности быстро отключено от здоровой части системы.

Различают д в у х ф а з н ы е короткие замыкания, когда соединяются две фазы, и т р е х ф а з н ы е при соединении трех фаз. Двухфазные короткие замыкания из-за образующейся дуги часто переходят в трехфазные.

Двух- и трехфазные замыкания, как правило, происходят вследствие нарушения изоляции между фазами.

Сломанные ветви, вырванные бурей деревья, птицы с большим размахом крыльев, самолеты и пр. часто влекут за собой соединение проводов воздушных линий передач. Во время бурь возможны короткие замыкания из-за схлестывания проводов.

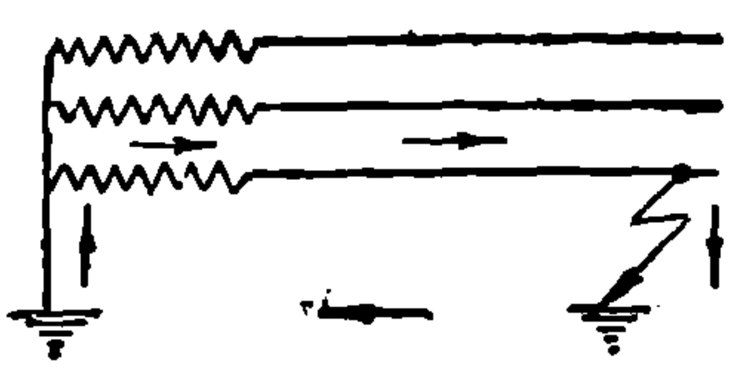
Большое количество коротких замыканий происходит из-за ошибочных действий персонала при отключении разъединителей под нагрузкой, включении на закоротку и при набросах.

Двухфазные замыкания происходят также при двойных замыканиях на землю, а трехфазные — при тройных замыканиях на землю в одной или в разных точках.

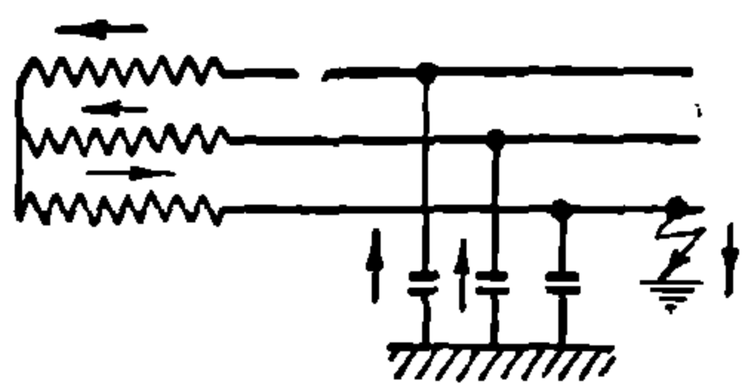
Замыкания, при которых одна из фаз касается земли (корпуса), называются о д н о ф а з н ы м и замыканиями.

УДУНТ (ДІІТ)

Этот вид повреждения встречается наиболее часто. В сетях с глухо заземленной нейтралью или нейтралью, заземленной через сопротивление, однофазное замыкание на землю приводит к однофазному короткому замыканию. Ток повреждения протекает по контуру, состоящему из провода поврежденной фазы, места повреждения и пути тока через землю к месту заземления нейтрали (фиг. 1). Ток в этом случае может достигать очень большой величины и причинить такие же сильные разрушения, как и при двух-и трехфазных коротких замыканиях, поэтому однофазное замыкание в этих системах должно быстро отключаться.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

В сетях с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через ограничивающее сопротивление или гасительное устройство, ток однофазного замыкания на землю, обусловленный емкостью сети и величиной ограничивающего сопротивления, обычно невелик и не причиняет столь больших разрушений, как в системе с глухо заземленной нейтралью (фиг. 2).

Характерной особенностью однофазного замыкания на землю в этом случае является повышение напряжения двух здоровых фаз по отношению к земле.

В нормальных условиях работы сети с изолированной нейтралью потенциал нейтрали равен потенциалу земли, а потенциал каждой фазы — фазному напряжению.

При заземлении одной из фаз потенциал нейтрали становится равным фазному напряжению, потенциал заземленной фазы — равным нулю, а потенциал здоровых фаз возрастает в $\sqrt{3}$ раз.

Это повышение напряжения не должно представлять опасности для здоровой изоляции; однако в эксплоатации не редки случаи пробоя изоляции здоровых фаз именно при заземлении одной из фаз; при этом однофазное замыкание на землю переходит в двухфазное короткое замыкание.

При достаточной величине тока однофазного замыкания в месте повреждения может появиться сильная дуга, вызывающая иногда опасные перенапряжения.

Таким образом в некоторых случаях в сетях с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через гасительные устройства, замыкание на землю не влечет за собой необходимости немедленного отключения поврежденного участка, однако здесь должно быть предусмотрено специальное устройство, позволяющее быстро отыскать поврежденный участок.

К однофазным замыканиям следует также отнести замыкание витков одной фазы, в машинах и аппаратах.

УДУНТ (ДІІТ)

В замкнутых витках возникают токи короткого замыкания, которые тем больше, чем меньше короткозамкнутых витков. Большие токи обычно выжигают короткозамкнутые витки.

Причинами замыкания витков являются: порча изоляции вследствие загрязнения, влажности, присутствия в масле осадков (например, в трансформаторах), перетирание изоляции при коротких замыканиях, а также пробой изоляции при перенапряжениях.

Таким образом однофазное замыкание на землю изолированных от земли элементов установки в большинстве случаев является тяжелой аварией, поэтому поврежденный элемент должен быстро отключаться от здоровой сети.

В машинах и аппаратах происходят повреждения, вызванные пожаром железа. Причиной этого пожара являются вихревые токи: в месте замыкания изолированных друг от друга листов железа генераторов, трансформаторов и пр. сопротивление сильно уменьшается и величина токов резко увеличивается.

Вначале действие замыкания очень незначительно, но по мере увеличения тепла, выделяемого вихревыми токами, происходит сплавление железа, которое может привести к порче изоляции и короткому замыканию.

Основными причинами порчи железа является недоброкачественная сборка его, истирание изоляции между листами и в стягивающих болтах и пр.

Пожар в железе может привести к тяжелым последствиям, потребовать длительного ремонта и замену части пакетов, перешихтовки железа и пр.

Следует также отметить серьезные аварии, возникающие при несинхронном включении генераторов. Как известно, для включения генераторов на параллельную работу требуется равенство частоты, напряжений и совпадение фаз включаемого генератора и сети.

При несоблюдении этих условий, например, при несовпадении фаз, при включении могут возникнуть токи короткого замыкания, значительно превышающие нормальные токи короткого замыкания. Эти токи могут привести к тяжелым повреждениям обмоток генератора.

Причинами несинхронного включения генераторов являются, как правило, ошибки персонала.

Перечисленные выше повреждения могут вызвать аварии не только на каком-либо из участков системы, но и повести к нарушению нормального режима эксплоатации всей системы в целом. А это в свою очередь может повлечь за собой ухудшение качества энергии и нарушение бесперебойности снабжения потребителей.

При снижении частоты против нормальной понижаются обороты рабочих механизмов потребителей, уменьшается производительность станков и выпуск продукции, а в некоторых производствах создается брак.

УДУНТ (ДІІТ)

Понижение напряжения сильно снижает световую отдачу электрических ламп и производительность двигателей.

Повышение напряжения ведет к перекалу ламп и значительному сокращению срока их службы, увеличивает намагничивающие токи двигателей и трансформаторов.

Короткие замыкания, отключаемые недостаточно быстро, могут вызвать так называемое «качание» в системе, когда нарушается устойчивость параллельно работающих генераторов и они могут даже выйти из синхронизма. В таком случае вся система может распасться, что повлечет за собой перебои в подаче энергии потребителям.

2. НАЗНАЧЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Выше мы видели, что возникновение ненормальных явлений в электрической установке, нарушающих нормальный эксплоатационный режим, может повести к расстройству работы всей системы, ухудшению качества энергии и значительным повреждениям оборудования.

Если ненормальное явление или повреждение не будет быстро устранено путем отключения поврежденного элемента, авария будет развиваться. По условиям работы системы для сохранения бесперебойности подачи энергии потребителям по здоровым участкам время отключения поврежденного участка должно быть очень коротким (часто доли секунды).

Человек, обслуживающий установку, конечно, не в состоянии в такой короткий промежуток времени заметить ненормальные явления и устранить их.

Поэтому электрические установки защищаются специальными приборами — р е л е, которые реагируют на изменение режима установки и автоматически, без вмешательства человека, воздействуют на отключение выключателей поврежденного элемента, вводят вместо поврежденного агрегата резервный, подают сигнал о начале ненормального режима работы (например, перегрузки, утечки масла), воздействуют на возбуждение и число оборотов генераторов для поддержания напряжения и частоты и пр. Отсюда и происходит название — релейная защита.

Действие релейной защиты в зависимости от назначения может происходить очень быстро, чем достигается устранение ненормальных явлений в наикратчайший срок.

Иногда, наоборот, требуется замедленное действие защиты, например, при кратковременных перегрузках, допустимых для оборудования.

В этих случаях релейная защита может действовать на отключение перегруженного агрегата от сети через определенный, заранее заданный, промежуток времени. Часто при возникновении перегрузки релейная защита может разгрузить агрегат путем отключения части нагрузки и тем самым вообще сделать ненужным его отключение.

Таким образом р е л е й н а я з а щ и т а является специальным

УДУНТ (ДІІТ)

устройством, предназначенным для защиты установок от ненормальных режимов работы.

Основное назначение релейной защиты:

а) отключение защищаемого элемента при ненормальных режимах и повреждениях;

б) сигнализация дежурному персоналу о ненормальных и опасных явлениях (нарушение изоляции, недопустимый нагрев, снижение уровня масла и пр.);

в) автоматический ввод резервных агрегатов (трансформаторов, моторов и их пусковых устройств), повторное включение фидеров и пр.;

г) воздействие на различные машины (генераторы, трансформаторы) для поддержания установленных величин частоты и напряжения, обусловливающих качество энергии.

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Объединение станций в общую систему, кольцевание линий передач и пр. обусловливают чрезвычайную сложность современных электрических систем. В связи с этим и требования, предъявляемые к защите, значительно расширяются. Однако вне зависимости от сложности отдельных видов релейных защит последние должны удовлетворять следующим основным требованиям.

1. Селективность (избирательность). Под селективностью действия релейной защиты понимается способность защиты отключить только поврежденный элемент.

Все остальные элементы системы должны остаться включенными. Например, если на электростанции произошла авария на отходящем фидере, то должен отключиться поврежденный фидер, а не генератор.

Требование селективности работы защиты не должно исключать возможности действия резервных защит. Например, при защите нескольких последовательно включенных линий сети защита должна сработать на том участке, на котором произошло короткое, но если эта защита по каким-либо причинам не сработает, то тогда должна подействовать защита следующего участка сети и отключить его вместе с поврежденным участком. В этом случае произойдет неселективное отключение места повреждения, однако число отключенных участков будет ограничено только двумя. Таким образом вторая защита выполнила роль резервной защиты по отношению к первой.

В некоторых случаях резервная защита действует на те же масляники, что и главная защита, но только с большей выдержкой времени.

2. Быстрота. В большинстве случаев к защите предъявляется требование возможно быстрого отключения поврежденных частей электрической системы. Это условие преследует следующие цели:

а) Уменьшить разрушительное действие токов короткого замыкания. Например, при однофазном замыкании обмоток гене-

УДУНТ (ДІІТ)

ратора или трансформатора на землю появляется дуга, которая выжигает железо статора или сердечника. Если ток замыкания на землю быстро отключить, то железо почти не пострадает. Если же дуга будет существовать несколько секунд, то железо может настолько глубоко выгореть, что при ремонте потребуется целиком заменить его.

б) Умсньшить время аварийного состояния установки и этим предупредить дальнейшие нежелательные явления, могущие возникнуть в системе. Например, при длительности тока короткого замыкания в течение нескольких секунд от снижения напряжения могут остановиться двигатели, от перегрузки сгореть предохранители и пр. Особенно опасна замедленность отключения коротких замыканий в сложных системах с параллельной работой нескольких станций. Генераторы этих станций могут выйти из синхронизма и вся система расстроится.

в) Быстрота действия защиты дает возможность при быстродействующих выключателях значительно повысить процент случаев сохранения в работе линий при проходящих коротких замыканиях путем применения немедленных повторных включений. Очень быстрые отключения и повторные включения не нарушат бесперебойности подачи энергии потребителю.

В зависимости от требований системы современные защиты действуют в промежутки времени от нескольких десятков секунд до сотых долей секунды.

Быстродействующим отключением называют такое, при котором время действия защиты не превышает 1—5 периодов (0,02—0,1 сек.), время отключения выключателей 2—7 периодов, т. е. полное время отключения составляет 3—12 периодов (0,06—0,24 сек.).

3. Чувствительность. Релейная защита должна реагировать на все виды повреждений или ненормальных режимов работы защищаемого устройства. При этом желательно, чтобы защита реагировала на повреждения или отклонения от нормального режима в самом начале появления их.

Например, однофазное замыкание на землю обмотки генератора через большое сопротивление вызовет в месте замыкания вначале незначительный ток повреждения, который с течением времени может увеличиться и причинить большие разрушения. Чувствительная защита должна подействовать при возможно малом токе повреждения.

С другой стороны, защита не должна действовать при нормальном рабочем режиме или кратковременных неопасных отклонениях от него, например, при кратковременных перегрузках.

Предъявляемое к защите требование чувствительности ко всем видам повреждений должно выполниться с учетом экономических условий и степени ответственности защищаемого устройства.

Например, установка сложных защит на большом генераторе является экономически выгодной. Если такую же сложную защиту установить на маленьком не ответственном двигателе, то

УДУНТ (ДІІТ)

стоимость релейной защиты во много раз превзойдет стоимость самого двигателя.

С другой стороны, следует помнить, что часто при отсутствии надлежащей релейной защиты авария может принести государству убытки, во много раз превышающие затраты, необходимые для установки улучшенной защиты.

4. Надежность. Релейная защита должна работать надежно и правильно при всех ненормальных режимах, на которые она должна реагировать. Основные предпосылки, обеспечивающие такую работу: простота схемы защиты, надежность работы и монтажа защитных реле и проводов и правильная эксплоатация (проверка, регулировка, уход и пр.).

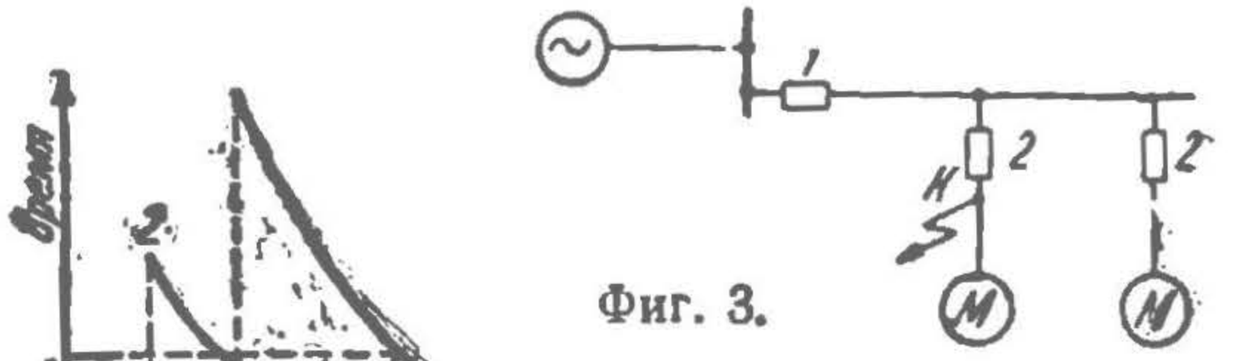
4. РАЗВИТИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

1. Защита плавкими предохранителями. Рассмотрим развитие релейной защиты на примере установки, которую требуется защитить от слишком больших токов перегрузки или короткого замыкания.

На фиг. 3 от шин станции отходит фидер, к которому присоединены два двигателя одинаковой мощности.

Требуется защитить фидер и двигатель от перегрузки и коротких замыканий.

Простейшим видом защиты в этом случае является плавкий предохранитель. Этот предохранитель рассчитывается на определенный ток. При возрастании тока выше этого значения предохранитель перегорает.



Фиг. 3.

Фиг. 4. Характеристика плавких вставок.

Устанавливая предохранители *2* и *2*, мы защищаем от чрезмерных токов сами двигатели.

Предохранитель *2* выбирается таким, чтобы при нормальной работе двигателя он не плавился. Для защиты фидера необходимо установить предохранитель *1*, рассчитанный на одновременную работу обоих двигателей.

Посмотрим, сможем ли мы получить удовлетворительную защиту от перегрузки и от коротких замыканий.

Время перегорания предохранителя зависит от тока перегрузки (фиг. 4): с увеличением тока оно уменьшается; при больших токах предохранитель перегорает почти мгновенно.

Кривая *1* соответствует предохранителю *1*, перегорающему при токе OA_1, большем, чем ток OA_2, при котором перегорает предохранитель *2*.

Предположим, что один из двигателей перегрузился и ток его равен OA_3. Через предохранитель *1* будет протекать ток OA_4,

УДУНТ (ДІІТ)

равный сумме токов двух двигателей. Тогда предохранитель *2* перегорит через t_2 секунд, а предохранитель *1* — через t_1 секунд, при этом t_1 больше t_2, т. е. при перегрузке двигателя перегорит предохранитель *2*, предохранитель *1* перегореть не успеет и фидер не отключится. В этом случае мы можем сказать, что защита плавкими предохранителями «сработает селективно». Защита отключит перегрузившийся двигатель, а другой двигатель будет продолжать работать.

Посмотрим, что произойдет при коротком замыкании в точке *К*. Ток короткого замыкания будет проходить через предохранители *1* и *2*.

Если ток короткого замыкания будет равен *ОК* (фиг. 2) или еще больше, то время сгорания предохранителей *1* и *2* будет практически одинаковым, и тогда возможно, что предохранитель *1* сгорит раньше предохранителя *2* или оба они перегорят одновременно. В этом случае защита сработает неселективно, так как при коротком замыкании в точке *К* должен перегореть ближайший предохранитель *2*. При перегорании же предохранителя *1* фидер окажется отключенным.

Из этого примера видно, что в установке с несколькими предохранителями, включенными последовательно, трудно добиться селективности при коротких замыканиях, когда токи короткого замыкания велики. Плавкие предохранители обладают еще и другими недостатками.

Их характеристика — зависимость времени перегорания от тока, не постоянна и может меняться в зависимости от температуры предохранителя до начала перегрузки, т. е. от того, работал ли предохранитель до перегрузки с малой или большой нагрузкой, успел ли он прогреться или нет.

Кроме того, в условиях эксплоатации наблюдается старение материала предохранителя под влиянием тока. Если предохранитель работает давно, то он может перегореть и не при том токе, на который он рассчитан.

Наконец, следует отметить, что при больших токах короткого замыкания и высоком напряжении перегорание предохранителей сопровождается выделением большого количества тепла, вследствие чего требуется специальная конструкция и применение их ограничивается установками сравнительно небольшой мощности.

По указанным причинам плавкие предохранители находят применение в простых сетях небольшой мощности при напряжениях не выше 6—10 *кв* и устанавливаются, главным образом, на конечном пункте, где требуется мгновенное отключение поврежденного элемента.

2. Защита помощью реле. В установках большой мощности для отключения поврежденного элемента вместо плавких предохранителей применяют автоматические выключатели — воздушные или масляные, которые могут разрывать большие токи.

Для приведения в действие этих выключателей, например, для отключения цепи они снабжаются отключающим механиз-

УДУНТ (ДІІТ)

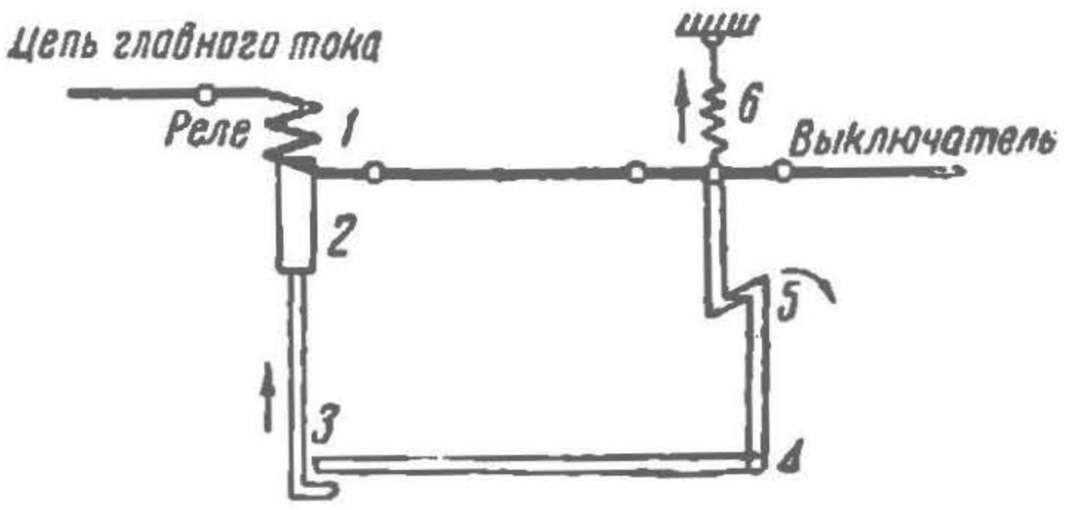
мом в виде защелки или электромагнита (отключающей катушкой).

В этом случае для осуществления защиты необходимо вместо плавкого предохранителя иметь такой прибор, который реагирует на увеличение тока в защищаемой цепи и приводит в действие отключающий механизм автоматического выключателя.

Подобные приборы или автоматы, реагирующие на изменение тока, напряжения, мощности, частоты и пр., называются р е л е.

На фиг. 5 изображена конструкция и схема включения одного из реле, защищающего элемент цепи от недопустимого тока.

Обмотка *1* реле включена непосредственно в цепь и при увеличении тока выше заданной величины, например, при перегрузке якорь *2* будет втягиваться в катушку, действуя при помощи скрепленной с ним изолированной штанги *3* механически на рычажную систему *4*.



Фиг. 5. Схема включения первичного реле тока прямого действия.

Последняя освободит защелку *5* выключателя, который под действием пружины *6* отключится и разорвет цепь.

Описанное реле, приключаемое непосредственно к защищаемой цепи тока и действующее механически на механизм выключателя, называется п е р в и ч н ы м р е л е п р я м о г о д е й с т в и я.

Эти реле обладают рядом недостатков:

а) Механизм реле должен быть прочным и массивным как по причине необходимости совершить значительную работу при освобождении защелки, так и потому, что реле, включаемое непосредственно в цепь первичного тока, подвергается большим термическим и динамическим воздействиям.

Вследствие этого первичные реле прямого действия обычно не могут быть выполнены достаточно точными и чувствительными.

б) Для проверки реле необходимо отключение защищаемого элемента установки, так как обмотки реле находятся под полным рабочим напряжением.

Первичные реле не имеют широкого распространения и применяются, главным образом, в установках небольшой мощности например, для защиты двигателей.

Преимуществом первичных реле является то обстоятельство, что они не требуют источника оперативного тока и контрольного кабеля.

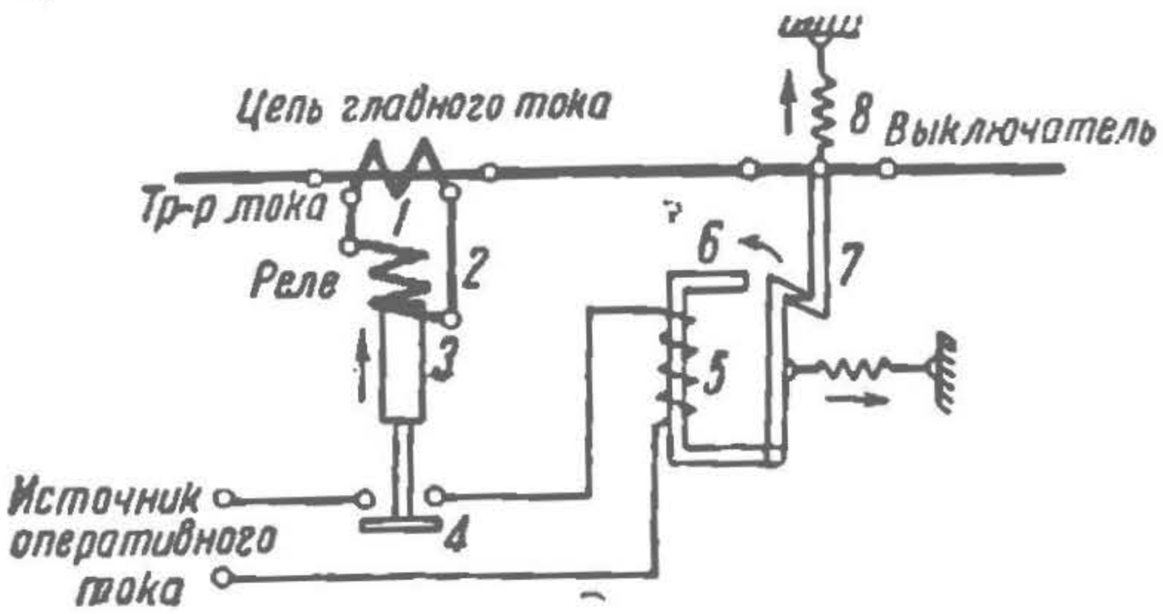
Наибольшее распространение получили так называемые в т о р и ч н ы е р е л е к о с в е н н о г о д е й с т в и я.

На фиг. 6 приведена принципиальная схема включения вторичного реле тока косвенного действия. Обмотка *2* реле [illegible]

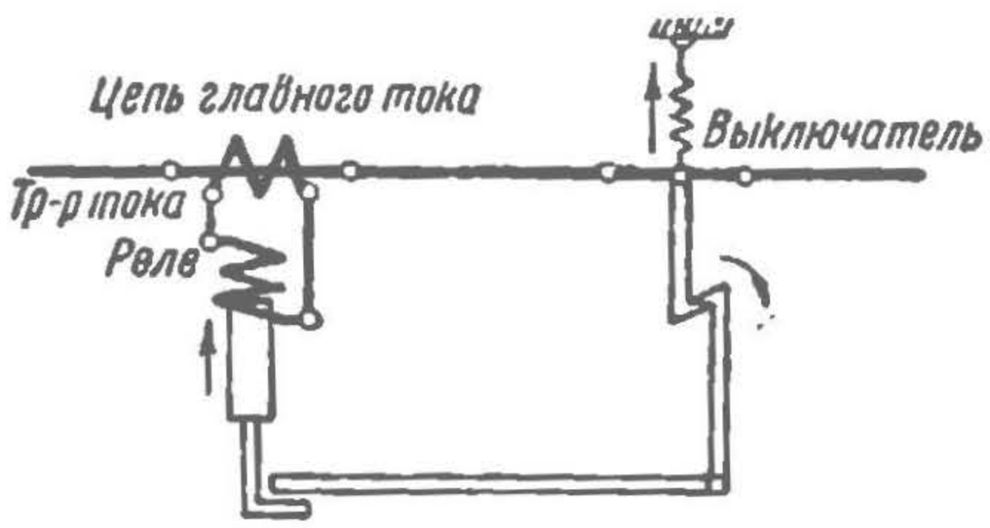
УДУНТ (ДІТ)

динена ко вторичной обмотке *1* трансформатора тока, включенного в цепь главного тока. При втягивании сердечника реле контакты *4* замыкаются и включают оперативный ток на отключающую катушку выключателя, который под действием пружины *8* отключится.

Вторичные реле косвенного действия могут быть выполнены достаточно точными и чувствительными, так как они совершают незначительную работу, управляя цепью оперативного тока; кроме того, будучи присоединены через трансформаторы тока, они подвергаются значительно меньшим термическим и динамическим воздействиям.



Фиг. 6. Схема включения вторичного реле тока косвенного действия.



Фиг. 7. Схема включения вторичного реле прямого действия.

Эти реле устанавливаются отдельно от выключателей, поэтому они могут проверяться без отключения защищаемой установки.

Кроме того, применение вторичных реле позволяет ограничить номенклатуру выпускаемых реле, изготовляя их на стандартные токи и напряжения.

К числу недостатков этих реле следует отнести необходимость иметь источник оперативного тока и контрольный кабель.

Помимо перечисленных типов реле широкое применение в нашей системе нашли вторичные реле прямого действия, встраиваемые в привод выключателя.

Принципиальная схема включения такого реле приведена на фиг. 7. Реле прямого действия обладают меньшей точностью, чем реле косвенного действия, и область их применения также ограничена.

На приведенных схемах защиты отключение выключателей происходит мгновенно, и если бы мы попытались подобной защитой защитить установку, изображенную на фиг. 1, то, так же как и с плавкими предохранителями при коротком замыкании в точке *К*, имели бы неселективное действие защиты. В подобных случаях приходится вводить элемент времени с тем, чтобы реле, установленное ближе к источнику питания, производило отключение позднее. Необходимую выдержку времени можно получить при помощи специального устройства в самом первичном реле или отдельного реле времени.

Если число последовательно включенных реле велико, то вы-

УДУНТ (ДІІТ)

держка времени реле у источника питания может получиться слишком большой и не удовлетворит требованиям быстроты действия. Тогда приходится применять более сложные защиты, например, дистанционную, диференциальную, высокочастотную и пр.

В более сложных сетях, когда питание происходит по кольцу или от нескольких источников питания, является необходимым иметь защиту, реагирующую и на направление энергии. Для этого применяются специальные реле направления или реле мощности.

Для защиты оборудования применяют еще специальные защиты. Например, трансформаторы снабжаются газовыми реле, моторы термическими реле, а для генераторов применяется специальное устройство для быстрого снятия собственного напряжения при авариях и т. д.

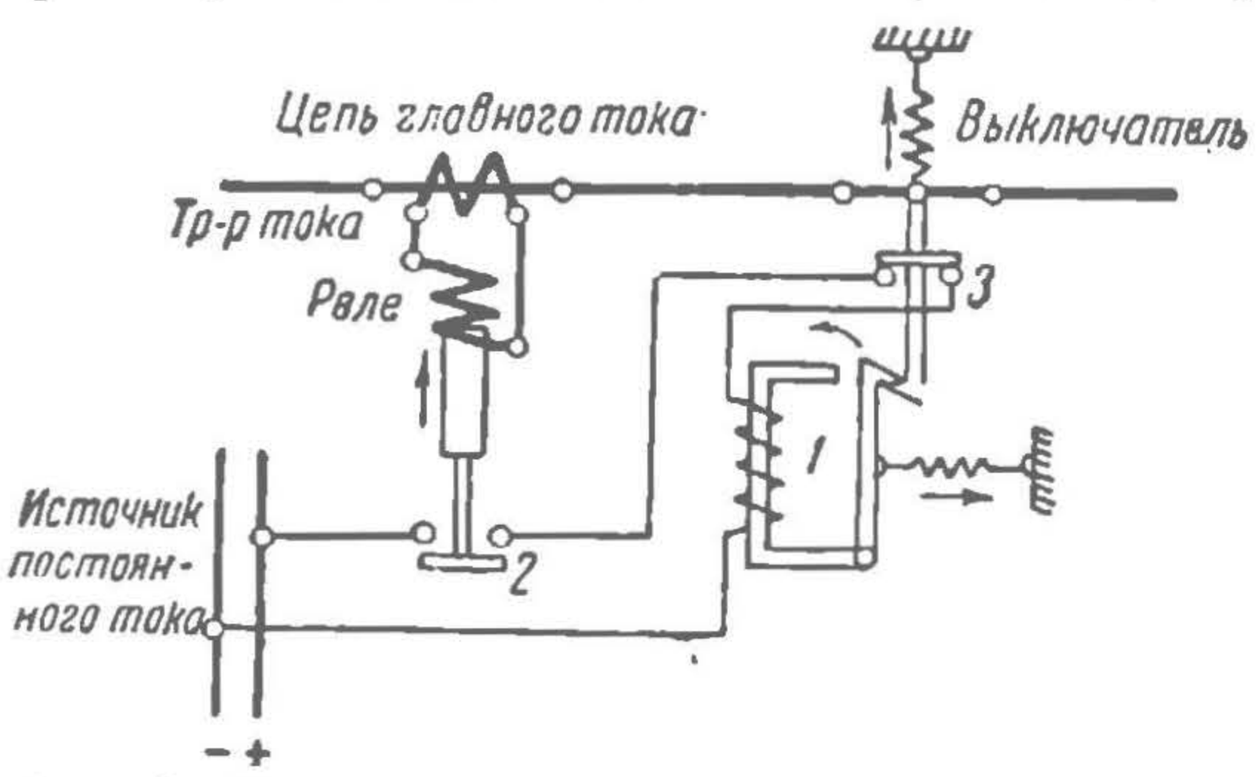
Приведенные примеры указывают на все многообразие требований, предъявляемых к защитным устройствам.

5. ОПЕРАТИВНЫЙ ТОК

Остановимся еще на схемах оперативного тока, необходимого для питания соленоидов отключения выключателей.

В качестве оперативного тока применяются: переменный ток от измерительных трансформаторов напряжения или тока и постоянный ток от аккумуляторной батареи.

Применение переменного тока в качестве оперативного обусловливается, главным образом, экономическими соображениями, так как при этом отпадает надобность в аккумуляторных батареях и упрощается обслуживание установки. В наших системах схемы защиты с оперативным переменным током не получили еще широкого применения из-за отсутствия необходимой аппаратуры и поэтому здесь не разбираются.



Фиг. 8. Схема с вспомогательным источником постоянного тока для оперативных целей.

Приципиальная схема защиты, работающая на постоянном токе, приведена на фиг. 8.

Один зажим соленоида отключения *1* жестко присоединен к отрицательному полюсу источника постоянного тока (—). Второй полюс (+) подводится к соленоиду отключения через нормально разомкнутые контакты реле *2* и замкнутые при включенном выключателе вспомогательные контакты *3* на его валу. При отключении выключателя цепь оперативного тока автоматически разрывается контактами *3*, чем облегчается работа контактов

УДУНТ (ДІІТ)

реле *2*. Необходимость разрыва цепи соленоида отключения вызывается тем, что соленоид не рассчитывается на длительное прохождение тока отключения.

Отключающие цепи постоянного тока снабжаются обычно плавкими предохранителями на обоих полюсах, а также световой и звуковой сигнализацией, действующей автоматически при повреждении в цепи оперативного тока (нарушение целости цепи, повреждение изоляции, перегорание предохранителей и пр.).

Напряжение источников оперативного тока составляет обычно 24, 110 и 220 V. Из-за возможных в условиях эксплоатации понижений напряжения источников оперативного тока к отключающим механизмам в зависимости от типа предъявляется требование надежной работы при напряжениях, составляющих 65 и 80% от номинальных значений.

6. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ВЫЧЕРЧИВАНИЕ СХЕМ

В целях единообразия все реле, измерительные трансформаторы и пр. аппаратуру на чертежах и схемах принято изображать условными обозначениями (приведены в приложении).

В зависимости от назначения различают следующие схемы защиты: принципиальная, принципиально-монтажная и монтажная.

На принципиальной схеме указываются измерительные трансформаторы, реле и схемы их соединений, без обозначений клемм, маркировки жил кабеля и пр. Эта схема поясняет только принцип действия защиты и может быть однолинейной или трехлинейной.

Однолинейную схему применяют тогда, когда защита всех трех фаз установки одинакова, т. е. на каждой фазе установлены одни и те же трансформаторы и реле. Принципиальная однолинейная схема защиты фиг. 8 изображена на фиг. 9.

Та же схема защиты изображена на фиг. 10 в виде принципиальной трехлинейной схемы.

В тех случаях, когда защита установлена только на двух фазах или она неодинакова на разных фазах, схему необходимо изображать в виде трехлинейной.

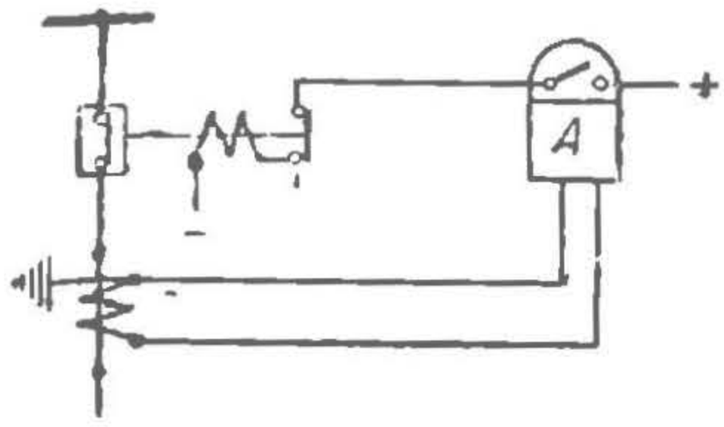
На фиг. 11 изображена схема защиты на двух фазах.

На принципиально-монтажной схеме указываются измерительные трансформаторы, реле, клеммные сборки с нумерацией клемм и маркировкой проводов согласно действительным обозначениям. Контрольно-измерительные кабели не указываются, и все соединения между клеммами и аппаратурой для ясности чертежа и быстрой ориентировки при проверках выполняются прямыми линиями. Обычно принципиально-монтажные схемы выполняются раздельно для цепей переменного и постоянного тока защиты также для ясности чертежа, и лишь в простых защитах эти схемы совмещаются в одном чертеже. Принципиально-монтажные схемы позволяют легко разобраться в принципе действия защиты и одновременно весьма удобны при испытаниях, переделках и пр.

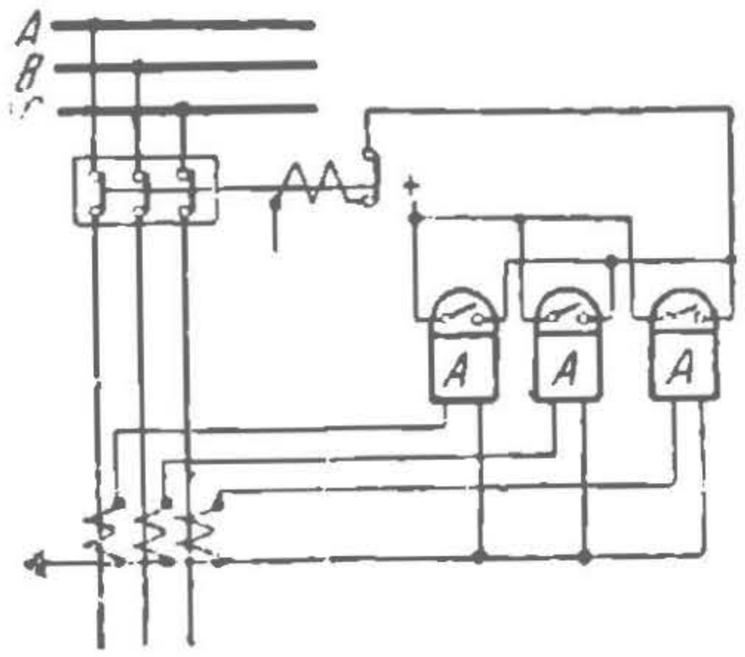
УДУНТ (ДІІТ)

Принципиально-монтажные схемы снимаются с натуры и выполняются всегда в виде трехлинейных (фиг. 12).

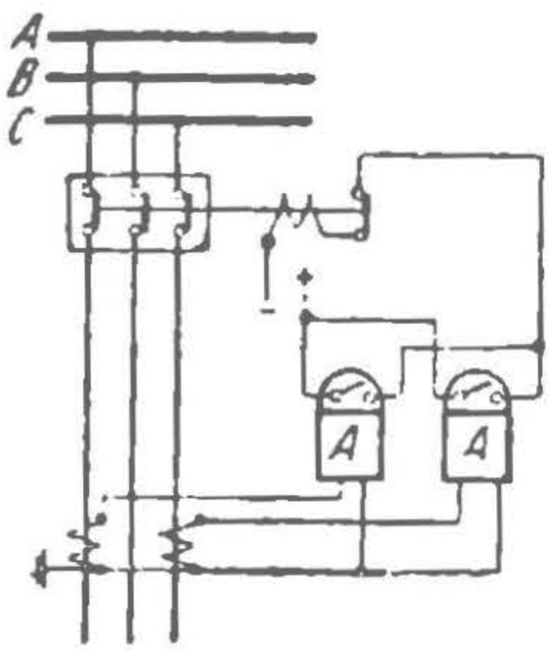
В монтажной схеме соединения между клеммовыми сборками, трансформаторами и реле



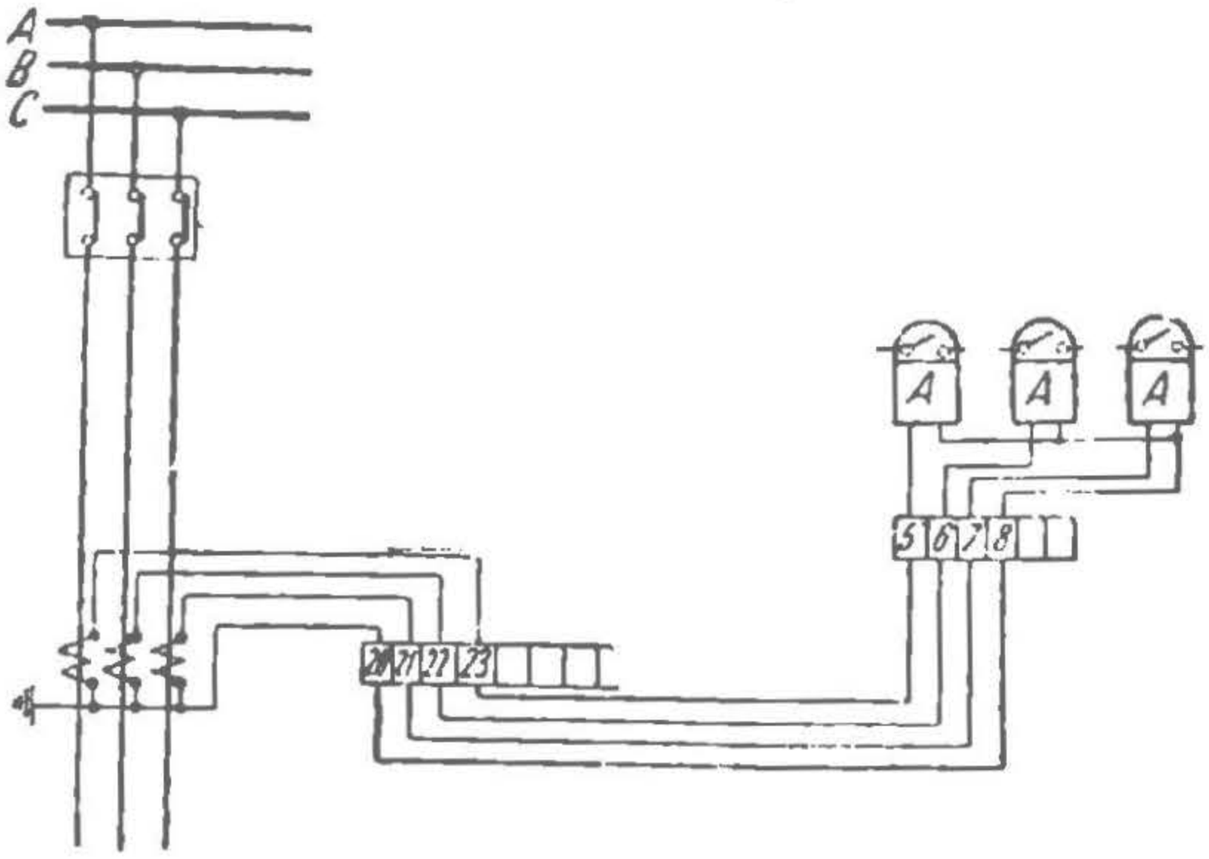
Фиг. 9. Однолинейная схема защиты.



Фиг. 10. Трехлинейная схема защиты.



Фиг. 11. Схема защиты на двух фазах.



Фиг. 12. Принципиально-монтажная схема.

изображаются не прямыми линиями, а в действительности проложенным контрольно-измерительным кабелем с указанием его длины, сечения, числа жил, маркировки и пр. Монтажные схемы выполняются трехлинейными и служат, главным образом, для производства монтажа.

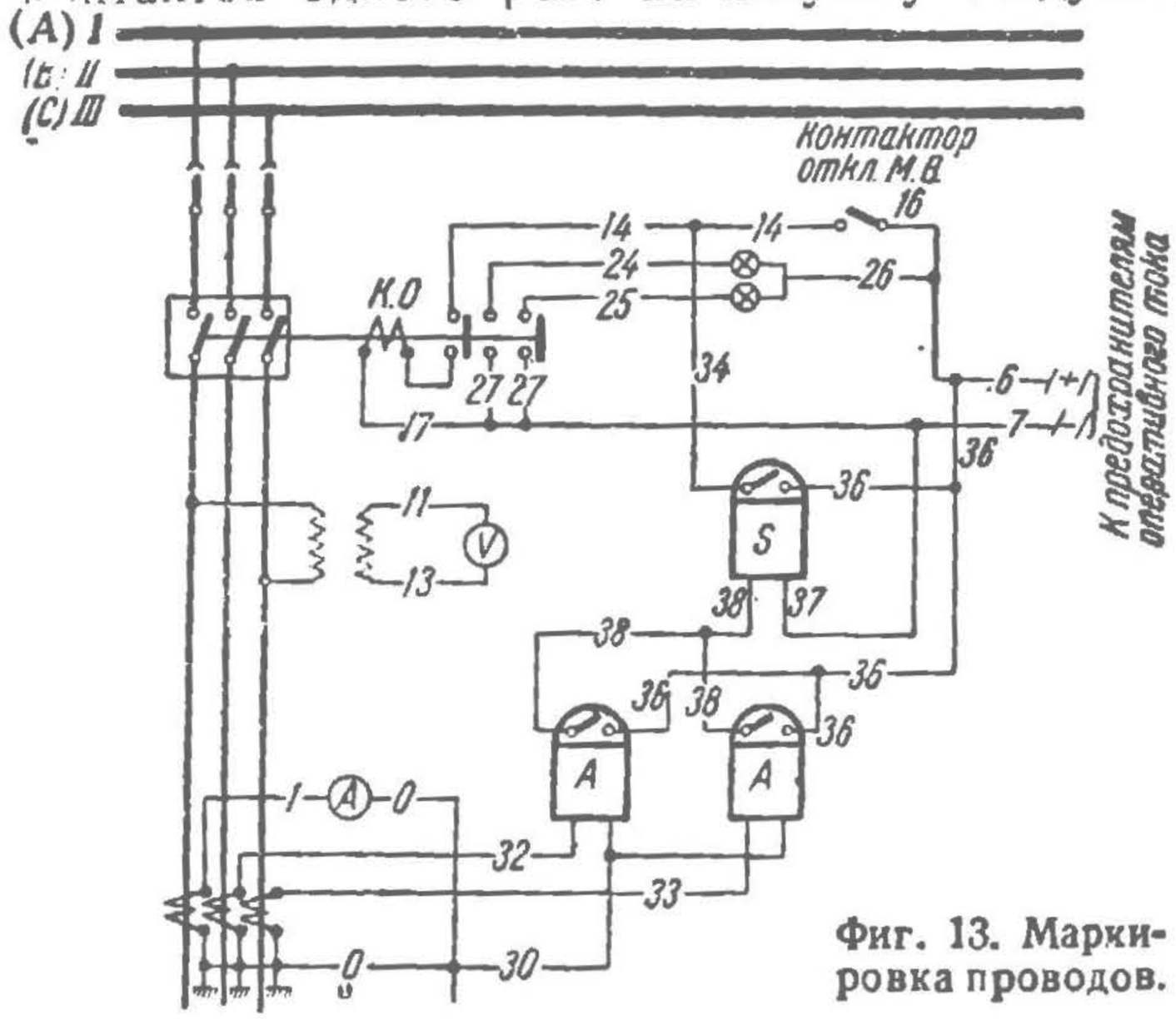
7. МАРКИРОВКА ПРОВОДОВ

Все провода в схемах маркируются, на концах проводника или жилы кабеля делается надпись, позволяющая определить, не пользуясь монтажной схемой, назначение данного проводника или жилы кабеля. Надпись помещают на штуцерах, одеваемых на концы проводов или жил кабеля. У нас в Союзе существует много различных систем маркировки. Ниже приводится наиболее распространенная цифровая система. По этой системе провода обычно маркируются двухзначными числами. При этом единицы показывают назначение проводника, а десятки — схему, к которой относится данный проводник. Если принять следующую систему маркировки:

УДУНТ (ДІІТ)

Единицы:

0 — нулевой провод трансформаторов тока или напряжения;
1 — ток или напряжение первой фазы (фазы А);
2 — ток или напряжение второй фазы (фазы В);
3 — ток или напряжение третьей фазы (фазы С);
4 — на отключение масляного выключателя или сигнал «отключено»;
5 — на включение масляного выключателя или сигнал «включено»;
6 — плюс постоянного тока;
7 — минус постоянного тока;
8 — от контактов одного реле на катушку следующего.



Фиг. 13. Маркировка проводов.

Десятки:

0 — токовые цепи измерительных приборов (нуль десятков обычно не пишется);
1 — цепи напряжения измерительных приборов или дистанционное управление;
2 — контроль изоляции или сигнализация положения масляного выключателя;
3 — максимальная защита;
4 — диференциальная защита;
5 — защита от замыкания на землю;
6 — газовая защита.

Таким образом цепь трансформатора тока первой фазы максимальной защиты будет иметь марку 31. Маркировка проводов фидера, снабженного максимальной защитой, амперметром и вольтметром, будет иметь вид, изображенный на фиг. 13.

Хорошо и правильно выполненная маркировка весьма облегчает проверку и наладку защиты, отыскание неисправностей

УДУНТ (ДІТ)

в схеме и т. п. Поэтому при наладке и первичной проверке схемы маркировка должна проверяться самым тщательным образом.

8. СЛУЖБА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Из изложенного выше видно, что релейная защита представляет ответственный участок энергетического хозяйства. Для правильной работы защитных устройств необходимо правильное включение их в работу и надлежащий уход во время эксплоатации с тем, чтобы при возникновении ненормального режима или аварии защитные устройства работали без отказа.

Для обслуживания защитных устройств на станциях и в сетевых районах создаются службы релейной защиты.

В защитные устройства обычно входят:

а) приборы защиты: реле, автоматы, указательные и сигнальные приспособления;

б) магистрали и подводка, обслуживающие защитные устройства: магистрали от аппаратов защиты до трансформаторов тока, магистрали от трансформаторов напряжения до предохранителей, обслуживающих защитные устройства, вся подводка постоянного тока от главного щита управления до соленоида отключения выключателя;

в) соленоид отключения выключателя;

г) трансформаторы тока для защитных устройств;

д) трансформаторы напряжения или их обмотки, которые обслуживают только защитные устройства.

На существующих установках Союза применены самые разнообразные виды защитной аппаратуры. Описание всех типов защит представляет невыполнимую задачу в объеме настоящей книги. Учитывая, что на вновь пускаемых установках применяется исключительно защитная аппаратура, производимая на заводах Союза, ниже приведено описание только этой аппаратуры.

При описании защит сетей и отдельных агрегатов (генераторов, трансформаторов, моторов и т. д.) приведены схемы, выполняемые на союзном оборудовании, в большинстве рекомендуемые Руководящими указаниями по релейной защите.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

9. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Существует два вида измерительных трансформаторов: трансформаторы напряжения, применяемые для измерения напряжения и трансформаторы тока, применяемые для измерения тока.

Измерительные трансформаторы применяются только в цепях переменного тока.

Основное назначение измерительных трансформаторов:

а) изоляция реле и измерительных приборов от цепей высокого напряжения, так как непосредственное включение их в цепь

УДУНТ (ДІТ)

высокого напряжения представляет опасность для жизни персонала, обслуживающего эти реле и приборы;

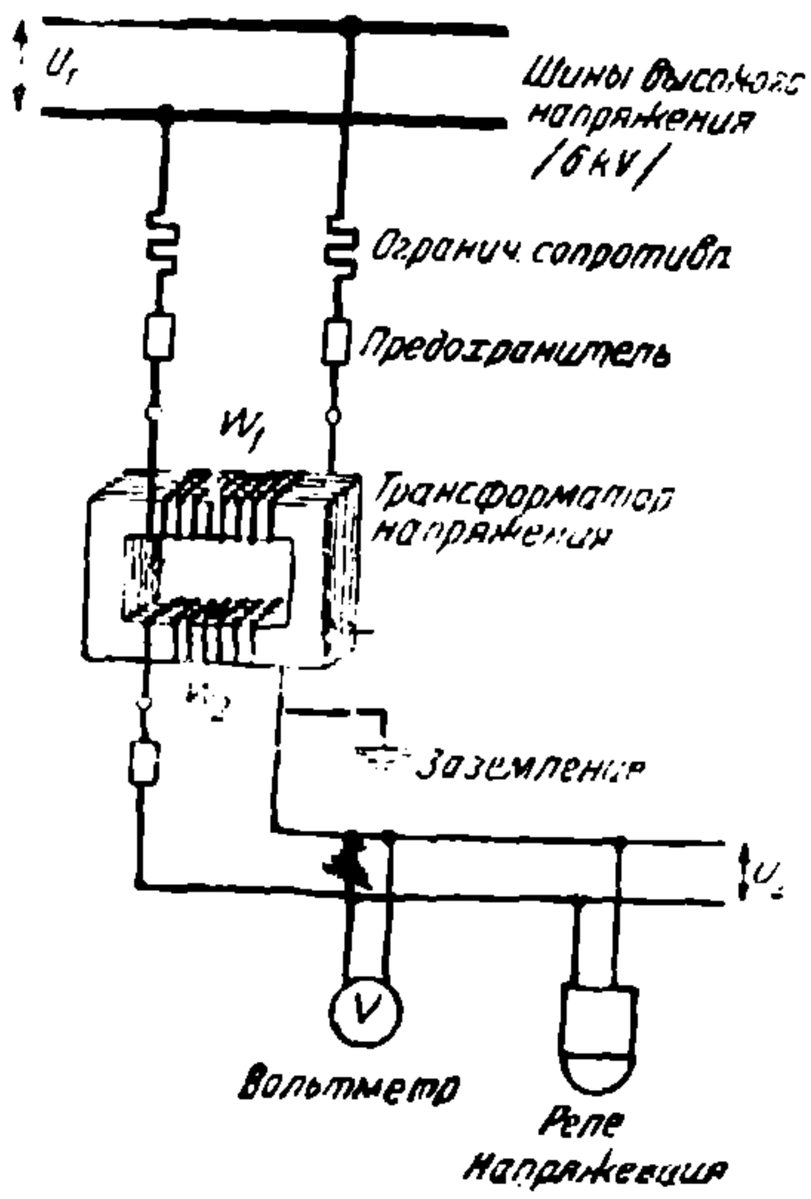
б) преобразование (уменьшение) измеряемой величины тока или напряжения до величины, удобной для непосредственного измерения.

По конструктивному выполнению трансформаторы тока и трансформаторы напряжения резко отличаются друг от друга.

10. ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Трансформаторы напряжения по выполнению и принципу действия почти не отличаются от силовых трансформаторов малой мощности.

На замкнутом железном сердечнике (фиг. 14), набранном из листовой трансформаторной стали, насажены две обмотки, хорошо изолированные друг от друга и от сердечника. Одна из этих обмоток — первичная *I* состоит из большого числа витков w_1 и присоединяется к тем точкам цепи переменного тока, между которыми измеряется напряжение. К вторичной обмотке *II*, состоящей из меньшего количества витков w_2, подключаются параллельно реле и измерительные приборы.



Фиг. 14. Устройство трансформатора напряжения и схема его включения.

Если к обмотке *I* подводить напряжение U_1 вольт, то в обмотке *II* наводится напряжение U_2 вольт. Напряжение вторичной обмотки — вторичное напряжение — приблизительно во столько раз меньше первичного, во сколько раз число витков вторичной обмотки w_2 будет меньше числа витков первичной обмотки w_1, т. е.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = n_н.$$

Отношение первичного напряжения U_1 к вторичному U_2 называется коэфициентом трансформации трансформатора напряжения ($n_н$).

На паспорте (на щитке) трансформатора напряжения коэфициент трансформации обозначается обычно в виде дроби, в числителе которой указано номинальное первичное напряжение в вольтах, а в знаменателе — номинальное вторичное напряжение, например, $\frac{3\,000\ в}{100\ в}$.

Номинальным первичным напряжением трансформатора напряжения называется то напряжение, на которое он рассчитан для обеспечения его нормальной работы.

Первичное рабочее напряжение может длительно превышать

УДУНТ (ДІІТ)

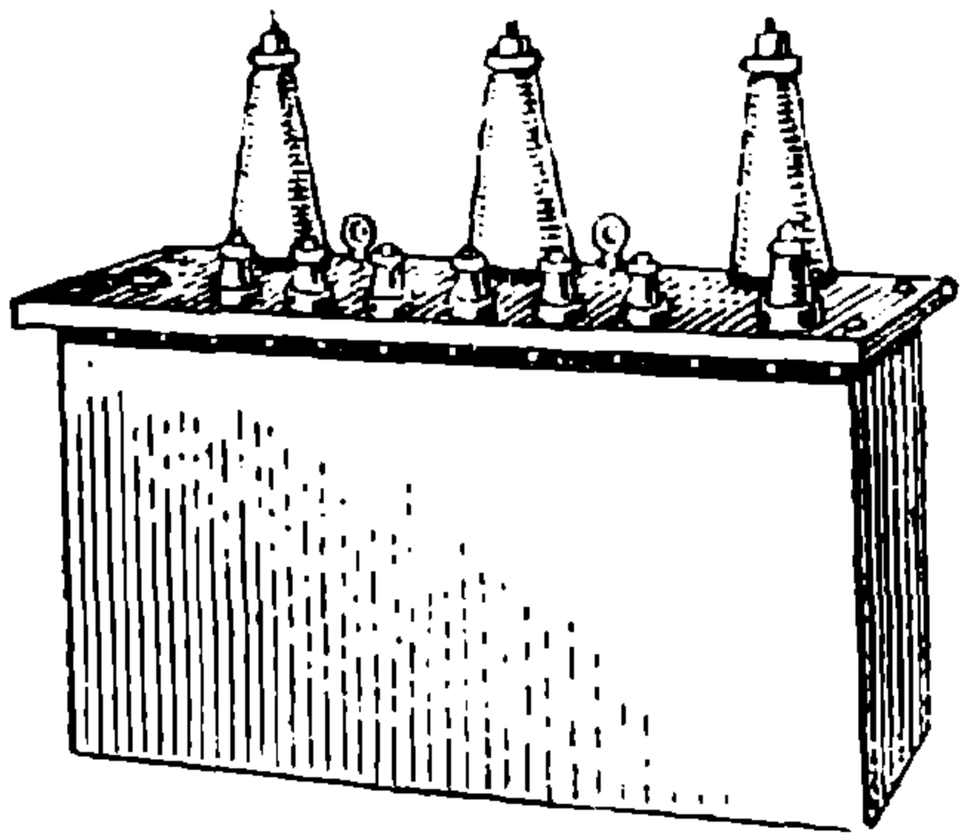
номинальное напряжение трансформатора не более чем на 10%.

В СССР трансформаторы напряжения изготовляются со стандартными коэфициентами трансформации согласно следующей шкале:

$$\frac{500\ в}{100\ в},\ \frac{3000\ в}{100\ в},\ \frac{6000\ в}{100\ в},\ \frac{10000\ в}{100\ в},$$

$$\frac{20000\ в}{100\ в},\ \frac{35000\ в}{100\ в},\ \frac{110000\ в}{100\ в}.$$

Номинальное вторичное напряжение выбрано равным 100 *в*, и на это напряжение обычно и изготовляются все обмотки напряжения измерительных приборов и реле.

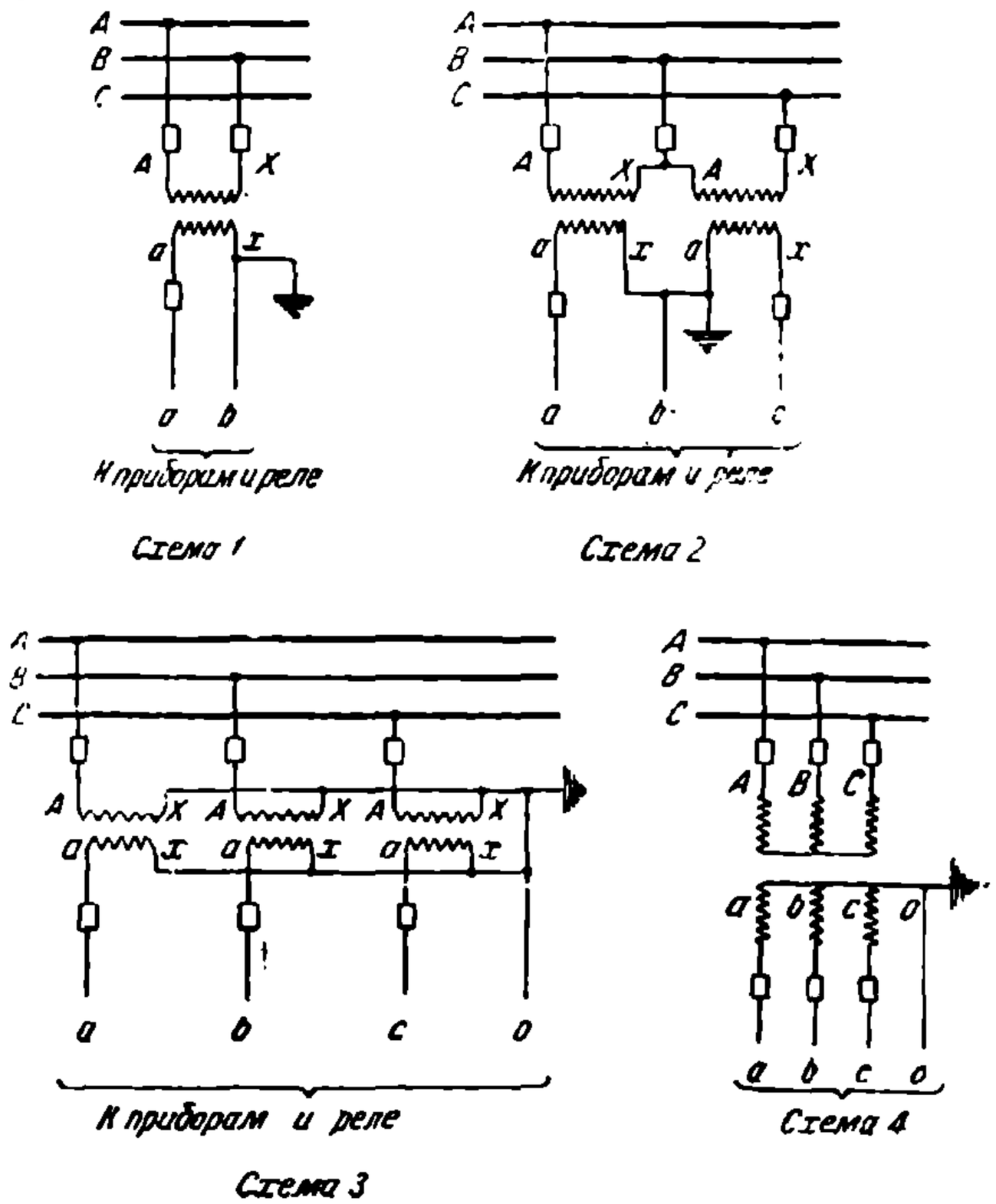


Фиг. 15. Трансформатор напряжения (трехфазный).

Трансформаторы напряжения выполняются для напряжения выше 3 000 *в* обычно закрытыми в кожухе, наполненном трансформаторным маслом. Внешний вид такого трансформатора для напряжения 6 000 *в* показан на фиг. 15. Для напряжений до 3 000 *в* трансформаторы напряжения изготовляются открытыми.

Для измерения в цепях трехфазного тока применяются однофазные и трехфазные трансформаторы напряжения.

На фиг. 16 показаны принципиальные схемы включения трансформаторов напряжения, часто применяемые на практике.



Фиг. 16. Схемы включения трансформаторов напряжения.

1 — однофазный трансформатор; *2* — два однофазных трансформатора, соединенных в открытый треугольник; *3* — три однофазных трансформатора, соединенных звездой; *4* — трехфазный трансформатор.

Помимо обычных трехфазных трехстержневых трансформаторов напряжения, для защиты и контроля изоляции применяются трехфазные пятистержневые трансформаторы напряжения. Особенностью этого

УДУНТ (ДІІТ)

трансформатора является наличие двух последовательно соединенных дополнительных обмоток, насаженных на крайние стержни. При нормальной работе на зажимах дополнительных обмоток напряжения нет. При замыкании на землю одной из фаз на зажимах этих обмоток появляется напряжение, которое используется для целей защиты или контроля при замыкании на землю.

Включение однофазных трансформаторов в разомкнутый треугольник, как и пятистержневой трансформатор, применяется для целей защиты и контроля при замыканиях на землю.

Для защиты трансформатора напряжения от коротких замыканий в измерительных приборах, реле или в соединительных проводах в цепь вторичной обмотки включают плавкие предохранители.

Один зажим вторичной обмотки трансформатора заземляется, чтобы при пробое изоляции между первичной и вторичной обмотками вторичная обмотка не оказалась под высоким напряжением, опасным для жизни человека. В заземленный провод предохранителей не ставится.

В целях защиты трансформатора напряжения от разрушения при повреждениях самого трансформатора и защиты всей установки от последствий короткого замыкания в цепь первичной обмотки также включают плавкие предохранители. Последовательно с предохранителями в этой цепи, как правило, ставятся специальные ограничительные сопротивления, включаемые до предохранителей (фиг. 14). Сопротивления предназначаются для уменьшения тока короткого замыкания, что облегчает действие предохранителя. Предохранители и ограничительные сопротивления для напряжения свыше 35 *кв* часто не применяются из-за трудности их конструктивного выполнения. В этом случае первичная обмотка трансформатора присоединяется непосредственно к шинам.

Выведенное выше значение коэфициента трансформации $n_U = \frac{U_1}{U_2}$ не является величиной, строго постоянной для данного трансформатора, а зависит от величины измеряемого первичного напряжения и от нагрузки, подключенной к вторичной обмотке. Отклонение коэфициента трансформации от номинального значения называется **погрешностью в коэфициенте трансформации или просто погрешностью в напряжении.**

По величинам допустимых погрешностей трансформаторы напряжения разбиваются на четыре класса точности (табл. 1).

Трансформаторы класса 0,2 применяются для точных измерений и в эксплоатации обычно не встречаются. Трансформаторы классов 0,5 и 1 наиболее широко применяются в распределительных устройствах для питания щитовых измерительных приборов (вольтметры, ваттметры) и всех типов реле, имеющих обмотки напряжения. Трансформаторы класса 3 применяются

УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 1

Наименование класса	Допустимая погрешность по напряжению в %	Допустимая угловая погрешность в минутах	Нагрузка во вторичной цепи в % от номинальной	Первичное напряжение в % от номинального
0,2	± 0,2	± 10	0—115	50—120
0,5	± 0,5	± 20	0—115	80—120
1	± 1,0	± 40	25—115	90—110
3	± 3,0	—	25—115	90—110

только для реле напряжения и сигнальных устройств.

Так как точность трансформатора зависит от величины нагрузки вторичной обмотки, то на паспорте трансформатора указывается номинальная мощность трансформатора в вольтамперах (*ва*), т. е. мощность, которая может быть снята с трансформатора при данном классе точности.

Помимо номинальной мощности на трансформаторе указывается предельная мощность, на которую может быть длительно нагружен трансформатор при условии, что перегрев не выйдет из допустимых пределов. Конечно, при этом трансформатор будет работать вне класса точности.

У трансформаторов напряжения 6 *кв* номинальная мощность равна 50—100 *ва*, а предельная 300—500 *ва*. У трансформаторов напряжения 110 *кв* предельная мощность доходит до 3 000 *ва*.

Трансформатор напряжения имеет также угловую погрешность, под которой понимается угол сдвига фаз между первичным и вторичным напряжением. Угловая погрешность имеет значение для ваттметров, счетчиков, реле мощности и прочих приборов, реагирующих на ток, напряжение и угол сдвига между ними. Ошибка в угле не оказывает влияния на работу простых вольтметров и реле напряжения.

11. ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Первичная обмотка трансформатора тока состоит из малого числа витков толстой проволоки, которая включается последовательно в цепь измеряемого тока (фиг. 17). К вторичной обмотке подключаются последовательно соединенные токовые обмотки измерительных приборов и реле. Первичная и вторичная обмотки хорошо изолированы друг от друга и относительно железного сердечника. Поэтому исключена возможность появления высокого напряжения, под которым находится первичная обмотка, в цепи вторичной обмотки. По условиям безопасности один из концов вторичной обмотки заземляется.

При протекании тока по первичной обмотке во вторичной обмотке будет протекать индуктированный ток, величина которого определяется соотношением количества витков первичной и вторичной обмоток и величиной измеряемого тока, протекающего по первичной обмотке. Вторичный ток i_2 меньше тока

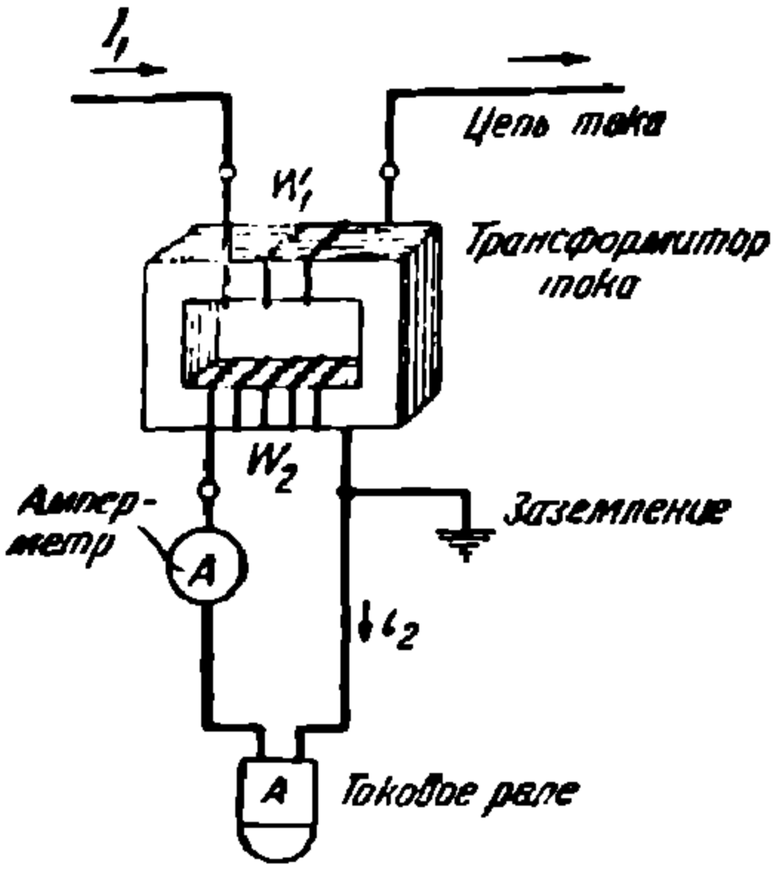
УДУНТ (ДІІТ)

первичной цепи I_1 приблизительно во столько же раз, во сколько раз число витков вторичной обмотки w_2 больше числа витков первичной обмотки w_1:

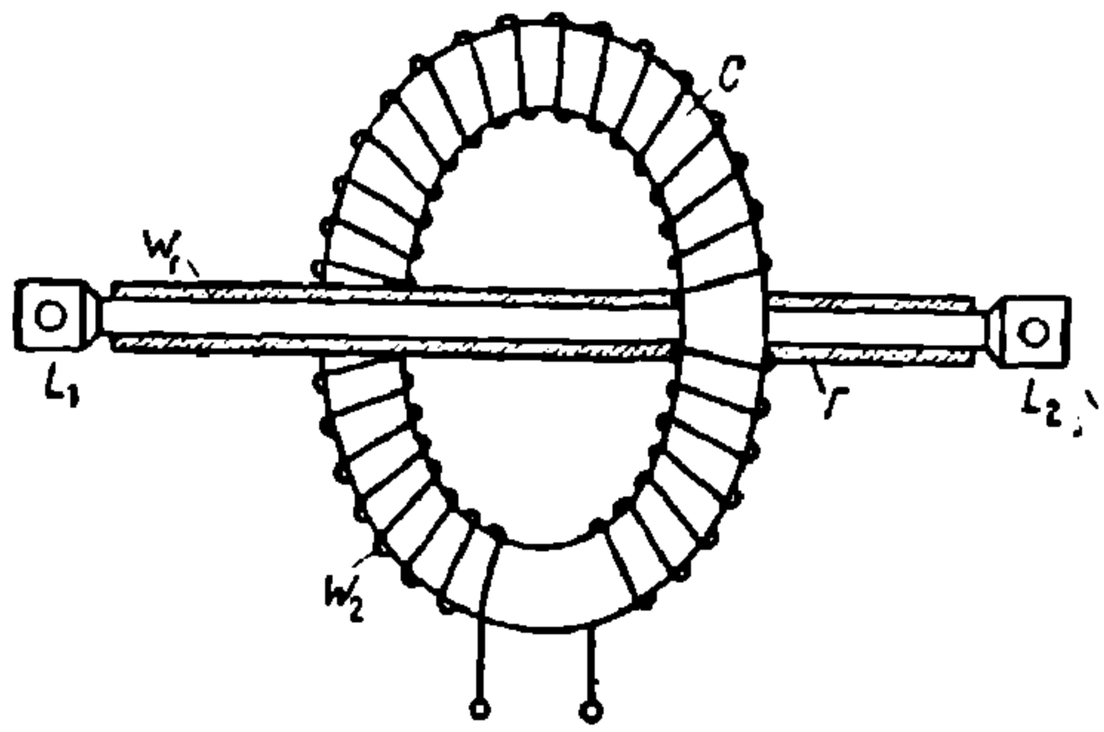
$$\frac{I_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1} = n_m.$$

Отношение тока первичной цепи к току вторичной цепи называется коэфициентом трансформации (n_m) трансформатора тока.

Коэфициент трансформации трансформаторов тока обозначается в виде дроби, в числителе которой указан номинальный первичный ток в амперах, а в знаменателе — номинальный вторичный ток, например, 1 000/5 а.



Фиг. 17. Устройство трансформатора тока и схема его включения.



Фиг. 18. Однопроводный трансформатор тока.

Стандартной величиной вторичного номинального тока выбран ток 5 а. На эту величину тока, как правило, рассчитываются токовые обмотки реле и измерительных приборов, подключаемых к трансформаторам тока [1].

В СССР трансформаторы тока строятся со следующими стандартными коэфициентами трансформации:

$$\frac{5\,a}{5\,a},\ \frac{7{,}5\,a}{5\,a},\ \frac{10\,a}{5\,a},\ \frac{20\,a}{5\,a},\ \frac{30\,a}{5\,a},\ \frac{40\,a}{5\,a},\ \frac{50\,a}{5\,a},\ \frac{75\,a}{5\,a},\ \frac{100\,a}{5\,a},$$

$$\frac{150\,a}{5\,a},\ \frac{200\,a}{5\,a},\ \frac{300\,a}{5\,a},\ \frac{400\,a}{5\,a},\ \frac{600\,a}{5\,a},\ \frac{750\,a}{5\,a},\ \frac{1\,000\,a}{5\,a},\ \frac{1\,500\,a}{5\,a},\ \frac{2\,000\,a}{5\,a},$$

$$\frac{3\,000\,a}{5\,a},\ \frac{4\,000\,a}{5\,a}.$$

Конструкции трансформаторов тока весьма разнообразны.

На фиг. 18 показан однопроводный проходной трансформатор тока. Однопроводным этот трансформатор называется по-

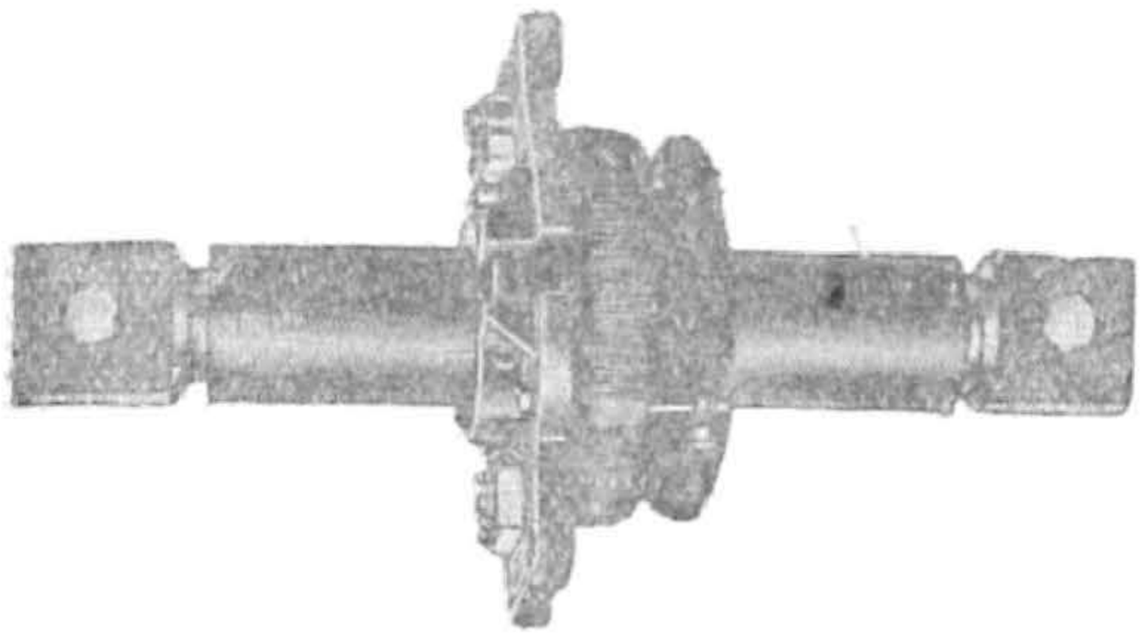
---

[1] Помимо тока в 5 *а* стандартной величиной вторичного тока считается ток в 1 *а*. Трансформаторы тока с вторичным током в 1 *а* в Союзе мало распространены.

УДУНТ (ДІІТ)

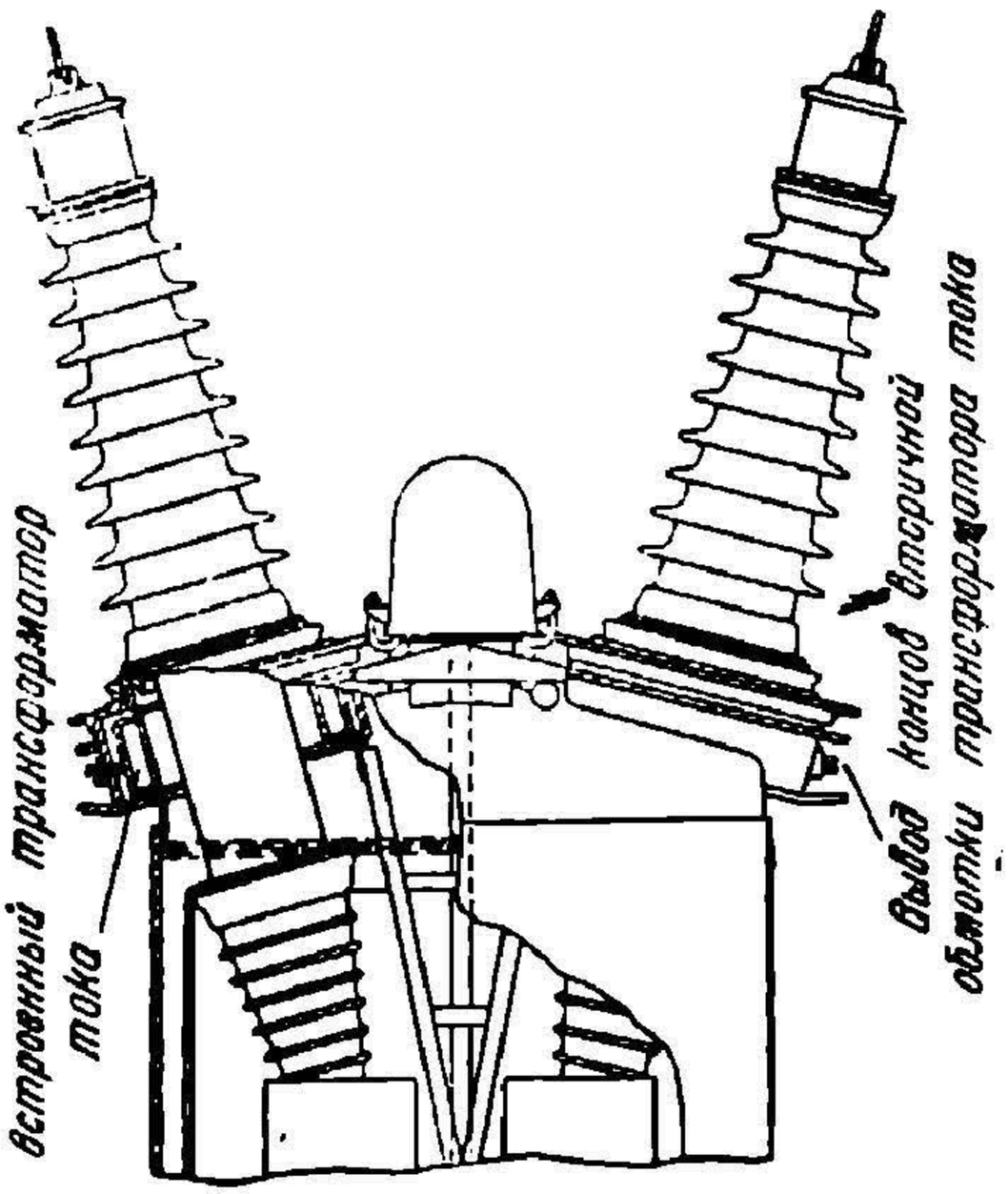
тому, что первичная обмотка состоит из одного провода w_1. Вторичная обмотка этого трансформатора w_2 намотана на железном сердечнике (керне) С.

Часто в одном трансформаторе тока монтируются два сердечника с самостоятельными вторичными обмотками. Разрез такого трансформатора тока показан на фиг. 19. Такой трансформатор называется двухкерновым и применяется для включения двух раздельных вторичных цепей; например, от одной обмотки питаются измерительные приборы, а от другой — реле.

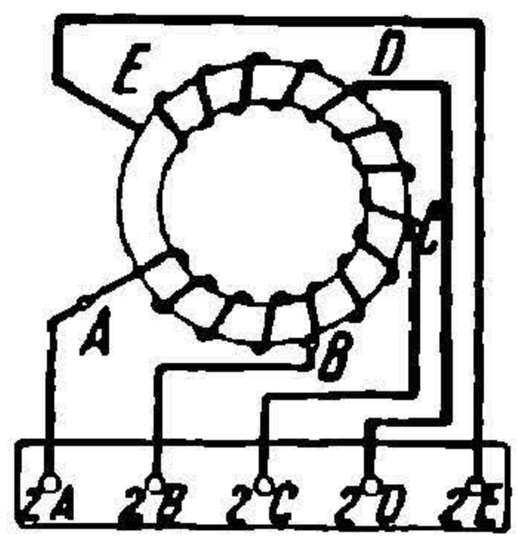


Фиг. 19. Двухкерновый трансформатор тока.

На фиг. 20 показан трансформатор тока, встроенный во втулку высоковольтного масляного выключателя, так называемый бушинг. Первичной обмоткой этого трансформатора является токоведущий стержень, проходящий через втулку выключателя. Вторичная обмотка намотана на магнитопровод (железный керн), укрепленный на проходной втулке у крышки выключателя. В отличие от обычных трансформаторов тока вторичная обмотка бу-



Фиг. 20. Встроенный трансформатор тока.



Фиг. 21. Вторичная обмотка встроенного трансформатора тока.

шингов имеет отводы (фиг. 21). При помощи этих отводов можно включать различное количество витков вторичной обмотки w_2 и этим изменять коэфициент трансформации

$$n_m = \frac{w_2}{w_1}.$$

Однопроводные трансформаторы тока обладают более высокой термической и динамической устойчивостью, т. е. безопасно выдерживают тепловой и динамический эффект тока короткого

УГЛУНТ (ДПТ)

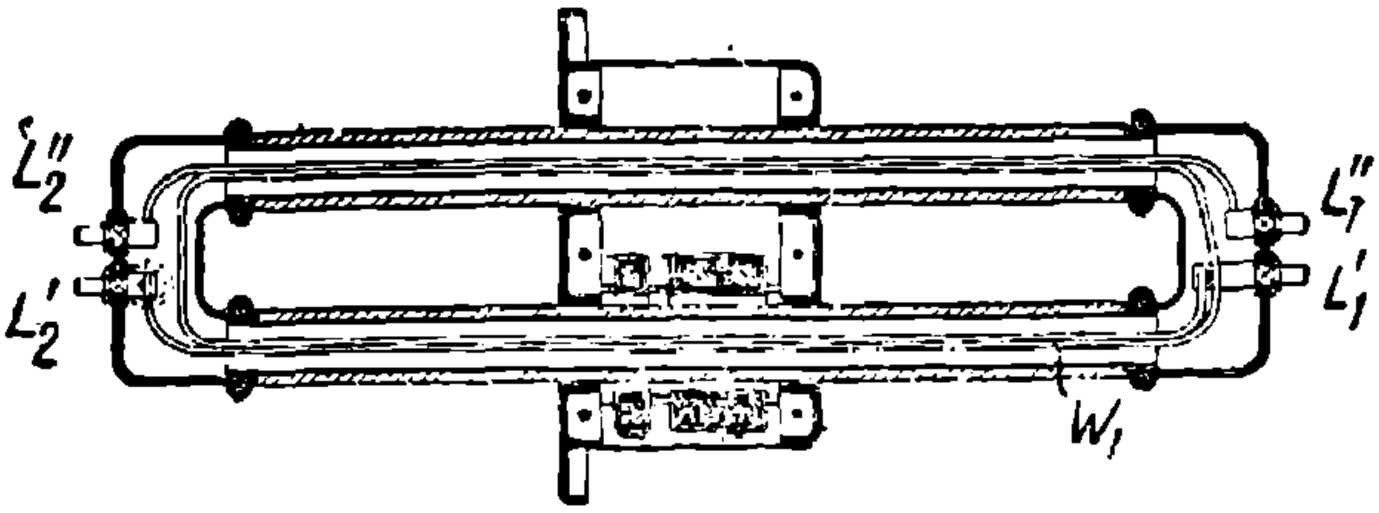
замыкания, так как первичная обмотка выполнена только из одного массивного провода. Недостатком этого типа трансформаторов является невозможность построения точных трансформаторов с малым коэфициентом трансформации, например, 50/5 *а*. Обычно точные однопроводные трансформаторы тока строятся с коэфициентом трансформации от 300/5 *а* и выше.

Для получения большей точности трансформатора тока необходимо увеличивать число ампервитков первичной обмотки, т. е. произведение числа витков на первичный ток.

У однопроводных трансформаторов тока число витков первичной обмотки $W_1 = 1$ и, следовательно, число ампервитков первичной обмотки равно первичному току:

$$A_1 W_1 = A_1 \cdot 1.$$

Поэтому с уменьшением номинального первичного тока уменьшается и точность трансформатора. Для повышения точности трансформатора при малых номинальных токах первичную обмотку делают из нескольких витков.



Фиг. 22. Многовитковый трансформатор тока.

На фиг. 22 показан трансформатор проходного типа. Выводы первичной обмотки у этого трансформатора L_1 и L_2 выполняются таким образом, что необходимое число витков первичной обмотки может быть получено при использовании трансформатора как проходной втулки (зажимы L'_1 и L'_2) или как опорного трансформатора, когда первичный провод подходит и отходит с одной и той же стороны трансформатора (зажимы L'_1 и L''_1 при закороченных L'_2 и L''_2).

Многовитковые трансформаторы тока менее устойчивы в отношении токов короткого замыкания из-за больших динамических усилий, развиваемых между витками.

Так как трансформаторы тока включаются последовательно с проводами линий передачи, то наряду с токами короткого замыкания они могут подвергаться действию перенапряжений. При этом между отдельными витками первичной обмотки трансформатора могут образоваться большие напряжения, ведущие к пробою междувитковой изоляции. Чем больше витков в первичной обмотке трансформатора, тем бóльшие напряжения образуются между отдельными витками трансформатора.

Для избежания пробоя между витками или между зажимами трансформатора при перенапряжениях, многовитковые трансформаторы защищаются разрядниками или защитными сопротивлениями, которые включаются между зажимами трансформатора (фиг. 23). При проверках трансформаторов тока необходимо установить, не закорачивает ли разрядник первичную обмотку от неосторожного обращения при монтаже.

УДУНТ (ДІІТ)

В зависимости от погрешности в коэфициенте трансформации трансформаторы тока разделяются на пять классов точности (табл. 2).

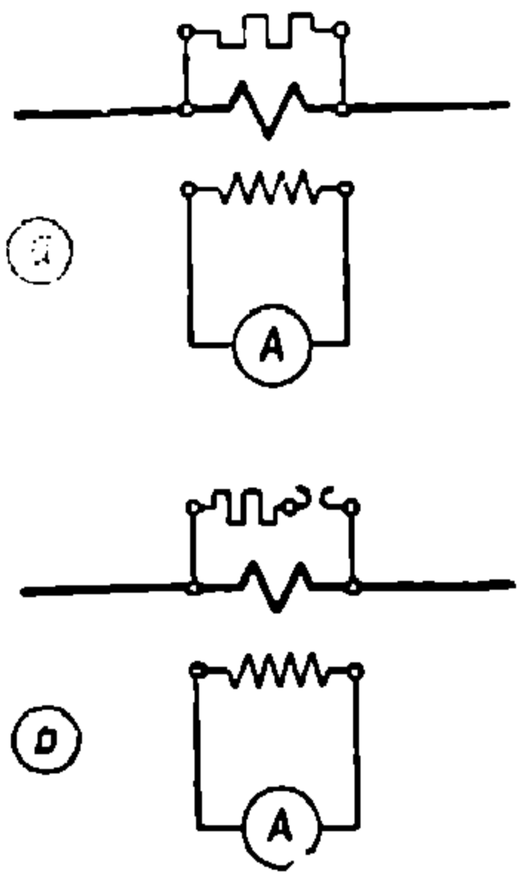
ТАБЛИЦА 2

Наименование класса	Первичный ток в % от номинального	Наибольшие значения погрешностей		Вторичная нагрузка
		Погрешность в коэфициенте трансформации в %	Угловая погрешность в минутах	
0,2	От 120 до 100	± 0,2	± 10	Для вторичной нагрузки в пределах от 25 до 100% номинального значения и вторичного коэфициента мощности $\cos\varphi = 0{,}8$. При этом значение вторичной нагрузки должно быть не ниже 0,15 *ом* для трансформаторов тока с номинальным вторичным током 5 *а* и не ниже 1,5 *ом* для трансформаторов тока с номинальным вторичным током 1 *а*
	20	± 0,35	± 15	
	10	± 0,5	± 20	
0,5	От 120 до 100	± 0,5	± 40	
	20	± 0,75	± 50	
	10	± 1,0	± 60	
1	От 120 до 100	± 1,0	± 80	
	20	± 1,5	± 100	
	10	± 2,0	± 120	
3	От 120 до 50	± 3,0	Не стандартизуется	
10	От 120 до 50	± 10,0		

Трансформаторы класса 0,2 применяются только для весьма точных лабораторных и контрольных измерений. Трансформаторы класса 0,5 — для точных измерений мощности и энергии в эксплоатации (ваттметры, счетчики), трансформаторы класса 1 — для обычных измерений в эксплоатации и для всех типов защитных реле.

Трансформаторы класса 3 применяются для измерений тока и для реле максимального тока, а трансформаторы класса 10 — только для неточных реле максимальной защиты.

При применении трансформаторов тока для защиты особенно важным является, чтобы погрешности не увеличивались при протекании через трансформатор тока короткого замыкания.



Фиг. 23. Защита трансформаторов тока от перенапряжений.

Степень точности трасформатора в сильной степени зависит от величины нагрузки вторичной обмотки. Нагрузка вторичной цепи состоит из последовательно соединенных токовых катушек реле, приборов и соединительных проводов. Величина нагрузки измеряется в омах или вольтамперах. Нагрузку, определенную в вольтамперах, обычно относят к номинальному вторичному току 5 *а*, т. е.

$$U \cdot I = (z \cdot I)\ I = I^2 z = 25z,$$

УДУНТ (ДІІТ)

где I — номинальный вторичный ток трансформатора,
z — сопротивление цепи (импеданц) присоединений к вторичной обмотке в омах.

Пример. К трансформатору тока класса 1 мощностью 15 *ва* присоединено максимальное токовое реле, потребляющее 5 *ва* (при 5 *а*). Присоединение осуществлено при помощи медных проводов сечением 2,5 *мм*^{2}, длиной 30 *м*. Требуется определить нагрузку трансформатора тока.

Определяем сопротивление проводов (прямого и обратного):

$$R = \frac{2l}{57q} = \frac{2 \cdot 30}{57 \cdot 2{,}5} = 0{,}42 \text{ ом.}$$

Нагрузка трансформатора тока в вольтамперах от цепи проводов при 5 *а* вторичного тока составит:

$$I^2 \cdot R = 5^2 \cdot 0{,}42 = 10{,}5 \text{ ва.}$$

Общая нагрузка на трансформатор тока (реле и провода) будет:

$$5 \text{ ва} + 10{,}5 \text{ ва} = 15{,}5 \text{ ва.}$$

Вторичная нагрузка на трансформатор тока соответствует допустимой.

На паспорте трансформатора обозначается его номинальная нагрузка, т. е. максимальная нагрузка, при которой погрешности трансформатора тока не выходят из пределов, допускаемых для данного класса точности.

Обычно допускаемые нагрузки для трансформаторов тока лежат в пределах 15—50 *ва*.

Так как вторичная обмотка трансформатора тока замкнута на токовые катушки реле и приборов, сопротивление которых очень мало, то нормальным режимом трансформатора тока является «режим короткого замыкания». Размыкание вторичной цепи трансформатора тока при протекании тока по первичной обмотке вызывает на разомкнутой обмотке очень высокое напряжение, опасное для жизни человека и для целости изоляции цепи. Поэтому размыкать вторичную обмотку трансформатора при наличии тока в первичной обмотке ни в коем случае не разрешается. Если нужно снять какой-либо измерительный прибор или реле, включенные на трансформатор тока, то предварительно надо замкнуть место будущего разрыва так, чтобы после их отключения трансформатор тока остался замкнутым накоротко.

Схемы включения трансформаторов тока в цепи трехфазного тока[1] весьма разнообразны и зависят от выбранного типа релейной защиты. На фиг. 24 показаны наиболее часто применяемые схемы включения трансформаторов тока. На схеме *а* показано включение трансформаторов только в две фазы. Такая

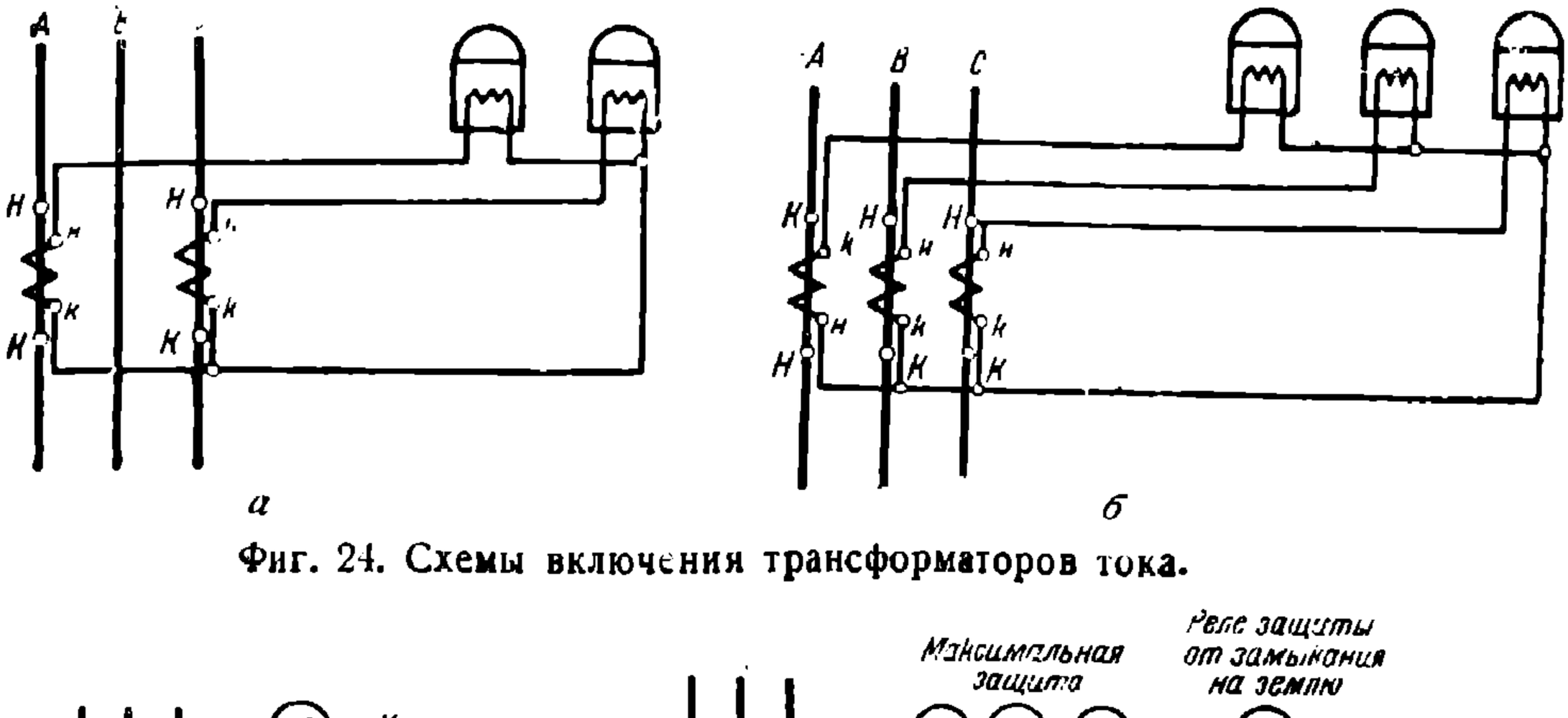
[1] Под схемами включения подразумевается соединение вторичных обмоток трансформаторов тока.

УДУНТ (ДІІТ)

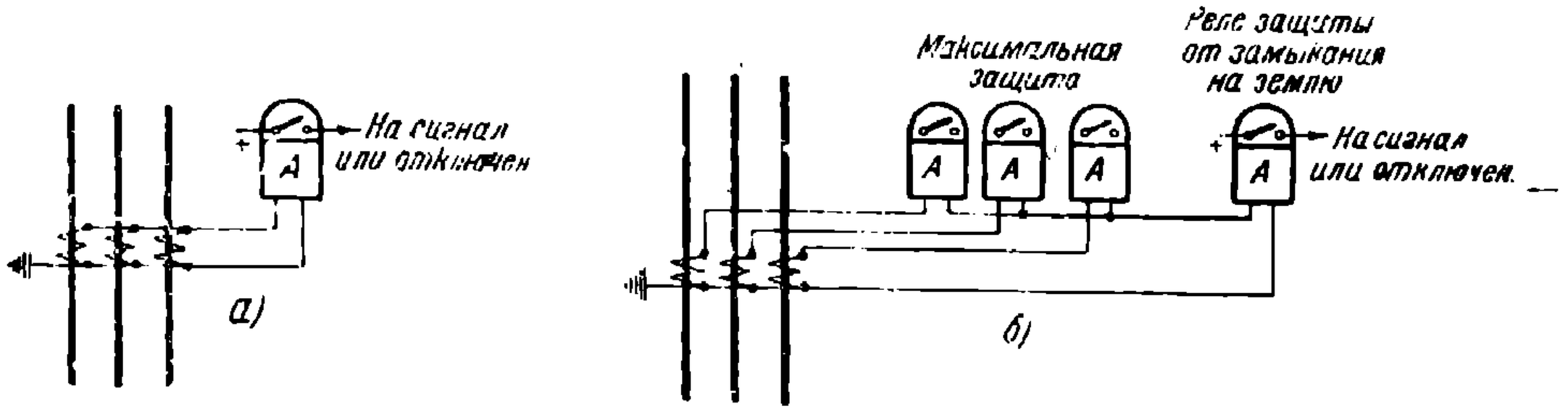
схема применима только для защиты от междуфазовых повреждений. Указанная схема называется включением в неполную звезду.

На схеме *б* показано включение трансформаторов тока в звезду. Такая схема реагирует на все виды междуфазовых коротких замыканий и на однофазные замыкания на землю.

Когда ток замыкания на землю имеет величину, значительно меньшую тока междуфазового короткого замыкания, для защиты от однофазных замыканий на землю применяют схему, изображенную на фиг. 25, *а* — схему Гольмгрина. Вторичные обмотки трех трансформаторов тока соединены параллельно



Фиг. 24. Схемы включения трансформаторов тока.



Фиг. 25. Схемы защиты при замыканиях на землю.

и к ним присоединено реле. При нормальном режиме работы сумма токов, проходящих по первичным обмоткам трансформаторов тока, равна нулю. Сумма токов во вторичных обмотках трансформатора будет также равна нулю и, поскольку эти обмотки соединены параллельно, в реле ток не пойдет. При трехфазных и двухфазных коротких замыканиях сумма токов отдельных фаз также будет равна нулю и поэтому реле не будет реагировать на междуфазовые замыкания.

При замыкании на землю одной из фаз по заземленной фазе кроме тока нагрузки будет проходить также ток однофазного замыкания на землю. Значит через трансформатор тока, установленный на заземленной фазе, будет протекать ток больший, чем в двух других фазах. Тогда сумма токов не будет равна нулю и через реле пойдет ток замыкания на землю заземленной фазы и защита сработает.

[redacted] № 104133

УДУНТ (ДИТ)

На фиг. 25, *б* показано включение реле от замыкания на землю в цепь реле максимальной защиты.

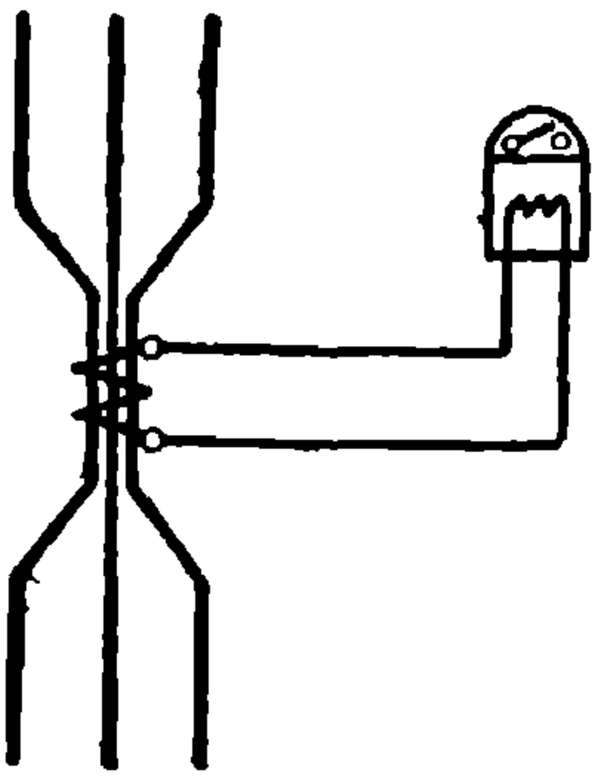
При очень малом значении тока заземления коэфициент трансформации трансформаторов тока необходимо применять возможно меньший, чтобы во вторичной цепи проходил ток, достаточный для действия реле. Например, при коэфициенте трансформации 1 500/5 *а* и токе заземления 60 *а* вторичный ток будет:

$$\frac{60 \cdot 5}{1\,500} = 0{,}2a.$$

Величина номинального первичного тока трансформатора выбирается по условиям тока нормальной нагрузки и ее уменьшать нельзя. Уменьшение коэфициента трансформации для схемы Гольмгрина достигается за счет увеличения вторичного тока, например, при коэфициенте трансформации 1 500/10 *а* вторичный ток будет в два раз большим, т. е.:

$$\frac{60 \cdot 10}{1\,500} = 0{,}4a.$$

Поэтому для трансформаторов тока земляной защиты номинальную величину вторичного тока часто выбирают равной 10 *а* и выше. На трансформаторах тока союзного производства, специально изготовляемых для схем защиты от замыканий на землю, ставится вместо класса точности буква З (не смешивать с цифрой). При изготовлении этих специальных трансформаторов особое внимание обращается на идентичность их характеристик при сквозных токах короткого замыкания.



Фиг. 26. Схема трансформатора Ферранти.

Для дифференциальных защит также изготовляются специальные трансформаторы тока класса Д.

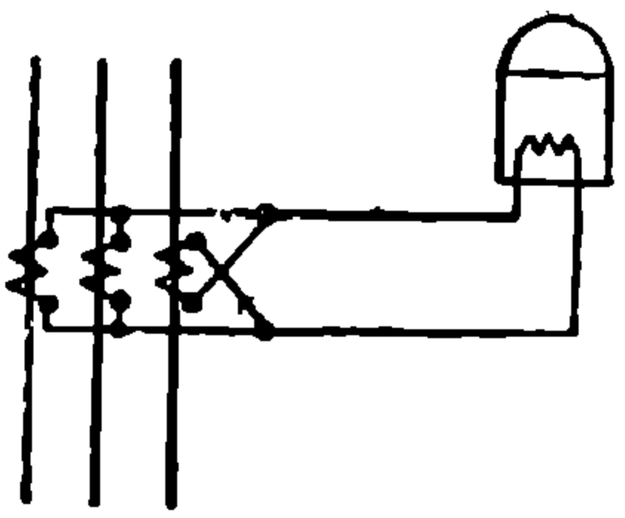
В последнее время для защиты от замыкания на землю стали применяться трансформаторы тока типа Ферранти.

Схема такого трансформатора изображена на фиг. 26. Конструктивно трансформатор Ферранти выполняется в виде сердечника с вторичной обмоткой, охватывающего все три фазы защищаемого фидера. Во время нормальной работы сумма токов трех фаз первичной обмотки равна нулю и во вторичной обмотке тока не индуктируется. При протекании тока замыкания на землю во вторичной обмотке появляется ток, вызывающий срабатывание реле. Основным достоинством трансформатора Ферранти является возможность получения пониженного коэфициента трансформации, так как он не зависит от номинального тока первичной цепи.

УДУНТ (ДІІТ)

12. ОДНОПОЛЯРНЫЕ ЗАЖИМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

При включении трансформаторов тока и напряжения очень важно правильное включение концов вторичной обмотки. Например, если при включении трансформаторов по схеме Гольмгрина (фиг. 25а) включить концы одной из обмоток наоборот, как это, например, показано на фиг. 27, то в реле будет проходить ток во время нормального режима, так как суммирования вторичных токов не произойдет. Для правильного включения обмоток трансформатора необходимо знать однополярные зажимы первичной и вторичной обмоток.

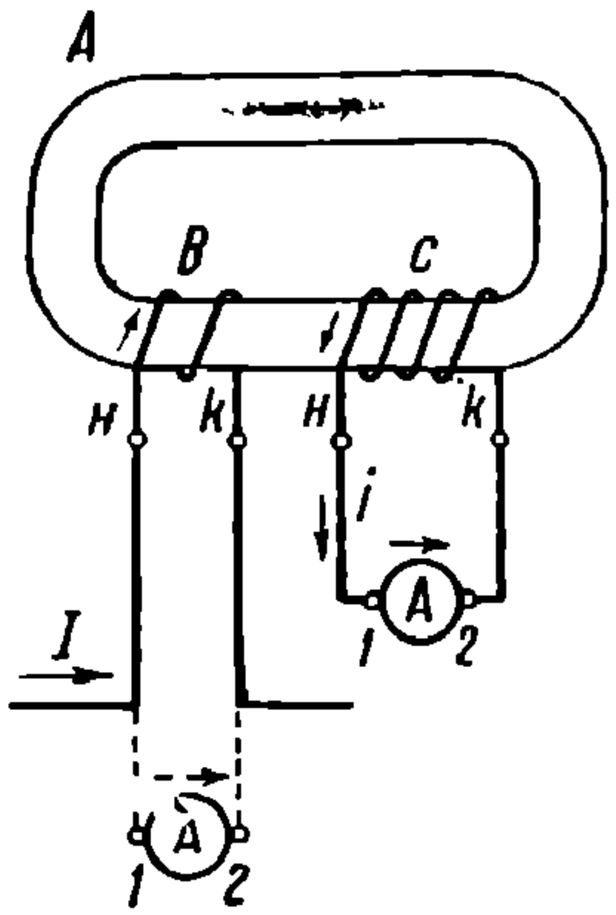


Фиг. 27. Неверное включение схемы Гольмгрина.

Представим себе трансформатор тока, первичная обмотка которого обтекается переменным током I, а вторичная обмотка замкнута на амперметр (фиг. 28). Ток i в амперметре будет, очевидно,

$$i = \frac{I}{n_m},$$

где n_m — коэфициент трансформации данного трансформатора тока. Спрашивается, каково будет взаимное направление токов?



Фиг. 28.

Для того чтобы ответить на этот вопрос, нужно знать направления намотки обеих обмоток (первичной и вторичной). Если направление намотки обеих обмоток одинаково, то в момент, когда ток I входит в начало первичной обмотки, ток i будет выходить из начала вторичной обмотки (фиг. 28). Поэтому направление тока в амперметре, приключенном к вторичной обмотке, будет таким же, какое было бы, если бы этот амперметр подключить вместо первичной обмотки трансформатора тока — зажимом *1* вместо начала, а зажимом *2* вместо конца первичной обмотки, как показано пунктиром на фиг. 28.

В данном случае зажимы трансформатора тока, к которым приключены начала первичной и вторичной обмоток, называются зажимами одинаковой полярности (однополярными зажимами).

У трансформаторов тока, изготовленных в СССР, зажимы первичной обмотки обозначаются буквами $Л_1$ и $Л_2$ («линейные зажимы»), а зажимы вторичной обмотки обозначаются буквами $И_1$ и $И_2$ («измерительные», т. е. зажимы, к которым подключаются измерительные приборы). При этом однополярными являются зажимы $Л_1$ и $И_1$, а также $Л_2$ и $И_2$.

УДУНТ (ДІІТ)

На трансформаторах напряжения однополярные зажимы обозначаются соответственно буквами *A* и *a*, а также *X* и *x* (фиг. 16).

При вычерчивании схемы однополярные зажимы часто помечают звездочками (фиг. 27). Иногда при вычерчивании схем обозначений однополярных зажимов не делают, тогда подразумевается, что однополярные зажимы расположены ближе друг к другу.

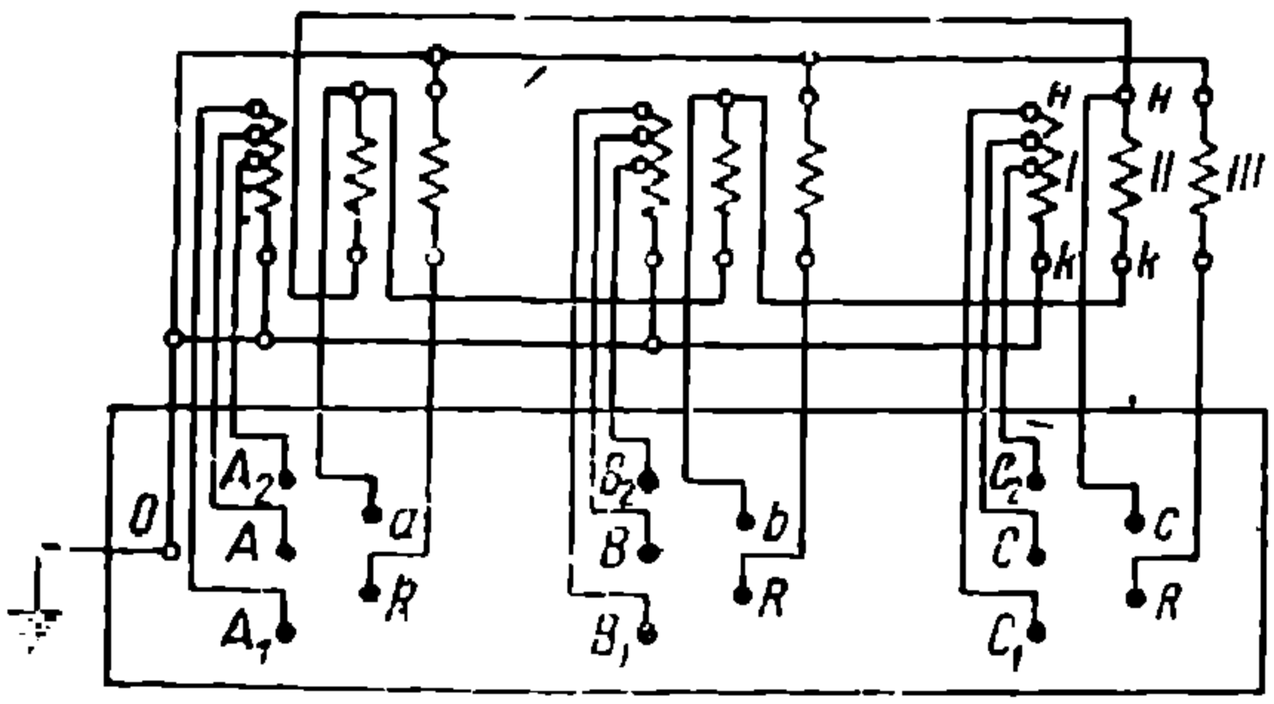
13. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

Промежуточные трансформаторы и автотрансформаторы тока применяются в дифференциальных защитах для выравнивания тока небаланса трансформаторов тока (стр. 154).

Применением промежуточных трансформаторов достигается уравнивание вторичных токов трансформаторов тока как по величине, так и по фазе. Поэтому трансформаторы тока дифференциальной защиты соединяются в звезду с обеих сторон защищаемого трансформатора.

Автотрансформаторы производят уравнивание вторичных токов только по величине. В этом случае выравнивание токов по фазе производится соответствующим включением вторичных обмоток трансформаторов тока.

Промежуточный трансформатор ТП завода ХЭМЗ представляет собой трехфазный трансформатор, каждая фаза которого имеет три обмотки. Первичная и вторичная обмотки присоединяются к соответствующим трансформаторам тока, третья обмотка присоединяется к реле.



Фиг. 29. Схема внутренних соединений промежуточного трансформатора ТП.

Схема внутренних соединений и схема включения промежуточного трансформатора показаны на фиг. 29 и 30.

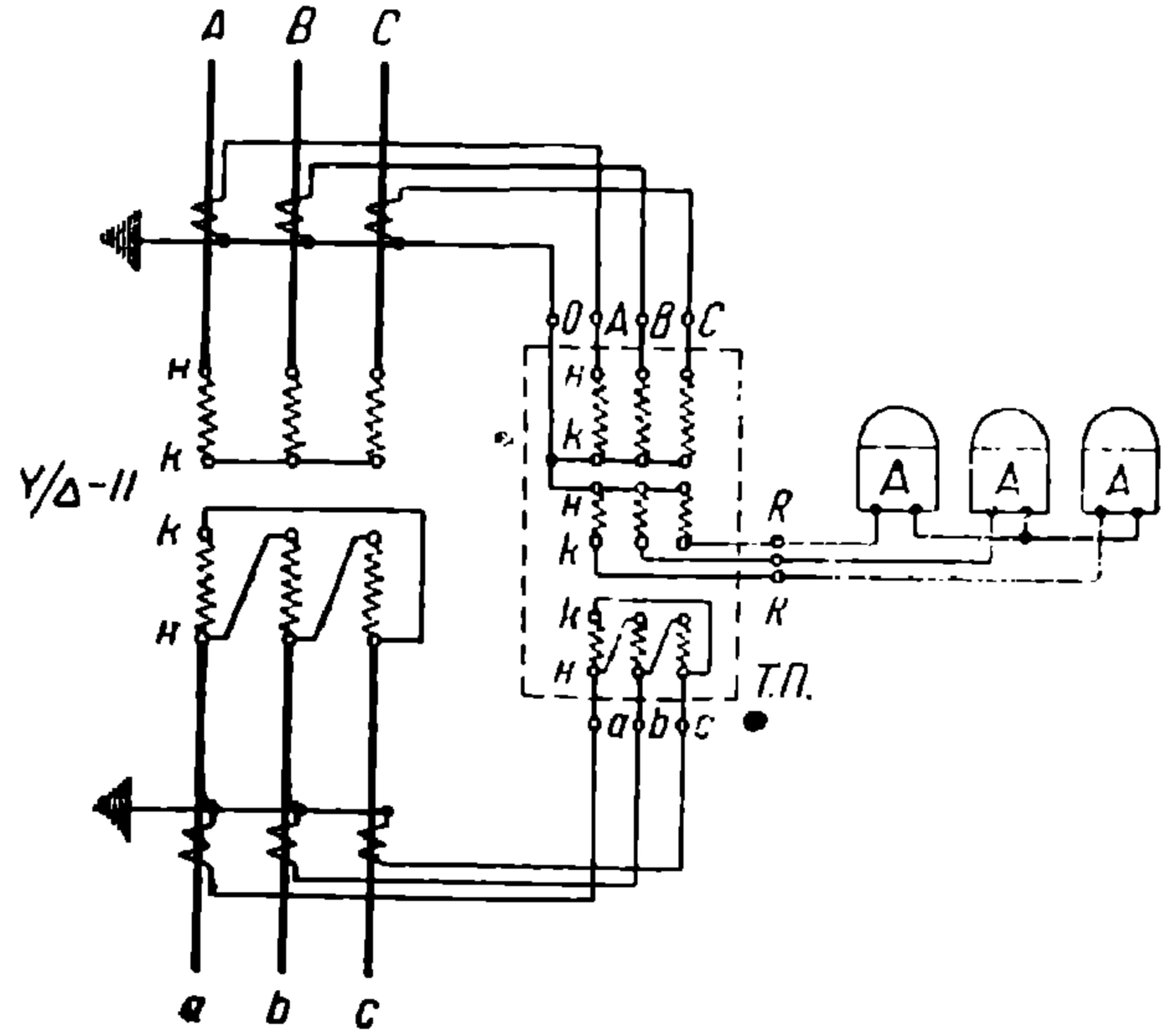
Обмотки промежуточного трансформатора соединяются по такой же схеме, как и обмотки защищаемого силового трансформатора, чем и достигается выравнивание вторичных токов трансформаторов тока по фазе. Уравнивание токов по величине достигается при помощи отпаек в первичной обмотке трансформатора.

Коэфициент трансформации и схема внутренних соединений обмоток трансформатора делались заводом различно для каждого индивидуального случая. Обмотка трансформатора рассчитана на номинальный ток 5 *а*, выдерживает длительно 10 *а*.

УДУНТ (ДІТ)

Трансформатор ТП часто имеет плохой внутренний монтаж, что приводит к обрывам и, следовательно, к неверным действиям дифференциальной защиты.

В настоящее время трансформаторы ТП с производства сняты и заводом производятся только автотрансформаторы.



Фиг. 30. Схема включения промежуточного трансформатора ТП.

Автотрансформатор ВУ-25 завода ХЭМЗ. Схема внутренних соединений и схема включения автотрансформатора показаны на фиг. 31 и 32.

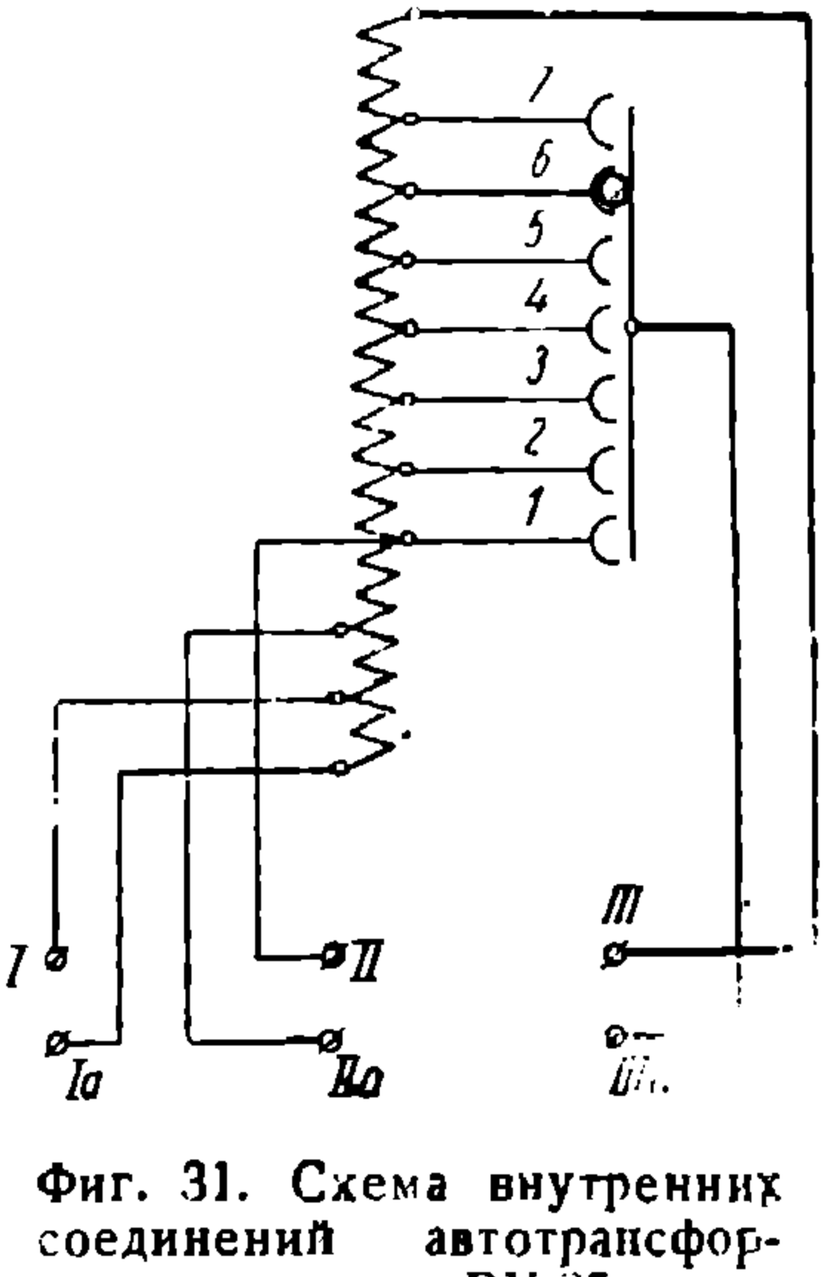
Автотрансформатор ВУ-25 выполняется однофазным. Отводы от обмотки автотрансформатора присоединяются к штепсельному мостику и к зажимам, расположенным на кожухе.

Регулирование производится подключением отводов к определенным зажимам и перестановкой штепселя.

Например, при осуществлении дифференциальной защиты трансформатора 6,3/38 *кв* мы получили следующие вторичные токи трансформаторов тока: на стороне 6,3 *кв* — 5 *а*; на стороне 38 *кв* — 8 *а*.

Для того чтобы уравнять эти токи по величине, необходимо при помощи автотрансформатора уменьшить вторичный ток от трансформаторов тока на стороне 38 *кв* с 8 до 5 *а*.

Чтобы определить зажимы и положение штепселя автотрансформатора, подсчитываем необходимую величину коэфициента трансформации автотрансформатора:



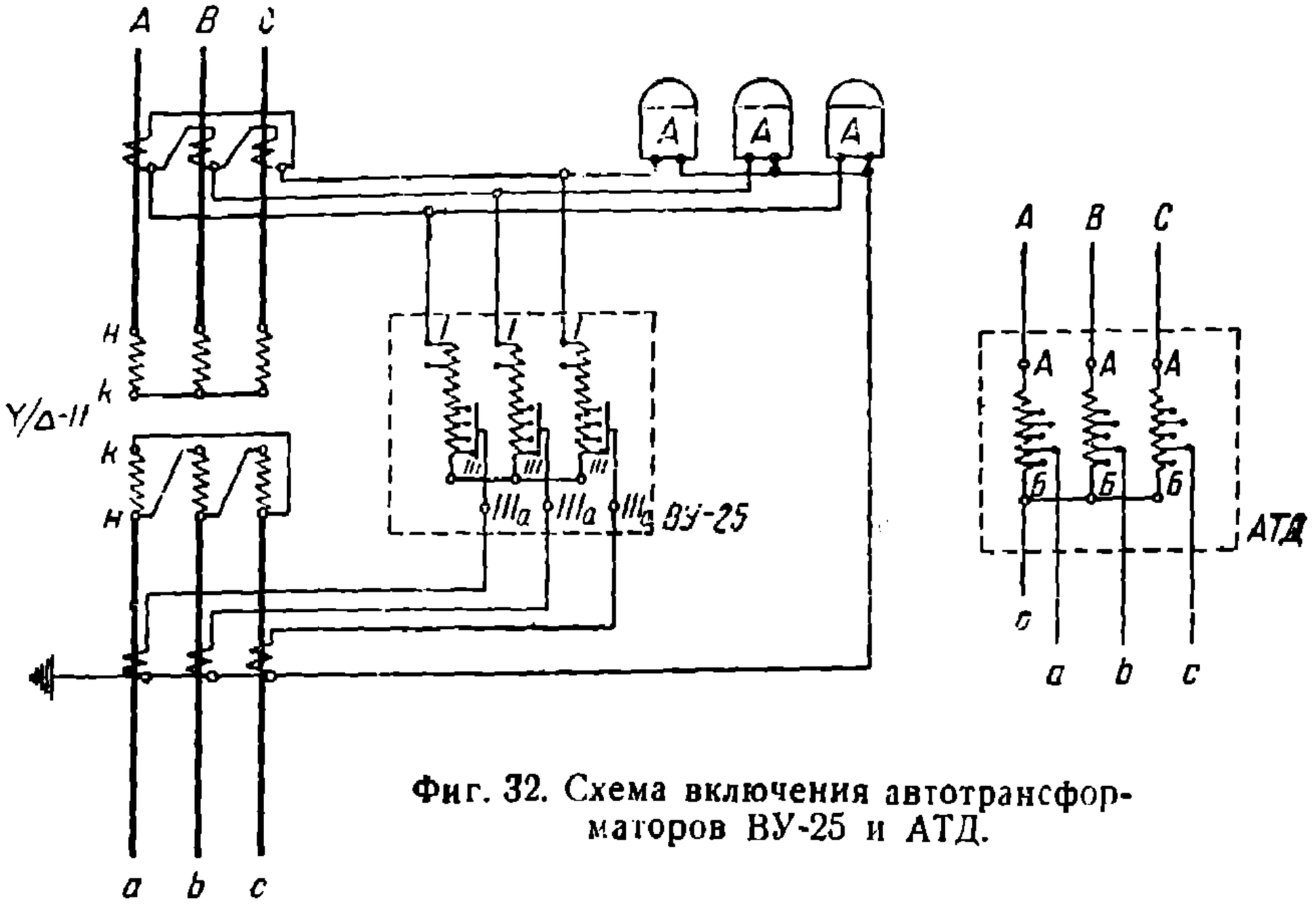
Фиг. 31. Схема внутренних соединений автотрансформатора ВУ-25.

$$k = \frac{i_{первичн}}{i_{вторичн}} = \frac{8}{5} = 1{,}6,$$

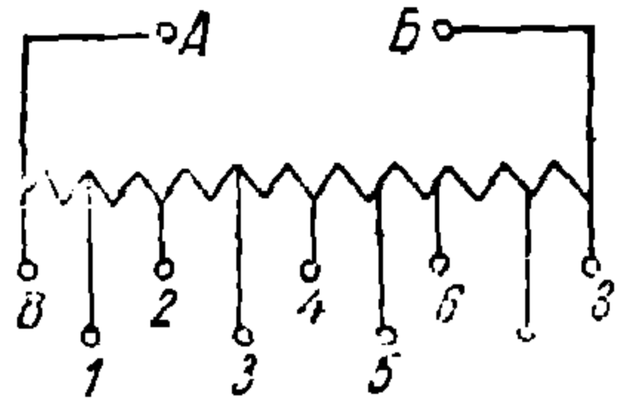
где $i_{первичн}$ — ток трансформаторов тока на стороне 38 *кв*;
$i_{вторичн}$ — ток трансформаторов тока на стороне 6,3 *кв*.

УДУНТ (ДІІТ)

По таблице в приложении (см. ВУ-25 на стр. 277) определяем необходимос включение автотрансформатора для коэфициента трансформации 1,6 (см. подчеркнутую строчку в таблице). Штепсель автотрансформатора должен быть поставлен в гнездо 7. Первичный ток (т. е. ток трансформатора тока на стороне 38 *кв*) включается на зажим *IIIa*, а вторичный ток — на зажим *I* (зажим *III* является общим для первичного и вторичного токов, см. схему фиг. 32).



Фиг. 32. Схема включения автотрансформаторов ВУ-25 и АТД.



Фиг. 33. Схема внутренних соединений автотрансформатора АТД.

Как сказано выше, автотрансформатор применяется только для выравнивания токов по величине.

Автотрансформатор АТД завода «Электроаппарат» выполняется однофазным. Отводы от обмотки присоединяются к зажимам, расположенным на кожухе автотрансформатора.

Схема внутренних соединений и схема включений показаны на фиг. 32 и 33.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РЕЛЕ

14. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РЕЛЕ

По своему назначению реле разделяются на:
1) токовые реле;
2) реле напряжения;

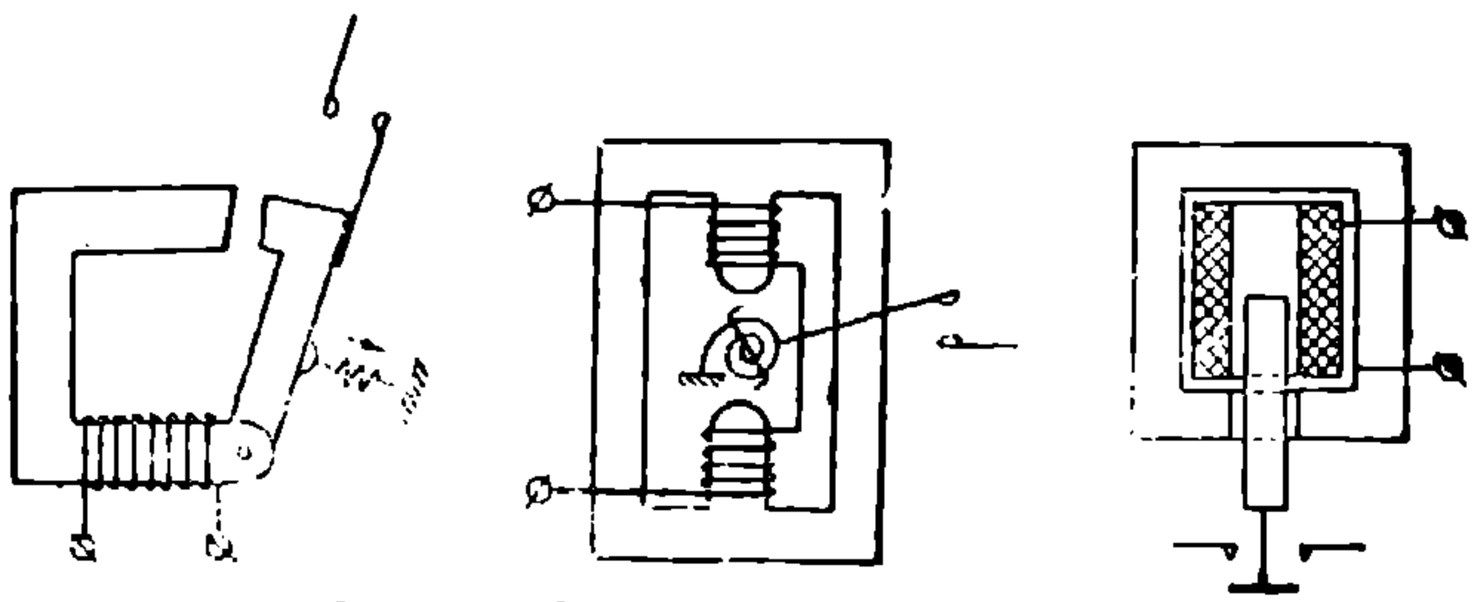
УДУНТ (ДІІТ)

3) реле мощности и реле направления энергии;
4) тепловые или термические реле;
5) дистанционные реле;
6) вспомогательные реле;
7) специальные реле (газовые, транслей и пр.).

По принципу действия реле делятся на:

1) электромагнитные;
2) индукционные;
3) электродинамические;
4) тепловые;
5) магнито-электрические;
6) реле, в которых используются не электрические принципы.

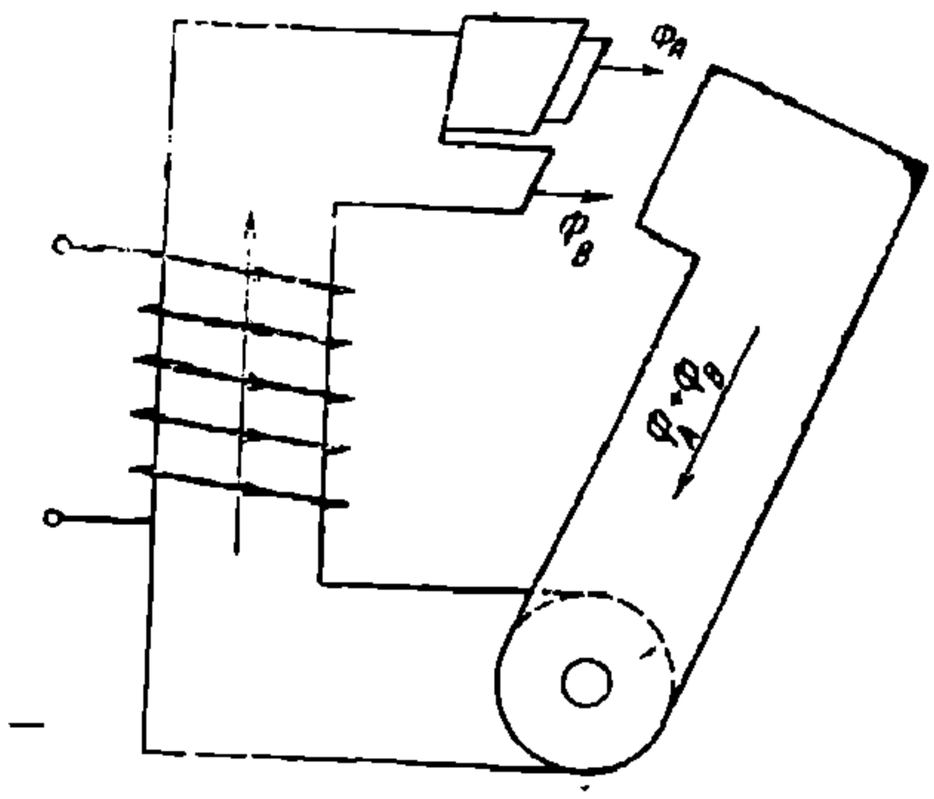
Электромагнитные реле применяются для постоянного и переменного токов. Наиболее распространенные конструкции электромагнитных реле показаны на фиг. 34. Работа этих реле основана на взаимодействии магнитного поля, создаваемого неподвижной катушкой. по которой проходит ток, и железного подвижного якоря.



Фиг. 34. Электромагнитные реле.

Сила притяжения якоря пропорциональна квадрату тока в обмотке реле.

Магнитная система электромагнитных реле для переменного тока набирается из отдельных железных листов для уменьшения потерь на нагревание (так же как и в трансформаторах). Так как при переменном токе мгновенная величина тока, а следовательно, и магнитного потока в течение периода изменяется, то и сила притяжения также будет изменяться от максимума до нулевого значения, что вызовет вибрирование якоря и гудение реле. Вибрирование устраняется механическим способом — применение специальных демпферов (см. реле ЭТ и РММ) или изменением магнитного потока — применение на полюсе реле короткозамкнутого витка, как показано на фиг. 35. При помощи



Фиг. 35. Электромагнитное реле для переменного тока.

УДУНТ (ДІІТ)

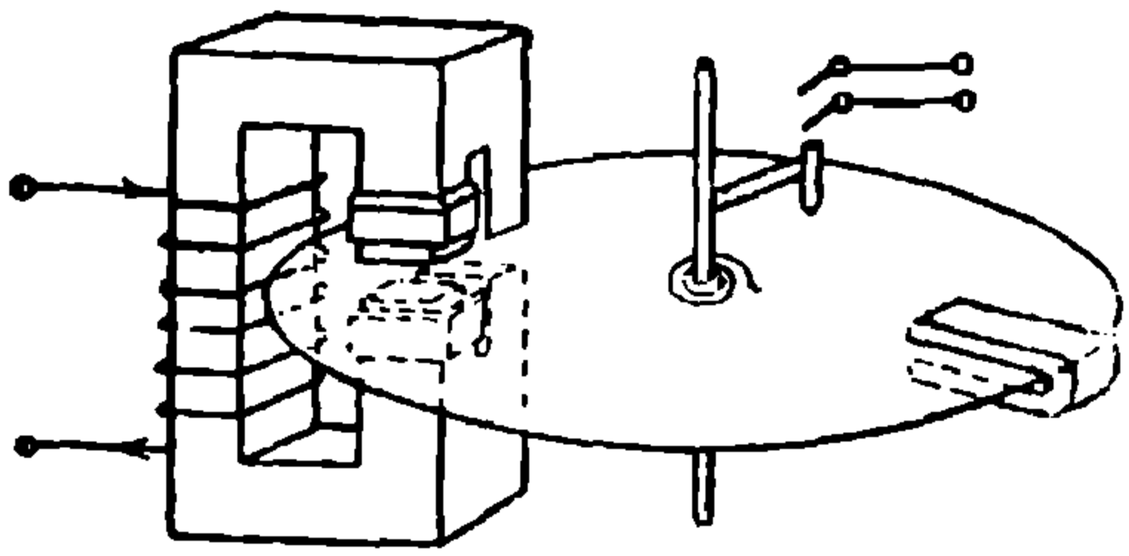
нового витка магнитный поток в воздушном зазоре разделяется на две части — часть проходит через короткозамкнутый виток, часть — по не замкнутому магнитопроводу. Эти потоки имеют сдвиг по фазе, т. е. нулевые значения потоков по времени не совпадают. Следовательно, и сила притяжения якоря также не будет иметь нулевого значения и вибрация якоря будет сильно уменьшена.

Величина тока, необходимого для срабатывания реле (ток трогань я) у электромагнитных реле обычно регулируется изменением числа витков обмотки, изменением натяжения пружинки, возвращающей якорь в исходное положение, изменением воздушного зазора между сердечником реле и якорем и увеличением тяжести якоря.

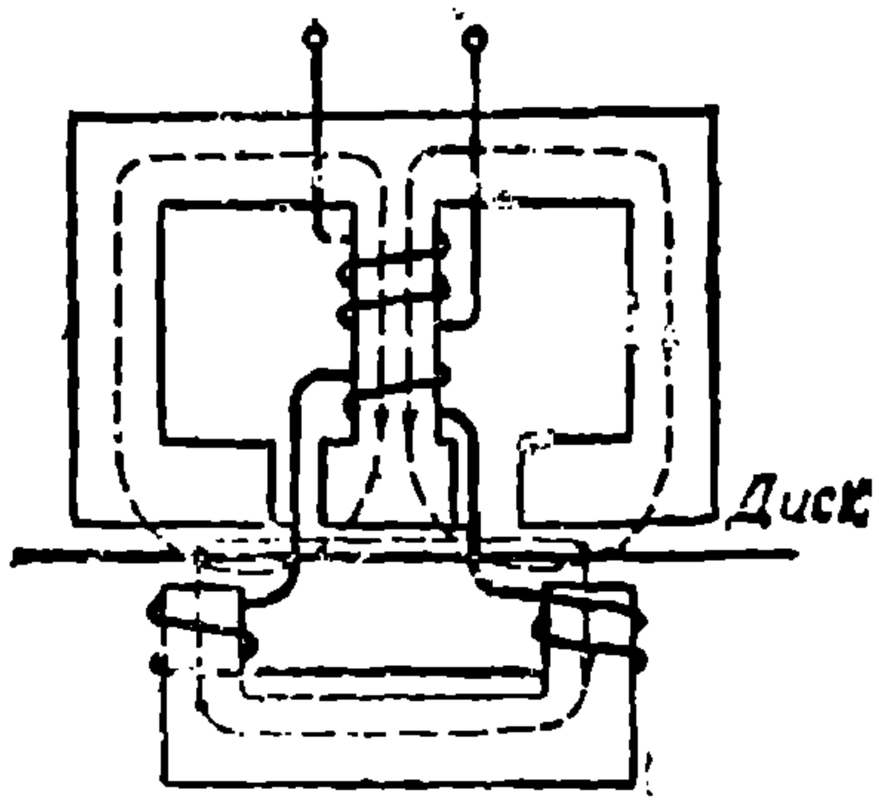
Электромагнитный принцип используется в максимальных токовых реле, реле напряжения и вспомогательных реле.

Индукционные реле применяются только для переменного тока.

Подвижная часть индукционного реле — алюминиевый или медный диск (фиг. 36а и б), поворачиваемый вокруг оси. На этот диск действуют два магнитных потока, сдвинутые по фазе и получаемые путем применения короткозамкнутого витка (фиг. 36а) или сложного магнитопровода (фиг. 36б). Под действием магнитных потоков в диске индуктируются токи Фуко, взаимодействие которых с потоками и создает момент, вращающий диск.



Фиг. 36а. Индукционное реле с короткозамкнутым витком.



Фиг 36б. Индукционное реле со сложным магнитопроводом.

Если индукционное реле имеет только одну обмотку, включаемую в цепь, то вращающий момент будет пропорционален квадрату тока в этой обмотке.

Индукционный принцип используется в максимальных токовых реле, реле напряжения, реле мощности и дистанционных реле.

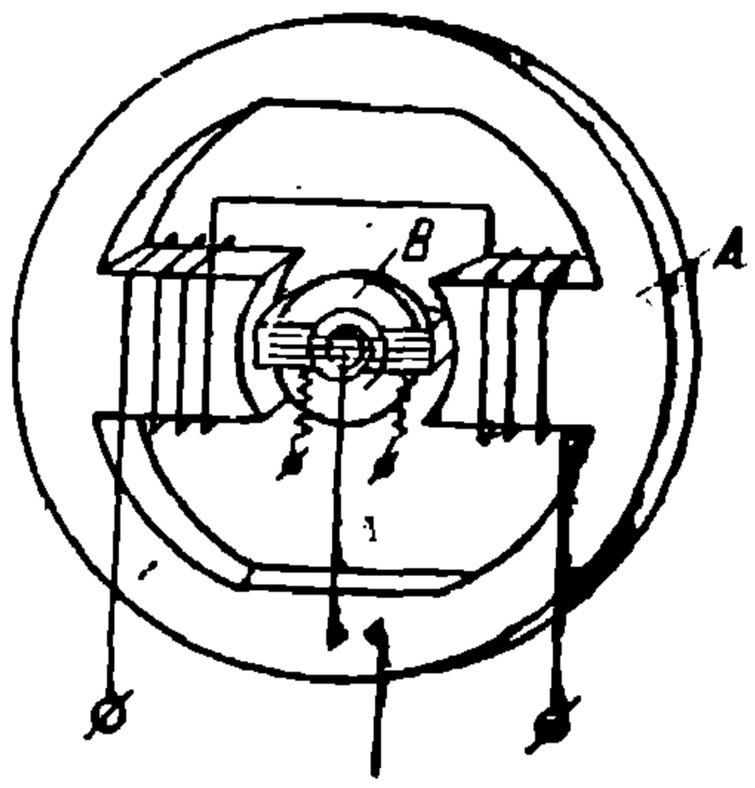
Точность действия индукционных реле зависит от частоты, формы кривой переменного тока (чистая синусоида или искаженная) и от окружающей температуры. Если форма кривой тока реле отличается от синусоиды, то момент, действующий на диск реле, уменьшается. Обычная температура оказывает незначительное влияние.

УДУНТ (ДІІТ)

Электродинамические реле (фиг. 37) применяются для постоянного и переменного токов.

Работа этих реле основана на взаимодействии тока в одной из катушек (подвижной) с магнитным потоком, создаваемым током, в другой катушке (неподвижной). Для получения большего вращающего момента катушки обычно располагают на железном сердечнике, применение которого также значительно уменьшает влияние внешних магнитных полей на реле.

Момент подвижной катушки электродинамического реле пропорционален произведению токов в обеих катушках.



Фиг. 37. Электродинамическое реле.

Электродинамический принцип можно использовать для всех видов защитных реле. Ввиду сравнительной сложности конструкции реле этот принцип используется в большинстве случаев только для сложных реле например реле мощности и дистанционных.

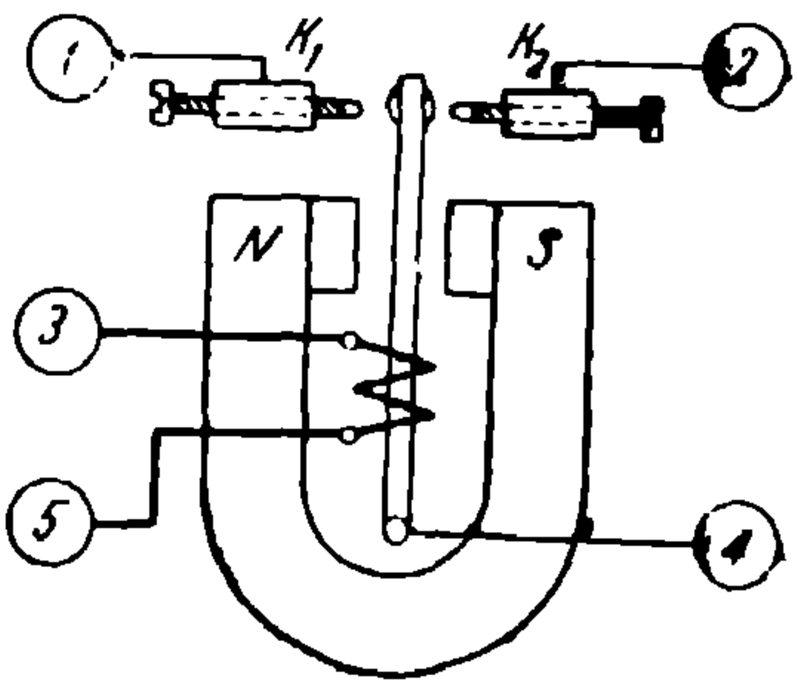
Тепловые или термические реле применяются для постоянного и переменного токов.

Действие их основано на расширении нагреваемого тела при повышении температуры. Этот принцип применяется также и для построения не электрических реле, например реле-термометров, сигнализирующих о повышении (понижении) температуры.

Тепловые реле обычно применяются для защиты установок от перегрузки.

Магнито-электрическое реле применяется только для постоянного тока.

Работа этих реле основана на взаимодействии катушки, обтекаемой током с магнитным потоком постоянного магнита (фиг. 38).



Фиг. 38. Магнито-электрическое реле.

Направление движения подвижной части реле определяется направлением тока в катушке.

Магнито-электрическое реле применяется только в тех случаях, когда от реле постоянного тока требуется очень высокая чувствительность и полярность действия.

15. ПАРАМЕТРЫ РЕЛЕ

Каждый прибор и аппарат имеют параметры, характеризующие их. Например, параметрами амперметра будут: величина тока, на которую рассчитан амперметр, пределы измерения тока, точность, род тока — постоянный или переменный — и т. д.

Зная параметры прибора, можно судить о качестве его и возможности применения для различных целей.

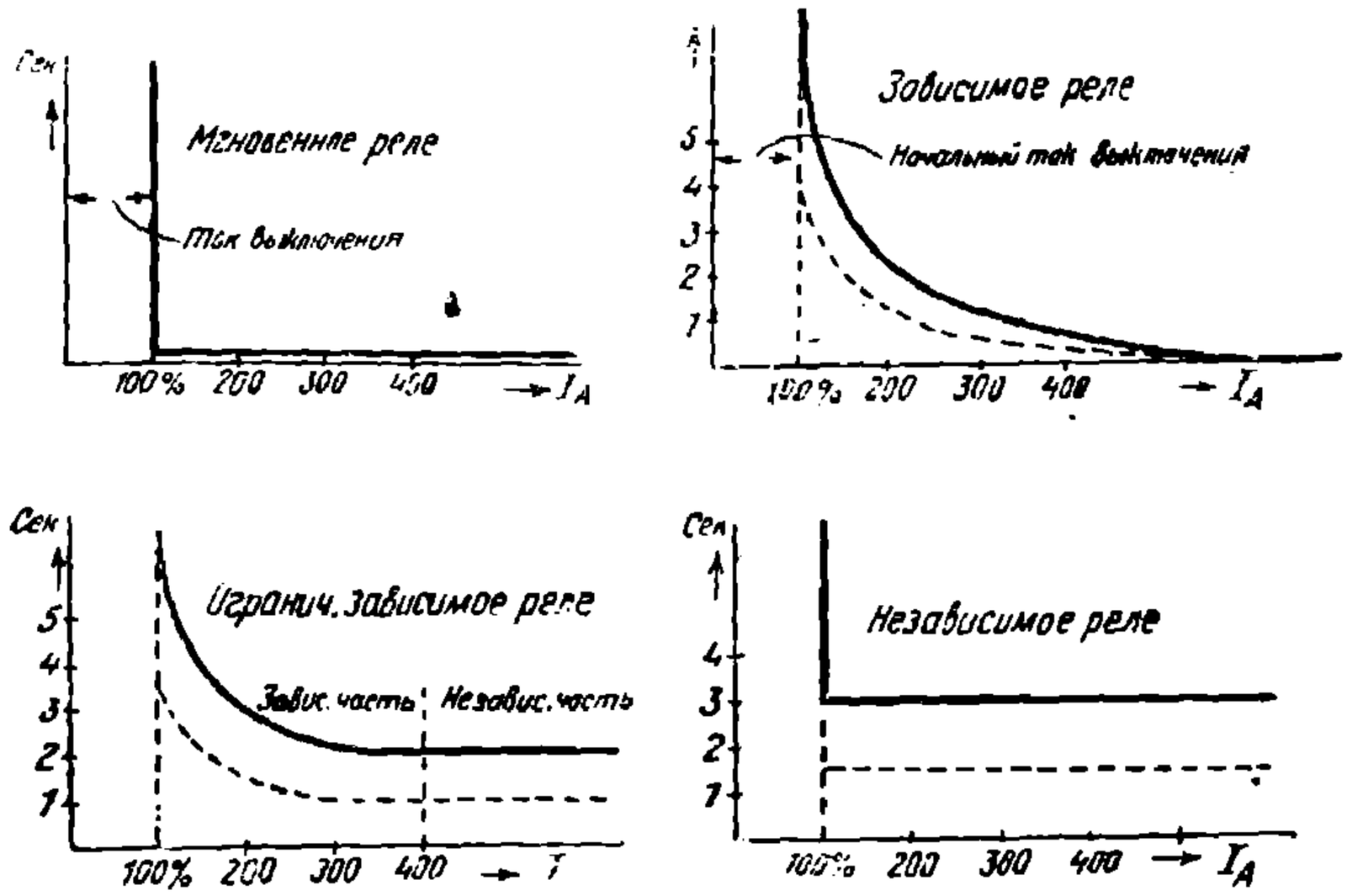
УДУНТ (ДІІТ)

Ниже приведены параметры максимального токового реле.

1. **Номинальный ток** — ток, который указан на паспорте реле и к которому отнесены все прочие параметры реле.

2. **Ток трогания** — наименьший ток, при котором реле замыкает контакты. У некоторых реле (например, реле ИТ-11, см. стр. 51) подвижная система, замыкающая контакты, при некоторой величине тока приходит в действие, но не производит замыкания контактов. Этот ток называется током начала работы реле.

3. **Ток возврата** — наибольшее значение тока, при котором контакты реле возвращаются в исходное положение, называется током возврата.



Фиг. 39. Характеристики реле.

4. **Коэфициент возврата** — отношение тока возврата к току трогания:

$$k = \frac{I_{возвр}}{I_{трог}}.$$

Коэфициент возврата всегда меньше единицы за исключением реле минимального напряжения (стр. 58), у которых он больше единицы, так как это реле трогается при малом напряжении, а возвращается в исходное положение при большом.

У хороших типов реле коэфициент возврата приблизительно равен 0,95.

Коэфициент возврата имеет большое значение при установке величины тока трогания реле (стр. 93).

5. **Характеристика реле** — зависимость времени действия реле от тока. Различаются реле с характеристиками: мгновенного действия, зависимые, ограниченно зависимые и независимые.

Перечисленные характеристики показаны на фиг. 39.

6. **Собственное время действия реле** — время действия реле с мгновенной выдержкой времени. У быстродействующих реле собственное время действия составляет около 0,5 периода (около 0,01 сек.).

УДУНТ (ДІІТ)

7. Инерционный выбег — действие реле вследствие инерции подвижной системы после прекращения сверхтока.

Инерционный выбег измеряется в секундах для максимального значения тока. Например, для индукционных реле выбег определяется для тока независимой части характеристики реле.

8. Время возврата реле — время, в течение которого все органы реле возвращаются в исходное положение после исчезновения аварийного режима. У индукционных реле с зависимой характеристикой (реле ИТ, ИН, ИМ) время возврата равно примерно времени действия реле при токе троганья. У реле мгновенного действия время возврата не должно превышать 0,1 сек.

9. Потребляемая мощность — произведение тока, протекающего по обмотке реле, на падение напряжения в обмотке. Потребляемая мощность определяется обычно для номинального значения тока (или напряжения) обмотки реле. Для суждения об индуктивности обмотки реле приводится потребление в ваттах.

Современные реле потребляют в токовой цепи 0,1—4 *ва* и в цепи напряжения 1—15 *ва*.

10. Термическая устойчивость характеризуется током, который безвредно может выдержать обмотка реле. Обычно дается два значения тока: длительно допустимый ток и ток, допустимый в течение 1 сек.

Современные реле, обмотка которых рассчитана на номинальный ток 5 *а*, выдерживают односекундный ток, равный 400—500 *а*.

Для катушек напряжения термическая устойчивость определяется напряжением, которое они длительно выдерживают.

11. Механическая устойчивость характеризуется током, который реле выдерживает без механических повреждений.

У современных реле механическая устойчивость обычно выше термической устойчивости.

12. Мощность контактов — мощность, которую контакты могут длительно включать или отключать, не переходя за пределы допустимого износа от подгорания. Например, при замыкании контакты действуют на отключающий соленоид масляного выключателя, который питается от сети 110 *в* и потребляет 5 *а*. Следовательно, мощность замыкания будет $110 \quad 5 = 550$ *ва*.

Различают мощность замыкания и мощность размыкания контактов. Как правило, контакты могут размыкать меньшую мощность, чем замыкать, так как при размыкании возникает дуга, сильно портящая контакты.

Помимо допустимой мощности контактов обычно указывают максимально допустимые значения тока и напряжения для них.

При недостаточной мощности замыкания контактов необходимо применять промежуточные реле.

При недостаточной мощности контактов для разрыва цепи отключающего соленоида после отключения выключателя также необходимо применять промежуточное реле или разрывать цепь специальными контактами на валу выключателя.

УДУНТ (ХДПТУ)

13. Точность реле. Различают: точность шкалы реле и точность действия реле.

Точностью шкалы реле называется соответствие шкалы — тока троганья или выдержки времени реле с действительными величинами тока троганья или времени действия реле. При большой неточности шкалы шкала градуируется заново.

Точность действия реле характеризуется погрешностью в действии реле при одних и тех же уставках и одном и том же токе. Например, один раз реле при токе 5 *а* замкнуло свои контакты через 2 сек., а второй раз — через 2,5 сек., погрешность реле 0,5 сек. Большая неточность действия реле обычно происходит вследствие попадания грязи и заедания в подшипниках оси якоря, большого трения в демпфере и пр.

Точность действия реле может изменяться в зависимости от окружающей температуры, частоты тока, величины предварительного тока нагрузки и пр. Поэтому при конструировании реле обращается внимание на сохранение точности действия реле при работе его в различных условиях.

Допустимая неточность (погрешность) реле зависит от схемы установок и сложности защиты. Для сравнительно простых видов защиты погрешность реле должна быть не больше следующих значений:

а) Троганье реле (ток троганья, напряжение троганья) не должно отличаться от установленного значения более $\mp 5\%$

б) Выдержка времени не должна отличаться от установленного значения более $\mp 0{,}15$ сек. (для реле времени и независимой части характеристики).

Приведенные параметры являются общими для всех защитных реле.

16. МАКСИМАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ РЕЛЕ

Максимальными токовыми реле или просто максимальными реле называются реле, реагирующие на увеличение тока выше определенного установленного значения.

Максимальные реле применяются для максимальной токовой защиты электрических машин, трансформаторов и линий. Существует три основных типа максимальных реле: реле мгновенного действия, реле с зависимой характеристикой и реле с независимой характеристикой.

Реле мгновенного действия применяются для мгновенной максимальной токовой защиты или в соединении с реле времени для защиты с независимой выдержкой времени. Они применяются также в качестве пусковых реле в более сложных схемах защиты, например, в направленной, дистанционной, дифференциальной и других. Реле мгновенного действия выполняются обычно электромагнитными, так как при этом реле получается наиболее простым и дешевым. Современные реле обладают незначительным потреблением энергии (0,1—0,2 *ва*) и большим коэфициентом возврата, доходящим до 0,95.

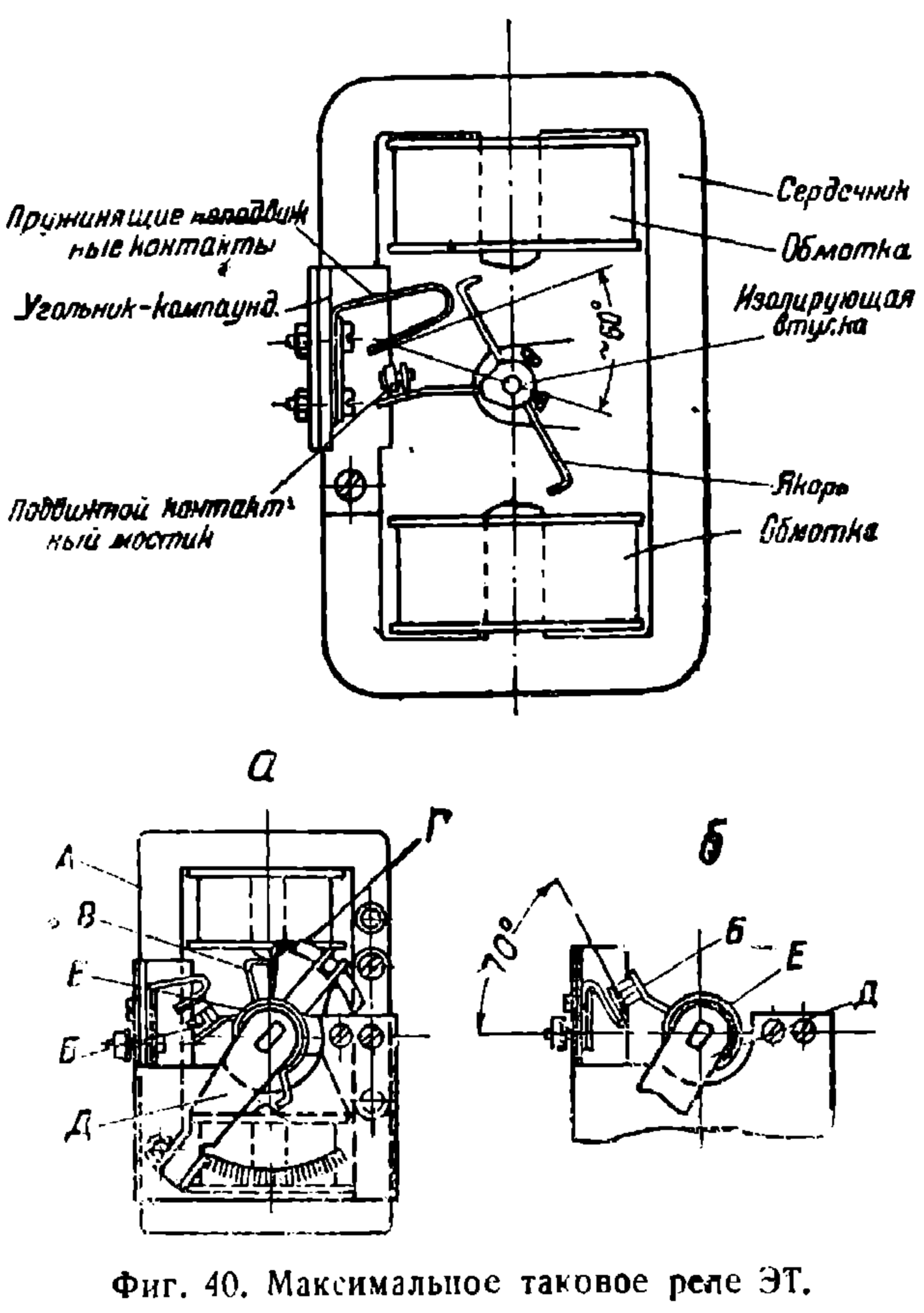
Реле с зависимой характеристикой применяются в тех слу-

УДУНТ (ДІТ)

чаях, когда вследствие зависимой характеристики (уменьшение времени действия реле при увеличении тока) удается значительно сократить время отключения при аварии, не нарушая при этом селективности.

Конструктивно зависимые реле выполняются обычно индукционными с вращающимся диском, так как этот принцип наиболее удобен для создания выдержки времени, зависящей от тока в реле (скорость вращения диска пропорциональна квадрату тока). Ограничение зависимой части характеристики достигается насыщением железа магнитной системы при определенном токе. При выполнении зависимых реле электромагнитными для получения зависимости приходится применять или сложные часовые механизмы или демпферы с большим демпфирующим усилием, которые зарекомендовали себя как очень ненадежные элементы.

Зависимые реле, действие которых основано на электромагнитном принципе, строятся в качестве реле, непосредственно воздействующих на отключающий механизм выключателя, так как реле электромагнитного типа могут развивать большие отключающие усилия.



Фиг. 40. Максимальное таковое реле ЭТ.

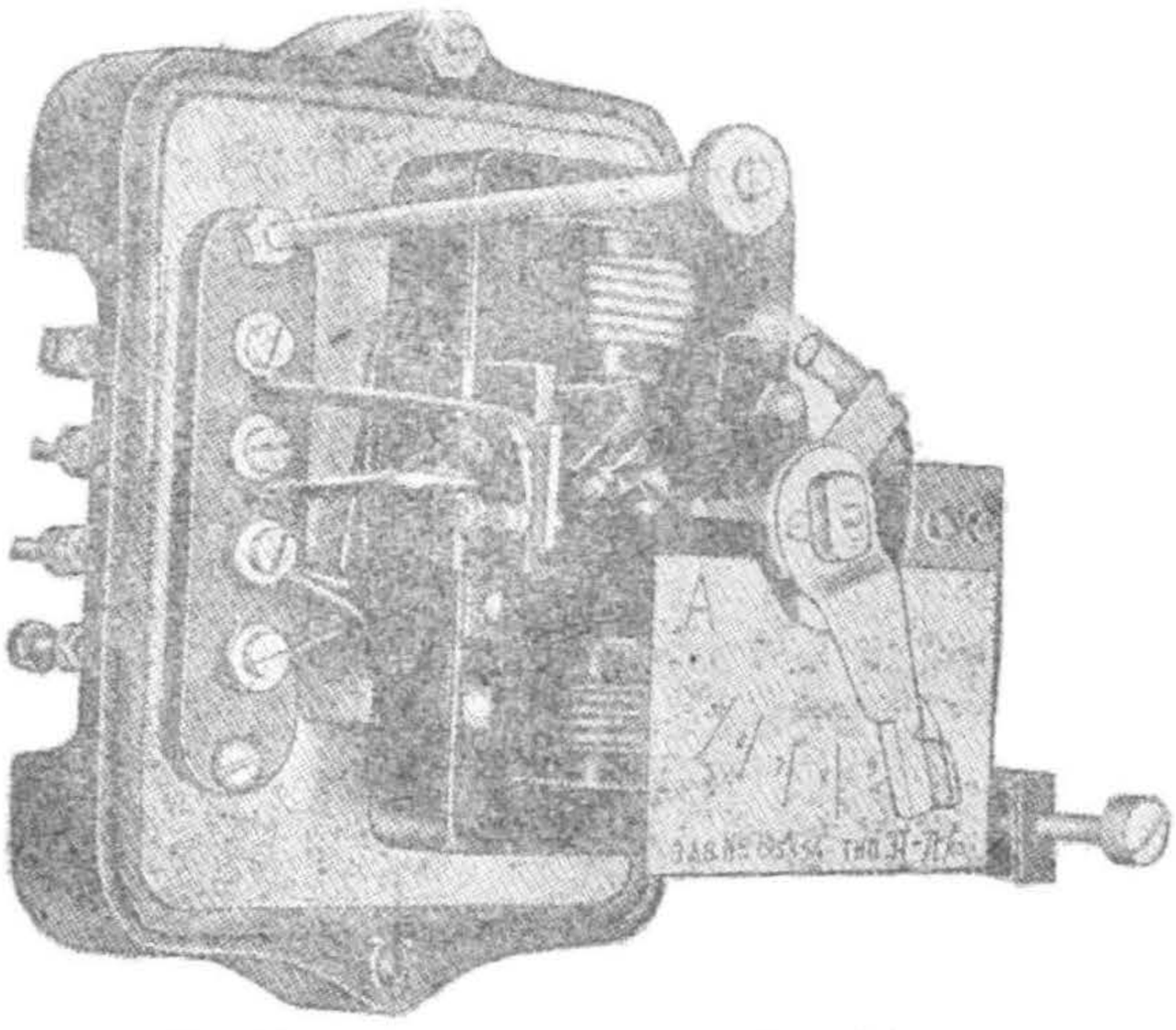
Максимальные реле с независимой характеристикой обычно выполняются со встроенным часовым механизмом, который создает независимость времени действия от тока. У нас в Союзе максимальные реле с независимой характеристикой не изготовляются.

1. Максимальные токовые реле мгновенного действия ЭТ-70 и ЭТ-60 завода ХЭТЗ. Реле ЭТ-70 и ЭТ-60 имеют одно и то же конструктивное выполнение. Реле ЭТ-60 имеет некоторые улучшения конструкции и выпускается в настоящее время взамен реле ЭТ-70.

УДУНТ (ДПІТ)

Схематический чертеж реле показан на фиг. 40, общий вид реле — на фиг. 41.

Реле — электромагнитные (с поворотным якорем). Магнитная система реле представляет сердечник *А*, набранный из листового железа, между полюсами которого помещен легкий Z-образный железный якорек *В*. На оси якорька укреплены поршень демпфера, контактный мостик *Б*, изолированный на оси, и пружина *Е*, противодействующая повороту якоря. В качестве контактов служат две металлические пружинки, которые замыкаются контактным мостиком при повороте якоря. Для устранения вибраций контактов применен демпфер *Г*, представляющий собой стеклянную трубочку, наполненную костяным маслом, внутри которой перемещается поршень.



Фиг. 41. Максимальное реле ЭТ. Общий вид

Обмотки реле расположены на верхнем и нижнем полюсах магнитной системы.

При протекании тока по обмотке реле якорек стремится повернуться в сторону притяжения к полюсам, чему противодействует спиральная пружина *Е*. Когда ток превысит установленное значение, сила, притягивающая якорек, преодолеет сопротивление пружины, якорек повернется и произойдет замыкание контактов.

Железо якорька уже при сравнительно небольших величинах токов в реле насыщается (при насыщении железа магнитный поток увеличивается очень незначительно с увеличением тока, текущего по обмотке), благодаря чему усилия якорька ограничиваются и устраняется опасность разрегулировки и механического повреждения реле.

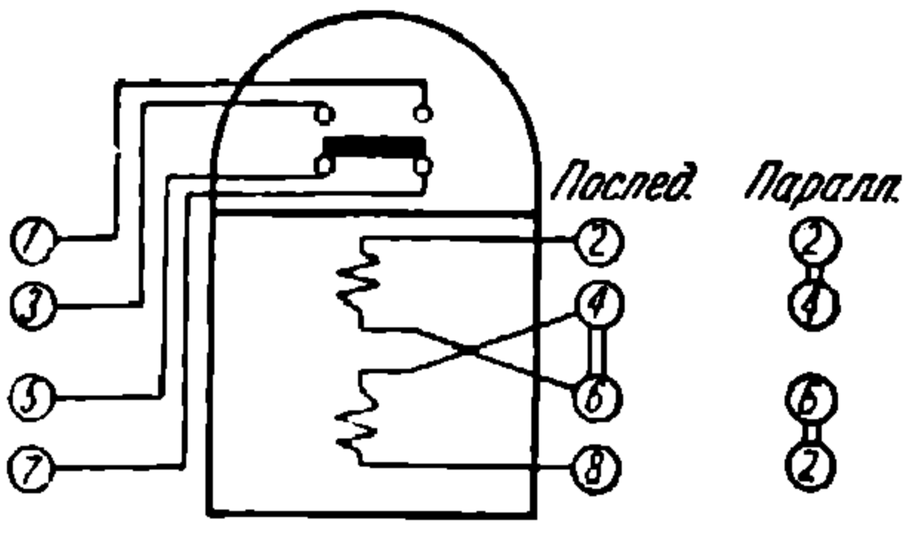
Регулировка тока троганья реле производится путем перемещения рычажка указателя *Д* по шкале, отградуированной соответственно токам троганья. Перемещением указателя по шкале изменяют натяжение пружины *Е* и тем самым ток троганья реле.

Реле ЭТ-70 выполняются с замыкающимися (ЭТ-71) и размыкающимися (ЭТ-72) контактами. Реле ЭТ-60 имеет выполнение с переключающимися контактами (фиг. 42). Кроме того, у реле ЭТ-60 в отличие от реле ЭТ-70 выведены концы обеих катушек (верхней и нижней), что дает возможность вдвое расширить пределы токов троганья при помощи последовательного и параллельного соединения катушек. Например, если при последовательном

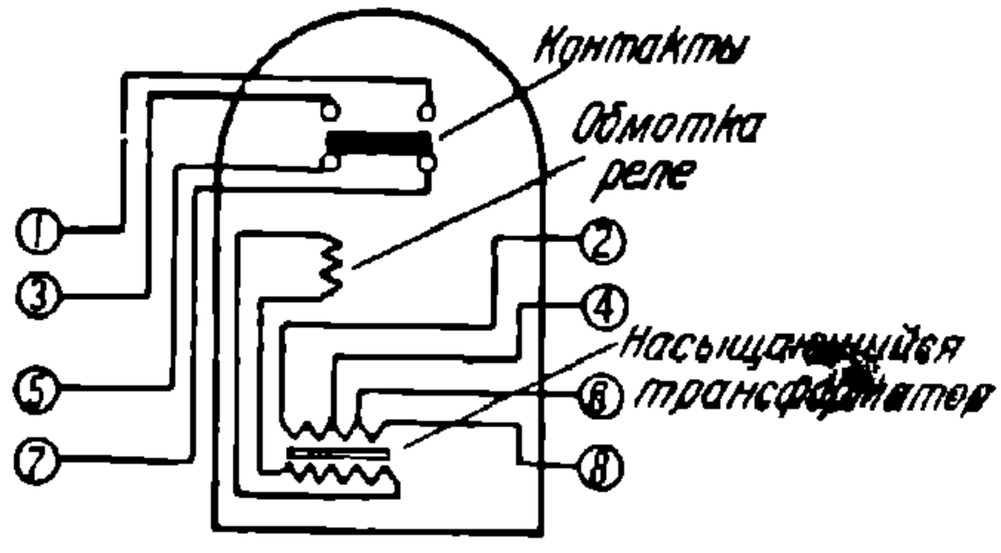
УПУНТ (ДІТ)

соединении катушек можно было сделать уставку тока трогань в пределах 2,5—5 *а*, то при параллельном соединении катушек, вследствие того что действующее число витков в два раза меньше, для срабатывания реле необходим ток в два раза больший, т. е. уставку тока трогань можно сделать в пределах 5—10 *а*.

Основным достоинством реле данного типа является: малая потребляемая мощность — около 0,1 *ва*, высокий коэфициент возврата — 0,85 и малое собственное время, доходящее до 0,03—0,02 сек. Недостатком является малая мощность контактов, которая в большинстве случаев заставляет применять добавочные промежуточные реле для воздействия на отключающий соленоид выключателя. Для защит с выдержкой времени это обстоятельство не имеет существенного значения.



Фиг. 42. Схема внутренних соединений реле ЭТ-60.



Фиг. 43. Максимальное реле с насыщающимся трансформатором.

Для увеличения термической устойчивости реле серии ЭТ-60, рассчитанных на малый ток трогань (0,15—1 *а*), внутрь реле встраивается промежуточный трансформатор (фиг. 43). Железо этого трансформатора быстро насыщается, что ограничивает ток в обмотке реле при сравнительно большом токе в первичной обмотке. Регулировка тока трогань у такого реле производится изменением натяжения пружинки реле (плавная) и включением различного количества витков первичной обмотки трансформатора (скачками).

2. Максимальное токовое реле РММ и РД завода ХЭМЗ. Реле РММ и РД устарели и в настоящее время не производятся. Ввиду большого распространения этих реле на станциях нашего Союза приводим их описание.

Реле РММ однофазное максимальное применялось для максимальной защиты. Реле РД трехфазное изготовлялось преимущественно для диференциальных защит.

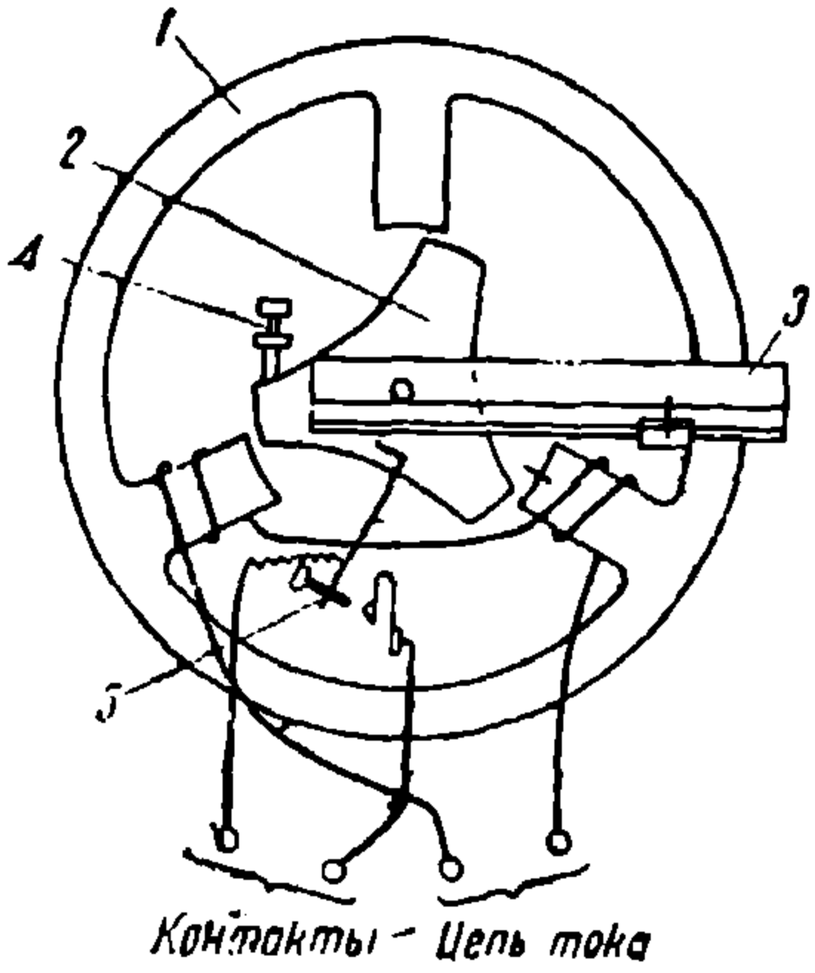
Схематический чертеж реле РММ показан на фиг. 44. Общий вид реле показан на фиг. 45.

Реле — электромагнитное и состоит из круглого ярма *1* с тремя полюсами. Два из этих полюсов снабжены обмотками, обтекаемыми током от трансформаторов тока. На одном валу с якорем реле *2* укреплен противовес *3*, который в нормальном положении реле прижимает якорь к упору *4*. Когда ток в обмотке реле превысит установленное значение, якорь втягивается под полюсы ярма и замыкает контакты *5*.

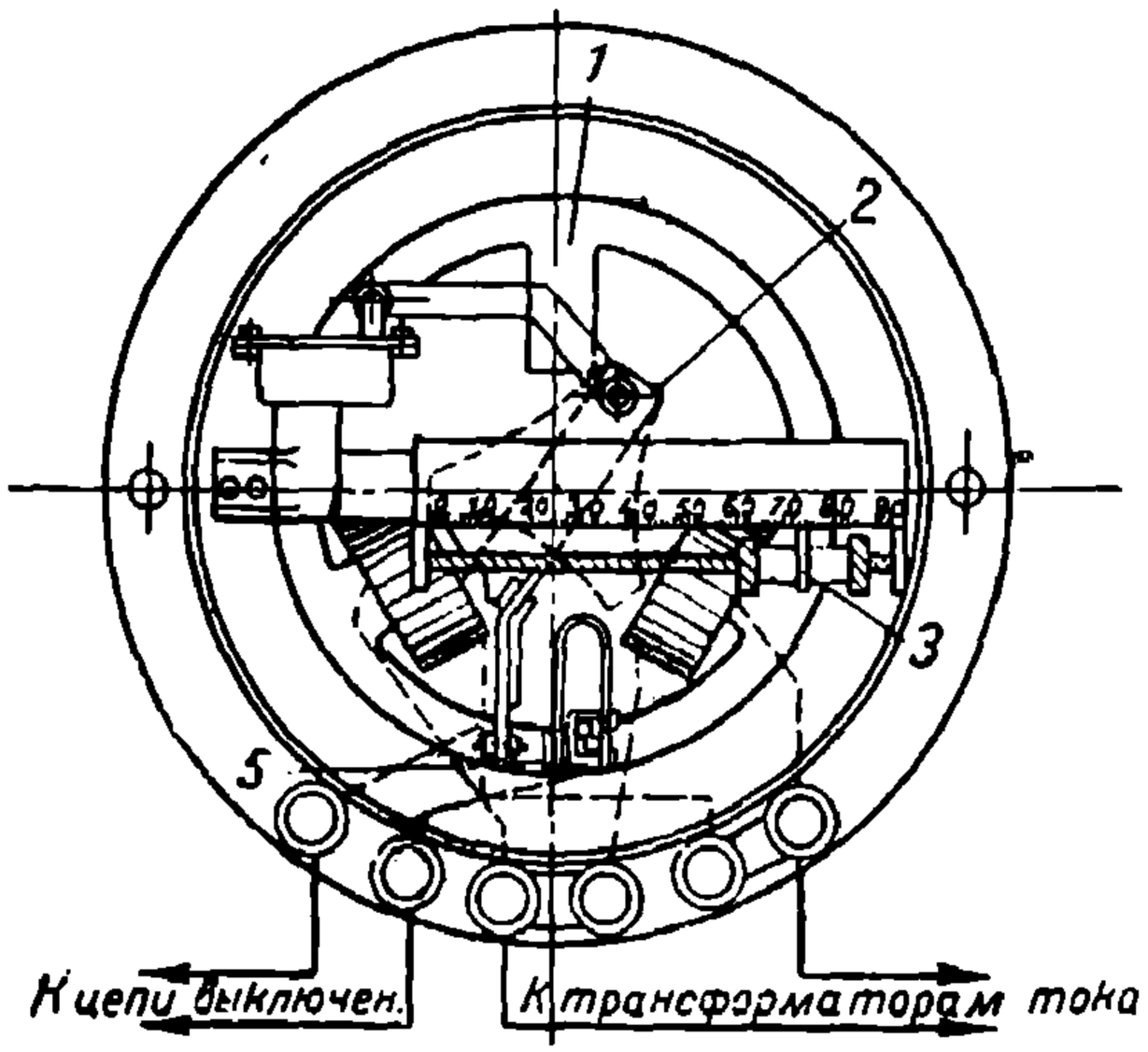
УДУНТ (НДІТ)

Для устранения вибрации контактов реле имеет поршневой демифер, который соединен с якорем и залит костяным маслом. Установка тока производится посредством груза, передвигаемого вдоль шкалы.

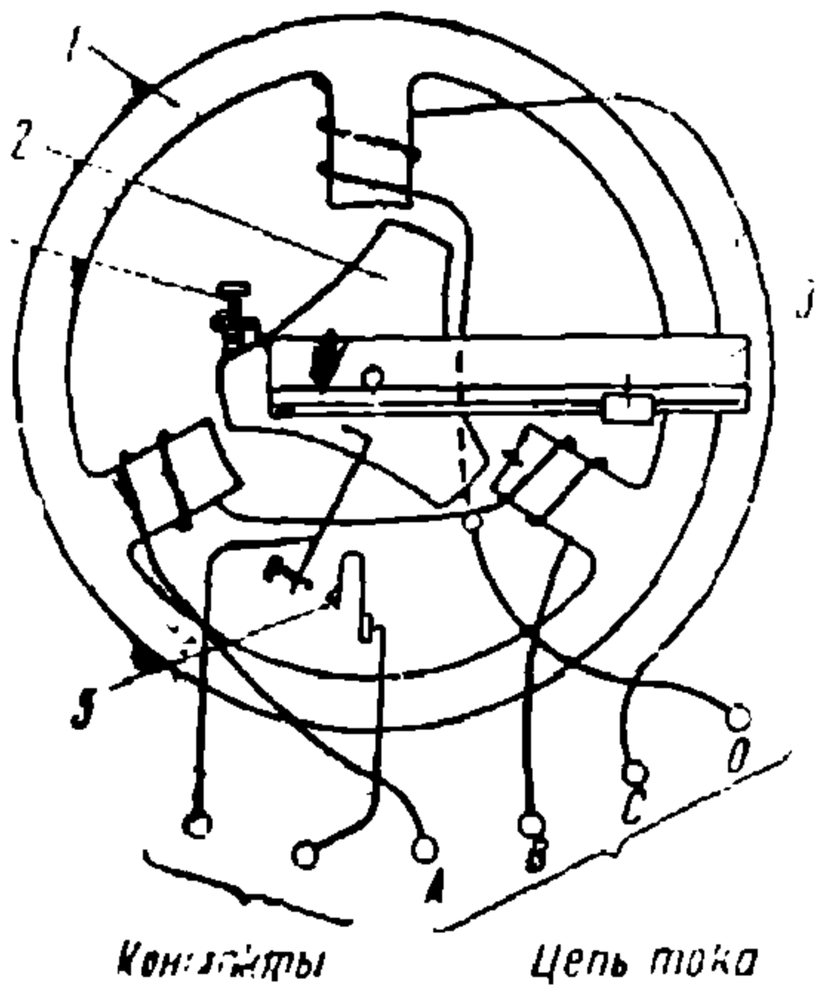
Схематический чертеж реле РД приведен на фиг. 46. Реле имеет три токовые катушки, включаемые в цепь трехфазного



Фиг. 44. Схематический чертеж реле РММ.



Фиг. 45. Общий вид реле РММ.



Фиг. 46. Схематический чертеж реле РД.

тока. В остальном конструкция реле подобна реле РММ. Так как реле РД имеет общую систему для всех трех фаз, то ток трогания, как и всякого трехфазного электромагнитного реле с общей магнитной системой, будет зависеть от числа фаз, обтекаемых током. Токи трогания реле при трехфазном, двухфазном и однофазном коротком замыкании будут иметь следующее соотношение при одной и той же установке:

$$I_3 : I_2 : I_1 = \sqrt{\frac{1}{3}} : \sqrt{\frac{1}{2}} \quad \sqrt{\frac{3}{2}} = \\ = 1 : 1{,}23 : 2{,}12,$$

где I_3, I_2 и I_1 — соответственно токи трогания реле при трехфазном, двухфазном и однофазном токах.

Это соотношение показывает, что если реле при трехфазном коротком замыкании будет замыкать контакты при 2 *а*, то при двухфазном оно замкнет контакты только при 2 1,23 = 2,46, а при однофазном — при 2 2,12 = 4,24 *а*.

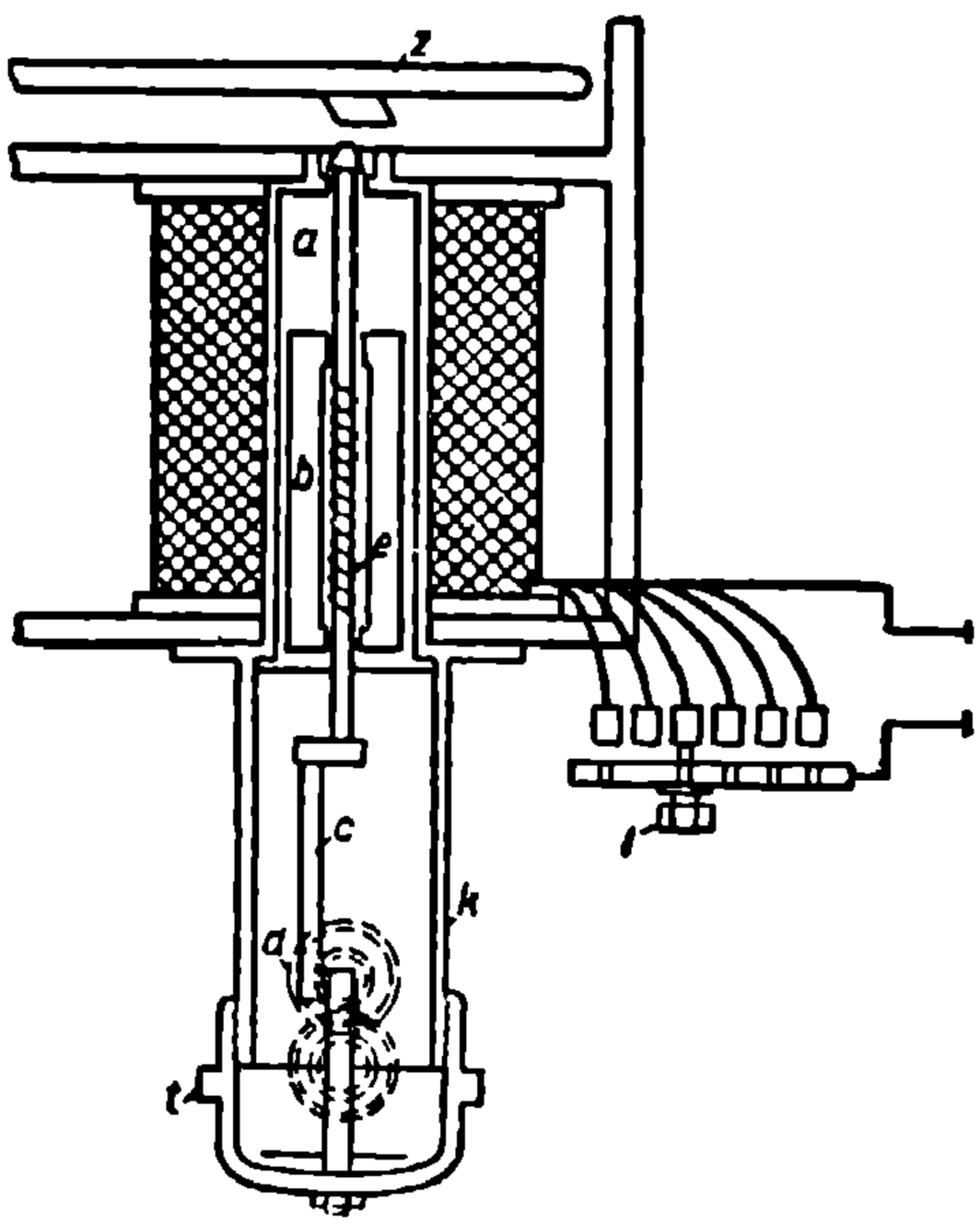
УДУНТ (ДІІТ)

Шкала реле РД градуирована для симметричного трехфазного тока.

Помимо несовершенной конструкции реле РММ и РД к их недостаткам относится низкий коэфициент возврата — 0,7—0,8 и сравнительно большая потребляемая мощность — 5 *ва*.

3. **Максимальное токовое ограниченно зависимое реле непосредственного действия (вторичное) КАМ завода «Электроаппарат».** Реле данного типа встраивается непосредственно в ручной привод выключателя и действует непосредственно на отключающий механизм.

Реле — электромагнитное, магнитная система — соленоидного типа (фиг. 47). Катушка реле *a* присоединяется к трансформатору тока. Внутри катушки находится железный сердечник *b*, который при помощи рейки *c*, имеющей на конце зубчатую нарезку, соединен с шестеренками механизма времени *d*. Другой, верхний, конец рейки действует на выключающий механизм *z*. Связь якоря с рейкой осуществлена при помощи пружины *e*, помещенной внутри якоря. Этим устройством достигается более плавное действие реле при больших токах.



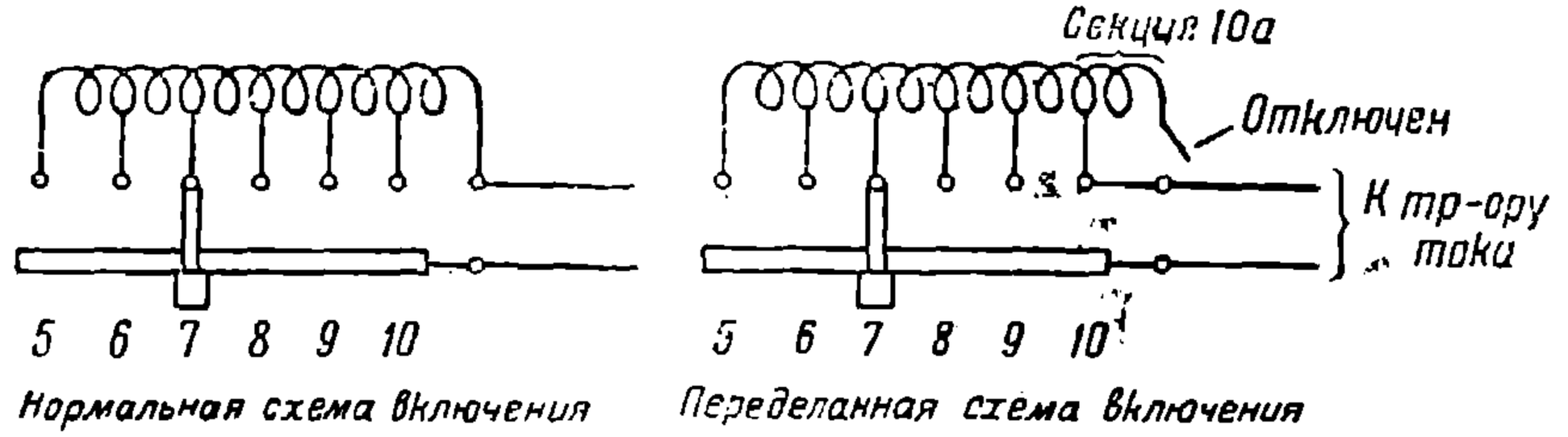
Фиг. 47. Реле непосредственного действия КАМ.

Реле работает следующим образом: когда ток в катушке достигает определенной установленной величины, магнитное поле возрастает настолько, что преодолевает силу тяжести якоря *b* и втягивает его, якорь тянет рейку *c*, которая приводит в действие механизм времени. После некоторого промежутка времени рейка поднимается настолько, что зубчатая насечка соскакивает с зубчатого колеса механизма времени. Освободившийся якорь мгновенно втягивается и верхним концом рейки ударяется по выключающему механизму, что приводит к отключению выключателя. Для мгновенного опускания якоря в исходное положение механизм времени имеет храповичок, который при обратном ходе рейки *c* отсоединяет механизм и делает ход свободным. Реле выполняются трехфазными (три реле в одном приводе) и двухфазными.

Регулировка тока трогания производится при помощи включения различного числа витков катушки *a*. Для этой цели катушка секционирована и концы секций выведены к зажимам *t*, над которыми находится металлическая планка с отверстиями

УДУНТ (ДІІТ)

для винтов. Ввинчивая винт в какой-либо зажим, включают определенное число витков и этим изменяют ток трогань я реле. Регулировку тока трогань я можно производить в пределах от 5 до 10 *а*. Для защиты установок собственного расхода часто необходимо устанавливать ток трогань я реле выше 10 *а*. Повысить ток трогань я реле можно, отсоединив часть витков катушки (фиг. 48). Отсоединяя секцию катушки, которую включают при



Фиг. 48.

настройке реле на 10 *а*, можно увеличить ток трогань я от 10 до 90 *а*. Так как сечение провода обмотки реле не изменилось, то не меняется термическая устойчивость реле, т. е. реле длительно может обтекаться током не более 10 *а*, а в течение 1 сек — 400 *а*. Это необходимо иметь в виду при переделке реле. В табл. 4 указаны токи трогань я реле для нормальной и переделанной схемы.

ТАБЛИЦА 3

№ клемм	Ток трогань я при нормальной схеме фиг. 54 в *а*	Ток трогань я при переделанной схеме фиг. 54 в *а*	Длительно допустимый ток в *а*
5	5	10	10
6	6	15	
7	7	23,3	
8	8	40	
9	9	90	
10	10	Отсоединена	

Токовая катушка реле потребляет мощность 50 *ва* (при 5 *а* и установке на 5 *а*). Коэфициент возврата реле очень низкий — 0,4—0,5.

Регулировка времени отключения реле производится изменением установки часового механизма *d* относительно зубчатого конца рейки *с*. Для этой цели механизм времени соединен с крышкой *t*, которая навинчивается на цилиндр *к*. Завинчивая крышку, мы будем поднимать механизм времени вверх и тем самым увеличивать расстояние, проходимое зубчатой насечкой рейки при работе реле, и, следовательно, увеличивать время отключения. Отвинчивая крышку, наоборот, время отключения будет умень-

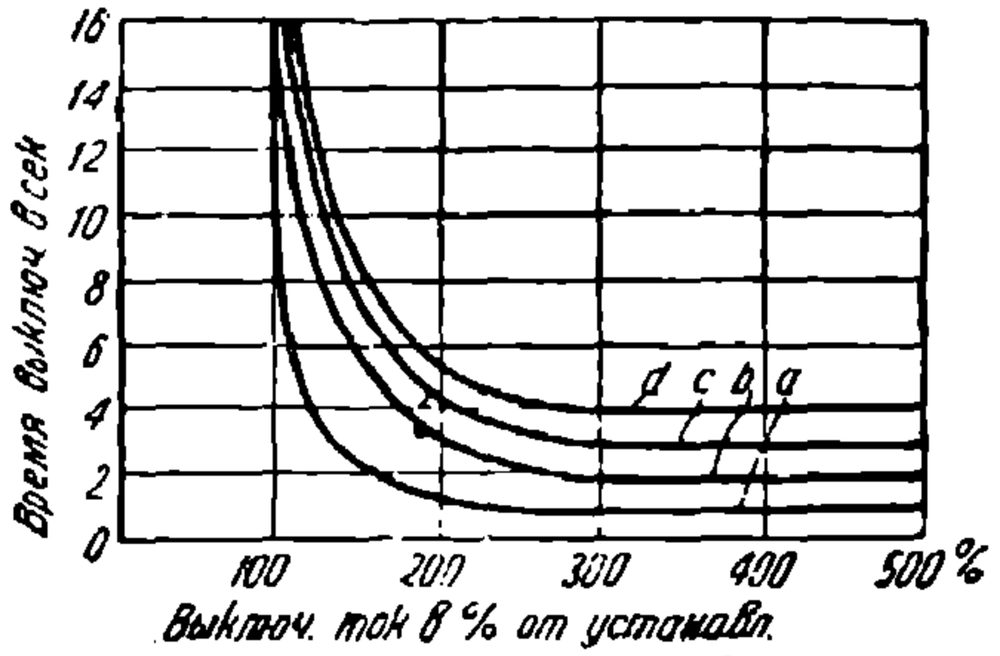
УДУНТ (ДІТ)

шаться. На цилиндре *к* имеется насечка с указанием установленного времени. Время отключения можно регулировать в пределах от 0 до 4 сек. для независимой части характеристики.

Зависимость характеристики реле получается от неодинаковой скорости действия часового механизма при слабом и сильном втягиваниях якоря. Например, при токе троганья якорь реле втягивается с небольшим усилием. При значительной перегрузке якорь втягивается с гораздо большим усилием, часовой механизм работает скорее и реле отключает с меньшей выдержкой времени. При очень сильных перегрузках якорь сразу втягивается, сжимая пружину *е*, которая приводит в действие часовой механизм, и сколько бы ток, протекающий через катушку реле, ни увеличивался, время действия реле уменьшаться не будет, так как реле будет работать с выдержкой времени, не зависящей от тока.

Характеристика времени действия реле показана на фиг. 49.

Для приведения в действие отключающего механизма выключателя (освобождения удерживающей защелки) необходимо значительное усилие от отключающего реле, что ограничивает точность действия реле. Ток троганья реле может отличаться от установленного значения на $\pm 25\%$, выдержка времени на $\pm 0{,}5$ сек. Поэтому, когда основным требованием защищаемых установок является точность действия реле, необходимо применять реле косвенного действия (например, ЭТ-71, ИТ-81), которые только замыкают свои контакты и при помощи специальных соленоидов отключения у привода выключателя отключают последний.



Фиг. 49. Характеристика времени действия реле КАМ.

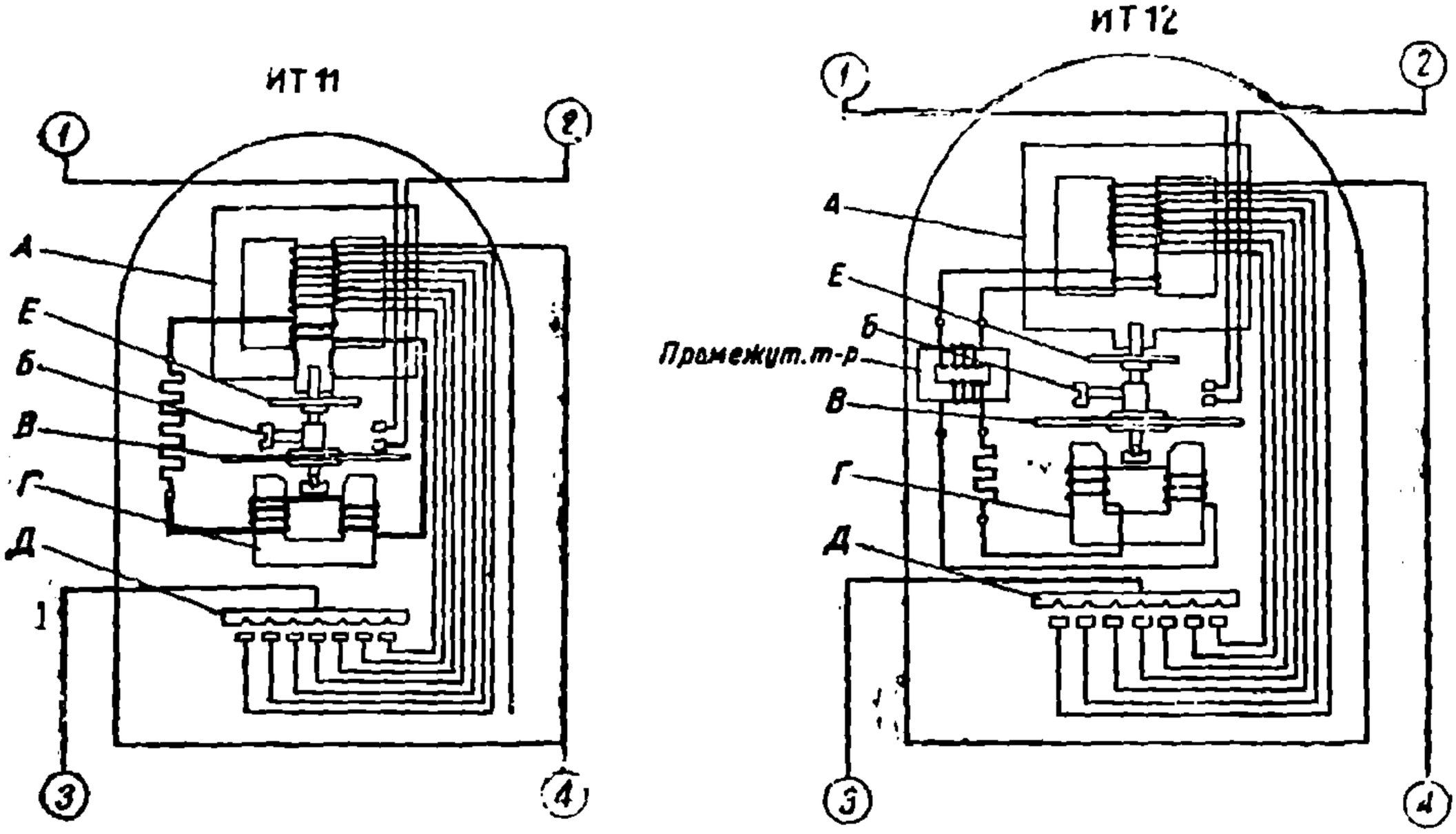
a — уставка 1 сек.; *b* — уставка 2 сек.; *c* — уставка 3 сек.; *d* — уставка 4 сек.

4. Максимальное токовое ограниченно зависимое реле ИТ-11 и ИТ-12 завода ХЭТЗ. Принципиальные схемы реле изображены на фиг. 50 и 51.

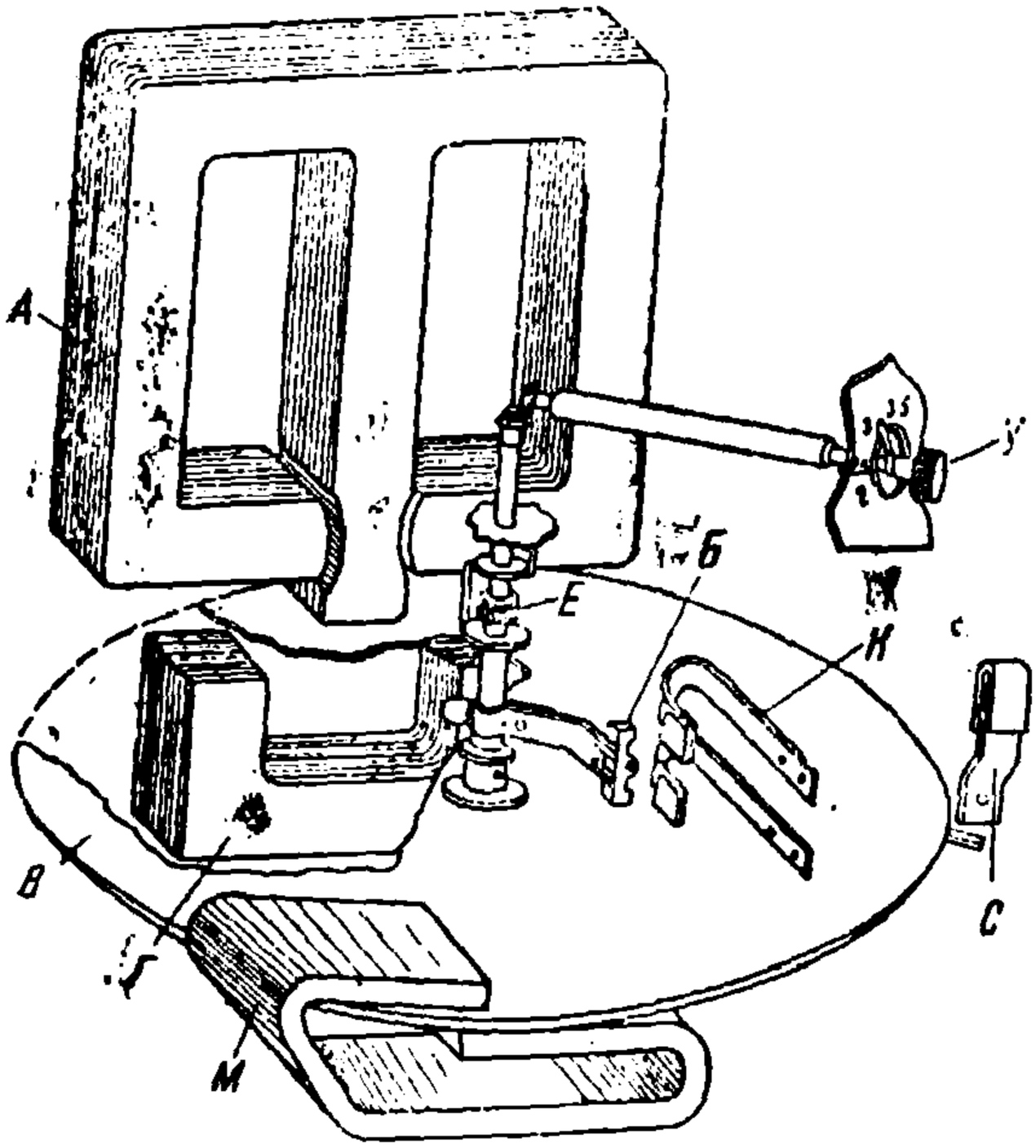
Реле — индукционное; магнитная система реле состоит из двух электромагнитов: верхнего *А* и нижнего *Г*, между которыми расположен медный диск *В*. На верхнем электромагните помещены две катушки: первичная секционированная, включаемая в цепь трансформаторов тока, и вторичная, которая соединяется с катушками нижнего электромагнита. Две обмотки верхнего магнита образуют трансформатор, который питает обмотку нижнего магнита. Последовательно с обмоткой нижнего электромагнита включено омическое сопротивление, благодаря которому создается сдвиг фазы магнитного потока нижнего электромагнита по отношению к магнитному потоку верхнего электромагнита, следствием чего получается бегущее магнитное поле, заставляющее вращаться медный диск.

УДУНТ (ДІІТ)

Движению диска противодействует спиральная пружинка *Е*, поворачивающая диск в сторону размыкания контактов.



Фиг. 50. Схемы внутренних соединений реле ИТ.



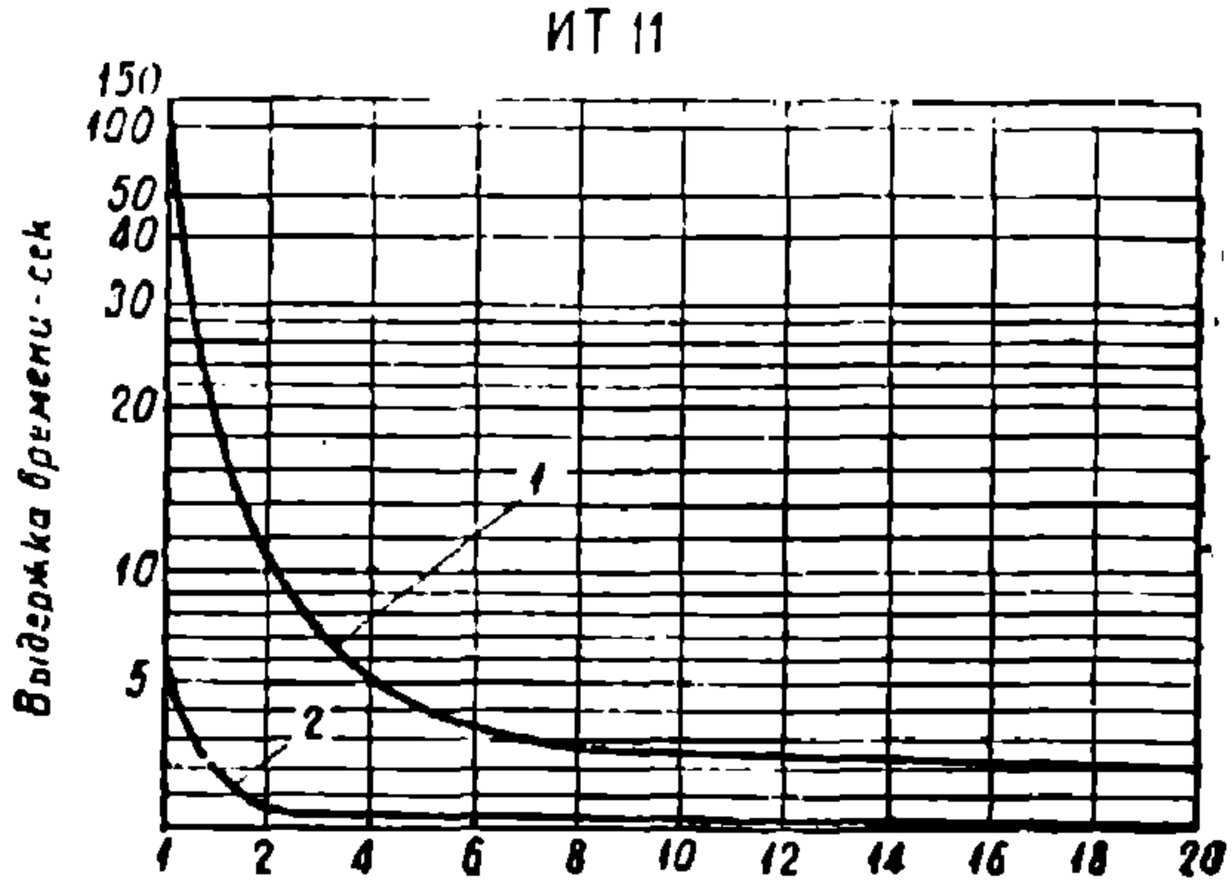
Фиг. 51. Схематический чертеж реле ИТ.

Кроме того, реле имеет постоянный магнит *М*, охватывающий диск и создающий тормозящий момент, что замедляет движение диска и ускоряет остановку диска при сверхтоке.

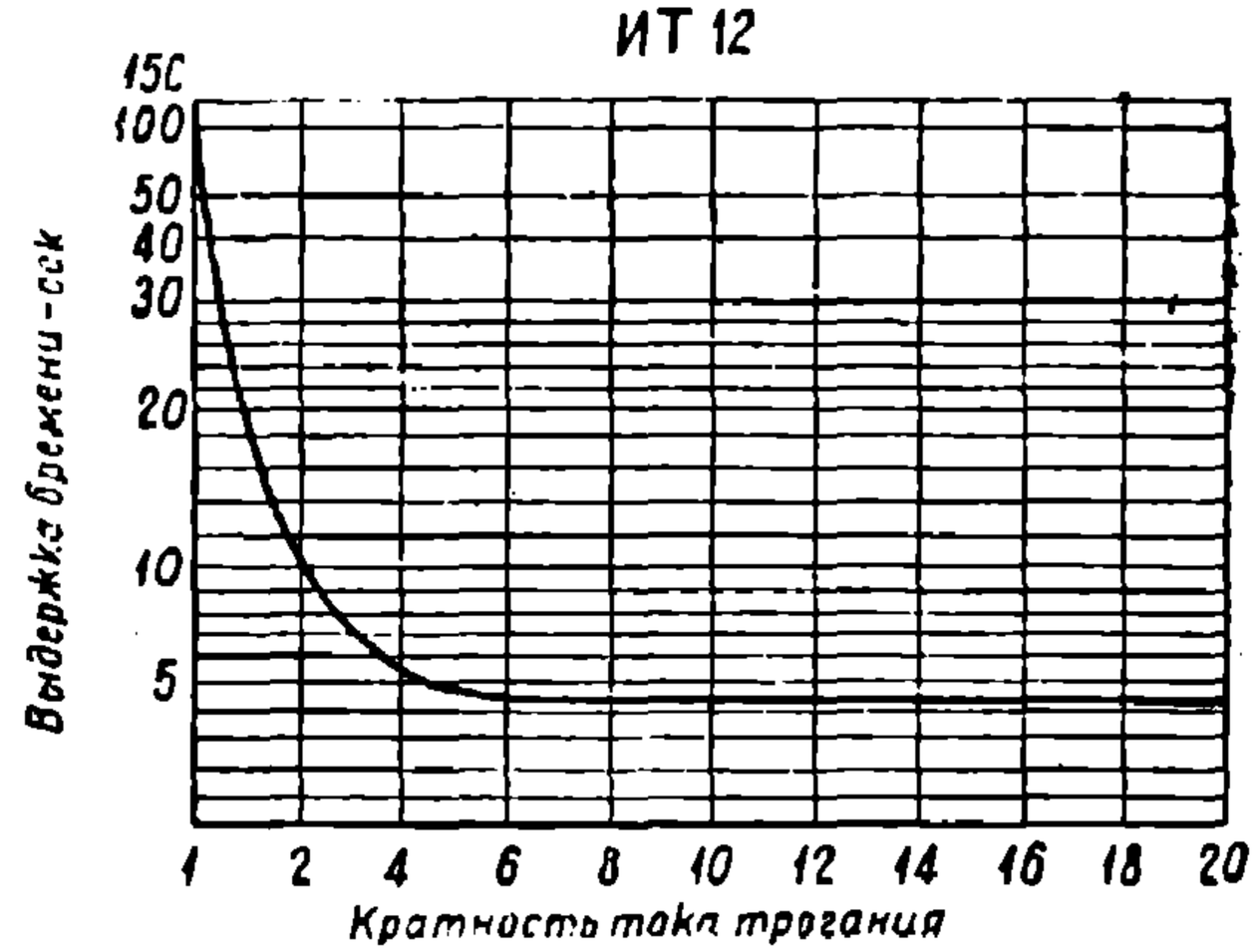
При достижении током, проходящим по реле, определенной установленной величины, вращающее усилие диска преодолевает сопротивление пружинки, диск поворачивается, и контактный мостик *Б*, укрепленный на его оси, замыкает неподвижные контакты, производящие отключение. Конструкция и расположение контактов выполнены таким образом, что при замыкании контактный мостик перемещается по поверхности неподвижных контактов на расстоянии еще около 3 *мм*, чем достигается надежное замыкание контактов и отсутствие вибраций.

УПУНТ (ДПТ)

Регулирование тока начала работы реле достигается изменением числа витков катушки верхнего электромагнита, включенных в цепь трансформатора тока (чем меньше витков, тем больше ток трогания). Для этой цели катушка имеет отпайки, подведенные к гнездам штепсельного мостика *Д*. Изменение тока начала работы производится штепселем, который вставляют в то или иное штепсельное гнездо. Штепсельный переключатель выполнен так, что при вынутом штепселе цепь трансформатора тока не разрывается, а в нее автоматически включается половина витков катушки реле. Пределы регулировки тока указаны в разделе основных данных реле.



Характеристика реле имеет ограниченно зависимую форму. Характеристики реле ИТ-11 и ИТ-12 показаны на фиг. 52. Как видно из характеристики, независимая часть характеристики у реле ИТ-11 наступает примерно при 15-кратном токе, а для реле ИТ-12 при 5-кратном токе.



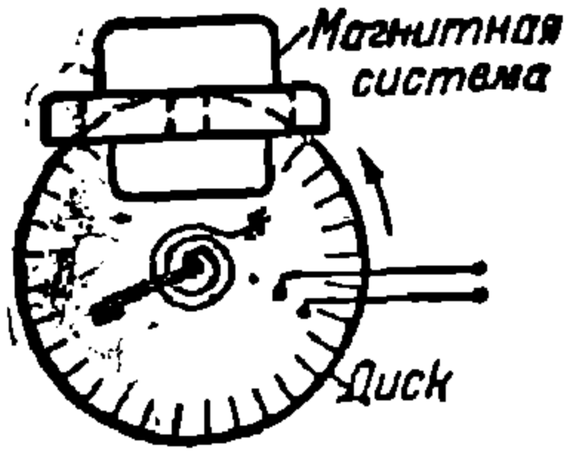
Фиг. 52. Характеристика реле ИТ.

Зависимая часть характеристики у реле ИТ-11 и ИТ-12, как и у всех индукционных реле, получается вследствие того, что вращающий момент диска пропорционален квадрату тока, поэтому с увеличением тока получается резкий рост вращающего момента и резкое уменьшение выдержки времени. Ограниченная часть характеристики получается оттого, что после определенной величины тока магнитный поток в электромагнитах достигает максимального значения, т. е. железо насыщается. При дальнейшем увеличении тока магнитный поток практически не увеличивается, а следовательно, не может увеличиваться и вращающий момент диска, т. е. время действия становится независимым от тока.

УДУНТ (ДІІТ)

Для получения независимой части характеристики при меньших кратностях тока у реле ИТ-12 обмотка нижнего электромагнита питается через промежуточный трансформатор (фиг. 50), железо которого насыщается уже при небольших кратностях тока.

Регулирование выдержки времени действия реле достигается изменением расстояния между подвижными и неподвижными контактами. Изменение расстояния достигается поворотом по шкале указателя *У*, связанного посредством конической передачи с поводком, определяющим начальное положение диска. При этом изменяется противодействующий момент пружины. Чтобы не происходило изменения тока троганья реле при изменении момента пружины, в диске реле сделаны радиальные прорезы, равномерно уменьшающиеся по длине (фиг. 53).



Фиг. 53.

Диск реле устанавливается таким образом, что при максимально возможном ходе его (300°) под полюсами магнитной системы располагаются наиболее длинные прорезы, а по мере поворота диска его прорезы под полюсами уменьшаются. Благодаря этим прорезам изменяется вращающее усилие диска: чем меньше прорез, тем больше усилие, т. е. при закручивании пружины одновременно с увеличением ее момента сопротивления увеличивается вращающий момент диска и происходит компенсация возрастающего момента пружинки.

При помощи прорезов в диске достигается также значительное уменьшение влияния токов нагрузки на время действия реле. В самом деле, если бы отсутствовала компенсация увеличения момента сопротивления пружинки, то при некотором токе диск реле повернулся бы на угол, при котором возросший момент пружинки остановил бы его. Этот предварительный угол поворота будет зависеть исключительно от величины тока нагрузки. Поэтому при наступлении аварии, когда реле действует на отключение, путь, проходимый диском до замыкания контактов, будет уменьшен, и следовательно, время отключения будет также уменьшено. Но все же примененная компенсация полного уничтожения влияния тока предварительной нагрузки не дает, и диск начинает вращаться при токе в 1,3 раза меньшем установленного тока троганья. Это необходимо учитывать при настройке реле и всегда стремиться устанавливать ток начала работы реле по крайней мере в 130% нормального рабочего тока, но не ниже.

Вследствие того что диск реле может повернуться на некоторый угол от токов нагрузки, время действия реле при аварии может быть несколько уменьшено, что является крупным недостатком реле, так как расстраивает селективность защиты.

Другим крупным недостатком реле является значительная инерция медного диска. Реле имеет инерционный выбег около 0,3 сек., т. е. диск реле еще вращается по инерции в течение 0,3 сек. после отключения тока перегрузки. Величину инерцион-

УДУНТ (ДІТ)

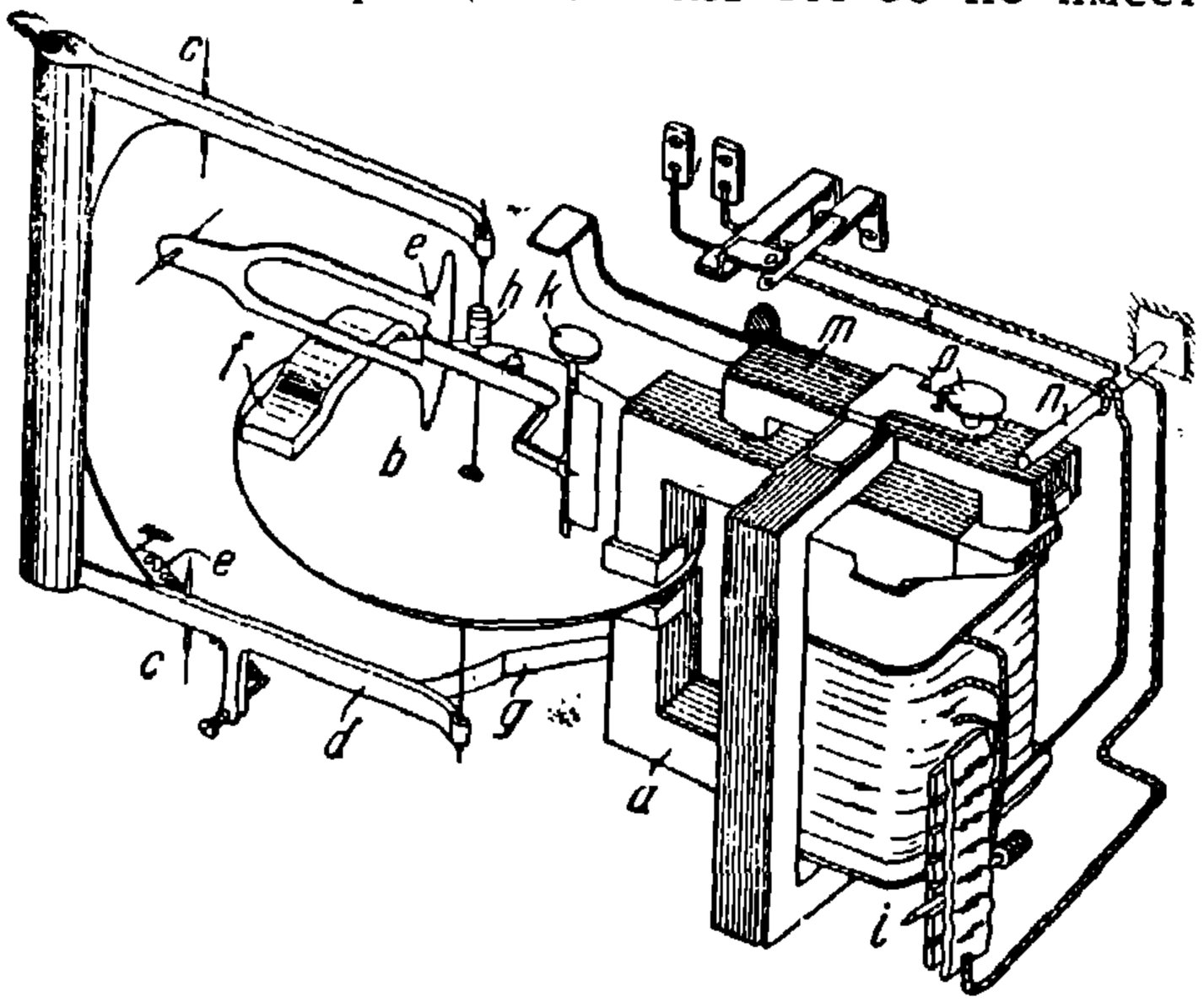
ного выбега необходимо учитывать при выборе интервала времени (ступени времени) двух последовательных участков защиты.

Реле потребляет мощность 3—4 *ва*.

Реле ИТ-11 и ИТ-12 применяются для защиты несложных энергосистем.

Реле ИТ-12 в настоящее время не изготовляется.

5. Максимальное токовое реле с ограниченно зависимой характеристикой ИТ-80 завода ХЭМЗ. Недостатки реле типа ИТ-11 и ИТ-12 свойственны многим типам максимальных реле, построенных на индукционном принципе. Реле ИТ-80 не имеет инерционного выбега и время действия реле не зависит от величины тока нагрузки, протекавшего в реле до аварии.



Фиг. 54. Принципиальный чертеж реле ИТ-80.

Принципиальный чертеж реле показан на фиг. 54. Реле состоит из:

а) индукционного реле, действующего с выдержкой времени;

б) электромагнитного реле, действующего мгновенно и осуществляющего отсечку при больших кратностях тока (под отсечкой подразумевается переход характеристики с выдержкой времени на мгновенное действие).

Индукционное реле имеет магнитную систему *a* с короткозамкнутым витком. Диск реле *b* насажен на ось, укрепленную в скобе *d*, ось вращения которой *c*. Под действием магнитной системы диск реле приходит во вращение, если ток в обмотке реле достигнет величины порядка 20—30% от тока троганья. Таким образом диск реле при нормальном токе все время вращается. Нормально скоба *d* при помощи пружины *e* оттянута в крайнее положение и червяк *h* на оси диска не сцеплен с зубчатым сектором *l*. Поэтому вращение диска реле при значениях тока ниже тока троганья не вызывает действия реле.

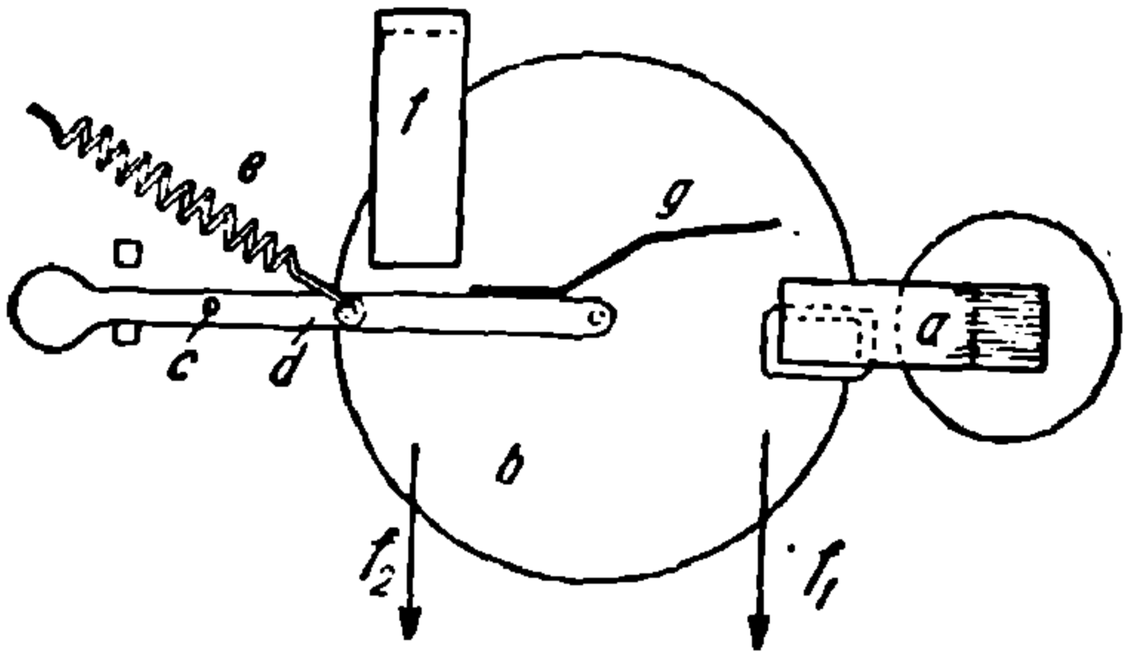
При вращении диска на него действуют (фиг. 55): сила f_1, создаваемая магнитной системой *a*, и сила f_2, создаваемая постоянным магнитом *f*, противодействующая вращению.

С увеличением тока в обмотке реле силы f_1 и f_2 также увеличиваются (увеличение силы f_2 обусловливается тем, что число оборотов диска возрастает). При токе троганья результирующая этих сил преодолевает натяжение пружины *e*, поворачивает скобу *d* и этим производит сцепление червячной передачи, т. е. чер-

УДУНТ (ДІІТ)

вяка на оси диска с зубчатым сегментом. Сегмент *l* начинает подниматься и по прошествии определенного времени его конец достигает коромысла *m* электромагнитной системы. Продолжая двигаться вверх, сегмент поднимает левую сторону коромысла *m*, уменьшая тем самым воздушный зазор правой стороны. При определенной величине зазора коромысло притягивается к магнитной системе *a* и замыкает контакты. Одновременно с замыканием контактов коромысло *m* воздействует на механический блинкер (на чертеже не показан).

Для предотвращения расцепления червячной передачи (вследствие уменьшившейся скорости диска при поднимании сегмента) на скобе *d* укреплена небольшая железная скоба *g*, на которую действует поток рассеяния магнитной системы и, следовательно, сообщает дополнительное усилие скобе *d*.



Фиг. 55. Принцип действия ИТ-80.

Коромысло *m* по существу представляет якорь электромагнитного максимального токового реле мгновенного действия и используется для создания отсечки, т. е. для мгновенного замыкания контактов после определенной кратности тока.

Для уменьшения «гудения» электромагнитного реле в правой части коромысла *m* имеется короткозамкнутый виток.

Регулировка тока трогания реле производится следующим образом:

а) у индукционного реле путем изменения числа витков обмотки при помощи штепсельного устройства *i*;

б) у электромагнитного реле путем изменения воздушного зазора между коромыслом и сердечником магнитной системы, достигаемое с помощью регулировочного винта *p*.

Регулировка выдержки времени реле (индукционного) производится перемещением упора *k*, от положения которого зависит начальное положение сегмента *l*.

Необходимо отметить, что благодаря сцеплению зубчатой передачи только при токе трогания реле выдержка времени реле не зависит от тока предварительной нагрузки. Регулировка тока трогания путем изменения числа витков катушки (ампервитки трогания постоянны) не изменяет формы кривой характеристики времени. Это является большим достоинством реле.

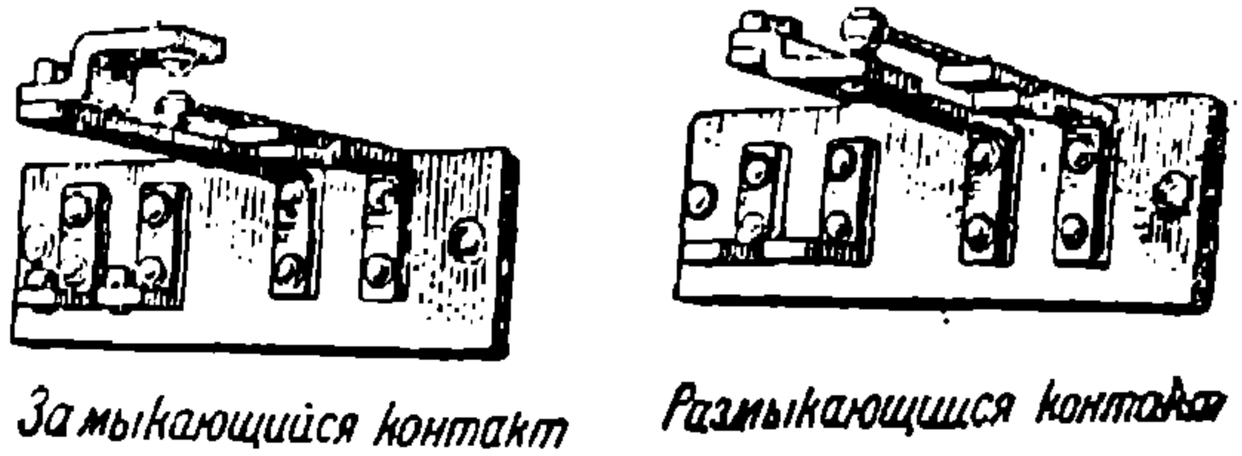
Контакты реле выполнены таким образом, что из замыкающихся они легко могут быть переделаны в размыкающиеся. Для этого необходимо только привернуть угловую часть неподвижного контакта так, чтобы она была расположена вниз (фиг. 56).

Реле ИТ-80 строятся с регулировкой тока трогания индукционного реле в пределах 2—5 и 4—10 *а*. Регулировка тока

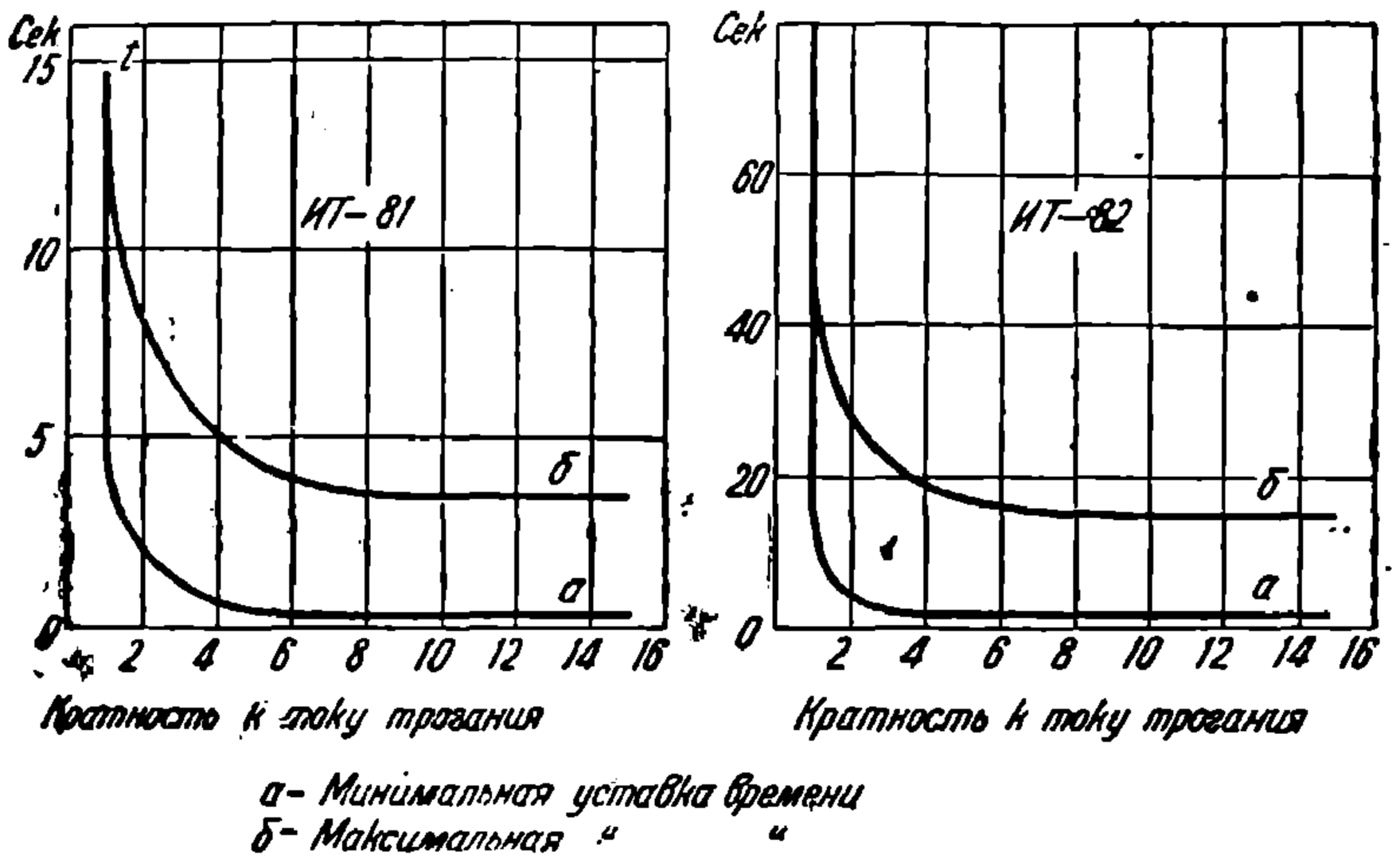
УПУНТ (ДІТ)

троганья реле отсечки может производиться в пределах 2—10-кратной величины по отношению к току троганья индукционного реле. Например, если трогание отсечки отрегулировано на 10-кратную величину, то при установке тока троганья индукционного реле на 5 а ток троганья отсечки будет $5 \cdot 10 = 50$ а; при изменении тока троганья индукционного реле, например, на 7 а также изменится и ток троганья отсечки и будет равен $7 \cdot 10 = 70$ а.

Характеристики реле показаны на фит. 57. Независимая часть характеристики реле



Фиг. 56. Контакты реле ИТ-80.



Фиг. 57. Характеристика реле ИТ-80.

получается вследствие насыщения железа магнитопровода.

Реле ИТ-82 имеет довольно большое время в независимой части (до 15 сек.) и применяется для защиты моторов собственного расхода от перегрузки. Отсечка при этом используется как мгновенно действующая максимальная защита при коротких замыканиях. При этом наличие одного блинкера не позволяет различить, была ли перегрузка мотора или короткое замыкание.

17. РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Реле напряжения реагируют на изменение напряжения в сети. Различают:

а) реле максимального напряжения;

б) реле минимального напряжения.

Первые действуют при повышении напряжения выше установленного значения; вторые, наоборот, при понижении напряжения ниже установленного значения. Реле напряжения, так же

УРУНТ (ДІТ)

как и токовые выполняются: с зависимой выдержкой времени, с независимой выдержкой времени и мгновенного действия.

Реле минимального напряжения применяются для защиты сетей, электродвигателей и синхронных компенсаторов от понижения рабочего напряжения. Реле максимального напряжения применяются, главным образом, в защитах гидрогенераторов от чрезмерного повышения напряжения при сбросе или снижении нагрузки.

Конструкция реле напряжения подобна конструкции токовых реле, отличаясь от последних лишь катушками, которые выполняются из тонкой проволоки, имеют большое сопротивление и включаются на напряжение.

Реле минимального напряжения, включенные на напряжение, держат свои якори (или диски) в притянутом состоянии. При уменьшении напряжения ниже установленной величины якорь отпадает и замыкает контакты. Для возврата реле минимального напряжения в исходное положение требуется напряжение большее, чем то, при котором отпадает якорь. Поэтому коэфициент возврата этих реле

$$k = \frac{U_{возвр}}{U_{трог}} > 1.$$

Реле максимального напряжения действуют так же, как и максимальные токовые реле.

В Союзе реле напряжения изготовляются мгновенного действия и с зависимой характеристикой.

К реле мгновенного действия относятся реле ЭН-70 и ЭН-60. По конструкции (за исключением обмоток) эти реле подобны максимальным токовым реле ЭТ-70 и ЭТ-60.

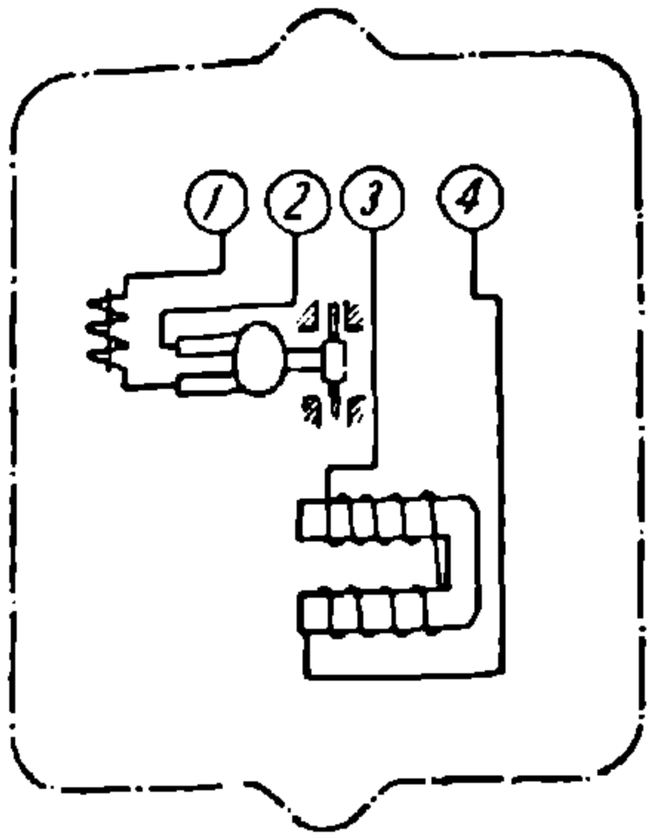
Раньше выпускались реле с зависимыми характеристиками ИН-30, у которых не было регулировки напряжения трогания. В настоящее время выпускаются реле с зависимой характеристикой ИН-139/1,2, действующее при понижении напряжения, и реле ИН-139/3, действующее при повышении напряжения выше установленного значения (фиг. 58). Реле — индукционное: на диск реле действует магнитная система с короткозамкнутым витком. Полюс с короткозамкнутым витком устроен поворотным относительно электромагнита. В зависимости от поворота короткозамкнутого витка изменяется момент, действующий на диск реле, чем и регулируется напряжение трогания. Например, для реле ИН-139/2, рассчитанного на номинальное напряжение 100 *в*, напряжение трогания можно отрегулировать в пределах 40—70 *в*.

Регулирование выдержки времени реле производится при помощи указателя, изменяющего расстояние между подвижным и неподвижным контактами.

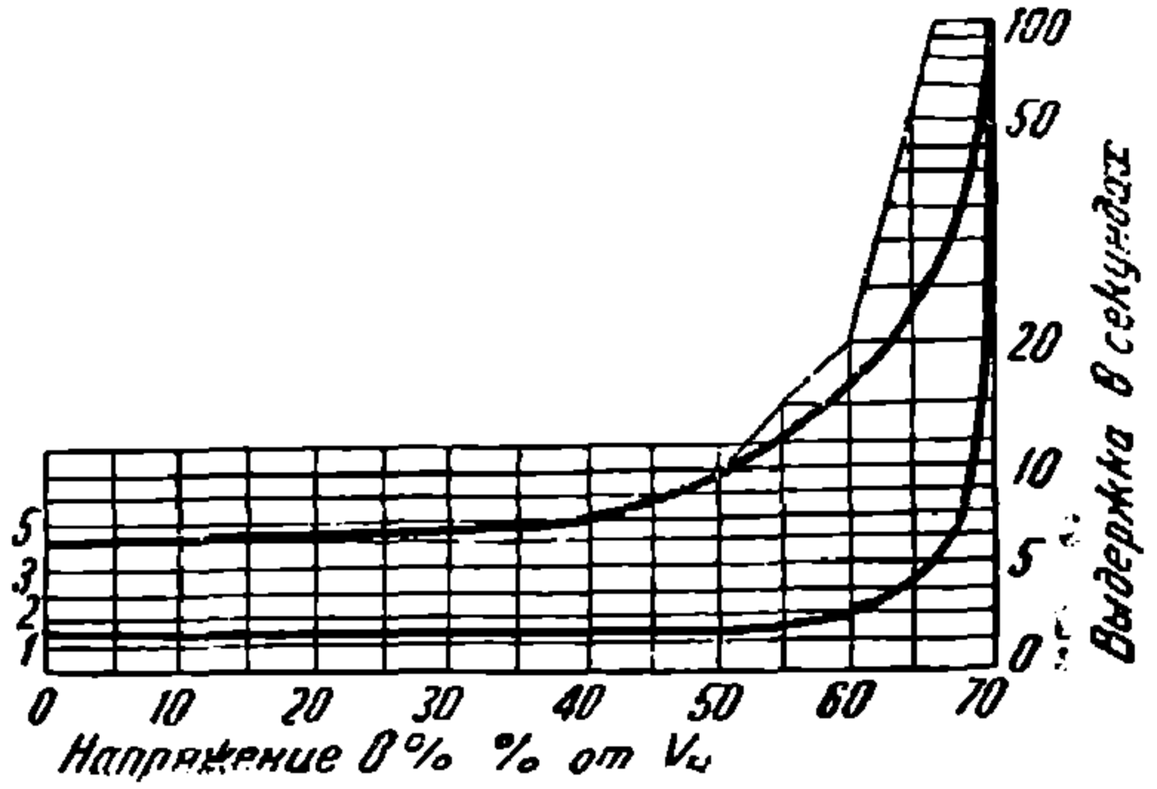
Характеристика времени действия зависимого реле минимального напряжения показана на фиг. 59.

УДУНТ (ДІІТ)

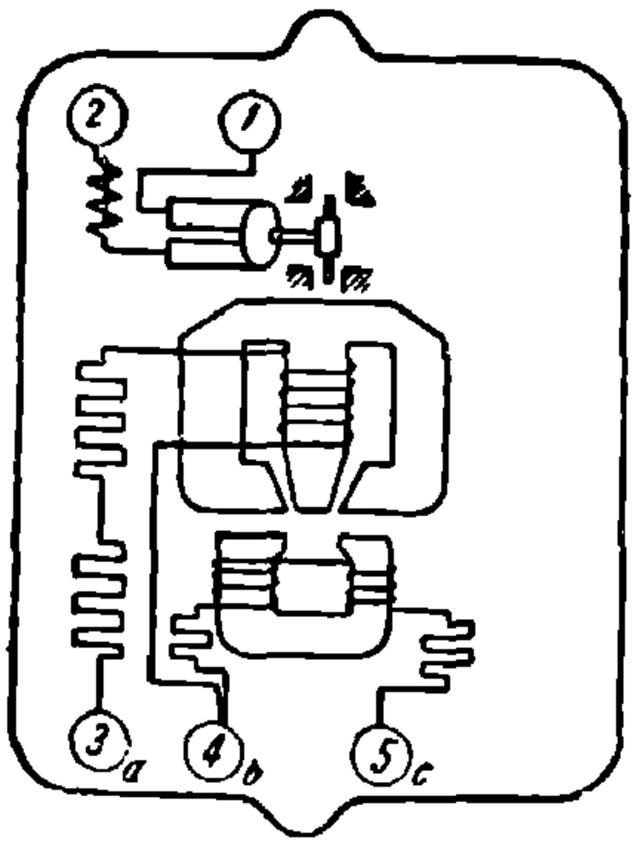
Для защиты от понижения напряжения выпускаются также трехфазные реле ИН-138. Это реле — индукционные (фиг. 60 и 61), номинальное напряжение реле 100 *в*; напряжение трогания 70 *в*. Регулировки напряжения трогания не имеется.



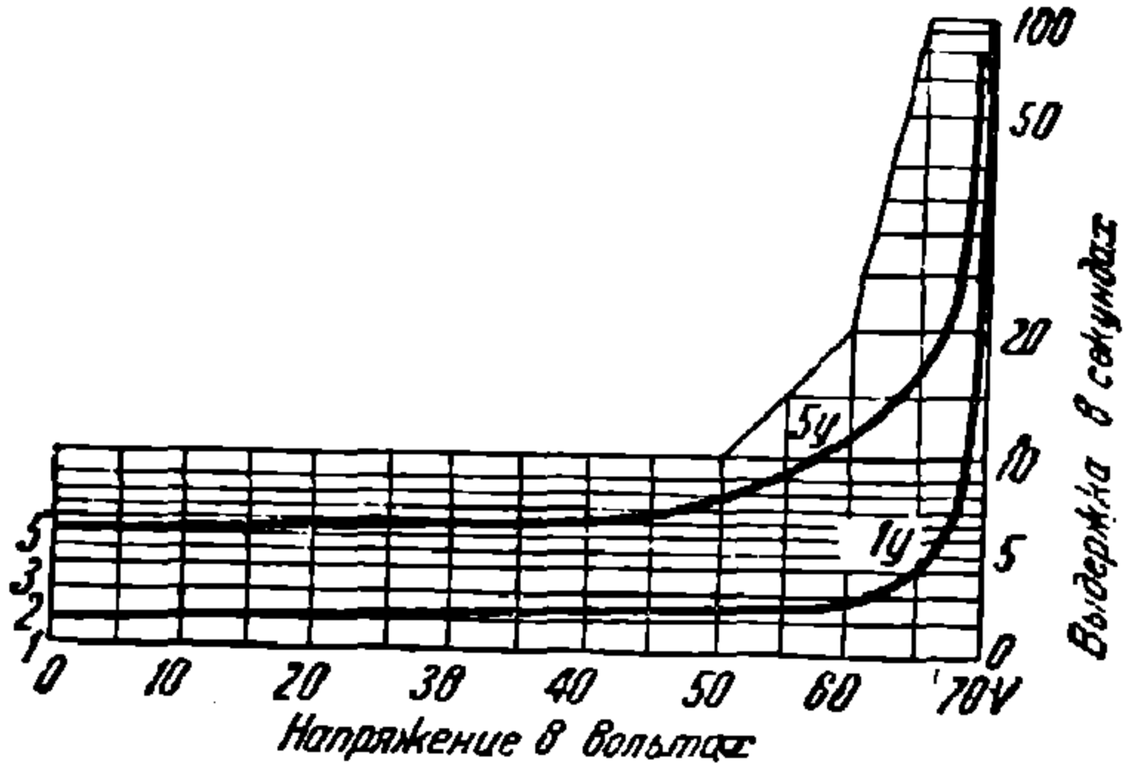
Фиг. 58. Схема реле напряжения ИН-139.



Фиг. 59. Характеристика реле минимального напряжения ИН-139/2. Характеристики относятся к реле, отрегулированному на напряжение начала работы, равное 70% от $U_{ном}$ (для первой и пятой уставок).



Фиг. 60. Схема трехфазного реле напряжения ИН-138.



Фиг. 61. Характеристика трехфазного реле минимального напряжения ИН-138.

Коэфициент возврата индукционных реле минимального напряжения около 1,33 $\left(\frac{1}{0{,}75}\right)$ и реле максимального напряже-

18. РЕЛЕ МОЩНОСТИ

Реле мощности реагируют на направление и величину мощности. Принцип действия реле мощности тот же, что и у приборов, измеряющих мощность (ваттметр). Реле имеет две обмотки — токовую, включаемую в цепь тока, и напряжения, включаемую на напряжение. При определенной величине и направлении мощности подвижная система реле (в ваттметре система со стрелкой) поворачивается и замыкает контакты. При пере-

УДУНТ (ДІІТ)

мене направления мощности подвижная система повернется в другую сторону.

Так как для замыкания контактов реле мощности необходимо определенное направление мощности, то эти реле часто называют реле направления мощности или реле направления энергии.

Реле мощности применяются для направленной, восьмерочной, дистанционной защиты, а также для защит от замыкания на землю генераторов и сетей.

Для построения реле мощности используются два принципа: электродинамический и индукционный.

Реле мощности выполняются однофазными, двухфазными и трехфазными. Двух- и трехфазные реле выполняются в виде двух или трех однофазных реле, подвижные системы которых имеют одну общую ось.

В Союзе изготовляются однофазные и трехфазные реле мощности по индукционному принципу.

Вращающий момент, развиваемый подвижной системой реле мощности равен:

$$M = k \cdot U \cdot i \cdot \cos(\varphi + \alpha),$$

где k — коэфициент пропорциональности;
U — напряжение, подведенное к обмотке напряжения реле;
i — ток в токовой обмотке реле;
φ — угол сдвига фаз между током i и напряжением U;
α — внутренний угол сдвига реле, зависящий от конструкции реле.

При внутреннем угле сдвига реле $\alpha = 0°$, реле будет иметь вращающий момент:

$$M = k\,U\,i \cos\varphi.$$

Такое реле называется косинусным, так как его момент пропорционален $\cos\varphi$.

Наибольший вращающий момент при данном токе и напряжении косинусное реле будет развивать, когда угол $\varphi = 0°$, т. е. когда ток и напряжение совпадают по фазе (активная нагрузка).

Поэтому это реле также называется реле активной мощности.

При внутреннем угле $\alpha = 90°$ вращающий момент будет:

$$M = k\,U\,i \cos(\varphi + 90°) = k\,U\,i \sin\varphi.$$

Вследствие пропорциональности момента реле $\sin\varphi$ это реле называется синусным.

При данном значении U и i синусное реле будет иметь наибольший вращающий момент при угле сдвига $\varphi = 90°$, т. е. при емкостной или индуктивной (реактивной) нагрузке. Поэтому это реле называют также реле реактивной мощности.

1. Реле ИМ-41 (фиг. 62). Магнитная система реле состоит из двух электромагнитов: электромагнита A с катушкой, включае-

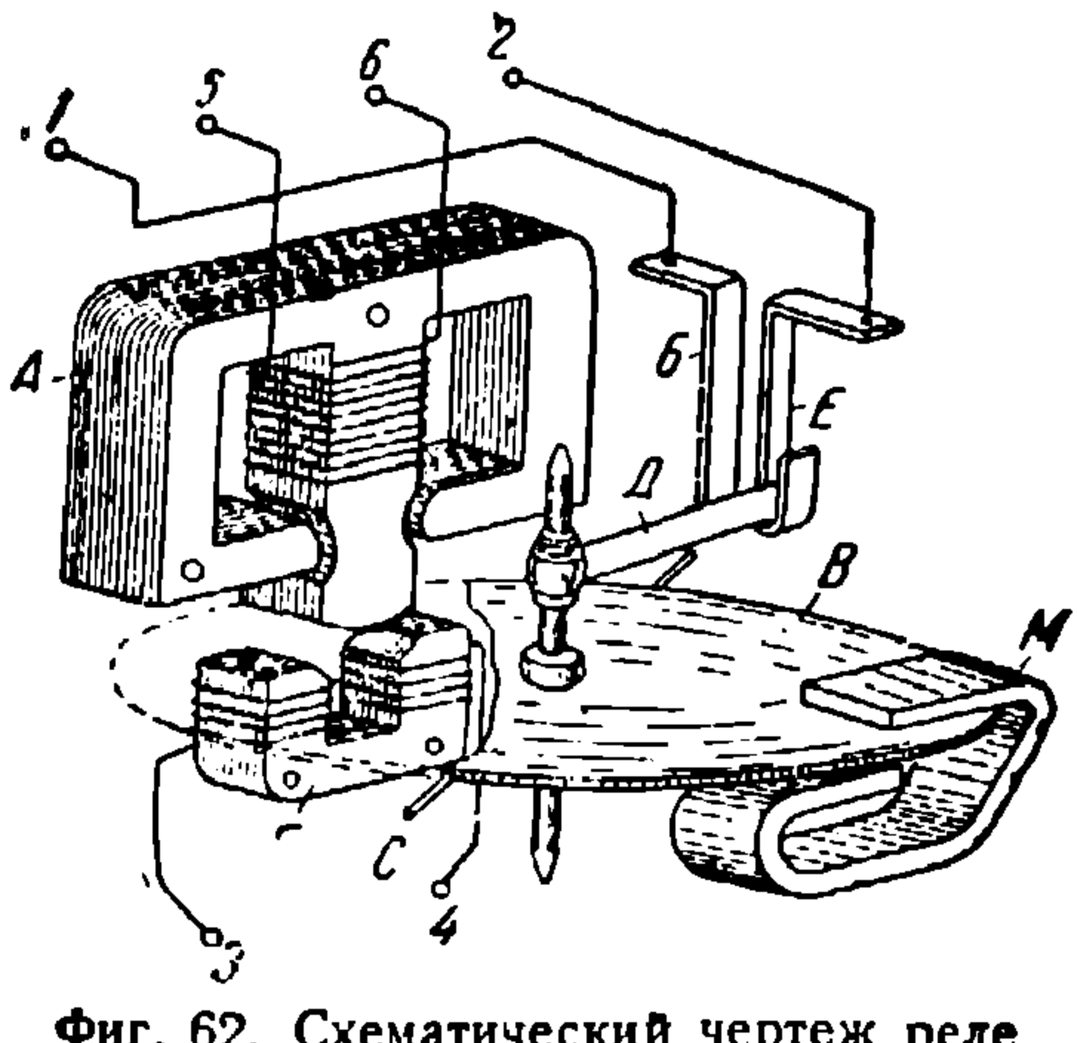
УПУНТ (ДІТ)

мой на напряжение, и электромагнита *Г* с катушкой тока. Между полюсами электромагнитов помещен медный диск *В*.

Магнитные потоки верхнего *А* и нижнего *Г* электромагнитов создают вращающийся магнитный поток. При пересечении медного диска вращающимся потоком в диске индуктируются токи.

В результате взаимодействия токов с вращающимся потоком диск приходит во вращение. Вращающий момент диска пропорционален $UI \cos \varphi$. Вращающему моменту противодействует пружина *Е*, на которую при вращении диска нажимает сидящий на его оси рычажок *Д*. Когда момент достаточен по величине и имеет надлежащее направление, укрепленный на пружинке *Е* контакт прижимается к неподвижному контакту, укрепленному на пружинке *Б*. При направлении энергии, обратном заданному, диск и связанный с ним изолированный рычажок движутся в сторону размыкания контактов.

Плавность движения диска и смягчение вибраций при замыкании контакта обеспечиваются демпфирующим действием постоянного магнита *М*. Движение диска в обе стороны ограничивается упорами *С*.



Фиг. 62. Схематический чертеж реле мощности ИМ-41.

Максимальная мощность трогания реле около 15 *вт*.

Благодаря инерции диска и тормозному действию постоянного магнита *М* реле действует с небольшой выдержкой времени. Для уменьшения выдержки времени ход контактов берется около 1—1,2 *мм* и при нормальной работе к реле не подводится напряжения, т. е. контакты реле находятся в нейтральном положении. Время замыкания контактов реле зависит от мощности, подведенной к реле. При мощности, равной полуторакратной мощности трогания, выдержка времени равна 0,7 сек., при 10-кратной 0,25 сек. Если к реле будет постоянно подведено напряжение, то выдержка времени может значительно возрасти, потому что мощность, направленная в сторону, обратную заданной, поворачивает диск в сторону размыкания контактов и тем увеличивает ход на замыкание.

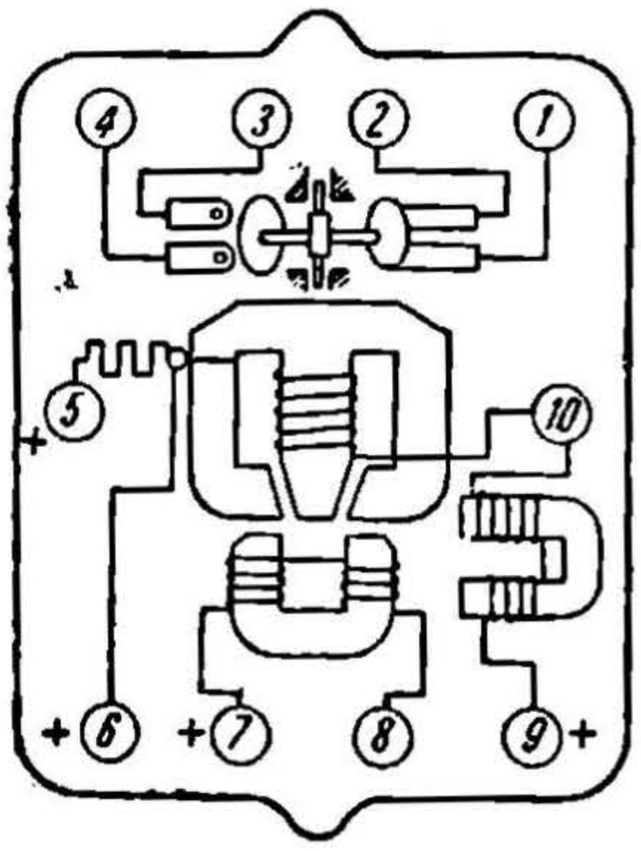
К недостаткам реле ИМ-41 относится большая мощность трогания, большое время действия и вибрирование контактов при замыкании, которое происходит вследствие их несовершенной конструкции.

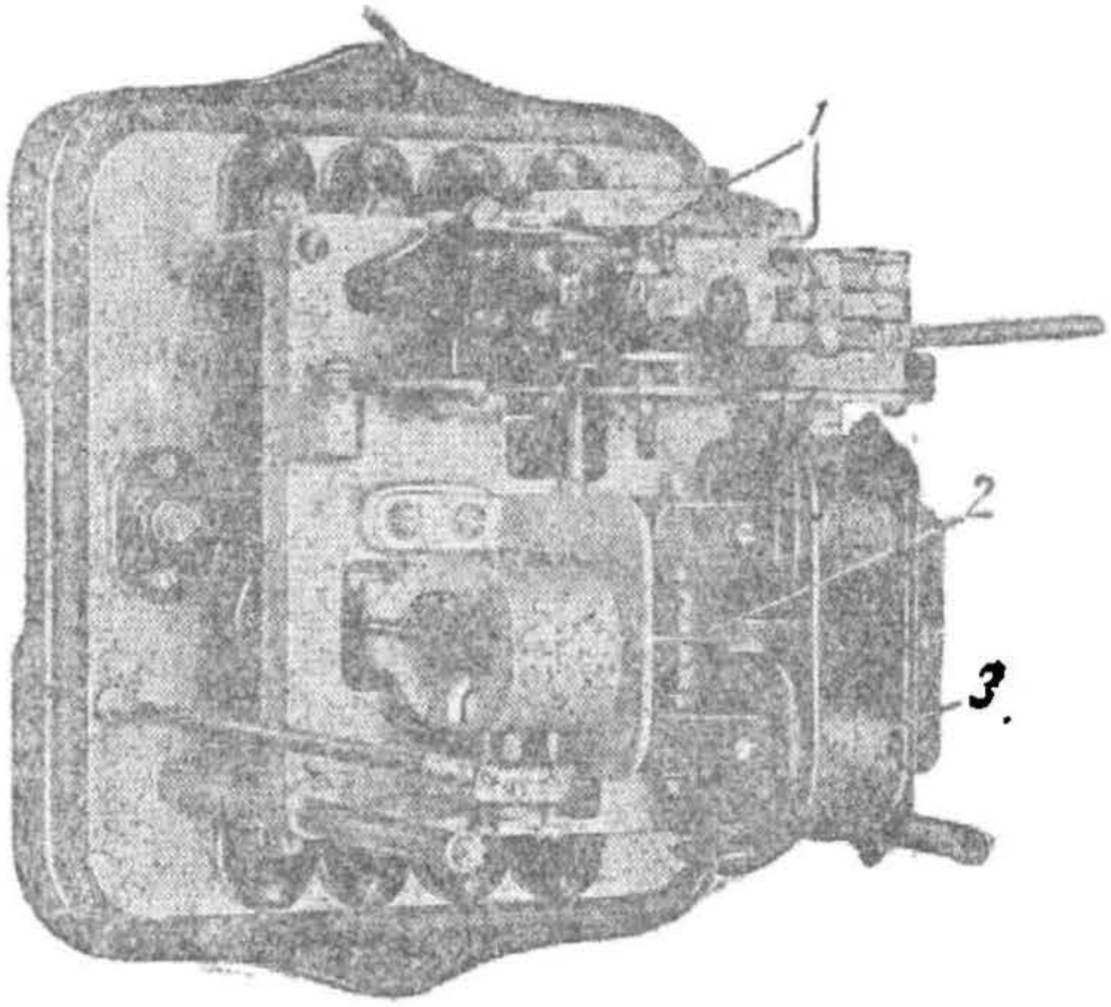
Вместо реле ИМ-41 в настоящее время выпускается реле мощности ИМ-142.

2. Реле мощности ИМ-142 (фиг. 63). Контактная система реле

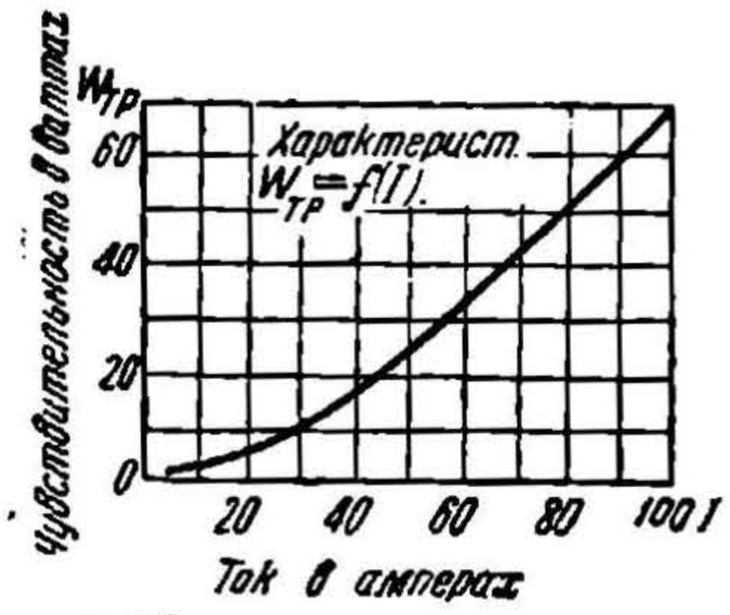
УДУНТ (ДІІТ)

ИМ-142 приводится в действие через зубчатую передачу, что позволяет получить более мощные и надежные контакты. В реле имеется две пары контактов — одни нормально замкнуты, другие разомкнуты. При действии реле замыкание контактов происходит в соответствии с направлением энергии. Вращающий момент диска реле пропорционален $UI\cos(\varphi + 15°)$, а при включении добавочного сопротивления с катушкой напряжения $UI\cos(\varphi + 45°)$, т. е. реле имеет максимальный вращающий момент, когда ток опережает напряжение соответственно на 15 и 45°.





Фиг. 63а и б. Реле мощности ИМ-142.
1 — контакты; *2* — диск реле; *3* — удерживающая система.



Фиг. 64. Характеристика мощности троганья реле мощности ИМ-142.

Вследствие применения более совершенной магнитной системы минимальная мощность троганья реле уменьшена и равна около 5 *вт*. Мощность троганья реле не является величиной постоянной и зависит от тока, протекающего на токовой катушке. Зависимость изменения мощности троганья показана на фиг. 64.

Для создания фиксированного положения контактов реле во время нормальной работы на диск реле действует удерживающая система напряжения с короткозамкнутым витком. Момент, развиваемый удерживающей системой при нормальной работе, значительно больше момента, развиваемого системой, реагирующей на мощность, и поэтому контакты реле остаются в определенном положении независимо от того, в какую сторону (к шинам или от шин) протекает энергия. При действии схемы защиты, в комплект которой включено реле мощности, напряжение с удерживающей системы снимается и реле производит выбор направления, т. е. замыкает те или другие контакты согласно направлению энергии. Благодаря фиксированному по-

УДУНТ (ДІІТ)

ложению контактов перед действием реле срабатывание реле происходит с минимальным временем. Время действия контактов реле указано в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4

Кратность к мощности трогания	Время замыкания нормально разомкнутых контактов	Время размыкания нормально замкнутых контактов
1,5	0,5 сек	0,04 сек
10	0,2	0,03 „

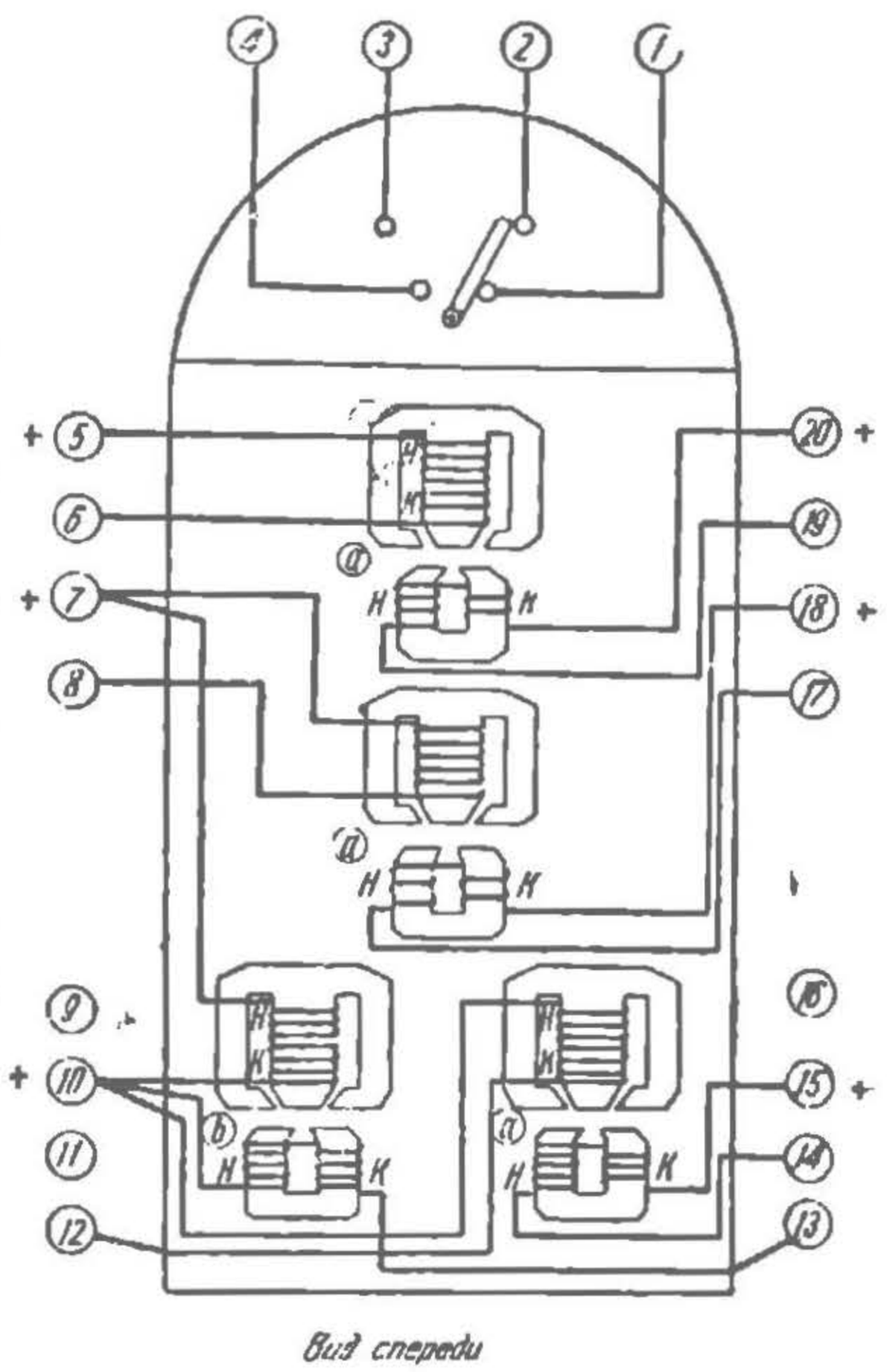
Трехфазное реле мощности ИМ-302 состоит из трех однофазных реле (аналогичных ИМ-142), диски которых насажены на одну общую ось. В качестве удерживающей системы применена система трехфазного реле напряжения, действующая на диск реле одной из фаз. Схема реле показана на фиг. 65. Мощность трогания реле около 3,5 *вт* на фазу.

3. Реле мощности ИМ-143/1. Принцип действия реле ИМ-143 аналогичен реле ИМ-142. Схема внутренних соединений реле показана на фиг. 66.

Реле реагирует на мощность $UI\cos\varphi$ [точнее $UI\cos(\varphi + 12°)$].

Реле имеет регулировку мощности трогания, которая производится последовательным или параллельным включением токовой катушки и путем изменения натяжения спиральной пружинки. При параллельном включении обмоток токовой катушки мощность трогания реле увеличивается в два раза по сравнению с последовательным соединением.

Регулировку мощности трогания реле можно производить в пределах 0,15—0,6 *вт* при последовательном соединении обмоток и 0,3—1,2 *вт* при параллельном.



Вид спереди

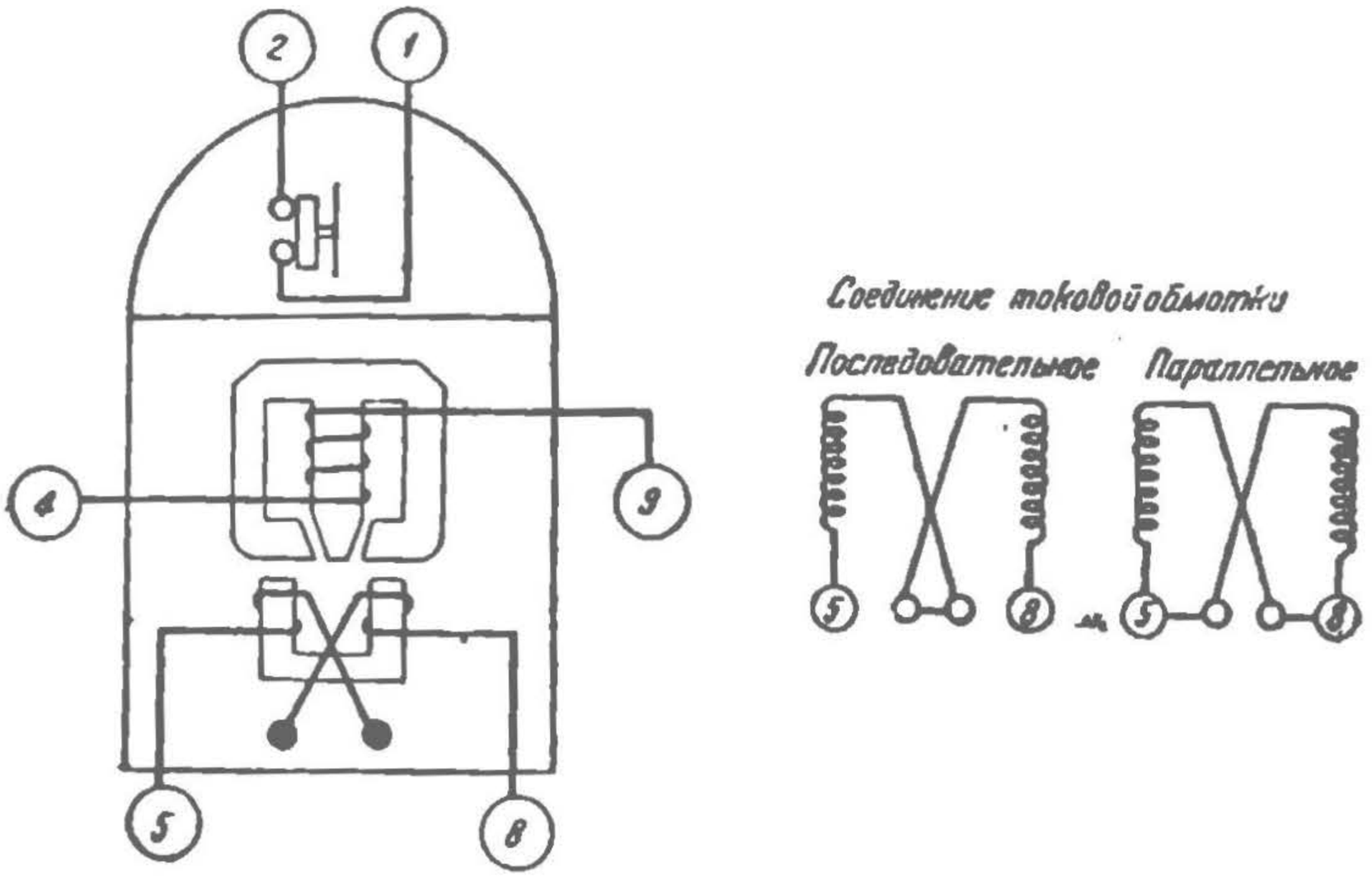
Фиг. 65. Схема реле ИМ-302.

Малая мощность трогания реле ИМ-143/1 достигнута за счет увеличения числа витков токовой катушки реле, что в свою очередь сильно увеличивает сопротивление обмотки. Так, например, при последовательном соединении токовых обмоток импеданц цепи равен около 9 *ом* и при параллельном 2,3 *ом*. Величину сопротивления токовых обмоток реле необходимо учитывать при включении реле в схему. Токовые обмотки не рассчитаны

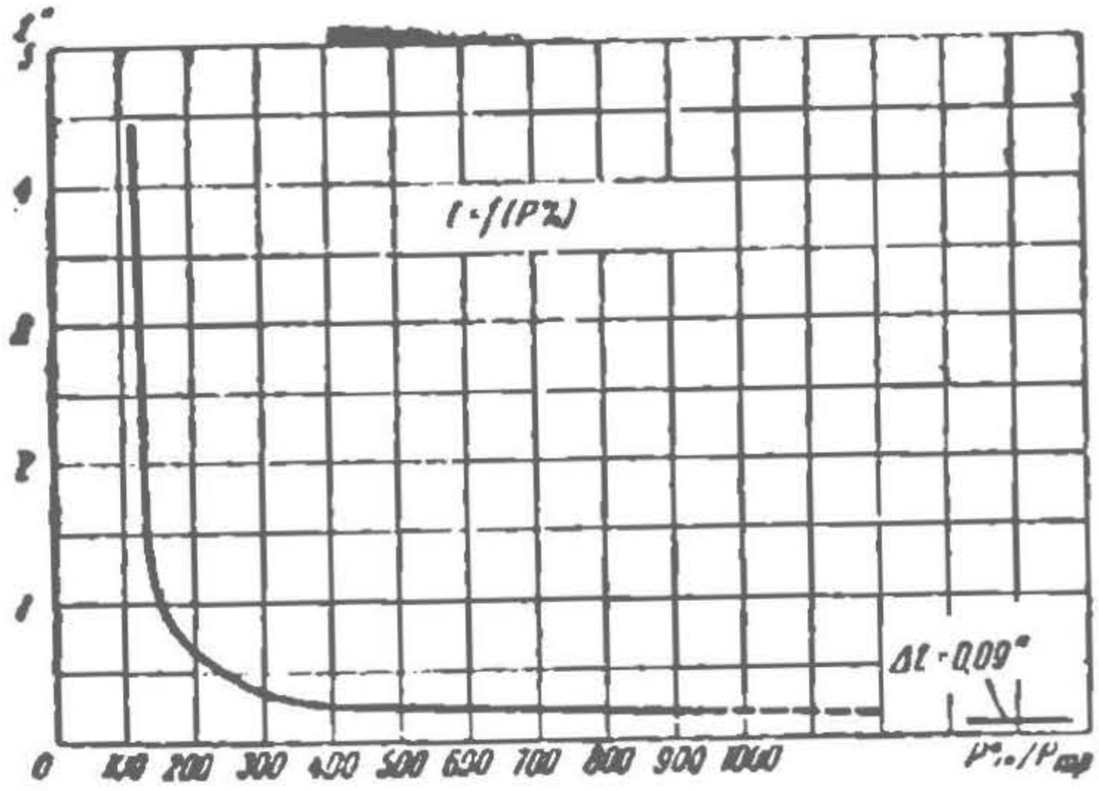
УДУНТ (ДІІТ)

на протекание токов большой величины (максимум 1—2 *а*). Характеристика времени действия реле показана на фиг. 67. Благодаря малой мощности трогапья реле ИМ-143 применяются преимущественно для защиты от замыкания на землю.

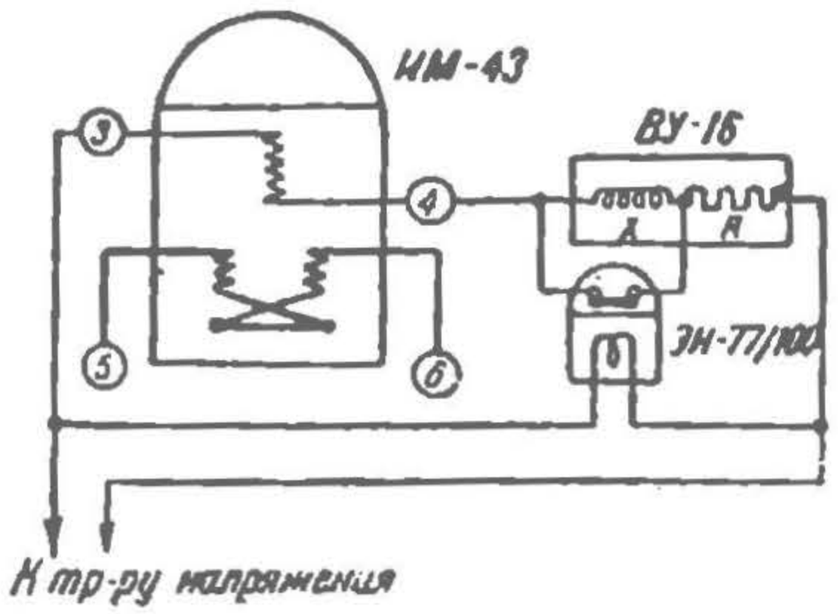
Обмотка напряжения реле ИМ-143/1 рассчитана для непосредственного включения на напряжение 110 *в*. Выпускавшиеся ранее чувствительные реле мощности ИМ-43 имели обмотку напряжения, рассчитанную на напряжение 60 *в*. Так как при пол-



Фиг. 66. Схема реле ИМ-143.



Фиг. 67. Характеристика времени действия реле ИМ-143.



Фиг. 68. Схема включения реле ИМ-43 с дросселем ВУ-16.

ном замыкании на землю к реле может быть подведено напряжение выше 60 *в*, то цепь напряжения реле ИМ-43 включается по схеме фиг. 68. При напряжениях ниже 60 *в* дроссель *X* закорочен контактами реле напряжения и к реле мощности подводится полное напряжение. При напряжениях выше 60 *в* реле напряжения размыкает свои контакты, последовательно с катушкой напряжения реле включается дроссель *X*, в котором поглощается около 50% подводимого напряжения.

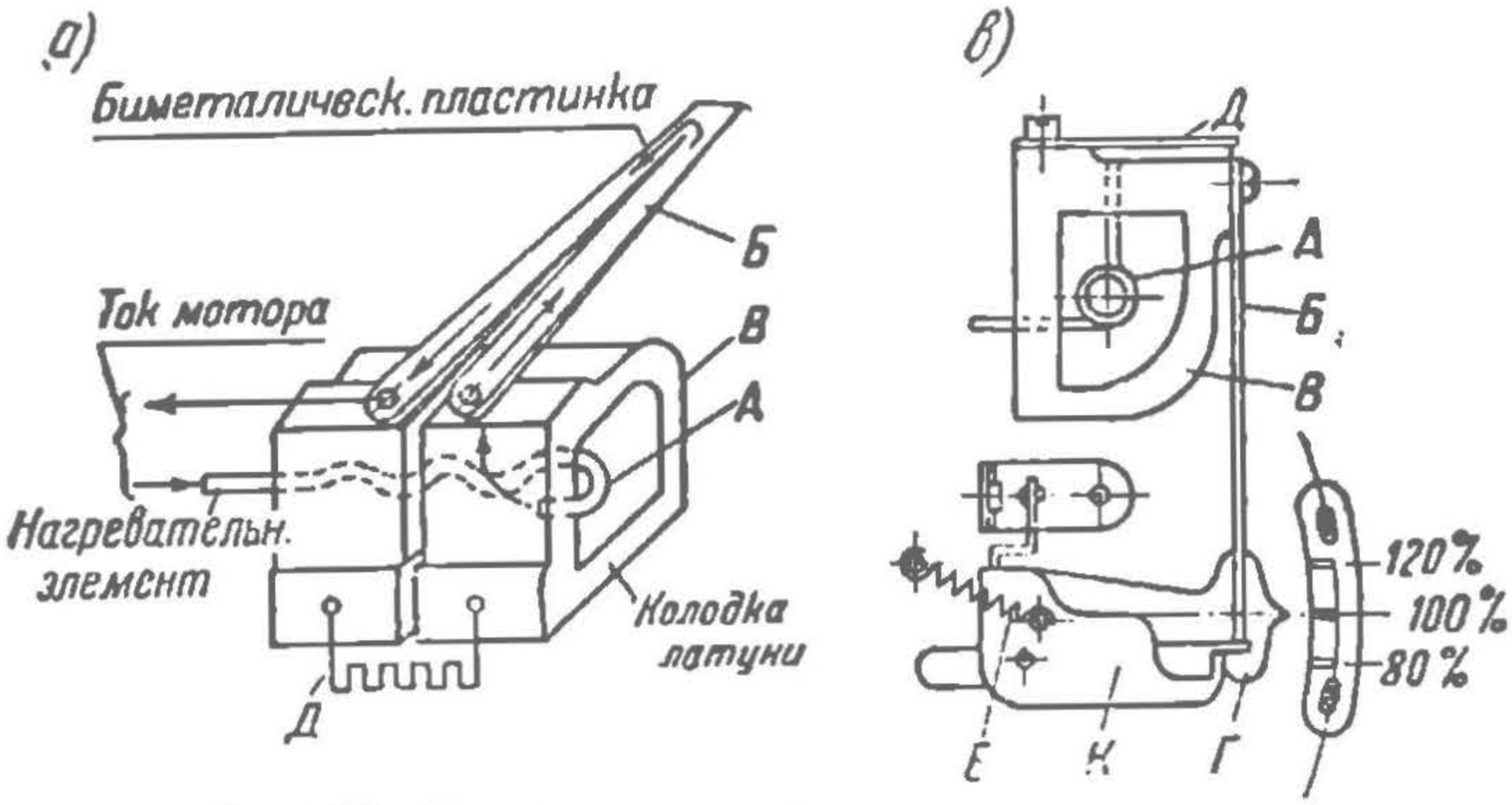
Дроссель **X** входит в вспомогательное устройство ВУ-16.

УДУНТ (ДІІТ)

19. ТЕПЛОВЫЕ РЕЛЕ

Тепловыми, или термическими, реле называются реле, реагирующие на тепловое действие электрического тока. Тепловые реле применяются для защиты электрических машин, главным образом электродвигателей постоянного и переменного токов от перегрузки.

Тепловое реле может учитывать предварительную нагрузку электродвигателя.



Фиг. 69. Принцип устройства теплового реле.

Существуют также тепловые или температурные реле, которые реагируют на температуру окружающей среды. К таким реле, например, относится ртутный термометр с впаянными контактами. Температурные реле применяются для сигнализации о недопустимом перегреве электрических установок, подшипников и т. п., а также для автоматического регулирования температуры, например, воздействует на управление вентиляционных моторов, охлаждающих силовой трансформатор.



Фиг. 70. Тепловое реле ТТ-20.

1. Тепловое реле ТТ-22 завода ХЭМЗ (фиг. 69). Общий вид реле приведен на фиг. 70. Реле состоит из следующих основных элементов: нагревательного элемента *А*, двух латунных колодок *В*, биметаллической пластинки *Б*, пружины *Е* и контактного устройства *К*.

Биметаллическая пластинка сделана из двух различных металлов, сваренных вместе. Металлы верхнего и нижнего слоев пла-

УДУНТ (ДІІТ)

стинки при нагревании удлиняются по-разному — верхний слой удлиняется гораздо меньше, чем нижний, а так как они сварены вместе, то пластинка изгибается.

Нагревательный элемент и биметаллическая пластинка соединены последовательно и обтекаются током защищаемого мотора. На фиг. 69 стрелками показано распределение токов внутри реле.

Биметаллическая пластинка *Б* нагревается током, протекающим по ней, и теплом латунных колодок *В*, в которые вставлен нагревательный элемент *А*. При достижении определенной температуры нагрева биметаллическая пластинка прогибается настолько, что освобождается защелка контактного устройства *К*, которая под действием пружины *Е* поворачивается и производит соответствующее воздействие на контакты.

При небольших перегрузках электродвигателя ток, протекающий по биметаллической пластинке, нагревает ее незначительно, латунные колодки *В*, от которых биметаллическая пластинка также получает тепло, нагреваются медленно вследствие большого объема; поэтому реле подействует только через большой промежуток времени. Если до наступления перегрузки электродвигатель был значительно нагрет, то и элементы теплового реле были также нагреты, и поэтому с наступлением перегрузки реле произведет более быстрое отключение.

При больших перегрузках получается значительный нагрев током, протекающим по биметаллической пластинке, и реле действует быстрее.

При коротких замыканиях в электродвигателе реле не может произвести мгновенного отключения, так как для нагрева биметаллической пластинки потребуется некоторое время.

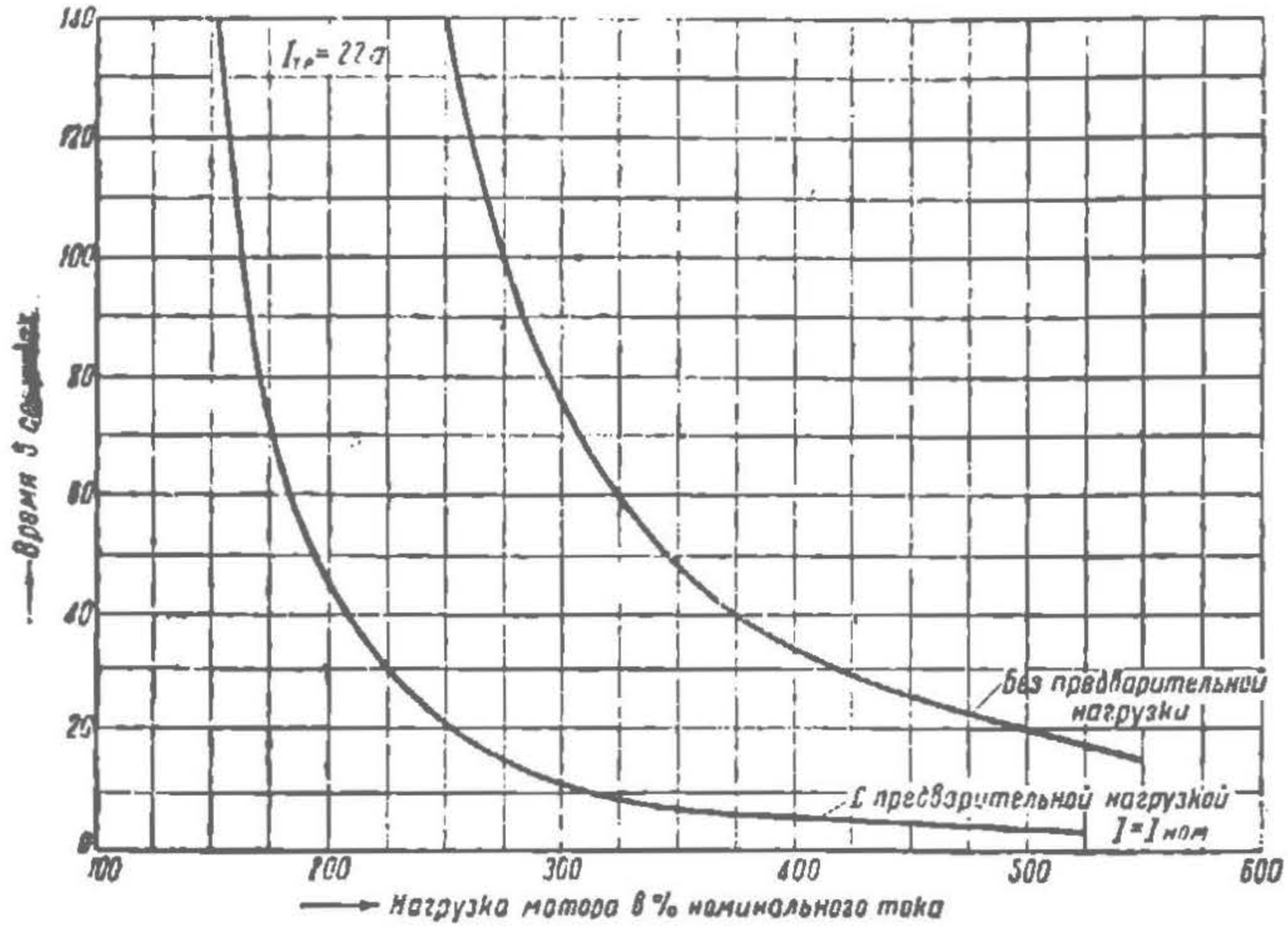
После действия реле контакты реле не возвращаются сами в исходное положение. Для возвращения контактов реле в нижней части кожуха имеется кнопка. Возврат контактов можно осуществить не сразу, а через некоторое время, которое зависит от нагрева реле и колеблется в пределах 16—90 сек.

Характеристика реле, т. е. зависимость времени действия реле от тока, приведена на фиг. 71. На чертеже показаны кривые для холодного реле (без предварительной нагрузки током) и для реле, предварительно подогретого номинальным током. Как видно из кривых, время действия реле в зависимости от предварительной нагрузки сильно изменяется.

На действие теплового реле данного типа очень сильное влияние оказывает окружающая температура. Так, например, при окружающей температуре 20° С и установке реле на 100%, т. е. на ток 20 *а*, реле трогается при токе 22 *а*, а при 40° С реле уже срабатывает при токе 16,5 *а*. Поэтому для правильной работы реле последнее необходимо устанавливать в температурных условиях, одинаковых с защищаемым электродвигателем, т. е. реле ставить рядом с электродвигателем или в крайнем случае в том же помещении. При вынесении реле в другие температурные условия мы уже не получим характеристики, идентичной с перегрузочной характеристикой защищаемого электродвигателя.

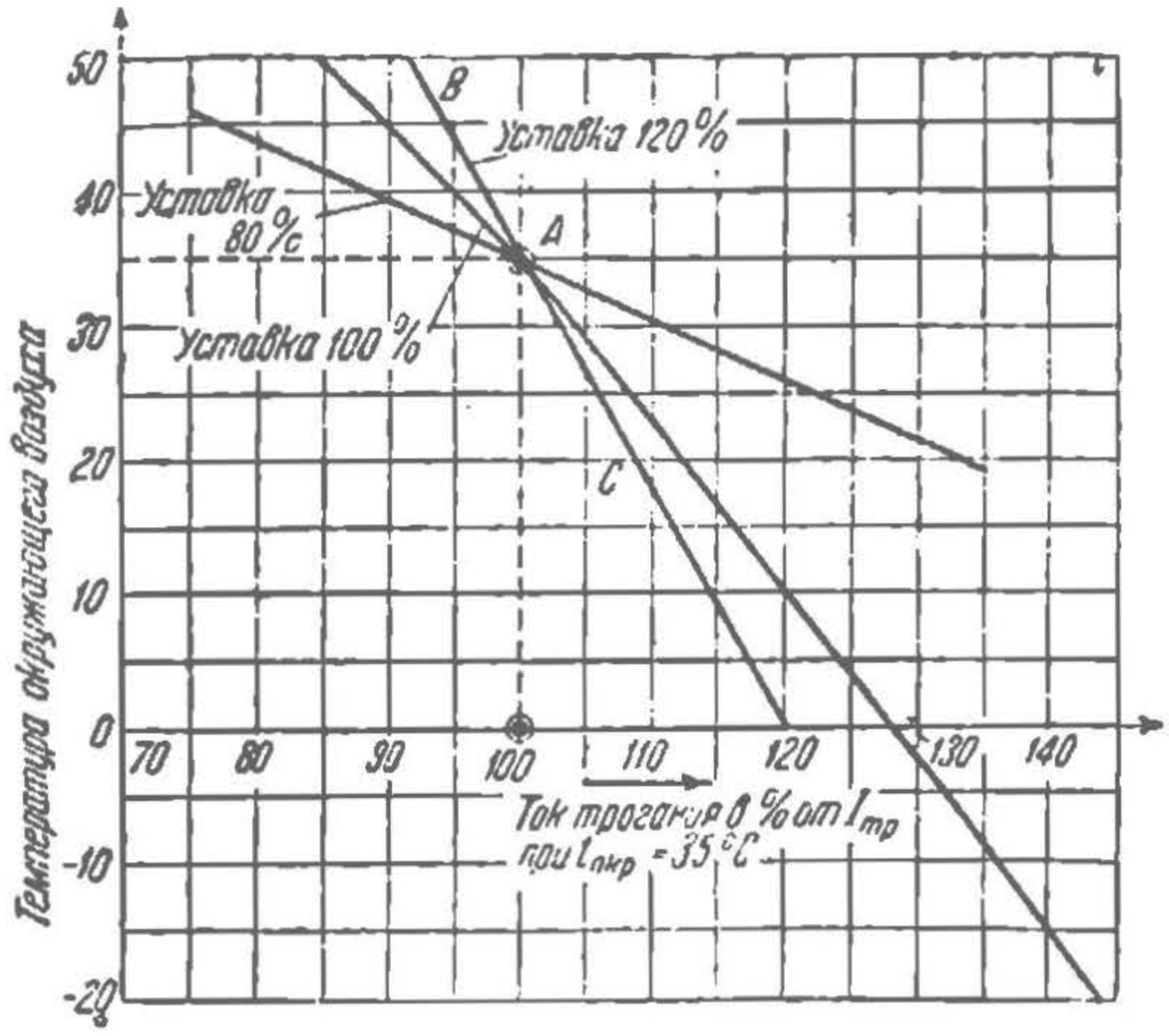
УДУНТ (ДІІТ)

Сильная зависимость реле от окружающей температуры происходит вследствие низкой рабочей температуры биметаллической пластинки, которая равна в среднем 90° С. Характеристики изменения тока трогания реле в зависимости от окружающей температуры показаны на фиг. 72.



Фиг. 71. Характеристика теплового реле ТТ-20.

Регулировка тока трогания реле производится путем перемещения указателя *Г* по шкале реле, который передвигает систему *К* таким образом, что для действия реле гребуется больший или меньший изгиб биметаллической пластинки *Б*. Шкала реле градуирована в процентах номинального тока реле, помеченного на паспорте реле. Пределы регулировки — от 80 до 120% номинального тока.



Фиг. 72. Зависимость тока трогания теплового реле ТТ-20 от окружающей температуры.

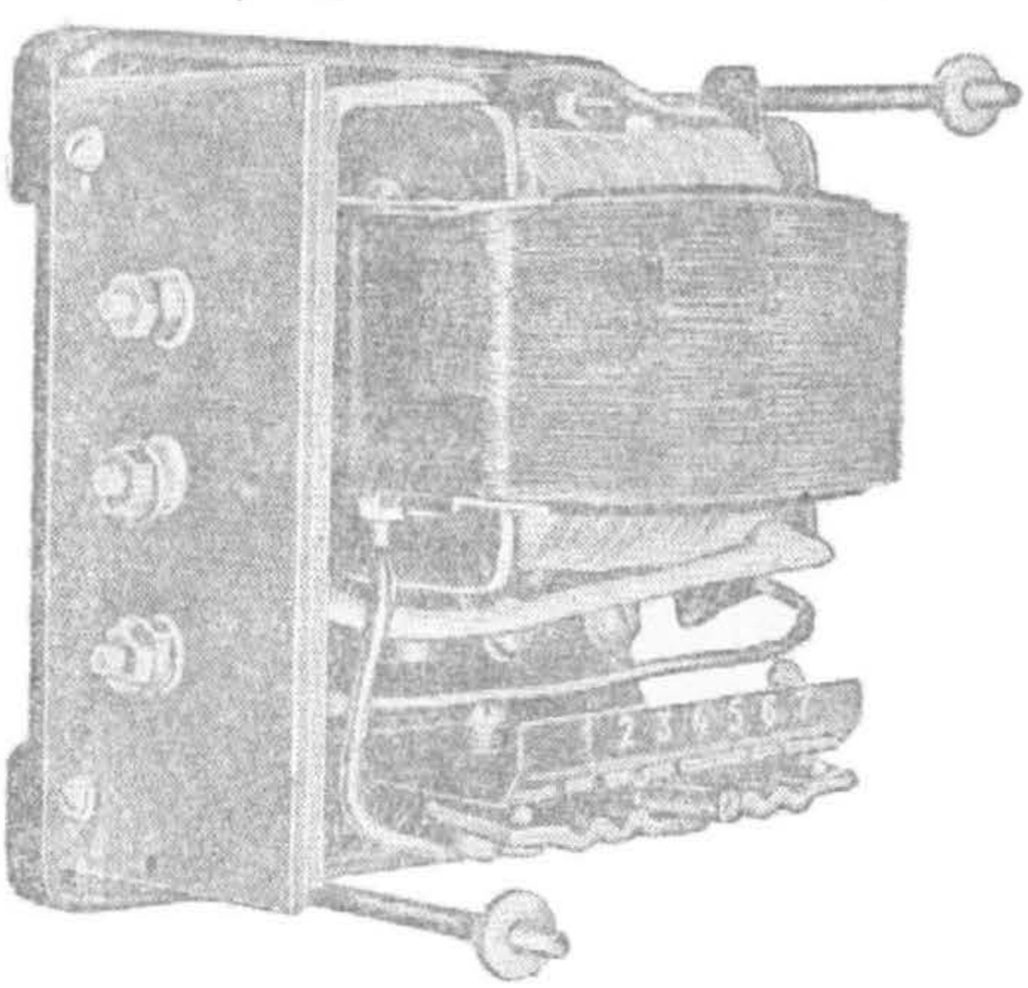
Калибровка реле, т. е. подгонка для получения необходимых характеристик, производится при помощи изменения сопротивления шунта *Д* (фиг. 69), включенного параллельно биметаллической пластинке.

Нормально реле изготовляется на номинальный ток 20 *а*. Рабочее напряжение (при непосредственном включении реле в цепь тока) 600 *в*. При применении теплового реле для защиты высоковольтных электродвигателей (3 000 или 6 000 *в*) реле включается

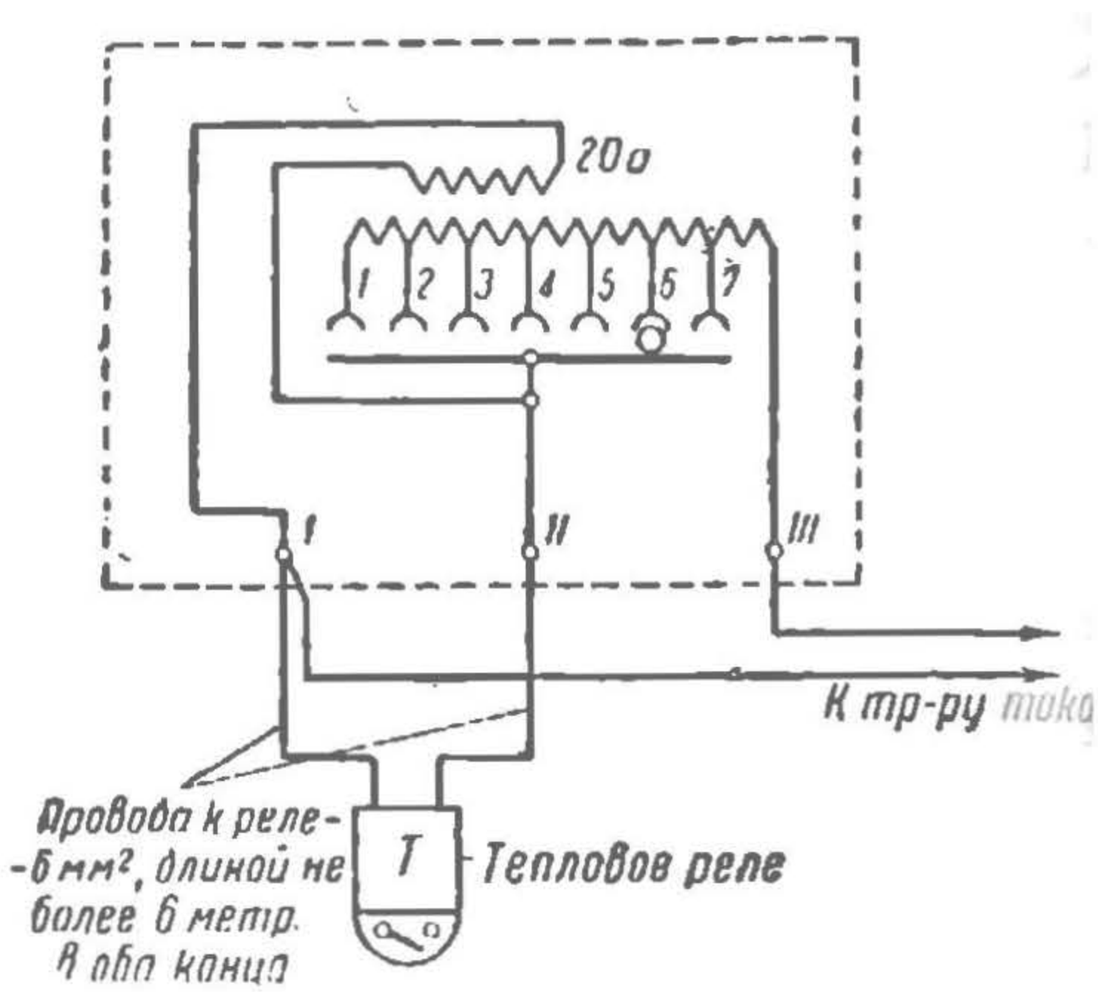
УДУНТ (ДІІТ)

через трансформатор тока, а для увеличения номинального вторичного тока трансформатора тока с 5 до 20 *а* применяется автотрансформатор ВУ-21 или ВУ-22.

Автотрансформаторы ВУ-21 и ВУ-22 выполняются однофазными для одного элемента теплового реле. Для реле ТТ-22/20 нужны два автотрансформатора. Общий вид автотрансформатора показан на фиг. 73. Отпайки, идущие от первичной обмотки через определенное число витков, присоединяются к штепсельному мостику, при помощи которого производится изменение коэфициента трансформации автотрансформатора, т. е. изменяется соотношение между током, текущим от трансформатора тока, и током, протекающим по реле.



Фиг. 73. Автотрансформатор ВУ-21 для теплового реле ТТ-20.



Фиг. 74. Схема внутренних соединений и схема включения автотрансформатора ВУ-21.

Схема внутренних соединений и включение автотрансформатора показаны на фиг. 74.

При монтаже автотрансформатора его необходимо располагать в непосредственной близости от теплового реле, чтобы сопротивление проводов, соединяющих тепловое реле с автотрансформатором, было не более 0,02 *ом* (например, длина медного провода сечением 6 *мм*² должна быть не более 6 *м* в оба конца). При больших сопротивлениях соединительных проводов (длинные провода, провода малого сечения, провода со спайками или проходящие через клеммы Каненгиссера) автотрансформатор будет работать очень неточно, и правильная работа теплового реле будет нарушена.

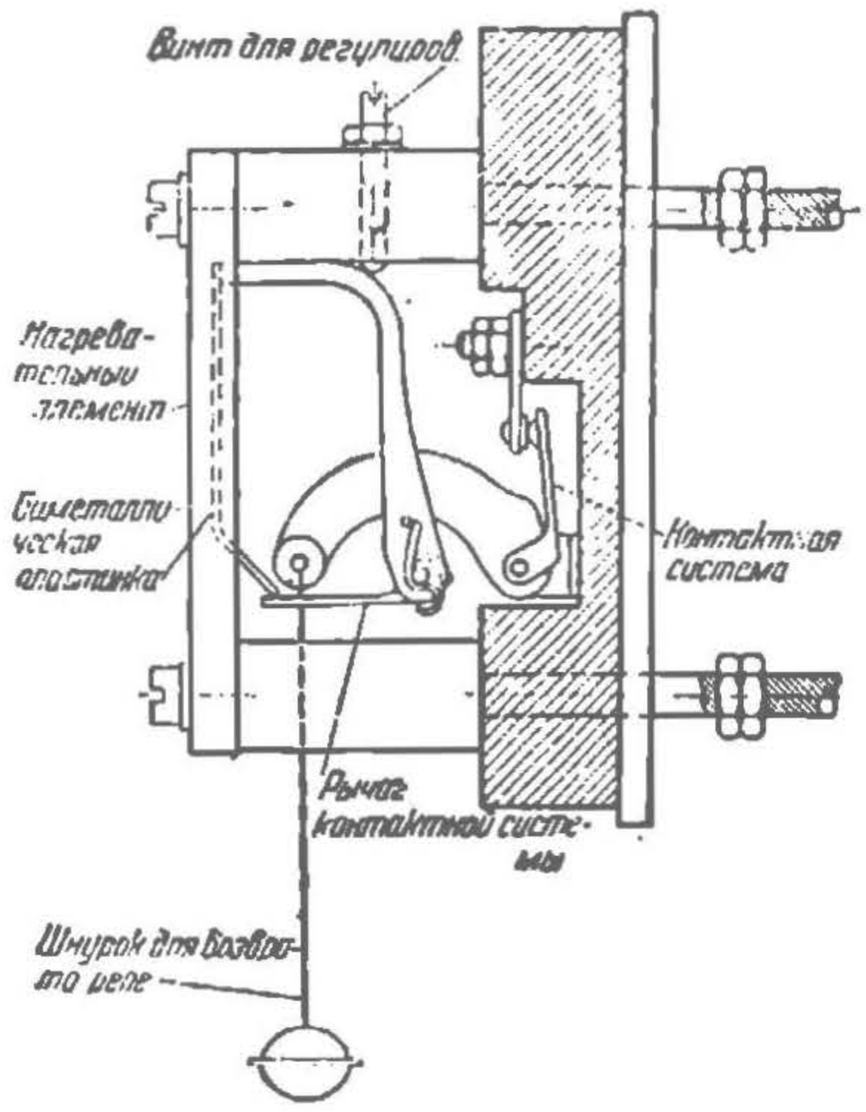
Мощность, потребляемая от трансформатора тока, питающего тепловую защиту, состоящую из теплового реле ТТ-22/20 и автотрансформатора ВУ, выше 30 *ва* и доходит до 60 *ва* при автотрансформаторе ВУ-22 и до 160 *ва* при автотрансформаторе ВУ-21. Столь значительные потребляемые мощности не позволяют осуществлять тепловую защиту при наличии маломощных трансформаторов тока.

УДУНТ (ДІІТ)

Для защиты электродвигателей постоянного тока (до 600 *в*), имеющих ток более 20 *а*, к тепловому реле ставятся шунты, поставляемые вместе с реле, и ток трогания реле может быть доведен до 2 000 *а*.

Реле для токов от 20 до 200 *а* исполняются двухполюсными (два реле в одном кожухе), а от 200 до 2 000 *а* — однополюсными.

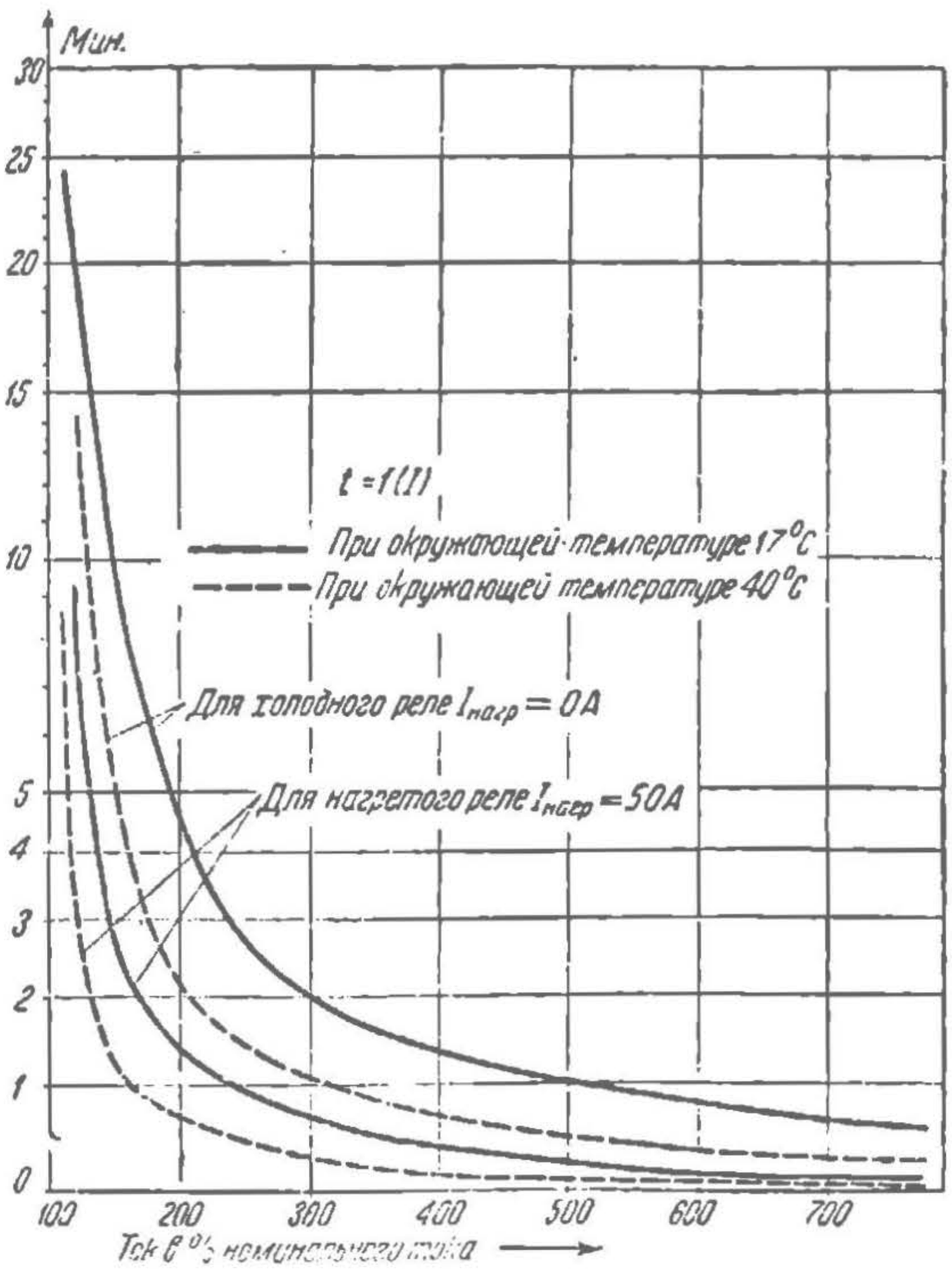
Помимо описанного теплового реле ТТ-20 для защиты электродвигателя применяется тепловое реле ТТ-11 более простой конструкции. Схематический чертеж реле показан на фиг. 75. Основной частью реле является биметаллическая пластинка, которая нагревается за счет теплоизлучения от нагревательного элемента, включенного непосредственно в цепь электродвигателя. При определенной температуре нагрева биметаллическая пластинка изгибается настолько, что освобождает рычаг контактной системы. Под действием пружины освобожденная контактная система поворачивается, вызывая размыкание контактов.



Фиг. 75. Тепловое реле ТТ-11.

Возврат реле в исходное положение производится от руки после достаточного охлаждения биметаллической пластинки.

Регулирование тока трогания реле ТТ-11 может быть осуществлено путем замены нагревательного элемента, выпускаемого для токов трогания от 2 до 50 *а* (для токов от 50 до 130 *а* реле выполняется более массивной конструкции). Регулирование тока трогания в небольших пределах может быть произведено при помощи регулиро-



Фиг. 76. Характеристика реле ТТ-11.

УДУНТ (ДІІТ)

вочного винта, который изменяет путь зацепления биметаллической пластинки (фиг. 75).

Характеристики реле показаны на фиг. 76 и, как видно, сильно зависят от окружающей температуры. Кроме того, неточность действия реле по времени достигает 40% при токах трогань реле.

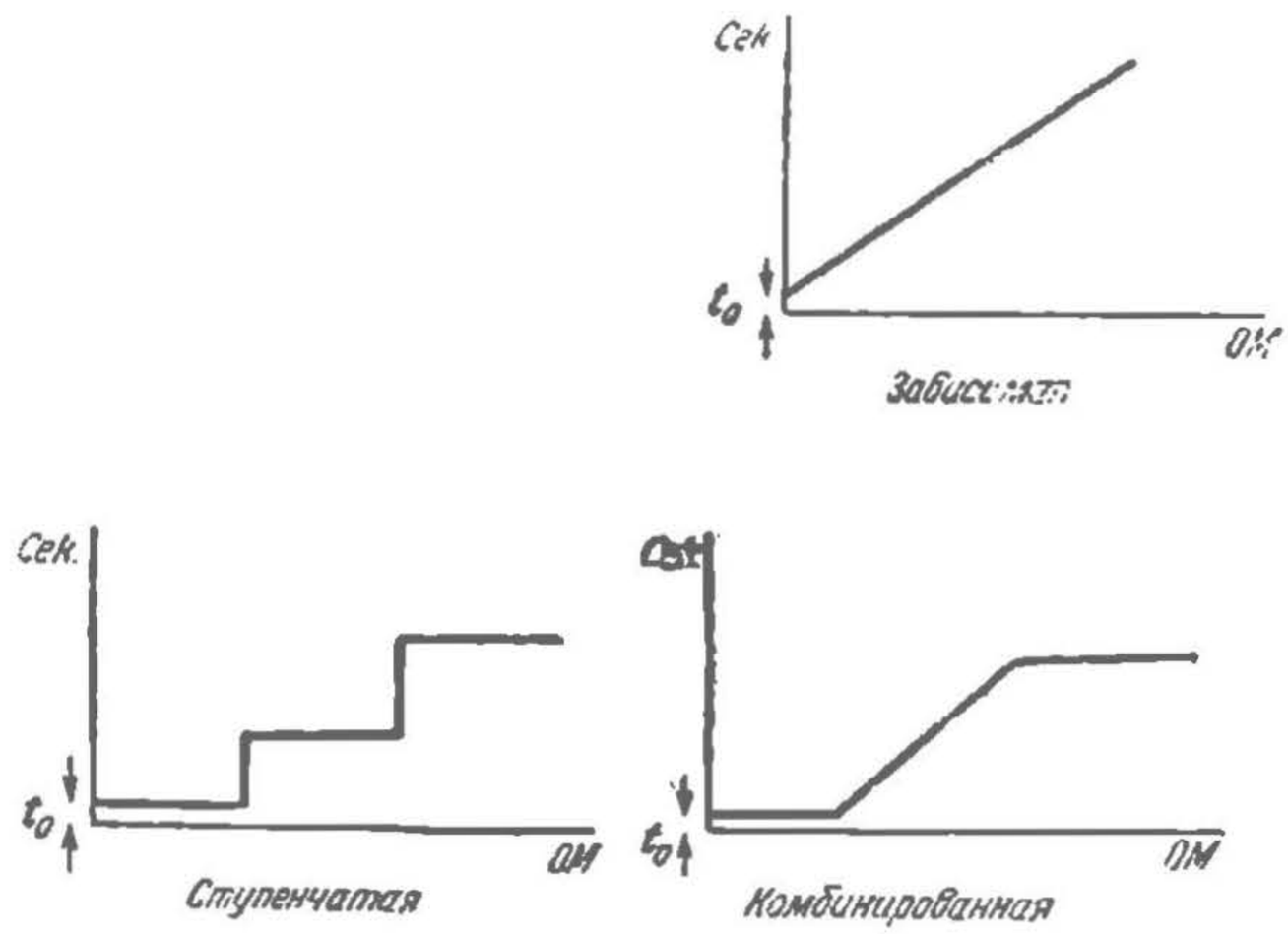
Реле применяется для защиты низковольтных электродвигателей малой мощности.

Реле подобной конструкции встраиваются в магнитные пускатели ПМ.

20. ДИСТАНЦИОННЫЕ РЕЛЕ

Дистанционными реле называются такие реле, действие которых зависит от величины сопротивления поврежденного участка. Дистанционные реле применяются преимущественно для дистанционной защиты линий. Сопротивление поврежденного участка линии пропорционально длине (дистанции) между местом установки реле и местом короткого замыкания, откуда и произошло название «дистанционное реле».

Характеристика дистанционных реле, т. е. зависимость времени действия от сопротивления поврежденного участка в омах, бывают следующие: мгновенная, зависимая, ступенчатая и комбинированная (ступенчатозависимая).



Фиг. 77. Характеристика дистанционных реле.

Перечисленные характеристики показаны на фиг. 77. Минимальное мгновенное время действия реле t_0 определяется собственным временем действия реле.

Существуют два основных типа дистанционных реле: импедансное и реактансное.

Импедансное реле замеряет полное сопротивление (импеданц) от места установки реле до места короткого замыкания $z = \frac{U}{I}$.

Импедансные реле применяются, главным образом, для защиты сетей среднего напряжения (до 35 *кв*). При коротких замыканиях в сетях высокого напряжения (110 *кв* и выше) в месте замыкания может возникнуть электрическая дуга с большим сопротивлением. Сопротивление дуги, складываясь с сопротивлением линии, сильно увеличит выдержку времени импедансного реле, что может привести к неверному действию защиты. По-

УДУНТ (ДІІТ)

этому обычные, не быстродействующие, импеданцные реле для защиты высоковольтных сетей не применяются.

Реактанцное реле замеряет только реактивное сопротивление линии (индуктивность) от места установки реле до точки короткого замыкания $x = \frac{U}{I} \sin \varphi$. Поэтому сопротивление электрической дуги являющееся активным омическим сопротивлением, на действие реактанцного реле не оказывает влияния, что позволяет применять эти реле для защиты высоковольтных линий.

В последнее время стал применяться импеданцный принцип для защиты высоковольтных сетей. Для избавления от влияния электрической дуги применяют быстродействующие импеданцные реле (время действия 0,5 периода), которые действуют в первый момент аварии, когда электрическая дуга еще не получила достаточного развития и сопротивление ее невелико. Таким образом происходит мгновенный замер сопротивления. Выдержка времени защиты создается при помощи реле времени.

Современные дистанционные реле состоят из целого комплекта отдельных реле, скомпанованных вместе, и по сути дела заключают в себе собранную схему дистанционной защиты. В комплект этих реле входят:

а) пусковое реле, которое действует при повреждениях или ненормальных режимах в защищаемой зоне и приводит (пускает) защиту в действие;

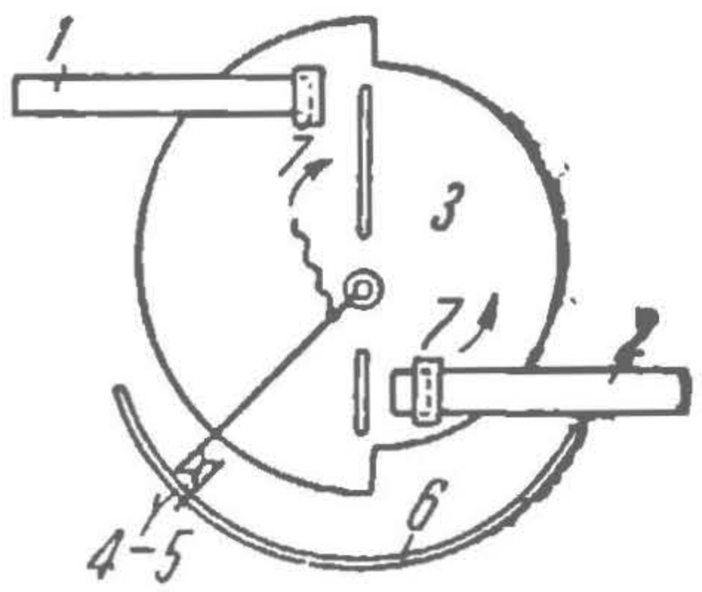
б) элемент времени, создающий время действия защиты;

в) дистанционное реле (омметр), которое в зависимости от сопротивления поврежденного участка устанавливает необходимую выдержку времени защиты;

г) вспомогательные реле;

д) реле направления энергии.

В Союзе для защиты сетей среднего напряжения применяются импеданцные реле ИИ-121 и ИИ-51. Для защиты высоковольтных сетей предназначены реактанцные реле типа ИР-101—104.



Фиг. 78. Импеданцное реле ИИ-120.

1 — система напряжения; *2* — система тока; *3* — диск реле; *4—5* — контактная система; *6* — шкала установок; *7* — короткозамкнутый виток.

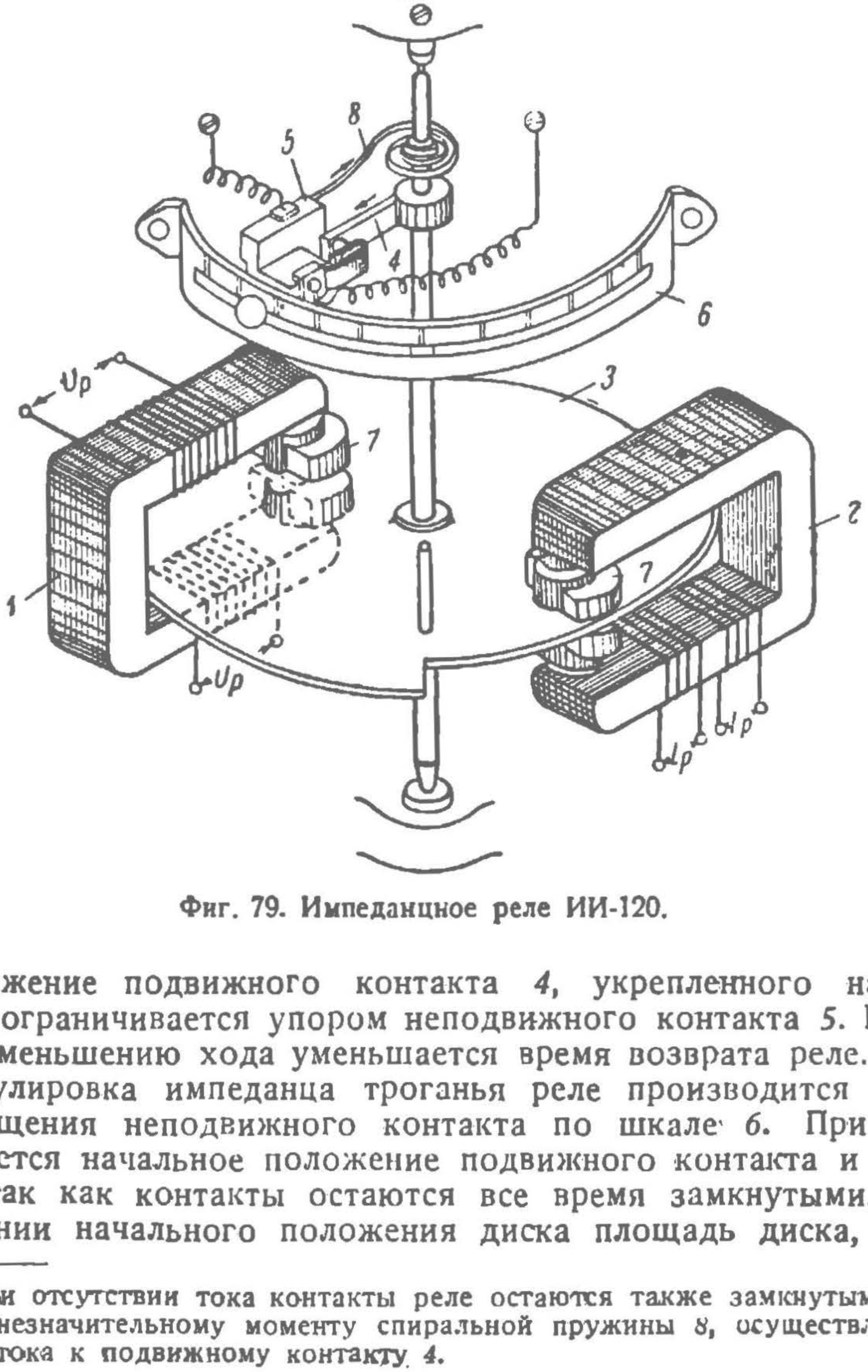
1. Импеданцное реле ИИ-121 завода ХЭМЗ. Принцип действия реле — индукционный. На алюминиевый диск *3* специальной формы (фиг. 78 и 79) действуют две магнитные системы с короткозамкнутыми витками. Обмотки одной магнитной системы включаются в цепь тока *2*, другой на напряжение *1*. Действие магнитных систем противоположно друг другу. Токовая система стремится повернуть диск в сторону замыкания контактов *4-5*, система же напряжения, наоборот, стремится разомкнуть контакты.

Нормально токовая система обтекается током и держит кон-

УДУНТ (ДІІТ)

такты реле замкнутыми [1]. Напряжение к системе напряжения подводится только в момент действия импедансной защиты (от действия отдельного пускового реле защиты).

При определенном соотношении между напряжением и током, подведенным к реле, равном импедансу трогания реле $z_{прог} = \frac{U}{I}$ момент системы напряжения становится больше момента токовой системы, вследствие чего диск реле поворачивается в сторону размыкания контактов.



Фиг. 79. Импедансное реле ИИ-120.

Движение подвижного контакта *4*, укрепленного на оси диска, ограничивается упором неподвижного контакта *5*. Благодаря уменьшению хода уменьшается время возврата реле.

Регулировка импеданса трогания реле производится путем перемещения неподвижного контакта по шкале *6*. При этом изменяется начальное положение подвижного контакта и диска реле, так как контакты остаются все время замкнутыми. При изменении начального положения диска площадь диска, нахо-

[1] При отсутствии тока контакты реле остаются также замкнутыми благодаря незначительному моменту спиральной пружины *8*, осуществляющей подвод тока к подвижному контакту *4*.

УДУНТ (ДІІТ)

дящаяся под магнитными системами, меняется благодаря криволинейной форме диска, что вызывает изменение моментов систем тока и напряжения, т. е. импеданца трогапья реле.

Системы тока и напряжения имеют по две обмотки. Различным включением обмоток — параллельно или последовательно — можно изменять пределы регулирования импеданца трогапья реле.

Две токовые катушки предназначены для включения в разные фазы тока для осуществления правильных замеров защиты.

Реле ИИ-121 является реле мгновенного действия. При подведении к реле импеданца $\frac{U}{I}$ меньшего импеданца трогапья, реле держит контакты замкнутыми. При подведении импеданца, большего импеданца трогапья, контакты реле мгновенно размыкаются (собственное время действия реле около 0,05 сек.).

Реле ИИ-121 применяется для дистанционной защиты сетей и шин среднего напряжения. При осуществлении защиты реле ИИ-121 применяется как измерительный элемент (омметр); в качестве пускового реле, реле времени и выключающего реле применяются реле других типов. При помощи реле ИИ-121 можно осуществить мгновенную и ступенчатую дистанционную защиту.

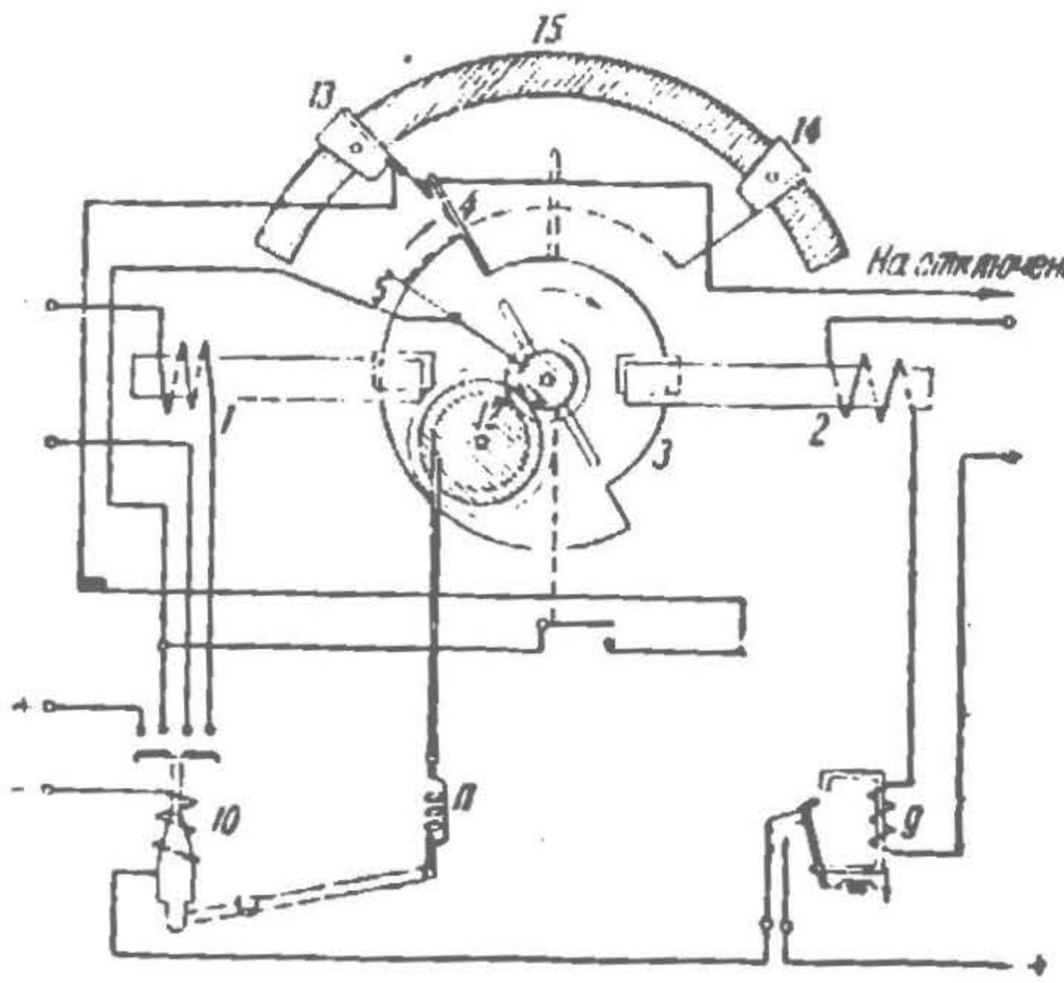
2. Импеданцное реле ИИ-51 завода ХЭМЗ. Реле ИИ-51 является сложным реле, в состав которого входят слсдующие элементы:

а) пусковое токовое реле мгновенного действия;

б) элемент времени;

в) импеданцный элемент или омметр.

Совместная работа этих трех элементов при действии реле определяет выдержку времени.



Фиг. 80. Принципиальный чертеж реле ИИ-50.

Схематический чертеж реле показан на фиг. 80.

Выполнение импеданцного элемента реле (омметра), который реагирует на величину сопротивления поврежденного участка сети, в основном подобно реле ИИ-121. Разница заключается лишь в том, что подвижный контакт *4* не имеет ограничивающих упоров и может поворачиваться на большой угол.

При подведении тока и напряжения к обмоткам *2* и *1* реле диск *3* приходит во вращение.

Благодаря криволинейной форме диска вращающие моменты, создаваемые электромагнитами, изменяются в зависимости от поворота диска (криволинейная форма диска подобна прорезам в диске, см. максимальное реле ИТ на стр. 54). Поэтому при определенном угле поворота диска моменты напряжения и тока взаимно уравновесятся и диск остановится.

УДУНТ (ДІІТ)

В зависимости от соотношения тока и напряжения, поданных на катушки импеданцного элемента, диск будет устанавливаться под некоторым углом относительно своего начального положения. Чем больше будет отношение $\frac{U}{I}$, тем больше будет угол поворота диска, а следовательно, и контакта *4*.

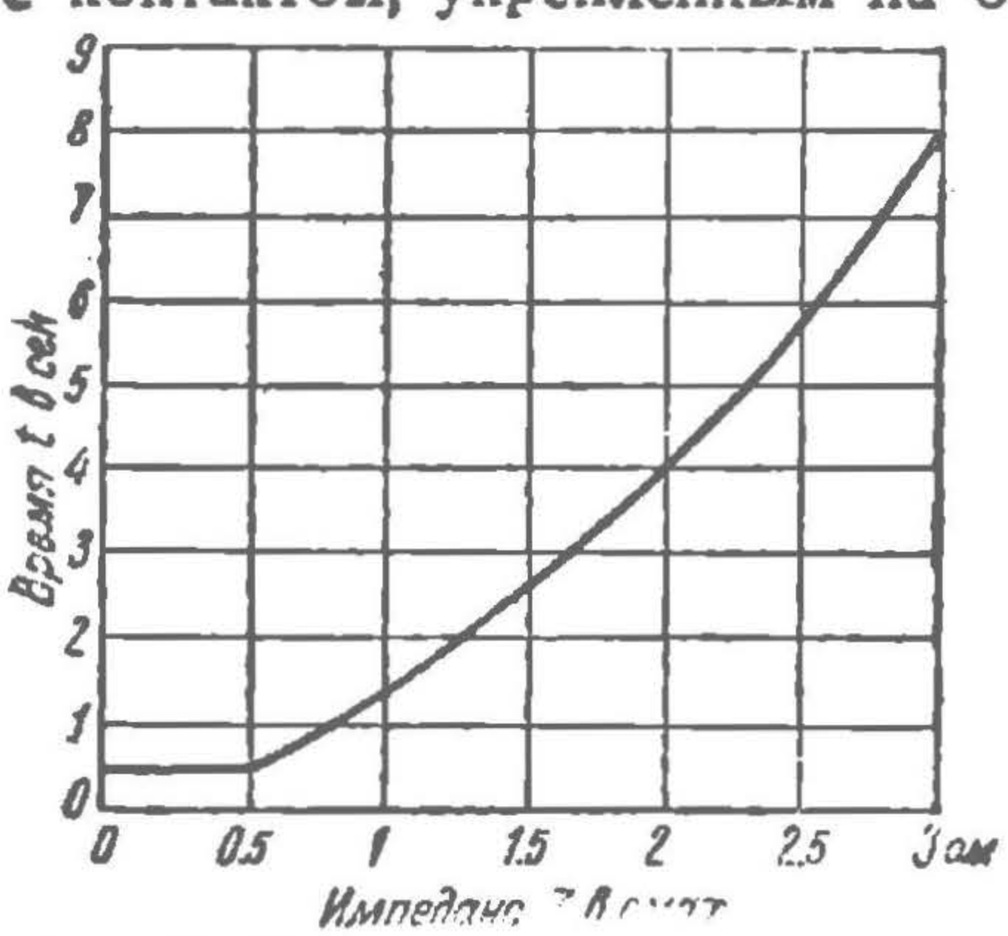
Нормально к обмотке *1* напряжение не подводится.

Пуск реле осуществляется при помощи пускового элемента 9.

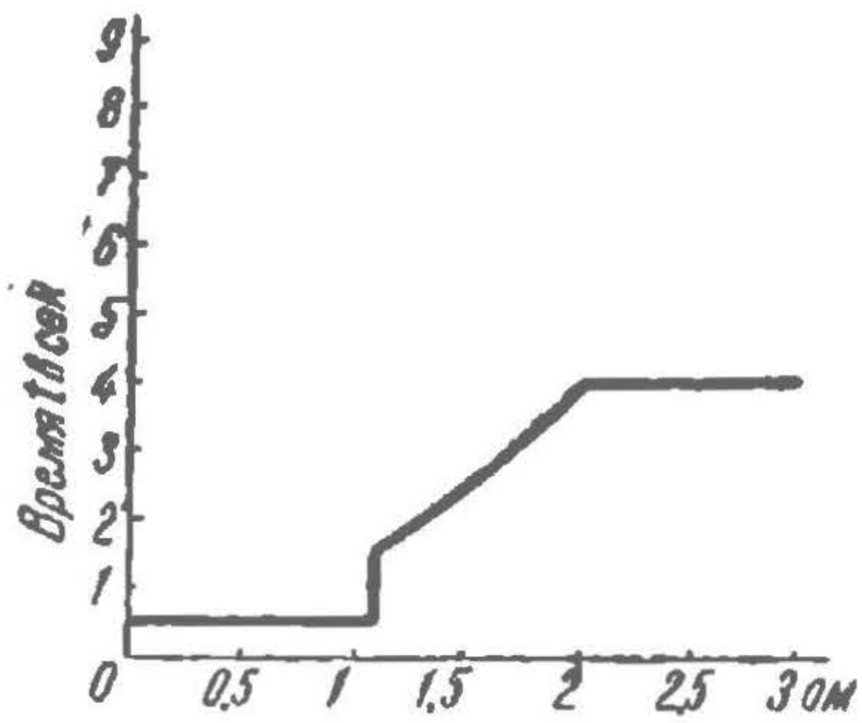
Пусковой элемент представляет простое максимальное токовое реле, катушка которого соединена последовательно с токовой катушкой омметра и присоединена к трансформатору тока защищаемой линии. При аварии, в случае если ток короткого замыкания превышает уставку тока троганья пускового максимального реле, пусковой элемент срабатывает и включает электромагнит *10* часового механизма, действующего от постоянного тока.

Якорь электромагнита *10* заводит пружину *11* часового механизма *12* и включает при помощи укрепленных на нем контактов цепь напряжения импеданцного органа.

Если импеданц повреждения окажется значительным, то диск реле отклонится вправо, установившись в определенном положении. Подвижный контакт *5*, перемещаемый вправо часовым механизмом, через некоторый промежуток времени замкнется с контактом, укрепленным на оси диска, и произведет отключение выключателя. Ясно, что чем больше будет импеданц повреждения, т. е. чем дальше будет место короткого замыкания от места установки реле, тем больше будет отклоняться диск реле и потребуется тем большая выдержка времени для замыкания контакта часового механизма *5* с контактом омметра *4*. Характеристика времени действия реле в зависимости от импеданца (сопротивления) показана на фиг. 81.



Фиг. 81. Характеристика дистанционного реле ИИ-51.



Фиг. 82.

При помощи контактов — упоров *13* и *14*, передвигаемых по лимбу *15*, можно производить изменение формы, характеристики реле и получить комбинированную характеристику, как это, например, показано на фиг. 82.

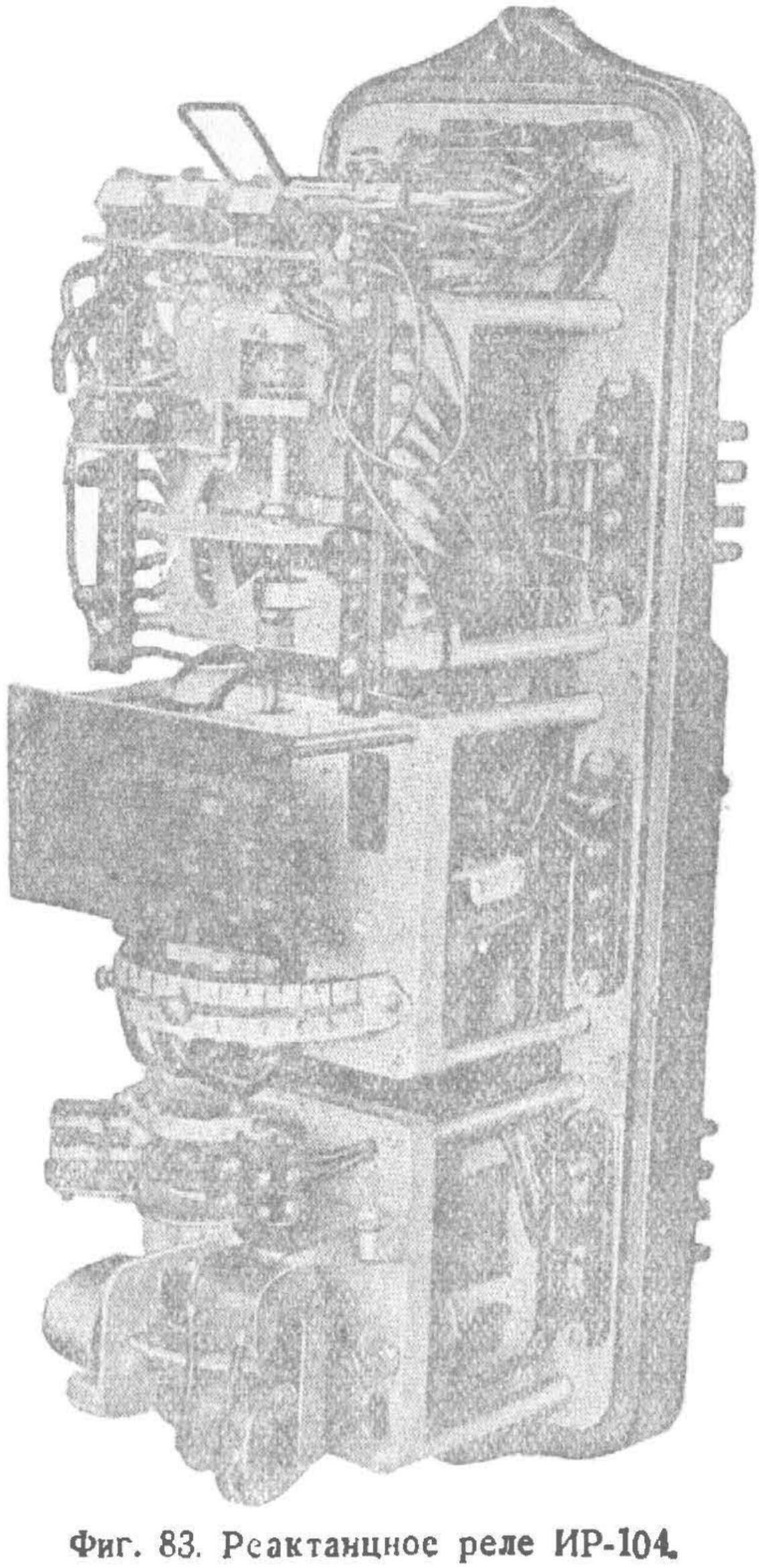
УДУНТ (ДІІТ)

Регулировка наклона характеристики реле производится путем включения в цепь напряжения омметра дополнительных сопротивлений, благодаря чему уменьшается подводимое напряжение, т. е. характеристика получается менее крутой.

Реле ИИ-51 применяется для дистанционной защиты сетей среднего напряжения.

Недостатками реле, ограничивающими область его применения, являются: неточность действия, большое собственное время действия — 0,5 сек. (при $z = 0$) и получение зависимой характеристики времени действия реле при импеданце более 0,5 *ом*.

3. Реактанцное реле ИР-104 завода ХЭМЗ. Реле ИР-104 предназначено для реактанцной защиты высоковольтных сетей. Реле ИР-104 является довольно сложным и состоит из нескольких отдельных элементов, смонтированных в одном кожухе. Внешний вид реле показан на фиг. 83.



Фиг. 83. Реактанцное реле ИР-104.

При настройке характеристики дистанционных реле необходимо иметь в виду, что сопротивление, замеряемое омметром реле, не равно сопротивлению линии. Получается это вследствие наличия трансформаторов тока и напряжения. Поясним это примером.

На защищаемой линии установлены трансформаторы тока и напряжения с коэфициентами трансформации:

$$n_m = \frac{150}{5}\,a = 30 \text{ и } n_n = \frac{6\,000}{100}\,в = 60.$$

Допустим, что при двухфазном коротком замыкании напряжение линии равно 3 000 *в*, а ток короткого замыкания 1 500 *а*. Следовательно, сопротивление петли короткого замыкания будет:

$$Z_{линии} = \frac{U}{I} = \frac{3\,000}{1\,500} = 2\,ом.$$

УДУНТ (ДПІТ)

С учетом коэфициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения к обмоткам омметра будут подведены следующие значения напряжения и тока:

$$u = \frac{U}{n_н} = \frac{3\,000}{60} = 50\ в,$$

$$i = \frac{I}{n_т} = \frac{1\,500}{30} = 50\ а.$$

Следовательно, сопротивление, замеряемое омметром, равно:

$$z_{реле} = \frac{u}{i} = \frac{50}{50} = 1\ ом.$$

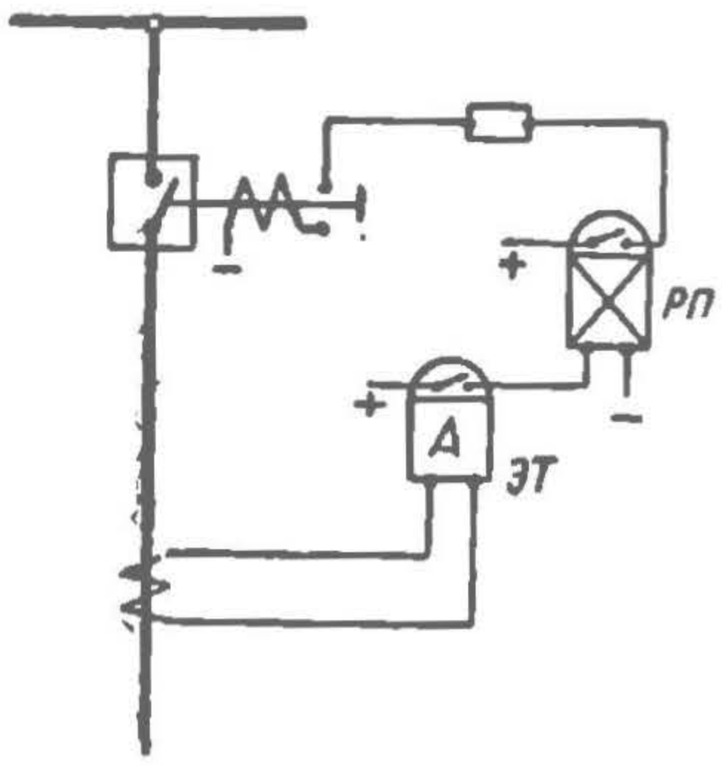
Как видно, разница между действительным сопротивлением линии и замеряемым сопротивлением получилась в два раза.

Для определения сопротивления замеряемого реле в зависимости от сопротивления линии служит следующая формула:

$$z_{реле} = Z_{линии} \frac{n_т}{n_н}.$$

21. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ РЕЛЕ

Вспомогательными (промежуточными) реле называются реле, которые, воспринимая импульсы от других реле, передают их для электрического воздействия на аппараты. Например, промежуточное реле РП (фиг. 84) получает импульс от максимального реле ЭТ и, замыкая свои контакты, действует на соленоид отключения выключателя.



Фиг. 84.

Вспомогательные реле изготовляются преимущественно для работы от постоянного тока, так как напряжение переменного тока при авариях в системе сильно снижается и не может обеспечить надежного действия вспомогательных реле.

При понижении напряжения постоянного тока до 80% номинального значения (80% от 110 *в* будет 88 *в*) вспомогательные реле должны еще надежно работать.

К вспомогательным реле относятся: реле времени, промежуточные реле и блинкеры.

Вспомогательные реле осуществляются обычно на электромагнитном принципе.

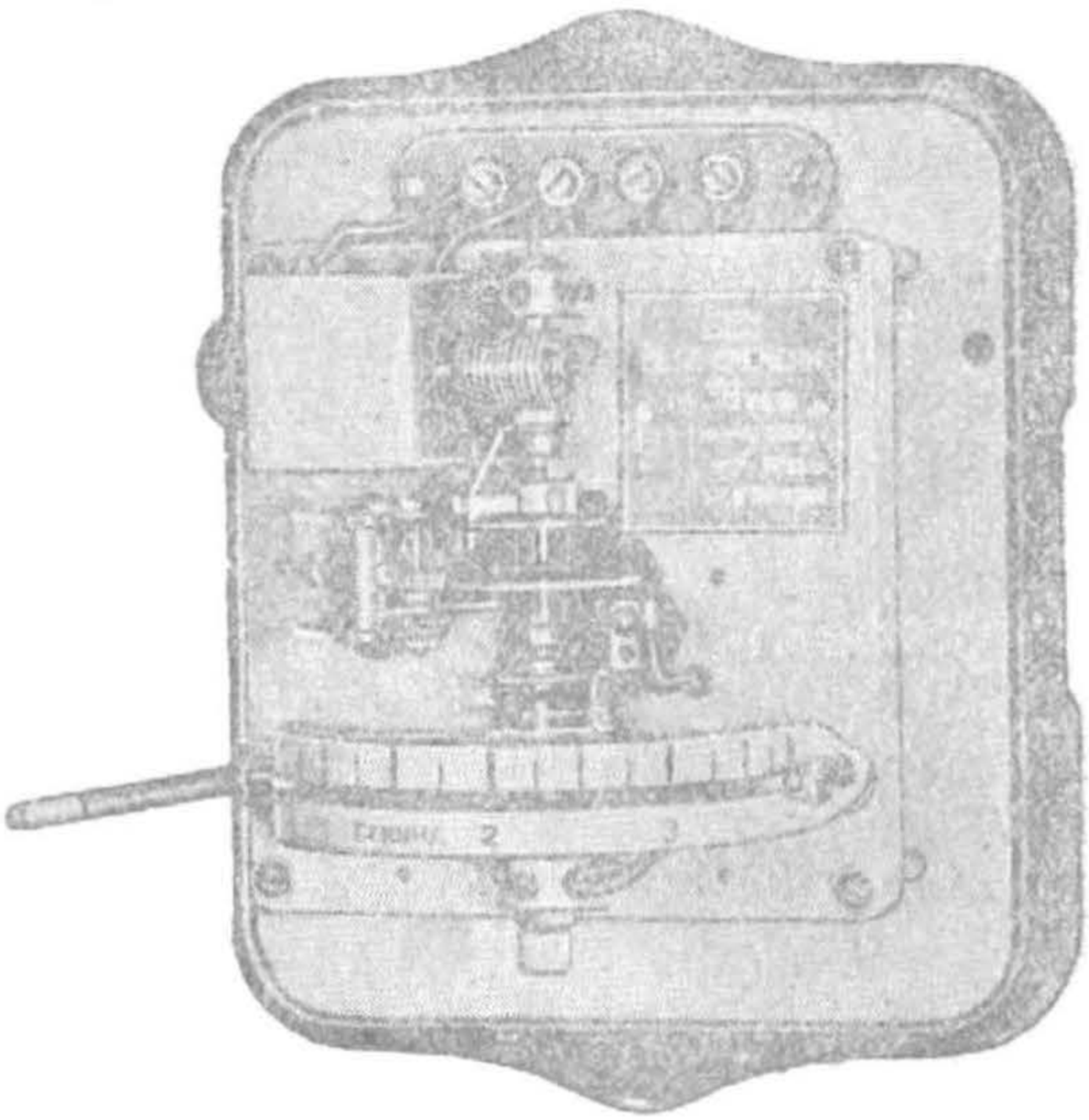
1. Реле времени применяется в разнообразных схемах защиты для получения выдержки времени, не зависящей от режимов работы защищаемой системы.

Осуществление выдержки времени в реле времени может быть достигнуто различными методами. У нас в Союзе распро-

УДУНТ (ДІІТ)

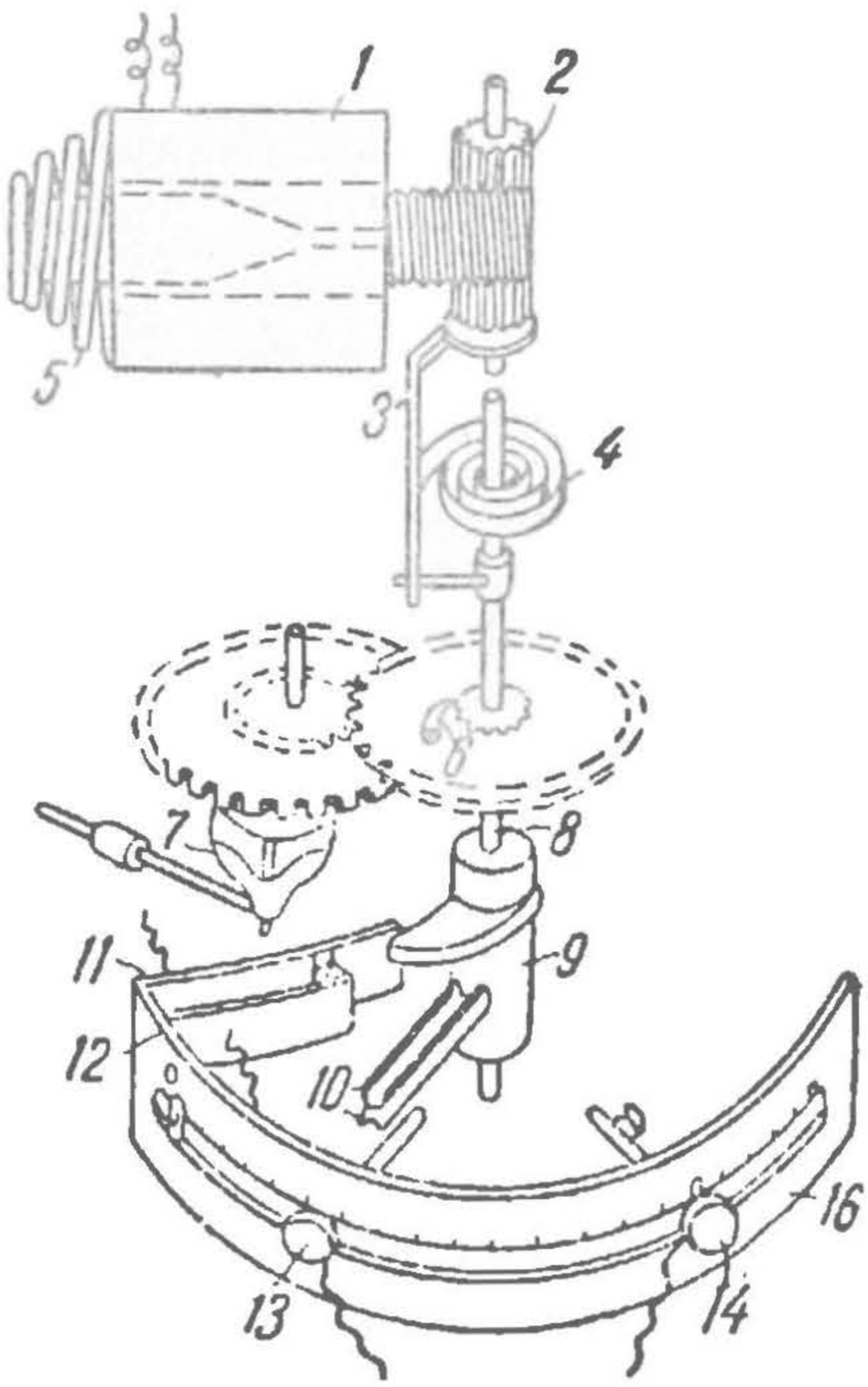
странение получили реле с часовым механизмом, приводимым в действие электромагнитным реле мгновенного действия.

Для релейной защиты применяются реле ЭВ-180, РВ и СВ завода ХЭМЗ, предназначенные для работы от постоянного тока.



Фиг. 85. Реле времени ЭВ-180 (без кожуха).

Реле времени ЭВ-180 показано на фиг. 85. Схематический чертеж реле показан на фиг. 86. При включении обмотки *1* втягивается якорь и посредством зубчатой передачи поворачивает колесо *2* с укрепленным на нем поводком *3*. Этот поводок заводит пружину *4* часового механизма. Часовой механизм *7* состоит из зубчатых шестеренок, храповичка и маятника, колебания которого замедляют движение механизма. На оси часового механизма *8* укреплена изоляционная втулка *9* с пружинящими контактами *10* и кулачком, воздействующим на контакты *11—12*. При отходе кулачка вправо эти контакты (*11—12*) замыкаются с выдержкой времени около 0,1 сек. Далее с течением выдержки времени подвижной контакт *10* замыкается с первым неподвижным контактным штифтом *13* и затем со вторым *14*.



Фиг. 86. Принципиальный чертеж реле времени ЭВ-180.

Таким образом реле имеет три контакта:

1. Так называемый «мгновенный контакт», состоящий из контактов *11—12*, осуществляющих выдержку времени около 0,1 сек.

2. Скользящий контакт *13*, замыкающийся после установленной выдержки времени и дающий замыкание цепи, пока подвижные контакты *10* скользят по его поверхности. Время замкнутого состояния этого контакта равно около 0,3—0,4 сек.

УДУНТ (ДИТ)

3. Третий контакт *14*, имеющий упор, ограничивающий ход подвижных контактов *10*. Таким образом этот контакт остается замкнутым до тех пор, пока не разомкнется цепь обмотки реле.

При отключении обмотки реле времени якорь электромагнитной системы возвращается пружиной *5* в исходное положение. При этом при помощи поводка *3* ось часового механизма с сидящим на ней подвижным контактом мгновенно возвращается в исходное положение, вызывая размыкание всех контактов. Мгновенный возврат оси часового механизма в исходное положение возможен благодаря наличию храповичка *6*, отсоединяющего механизм времени при обратном ходе.

Регулировка выдержки времени реле осуществлястся перемещением контактов *13* и *14* по шкале. Реле выполняются с предельной выдержкой времени до 4 и 10 сек. Катушка реле не рассчитана для длительного включения и при включении на напряжения быстро перегревается. Контакты реле рассчитаны на сравнительно небольшую мощность замыкания и поэтому при воздействии реле на отключающий соленоид выключателя необходимо применение промежуточного реле.

Помимо реле, имеющих три контакта, ХЭМЗ выпускает также реле с одним контактом, имеющим большую мощность замыкания. Это позволяет в ряде случаев обходиться без промежуточного реле для воздействия на отключающий соленоид выключателя.

При применении реле в схемах, где возможно длительное включение реле времени на напряжение (например, схема защиты при понижении напряжения), применяют схемы с промежуточными реле, рассчитанными на длительную работу, которые обесточивают реле времени после его действия (фиг. 87 и 88).

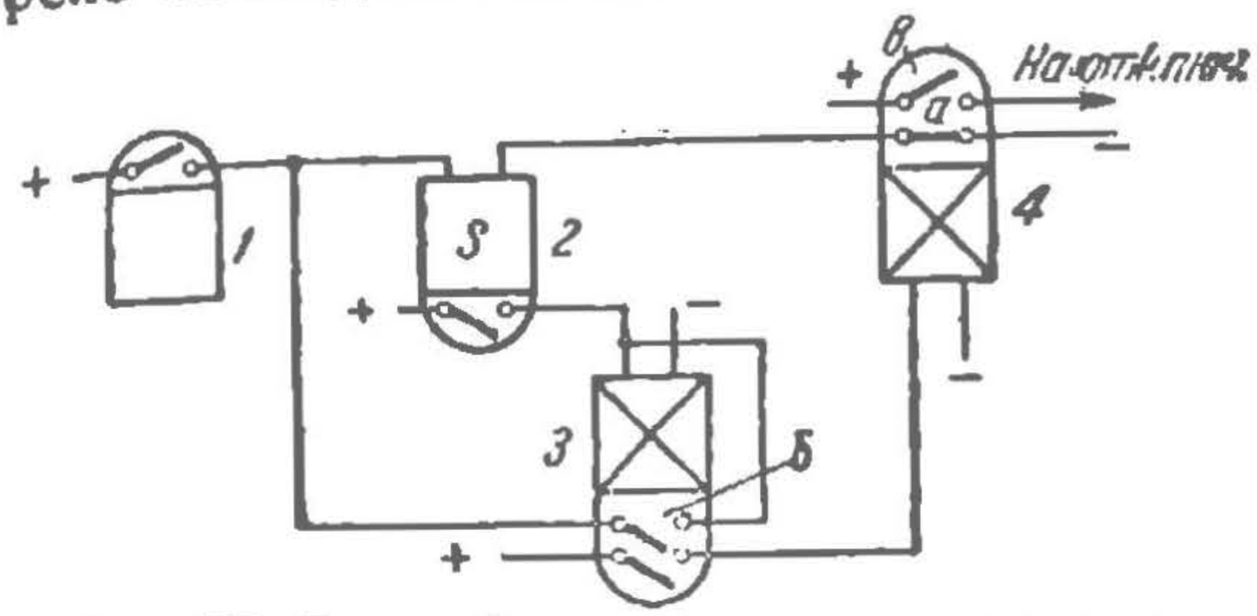
Действие схемы происходит следующим образом. Срабатывает реле защиты *1* и включает реле времени *2*. После установленной выдержки времени контакты реле времени замыкаются и включают промежуточное реле *3*, которое одним контактом включает реле *4*, а другим (контакт *б*) блокируется, т. е. подводит питание (+) непосредственно от реле защиты, в обход контактов реле времени. Срабатывание реле *4* вызывает обесточивание реле времени контактом *а* и замыкание цепи на отключения контактом *в* Реле времени возвращается в исходное положение, а якори промежуточных реле *3* и *4* остаются в притянутом положении до тех пор, пока реле не разомкнет своих контактов.

На фиг. 88 показана схема блокирования с одним промежуточным реле *4*. Отличие данной схемы от предыдущей заключается только в том, что контакты *а* и *б* находятся в одном реле. Недостатком данной схемы является необходимость регулировки контактов *а* и *б* так, чтобы контакт *а* не мог разомкнуться значительно раньше замыкания контакта *б*; в противном случае реле *4* не будет успевать самоблокироваться и схема будет пульсировать, т. е. реле времени и промежуточное реле будет беспрерывно срабатывать и возвращаться назад.

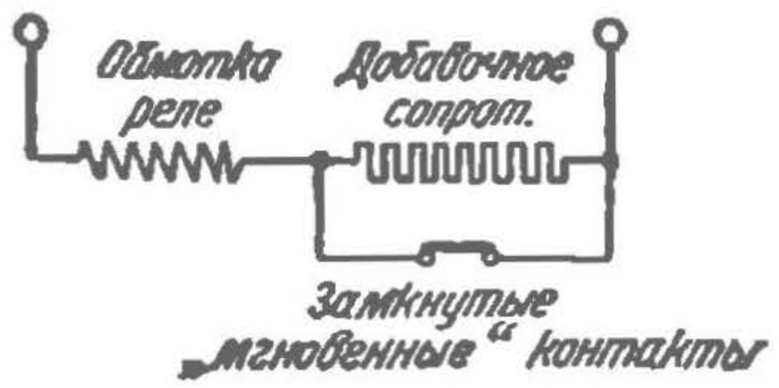
В настоящее время заводом ХЭМЗ подготовляется к выпуску

УДУНТ (ДІІТ)

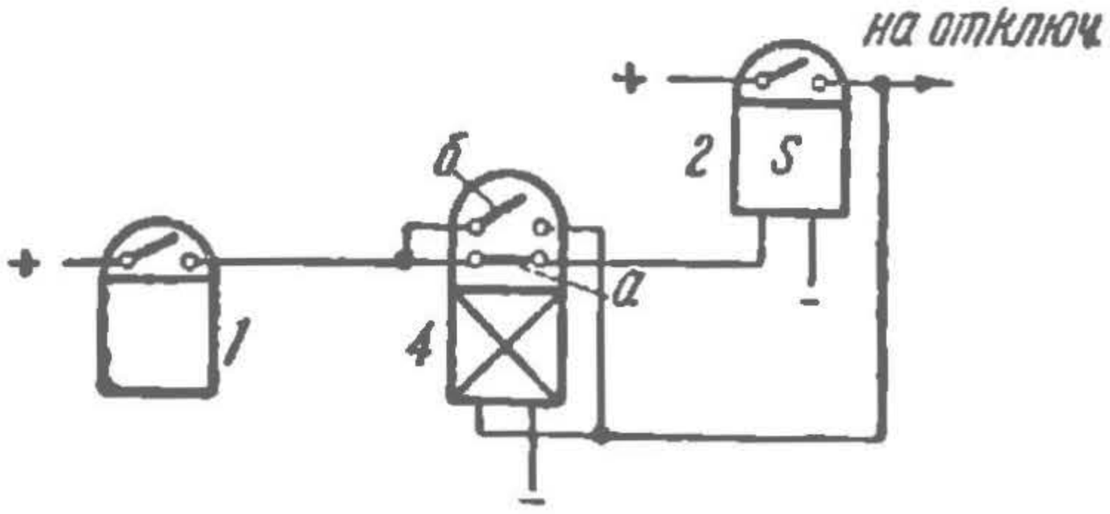
реле времени, рассчитанное для длительного включения. Схема такого реле показана на фиг. 89. Обмотка электромагнита этого реле также не рассчитана для длительной работы от номинального напряжения (например, от 110 *в*), но при срабатывании реле последовательно с обмоткой включается добавочное сопро-



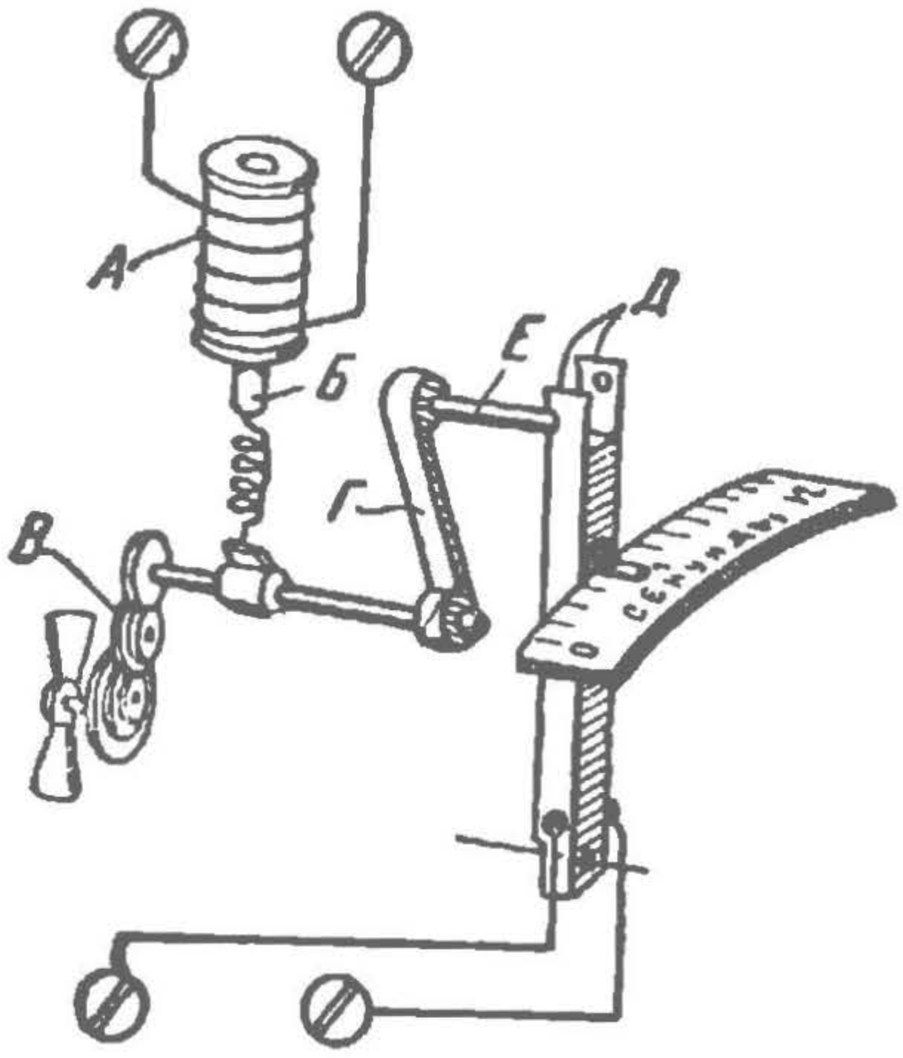
Фиг. 87. Схема блокирования реле времени.



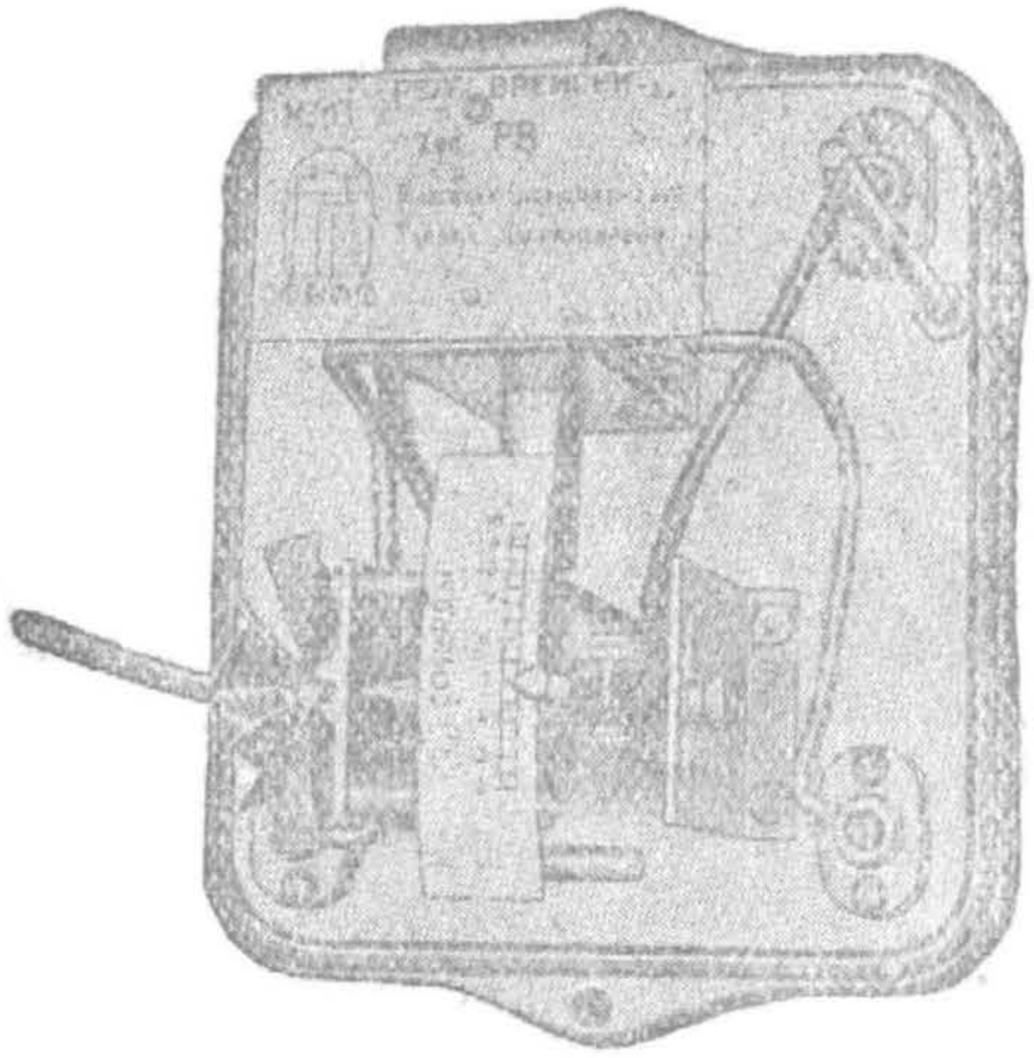
Фиг. 89. Схема реле времени для длительного включения.



Фиг. 88. Схема блокирования реле времени.



Фиг. 90. Схематический чертеж реле времени РВ.



Фиг. 91. Реле времени РВ.

тивление, снижающее величину тока, протекающего через обмотку, что делает возможным длительную работу реле.

Добавочное сопротивление при обесточеннем реле закорочено «мгновенными контактами», которые в отличие от описанного выше реле нормально замкнуты и, размыкаясь, раскорачивают сопротивление. Величина добавочного сопротивления выбирается таким образом, чтобы ток, протекающий через обмотку реле, был еще вполне достаточен для удерживания якоря реле.

УДУНТ (ДІІТ)

Включение обмотки реле на полное напряжение в первый момент действия реле обеспечивает четкую и надежную работу реле.

Реле времени РВ является устаревшим типом и в настоящее время снято с производства.

Схематический чертеж реле показан на фиг. 90, общий вид — на фиг. 91. Реле построено по электромагнитному принципу. Появление тока в катушке соленоида *А* вызывает втягивание сердечника *Б* и натяжение пружины, приводящей в действие часовой механизм *В* с ветряной крылаткой. Часовой механизм создает равномерный ход подвижного рычага *Г*, который после установленного времени производит замыкание контактов *Д*. Контакты реле укреплены на подвижной колодке, которую можно передвигать по шкале времени, изменяя тем самым положение контактов по отношению к начальному положению рычага *Г*. Так как время действия реле зависит от расстояния, которое нужно пройти рычагу *Г* от начального положения до замыкания контактов (рычаг идет с равномерной скоростью), то, передвигая контакты, мы тем самым будем изменять время действия реле. Благодаря имеющемуся в часовом механизме храповому соединению возврат рычага *Г* в начальное положение после отключения катушки соленоида происходит мгновенно.

Недостатком реле данной конструкции является несовершенный часовой механизм, который имеет значительный выбег после прекращения действия реле

При втягивании сердечника последний сильно ударяет в верхнюю часть магнитной системы. Применение эластичных прокладок (фетр) мало смягчает этот удар, и реле РВ, установленные на металлических панелях, иногда создают значительное сотрясение панели, что может вызвать неправильное действие близко установленных реле.

Для уменьшения удара может быть рекомендовано снятие металлической пластинки, установленной сверху фетровой прокладки. Фетровая прокладка покрывается сверху прессшпаном и закрепляется на месте для предохранения от попадания пыли.

Обмотка реле РВ не рассчитана для длительного включения.

Реле времени СВ завода ХЭМЗ. Реле времени СВ применяются в схемах защиты и автоматики в тех случаях, когда нужна большая выдержка времени, доходящая до 15—30 мин.

Основной частью реле времени является маленький моторчик постоянного тока и планетарный механизм, состоящий из набора шестеренок, дающий большое замедление. Контактная система реле приводится в действие от электромагнита.

Помимо описанных выше реле времени, предназначенных для работы от постоянного тока, ХЭМЗ выпускаются в последнее время реле времени ЭВ-200, предназначенные для работы от переменного тока. По своей конструкции эти реле аналогичны реле ЭВ-180, но имеют другие параметры обмотки электромагнита и якорь с прорезом для уменьшения нагрева от переменного тока. Реле потребляет при включении 120 *ва* и при втянутом якоре

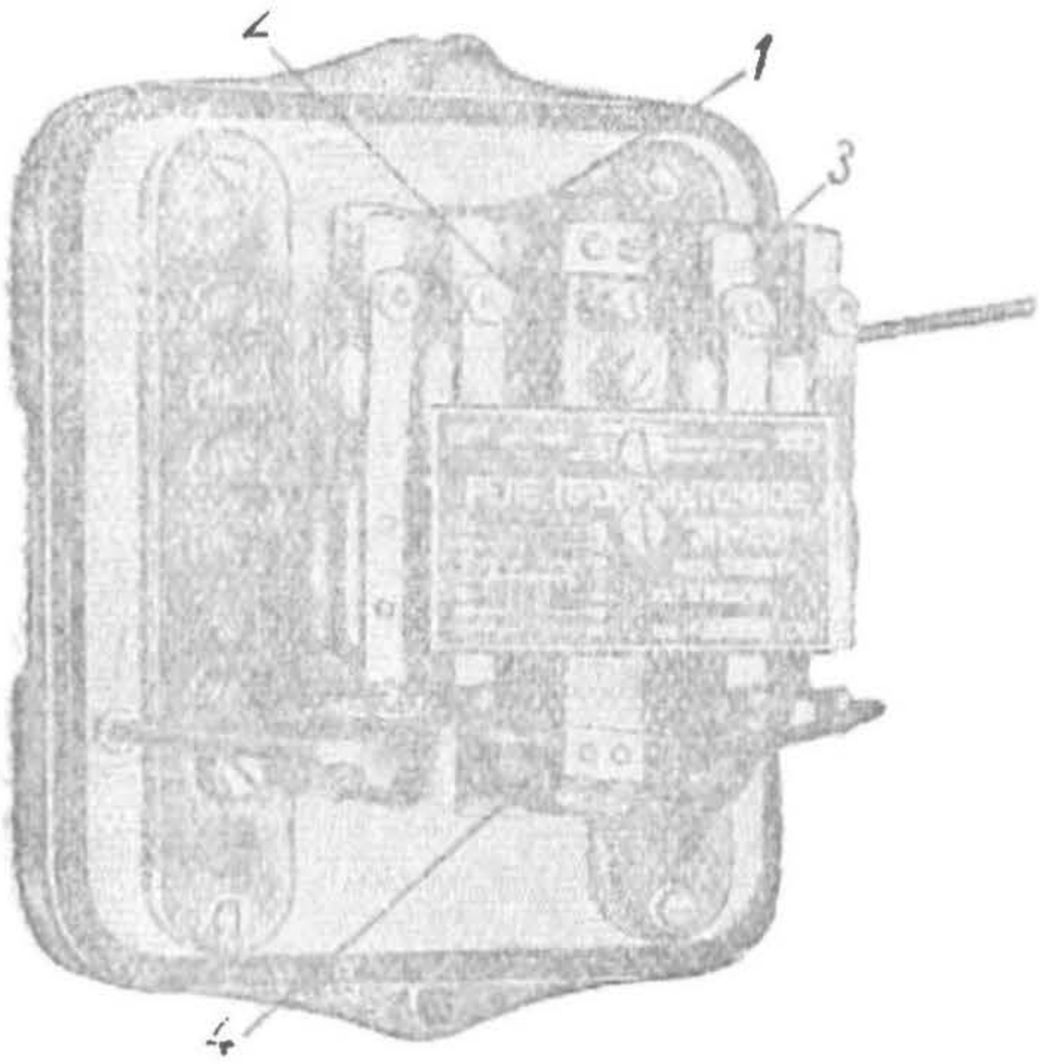
УДУНТ (ДІТ)

60 *ва*. Реле изготовляется для напряжения переменного тока 110 и 220 *в*.

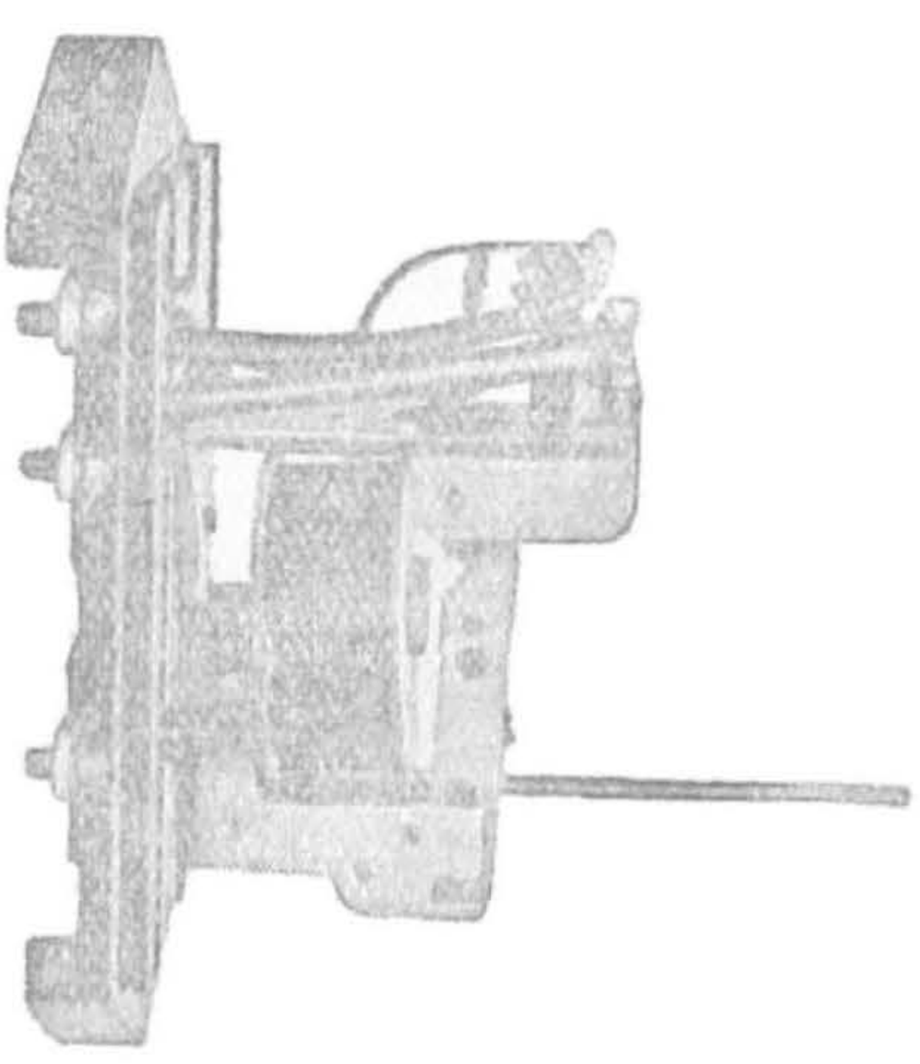
2. Промежуточные реле применяются в разнообразных схемах защиты, сигнализации и блокировки. Функции промежуточных реле весьма разнообразны, наиболее часто реле применяются там, где мощность контактов основных реле недостаточна и требуются мощные контакты, или там, где требуются многоконтактные реле для разделения цепей отключения.

Промежуточные реле строятся преимущественно по электромагнитному принципу.

Промежуточное реле ЭП-231 завода ХЭМЗ имеет мощные переключающие контакты. Общий вид реле показан на фиг. 92. При включении катушки реле на напряжение электромагнит *1* возбуждается и притягивает якорь *2*, на котором укреплена контактная колодка *3* с подвижными контактами. Движение этой колодки вызывает переключение контактов при отключении реле, якорь возвращается в исходное положение при помощи пружины *4*. Реле имеет четыре комплекта переключающих контактов, мощность которых около 2 500 *ва* при замыкании цепи и около 200 *ва* при размыкании.



Фиг. 92. Промежуточное реле ЭП-231.



Фиг. 93. Промежуточное реле ЭП-240.

Реле данного типа строятся для работы от постоянного тока и рассчитаны на длительное включение.

Промежуточное реле ЭП-240 завода ХЭМЗ строится для постоянного и переменного токов. Принцип действия электромагнитный с короткозамкнутым витком. Фото реле показано на фиг. 93. Подвижные контакты реле укреплены на отдельной изоляционной колодке. При срабатывании реле якорь воздействует на изоляционную колодку и производит замыкание контактов реле. Возврат якоря в исходное положение производится при помощи пружины, укрепленной на оси изоляционной колодки.

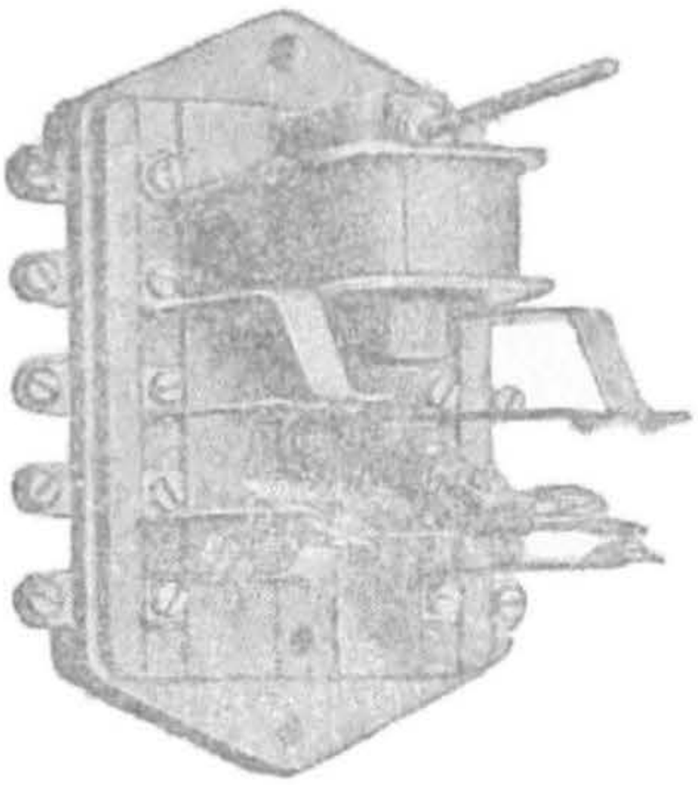
УДУНТ (ДІІТ)

Обмотка катушки реле рассчитана на кратковременную работу.

Промежуточные реле РП-2 и РУ. Основное различие между реле РП (реле промежуточное) и РУ (реле указательное) заключается в том, что реле РУ на своем якоре имеет сигнальный флажок, указывающий положение якоря. В остальном различия между выполнением этих реле не существует, различны только схемы их соединений.

На фиг. 94 показана фотография реле РП.

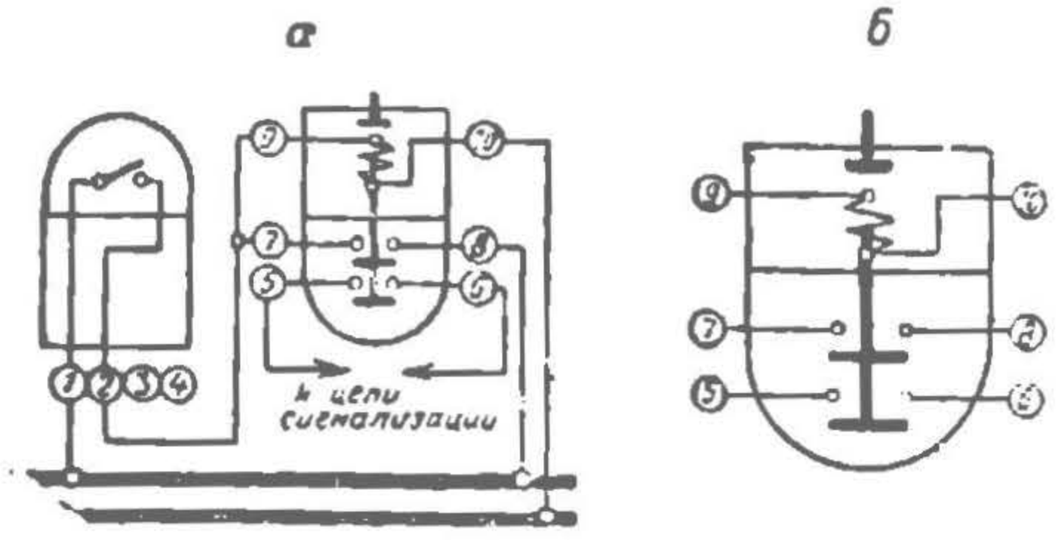
Реле построено по электромагнитному принципу. Основными элементами реле являются: П-образный электромагнит, якорь с прикрепленными к нему двумя контактными пластинами, верхние и нижние контакты, попарно замыкаемые или размыкаемые контактными пластинами. Нормально якорь реле находится в нижнем положении, и контактные пластины замыкают нижние контакты. При возбуждении электромагнита реле якорь притягивается кверху, размыкая тем самым нижние контакты и замыкая верхние.



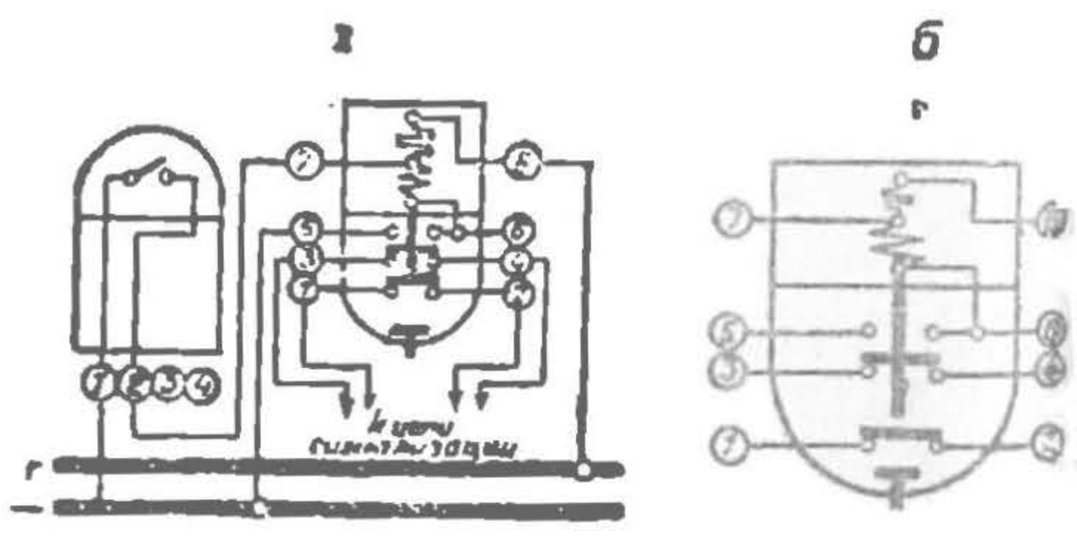
Фиг. 94. Промежуточное реле РП.

В исходное положение якорь возвращается своей тяжестью. Обмотка реле рассчитана для длительной работы.

Реле РУ имеет две разновидности исполнения:



Фиг. 95. Схема указательного реле РУ-1.



Фиг. 96. Схема указательного реле РУ-2.

а) РУ-1 — флажок реле виден при притянутом якоре, т. е. возбужденном реле. Нормально реле не возбуждено.

б) РУ-2 — флажок реле виден при нормальном положении якоря, т. е. когда реле не возбуждено. Нормально реле возбуждено.

Схемы внутренних соединений РУ-1 и РУ-2 и схемы их включений показаны на фиг. 95 и 96.

Реле РУ-1 нормально током не обтекается, якорь реле находится внизу, и флажок не виден. При замыкании контактов главного реле катушка реле РУ-1 возбуждается, якорь реле притягивается вверх, размыкая нижние и замыкая верхние контакты, и в окне кожуха появляется флажок. Один из верхних контактов

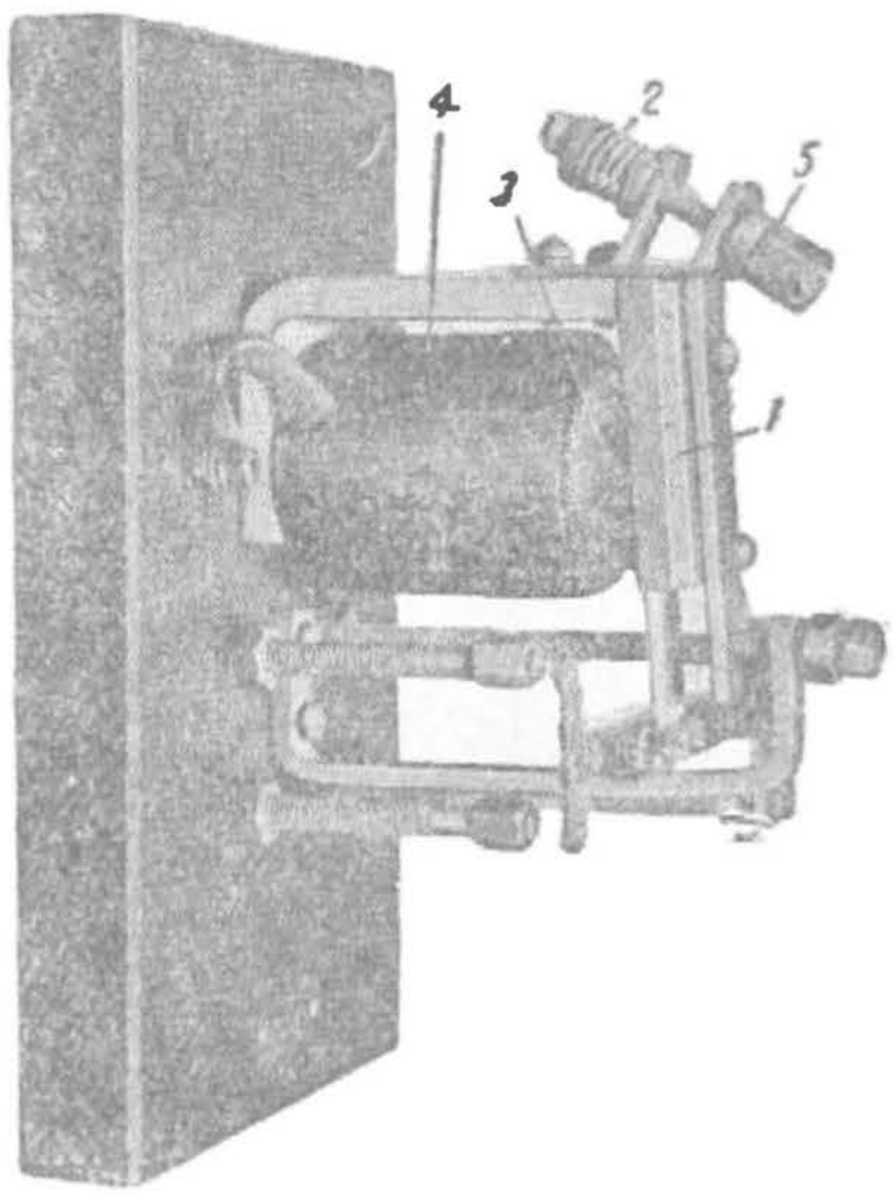
УДУНТ (ДІІТ)

блокирует промежуточное реле, подключая его к шинам оперативного тока в обход контактов главного реле. Остальные контакты используются для сигнальных целей. Благодаря самоблокировке реле РУ-1 остается во включенном состоянии и после размыкания контактов главного реле. Для возвращения реле в начальное положение сверху кожуха реле имеется кнопка, нажимая на которую, якорь опускается вниз, самоблокирующие контакты размыкаются, и реле возвращается в исходное положение.

Реле РУ-2 нормально обтекается током через свои самоблокирующиеся контакты и держит якорь в притянутом положении. При этом флажок в окошке кожуха не виден. При замыкании контактов главного реле катушка реле РУ-2 замыкается накоротко, якорь отпадает, разрывается цепь самоблокировки, замыкаются нижние контакты и в окошке кожуха появляется флажок. Для избежания короткого замыкания цепи оперативного тока при коротком замыкании катушки последовательно с катушкой включено большое омическое сопротивление, которое не закорачивается контактами главного реле. Для возвращения реле в начальное положение внизу кожуха имеется кнопка, при нажиме на кнопку якорь реле поднимается вверх, замыкаются контакты самоблокировки, и через них реле удерживается во включенном состоянии.

Недостатком реле РУ-2 являются его частые ложные действия, происходящие от понижения напряжения постоянного тока (например, при коротких замыканиях в цепи оперативного тока), так как в этих случаях якорь реле падает вниз, и реле дает ложное действие.

Реле РЭ-100 завода ХЭМЗ строятся по электромагнитному принципу и пригодны только для действия от постоянного тока. Реле имеет массивное ярмо *3* (фиг. 97) и якорь *1*, оттягиваемый при помощи пружины *2*. На якоре укреплен контактный мостик, замыкающий при действии реле неподвижные контакты.



Фиг. 97. Реле РЭ-100.

Якорь *1* притягивается к сердечнику *3* только тогда, когда поток в магнитной системе возрастает до величины, достаточной для преодоления действия пружины, и отпускается от втянутого положения в момент, когда в магнитной системе поток снижается до величины, меньшей той, которая нужна для удерживания якоря. Благодаря массивной магнитной системе спадание магнитного потока при отключении катушки реле происходит не

УДУНТ (ДІІТ)

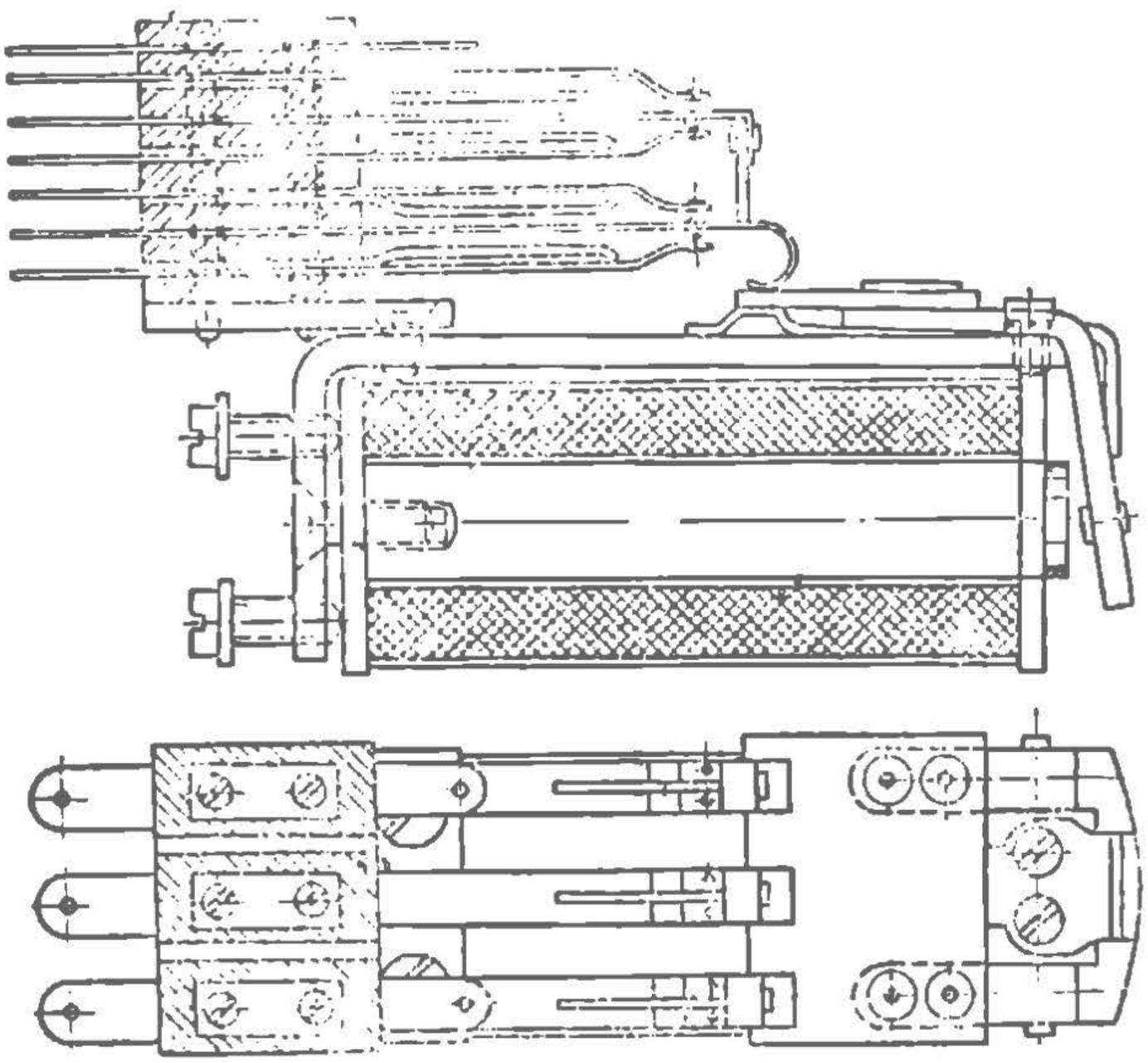
мгновенно, а с некоторой выдержкой времени. Для увеличения времени спадания магнитного потока на сердечник магнитной системы насаживают короткозамкнутую медную трубку, в которой при уменьшении потока наводится экстраток, препятствующий спаданию потока.

При помощи этой демпфирующей трубки удается значительно замедлить время спадания потока в магнитной системе и довести время возврата якоря в исходное положение до 0,5—0,8 сек. и больше.

Регулирование времени возврата реле можно производить изменением натяжения пружины, оттягивающей якорь, и величины магнитного потока, установившегося в реле при замкнутой магнитной системе. При уменьшении магнитного потока или при увеличении натяжения пружины время возврата уменьшается.

Величина магнитного потока регулируется изменением воздушного зазора между якорем *1* и ярмом *3* при помощи прокладок из немагнитного материала (медь).

Выдержка времени может быть получена только при отпускании якоря, а не при притягивании, так как при неполной величине магнитного потока якорь притягивается мгновенно.



Фиг. 98. Реле ЭП-400.

Благодаря своей крайне простой и надежной конструкции реле РЭ-100 применяется в различных схемах автоматики в качестве промежуточного реле, реле времени, максимально токового реле и реле напряжения. Реле имеет несколько мощных контактов.

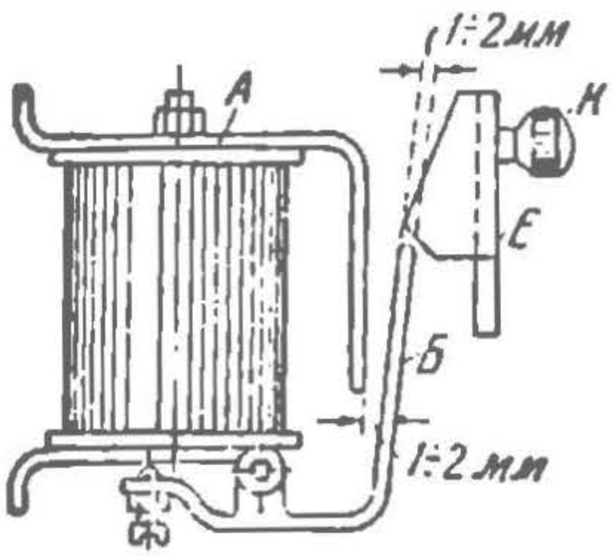
Промежуточное реле ЭП-400 завода ХЭМЗ имеет конструкцию кодового реле (фиг. 98), применяемого в схеме железнодорожной автоматики. Отличительной особенностью реле является большое количество контактных групп, что чрезвычайно удобно для использования в сложных схемах. Расстояние между контактами небольшое, и поэтому мощность контактов невелика. Для увеличения надежности контакта контактные пружины имеют на конце разрез и два вклепанных серебряных контакта.

При применении короткозамкнутой гильзы может быть достигнуто замедленное отпускание якоря реле.

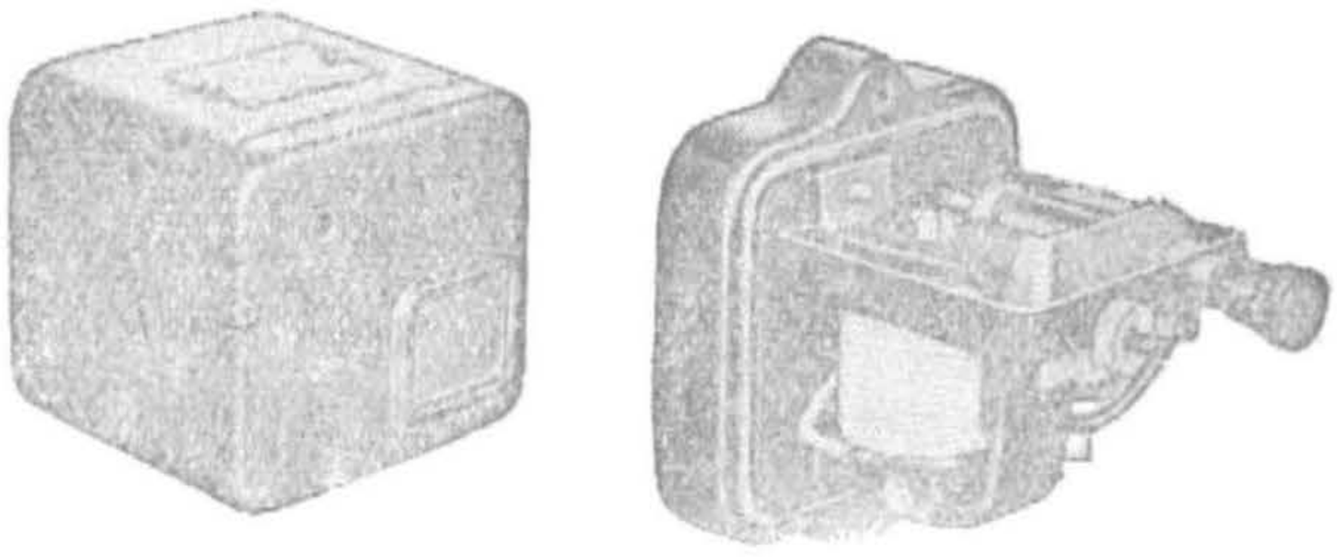
УДУНТ (ДІІТ)

3. Блинкер — приспособление в виде небольшого флажка, который при действии защиты или реле выпадает, указывая на действие последней. Блинкер выполняется или в виде небольшого механического приспособления (механический блинкер), на которое непосредственно воздействует само защитное реле при срабатывании, или в виде самостоятельного маленького реле с укрепленным на якоре флажком (электрический блинкер). Кроме флажка блинкеры могут иметь контакты, предназначаемые для включения сигнальных цепей.

Применяется блинкер в схемах защиты в качестве указателя действия. Например, генератор имеет несколько защит — максимальную, диференциальную и от замыкания на землю. В цепи отключения каждой защиты ставится блинкер, и поэтому при отключении выключателя по выпавшему флажку блинкера сразу можно определить, какая защита сработала.



Фиг. 99. Схематический чертеж блинкера ЭС.



Фиг. 100. Блинкер ЭС.

Блинкер ЭС завода ХЭМЗ. Схематический чертеж блинкера показан на фиг. 99, общий вид — на фиг. 100. Флажок *Е* представляет собой удлиненную металлическую пластинку, укрепленную вблизи одного из краев на оси, которую можно поворачивать от руки посредством кнопки *К*. Другой конец пластинки загнут и подрезан так, что образует выступ, опирающийся на якорек *Б*. Блинкер устанавливается на вертикальной панели так, что флажок, опираясь на якорек *Б*, находится в горизонтальном положении и не виден в окошке кожуха (на фиг. 100 флажок блинкера поднят). Когда в катушке электромагнита *А* появится ток, якорек *Б* притянется и потерявший опору флажок вследствие своего веса повернется на 90°, а нижняя часть флажка будет видна в окошке кожуха. На оси флажка имеется контактная пластинка, изолированная от вала. Эта контактная пластинка при повороте флажка замыкает три неподвижных пружинящих контакта.

Недостатком блинкера данной конструкции является выпадание флажка при сотрясениях блинкера.

Блинкеры исполняются с сериесными и шунтовыми катушками. Блинкеры с сериесными катушками включаются последовательно в цепь постоянного тока защиты, например, последовательно с отключающим соленоидом выключателя или катушкой

УДУНТ (ДІІТ)

промежуточного реле. Блинкер с шунтовыми катушками включается на полное напряжение цепи постоянного тока.

22. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РЕЛЕ

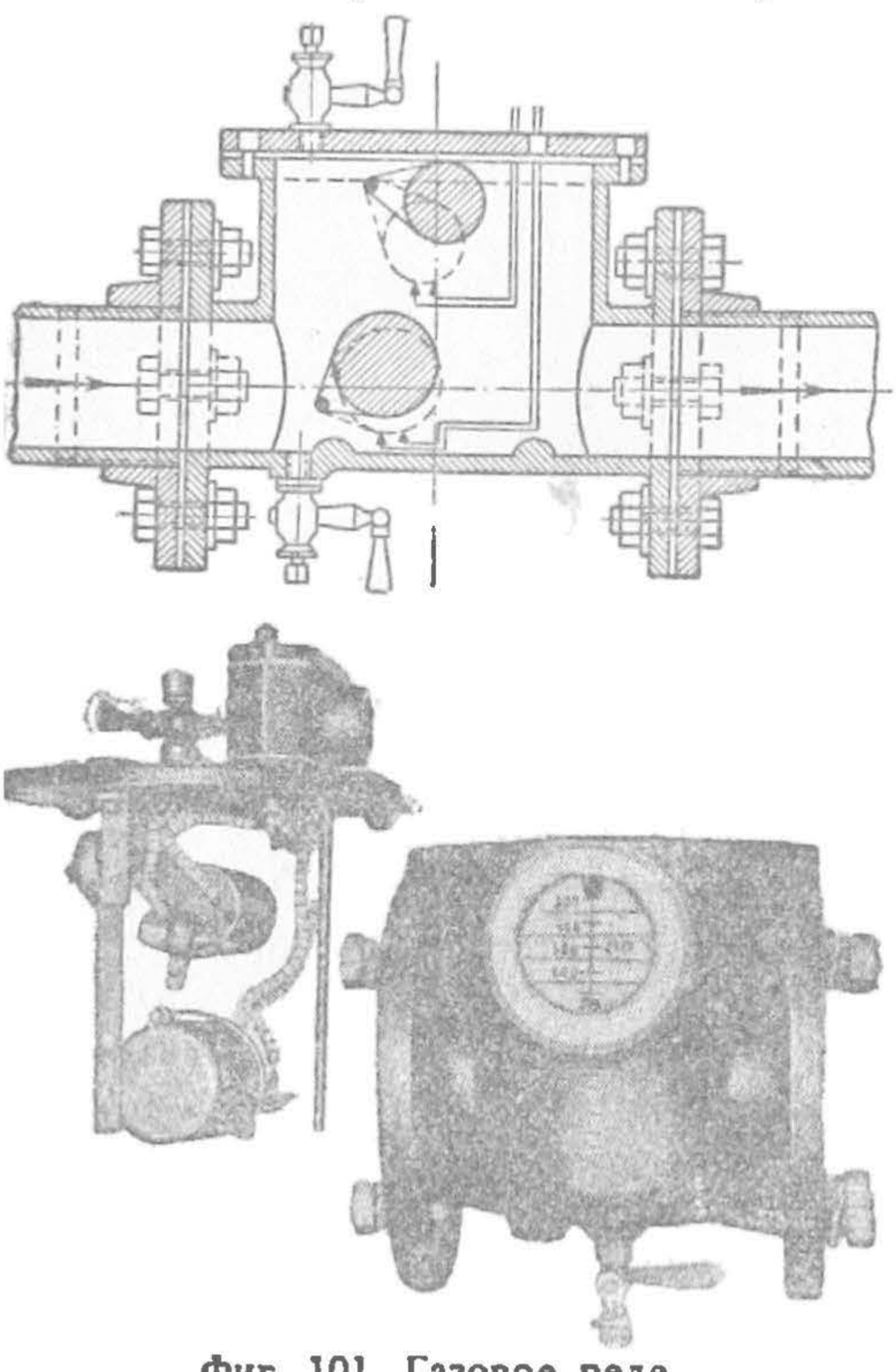
К специальным реле относятся реле, которые изготовлены специально для определенного вида защиты, например, для дифференциальной защиты и не могут быть широко использованы в различных схемах защиты подобно максимальным, промежуточным и тому подобным реле.

Действие специальных реле, основанных на сравнении токов (балансное, транслей) разобрано в разделе «Защита сетей».

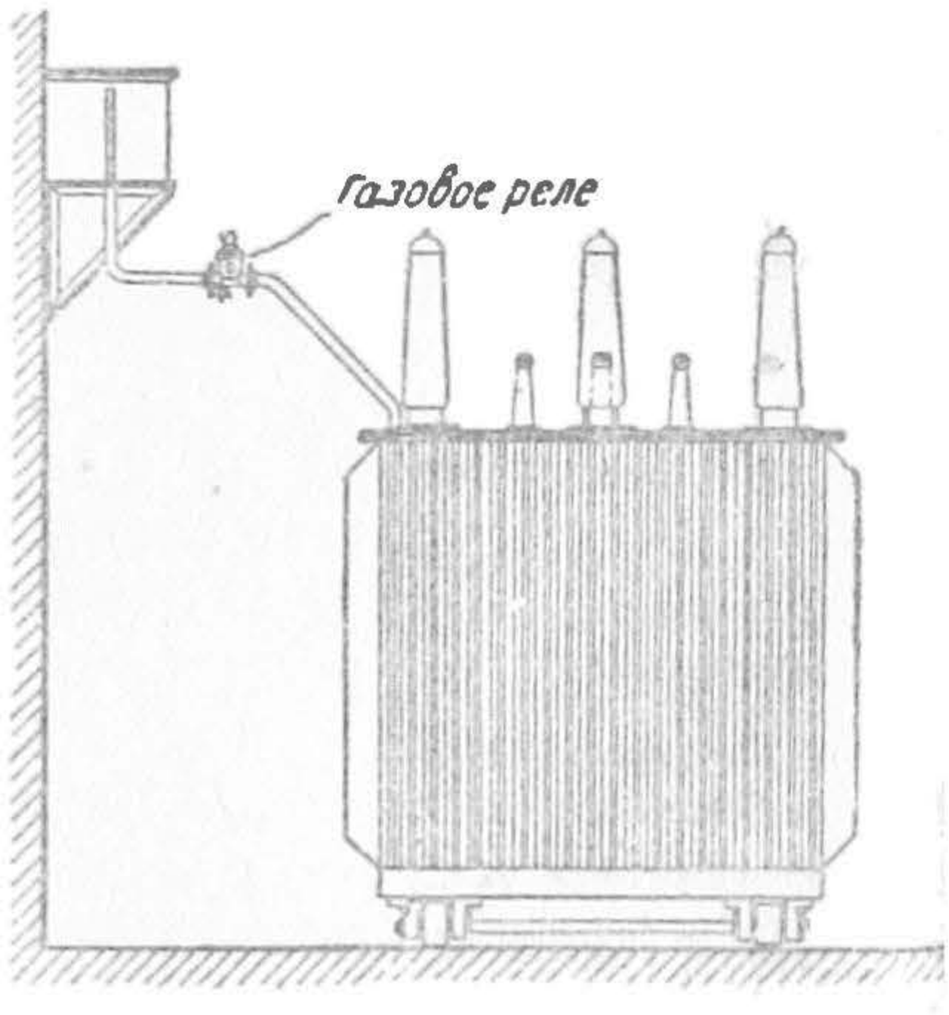
Газовые реле. Газовыми реле называются реле, реагирующие на выделение газа из масла трансформатора.

Газовые реле применяются для защиты трансформаторов с масляной изоляцией от внутренних повреждений.

Как показывает практика, всякое повреждение внутри кожуха трансформатора неизбежно сопровождается выделением газа, являющегося результатом разложения изолирующих материалов (масло, дерево и т. п.) под действием электрической дуги, разряда и т. п., причем интенсивность выделения газов зависит от размера и характера повреждения. Все эти газы поднимаются в трансформаторе вверх к наивысшей точке, от которой идет трубка к консерватору.



Фиг. 101. Газовое реле.



Фиг. 102. Установка газового реле.

Газовое реле представляет резервуар, устанавливаемый в трубопроводе между трансформатором и консерватором. Внутри резервуара встроены два поплавка, действующие на контакты (фиг. 101 и 102).

УДУНТ (ДІІТ)

При нормальной работе трансформатора реверзуара, полнен маслом, поплавки подняты и контакты разомкнуты.

При аварии трансформатора, сопровождаемой слабым газообразованием, выделяющиеся газы поднимаются вверх, попадают в резервуар газсвого реле и скопляются в нем, вытесняя масло. При достаточном количестве газов поплавок, расположенный вверху резервуара, опускается, что вызовет замыкание контакта, действующего на цепь сигнала. Слабое газообразование не может вызвать замыкания контактов нижнего поплавка, так как газы после заполнения верхней части реле будут уходить в консерватор без дальнейшего понижения уровня масла в реле. Следовательно, при слабом газообразовании защита действует только на сигнал.

Слабое газообразование может вызываться как незначительным повреждением, не опасным для трансформатора, так и аварией, при наличии которой работа трансформатора недопустима. Поэтому при появлении сигнала дежурный персонал должен принять все меры к снятию нагрузки с анарийного трансформатора и его отключению. В случае если по условию бесперебойности снабжения электроэнергией трансформатор не может быть отключен немедленно, то дежурный должен попытаться по особым признакам определить характер повреждения трансформатора. Раньше всего он должен твердо установить, стоит ли еще масло на правильном уровне, т. е. не течет ли в каком-нибудь месте трансформатор и маслопровод, нормальна ли температура трансформатора, нет ли повышенного гула. Далее необходимо выяснить, какие газы скопились в реле: газы, выделившиеся от разложения масла, или это только воздух, проникший внутрь. Для этой цели на реле имеется маленькое окошечко и кран. Газы отличаются от воздуха темнозеленым или серым цветом, горелым запахом и горючестью. В этом случае можно легко зажечь у крана небольшой огонек. Если найден воздух, то необходимо проверить плотность маслопроводов и отсутствие утечки в трансформаторе. Если, наборот, обнаружено присутствие горючих газов, то приходится считаться с повреждением электрического характера, и в этом случае необходимо быстрейшее отключение трансформатора. Повреждения, которые могут иметь место в этом случае, следующие: разрушение изоляции, замыкание между витками, ослабление контактов, нагревание железа вследствие короткого замыкания между отдельными листами (так называемый пожар железа), тихий разряд.

При коротких замыканиях и подобных тяжелых повреждениях в трансформаторе, при которых требуется немедленное выключение трансформатора из работы, процесс протекает несколько иначе.

Прежде чем большие количества газа, выделяющиеся в таких случаях, достигнут верха, масло, вытесняемое газами, будет уходить в консерватор. При этом в соединительной трубке и в нижней части резервуара газового реле получается сильное течение масла, которое выводит нижний поплавок из положения

УДУНТ (ДІІТ)

покоя. Благодаря этому замыкается контакт нижнего поплавка, действующий на отключение выключателей трансформатора.

При коротких замыканиях вне трансформатора газовое реле не действует. Возникающие в таких случаях механические толчки в обмотке вызывают лишь незначительное движение масла, затухающее в кожухе, так что, как показал опыт, течение масла совершенно не достигает реле.

При монтаже газового реле необходимо иметь в виду следующие основные требования.

Устройство соединительного маслопровода между трансформатором и консерватором должно быть таким, чтобы газы, образующиеся в трансформаторе, по кратчайшему пути попадали в реле; после заполнения резервуара реле выделяющиеся газы должны беспрепятственно уходить в консерватор. Для этой цели трубопровод должен присоединиться к трансформатору в наивысшей точке кожуха. У трансформаторов с плоской крышкой присоединение трубопровода производят в одном из углов крышки, и трансформатор в этом месте несколько приподнимают. Нижняя часть соединительной трубки должна быть вровень с крышкой трансформатора, чтобы все выделившиеся газы попадали в резервуар реле.

Трубопровод от трансформатора к консерватору должен быть расположен наклонно так, чтобы подъем по отношению к горизонтали (уровню) от трансформатора к консерватору составлял не менее 2% (т. е. на 1 *м* подъем не менее 2 *см*).

Низший уровень масла в консерваторе в холодном состоянии должен быть приблизительно на 20 *мм* выше верхней части крана реле, служащего для выпуска газов. В противном случае возможно неселективное действие защиты вследствие попадания воздуха в реле при низкой температуре.

Проверка действия газового реле производится при помощи маленького насосика, которым накачивается воздух через нижний кран реле. При плавном медленном нагнетании воздуха должен замкнуться только сигнальный контакт (верхний поплавок). При быстром нагнетании воздуха замыкается нижний отключающий контакт.

Газовое реле ПГ-22 завода ХЭМЗ, применяемое для газовой защиты трансформаторов, показано на фиг. 101. Реле имеет полые металлические поплавки, с наружной стороны которых укреплены ртутные контакты, замыкающиеся при опускании поплавка. Ртутные контакты состоят из стеклянной колбы, в которую впаяны контакты и налито немного ртути. При наклонении колбочки ртуть переливается и замыкает контакты. Мощность контактов около 600 *ва*.

На поплавках реле имеются грузики, перемещением которых можно изменять тяжесть поплавков, и следовательно, и чувствительность реле.

Выпускавшиеся раньше газовые реле РГ имели металлические контакты, встроенные внутри поплавка. Замыкание контактов осуществлялось при помощи тяжелого шарика, перекаты-

УДУНТ (ДІІТ)

вавшегося при опускании поплавка. Для установки контактов в поплавках реле РГ имелись крышки, что являлось большим недостатком реле.

Как показывает практика, несмотря на применение уплотнений крышки в поплавок обычно проникает масло; вследствие этого реле такой конструкции может давать неправильные сигналы и отключения.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЗАЩИТА СЕТЕЙ

23. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Назначение электрических сетей. Электрические сети осуществляют связь между станциями и потребителями; они являются чрезвычайно важным и ответственным элементом, от работы которого зависит бесперебойное снабжение потребителей энергией.

2. Основные повреждения в сетях. Вследствие большой протяженности и территориальной разбросанности сети более чем другие части электрической системы подвержены различным внешним повреждениям: удары молнии, гололед, загрязнение изоляторов, набросы и т. д.

Данные эксплоатации наших сетей показывают, что в воздушных сетях высокого напряжения чаще происходят однофазные замыкания на землю.

Короткие замыкания между проводами происходят значительно реже, что объясняется большим расстоянием между проводами при высоком напряжении.

В кабельных сетях большинство повреждений также начинается с однофазных замыканий на землю, но в отличие от воздушной сети однофазные замыкания на землю легко переходят в междуфазные короткие. Это относится, главным образом, к трехфазным кабелям, где расстояние между жилами мало и небольшой ток замыкания на землю может прожечь изоляцию и вызвать междуфазное замыкание.

Перегрузка в сетях наступает обычно после аварии, когда оставшиеся в работе линии принимают на себя нагрузку отключившейся линии.

Перегрузки воздушных линий могут вызвать остаточные деформации в материале проводов и порчу соединительных клемм.

Недопустимая перегрузка кабелей вызывает порчу изоляции всего кабеля, в результате чего сокращается срок службы изоляции и может произойти пробой ее.

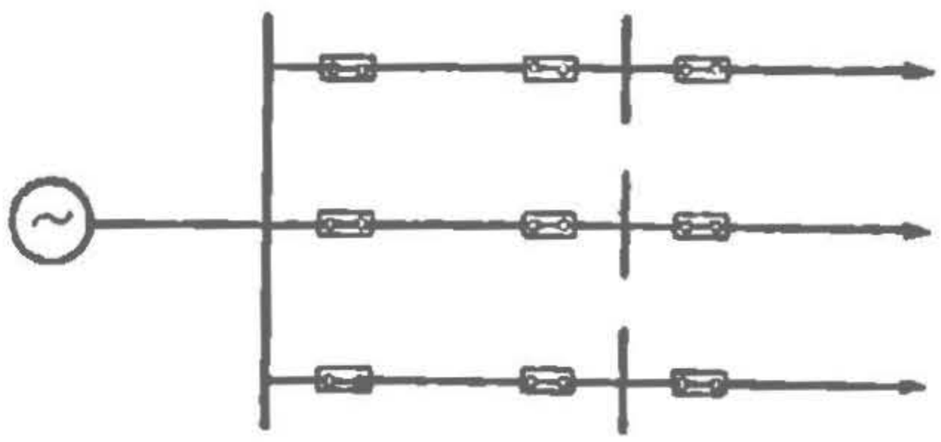
3. Конфигурация сетей. На выбор типа защиты сетей значительное влияние оказывают конфигурация сетей и способ питания ее. По конфигурации различаются сети:

УДУНТ (ДІІТ)

Радиальные с односторонним питанием: от станции линии расходятся по радиусам (фиг. 103).

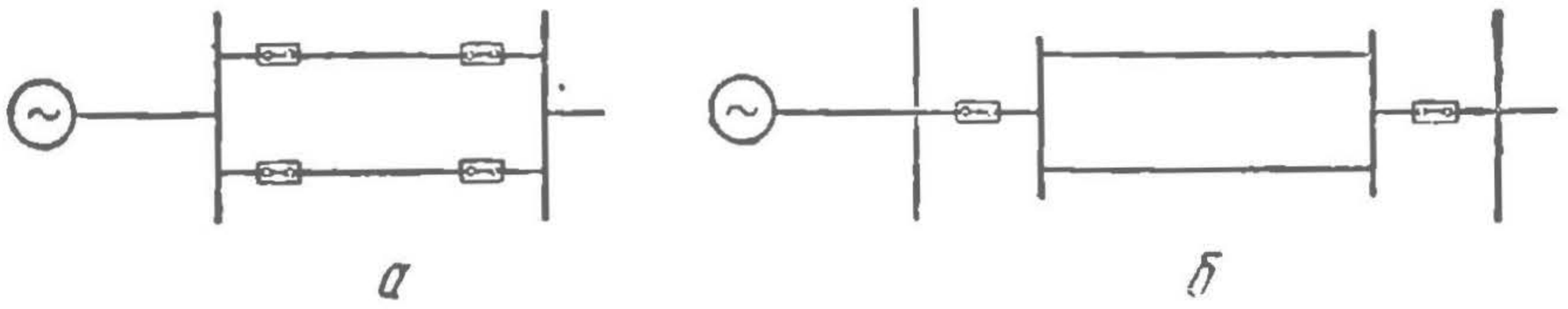
Сети с параллельными линиями: от станции к потребителю прокладывается несколько линий (фиг. 104,*а* и *б*— две линии).

Кольцевые сети и сети с двухсторонним питанием. Кольцевая сеть с одним источником питания изображена на фиг. 105. Благодаря наличию кольца каждая подстанция получает питание по двум линиям, что создает большую надежность электроснабжения потребителей.



Фиг. 103. Радиальная сеть с односторонним питанием.

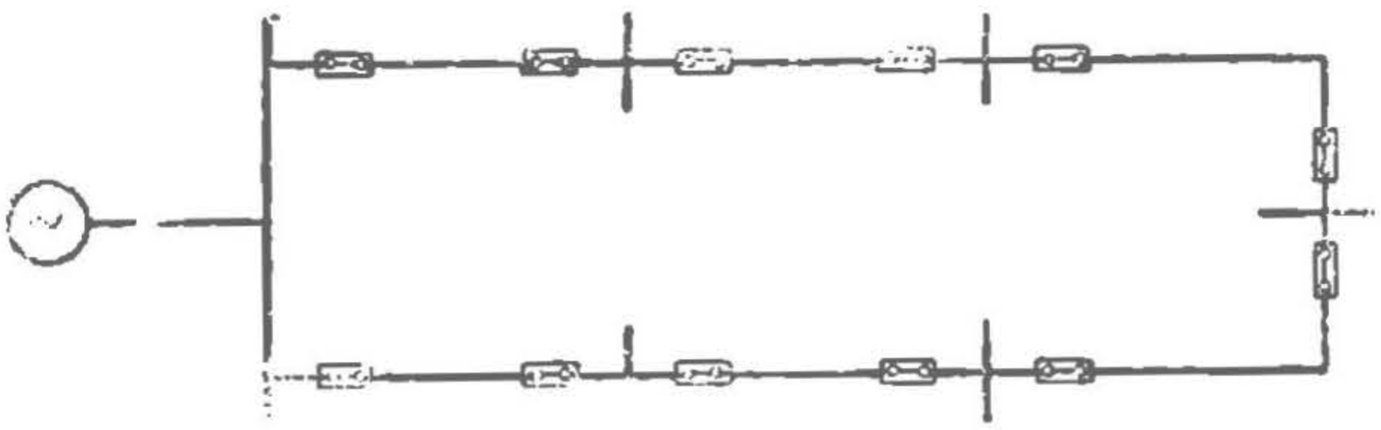
Сеть с двумя источниками питания изображена на фиг. 106. В такой сети создается резерв источников питания.



а *б*

Фиг. 104. Сеть с двумя параллельными линиями.

Сложные сети состоят из перечисленных выше типов сетей.



Фиг. 105. Кольцевая сеть с одним источником питания.



Фиг. 106. Сеть с двумя источникими питания.

24. ЗАЩИТА РАДИАЛЬНОЙ СЕТИ

1. Максимальная защита мгновенного действия. Защита радиальной сети (фиг. 107) может быть осуществлена максимальными реле мгновенного действия.

На фиг. 108 приведена схема включения защиты с трансформаторами тока на каждой фазе и с тремя реле. Трансформаторы тока и реле соединены в звезду.

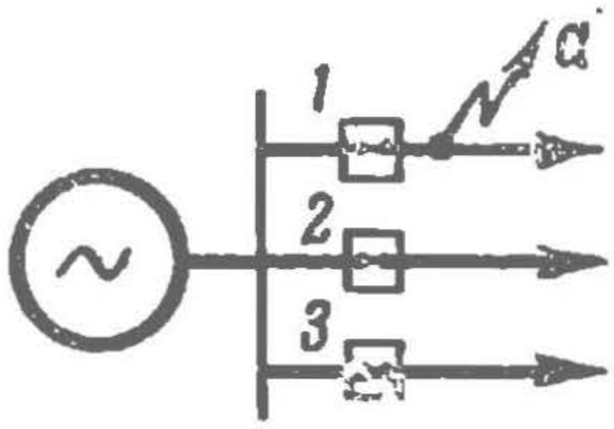
На фиг. 109 приведена подобная схема, но с двумя трансформаторами тока и двумя реле.

Выбор одной из этих схем зависит от способа заземления нейтрали системы, а также от степени ответственности защищаемой сети.

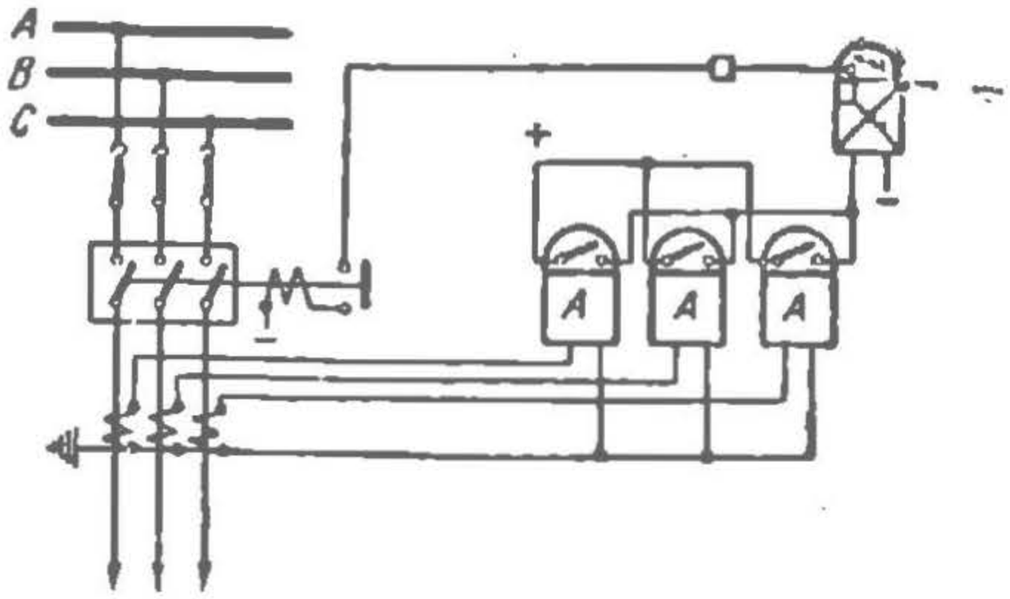
Предположим, что нейтраль системы не заземлена или зазем-

УДУНТ (ДІІТ)

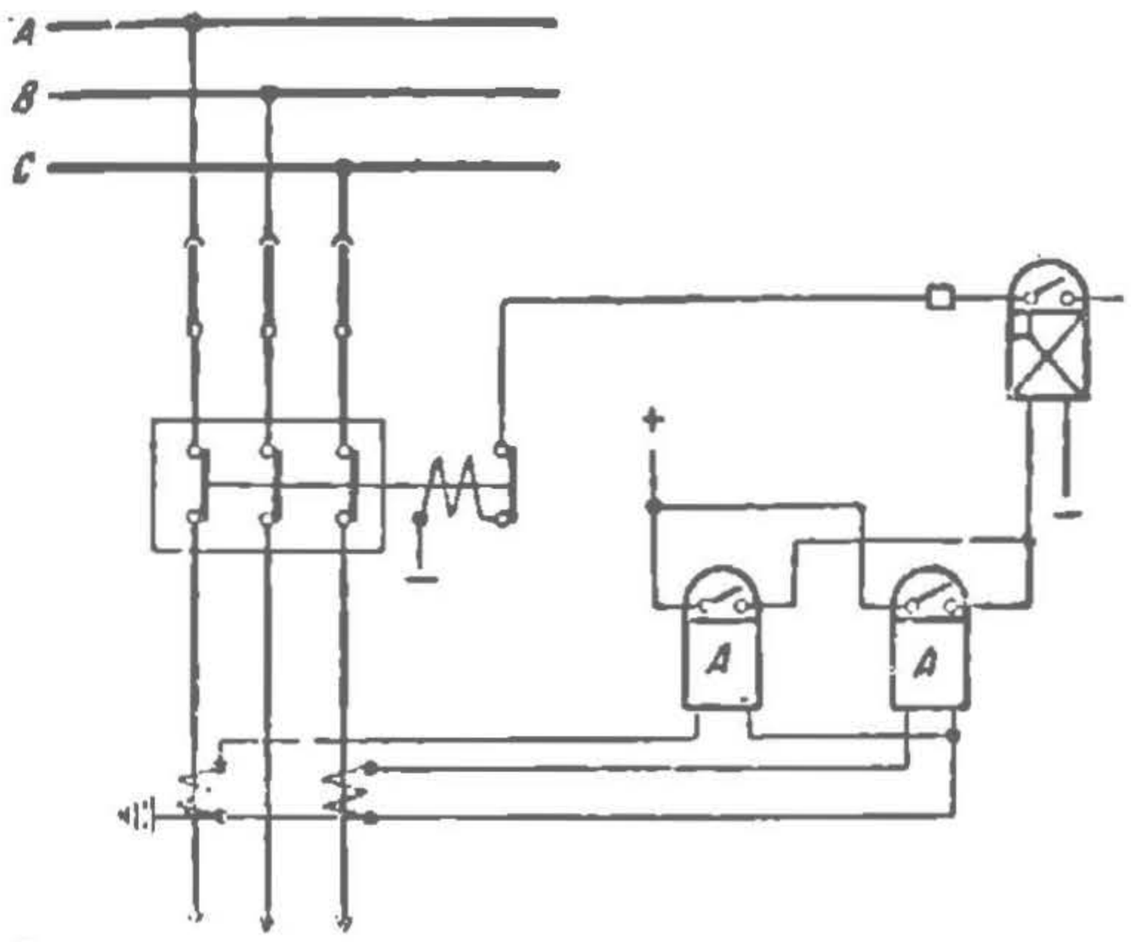
лена через очень большое сопротивление и ток замыкания на землю невелик и не представляет опасности. В этом случае защита от однофазных замыканий на землю не является необходимой и можно ограничиться двухрелейной схемой Действительно, эта схема будет реагировать на все другие виды коротких замыканий (двухфазное и трехфазное), так как в цепи, замкнутой накоротко, всегда будет включено одно из двух реле или оба вместе.



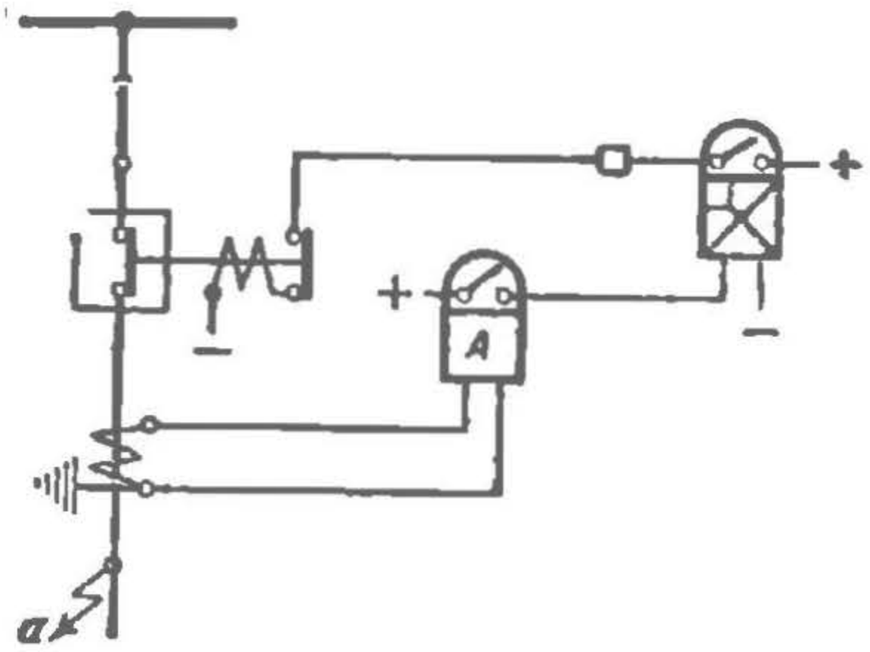
Фиг. 107. Простейшая радиальная сеть с односторонним питанием.



Фиг. 108. Схема трехрелейной максимальной защиты мгновенного действия радиальной линии.



Фиг. 109. Схема двухрелейной максимальной защиты мгновенного действия радиальной линии.



Фиг. 110. Однолинейное обозначение трехрелейной схемы максимальной защиты мгновенного действия.

При двухфазных коротких замыканиях между одной из тех фаз, где трансформаторы тока установлены, и фазой, в которой трансформатор тока отсутствует, будет действовать только одно реле и в случае отказа в работе этого реле не будет резерва.

В силу этого в ответственных сетях с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через большое сопротивление, применяют трехрелейную схему. В менее ответственных сетях применяют двухрелейную схему, как более дешевую.

В сетях с глухо заземленной нейтралью всегда применяют трехрелейную схему, так как в этом случае однофазное замыкание на землю является однофазным коротким замыканием.

На фиг. 110 представлена схема фиг. 108 в однолинейном обозначении.

УДУНТ (ДІІТ)

В дальнейшем мы будем часто приводить однолинейные схемы, как более ясные.

Максимальная защита (фиг. 110) работает следующим образом:

Максимальные реле срабатывают при увеличении тока в линии выше допустимого и отключают через промежуточное реле выключатель этой линии. Например, при коротком замыкании в точке *а* отключается выключатель *1*, и тем самым ток короткого замыкания прерывается.

Другие линии продолжают работать, и питание потребителей по этим линиям не прекращается.

Ток трогания реле выбирается с учетом коэфициента трансформации трансформаторов тока. Предположим, что на линии установлены трансформаторы тока с коэфициентом трансформации 200/5 *а*.

Номинальный ток линии составляет 150 *а*. Требуется, чтобы реле срабатывало при увеличении тока в линии на 20% выше номинального.

Это значит, что реле должно сработать, когда ток в линии увеличится до

$$I_{линии} = 150\ a \cdot 1{,}20 = 180\ a,$$

через реле в этом случае будет проходить вторичный ток:

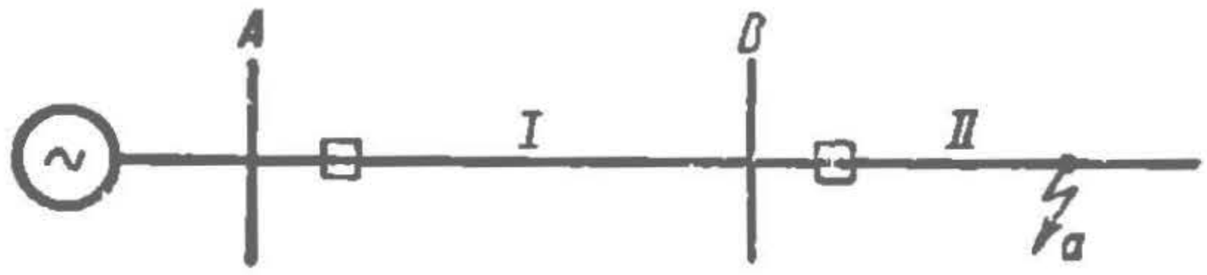
$$i_{реле} = \frac{180\ a}{40} = 4{,}5\ a$$

(40 — коэфициент трансформации).

Таким образом реле должно быть настроено на ток трогания, равный 4,5 *а*.

Защита может быть выполнена помощью максимальных токовых реле мгновенного действия ЭТ-70 ХЭМЗ.

2. Максимальная независимая защита со ступенчатой выдержкой времени. В радиальной сети потребитель иногда присоединяется к источнику питания через промежуточные подстанции, как это изображено на фиг. 111, где линия *II* питается через промежуточную подстанцию *B*.



Фиг. 111.

В этом случае применение максимальной защиты мгновенного действия не обеспечит селективного действия защиты.

В самом деле, при коротком замыкании в точке *а* ток короткого замыкания будет протекать как по поврежденной линии *II*, так и по исправной линии *I*. В этом случае сработают реле исправной и поврежденной линий, отключится выключатель подстанции *A* и питание всех потребителей будет прервано.

Для достижения селективного действия защиты применяют дополнительно к максимальным реле еще реле времени. На под-

УДУНТ (ДІТ)

станции, наиболее удаленной от источника питания, выдержка времени защиты устанавливается наименьшей. Выдержки времени остальных защит возрастают по направлению к источнику питания. Например, для фиг. 111 выдержка времени защиты на подстанции *A* должна быть больше, чем на подстанции *B*. Тогда в случае короткого замыкания на линии *II* подействуют защиты подстанций *A* и *B*, но сработает только защита подстанции *B* и отключит выключатель. После отключения поврежденного участка ток короткого замыкания в линии *I* исчезнет и нормальная работа се будет восстановлена.

Разница между выдержками времени (ступень времени) двух последовательно расположенных защит обычно принимается не меньше 1 сек. Эта ступень времени слагается из собственного времени действия максимального реле и выключателя, для которого оно составляет $0{,}3 \div 0{,}4$ сек.

Иногда допускается уменьшение ступени времени до 0,5—0,75 сек., но тогда собственное время выключателя должно быть не больше 0,15—0,2 сек., а реле времени достаточно точным.

Ток трогапья максимальных реле устанавливается с учетом коэфициента трансформации трансформаторов тока, а также коэфициента возврата реле, что имеет особое значение при осуществлении ступенчатой максимальной защиты. Покажем это на примере схемы фиг. 111.

На подстанции *A* установлены трансформаторы тока с коэфициентом трансформации 200/5 *а*.

Номинальный ток линии *I* составляет $I_{\text{I}} = 150\ a$, а номинальный ток линии *II* $I_{\text{II}} = 20\ a$.

Коэфициент возврата реле подстанции *A*

$$k_{возвр} = 0{,}7.$$

Требуется, чтобы реле подстанции *A* срабатывало при превышении тока в линии на 20%. Если не принимать во внимание коэфициента возврата реле, то мы установим ток трогапья равным:

$$i_{трог} = \frac{150\ a \cdot 1{,}2}{200/5} = 4{,}5\ a,$$

и реле сработает при токе в линии, равном 180 *а*.

При коэфициенте возврата, равном 0,7, реле после срабатывания снова разомкнет свои контакты при первичном токе:

$$I_{возвр} = 180\ a \cdot 0{,}7 = 126\ a.$$

Посмотрим, что мы будем иметь, если короткое замыкание произойдет в точке *a*.

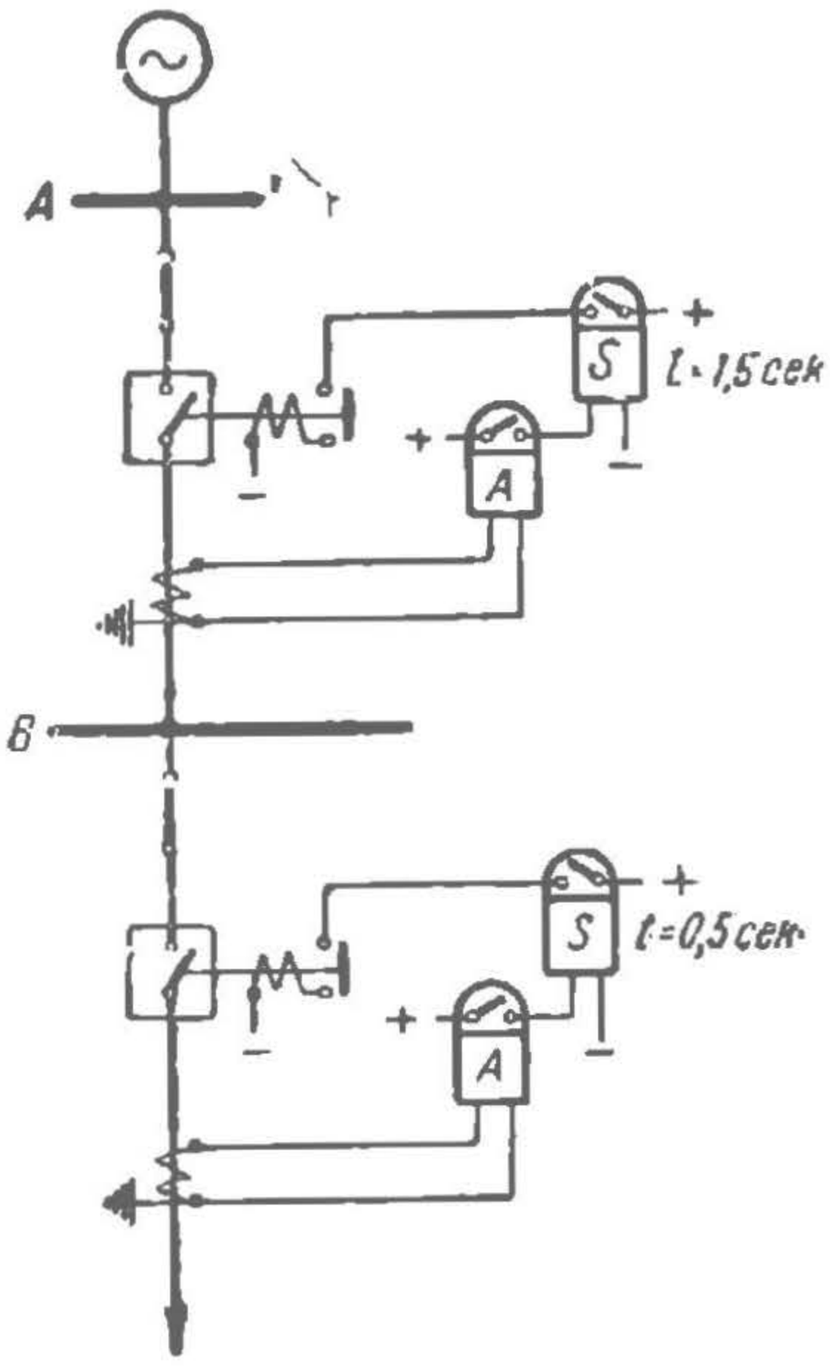
При токе повреждения в линиях *I* и *II* больше 180 *а* сработают мгновенные реле подстанций *A* и *B*. После отключения линии *II* ток линии *I* будет составлять:

$$I_{\text{I}} = 150\ a - 20\ a = 130\ a.$$

УДУНТ (ДІІТ)

Для того чтобы реле подстанции *A* смогло снова разомкнуть свои контакты, ток должен быть, как определено выше, меньше 126 *а*.

Значит, реле линии *I* не разомкнет обратно свои контакты после срабатывания реле линии *II* и отключения поврежденной линии и отключит выключатель *I*, что является недопустимым.



Фиг. 112. Однолинейная схема независимой ступенчатой максимальной защиты.

Минимальный ток трогания данного реле определится с учетом коэфициента возврата реле, как

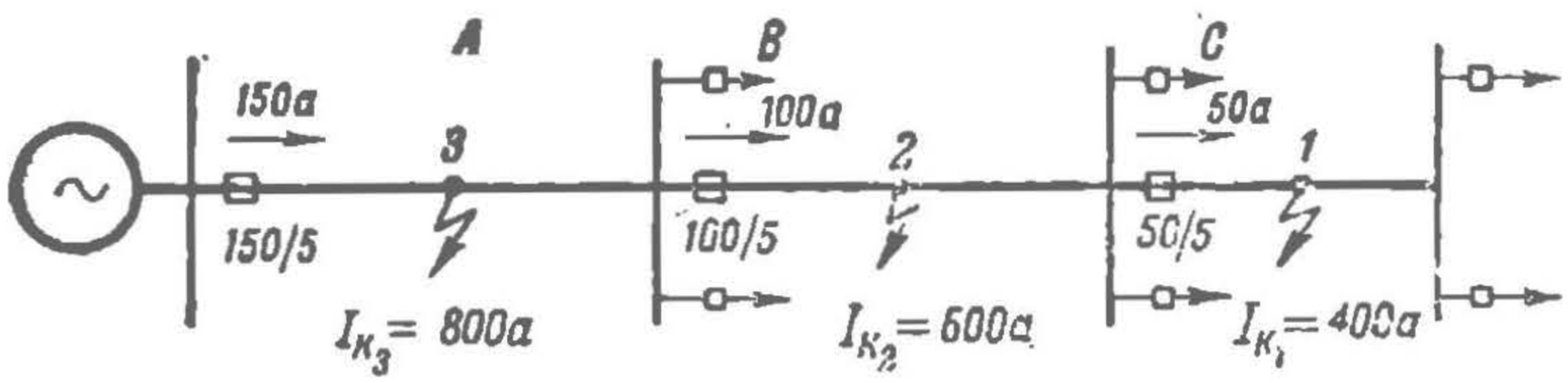
$$i_{трог} = \frac{50}{0{,}7 \cdot 200/5} \approx 5{,}3\ а.$$

На этот ток и должны быть установлены реле.

Однолинейная схема включения ступенчатой максимальной защиты показана на фиг. 112.

Недостатком этой защиты являются значительные выдержки времени, которые могут быть при аварии вблизи источника питания, если число последовательно включенных подстанций очень велико, так как выдержки времени возрастают по направлению к источнику питания.

Защита может быть выполнена помощью максимальных токовых реле мгновенного действия ЭТ-70 и реле времени ЭВ-190.



Фиг. 113. Радиальная линия с несколькими подстанциями.

3. Максимальная зависимая защита. В радиальных сетях снижение выдержки времени у источника питания при большом числе последовательно включенных подстанций может быть иногда достигнуто применением максимальных реле с зависимой характеристикой.

На фиг. 113 представлена радиальная линия с несколькими подстанциями и указаны токи в линии и выбранные коэфициенты трансформации трансформаторов тока. Рабочие токи линий убывают по направлению от источника питания к потребителю, так как часть энергии на каждой из подстанций отдается потребителям, питаемым от подстанции.

УДУНТ (ДІІТ)

Ток короткого замыкания на всем протяжении от источника питания до места повреждения будет иметь одну и ту же величину, которая зависит от расстояния места повреждения до источника питания.

Чем больше будет это расстояние, тем меньше будет ток короткого замыкания, так как сопротивление линии зависит от ее длины.

Нами принято, что при повреждении на линии *C* в точке *1* ток короткого замыкания равен $I_{к1} = 400a$. Этот ток будет протекать также и по линиям *A* и *B*. Точно так же ток короткого замыкания в точке 2 $I_{к_2} = 600$ *a*, а в точке 3 $I_{к_3} = 800$ *a*.

Определим, какие вторичные токи мы будем иметь в реле в соответствии с коэфициентами трансформации трансформаторов тока при повреждениях на разных линиях.

Повреждение в точке *1*

Ток короткого замыкания $I_{к_1} = 400$ *a*.

Вторичный ток на линии *C*:

$$i_C = \frac{400}{50/5} = 40 \ a,$$

или при номинальном вторичном токе, равном 5 *a*,

$$i_C = \frac{40}{5} = 8\, i_{ном}.$$

Ток в линии *B*:

$$i_B = \frac{400}{100/5} = 20 \ a = 4\, i_{ном}$$

и в линии *A*:

$$i_A = \frac{400}{150/5} = 13{,}3 \ a = 2{,}7\, i_{ном}.$$

Повреждение в точке *2*

$$I_{к_2} = 600 \ a,$$

$$i_B = \frac{600}{100/5} = 30 \ a = 6\, i_{ном},$$

$$i_a = \frac{600}{150/5} = 20 \ a = 4\, i_{ном}.$$

Повреждение в точке *3*

$$I_{к_3} = 800 \ a,$$

$$i_A = \frac{800}{100/5} = 26{,}5 \ a = 5{,}3\, i_{ном}.$$

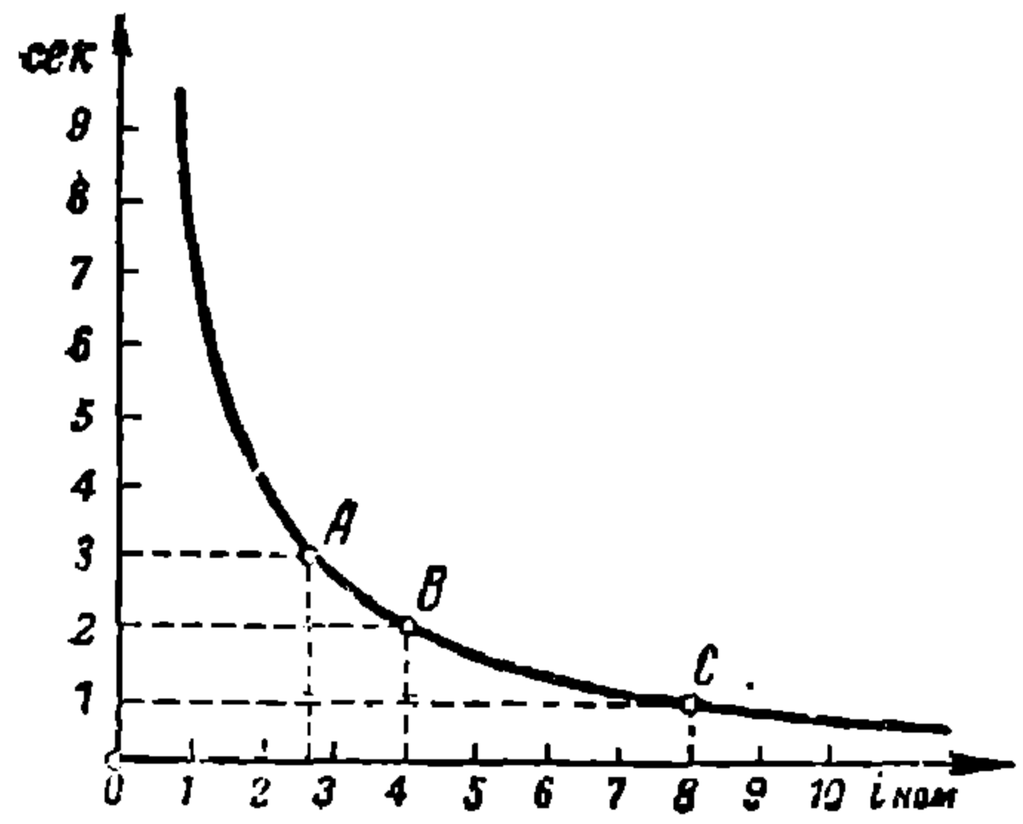
УДУНТ (ДІІТ)

На каждой линии устанавливаем зависимые реле с одинаковыми характеристиками (фиг. 114).

Разберем, как будут работать эти реле при повреждениях.

Короткое замыкание в точке *1* (фиг. 113). Ток, проходящий через реле C, $i_C = 8\ i_{ном}$.

На горизонтальной оси находим точку, соответствующую этому значению тока (т. е. цифру *8* на фиг. 114). Из точки *8* проводим вертикаль до пересечения с характеристикой реле. Получим точку C.



Фиг. 114. Характеристика максимально зависимого реле.

Проведя от точки C горизонтальную линию до пересечения с вертикальной осью, мы определим выдержку времени реле C. Она составит 1 сек.

Проделаем то же самое для реле, установленных на других линиях. Тогда будем иметь следующие выдержки времени *t*:

реле C $t_C = 1$ сек.

B $t_B = 2$

A $t_A = 3$

Это указывает, что защита будет действовать селективно. При повреждении в точке *1* сработает только реле с наименьшей выдержкой времени, т. е. реле линии C.

Короткое замыкание в точке *2*. Аналогично предыдущему найдем, что реле *B* будет иметь выдержку времени $t_B = 1{,}5$ сек., а реле *A* $t_A = 2$ сек.

Короткое замыкание в точке *3*. Реле *A* сработает через $t_A = 1{,}8$ сек.

Если бы для защиты этой радиальной сети применить максимальную защиту с независимой ступенчатой выдержкой времени, то при коротком замыкании в точке *3* минимальная выдержка времени составляла бы около 2,5—3 сек. При зависимой защите эту выдержку времени удалось снизить до 1,8 сек., сохранив селективность защиты.

Максимальная зависимая защита кроме возможности снижения выдержки времени обладает и рядом других преимуществ по сравнению с максимальной независимой защитой.

Например, осуществляя защиту кабельных линий от перегрузки максимальной зависимой защитой, мы будем иметь время действия защиты зависимым от тока перегрузки; при малых токах, перегрузки допустимы для кабеля большее время, время действия защиты будет также больше. При максимальной независимой защите время действия защиты не будет зависеть от величины тока перегрузки.

Повышенная выдержка времени при малых токах перегрузки

УПУНТ (ДІТ)

позволяет также в ряде случаев избежать неселективных отключений при коротких замыканиях где-либо в сети.

Если, например, произойдет короткое замыкание на одном из фидеров сети, то благодаря снижению напряжения двигатели потребителя снизят обороты. После отключения короткого замыкания и восстановления напряжения двигатели, питаемые по оставшимся в работе фидерам, будут потреблять некоторое время токи выше нормальных (пока не развернутся до номинального числа оборотов). Возникающие при этом перегрузки могут вызвать действие максимальной независимой защиты работающих фидеров. При наличии же зависимой защиты выдержка времени получается значительно большей и нагрузка успевает упасть до нормальной величины, прежде чем сработает реле.

Максимальная зависимая защита имеет и ряд существенных недостатков, ограничивающих область ее применения, а именно:

При больших кратностях тока короткого замыкания трудно получить достаточные интервалы времени для ступенчатости, которая обеспечила бы надежное селективное действие защиты, так как характеристики реле при больших токах очень пологи. При больших кратностях тока трансформаторы тока дают значительные ошибки в коэфициенте трансформации (из-за явления насыщения), что также затрудняет выполнение условия селективности.

Кроме того, во многих сетях нагрузка линий сильно меняется в течение суток. Одновременно с изменением рабочей мощности всей системы меняется и величина токов короткого замыкания. Это может вызвать необходимость перестановки у реле характеристики для обеспечения селективности защиты при изменившихся условиях нагрузки и представляет неудобства в эксплоатации.

Ток трогания зависимых максимальных реле выбирается также с учетом коэфициентов трансформации трансформаторов тока и коэфициента возврата реле.

Схема включения максимальной зависимой защиты такая же, как и для мгновенной защиты (фиг. 108):

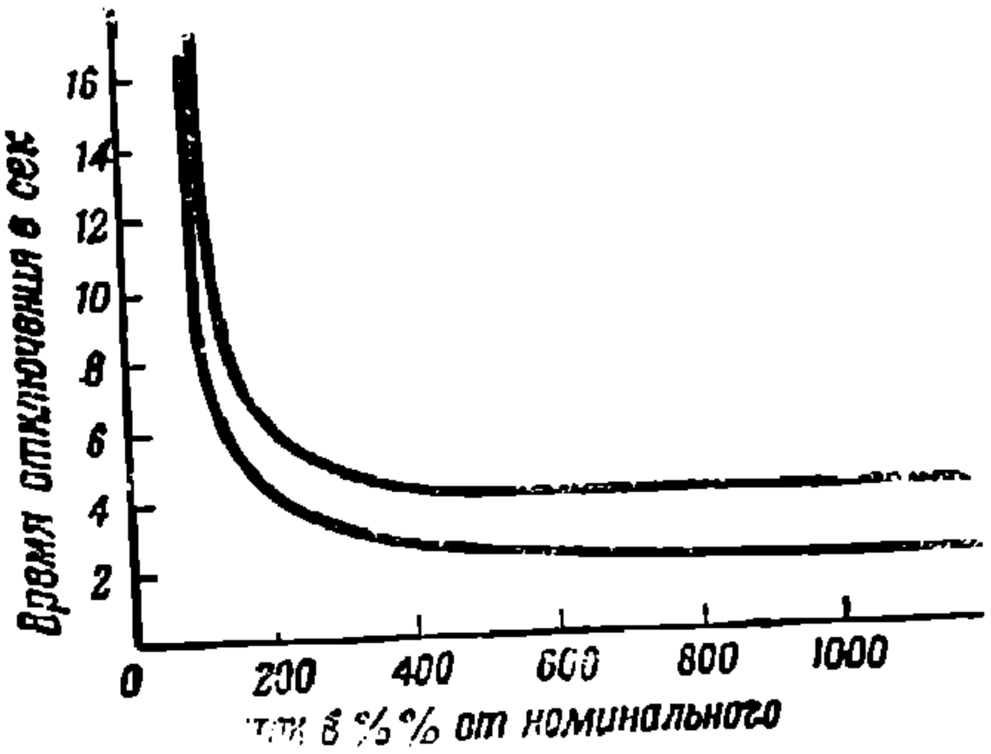
Для защиты радиальных сетей вместо зависимых реле часто применяют максимальные реле ограниченно зависимые.

В этом случае селективное действие защиты при больших токах короткого замыкания достигается соответствующим подбором характеристик реле с тем, чтобы в независимой части характеристики получить такие же ступени времени для последовательно расположенных реле, как и в максимальной независимой защите.

На фиг. 115 приведены характеристики двух последовательно расположенных максимальных ограниченно зависимых реле, характеристики этих реле не пересекаются, чем обеспечивается селиктивность действия защиты. Защита выполняется помощью максимальных токовых реле с ограниченно зависимой выдержкой времени ИТ-80 ХЭМЗ и ИТ-11 ХЭМЗ.

УДУНТ (ДІІТ)

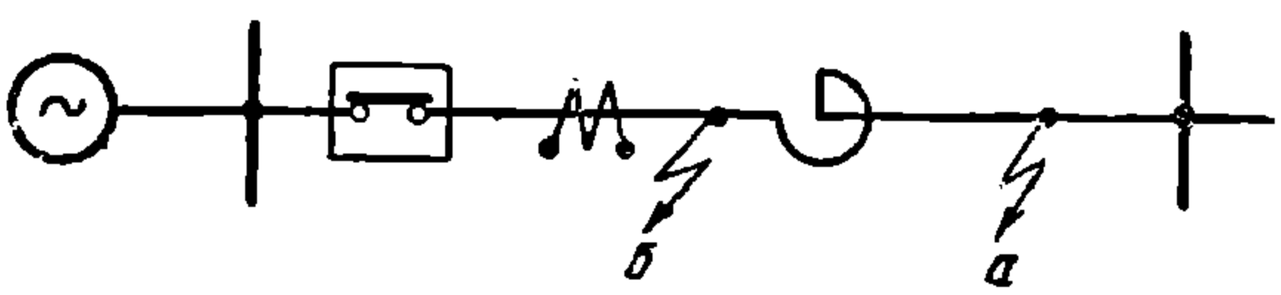
4. Максимальная защита с мгновенной токовой отсечкой. Мы уже видели, что применение зависимых реле вместо независимых со ступенчатой выдержкой времени может дать общее снижение выдержки времени защиты. Применением мгновенной токовой отсечки при известных условиях удается защитить отдельные участки линии защитой, действующей почти мгновенно.



Фиг. 115. Характеристики ограниченно зависимых максимальных реле.

Принцип действия токовой отсечки заключается в следующем:

Предположим, что от шин станции отходит линия, на которой для ограничения тока короткого замыкания установлен реактор (фиг. 116).



Фиг. 116. Радиальная линия с реактором.

Линия защищена максимальной независимой защитой со ступенчатой выдержкой времени. Пусть эта выдержка по условиям селективности равна 3 сек. Тогда все короткие замыкания до реактора и за реактором будут отключаться через 3 сек.

По величине ток короткого замыкания в линии различен в зависимости от места короткого замыкания. Действительно, при коротком замыкании в точке *б* ток будет значительно больше, чем при коротком замыкании в точке *а*, так как в последнем случае он будет ограничен индуктивным сопротивлением реактора.

Воспользовавшись разницей в токах короткого замыкания при замыканиях до и после реактора, мы можем дополнительно к защите с выдержкой времени установить мгновенную токовую защиту с таким током трогания, чтобы защита сработала лишь при коротких замыканиях до реактора.

При повреждении за реактором токи короткого замыкания будут меньше тока трогания этой защиты и она не будет работать.

Эта дополнительная защита и называется т о к о в о й о т с е ч к о й.

Для осуществления токовой отсечки последовательно с максимальным токовым реле, действующим на отключение с выдержкой времени, включают мгновенные токовые реле, действующие непосредственно на отключение выключателя (фиг. 117).

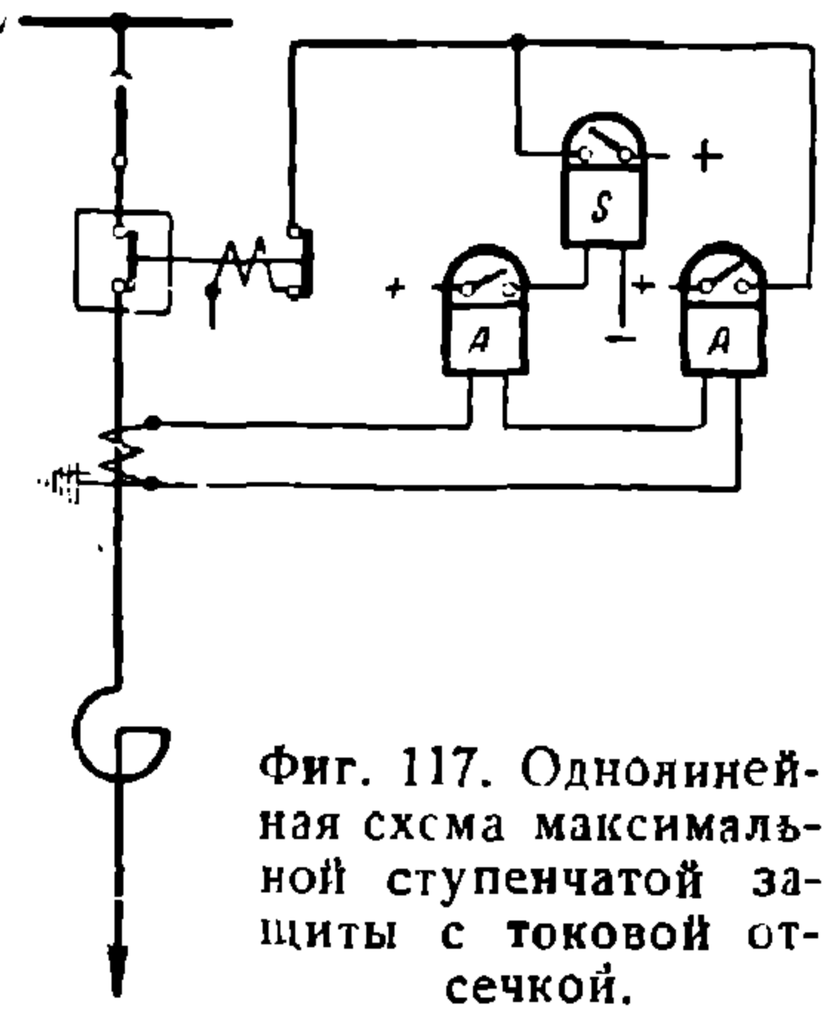
При этой защите все опасные для системы короткие замыкания до реактора будут отключаться мгновенно, а за реактором — с выдержкой времени, выбранной в соответствии с требованиями селективности.

УДУНТ (ДІІТ)

Защита с отсечкой применяется не только при наличии реакторов, но во всех случаях, когда в линии имеется сосредоточенное сопротивление (например, трансформатор). Иногда удается применять токовую отсечку и для линий, где ток повреждения в значительной степени зависит от удаленности повреждения.

Защита с отсечкой может быть применена не только в дополнение к максимальной токовой защите, но и к другим видам защит.

ХЭМЗ выпускает токовые реле ЭТ-80 с зависимой характеристикой с встроенной токовой отсечкой внутри реле.



Фиг. 117. Однолинейная схема максимальной ступенчатой защиты с токовой отсечкой.

5. Защита от однофазного замыкания на землю. В сетях с наглухо заземленной нейтралью ток однофазного замыкания на землю обычно превышает максимальный рабочий ток линии. Поэтому все приведенные ранее схемы максимальной защиты с применением трех трансформаторов тока и трех реле будут достаточно чувствительны к этим токам.

В сетях с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через большое сопротивление, токи однофазного замыкания на землю могут быть значительно меньше максимальных рабочих токов линии, в силу чего обычная максимальная защита не будет реагировать на них. В этих случаях приходится устанавливать отдельную более чувствительную защиту от однофазных замыканий на землю.

В качестве такой защиты наибольшее распространение получила схема Гольмгрина, осуществляемая при наличии трех трансформаторов тока (фиг. 118).

Принцип действия схемы Гольмгрина описан на стр. 33.

Ток небаланса трансформаторов тока, соединенных по схеме Гольмгрина, обычно не превышает нескольких десятых ампера. Ток трогань реле должен превышать ток небаланса. Так как ток небаланса всегда значительно меньше рабочего тока защищаемой линии, то защита по схеме Гольмгрина может быть сделана очень чувствительной.

При защите от замыкания на землю нескольких последовательных участков линии выдержка времени на каждом участке устанавливается в соответствии с требованиями селективности.

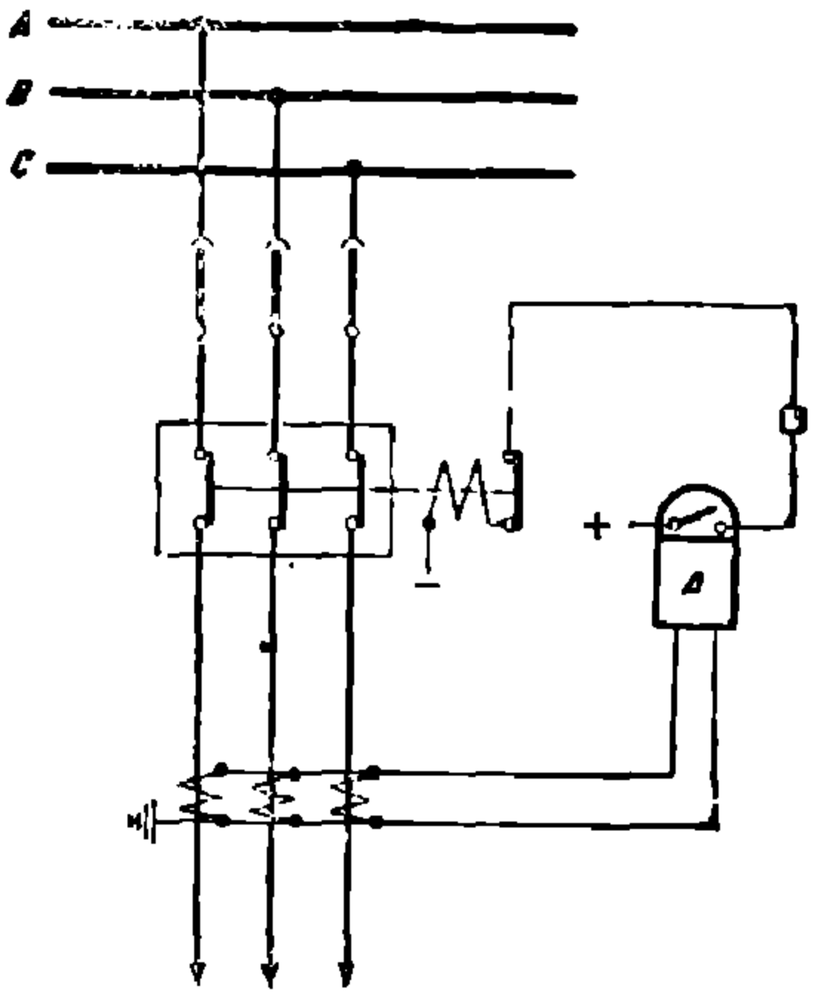
Практически для защиты от замыкания на землю часто используются трансформаторы тока максимальной защиты (фиг. 119). Реле защиты от замыкания на землю включено в нулевой провод максимальных реле.

При наличии только двух трансформаторов тока для защиты от однофазных замыканий на землю кабельных линий приме-

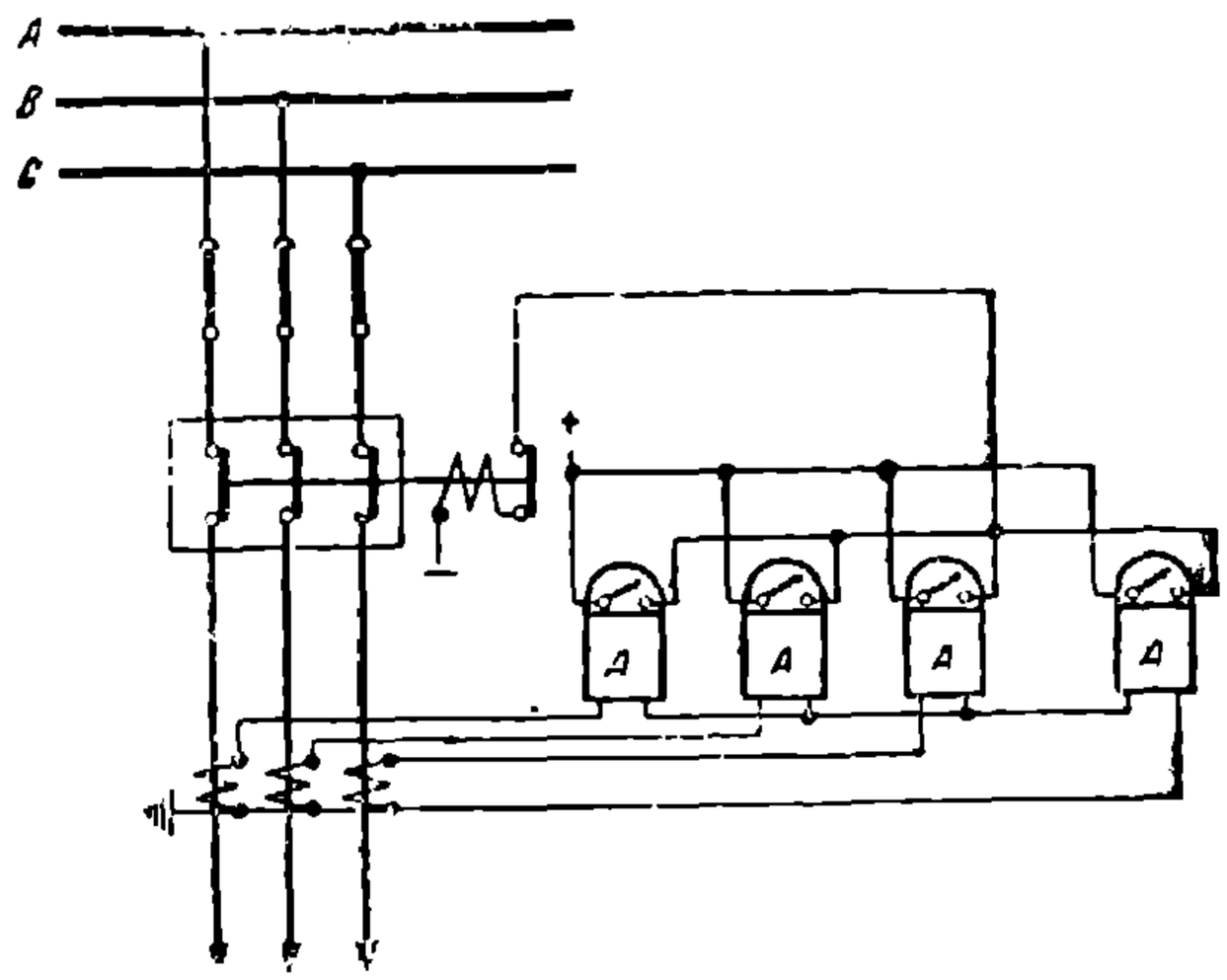
УДУНТ (ДІІТ)

няют специальный трансформатор тока типа Ферранти, описанный на стр. 34.

Сердечник трансформатора тока Ферранти надевается на кабель, а к обмотке его присоединяется максимальное токовое реле. Защита Ферранти может быть выполнена более чувствительной, чем защита по схеме Гольмгрина.



Фиг. 118. Защита от однофазных замыканий на землю по схеме Гольмгрина.



Фиг. 119. Максимальная защита и защита от однофазных замыканий на землю по схеме Гольмгрина.

Следует отметить, что при очень малых токах замыкания на землю для увеличения чувствительности в схеме Гольмгрина вместо максимального токового реле применяют реле направления энергии.

25. ЗАЩИТА КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ И СЕТИ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

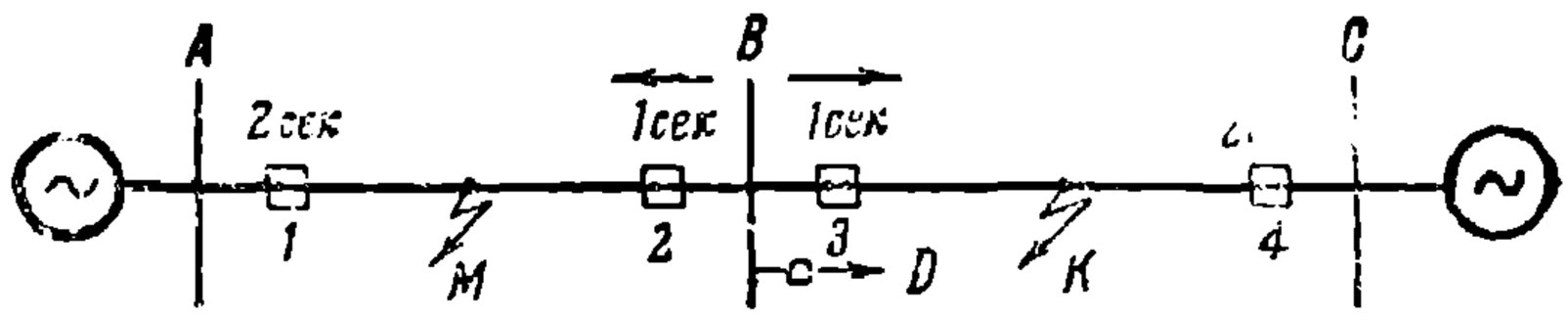
Максимальная токовая защита со ступенчатой выдержкой времени или зависимая применяется только в радиальной сети. В более сложных сетях — в кольцевой с одной точкой питания или в сети с двухсторонним питанием — эта защита будет действовать неселективно. Однако представляется возможность защитить эти сети селективно, если к максимальной токовой защите добавить реле, реагирующие на направлении энергии. Разберем для примера защиту сети с двухсторонним питанием (фиг. 120).

Предположим, что выключатели *1*, *2*, *3* и *4* имеют максимальную независимую защиту со ступенчатой выдержкой времени. При повреждении, например, в точке *K* защита должна отключить выключатели *3* и *4*, т. е. поврежденную линию. Защиты, установленные у выключателей *2* и *3*, в этом случае находятся в совершенно одинаковых условиях в отношении протекающих через них токов, падения напряжения и пр.

УДУНТ (ДІІТ)

Если у выключателя *2* установить большую выдержку времени, чем у выключателя *3*, то при повреждении в точке *K* защита сработает селективно, однако при повреждении в точке *M* при принятой выдержке времени защита отключит выключатель *3* вместо выключателя *2*. Таким образом выдержками времени в этом случае нельзя добиться селективности.

Очевидно, что защита, установленная на выключателях *2* и *3*, должна выбрать, какой из выключателей надо отключить. С этой целью на выключателе *2* дополнительно к максимальному реле устанавливается реле направления энергии; контакты максимального реле и реле направления энергии соединяются последовательно. Реле направления энергии замыкает свои контакты лишь в том случае, когда поток энергии направлен от шин под-



Фиг. 120. Сеть с двумя источниками питания.

станции *B*. Это направление на фигуре условно обозначено стрелкой от шин подстанции к источнику питания. При коротком замыкании в точке *K* реле направления энергии будет держать свои контакты разомкнутыми и тем самым предотвратит отключение выключателя *2* от максимальной защиты.

Рассматривая работу реле при коротком замыкании в точке *M*, мы придем к заключению о необходимости установки реле направления энергии и у выключателя *3*. При этом реле должно замыкать свои контакты тогда, когда энергия направлена от шин подстанции *B*.

Максимальная защита в этом случае настраивается по условию «встречной ступенчатости», ступени времени постепенно уменьшаются с обеих сторон питания. Принимая наименьшую выдержку времени на подстанции *B*, равной 1 сек., мы имели бы: на выключателях *2* и *3* выдержка времени 1 сек.; на выключателях *1* и *4* — 2 сек. На выключателях *1* и *4* устанавливать реле направления энергии не нужно.

При повреждении в точке *K* первым отключится выключатель *3*, так как реле направления энергии, установленное у выключателя *2*, будет держать свои контакты разомкнутыми. Затем через 2 сек. отключится выключатель *4*.

На фиг. 121 приведена однолинейная схема максимально направленной защиты.

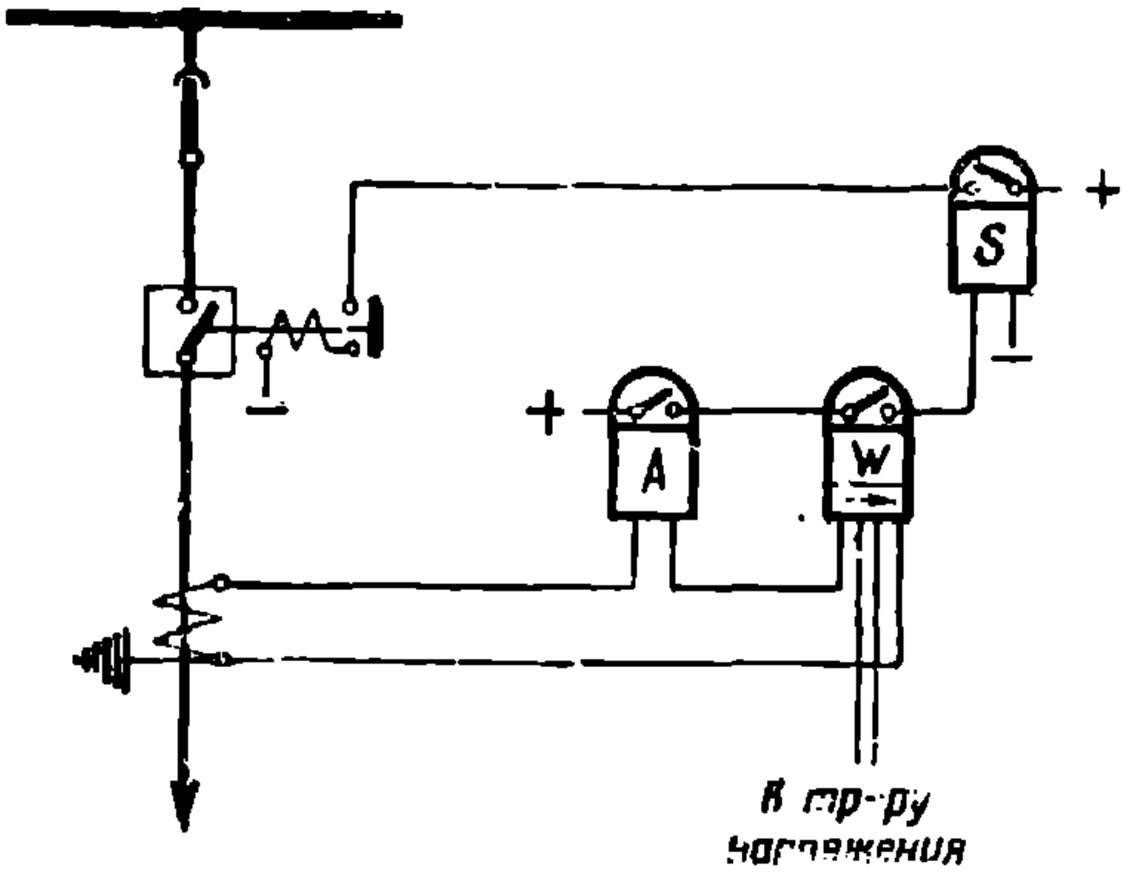
Максимально направленная защита благодаря применению реле направления энергии может иметь «мертвую зону». Это объясняется следующим.

При трехполюсном коротком замыкании на выводах подстанции, напряжение, подводимое к реле, будет равно нулю.

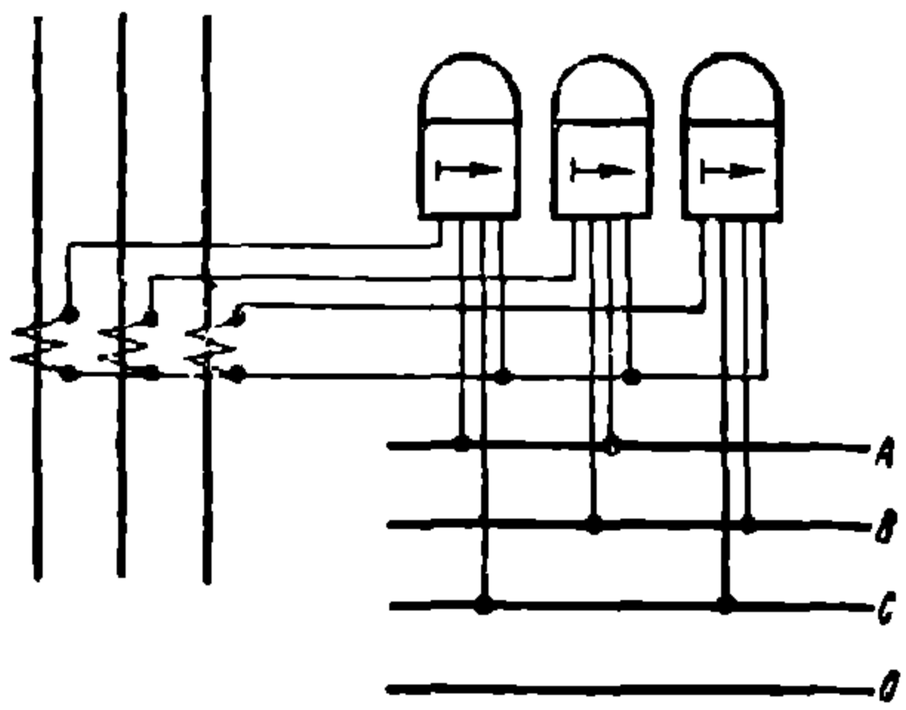
УДУНТ (ДІІТ)

Поэтому реле направления в этом случае работать не будет, так как подведенная к нему мощность также равна нулю. Только при отдалении короткого замыкания от подстанции, когда падение напряжения в проводах линии от тока короткого замыкания достигает достаточной величины, возможно действие реле направления и тем самым селективное отключение поврежденного участка.

Расстояние от подстанции до места короткого замыкания, в области которого реле направления не производит правильного и надежного замыкания своих контактов, называется «мертвой зоной».



Фиг. 121. Принципиальная схема максимально направленной защиты.



Фиг. 122. 30° схема присоединения реле направления энергии.

Чувствительность реле направления зависит исключительно от типа выбранного реле и обычно увеличивается при больших токах.

Сдвиг фаз между током и напряжением подводимым к реле, зависит, главным образом, от схемы включения реле.

При выборе схемы включения, например, для реле косинусного типа особое внимание обращается на то, чтобы при коротком замыкании ток по возможности совпадал по фазе с напряжением, подводимым к реле для получения максимального вращающего момента.

Схемы включения реле направления энергии различны. Основная цель выбора той или иной схемы заключается в том, чтобы уменьшить мертвую зону и обеспечить максимальную мощность, подводимую к реле при всех видах повреждений. В наших системах наибольшее распространение имеет так называемая 30° схема, приведенная на фиг. 122.

На фиг. 123 приведена сеть с двухсторонним питанием с несколькими промежуточными подстанциями, с несколькими источниками питания. Стрелками условно обозначены места установки реле направления энергии и направления энергии, при которых они замыкают свои контакты (срабатывают). Цифрами обозначены выдержки времени в секундах максимальной ступенчатой защиты, причем принято, что наименьшая вы-

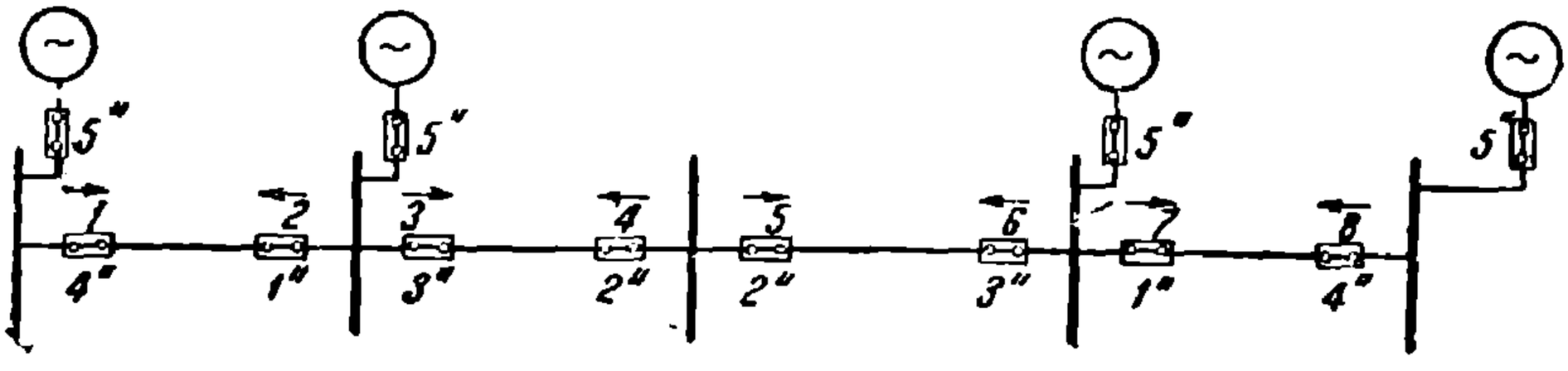
УДУНТ (ДІТ)

держка времени составляет 1 сек., а ступень времени между двумя последовательными защитами также составляет 1 сек. Выдержка времени максимальной защиты устанавливается по принципу встречной ступенчатости.

На источниках питания направленной защиты устанавливать не нужно. Выдержки времени максимальной защиты источников питания в этом случае должны быть больше, чем выдержки времени защиты подстанций.

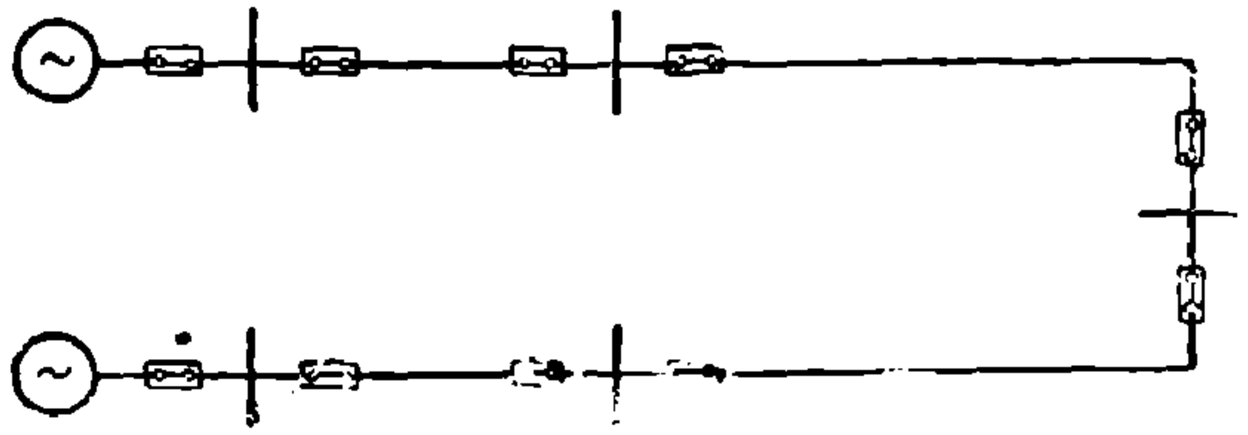
Следует отметить, что максимальная защита должна быть установлена на каждом из концов защищаемой линии, так как ток может подтекать в поврежденную линию с двух сторон.

Реле направления энергии должно быть оставлено только у той защиты каждого участка, у которой выдержка времени меньше.



Фиг. 123. Радиальная сеть с двухсторонним питанием и несколькими источниками питания.

На фиг. 123 реле направления энергии можно не устанавливать у защит *1*, *3*, *6* и *8*.



Фиг. 124. Кольцевая сеть с одним источником питания, представленная в виде радиальной сети с двумя источниками питания.

Кольцевую сеть с одним источником питания, представленную на фиг. 105, можно защищать также максимально направленной защитой по принципу встречной ступенчатости. Действительно, если разрезать кольцо по питающей подстанции, то мы получим сеть с двумя источниками питания (фиг. 124), защита которой рассмотрена выше.

Кольцевую сеть с двумя и более источниками питания максимально направленная защита защищать уже не может.

26. ЗАЩИТА КОРОТКИХ ЛИНИЙ

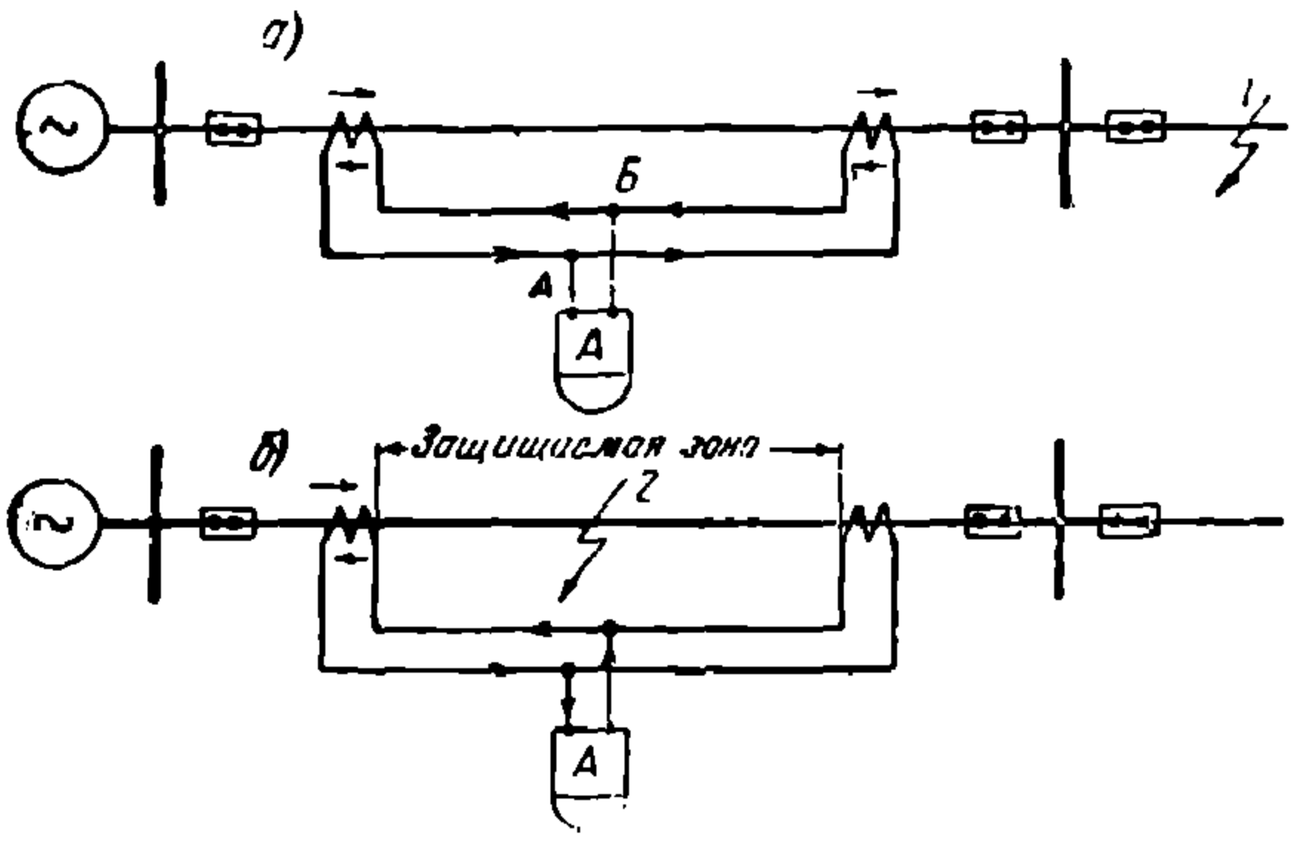
Линии длиной несколько сот метров могут быть защищены дифференциальной защитой. Принцип действия этой защиты заключается в следующем.

В начале и конце защищаемой линии устанавливаются трансформаторы тока с одинаковым коэфициентом трансформации. Вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются последовательно вспомогательными проводами. Между этими проводами включается максимальное токовое реле. При нормальном

УДУНТ (ДІІТ)

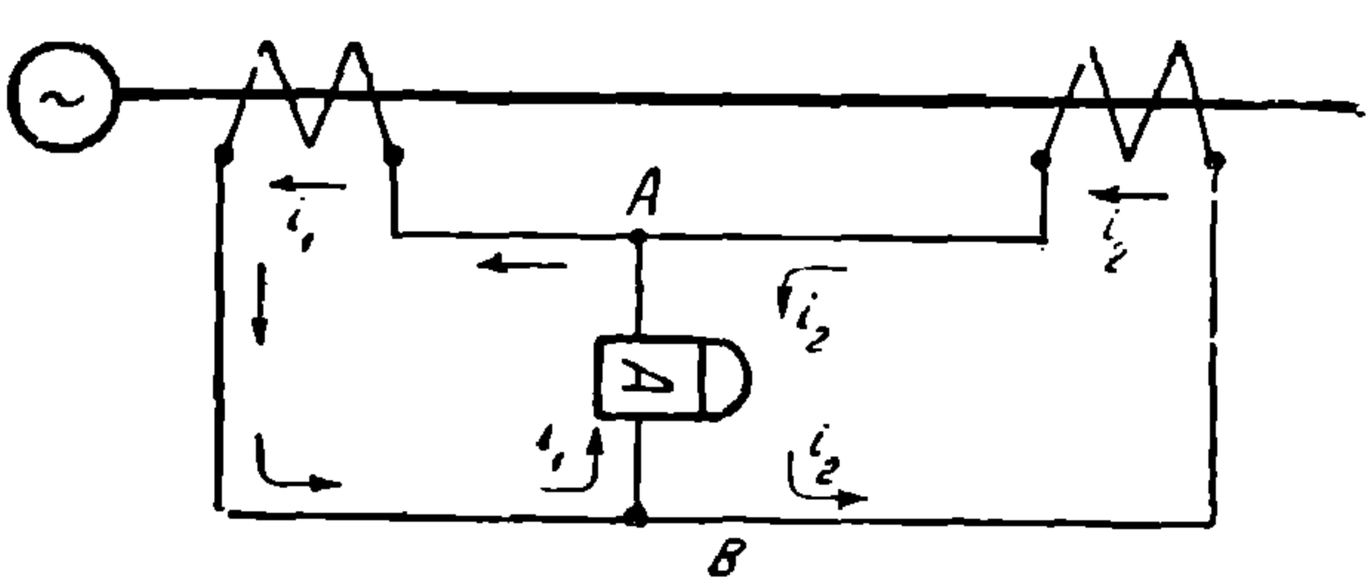
режиме работы (фиг. 125, *а*) трансформаторы тока в начале и конце линии обтекаются одним и тем же током нагрузки. По вспомогательным проводам проходит вторичный ток, пропорциональный току нагрузки.

Так как вторичные токи равны между собой, а сопротивления вспомогательных проводов от трансформаторов тока до максимального реле устанавливаются по возможности равными, то точки *A* и *B*, к которым присоединяется реле, будут иметь одинаковые потенциалы. Вследствие этого при нормальном режиме работы обмотки максимального реле не будут обтекаться током и защита не будет работать.



Фиг. 125. Принципиальная схема дифференциальной защиты.

Точно так же и при повреждении вне зоны защищаемой линии (вне трансформаторов тока) (точка *1* фиг. 125,*а*) защита действовать не будет, так как через оба трансформатора тока будет проходить один и тот же ток повреждения.



Фиг. 126. Принципиальная схема дифференциальной защиты.

Отсутствие тока в обмотке максимального реле при равенстве вторичных токов может быть объяснено и по другому (фиг. 126). При нормальном режиме по трансформаторам тока протекает один и тот же ток *I* нагрузки линии.

По вторичным обмоткам трансформаторов тока будут протекать токи i_1 и i_2, равные по величине. Направления их будут противоположными первичному току *I* (стрелками условно показано их направление). Ток i_1 будет замыкаться через обмотку максимального реле от *B* к *A*, ток iv_2 будет также замыкаться через обмотку реле, но от *A* к *B*. Таким образом через обмотку реле будут протекать два тока, одинаковых по величине, но противоположных по направлению, т. е. ток в обмотке реле будет равен нулю.

При коротком замыкании в зоне защищаемой линии (точка *2*, фиг. 125, *б*) токи, протекающие в начале и конце линии, не будут равными и через максимальное реле будет проходить ток.

УДУНТ (ДІІТ)

В нашем примере при одном источнике питания током будет обтекаться только один трансформатор тока, установленный у станции. Весь вторичный ток этого трансформатора тока, пропорциональный току повреждения, пройдет через реле, которое замкнет свои контакты и отключит поврежденную линию.

Если линия питается с двух сторон, то через реле пройдет сумма вторичных токов двух трансформаторов тока, так как в одном из трансформаторов тока изменится направление тока на обратное и вторичные обмотки трансформаторов тока окажутся соединенными параллельно.

В действительных условиях при нормальном режиме ток в максимальном реле не равен нулю, т. е. токи i_1 и i_2 между собой не равны. Это вызывается, главным образом, неодинаковостью трансформаторов тока и неравенством сопротивлений вспомогательных проводов между местом присоединения реле и трансформаторами тока (неравенство плеч). Разность токов i_1 и i_2 при отсутствии повреждений в защищаемой зоне называется **током небаланса**. Этот ток небаланса протекает через обмотку реле, величина его возрастает с увеличением первичного тока. При номинальном первичном токе трансформаторов тока величина тока небаланса незначительна и обычно не превышает 20—30 *ма*.

При коротких замыканиях вне зоны защиты неодинаковость трансформаторов тока сказывается сильнее и ток небаланса может доходить до 1—1,5 *а*.

Токи небаланса следует по возможности уменьшать, так как величина их сказывается на чувствительности защиты. В самом деле для устранения неселективной работы защиты при коротком замыкании вне зоны защиты ток трогания максимального реле должен превышать максимально возможный ток небаланса, этим самым чувствительность защиты при повреждениях в зоне будет ухудшена.

Для уменьшения тока небаланса следует применять однотипные трансформаторы тока и иметь одинаковое сопротивление проводов (плеч) от места присоединения реле до трансформаторов тока.

Ток небаланса зависит также от нагрузки на трансформатор тока и может быть снижен уменьшением нагрузки на трансформаторы тока, например, путем применения проводов большего сечения. Для некоторых типов реле, например ЭТ-71, рекомендуется включать последовательно с катушкой реле сопротивления порядка 5—15 *ом*.

Описанная диференциальная токовая защита часто называется, по имени изобретателей, защитой Мерц-Прайс, а также защитой с циркулирующими токами, так как по вспомогательным проводам при нормальном режиме работы циркулируют токи. Эта защита называется также продольной диференциальной защитой в отличие от поперечной, о которой будет сказано ниже. Диференциальная защита реагирует на двухфазные и трехфазные короткие замыкания, и в случае если ток однофаз-

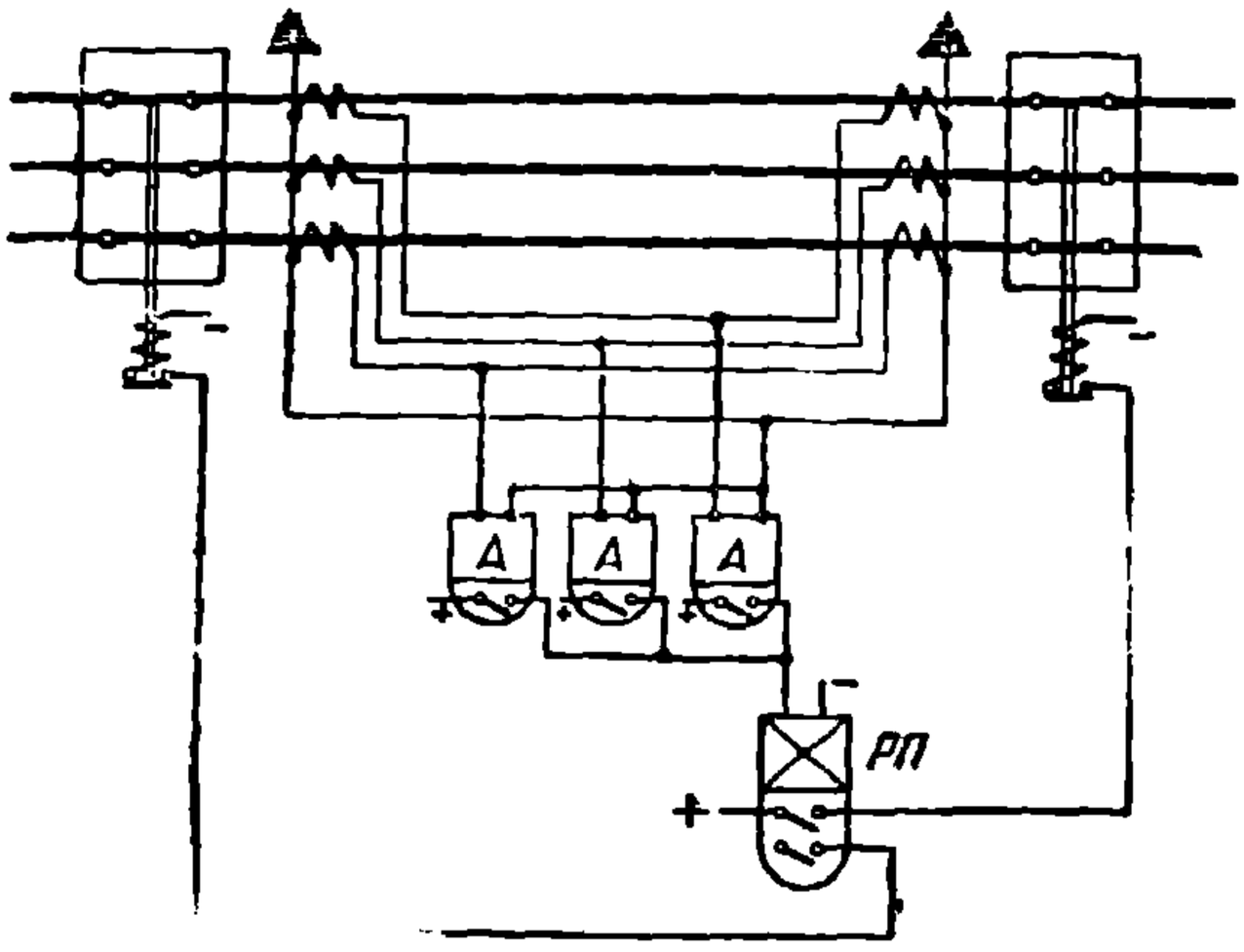
УПУНТ (ЦІТ)

ного замыкания на землю больше тока трогань защиты, также и на однофазные замыкания на землю.

На фиг. 127 представлена трехфазная схема дифференциальной защиты, действующей на отключение двух выключателей.

Основные преимущества дифференциальной защиты:

а) Защита действует мгновенно без выдержки времени, так как она не реагирует на повреждения вне зоны и выдержка времени ее не согласовывается с выдержкой времени других защит системы.



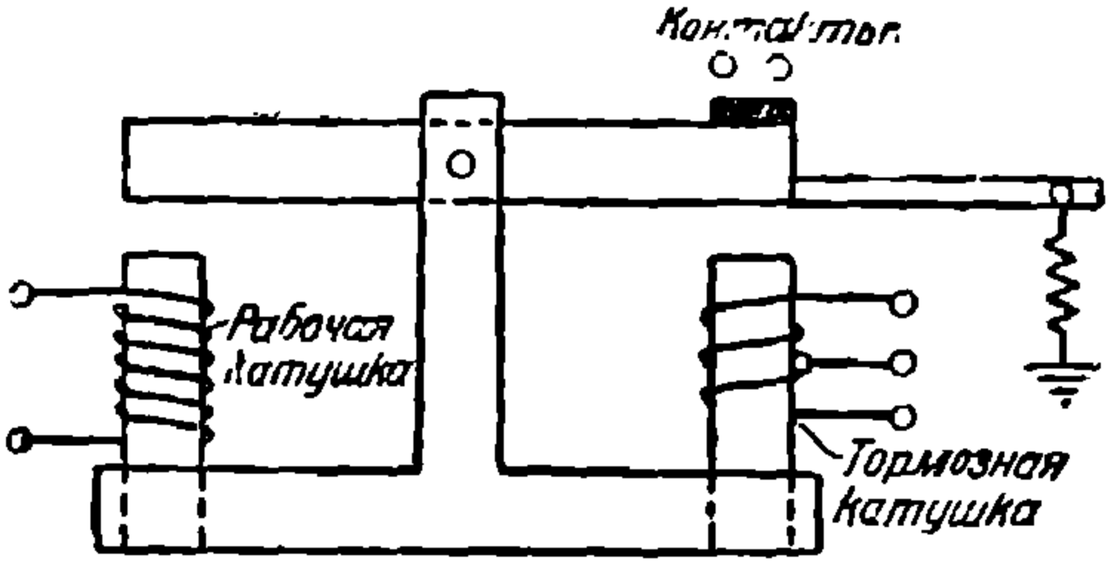
Фиг. 127. Принципиальная трехлинейная схема дифференциальной защиты.

б) Защита может быть сделана весьма чувствительной, так как ток небаланса всегда значительно меньше рабочего тока защищаемой линии.

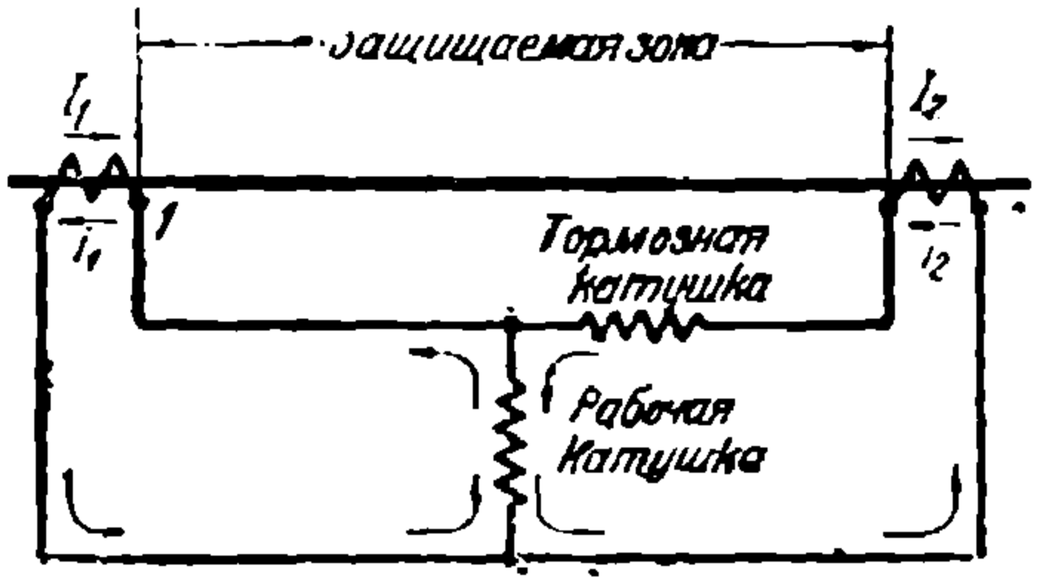
в) Простота схемы.

К числу недостатков этой защиты следует отнести:

а) необходимость дорогостоящих вспомогательных проводов;



Фиг. 128. Схема дифференциального реле с тормозной катушкой.



Фиг. 129. Схема присоединения реле с тормозной катушкой.

б) возможность неправильных действий при коротких замыканиях и обрывах вспомогательных проводов.

Применение дифференциальной защиты для линий ограничено определенной длиной линий, и поэтому на линиях она мало распространена.

Дифференциальная защита применяется, главным образом, для защиты машин и аппаратов.

1. Защита посредством реле с тормозными катушками. Чувствительность дифференциальной защиты значительно повысится, если применить токовые реле с тормозными катушками.

Устройство реле с одной тормозной катушкой показано на фиг. 128. Оно основано на электромагнитном принципе и состоит из коромысла, на которое воздействуют два электромагнита.

УДУНТ (ДІІТ)

Схема включения этого реле показана на фиг. 129. При отсутствии тока в обеих катушках контакты реле удерживаются в разомкнутом состоянии с помощью пружины. При нормальном режиме работы вторичный ток трансформаторов тока обтекает только тормозную катушку, которая притяжением правого плеча коромысла помогает пружине удерживать контакты в разомкнутом состоянии. Через рабочую катушку, притягивающую левое плечо коромысла в сторону замыкания контактов реле, протекает незначительный ток небаланса, создающий в ней усилие, меньшее противодействия пружины и тормозной катушки.

При возрастании первичного тока, например, при сквозном коротком замыкании ток небаланса, протекающий через рабочую катушку, сильно возрастет. Благодаря этому увеличится усилие, притягивающее правое плечо коромысла. Но одновременно с этим увеличится также ток, протекающий по тормозной катушке, которая будет препятствовать замыканию контактов реле от токов небаланса, т. е. оказывать тормозное действие.

Следовательно, с увеличением первичного тока вследствие усилившегося тормозного действия тормозной катушки от рабочей катушки потребуется большее усилие, чтобы замкнуть контакты реле; следовательно, реле сможет сработать уже при большем токе рабочей катушки, т. е. ток трогания реле возрастет с увеличением первичного тока или, что то же самое, с увеличением тока небаланса.

При повреждении в защищаемой зоне тормозная катушка при одностороннем питании не будет обтекаться током и не будет оказывать торможения. Весь ток повреждения будет проходить только через рабочую катушку.

Это свойство реле с тормозными катушками — увеличение тока трогания с возрастанием тока небаланса — позволяет осуществить чувствительную защиту.

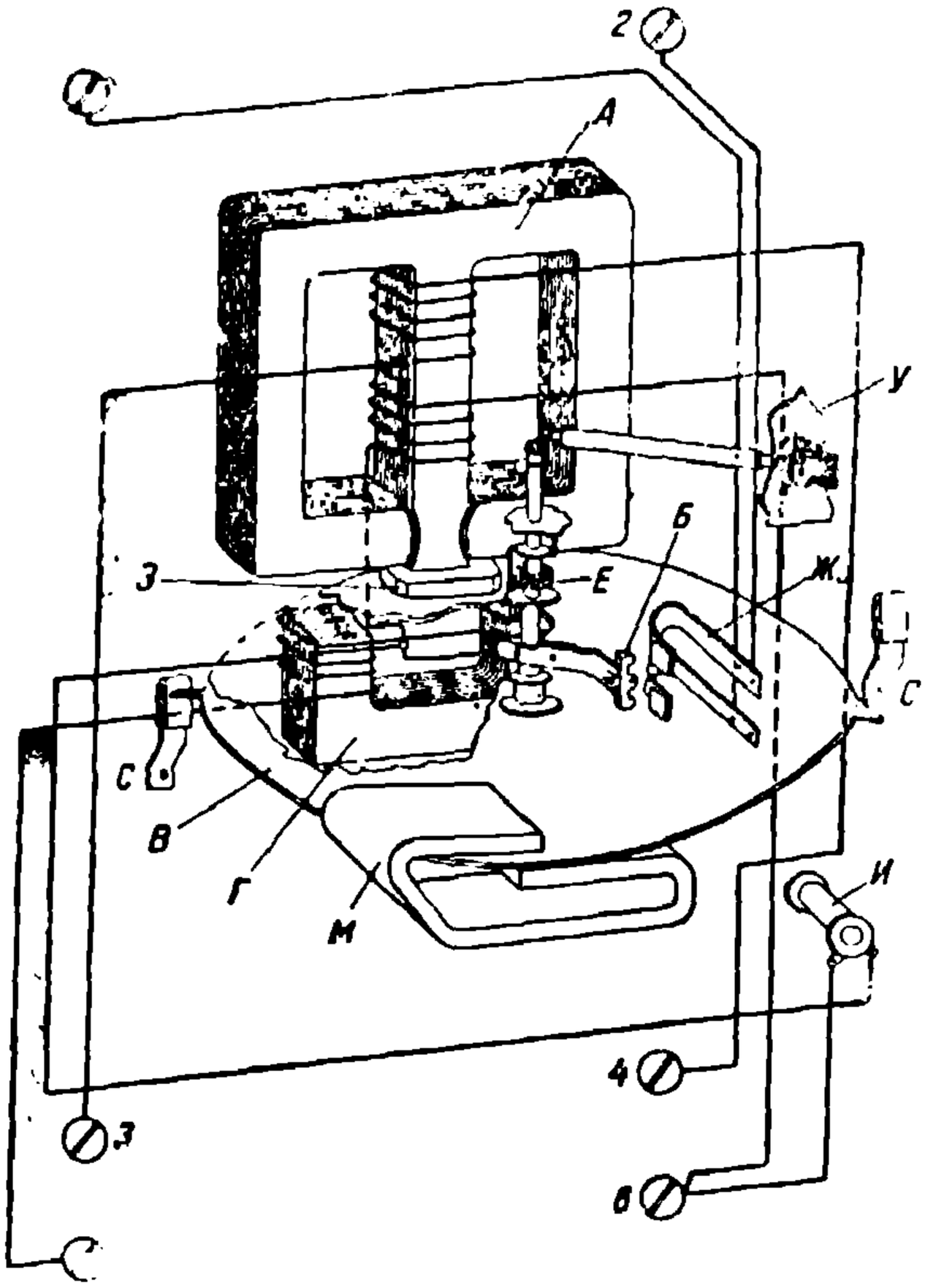
Действительно, в случае максимальных токовых реле ток трогания их превышает максимально возможный ток небаланса. При применении реле с тормозными катушками ток трогания может быть значительно меньше максимального возможного тока небаланса, так как с возрастанием тока небаланса при сквозных коротких замыканиях увеличится ток трогания реле, что предотвратит несселективное действие защиты.

В настоящее время ХЭМЗ приступил к серийному выпуску реле с тормозными катушками. Диференциальная защита, осуществляемая посредством реле с тормозными катушками, находит широкое применение при защите трансформаторов.

2. Защита трансле́й. Наиболее совершенную диференциальную Трансзащиту можно осуществить, применяя специальное реле трансле́й (сокращенное название «трансформаторное реле»). Устройство этого реле показано на фиг. 130. На верхнем электромагните *А* размещены две обмотки, составляющие вместе с сердечником трансформатор. Первичная обмотка присоединяется к трансформатору тока защищаемой линии, а вторичная соединяется последовательно с обмоткой, надетой на нижний

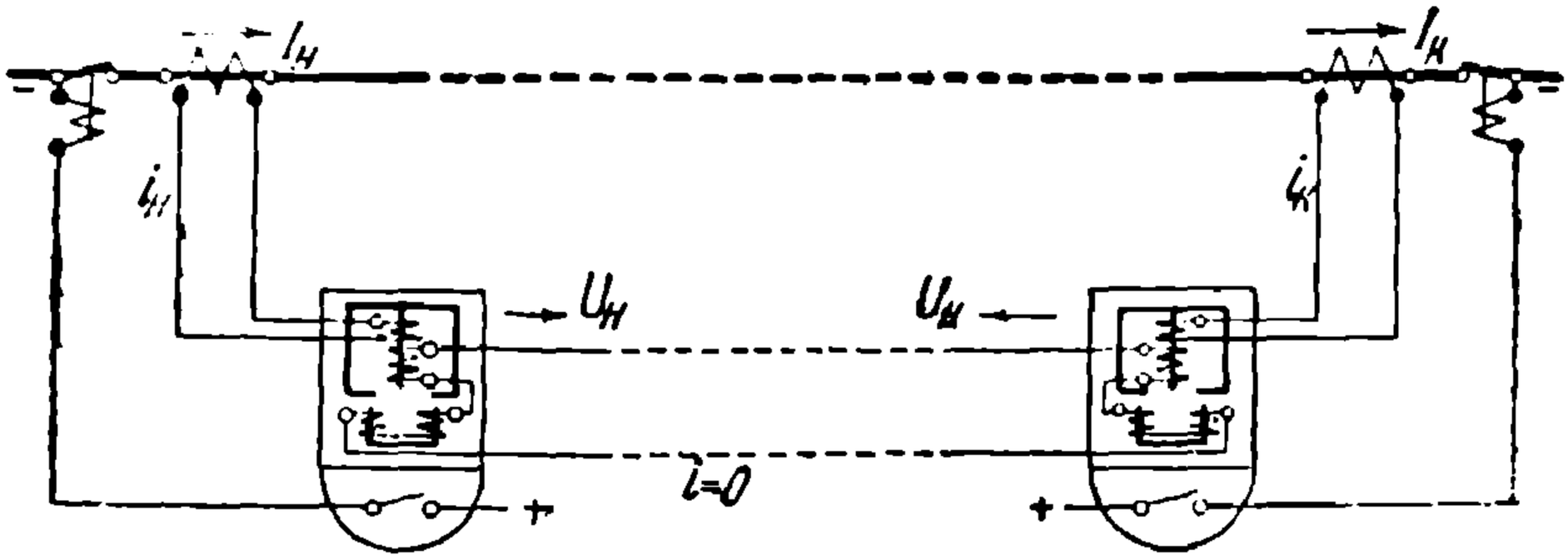
УДУНТ (ДІІТ)

электромагнит *Г*. Благодаря трансформаторной связи обмоток реле при возбуждении первичной катушки током от трансформатора тока во вторичных обмотках индуктируется электродвижущая сила (э. д. с.). Вторичные катушки реле, установленные на концах фидера, соединены вспомогательными проводами навстречу друг другу (фиг. 131).



Фиг. 130. Схема реле трансляей.

Если э. д. с. вторичных катушек равны, то ток по ним и по вспомогательным проводам проходить не будет. Этобудет тогда, когда первичные токи в начале и конце линии $I_н$ и $I_к$ равны, т. е. при нормальном режиме линии и при сквозных коротких замыканиях; защита в этом случае не подействуст. При повреждении в зоне защиты токи, проходящие через трансформаторы тока, в начале и конце линии будут неодинаковы, э. д. с. вторичных обмоток также будут не равны, и по вторичным обмоткам пройдет ток. Этот ток создает магнитный поток в нижнем электромагните *Г*. Этот поток, взаимодействуя с магнитным потоком электромагнита *А*, приводит во вращение диск *В*, замыкающий помощью подвижных контактов *Б* контакты *Ж*. Для ограничения вращения диска предусмотрены упоры *СС*. Ток



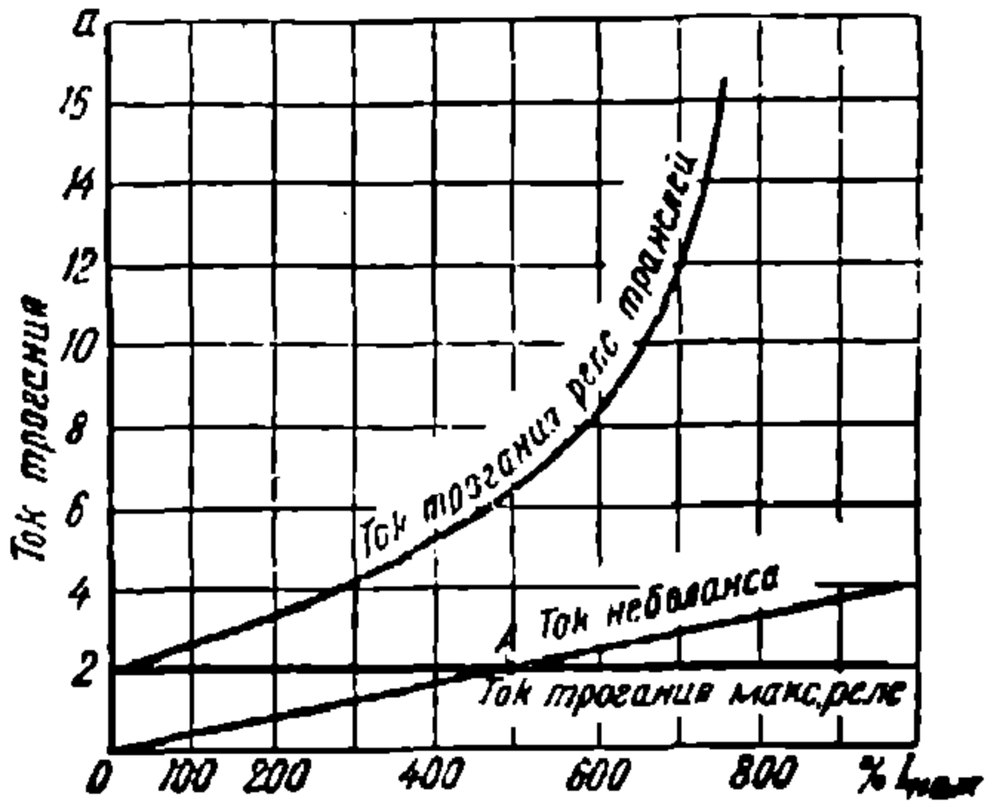
Фиг. 131. Схема присоединения реле трансляей.

УГУНТ (ДІІТ)

трогания регулируется при помощи спиральной пружинки *Е*. Сопротивление *И* служит для заводской регулировки реле.

На выступающем полюсе электромагнита *А* имеется короткозамкнутый виток *3*, расположенный несимметрично. Благодаря этому витку создается обратный вращающий момент, действующий в сторону размыкания контактов. Обратный момент возрастает с возрастанием разности между токами в начале и конце линий. Вследствие этого ток трогания реле трансле́й не остается постоянным, а увеличивается с возрастанием тока небаланса, что позволяет осуществить чувствительную защиту.

Сказанное поясняется фиг. 132. По горизонтальной оси отложен сквозной ток короткого замыкания; по вертикальной оси — ток трогания реле. Кривые показывают токи трогания реле трансле́й, максимального реле дифференциальной защиты с циркулирующими токами и ток небаланса в зависимости от сквозного тока короткого замыкания. Сравним действие этих двух защит.



Фиг. 132.

Ток трогания для той и другой защиты мы установили равным 2 *а*. Тогда, например, при пятикратном значении (500%) тока сквозного короткого замыкания ток небаланса возрастает до 2 *а* и будет равен току трогания максимального реле дифференциальной защиты, которая сработает и произведет неселективное отключение линии. Защита трансле́й в этом случае не сработает, так как ток трогания реле ее всегда выше тока небаланса. Если бы ток сквозного короткого замыкания составил, например, 800%, то необходимо было бы ток трогания максимального реле взять около 3,5 *а* (больше тока небаланса), а ток трогания реле трансле́й может остаться равным 2 *а*.

Из этого примера видно, что дифференциальная защита, осуществленная реле трансле́й, более чувствительна, чем защита с циркулирующими токами.

При повреждении в зоне защиты тормозное действие короткозамкнутого витка будет меньше действия, создаваемого большим током небаланса, являющимся в данном случае током отключения (ток небаланса получается вследствие неравенства токов в начале и конце линии) и реле, замкнув свои контакты, произведут отключение линии.

Следует отметить, что благодаря наличию постоянного магнита *М*, охватывающего диск реле, и некоторой инерции диска реле трансле́й имеет небольшую выдержку времени, уменьшающуюся с увеличением тока небаланса (фиг. 133).

Помимо указанного достоинства защиты с реле трансле́й в сравнении с обычной дифференциальной защитой с циркули-

УДУНТ (ДІІТ)

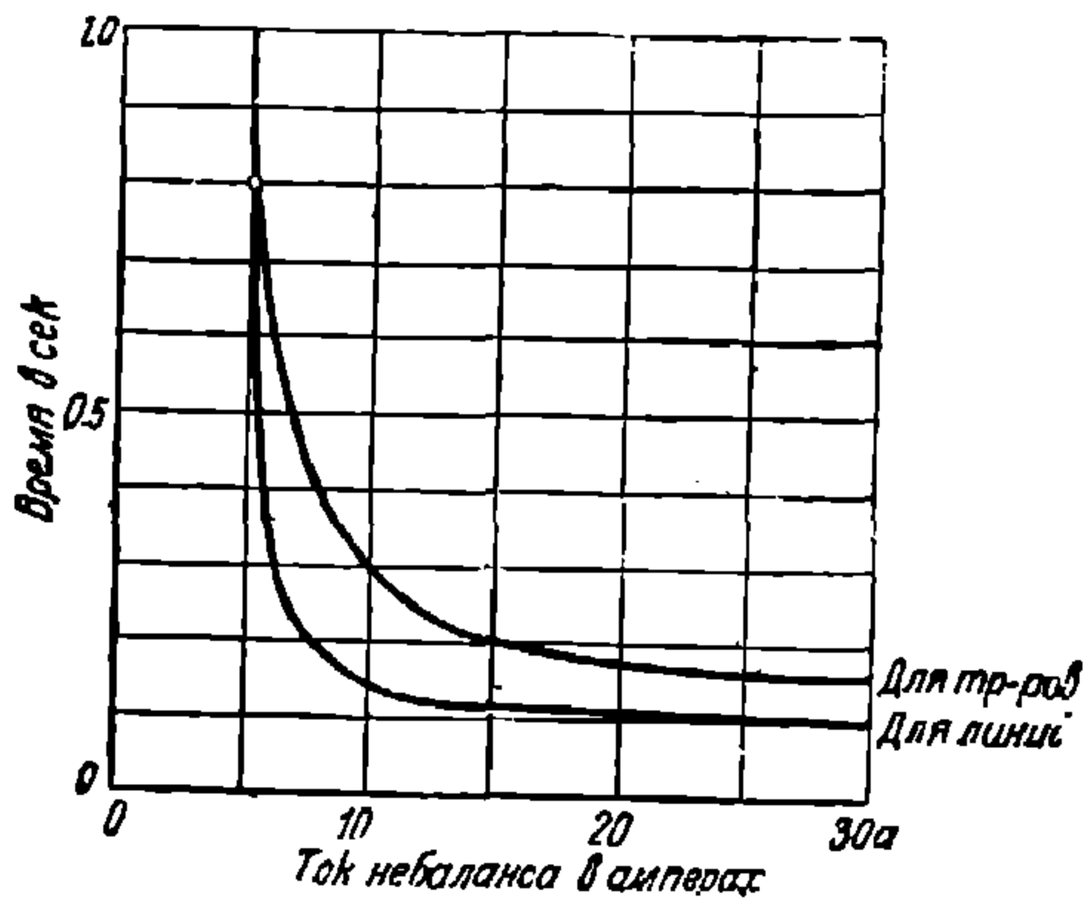
рующими токами следует отметить еще одно важное достоинство этой защиты. При нормальной работе ток по вспомогательным проводам не проходит, поэтому сечение их можно принять небольшим (1,5—2,5 *мм*²). Следует, однако, иметь в виду, что чем больше сопротивление вспомогательных проводов, тем меньше чувствительность защиты.

Основными недостатками защиты с реле транслей являются: неселективное действие защиты при замыкании между вспомогательными проводами и отказ от действия при обрыве этих проводов.

Поэтому на длинных линиях необходимо иметь специальное устройство для контроля за исправностью вспомогательных проводов.

Кроме того, время действия реле несколько велико по сравнению с другими типами быстродействующих реле. Защита транслей применяется обычно для линий до 20—30 *км*.

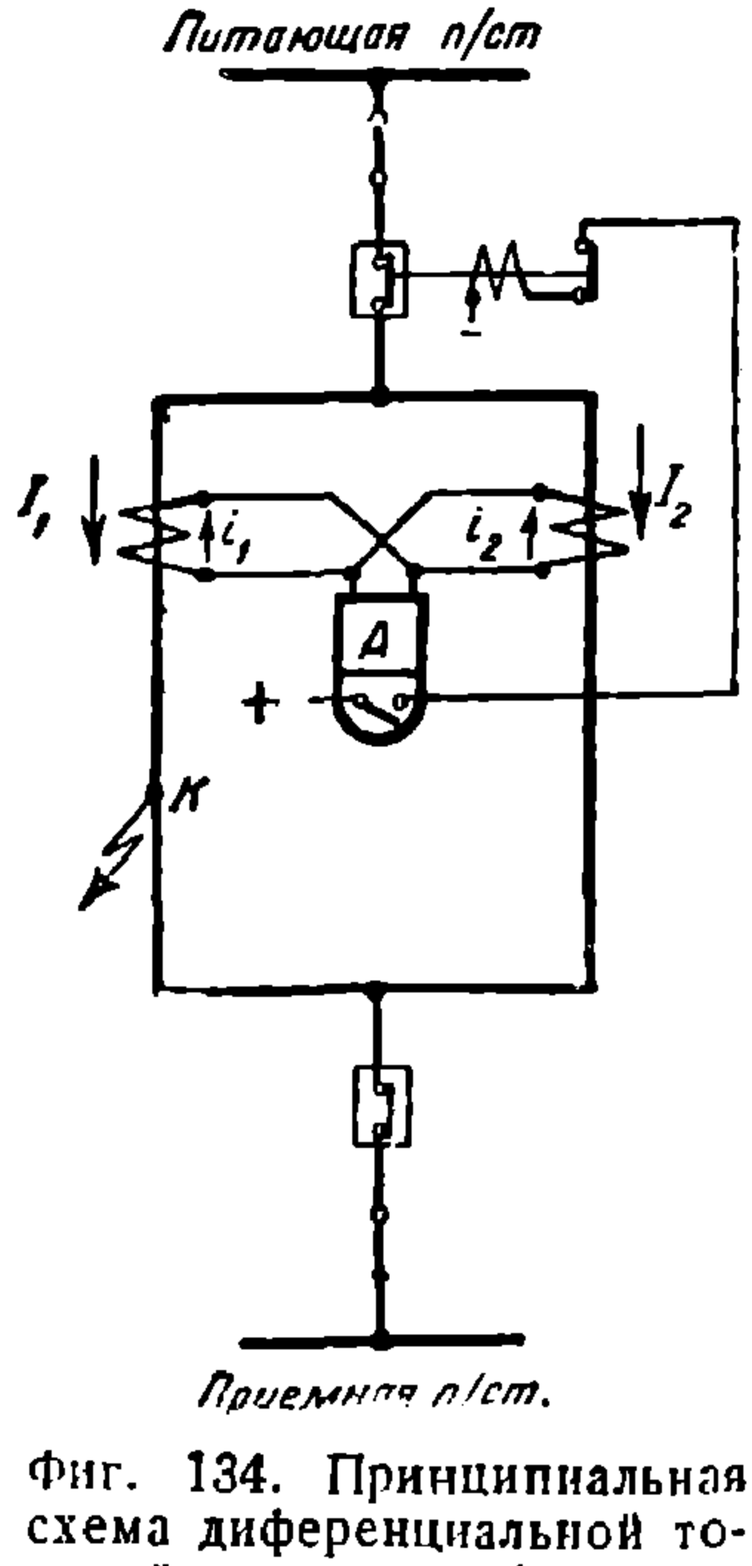
ХЭМЗ изготовляет для защиты линий реле транслей ИТ-25 и ИТ-26. Основные данные реле приведены в приложении.



Фиг. 133. Характеристика времени реле транслей.

27. ЗАЩИТА ДВОЙНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Дифференциальная токовая защита («токовая восьмерка»). В тех случаях, когда две параллельные линии присоединяются к сборным шинам через общий выключатель, защита этих линий осуществляется посредством дифференциальной (восьмерочной) токовой защиты.



Фиг. 134. Принципиальная схема диференциальной токовой защиты („токовая восьмерка") двух параллельных линий.

Принципиальная схема защиты при одностороннем питании линий представлена на фиг. 134.

При двухстороннем питании линий защита устанавливается на обоих концах линии и каждая из них действует на свой выключатель.

УДУНТ (ДІІТ)

Принцип действия защиты, называемой поперечно-дифференциальной защитой, сходен с действием описанной ранее продольной диференциальной защиты Мерц-Прайс и основан на сравнении токов обеих линий без применения вспомогательных проводов. При нормальной работе двойной линии токи каждой линии имеют одинаковое направление и равны по величине, т. е.

$$I_1 = I_2 \text{ и } i_1 = i_2.$$

Так как вторичные обмотки трансформаторов тока соединены последовательно («восьмеркой»), то через максимальное токовое реле в нормальных условиях ток не проходит за исключением тока небаланса, обусловленного неодинаковостью трансформаторов тока и возможным неравенством токов каждой линии.

При коротком замыкании на одной из линий, например, в точке K токи I_1 и I_2 не будут равны между собой вследствие неравенства сопротивлений участков линий от питающей подстанции до места короткого замыкания. Ток I_1 будет больше тока I_2, следовательно, и i_1 будет больше i_2 и через токовое реле пойдет разность токов $I_p = i_1 - i_2$.

Если ток i_p больше тока трогания реле, то реле подействует и произведет отключение выключателя.

Если сопротивление линий до места повреждения будет одинаковым, то токи I_1 и I_2 будут равны и защита не сработает. Это будет иметь место при повреждении вблизи шин приемной подстанции.

Таким образом рассматриваемая защита имеет мертвую зону, около шин приемной подстанции.

Наличие мертвой зоны требует установки дополнительной защиты, которая резервирует основную при повреждениях в мертвой зоне. В качестве дополнительной защиты применяется максимальная токовая защита с выдержкой времени. Когда в работе остается только одна из линий, то диференциальная защита отключается, так как в этом случае через максимальное реле будет проходить ток рабочей линии, который отключит эту линию. Для вывода из работы диференциальной защиты ее цепь отключения заводится через вспомогательные контакты на валу разъединителей каждой линии.

При отключении одного из разъединителей цепь отключения будет прервана, т. е. защита выведется из работы. В этом случае оставшаяся в работе линия будет защищена резервной защитой.

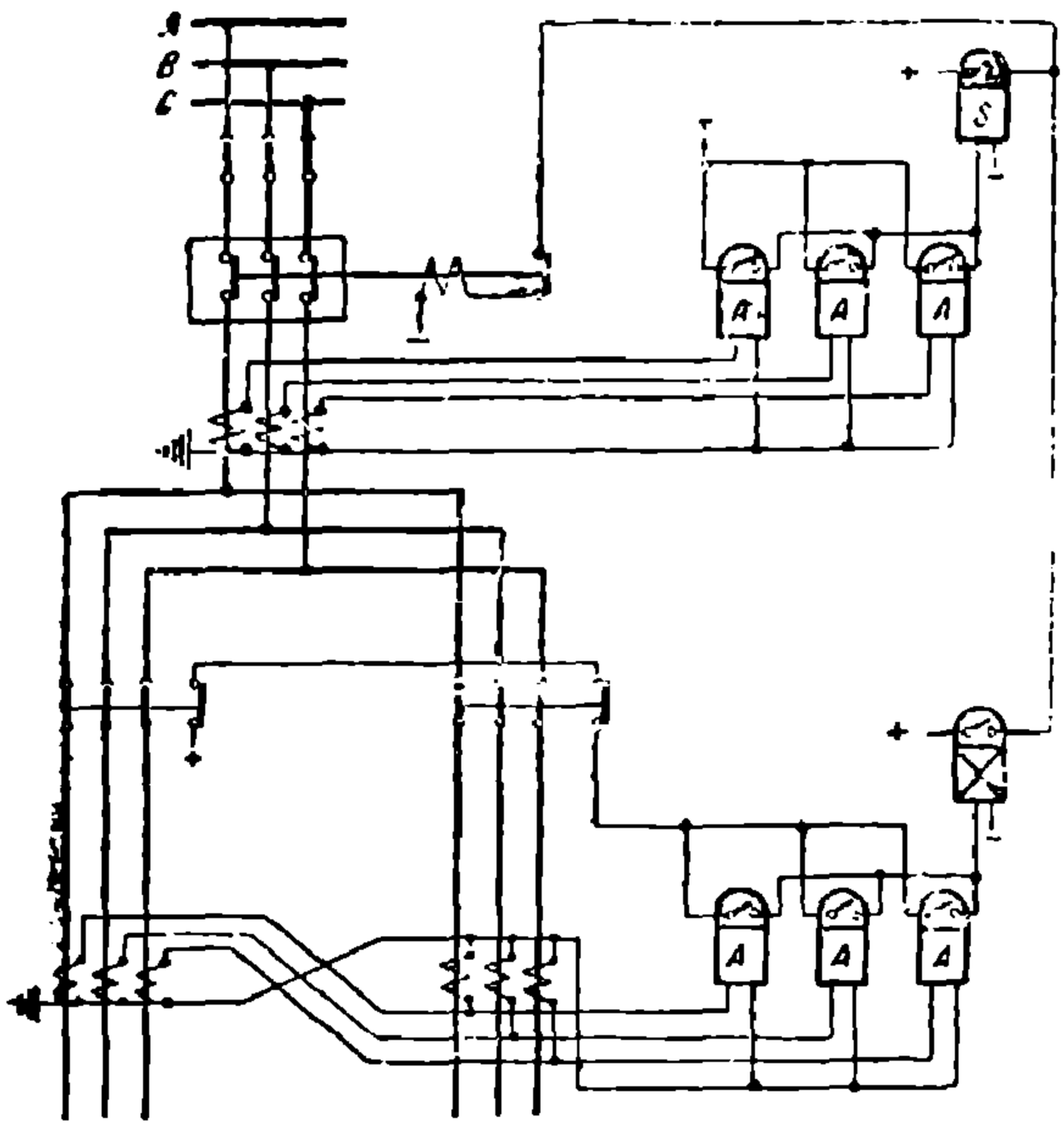
Основными преимуществами описанной защиты являются простота схемы, отсутствие необходимости в вспомогательных проводах и быстрота действия. К недостаткам защиты следует отнести необходимость в резервной защите и возможность применения защиты только для линий, присоединенных через общий выключатель.

Общая схема защиты при одностороннем питании показана на фиг. 135. Защита осуществляется посредством максимальных

УДУНТ (ДІІТ)

токовых реле ЭТ-71 и действует мгновенно на отключение выключателя. Установленные между шинами и сборкой трансформаторы тока служат для резервной защиты.

Дифференциальная направленная защита (или направленная восьмерка). Если каждая из параллельных линий имеет свой выключатель то при повреждении на одной из них должна отключаться эта (поврежденная) линия. Рассмотренная диференциальная токовая защита будет действовать одинаково как при повреждении одной линии, так и при повреждении другой линии, т. е. не будет различать, на какой из линий произошло повреждение.



Фиг. 135. Общая схема диференциальной токовой защиты при одностороннем питании.

Однако если к токовой восьмерке добавить реле направления энергии, то представится возможным осуществить такую защиту, которая будет по-разному реагировать на повреждения в той или другой линии. С этой целью последовательно с обмоткой реле токовой восьмерки включается токовая обмотка реле направления энергии. Напряжение к этому реле подводится с шин питающей подстанции.

Такая защита называется направленной диференциальной защитой или направленной восьмеркой (фиг. 136). Эта защита устанавливается на обоих концах линии. Рассмотрим работу этой защиты, установленной на питающей подстанции, считая для простоты, что имеется одностороннее питание.

При нормальной работе токи линий I_1 и I_2 одинаковы по направлению и равны по величине, поэтому между точками a и b через обмотку максимального реле и токовую обмотку реле направления энергии ток не проходит (за исключением тока небаланса). При коротком замыкании в точке K_1 на линии I, от питающей подстанции к месту повреждения будут притекать токи короткого замыкания $I_{к_1}$ и $I_{к_2}$.

Эти токи будут иметь то же направление, что и токи I_1 и I_2 при нормальной работе, однако по величине они уже не равны.

Если считать, что короткое замыкание произошло посредине линии I, то ток $I_{к_2}$ будет примерно в три раза меньше тока $I_{к_1}$, так как сопротивление линии от питающей подстанции до места

УДУНТ (ДІІТ)

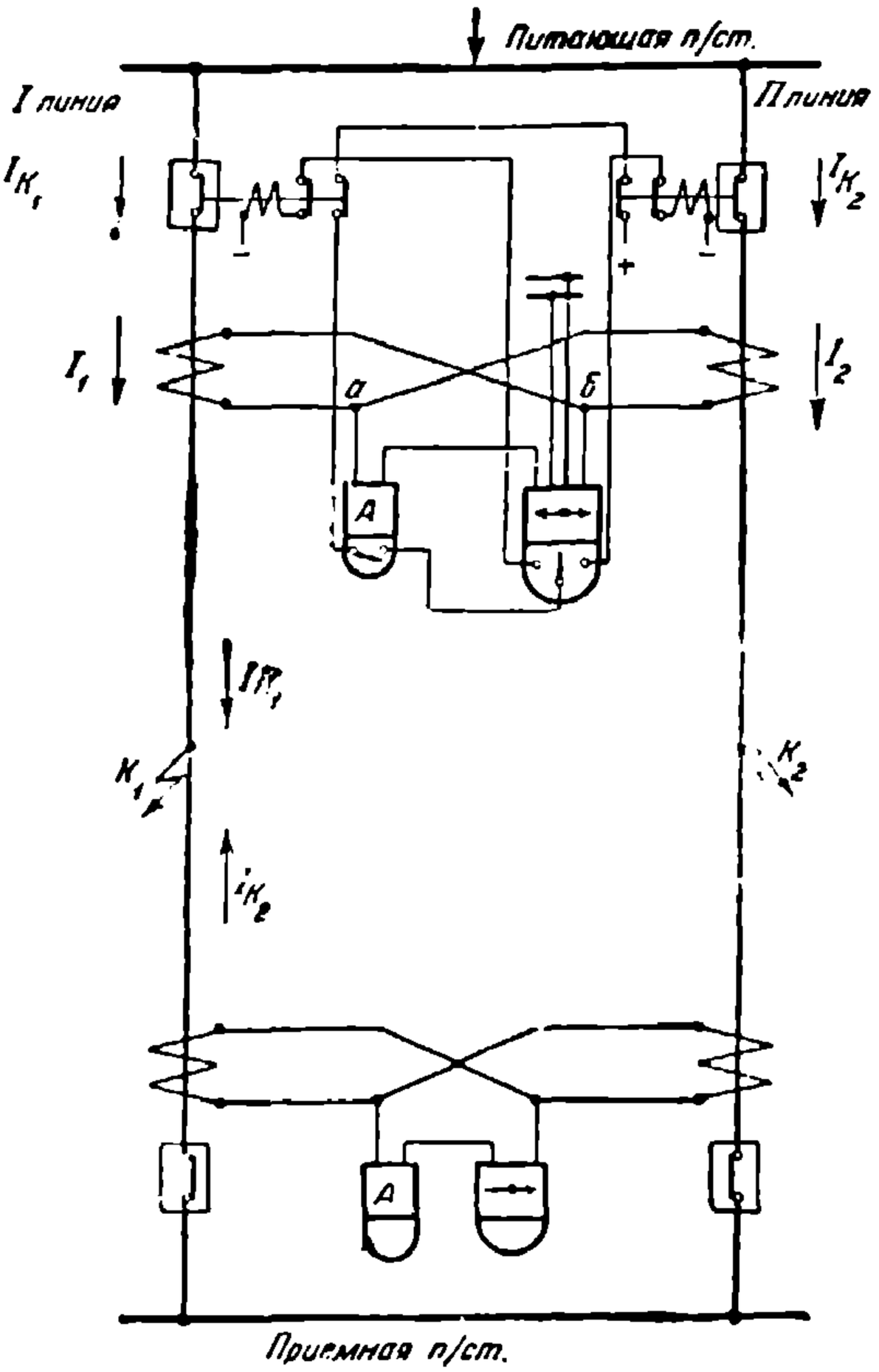
короткого замыкания по пути тока $I_{к2}$ приблизительно в три раза больше, чем по пути тока $I_{к1}$.

Из-за неравенства линейных токов нарушается баланс вторичных токов и между точками *а* и *б* через максимальное реле и токовую обмотку реле направления энергии пойдет ток от *б* к *а*, так как $I_{к1}$ больше $I_{к2}$. Подвижный орган реле направления энергии повернется, например, влево и замкнет левые контакты, действующие на отключение выключателя первой линии.

При коротком замыкании в точке K_2 на второй линии, ток $I_{к2}$ будет больше тока $I_{к1}$ и через реле направления энергии ток пойдет от *а* к *б*. Подвижный орган реле направления энергии повернется в другую сторону и замкнет уже другие контакты, действующие на отключение выключателя второй линии.

Таким образом, добавляя к диференциальной токовой защите реле направления энергии, мы получаем защиту, которая отключает выключатель только поврежденной линии.

Направленная диференциальная защита также имеет мертвую зону вблизи шин приемной подстанции, так как токи повреждения в этом случае мало отличаются друг от друга и разность их недостаточна для приведения в действие реле направления энергии.



Фиг. 136. Принципиальная схема направленной диференциальной защиты („направленная восьмерка").

Кроме того, защита не будет работать при трехфазных коротких замыканиях вблизи шин питающей подстанции из-за слишком малой величины напряжения, подводимого к реле направления энергии.

При отключении одной из двух линий направленная диференциальная защита, так же как и токовая диференциальная, отключается.

Для резервирования диференциальной защиты, а также для осуществления защиты при работе только одной линии, необходима установка дополнительной максимальной защиты.

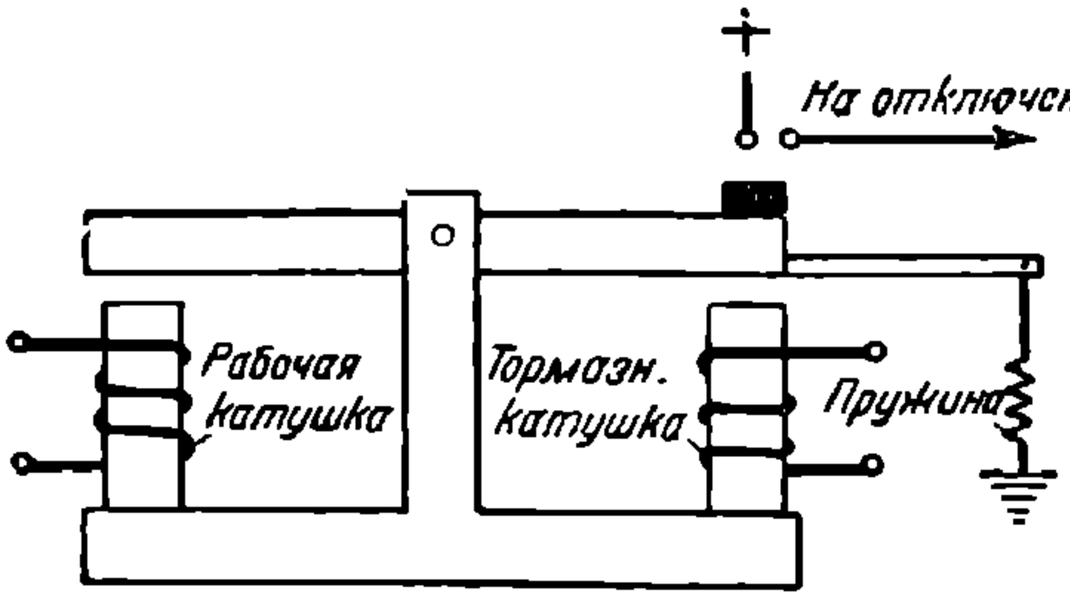
Балансная защита. В тех случаях, когда две парал-

УДУНТ (ДІІТ)

лельные линии имеют двухстороннее питание, селективная защита их осуществляется посредством балансного токового реле, без применения реле направления энергии. Основное преимущество этой защиты по сравнению с направленной дифференциальной — быстрота действия и простота схемы.

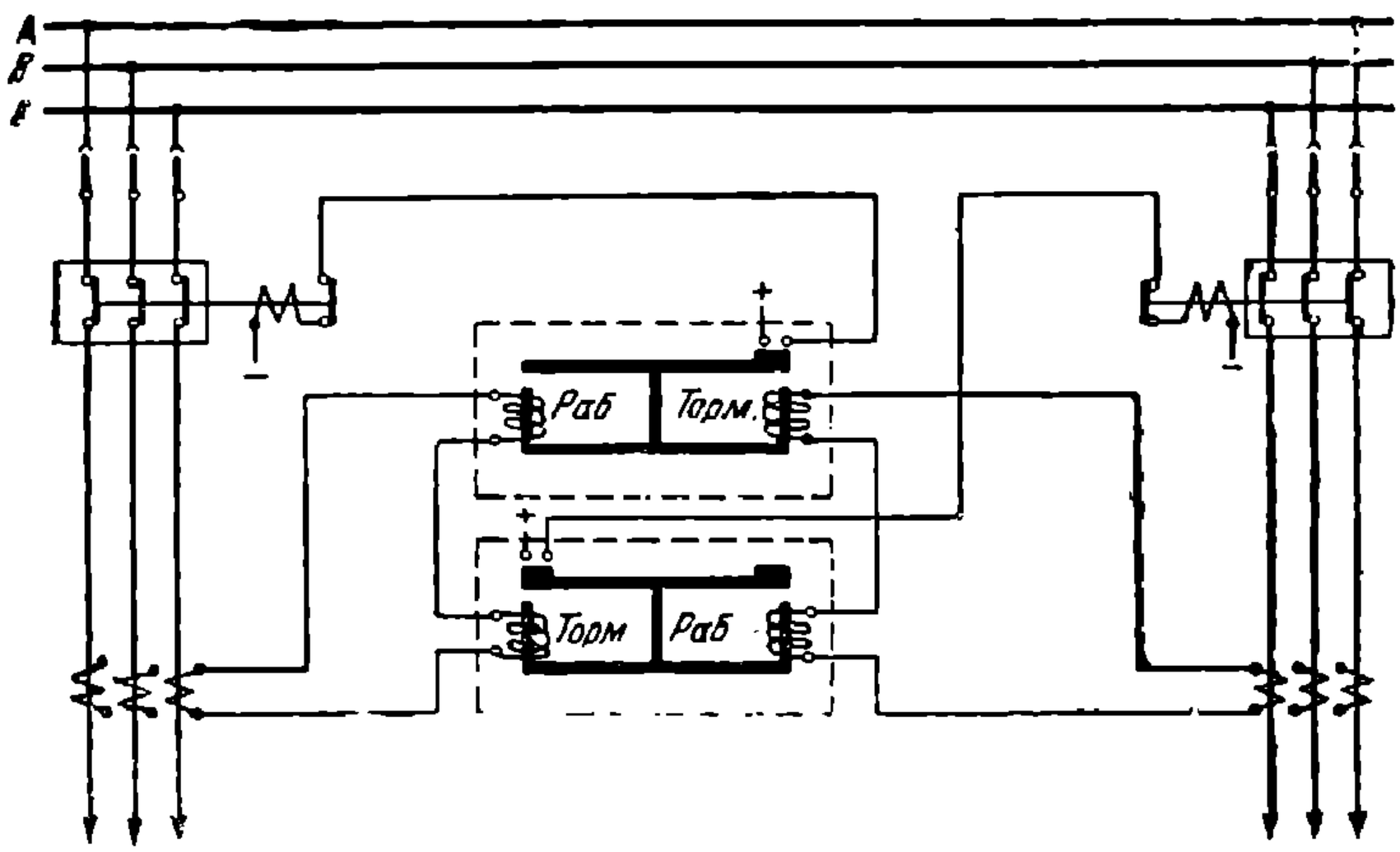
На фиг. 137 показана схема действия токового балансного реле ЭБ-22, изготовляемого ХЭМЗ.

Реле по своему устройству подобно реле с тормозными катушками.



Фиг. 137. Схема балансного реле.

Реле состоит из коромысла, на которое воздействуют два электромагнита: электромагнит рабочей катушки стремится замкнуть контакты реле; электромагнит тормозной катушки вместе с пружиной стремится разомкнуть контакты. Принципиальная схема балансной защиты для одной фазы каждой линии показана на фиг. 138.



Фиг. 138. Схема присоединения балансного реле.

К каждой фазе двух линий присоединяется по два реле (на две линии надо шесть реле). Одно реле предназначено для отключения первой линии, другое — второй линии. В каждом реле рабочая катушка присоединяется к трансформатору тока одной линии, а тормозная катушка — к трансформатору тока другой линии.

При равенстве токов обеих линий усилия, создаваемые рабочей и тормозной катушкой, взаимно уравновешиваются и контакты реле разомкнуты. При повреждении, например, в первой линии ток рабочей катушки будет больше тока тормозной катушки, реле замкнет свои контакты и отключит выключатель

УДУНТ (ДІІТ)

поврежденной линии. То же самое будет и при повреждении второй линии.

При отключении одной из линий балансная защита отключается.

В балансном реле ЭБ-21 имеется еще одна катушка напряжения, питаемая с шин подстанции. Эта катушка, так же как и тормозная, создает добавочное тормозное усилие. Назначение катушки напряжения следующее: если одна из линий отключится на одном из концов, то в реле, действующем на отключение рабочей линии, не будет протекать тормозного тока и реле под действием тока нагрузки сработает. Катушка напряжения создает дополнительное тормозное усилие, не позволяющее реле сработать только под действием тока нагрузки.

При повреждениях на рабочей линии напряжение на шинах подстанции понижается, тормозное действие катушки напряжения уменьшается и реле срабатывает.

При токовой балансной защите, так же как и при других видах поперечной дифференциальной защиты, необходима дополнительная резервная защита, выполняемая обычно в виде максимальной токовой защиты.

28. ЗАЩИТА СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ

1. Дистанционная защита. При осуществлении защиты помощью максимальных и максимально направленных защит требуется установка выдержки времени, возрастающей по мере приближения к питающим станциям. При большом количестве последовательно расположенных ступеней защиты выдержка времени у станций достигает значительной величины, часто не допустимой для нормальной эксплоатации. Кроме того, в сложных сетях с большим числом питательных пунктов может оказаться, что при помощи максимальной и максимально направленной защиты нельзя будет достигнуть селективного отключения замыкания.

Применение дистанционных реле позволяет в значительной степени сократить выдержки времени и осуществить защиту сложных сетей.

Устройство и принцип действия дистанционных реле описаны в главе второй, стр. 70.

Основным свойством дистанционных защит является зависимость времени действия от сопротивления между местом установки реле и местом повреждения.

Чем больше это сопротивление, т. е. чем дальше находится защита от места короткого замыкания, тем больше выдержка времени этой защиты.

На фиг. 139 представлена зависимая характеристика дистанционного реле.

Рассмотрим действие дистанционной защиты на простейшей схеме при одностороннем питании и сравним получившиеся выдержки времени с теми, которые получаются при применении максимальной ступенчатой защиты.

УДУНТ (ДІІТ)

На фиг. 140, *а* представлена радиальная сеть с односторонним питанием. Выдержки времени максимальной ступенчатой защиты показны пунктирными линиями на фиг. 140, *б*. Характеристики выбраны с учетом следующих соображений:

а) Выдержка времени защиты отходящих от подстанций фидеров принята равной 1 сек.

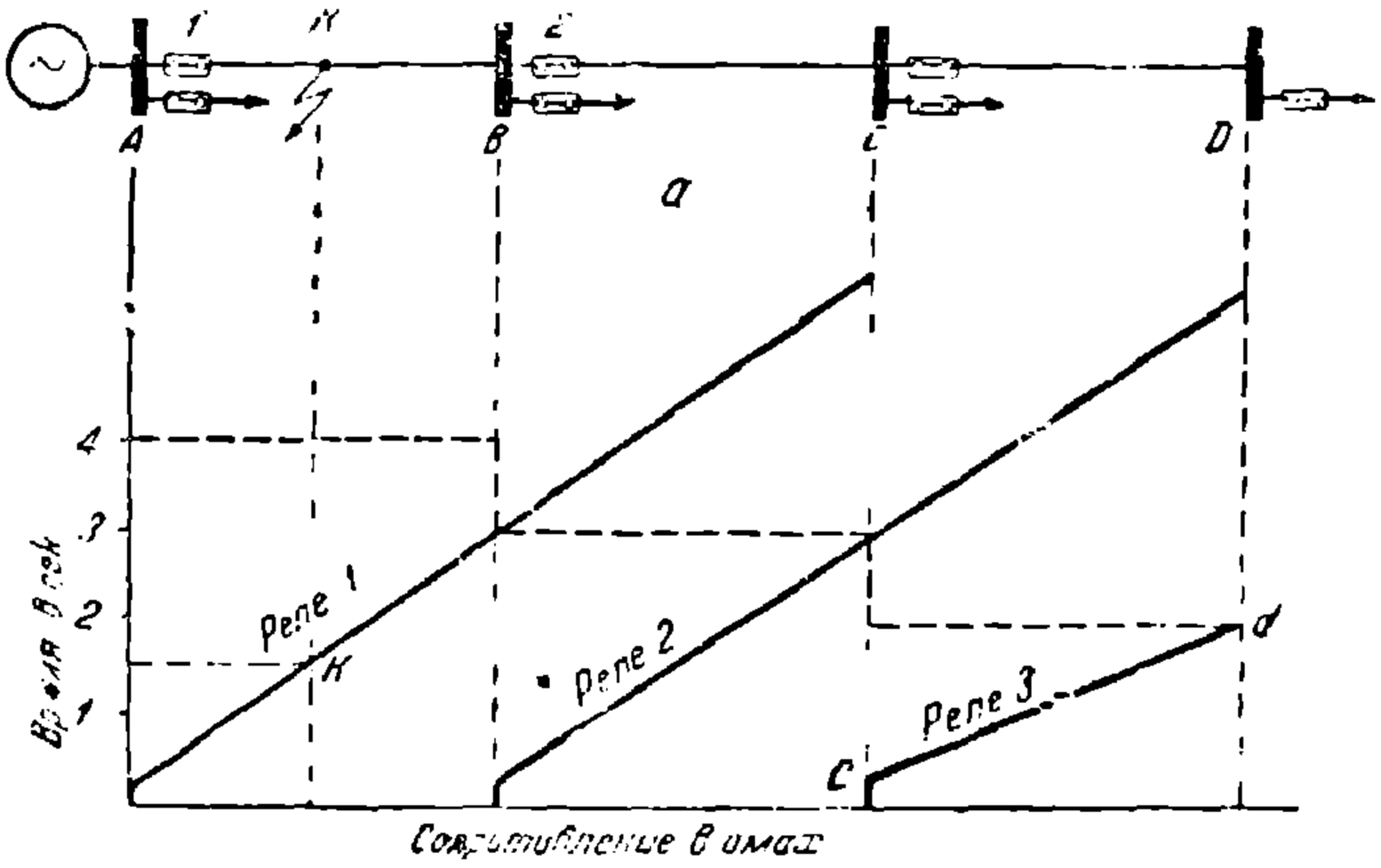
Максимальная защита линий должна иметь выдержку времени на одну ступень выше выдержки времени отходящих от подстанций фидеров.

б) Ступень времени между двумя соседними защитами по условиям селективности принимается равной 1 сек. Тогда на участке между подстанциями *C* и *D* выдержка времени максимальной защиты выбирается равной 2 сек., а на подстанции *A* 4 сек.



Фиг. 139. Зависимая характеристика дистанционного реле.

Характеристики дистанционной защиты выбираются из тех же соображений, что и для максимальной ступенчатой защиты. Например, характеристика на участке между подстанциями *C* и *D* выбирается по двум точкам следующим образом:



Фиг. 140. Защита радиальной сети дистанционными реле.

а) В точке соответствующей подстанции *D* выдержка времени реле *3* должна быть на одну ступень выше выдержки времени защиты отходящих фидеров от подстанции *D*, т. е. должна составлять 2 сек. (точка *d*).

б) При коротком замыкании вблизи шин подстанции *C* реле *3* действует без выдержки времени (точка *c*).

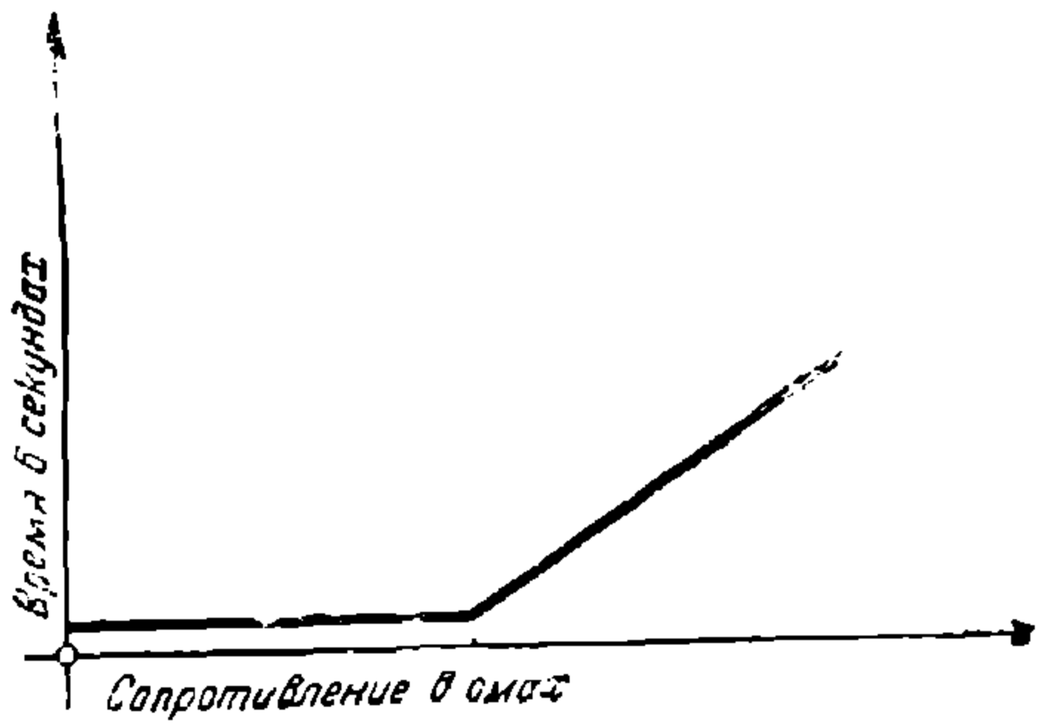
Соединив между собой точки *c* и *d*, получим требуемую по

УДУНТ (ДІІТ)

условиям селективности характеристику времени для участка между подстанциями *C* и *D*. Подобным же образом выбираются характеристики и для других участков, которые обозначены сплошными линиями.

Из сопоставления характеристик времени максимальной ступенчатой и дистанционной защиты видно, что выдержки времени при дистанционной защите значительно сокращаются. Так, например, при коротком замыкании в точке *K* максимальная ступенчатая защита будет действовать с выдержкой времени 4 сек., а дистанционная 1,5 сек.

На фиг. 141 представлена другая характеристика реле, имеющая независимую и зависимую части. В независимой части реле действует без выдержки времени (только с основным временем реле). Применение этой характеристики дает возможность осуществить быстродействующую защиту (независимая часть реле) на большей части защищаемого участка.



Фиг. 141. Характеристика дистанционного реле.

При двухстороннем питании дистанционная защита, так же как и максимальная, снабжается реле направления энергии.

Существует два основных типа дистанционных реле: 1) импеданцное и 2) реактанцное.

Импеданцное реле замеряет полное сопротивление (активное и реактивное) от места установки реле до места короткого замыкания.

Короткое замыкание почти всегда сопровождается дугой. Сопротивление дуги в сетях высокого напряжения (110 *кв*) имеет очень большую величину, увеличивая сопротивление и выдержку времени реле, приводит к неверным отключениям. Поэтому импеданцные реле применяются только для защиты сетей не выше 38 *кв*.

Реактанцное реле замеряет только реактивное сопротивление линии от места установки реле до точки короткого замыкания. Поэтому сопротивление дуги — активное сопротивление — на действие реактанцного реле не оказывает влияния; конструктивное выполнение реактанцных реле очень сложное.

Учитывая, что дистанционная защита является чрезвычайно сложной, ее следует применять лишь в тех случаях, когда она не может быть заменена другой.

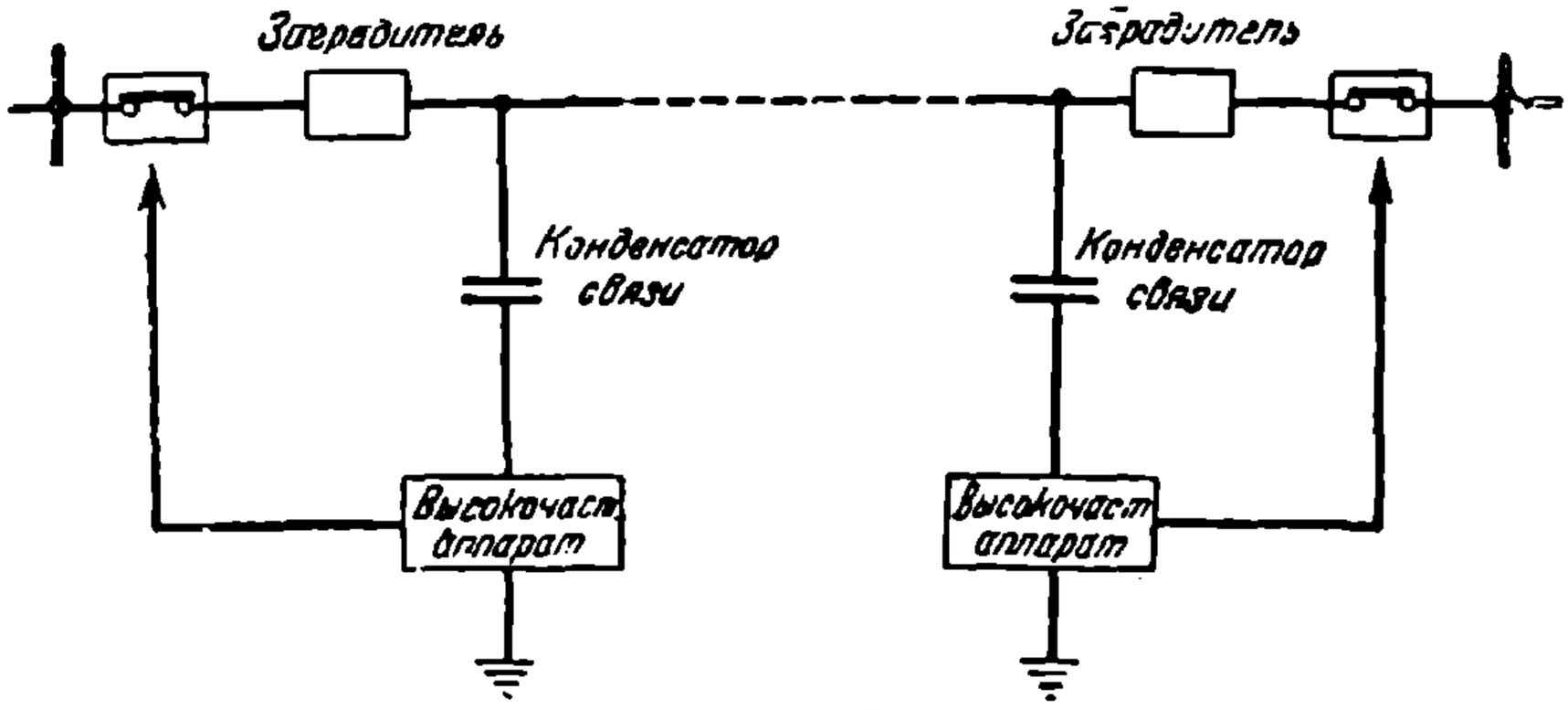
2. Применение высокой частоты в защитных устройствах. При повреждении линии важно отключить ее с обеих сторон (при двухстороннем питании) в кратчайший срок. Очень часто отключение поврежденной линии именно с обеих сторон с наименьшей и одинаковой выдержкой времени не представляется воз-

УДУНТ (ДІІТ)

можным. Например, дистанционная защита при коротком замыкании вблизи шин одной из подстанций отключает поврежденную линию на ближайшем к месту повреждения конце мгновенно, а на удаленном — с выдержкой времени: происходит ненужная затяжка времени отключения поврежденной линии. Одновременное отключение линии на обоих концах возможно осуществить, применяя диференциальную защиту, но для нее необходимы вспомогательные провода. При большой протяженности линии эту задачу трудно осуществить.

В ряде случаев кроме диференциальной защиты можно было бы применить и другую, например, направленную, но и в этом случае необходимы вспомогательные провода по всей длине защищаемого участка.

Оказывается, вместо вспомогательных проводов возможно использовать сами провода защищаемой высоковольтной линии, применяя токи высокой частоты. Для этого на крайних подстанциях защищаемой линии устанавливают высокочастотные аппараты, состоящие из передатчика и приемника. Этот аппарат присоединяют к одной из фаз линии передачи через высоковольтный конденсатор связи. Последний представляет очень большое сопротивление для токов промышленной частоты и препятствует переходу рабочего тока в высокочастотный аппарат. В то же время конденсатор связи представляет незначительное сопротивление для токов высокой частоты, которые свободно проходят в линию. Для того чтобы токи высокой частоты не выходили за пределы защищаемой линии, по концам ее устанавливаются особые заградительные устройства (дроссели), которые в противоположность конденсаторам связи запирают высокую частоту, но легко пропускают промышленную частоту.



Фиг. 142.

Обратным проводом для токов высокой частоты служит земля, для чего высокочастотные аппараты заземляются.

Токи высокой частоты, посылаемые передатчиком с одного конца линии, принимаются приемником на другом конце линии, усиливаются и приводят в действие обычное реле.

Таким образом, применяя метод наложения высокой частоты на промышленную частоту тока в линии, возможно осуществить быстродействующую защиту без вспомогательных проводов.

УДУНТ (ДІІТ)

Схемы защиты с применением высокой частоты применяются на многих линиях системы и в дальнейшем получат еще большее распространение.

На фиг. 142 схематически представлена одна фаза линии, приспособленная для передачи по ней высокой частоты.

3. Повторное включение выключателей. В сетях, особенно воздушных, очень часто наблюдаются кратковременные короткие замыкания, вызванные неустойчивыми повреждениями, которые быстро прекращаются (самоликвидируются), не вызывая повреждений оборудования. Такие проходящие короткие замыкания возникают, например при замыкании проводов крыльями птиц, перекрытии на землю при посадке птиц на роговые разрядники, повреждении гирлянд из-за атмосферных перенапряжений и т. п.

Самоликвидация подобных коротких замыканий происходит в большинстве своем потому, что возникающая дуга устраняет причину, повлекшую за собой короткое замыкание (например, сгорает птица, произведшая замыкание).

В этих случаях оказывается возможным произвести быстрое повторное включение отключившегося выключателя линии и последняя останется включенной, не вызвав большого перерыва в питании потребителя.

Опыт эксплоатации показывает, что процент удачных повторных включений для воздушных линий весьма велик и составляет около 80—85% от общего числа производимых повторных включений. Повторные включения могут производиться несколько раз через определенные интервалы времени (обычно порядка 20—40 сек), но наибольший эффект дает первое включение, поэтому в наших системах получило распространение, главным образом, однократное повторное включение, как наиболее эффективное и простое по своему выполнению.

Повторное включение легко осуществимо на радиальных линиях, где не требуется предварительной синхронизации повторно включаемой линии. Следует иметь в виду, что повторное включение необходимо сообразовывать с разрывной мощностью выключателя, к которому в этих случаях предъявляются особые требования.

На фиг. 143, *а* представлена принципиальная схема однократного повторного включения. В качестве реле повторного включения *1* применено промежуточное реле РП, переделанное специально для этой цели. Последовательность замыкания и размыкания контактов этого реле показано на фиг. 143, *а* отдельно. Конструкция реле позволяет произвести только одно повторное включение. Для подготовки схемы к следующему автоматическому повторному включению реле *1* должно быть возвращено в исходное положение от руки. Для вывода блокировки из работы предусмотрен переключатель *3*. Этот же переключатель при переводе его в правое положение позволяет произвести включение выключателя контактором.

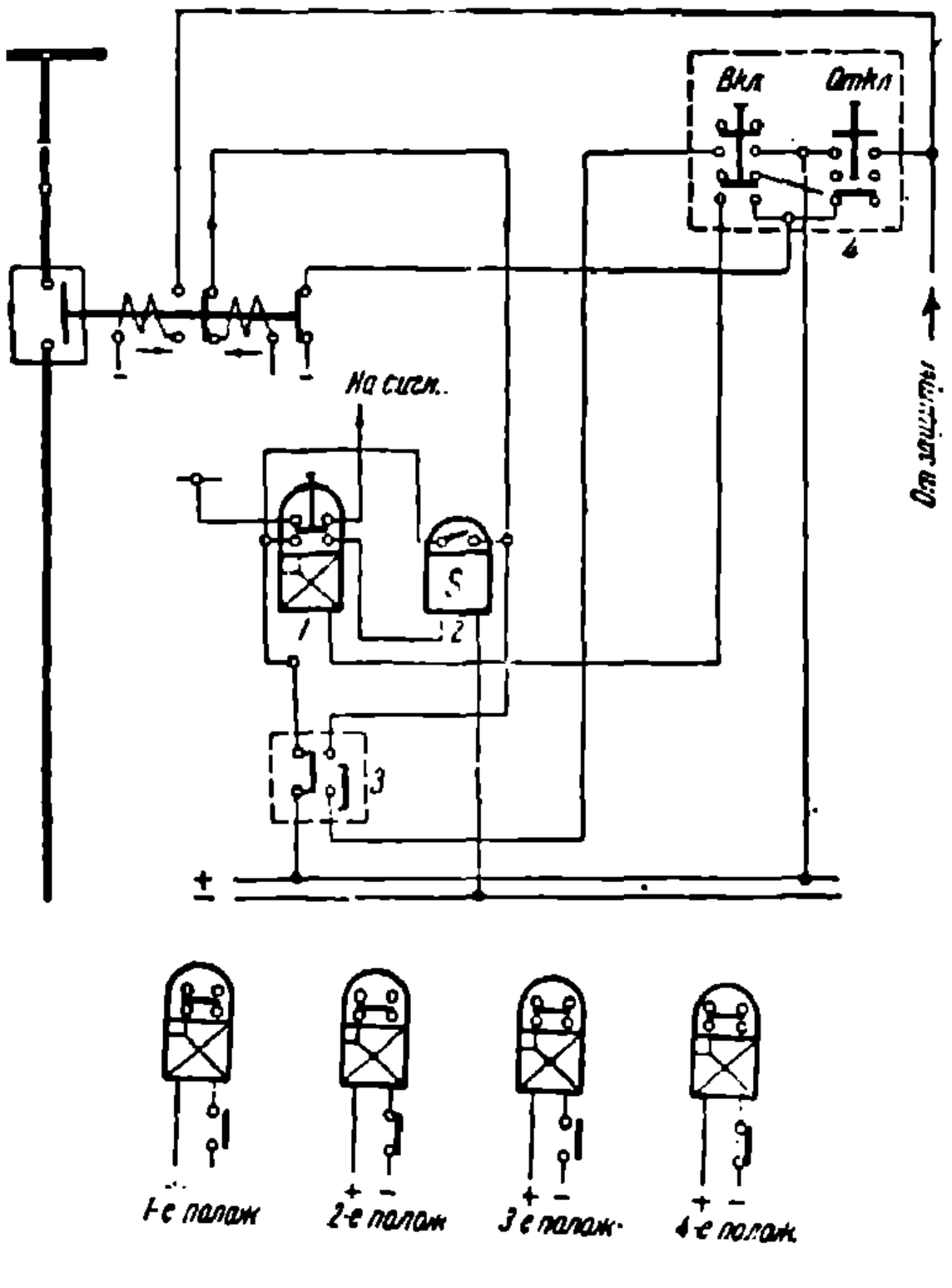
В схеме предусмотрено реле времени *2*, благодаря которому

УДУНТ (ДІІТ)

повторное включение производится через небольшой промежуток времени после отключения выключателя.

Введение в схему реле времени является необходимым для того, чтобы перед повторным включением успело произойти сцепление включающего механизма выключателя после его отключения.

Схемы автоматики часто изображают в виде «развертки» (по типу американских схем), которые позволяют более легко проследить последовательность действия схемы.



а *б*

Фиг. 143. Схема однократного повторного включения.

На фиг. 143, *б* представлена та же схема однократного повторного включения, но изображенная в виде развертки.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ

29. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Генераторы являются источниками энергии в электрических системах. Мощность генераторов доходит до 100 000 *квт* и выше.

При таких мощностях отдельных генераторов повреждения их отражаются на работе всей системы значительно тяжелее, чем повреждения других частей установки. Ремонт поврежденных генераторов требует значительного времени и средств. Поэтому к защитным устройствам генераторов предъявляются особо жесткие требования. Защита должна по возможности реагировать на все виды повреждений и быть достаточно чувствительной с тем, чтобы ограничить повреждение в самом начале его возникновения.

УДУНТ (ДІІТ)

Статистика аварий с генераторами в системе Главэнерго за 1937 г. показывает, что примерно 25% всех аварий произошло по вине персонала, 40% — из-за несвоевременного или дефектного ремонта и 35% — из-за заводских дефектов оборудования. При аварийных отключениях генераторов в 1937 г. (без их повреждений, но с недоотпуском энергии потребителям) только в 72% случаев защита работала правильно. Все это указывает на недостаточное внимание, которое уделяется защите генераторов.

Относительное количество аварий отдельных элементов генераторов в 1935, 1936 и 1937 гг. приведено в табл. 5.

ТАБЛИЦА 5

Распределение относительного количества аварий отдельных элементов генераторов в 1935, 1936 и 1937 гг.

Годы	Место								
	Железо статора	Обмотка ротора	Бандажи ротора	Обмотка статора	Демпферная обмотка	Выводы	Подшипник	Система постоянного тока	По всем элементам в %
1935	5	10	2	29	2	9	7	36	100
1936	8	20	2	37	2	0	6	25	100
1937	2	8	4	44	2	3	8	31	100

Наиболее часто аварийные повреждения происходят в обмотках статора и системе постоянного тока (главным образом в возбудителе).

Основными видами ненормальных режимов и повреждений генераторов являются:

а) перегрузка;

б) короткие замыкания (двухфазные, трехфазные и однофазные замыкания на землю);

в) замыкание между витками одной фазы;

г) недопустимое повышение напряжения;

д) повреждения при неправильной синхронизации;

е) пожар в генераторе;

ж) повреждения в цепи возбуждения.

Ниже разбираются подробно все виды ненормальных режимов и повреждений и способы защиты от них.

30. ПЕРЕГРУЗКА ГЕНЕРАТОРОВ

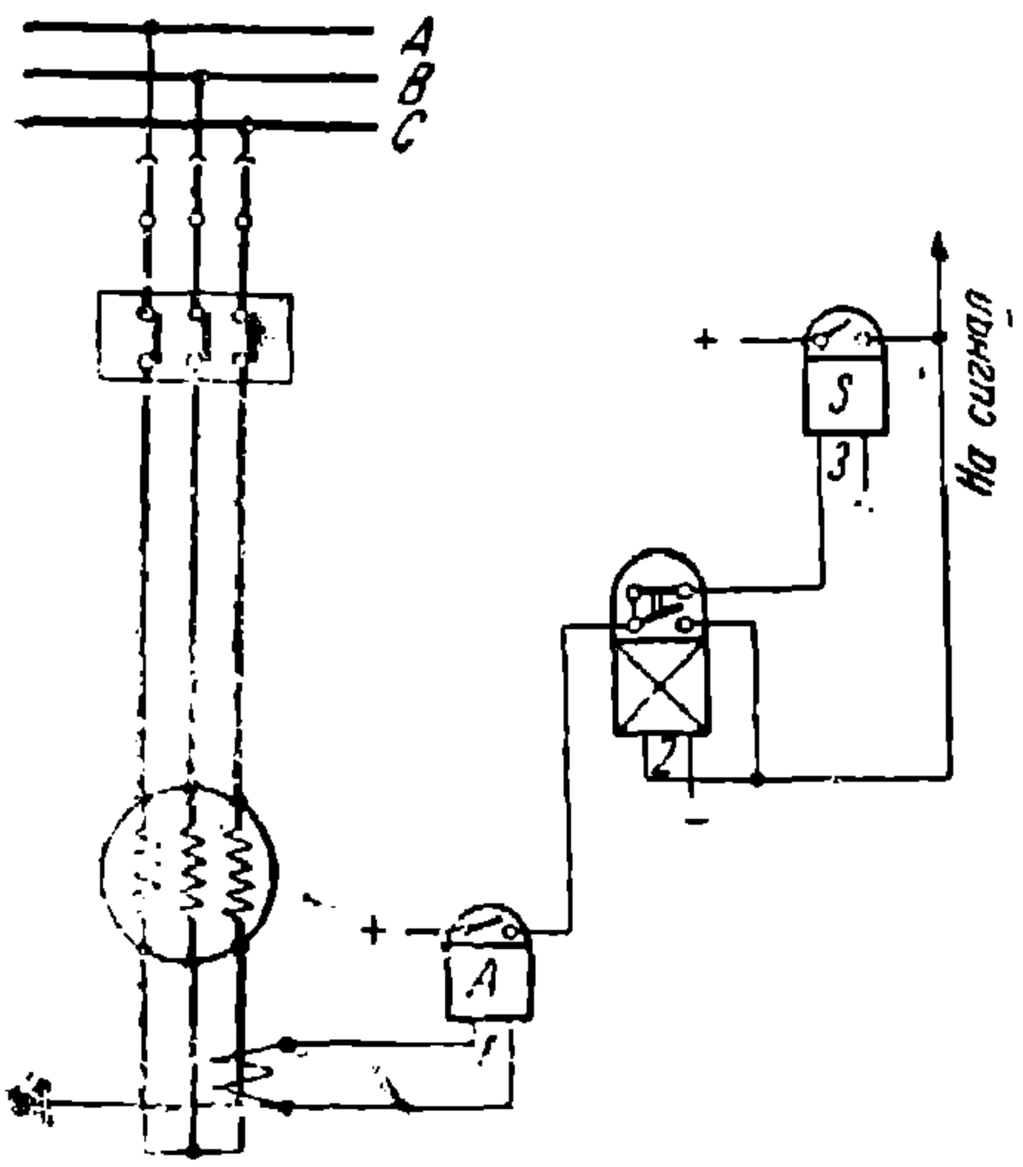
Для каждого генератора на основании его номинальной мощности устанавливается номинальное значение длительно допустимого тока при определенной температуре входящего охлаждающего воздуха. Этот длительно допустимый ток называется номинальным током генератора.

УДУНТ (ДІІТ)

Номинальные значения тока устанавливаются отдельно для обмоток статора и ротора.

Превышение номинальных значений тока вызывает повышение температуры обмоток выше допустимых величин. Изоляция начинает портиться, постепенно обугливается, что в результате сокращает срок службы изоляции и может привести к пробою ее.

Увеличение тока выше номинального, т. е. перегрузка, в эксплоатации может происходить по различным причинам: например, при неумелом регулировании от руки напряжения параллельно работающих генераторов (перегрузка реактивными токами); при аварийном отключении одного из параллельно работающих генераторов, когда оставшиеся в работе могут оказаться перегруженными. Иногда перегрузка может быть вызвана неправильными показаниями приборов, измеряющих ток, вследствие чего дежурный персонал ошибочно устанавливает на генераторе значения токов выше номинальных. Учитывая, что в условиях эксплоатации кратковременные перегрузки неизбежны и что они не вызовут заметного уменьшения срока службы изоляции, в эксплоатации допускают для генераторов кратковременную перегрузку током в 150% от номинального в течение 2 мин.



Фиг. 144. Схема максимальной токовой защиты от перегрузки с действием на сигнал.

Для предотвращения перегрузок генератор должен иметь защиту, которая реагировала бы на изменение величины тока выше установленного номинального значения, но в то же время позволяла использовать допустимые кратковременные перегрузки. На электростанциях генераторы обычно находятся под надзором дежурного персонала, который в случае возникновения перегрузки может принять соответствующие меры к разгрузке генераторов путем отключения менее ответственных фидеров, перевода нагрузки на другие станции системы и т. д. Учитывая это, на генераторах устанавливают защиту от перегрузки, действующую на сигнал. По получении сигнала дежурный персонал обязан в течение определенного времени принять меры к разгрузке генератора и, если эти меры будут недостаточны, чтобы снизить ток перегрузки до номинального, отключить генератор от сети.

Принципиальная схема защиты генератора от перегрузки показана на фиг. 144. Схема осуществляется помощью максималь-

УРУНТ (ДІТ)

ной токовой защиты. Максимальное токовое реле *1* присоединяется к одному из трансформаторов тока[1], расположенных между нулевой точкой генератора и началом обмотки.

Реле времени *3* устанавливается для того, чтобы избежать ненужных сигналов при кратковременных увеличениях токов в сети, к которой приключен генератор. Выдержка времени этого реле выбирается на одну ступень больше максимальной выдержки времени остальной системы. Применение промежуточного реле *2* обусловлено тем, что существующие реле времени не рассчитаны на длительное протекание тока по их обмотке.

Схема включения промежуточного реле называется схемой «с прилипанием контактов» и позволяет после срабатывания реле времени подавать плюс на сигнал через нижний контакт (нормально разомкнутый) промежуточного реле, т. е. помимо контактов реле времени. Верхний контакт промежуточного реле разрывает цепь питания реле времени.

Следует отметить, что для надежной работы промежуточного реле по указанной схеме необходимо произвести специальную регулировку его контактов. Это особенно относится к промежуточным реле РП ХЭМЗ, где приходится отгибать контакты. На реле ЭП-231 такая регулировка производится винтами (см. стр. 79).

Ток троганья максимального токового реле определяется по формуле:

$$i_{рт} = \frac{I_{ном} \cdot k_н}{k_в \; n_т}, \qquad (1)$$

где $i_{рт}$ — ток троганья реле;

$I_{ном}$ — номинальный ток генератора;

$k_н$ — коэфициент надежности, учитывающий ошибку действия реле, принимаемый равным 1,05;

$k_в$ — коэфициент возврата;

$n_т$ — коэфициент трансформации трансформатора тока.

При $k_в = 0{,}9$ и $k_н = 1{,}05$ отношение тока троганья генератора к номинальному току будет равно $\frac{I_т}{I_{ном}} = \frac{1{,}05}{0{,}9} \approx 1{,}15$, т. е. максимальная защита от перегрузки будет давать сигнал, когда ток перегрузки будет выше номинального на 15%.

Пример. Номинальный ток генератора $I_{ном} = 1\,375$ *а*. Коэфициент трансформации трансформатора тока $n_т = \frac{1\,500}{5}$. Коэфициент возврата $k_в = 0{,}9$.

Ток троганья реле будет равен:

$$i_{рт} = \frac{1\,375 \cdot 1{,}05}{0{,}9 \cdot 1\,500/5} = 5{,}35 \text{ } а.$$

[1] Для максимальной защиты от перегрузки не устанавливается отдельный трансформатор тока, а используется какой-либо из установленных для других защит.

УДУНТ (ДІІТ)

В качестве максимального реле применяется максимальное токовое реле ЭТ-71 ХЭМЗ, причем надо стремиться устанавливать реле с высоким коэфициентом возврата. Допускается также применение максимального реле с зависимой характеристикой. В качестве промежуточного устанавливают реле РП или ЭП-231, реле времени — РВ или ЭВ-180.

В отдельных случаях, когда это представляется удобным, возможно осуществить действие максимальной защиты не на сигнал, а на отключение второстепенных мало ответственных фидеров.

Наличие максимальной защиты еще полностью не гарантирует предотвращения повышения температуры обмотки выше допустимой величины. Современные генераторы выполняются преимущественно с замкнутой системой вентиляции. Тепло нагретого воздуха переходит к воде, циркулирующей через воздухоохладитель. В случае неисправности системы охлаждения (засорение воздухоохладителя, повышение температуры охлаждающей воды и пр.) температура входящего охлаждающего воздуха может возрасти, вследствие чего возрастет и температура изоляции обмотки при том же токе нагрузки.

Таким образом при разработанной схеме защиты возможно положение, когда при неизменной номинальной нагрузке вследствие повышения температуры охлаждающего воздуха температура обмотки возрастет выше допустимой. Защита же вследствие неизменности тока не даст сигнала. С целью предотвращения этого на генераторе устанавливаются приборы для измерения температуры охлаждающего воздуха, обмоток, железа и пр., которые дают сигналы о возрастании температур выше допустимых пределов. В этих случаях персонал обязан принять соответствующие меры к восстановлению нормального режима и в случае необходимости снизить нагрузку генератора.

Номинальные значения длительно допустимых токов современных генераторов устанавливаются для двух значений температуры входящего охлаждающего воздуха: одно для температуры 35° С (для некоторых генераторов 40° С), другое для 25° С. Длительно допустимый ток при 25° С больше допустимого при 35° С примерно на 6—10%. Это обстоятельство следует иметь в виду при настройке защиты. Если, например, известно, что генератор длительное время будет работать при температуре входящего воздуха 25° С (например, зимой), за номинальный ток генератора следует принимать значение тока, соответствующее температуре 25° С.

Помимо наблюдения за температурой охлаждающего воздуха надо следить также за симметричностью нагрузок каждой из фаз генератора. С этой целью на генераторе устанавливаются в цепи статора три амперметра, разница в показаниях которых не должна быть больше 10%.

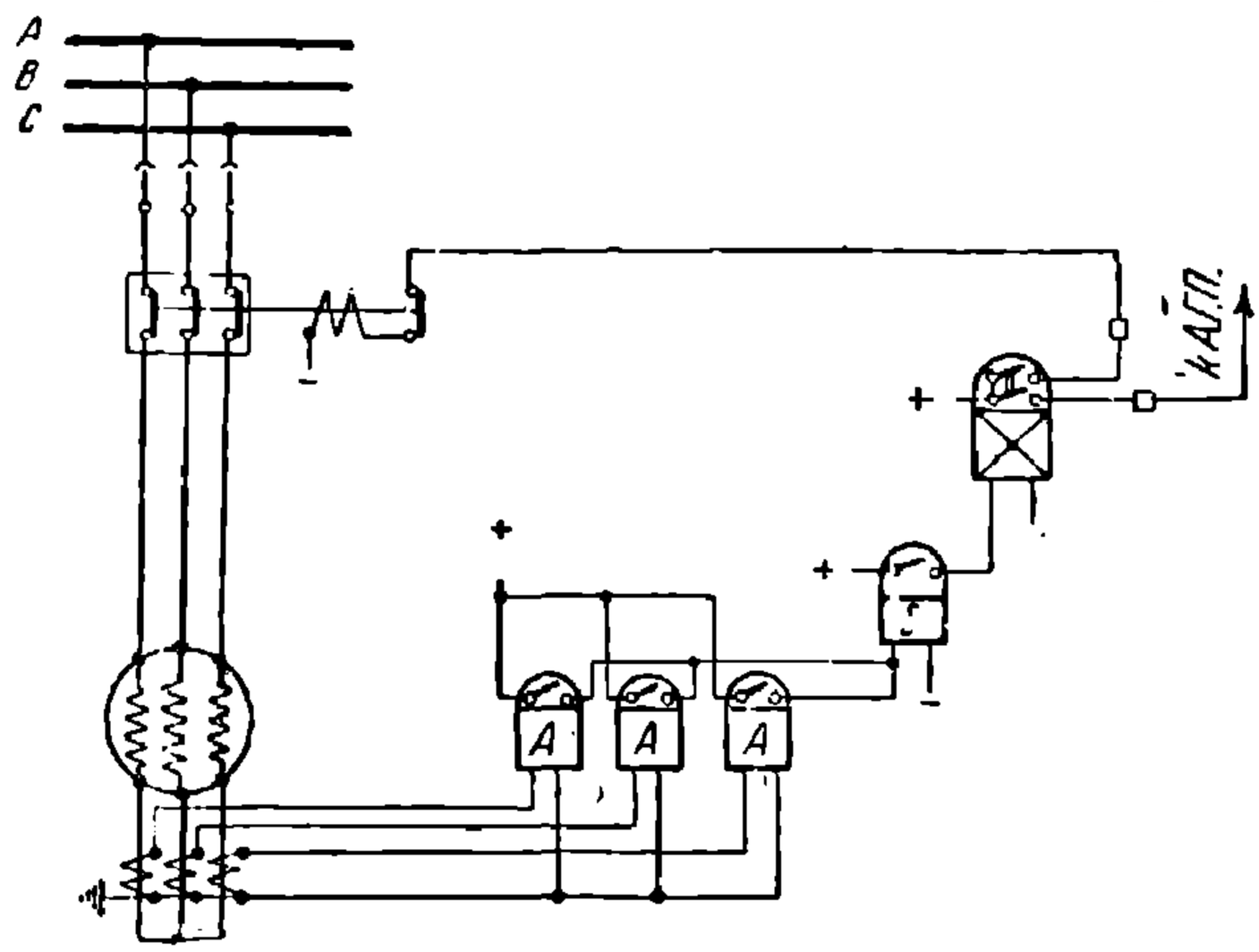
Описанная защита генератора от перегрузки реагирует только на изменение тока в статоре, т. е. защищает обмотку статора.

При номинальном токе статора ток ротора может быть при

УДУНТ (ДІТ)

известных режимах выше номинального. Ввиду того что на роторе вследствие его вращения не представляется возможным установить термометры или термодетекторы, следовало бы иметь и для ротора защиту от перегрузки. С этой целью возможно использовать специальное реле ЭР-81 ХЭМЗ, которое основано на принципе замера сопротивления обмотки ротора (измерением тока и напряжения), меняющегося в зависимости от ее температуры, т. е. тока нагрузки. Однако это реле имеет еще ряд недостатков, в силу чего руководящие указания Главэнерго по релейной защите в настоящее время защиты ротора от перегрузки не предусматривают, и контроль величины тока ротора в эксплоатации осуществляется наблюдением дежурного персонала за показаниями приборов.

Если обратиться к статистике, то оказывается, что относительная аварийность обмоток ротора составляет в среднем 15% от общего числа аварий с генераторами (табл. 5). Столь большой процент аварий указывает на снижение качества изоляции обмоток роторов, могущее быть вызванным в большой степени и перегрузками. Вследствие этого следует признать целесообразным устройство защиты от перегрузки с действием на сигнал также и для ротора.



Фиг. 145. Схема максимальной токовой защиты.

Все сказанное относится и к генераторам с проточной вентиляцией.

Ранее применявшаяся схема максимальной защиты генераторов представляет собой обычную максимальную защиту, действующую не только при перегрузке, но и при коротких замыканиях. Схема такой защиты приведена на фиг. 145. Защита действует на отключение выключателя и на гашение поля генератора, как предназначенная для защиты не только от перегрузки, но и от коротких замыканий.

Как уже указывалось, при эксплоатации генераторов могут быть кратковременные перегрузки, вызванные ошибками персонала, аварийным отключением одного из параллельно работающих генераторов и пр., вполне допустимые для генератора. При максимальной защите по фиг. 145, действующей на отключение, все эти кратковременные перегрузки будут вызывать отключение генераторов и еще большее развитие аварий в системе.

Статистика показываст, что в 1937 г. в системе Главэнерго при автоматических аварийных отключениях генераторов защита

УДУНТ (ДІІТ)

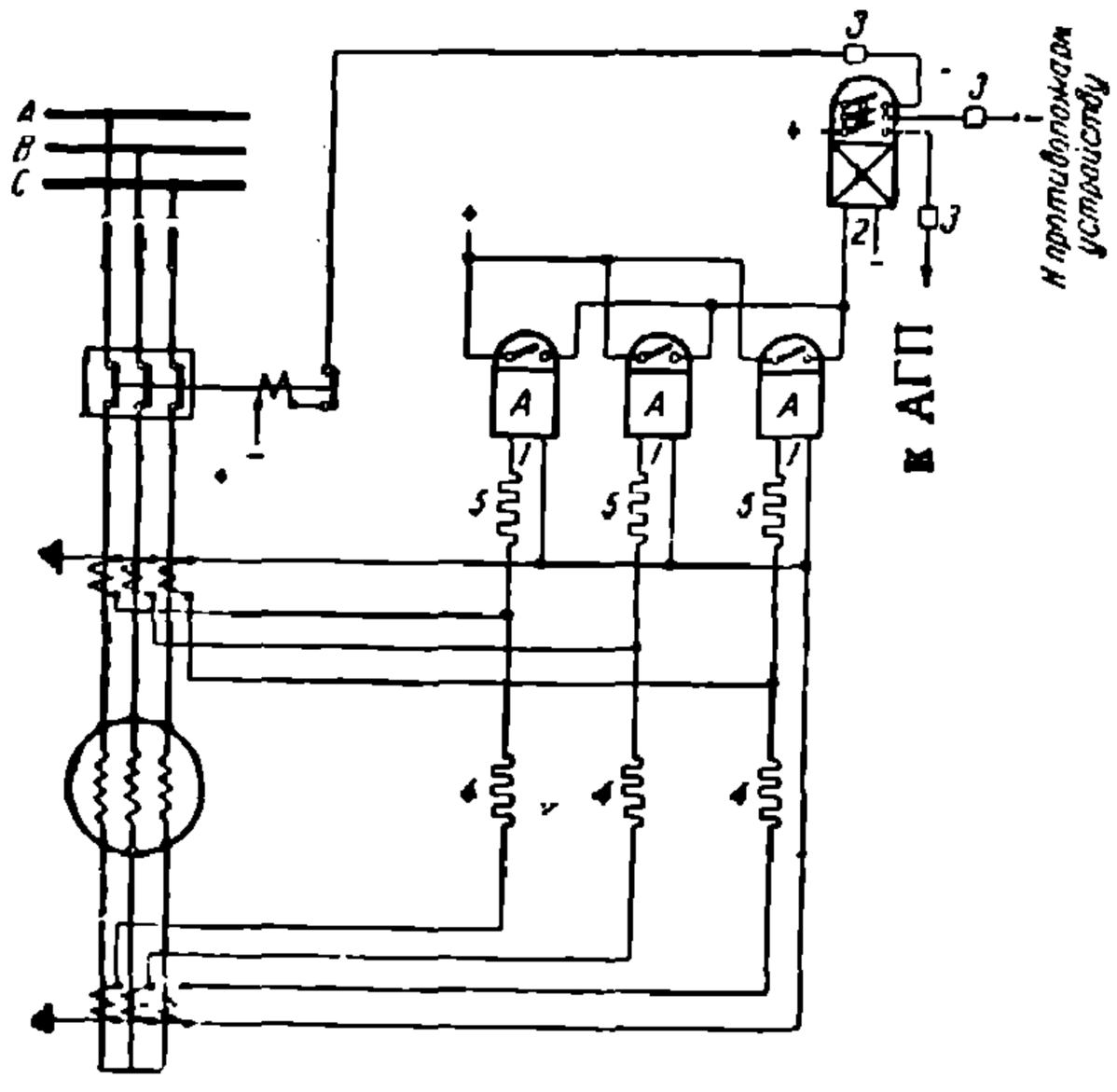
работала неправильно в 26% всех случаев работы. При этом большинство случаев неправильной работы защиты падает на максимальную токовую защиту, осуществленную по фиг. 145 (т. е. в прежнем исполнении, с действием на отключение).

Это в достаточной мере показывает неудовлетворительность данной схемы и необходимость ее реконструкции. Руководящие указания Главэнерго допускают применение этой защиты лишь для мало ответственных генераторов.

31. КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ГЕНЕРАТОРАХ

Разберем в отдельности многофазные короткие замыкания и однофазные замыкания на землю.

1. Двухфазные и трехфазные короткие замыкания в цепи обмотки статора. При двух- и трехфазных коротких замыканиях внутри генератора токи повреждения могут превышать нормальный ток в несколько раз, что влечет за собой сильное разрушение обмотки, а часто и железа генератора. Электрическая дуга, появляющаяся при повреждениях, может вызвать помимо разрушений пожар генератора благодаря хорошей вентиляции внутри генератора и наличию обмотки, представляющей собой горючий материал. Защита должна быстро прекратить протекание токов повреждения и погасить дугу. Для этого поврежденный генератор нужно прежде всего отключить от сети, чтобы прекратить притекание токов из сети к месту повреждения генератора. Однако этого еще недостаточно, так как место повреждения и дуга будут продолжать питаться отключенным от сети, но вращающимся генератором. Для погашения дуги и прекращения токов повреждения, посылаемых поврежденным генератором, необходимо снять с генератора напряжение.



Фиг. 146. Схема продольной диференциальной токовой защиты.

Снятие напряжения с генератора производится специальной защитой для гашения поля генератора (см. ниже).

Для защиты генераторов от двухфазных и трехфазных коротких замыканий применяется диференциальная токовая защита, принцип действия которой описан в гл. 3 «Защита сетей» (стр. 103).

Принципиальная схема продольной диференциальной защиты представлена на фиг. 146. Схема применяется для генераторов,

УДУНТ (ДІТ)

работающих как на шины, так и непосредственно на трансформаторы.

Трансформаторы тока для диференциальной защиты обычно выполняются более точно и проверяются попарно между собой на заводе. Коэфициент трансформации всех шести трансформаторов тока одинаков и выбирается по номинальному току генератора.

Вторичные обмотки двух трансформаторов тока каждой фазы соединяются между собой последовательно с соблюдением полярностей. Токи небаланса трансформаторов тока, соответствующие номинальному первичному току, обычно не превосходят 15—20 *ма*. Сопротивления *4* служат для выравнивания сопротивлений плеч диференциальной защиты. Величина сопротивлений *4* выбирается на месте после замера сопротивлений плеч.

Сопротивления *5* предназначены для повышения чувствительности защиты: они ограничивают притекающие к реле токи небаланса при сквозных коротких замыканиях.

Применительно к реле ЭТ-71 (с малым сопротивлением) они должны быть порядка 5—15 *ом*.

В качестве токовых реле применяются максимальные мгновенные реле ЭТ-71. Руководящие указания Главэнерго рекомендуют также применение реле с тормозными катушками. Защита в этом случае получается более чувствительной (стр. 106).

Защищаемая зона заключена между трансформаторами тока диференциальной защиты. Трансформаторы тока со стороны выводов генератора устанавливаются по возможности ближе к выключателю, с тем чтобы расширить защищаемую зону. Ток трогания устанавливается равным 1—2 *а*; действие защиты мгновенное.

Действие защиты. При коротком замыкании между фазами в зоне защиты максимальные реле *1* действуют на промежуточное реле *2*, которое отключает выключатель, приводит в действие устройство для гашения поля и для тушения пожара. Диференциальная защита, установленная на генераторах собственного расхода, действует также на автоматическое введение резервного трансформатора. В случае генератора с заземленной нулевой точкой промежуточное реле *2* отключает также выключатель в нуле генератора.

Для сигнализации действия защиты устанавливаются сериесные блинкеры *3*.

Чувствительность защиты. Под чувствительностью защиты понимается отношение тока срабатывания защиты к номинальному току защищаемого генератора, выраженное в процентах.

Пример. Номинальный ток генератора $I_{ном} = 1\,375\ a$; коэфициент трансформации трансформаторов тока 1 500/5; ток трогания максимальных реле $i_{рт} = 1{,}5\ a$. Тогда чувствительность защиты составит:

$$\frac{1{,}5 \cdot 1\,500/5}{1\,375} \cdot 100 = 33\%.$$

УДУНТ (ДПІТ)

Достоинства и недостатки схемы по фиг. 146 указаны при описании защиты линий (стр. 106).

Двухфазные и трехфазные короткие замыкания вне зоны дифференциальной защиты и резервирование дифференциальной защиты. Дифференциальная защита реагирует на короткие замыкания только в зоне защиты. Если произойдет короткое замыкание вне этой зоны, например, на фидере, отходящем от шин генераторного напряжения, и защита этого фидера откажет в действии, дифференциальная защита генератора действовать не будет и авария не будет ликвидирована.

Для резервирования защит элементов системы, присоединенных к станционным шинам генераторного напряжения, а также дифференциальной защиты генератора, на нем устанавливается дополнительная защита от междуфазных коротких замыканий — защита минимального напряжения с токовой блокировкой, действующая на отключение. Эта защита должна работать лишь при коротких замыканиях, а не при перегрузках, от которых имеется максимальная токовая защита (стр. 122).

Характерным различием между коротким замыканием и перегрузкой является то обстоятельство, что при коротком замыкании генераторное напряжение снижается значительно больше, чем при перегрузке.

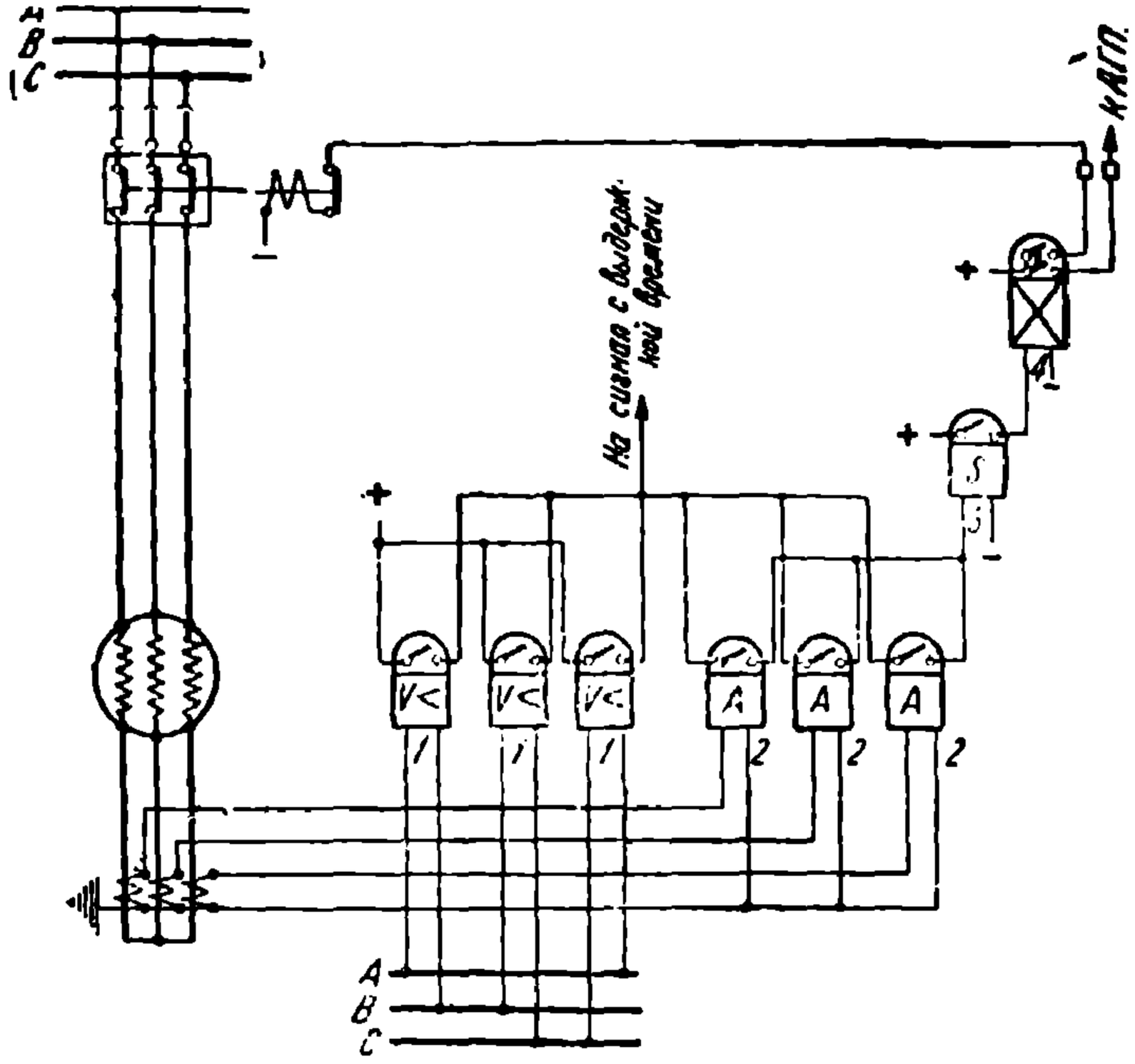
Для того чтобы защита срабатывала при коротком замыкании, но не при перегрузке (токи возрастают в том и в другом случае), необходимо, чтобы она действовала лишь тогда, когда напряжение генератора снизится до определенного значения. С этой целью в защите минимального напряжения с токовой блокировкой в качестве основного органа, дающего импульс на отключение, устанавливаются реле минимального напряжения *1* (фиг. 147). Напряжение трогания реле минимального напряжения устанавливается равным около 70% от номинального напряжения генератора. Следовательно, схема придет в действие лишь в тех случаях, когда генераторное напряжение снизится не меньше чем до 70%, т. е. когда произойдет короткое замыкание в генераторе или в других элементах системы, приключенных непосредственно к генератору (шины генераторного напряжения, отходящие фидеры). В цепи отключения имеется реле времени *3* с выдержкой времени на одну-две ступени больше максимальных выдержек времени в системе, к которой приключен генератор. Благодаря этому защита сможет произвести отключение генератора лишь в том случае, когда остальные защиты, реагирующие на междуфазные короткие замыкания, откажут в действии.

Помимо реле минимального напряжения в схеме предусмотрены токовые реле *2*. Контакты реле минимального напряжения *1* включаются последовательно с контактами токовых реле *2*. Основным назначением токовых реле является предупреждение неправильных действий всей защиты при перегорании предохранителей в цепи реле минимального напряжения. Действительно, при перегорании предохранителей исчезнет напряжение на зажи-

УДУНТ (ДІТ)

мах реле *3*, которые замкнут свои контакты и произведут неправильное отключение генератора. Ток трогания токовых реле выбирается равным 1,2—1,4 от тока, протекающего через реле при номинальном токе генератора; поэтому при перегорании предохранителей во время нормального режима работы генератора (при номинальном токе, меньшем тока трогания реле) токовые реле *2* будут держать свои контакты разомкнутыми, и отключения не произойдет.

Для сигнализации перегорания предохранителей предусмотрена отдельная цепь от контактов реле минимального напряжения.



Фиг. 147. Схема защиты минимального напряжения с токовой блокировкой.

Выбранная установка тока трогания токовых реле обеспечивает надежное действие защиты при междуфазных коротких замыканиях. Как показывают расчеты, при снижении напряжения ниже 70% величина токов короткого замыкания будет в большинстве случаев больше номинального тока генератора в 1,2—1,4 раза, т. е. токовые реле при коротких замыканиях со снижением напряжения до 70% от номинального замкнут свои контакты.

В качестве реле применяются: реле минимального напряжения ЭН-78; максимальные токовые реле ЭТ-71; реле времени ЭВ-180 и промежуточное реле ЭП или РП.

Описанная защита действует на отключение выключателей генератора и автомат гашения поля.

УДУНТ (ДІІТ)

Защита минимального напряжения с токовой блокировкой не является еще совершенной защитой. Существует вероятность отказа защиты от действия при некоторых коротких замыканиях в системе, особенно при наличии регуляторов напряжения, когда напряжение на клеммах генератора может быть выше напряжения трогания реле.

Ранее уже указывалось, что для защиты от перегрузки не устанавливается отдельного трансформатора тока. Обычно максимальное токовое реле защиты от перегрузки включается последовательно в цепь одного из максимальных токовых реле защиты минимального напряжения с токовой блокировкой. В целом схема называется максимальной защитой генератора и включает две защиты: защиту от перегрузки, действующую на сигнал, и защиту от междуфазных коротких замыканий, действующую на отключение.

Эти защиты заменяют собой обычную максимальную защиту генератора, описанную на стр. 125, и являются более совершенными.

2. Однофазные замыкания на землю обмотки статора. Обмотка статора генератора своей большей частью укладывается в хорошо заземленном железе статора. Поэтому большинство повреждений в генераторе либо являются следствием замыкания на землю, либо приводят к нему.

Статистика показывает, что, например, в 1937 г. в системе Главэнерго повреждения обмоток статора составляли 44% от общего числа повреждений с генераторами. Однофазные замыкания на корпус составляли 30—40% всех случаев повреждения обмоток статора.

Ток повреждения, вызванный однофазным замыканием на землю, может возникать не только при заземленной нейтрали. Если генератор с изолированной нейтралью непосредственно работает на сеть, обладающую емкостным током, то при однофазном замыкании на землю обмотки генератора через место повреждения будет протекать емкостный ток. Величина этого тока зависит от емкости сети и от места повреждения в генераторе. В больших сетях емкостный ток достигает несколько сот ампер и может причинить значительные разрушения, требующие перешихтовки (переборки) железа статора. Длительное протекание даже незначительного тока однофазного замыкания на землю может вследствие постепенного нагревания и разрушения изоляции привести к междуфазным коротким замыканиям, а также к пробою в здоровых фазах вследствие повышения напряжения относительно земли.

Поэтому однофазное замыкание на землю обмотки статора генератора является опасным видом повреждения. Необходима достаточно чувствительная защита, которая могла бы реагировать на это повреждение и ликвидировать его достаточно быстро.

Руководящие указания Главэнерго рекомендуют устройство защиты от замыкания на землю на всех генераторах мощностью 1 000 *квт* и выше.

УДУНТ (ДІІТ)

При однофазном замыкании на землю через место повреждения протекает ток. Принцип устройства защиты от замыканий на землю обычно основан на том, что специальное реле защиты реагирует на протекание этого тока повреждения в момент замыкания на землю и производит нужные операции. Как указано выше, ток однофазного замыкания на землю может протекать в том случае, когда сеть, к которой приключен генератор, обладает емкостью, или когда нейтраль генератора заземлена.

Использование емкостного тока для цели защиты неудобно вследствие того, что величина емкостного тока зависит от протяженности сети и для разных систем может быть весьма различной. Слишком большие емкостные токи при практически имеющих место выдержках времени работы защиты от замыкания на землю могут причинить значительные разрушения; слишком малые емкостные токи могут быть недостаточны для осуществления чувствительной защиты. Кроме того, величина емкостного тока будет зависеть от числа приключенных на шины фидеров. Поэтому в практике защиты генераторов от замыкания на землю емкостный ток обычно не используют, а заземляют нейтрали генераторов через определенное омическое сопротивление с тем, чтобы при замыкании получить необходимый ток. Величина тока для системы выбирается с учетом того, чтобы при возникновении замыкания на землю этот ток не причинил повреждений, требующих длительного ремонта.

На основании имеющихся опытных данных ограничивают ток повреждения 125—150 *а* при получающихся практически выдержках времени действия защиты в 1 сек. Однако при применении быстродействующей защиты величина тока может быть значительно увеличена, так как степень разрушения железа электрической дугой зависит не только от величины тока повреждения, но и от времени действия дуги. Экспериментальные данные показали, что при указанных значениях тока и времени его протекания возможно устранение повреждения железа без его переших-товки.

Следует иметь в виду, что при параллельной работе нескольких генераторов на шины генераторного напряжения ток повреждения в месте замыкания на землю будет равен сумме токов заземления всех генераторов. Поэтому ток замыкания на землю каждого генератора должен быть соответственно уменьшен.

Из условий чувствительности защиты ток замыкания на землю каждого генератора, работающего на шины, выбирается в пределах 20—60 *а*, а для генераторов, работающих непосредственно на трансформатор, от 10 до 20 *а*.

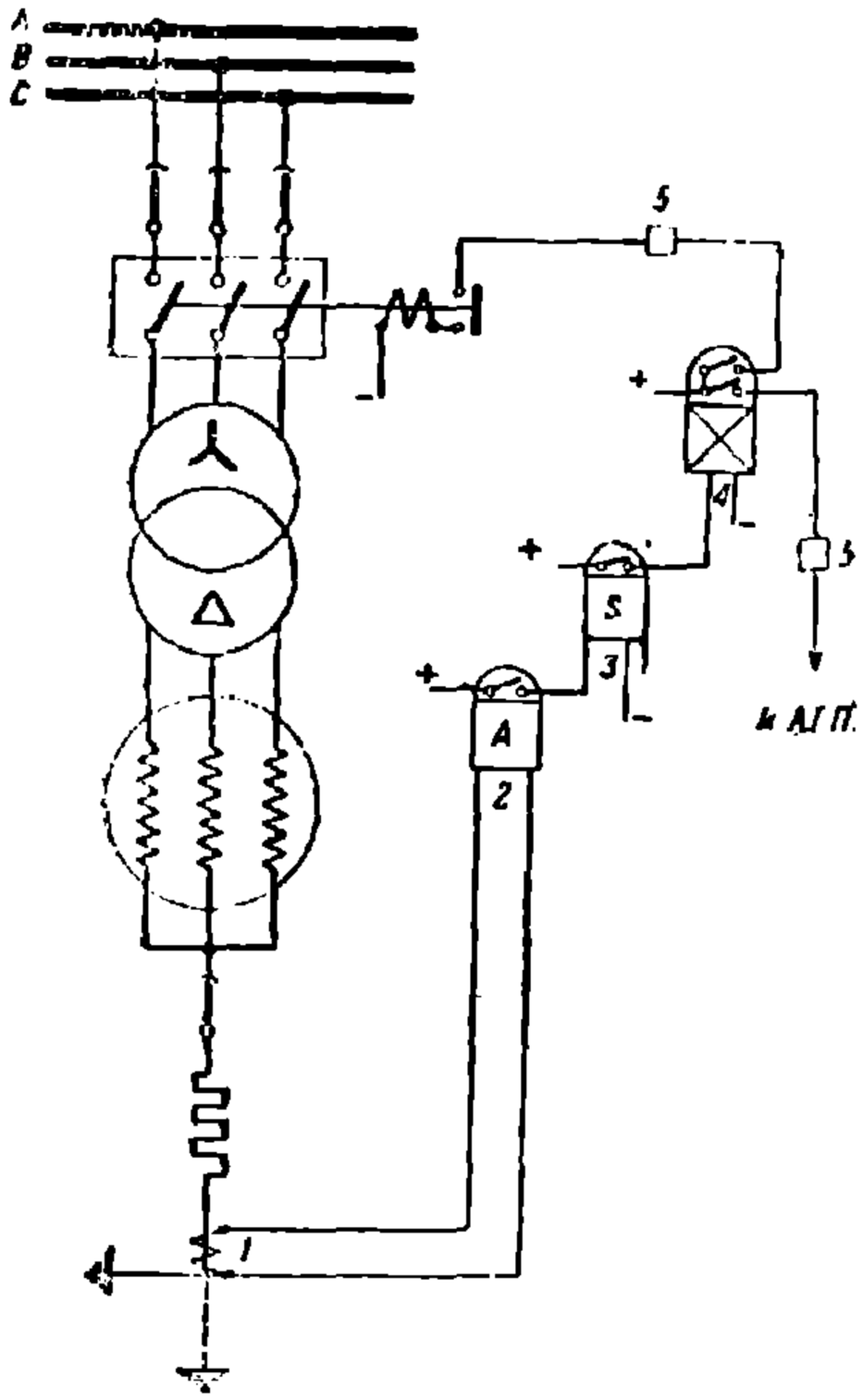
При токах замыкания на землю, равных 20 *а* и выше, в цепи заземления нейтрали генератора устанавливается автоматический выключатель. Аппаратура в заземляющей цепи располагается следующим образом: а) нейтраль генератора; б) разъединитель; в) трансформатор тока (если имеется); г) заземляющее сопротивление; д) выключатель (если имеется); е) заземлитель.

Защита от замыкания на землю выполняется различно в за-

УДУНТ (ДІІТ)

висимости от того, работает ли генератор непосредственно на повысительный трансформатор или на шины генераторного напряжения. В первом случае применяется максимальная защита, реагирующая на ток замыкания на землю, во втором случае — более сложная схема с реле направления энергии, так называемая ваттметровая защита.

Защита от замыкания на землю агрегата генератор-трансформатор. На фиг. 148 приведена схема защиты от замыкания на землю генератора, работающего непосредственно на трансформатор.



Фиг. 148. Схема защиты от замыкания на землю генератора, работающего непосредственно на трансформатор.

Нейтраль генератора заземляется через омическое сопротивление с таким расчетом, чтобы ток замыкания на землю, действующий на защиту, был в пределах 10—20 *а*. В цепи заземляющего сопротивления устанавливается трансформатор тока *1*, на вторичную обмотку которого включено максимальное реле *2*.

Так как генератор непосредственно соединен с трансформатором, то в отношении замыкания на землю генератор, первичная обмотка трансформатора и соединительные провода между ними представляют собой одно целое. При замыкании на землю в одном из этих элементов через заземляющее сопротивление будет протекать ток, величина которого обусловится выбранным заземляющим сопротивлением и напряжением в цепи заземления. Чем ближе заземление к выводам генератора, тем больше это напряжение, а значит и ток.

При замыканиях на землю вне зоны защиты на вторичной стороне трансформатора защита не будет действовать, так как генератор не связан электрически со вторичной обмоткой трансформатора. Заземляющее сопротивление рассчитывается на длительное протекание тока замыкания.

Установка тока трогань я и выдержки времени. Ток трогань я устанавливается равным примерно 0,3—0,5 *а*. Для предотвращения неправильного действия защиты при неустановившихся режимах устанавливается выдержка времени 0,5 сек.

Действие защиты. При замыканиях в зоне защиты срабатывает мгновенное максимальное реле *2*, которое приводит в действие реле времени *3*, имеющее выдержку времени 0,5 сек. Реле времени действует на промежуточное реле *4*, которое отклю-

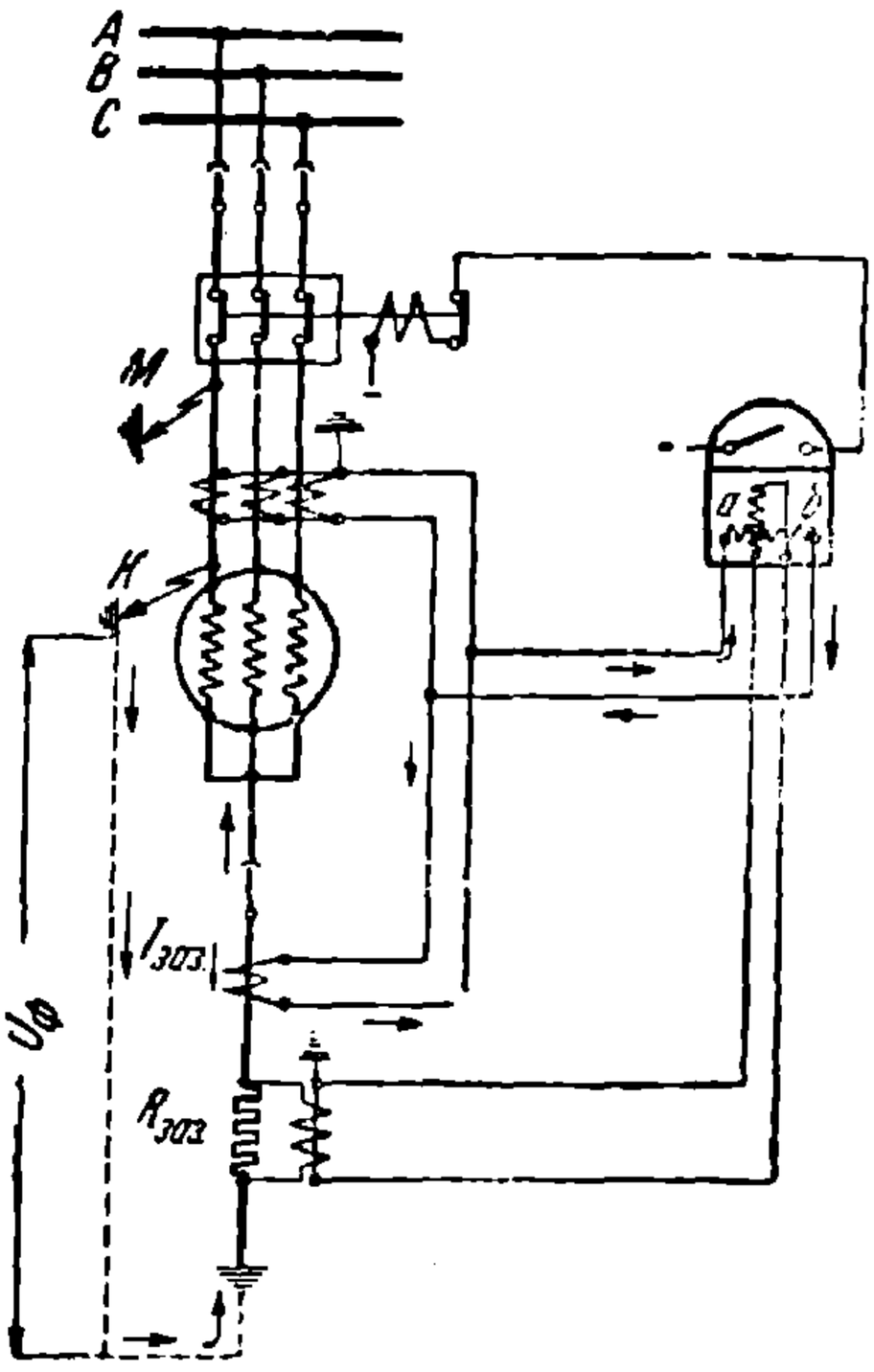
УДУНТ (ДІІТ)

чает выключатель на вторичной стороне трансформатора и одновременно приводит в действие автомат гашения поля генератора.

В качестве реле применяются: максимальное токовое реле ЭТ-71 и реле времени ЭВ-180.

Защита от замыкания на землю генератора, работающего на шины. При работе генератора на шины осуществление защиты от замыкания на землю помощью максимального токового реле, как это было в случае работы генератора непосредственно на трансформатор, представляет большие неудобства. В самом деле, максимальная токовая защита от замыкания на землю, установленная на генераторе, приходила бы в действие при замыканиях на землю во всей сети, имеющей электрическую связь с генератором, и нужно было бы иметь ступенчатую выдержку времени, чтобы предотвратить неселективное действие защиты. Кроме того, при параллельной работе нескольких генераторов замыкание на землю на генераторных шинах или внутри одного из генераторов может повлечь за собой неселективное отключение исправных генераторов.

Поэтому для осуществления защиты от замыкания на землю при работе генератора на шины применяется специальная схема (фиг. 149) с использованием реле направления энергии (реле мощности). Нейтраль генератора заземляется через активное сопротивление $R_{защ}$, на клеммы которого включается трансформатор напряжения. В цепь заземления включается трансформатор тока (существуют схемы и без трансформатора тока), называемый нулевым. На выводах генератора устанавливаются три трансформатора тока, соединяемые по схеме Гольмгрина (стр. 33), называемые внешними.



Фиг. 149. Принципиальная схема защиты от замыкания на землю генератора, работающего на шины.

Вторичные обмотки внешних трансформаторов тока и нулевого трансформатора тока соединяются последовательно по схеме, аналогичной схеме включения трансформатора тока в диференциальной защите с циркулирующими токами. Токовая обмотка реле мощности присоединяется так же, как и у максимального токового реле в указанной диференциальной защите. Обмотка напряжения реле мощности соединяется со вторичной обмоткой трансформатора напряжения.

При нормальном режиме работы генератора, когда нет замыкания на землю, через заземляющее сопротивление и нулево

УДУНТ (ДІТ)

трансформатор тока не протекает никакого тока; значит на клеммах заземляющего сопротивления не будет и напряжения. Сумма вторичных токов внешних трансформаторов тока, соединенных по схеме Гольмгрина, будет также равна нулю. Поэтому через токовую обмотку реле мощности не будет протекать тока, а к обмотке напряжения не будет приложено напряжения. Реле под действием пружины будет держать свои контакты разомкнутыми.

Разберем, что произойдет в случае замыкания на землю обмотки генератора. Предположим, что замыкание произошло на выводе обмотки фазы *А* в точке *К*. Тогда фаза *А* окажется замкнутой через землю на установленное в нейтрали сопротивление. Через него будет протекать ток замыкания на землю, величина которого по закону Ома определится частным от деления напряжения на сопротивление, т. е.:

$$I_{зам} = \frac{U_ф}{R_{зам}},$$

где $I_{зам}$ — ток замыкания на землю в амперах;
$U_ф$ — фазовое напряжение генератора в вольтах;
$R_{зам}$ — заземляющее сопротивление в омах.

Если замыкание на землю произойдет не на выводе обмотки, а внутри генератора, тогда напряжение будет меньше, а следовательно, меньше и ток замыкания на землю.

На трансформаторе напряжения, присоединенном к заземляющему сопротивлению, будет такое же напряжение, как и у концов заземляющего сопротивления.

Ток замыкания на землю будет проходить и через нулевой трансформатор тока. Через внешние трансформаторы тока ток замыкания на землю протекать не будет, так как в рассматриваемом случае замыкание на землю произошло до них. В результате через токовую катушку реле будет протекать трансформированный ток замыкания на землю, а на катушку напряжения будет подаваться напряжение. Реле придет в действие и замкнет свои контакты.

Направление тока в нулевом трансформаторе тока выбирается таким, чтобы ток всегда действовал на реле в сторону срабатывания реле, т. е. замыкания контактов. На фиг. 149 это направление тока в реле принято от точки *а* к точке *б*.

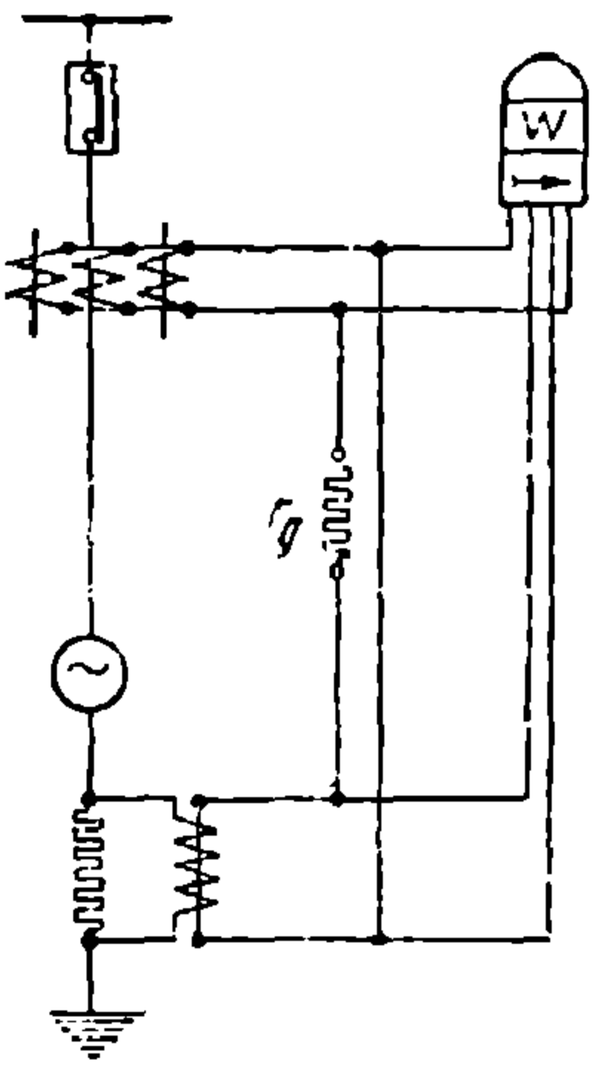
Если произойдет замыкание на землю той же фазы *А* за внешними трансформаторами тока схемы Гольмгрина, т. е. вне зоны защиты, то защита генератора не должна срабатывать, так как в противном случае замыкание на землю на любом фидере или шинах генераторного напряжения вызовет отключение генератора. Предположим, что замыкание на землю произошло в точке *М*. Тогда, как и в первом случае, через заземляющее сопротивление и нулевой трансформатор тока будет проходить ток замыкания на землю. Но так как заземление произошло за внеш-

УДУНТ (ДІТ)

ними трансформаторами тока, то очевидно, что через трансформатор тока фазы *А* будет проходить тот же ток замыкания на землю, что и через нулевой.

Коэфициенты трансформации трансформаторов тока внешних и нулевого выбираются такими, что при одном и том же первичном токе вторичный ток внешних трансформаторов примерно в 1,3—1,5 раза больше вторичного тока нулевого трансформатора. Значит, при одной и той же величине тока замыкания на землю вторичный ток внешних трансформаторов тока будет больше, чем нулевого.

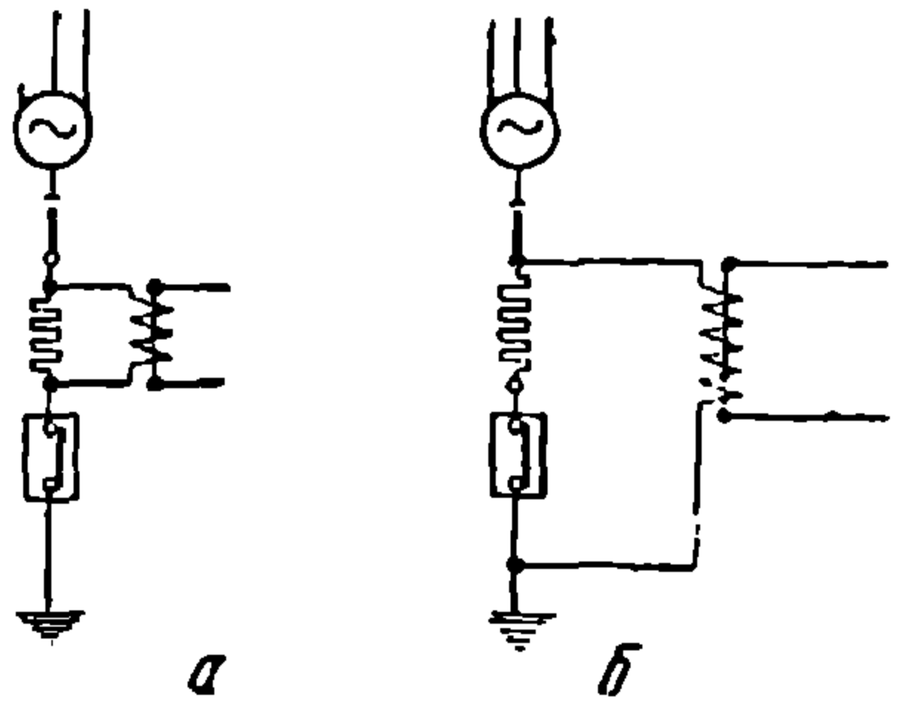
Тогда через обмотку реле будет протекать ток, равный разности вторичных токов внешнего и нулевого трансформаторов тока. Направление тока по обмотке реле будет уже другим — от точки *б* к точке *а*. Следовательно, этот ток вместе с неизменившимся, как и в первом случае (замыкание в зоне защиты), напряжением будет действовать на вращение реле в другую сторону и не даст реле замкнуть свои контакты.



Фиг. 150.

Таким образом реле мощности будет работать только при замыканиях на землю в зоне защиты (до внешних трансформаторов тока) и не будет реагировать на замыкания на землю вне этой зоны.

Вместо нулевого трансформатора тока выключающий ток для реле мощности можно получить и другим способом, используя напряжение на клеммах заземляющего сопротивления. Для этого внешние трансформаторы тока соединяются последовательно не с нулевым трансформатором тока, а с трансформатором напряжения через активное сопротивление $r_д$, обусловливающее необходимую величину отключающего тока (фиг. 150). Использование нулевого трансформатора напряжения вместо нулевого трансформатора тока позволяет легко регулировать ток в реле путем изменения величины сопротивления $r_д$. Присоединение нулевого трансформатора напряжения может быть осуществлено по одной из схем фиг. 151.



а *б*

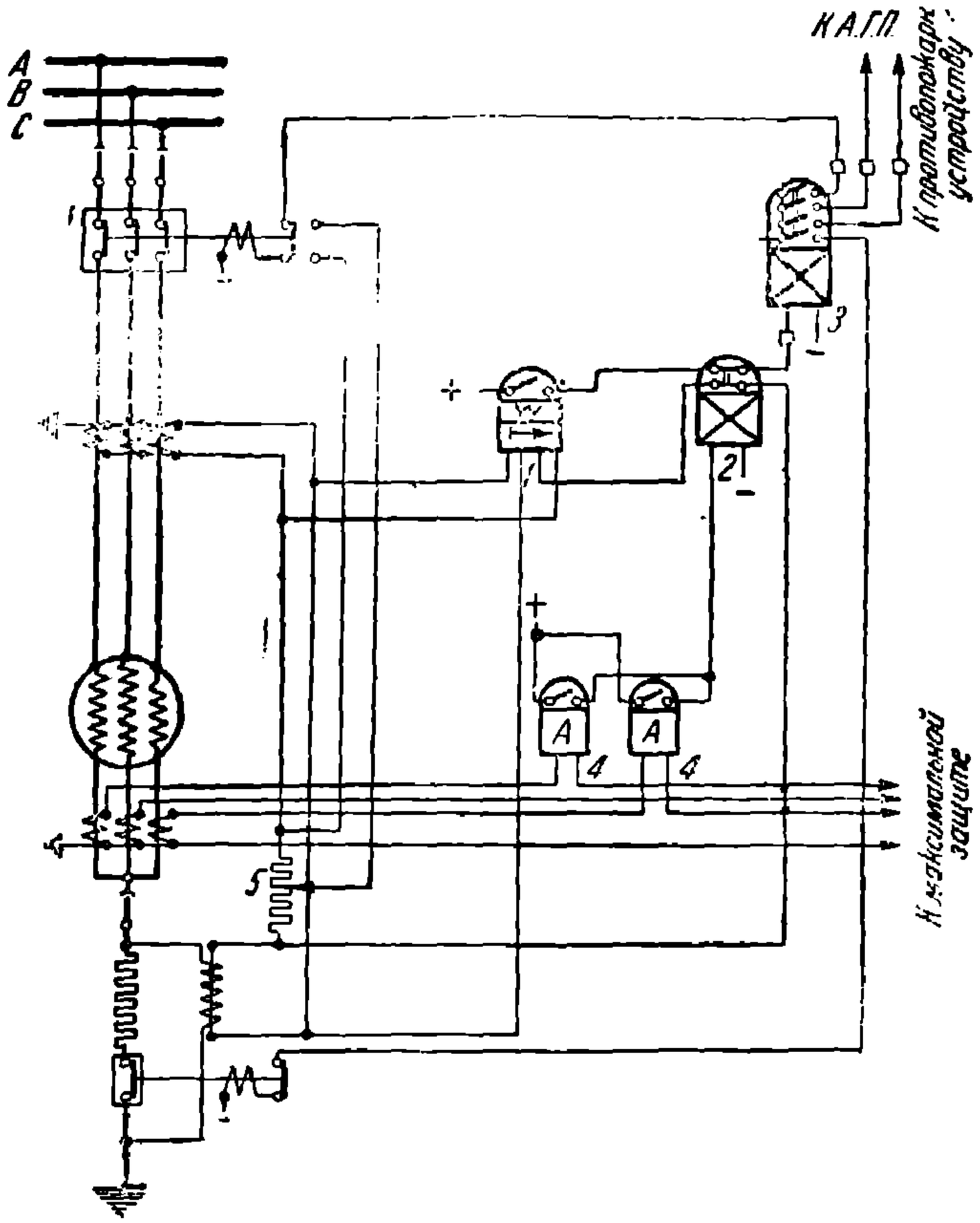
Фиг. 151. Схемы присоединения трансформатора напряжения защиты от замыкания на землю.

Схема фиг. 151, *б* имеет то преимущество, что нейтраль генератора остается заземленной через трансформатор напряжения при неправильном отключении нулевого выключателя. Это имеет значение с точки зрения защиты генератора от возможных перенапряжений при дуговых замыканиях

УДИНТ (ДПТ)

в сети, а также позволяет регулировать общую величину тока замыкания на землю параллельно работающих генераторов путем отключения нулевого выключателя.

В практическом выполнении схема защиты от замыкания на землю несколько усложняется (фиг. 152) следующими добавлениями:



Фиг. 152. Общая схема защиты от замыкания на землю генератора, работающего на шины.

а) Для увеличения чувствительности защиты при отключенном генераторном выключателе (например, при синхронизации) специальной блокировкой, осуществляемой на вспомогательных контактах этого выключателя, увеличивается отключающий ток путем замыкания части сопротивления *5*.

б) Для предотвращения неправильного действия защиты при двойных замыканиях на землю вне защищаемой зоны применяется блокировка, которая помощью специальных максимальных токовых реле *4* и промежуточного реле *2* выводит защиту из действия на время протекания тока короткого замыкания. Это осуществляется путем одновременного разрыва цепи постоянного тока и цепи напряжения реле мощности *1*. Необходи-

УДУНТ (ДІІТ)

мость такой блокировки вызывается следующим: внешние трансформаторы тока, соединяемые по схеме Гольмгрина, несмотря на их специальное изготовление, все же могут быть неидентичны и при одинаковых первичных токах давать неодинаковые вторичные токи. В результате этого сумма вторичных токов не будет равна нулю, и через реле потечет некоторый ток, называемый током небаланса. Ток небаланса, соответствующий нормальному рабочему току генератора, учитывается при расчете защиты. Его величина обычно не превышает 5—10 *ма*. При двойных замыканиях на землю вне защищаемой зоны первичные токи могут значительно превышать нормальные токи генератора. С увеличением первичных токов может значительно увеличиться и ток небаланса, и если не применять описанной блокировки, то пришлось бы понижать чувствительность защиты для предотвращения неселективного ее действия.

Ток троганья максимальных токовых реле принимается равным 1,7—2 от номинального тока генератора. Это позволяет при расчете защиты принимать ток небаланса соответствующим первичному току, не превосходящему 1,7—2 от номинального тока генератора, в то время как при отсутствии блокировки за расчетную величину тока небаланса пришлось бы принимать бо́льшую величину, соответствующую первичному току двойного замыкания на землю. Таким образом описанная блокировка позволяет улучшить чувствительность защиты.

Блокировка осуществляется, как указано выше, одновременным разрывом цепи постоянного тока и цепи напряжения реле мощности. Блокировка, осуществленная посредством разрыва только цепи постоянного тока или только цепи напряжения, не предотвращает неправильных действий защиты по следующим причинам.

Разрыв только цепи постоянного тока. При двойных замыканиях на землю реле мощности будет держать свои контакты замкнутыми, пока не будет отключено короткое замыкание. После его отключения цепь постоянного тока реле мощности, ранее прерванная блокировкой, может замкнуться раньше, чем отойдут замкнутые контакты реле мощности, и защита сработает неправильно.

Разрыв только цепи напряжения. При двойном замыкании на землю реле мощности может получить толчок мощности до того как разомкнется цепь напряжения, и реле мощности благодаря инерционному выбегу может замкнуть свои контакты даже при разрыве цепи напряжения.

При блокировке, осуществленной одновременным разрывом цепи постоянного тока и цепи напряжения, обязательным условием является отсутствие у реле мощности самохода от тока.

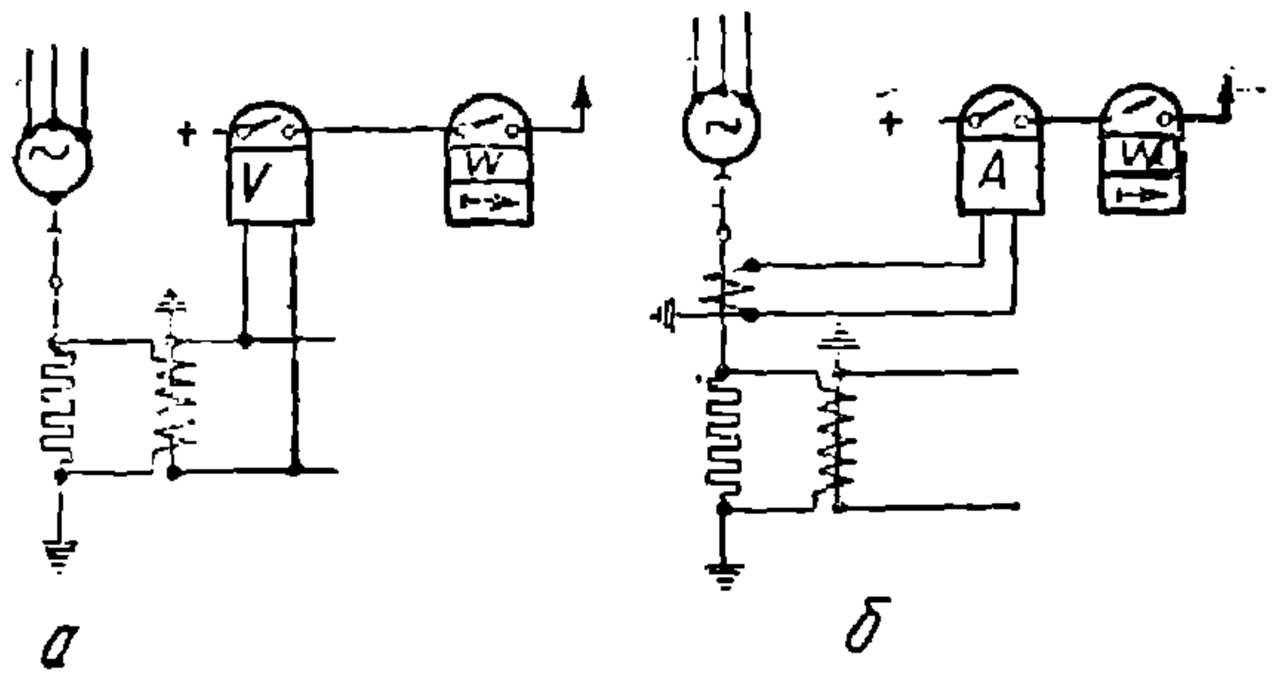
в) В качестве реле мощности в схеме фиг. 152 применяются обычно реле ИМ-43 и ИМ-143 ХЭМЗ. В эксплоатации наблюдались случаи замыкания контактов этих реле при механических сотрясениях. Это особенно относится к реле ИМ-43.

Для устранения этого дефекта, могущего вызвать неправиль-

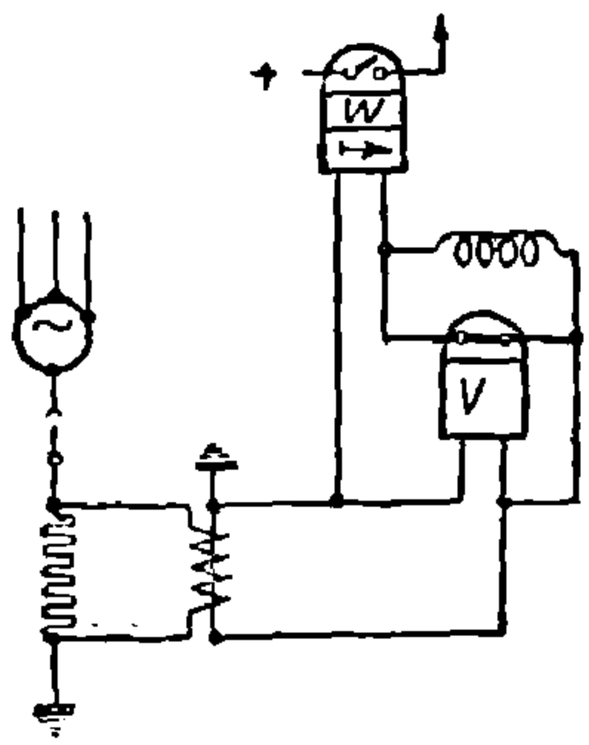
УДУНТ (ДІІТ)

ное отключение генератора, предусматривают специальную блокировку, заключающуюся в том, что плюс на контакты реле мощности подается лишь в случае наличия тока замыкания на землю. С этой целью заводят плюс, подаваемый на контакты реле мощности, через контакты реле, реагирующего на появление тока замыкания на землю. В качестве этих реле могут быть использованы чувствительные реле напряжения или максимальные токовые реле (фиг. 153).

г) Блокировка, предотвращающая неправильное действие защиты от механических сотрясений, обязательна для реле ИМ-43; для реле ИМ-143 она выполняется лишь в случае, если испытания на месте покажут возможность срабатывания реле от механических сотрясений.



Фиг. 153. Схема блокировки от механических сотрясений в защите от замыкания на землю.



Фиг. 154. Схема включения цепи напряжения реле типа ИМ-43.

Реле типа ИМ-43 после срабатывания могут вибрировать. Для того чтобы эта вибрация не оказывала влияния на работу защиты, промежуточное реле *3*, на которое действует реле ИМ-43, включается по схеме работы на прилипание.

д) Применяемое для защиты реле мощности ИМ-43 изготовляется обычно на напряжение 60 *в* (так как легче сделать более чувствительное реле на напряжение 60 *в* чем на 100 *в*). Вторичное напряжение нулевого трансформатора при замыкании на клеммах генератора составляет обычно 100—110 *в*. Вследствие этого в цепь напряжения реле мощности помощью реле максимального напряжения включается специальное индуктивное сопротивление (дроссель), снижающее напряжение до необходимой величины (фиг. 154).

Чувствительность защиты. Под чувствительностью защиты от замыкания на землю понимается отношение числа защищенных витков к общему числу витков фазы генератора.

При выбранной мощности троганья реле для действия защиты необходима определенная величина тока замыкания на землю и напряжения, подводимых к реле. Ранее уже указывалось, что величина тока замыкания на землю зависит от места повреждения обмотки, возрастая с увеличением расстояния от

УДУНТ (ДІТ)

нулевой точки генератора до места повреждения по направлению к выводам.

Защита начнет работать при замыкании на землю определенного числа витков, обусловливающих достаточную величину напряжения для создания необходимого тока замыкания на землю. Часть обмотки, соответствующая указанному числу витков, и является незащищенной. Остальная часть витков (защищенная), отнесенная к общему числу витков в фазе, будет выражать собой чувствительность защиты. Так как напряжение в обмотке генератора пропорционально числу витков, то практически чувствительность защиты можно определить, измеряя напряжение. Например, если при замыкании на землю в защищаемой зоне защита работает при 1 600 *в*, а напряжение генератора равно 6 300 *в*, то чувствительность защиты составит:

$$\frac{6\,300-1\,600}{6\,300}\cdot 100\approx 75\%.$$

Это значит, что защита будет защищать 75% всех витков генератора, а 25% останутся незащищенными.

Область незащищенных витков генератора называется мертвой зоной. Максимально допустимым числом незащищенных витков считается такое, при котором в случае замыкания на землю в мертвой зоне напряжение между замкнутой на землю точкой и нейтралью не превосходит 500 *в*.

Если это напряжение будет больше 500 *в*, то при замыкании на землю защита не будет работать, а в месте повреждения может возникнуть дуга. Допустимый процент незащищенных витков, например, для генераторов 3,15 *кв* определяется следующим образом:

$$\alpha=\frac{\frac{500}{\sqrt{3}\,150}}{\sqrt{3}}\cdot 100\approx 27\%.$$

Для генератора 6,3 *кв* $\alpha\approx 13\%$.

Для генератора 10,5 *кв* $\alpha\approx 8\%$.

Действие защиты. Защита (фиг. 151) действует на отключение генераторного выключателя, нулевого выключателя (если имеется) и автомат гашения поля. Кроме того, защита приводит в действие противопожарное устройство.

Применяемая аппаратура и реле. В качестве основных реле схемы фиг. 152 применяются следующие реле ХЭМЗ.

а) Реле максимальной мощности ИМ-143 и ИМ-43. Применявшиеся ранее реле РЗВ подлежат замене.

б) Максимальные токовые реле ЭТ-71.

в) В качестве блокирующего промежуточного реле 7 рекомендуется применять реле ЭП-400.

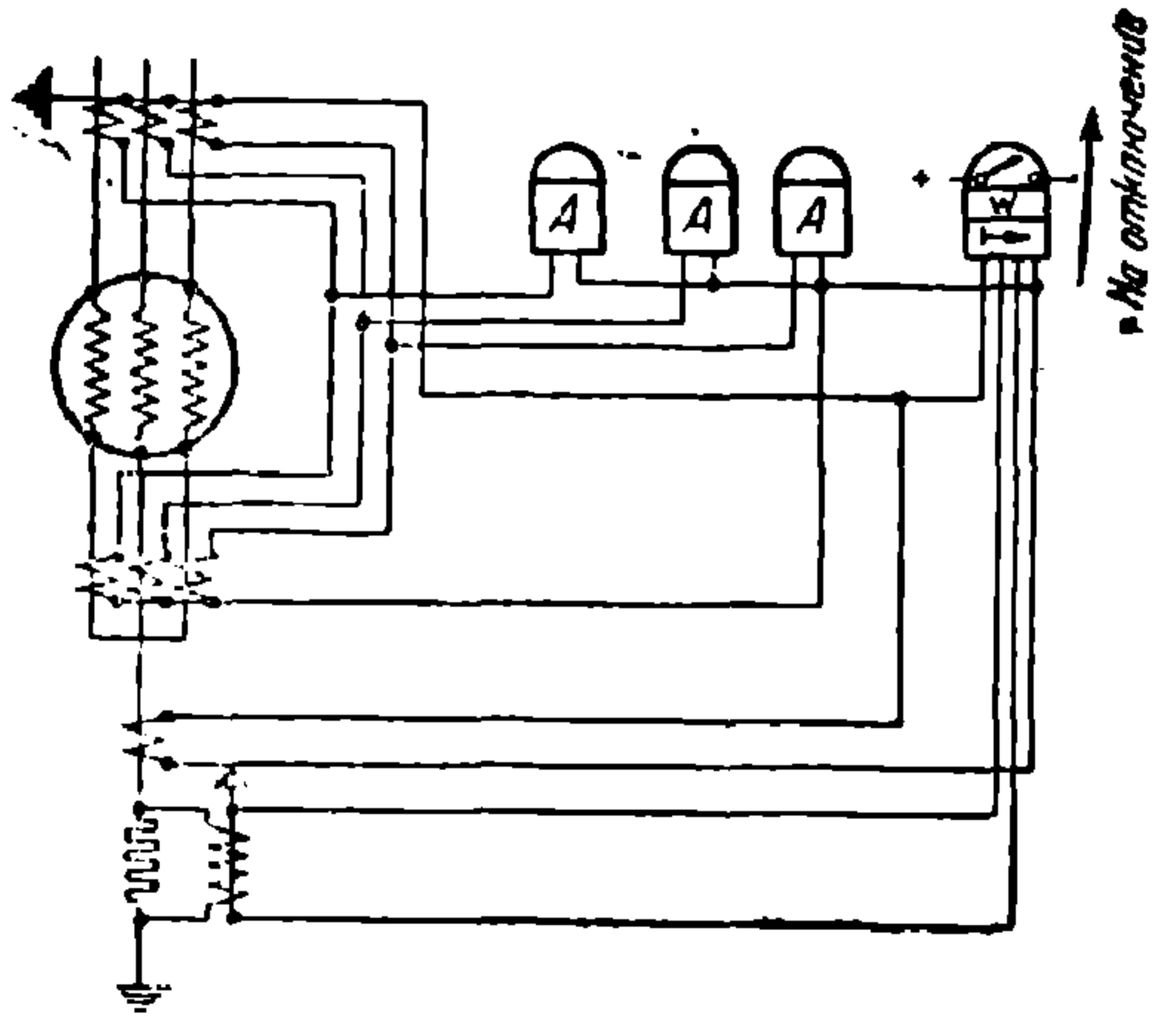
4. Заземляющее сопротивление, как правило, рассчитывается на длительное протекание полного тока замыкания на землю и поэтому при внешних замыканиях на землю не отключаются.

УДУНТ (ДІІТ)

Это делается для защиты генератора от перенапряжений, которые могут быть вызваны перемежающейся дугой на землю при изолированной нулевой точке системы (в случаях замыкания на землю вне защищаемой зоны).

Если сеть, на которую работает генератор, компенсирована, т. е. в ней установлены дугогасящие устройства, допускается установка заземляющего сопротивления, рассчитанного на кратковременное (порядка 30 сек.) протекание тока. Это заземляющее сопротивление должно автоматически отключаться через допустимое для него по условиям нагрева время нулевым выключателем.

Защита от замыкания на землю с использованием трансформаторов тока дифференциальной защиты. Для генераторов небольшой мощности с номинальным током до 400 а можно осуществить достаточно чувствительную защиту без специальных трансформаторов тока, включаемых по схеме Гольмгрина. В этом случае используются трансформаторы тока дифференциальной защиты. Токовая обмотка реле мощности включается в нулевой провод.



Фиг. 155. Схема защиты от замыкания на землю, с использованием трансформаторов тока дифференциальной защиты.

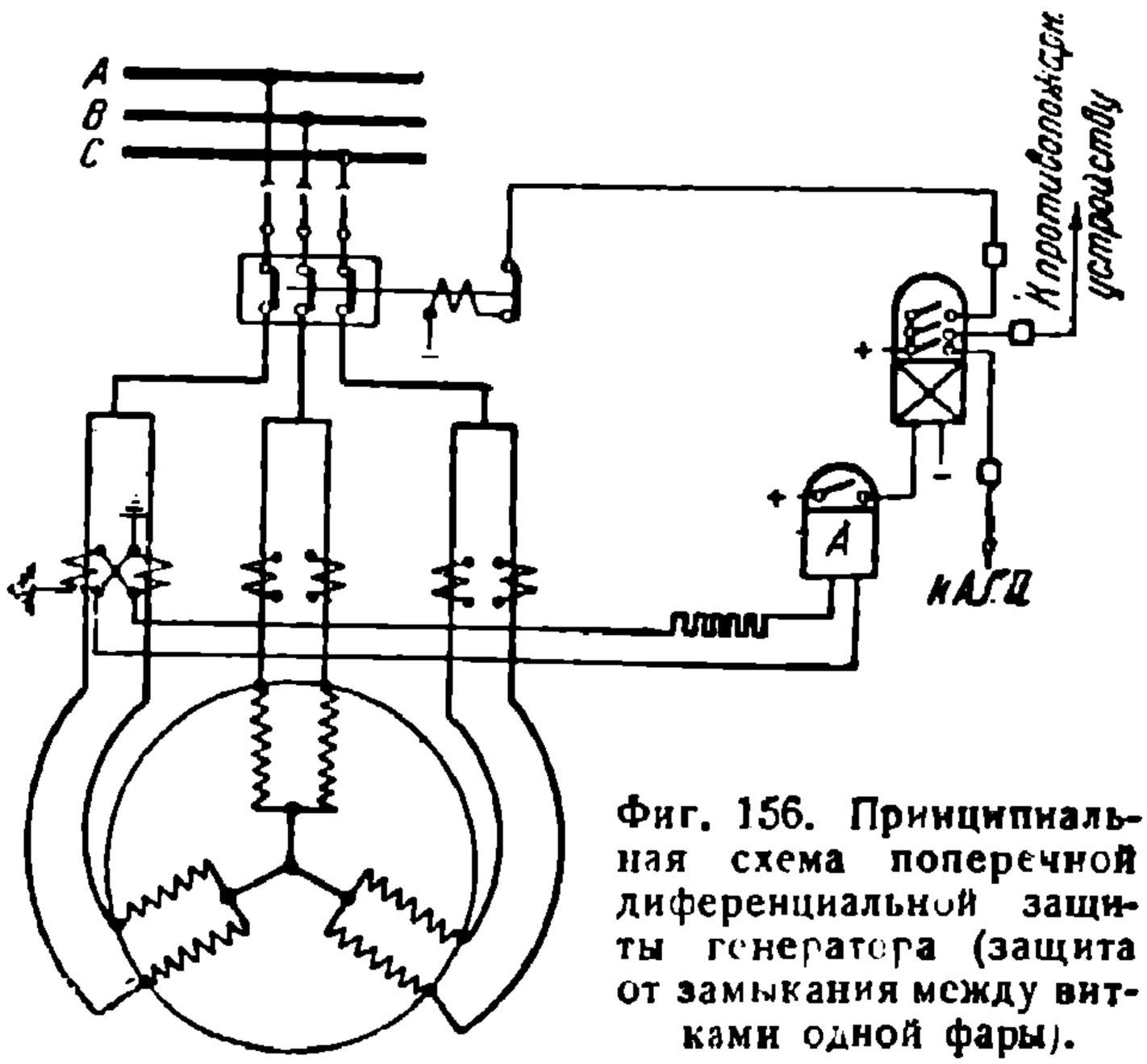
Схема защиты представлена на фиг. 155. В качестве реле мощности применяются реле ИМ-143 и ИМ-43.

3. Замыкание между витками одной фазы в цепи статора. Замыкание между витками одной фазы вызывает обычно значительные токи в цепи замкнутых витков. Возникающие при этом механические усилия и чрезмерный нагрев могут привести к коротким замыканиям и разрушению железа статора. Ввиду этого крайне желательна установка соответствующей защиты в особенности для генераторов с катушечной обмоткой. В генераторах со стержневой обмоткой междувитковые повреждения сравнительно редки. В настоящее время удовлетворительная защита от замыканий между витками одной фазы разработана только для генераторов с двумя параллельными обмотками в каждой фазе, поэтому только для таких генераторов и устанавливается эта защита.

На фиг. 156 представлена принципиальная схема защиты для одной фазы генератора с двумя параллельными обмотками, выполненная в виде поперечной дифференциальной защиты. Принцип ее действия описан в главе о защите линий («Защита двух параллельных линий», стр. 110). Трансформаторы тока с одина-

УДУНТ (ДІІТ)

ковыми коэфициентами трансформации устанавливаются в каждой фазе генератора и соединяются по принципу диференциальной защиты с циркулирующими токами. При замыкании части витков в какой-либо ветви через последнюю будет проходить больший ток, чем через другую ветвь, и защита сработает. Помимо защиты от замыканий между витками одной фазы она будет реагировать также на междуфазные короткие замыкания внутри генератора до выводов и поэтому может являться резервом продольной диференциальной защиты. В качестве реле используются максимальные токовые реле ЭТ-71. Защита должна действовать мгновенно. Выбор уставки тока троганья производится так же, как и для продольной диференциальной защиты. Защита действует на отключение генераторного выключателя, автомата гашения поля и приводит в действие противопожарное устройство.



Фиг. 156. Принципиальная схема поперечной диференциальной защиты генератора (защита от замыкания между витками одной фары).

32. НЕДОПУСТИМОЕ ПОВЫШЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Повышение напряжения на генераторе происходит обычно при внезапном сбросе нагрузки. В турбогенераторах напряжение повышается на 50-—60% выше номинального при сбросе полной нагрузки. Учитывая, что такое повышение напряжения современные генераторы могут выдерживать без опасности для пробоя изоляции и что установка защиты от повышения напряжения вызовет ненужные отключения генераторов при всяком значительном сбросе нагрузки, на турбогенераторах защиту от повышения напряжения не устанавливают.

На гидрогенераторах ввиду отсутствия быстродействующих регуляторов скорости повышение напряжения может быть значительно бо́льшим и достигать 2—2,5-кратного значения по отношению к номинальному. Поэтому для гидрогенераторов защита от повышения напряжения является обязательной.

Следует иметь в виду, что как при турбогенераторах, так и гидрогенераторах для предотвращения повышения напряжения при сбросе нагрузки рекомендуется такая схема, чтобы при от-

УДУНТ (ДІІТ)

ключении генератора от сети приходило в действие устройство для гашения поля генератора.

Защита от повышения напряжения осуществляется на гидрогенераторах помощью реле максимального напряжения, включаемого на линейное напряжение генератора. Напряжение трогания принимается равным 1,5 от номинального напряжения генератора, выдержка времени устанавливается мгновенной или 0,5 сек. Защита действует на отключение генераторного выключателя и автомат гашения поля.

33. ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ НЕПРАВИЛЬНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Несинхронное включение генератора на параллельную работу может вызвать опасный для обмотки генератора ток, во много раз превышающий номинальное значение. Для предотвращения этого генераторы должны снабжаться специальными реле или схемами, блокирующими цепь включения при отсутствии синхронизма генератора и системы, к которой он присоединяется.

Такие устройства, не только предотвращающие неправильную синхронизацию, но также позволяющие осуществить автоматическое включение, регулируя вручную частоту и напряжение, выпускает ХЭМЗ. На ряде установок в качестве защиты от неправильной синхронизации применяют максимальное токовое реле, настраиваемое на ток трогания, меньший номинального тока генератора, и действующее мгновенно на отключение генераторного выключателя.

Цепь отключения реле включается только на время синхронизации (например, при вставлении вилки синхронизации) и отключается после окончания операции синхронизации. Следует отметить, что эта защита не является достаточно удовлетворительной, так как она не предотвращает неправильной сихронизации, а лишь мгновенно отключает генератор при появлении сверхтоков. Генератор при неправильной синхронизации может оказаться поврежденным и при наличии указанной защиты.

34. ПОЖАР В ГЕНЕРАТОРАХ

При многих видах повреждений генераторов вследствие наличия горючих материалов, быстрого движения воздуха внутри генератора, а также горючести обмотки создаются условия для возникновения пожара, могущего причинить большие повреждения всей обмотке и железу генератора. Поэтому необходимо предусмотреть действие защит генератора от внутренних повреждений на автоматическое включение противопожарных устройств. В настоящее время завод Спринклер изготовляет автоматические углекислотные устройства, вводящие углекислый газ в камеру замкнутого цикла охлаждения генератора. До установки углекислотного устройства (изготовление их только начато) все генераторы с замкнутым циклом охлаждения должны быть оборудованы устройством для тушения пожара паром. С этой целью к генератору в камеру холодного воздуха подво-

УПУНТ (ДІТ)

дят пар давлением 3—5 *ат*. При этом должно быть обращено особое внимание на невозможность попадания пара в камеру генератора при нормальной эксплоатации. С этой целью подводящая труба (условным проходом 2—3″) должна быть снабжена тремя вентилями, из которых два всегда плотно закрыты, а средний (вестовой) всегда открыт.

Устройство для тушения пожара помощью пара приводится в действие вручную. Пар можно пускать только в том случае, если напряжение с генератора снято, притом обязательно открывая вентиль на срок не более 1 мин. и затем снова закрывая его. Турбина полностью не останавливается, а вращается примерно с 10% от нормального числа оборотов до ликвидации пожара во избежание прогиба ротора.

Генератор с проточной системой охлаждения снабжается плотным несгораемым шибером, закрываемым в случае возникновения пожара.

Пожар железа в генераторе представляет сравнительно редкий вид повреждений. Специальной защиты от этого вида повреждений не разработано. Имевшие место случаи пожара железа в генераторах иностранных фирм происходили вследствие порчи изоляции стяжных болтов.

35. ПОВРЕЖДЕНИЯ В ЦЕПИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Аварийность в цепи возбуждения генераторов является крайне большой. За последние три года этот вид повреждений составил в среднем около 50% от общего числа аварий с генераторами.

Все повреждения в цепи возбуждения, вызывающие нарушения нормального режима работы или необходимость отключения генераторов, в основном сводятся к следующим:

а) замыкание на землю в одной и двух точках цепи, возбуждения;

б) замыкание между витками обмотки возбуждения;

в) исчезновение напряжения.

1. Замыкание на землю в одной и двух точках цепи возбуждения. Замыкание на землю цепи возбуждения в одной точке опасно тем, что при последующем замыкании на землю во второй точке произойдет замыкание обмотки между двумя точками, т. е. витковое замыкание. Поэтому генератор с замыканием на землю в одной точке цепи возбуждения должен быть при первой возможности выведен в ремонт для устранения повреждения.

Замыкание на землю в одной точке может быть обнаружено при периодических замерах изоляции ротора (методом вольтметра или меггером). Для автоматического обнаружения заземления применяются различные схемы, основанные на принципе моста, применении постороннего источника тока и т. д.

На фиг. 157 представлен принцип действия схемы с применением постороннего источника тока. Один из полюсов *б* обмотки ротора заземляется через максимальное токовое реле *1*. В цепь

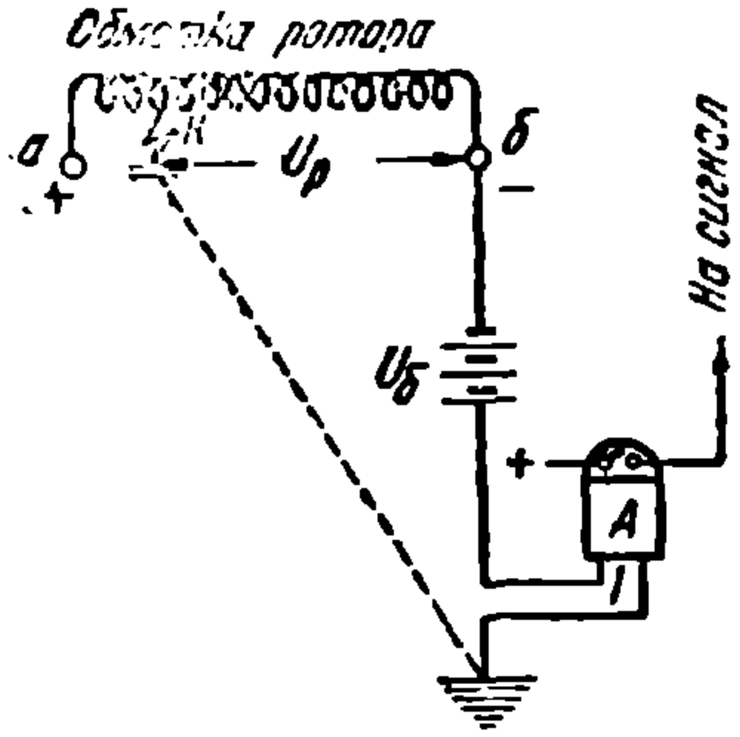
УДУНТ (ДІІТ)

заземления включается источник постоянного тока (например, батарея 20—40 *в*). При отсутствии замыкания на землю через реле *1* не будет протекать тока. При замыкании на землю, например, в точке *к*, часть обмотки ротора между точками *к* и *б* и батарея окажутся замкнутыми на сопротивление *r* обмотки реле *1*, через которую потечет ток, равный:

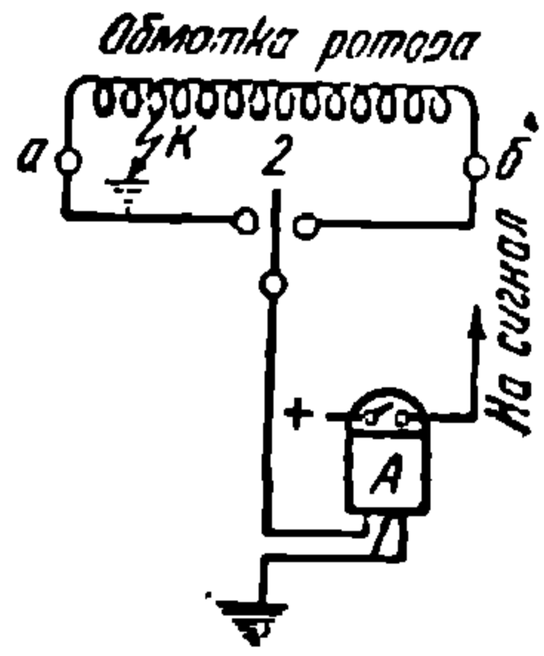
$$i_з = \frac{U_р + U_б}{r},$$

где $U_р$ — напряжение обмотки ротора между точками *к* и *б*;

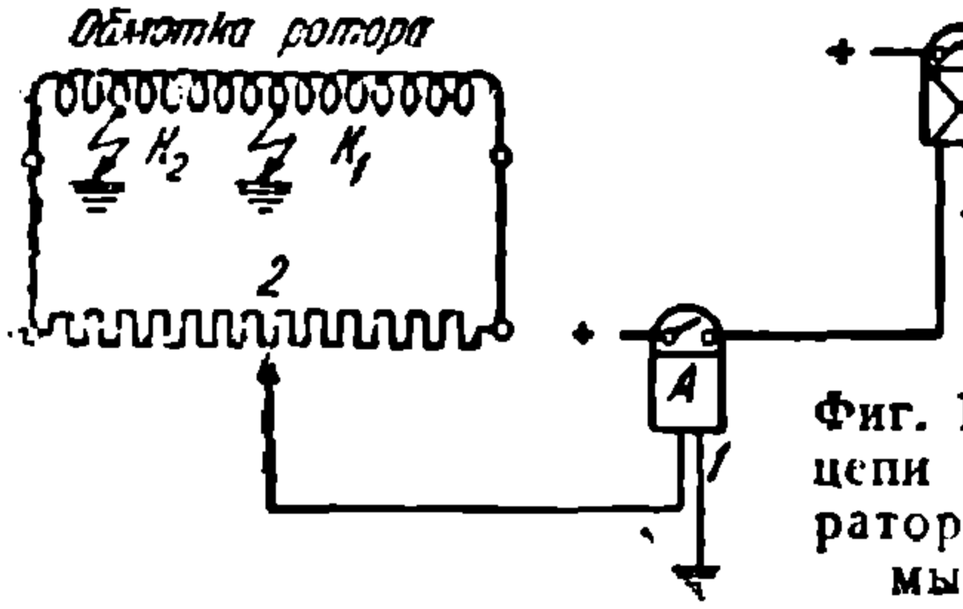
$U_б$ — напряжение батареи.



Фиг. 157. Принципиальная схема автоматического контроля замыкания на землю в цепи возбуждения генератора.



Фиг. 158. Принципиальная схема автоматического контроля замыкания на землю в цепи возбуждения генератора.



Фиг. 159. Схема защиты цепи возбуждения генератора от двойных замыканий на землю.

Реле *1* замкнет свои контакты и даст сигнал. Если замыкание произойдет в точке *б*, то обмотка реле *1* окажется замкнутой на напряжение батареи, и через реле потечет ток

$$i_з = \frac{U_б}{r}.$$

Таким образом данная схема работает при замыкании на землю в любой точке обмотки ротора, т. е. не имеет мертвой зоны.

На фиг. 158 представлен принцип действия схемы, в которой через определенный промежуток времени заземляются поочередно то один, то другой полюсы обмотки ротора. Заземление полюсов производится переключателем *2* через интервалы времени 1—2 мин. Принцип действия аналогичен принципу схемы фиг. 14.

Периодическое заземление полюсов устроено для того, чтобы схема работала при замыкании на землю в точках *а* и *б*. Например при замыкании на землю в точке *а* схема будет работать, когда положение переключателя *2* соответствует заземлению полюса *б*. В качестве переключателя применяют обычно специальную контактную шайбу, вращаемую моторчиком.

В случае если генератор с заземленной в одной точке обмоткой возбуждения не может быть немедленно выведен в ремонт, на нем устанавливается специальная, реагирующая на замыкание на землю во второй точке, защита, действующая на отключение

УДУНТ (ДІТ)

генератора. Схема такой защиты представлена на фиг. 159. Защита работает по принципу моста Витстона. К обмотке ротора приключается потенциометр *2*, движок которого заземляется через максимальное токовое реле *1*. Движок потенциометра должен быть установлен в то положение, при котором через реле не протекает тока. Это положение будет соответствовать замыканию на землю в первой точке *к1*, когда мост находится в равновесии. При появлении второго замыкания на землю в точке *к2* равновесие моста нарушится, через реле *1* потечет ток и защита сработает.

Потенциометр выбирается с сопротивлением порядка 50 *ом* для номинального напряжения возбудителя 115—125 *в* и с сопротивлением 100 *ом* для возбудителей 230—250 *в*. В качестве токового реле применяется реле ЭТ-71/0,1 или ЭТ-71/0,25.

Для нескольких генераторов может иметься лишь один комплект защиты от замыканий на землю в двух точках, присоединяемый к тому генератору, у которого обнаружено замыкание на землю в одной точке.

2. Замыкание между витками обмотки возбуждения. Замыкание между витками является обычно результатом замыкания на землю двух точек, поэтому специальной защиты, реагирующей на замыкание между витками без заземления, не устанавливается. Замыкание большого количества витков может вызвать заметные вибрации генератора, которые заметит дежурный персонал. При сильной вибрации генератор должен быть отключен от руки.

3. Исчезновение напряжения. Исчезновение напряжения может быть вызвано разрывом в цепи возбуждения или коротким замыканием между двумя полюсами возбуждения. В результате исчезновения напряжения генератор переходит в асинхронный режим. Признаками перехода в асинхронный режим являются: увеличение токов и переход в емкостный квадрант угла сдвига. Асинхронный режим для генератора опасен, так как при нем могут возникнуть следующие явления:

а) перегрев обмоток статора и ротора и демферных контуров;

б) в обмотке возбуждения могут наводиться слишком большие напряжения, опасные для обмотки;

в) механическое повреждение обмоток статора и ротора от больших токов.

Вследствие указанных причин необходима специальная защита, реагирующая на асинхронный режим работы генератора. До настоящего времени указанная защита, удовлетворяющая всем требованиям, не разработана, и переход генератора в асинхронный режим определяется только дежурным персоналом по показаниям измерительных приборов.

36. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГАШЕНИЯ ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ

При повреждении внутри генератора последний прежде всего должен быть отключен от сети. Однако этого еще недостаточно.

УДУНТ (СПТ)

Отключенный от сети, но вращающийся генератор, являясь источником энергии, будет продолжать питать место повреждения и поддерживать дугу.

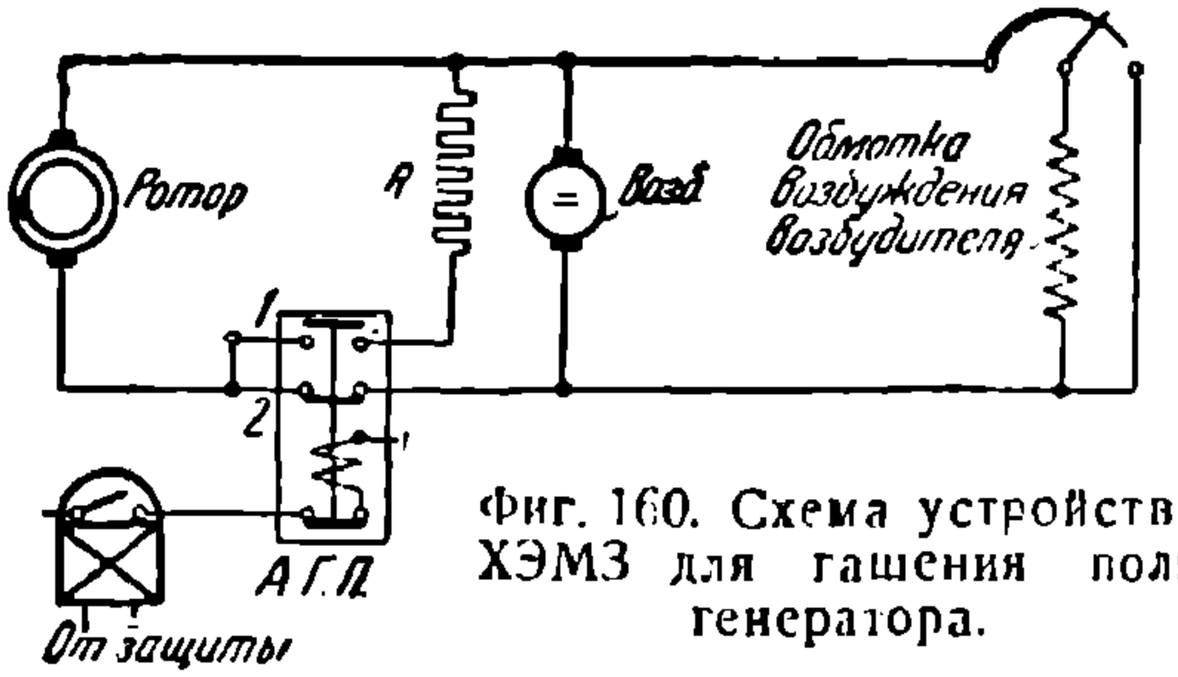
Для погашения дуги необходимо снять с генератора напряжение (точнее э. д. с.).

Как известно, напряжение в обмотке статора возбуждается магнитным полем ротора. Если поле ротора будет отсутствовать, напряжение на обмотке статора будет равно нулю. Устройство, гасящее поле ротора и тем самым снижающее напряжение статора, называется устройством для гашения поля генератора.

Основным требованием, предъявляемым к этому устройству, является снижение собственного напряжения генератора в кратчайший срок до величины, не могущей поддержать дугу. Напряжение, при котором дуга не поддерживается, принимается равным 500 *в*.

Наилучшим способом снятия напряжения является прекращение питания ротора возбудителем. Однако даже в этом случае в обмотке ротора остается настолько большой запас электромагнитной энергии, что является необходимым ее поглотить. В противном случае напряжение на обмотке статора будет слишком большим, а напряжение на обмотке ротора при прекращении питания от возбудителя может возрасти до пределов, опасных для обмотки. С этой целью ротор может быть замкнут на активное сопротивление, которое поглотит энергию в виде тепла.

Шунтовой регулятор



Фиг. 160. Схема устройства ХЭМЗ для гашения поля генератора.

Применяемая в настоящее время принципиальная схема гашения поля ХЭМЗ представлена на фиг. 160. При нормальной работе генератора рубильник *1* разомкнут, а рубильник *2* замкнут. При срабатывании защиты в целях предотвращения недопустимых перенапряжений на обмотке ротора первоначально замыкается рубильник *1*, а затем размыкается рубильник *2*, т. е. сначала ротор генератора замыкается на активное сопротивление, а затем разрывается цепь возбудителя. Вместо рубильников *1* и *2* применяется специальный автомат, к которому предъявляются особо жесткие требования в отношении надежности работы. Отключающая катушка автомата должна надежно действовать при 70% номинального напряжения. Рабочие контакты автомата рекомендуется серебрить.

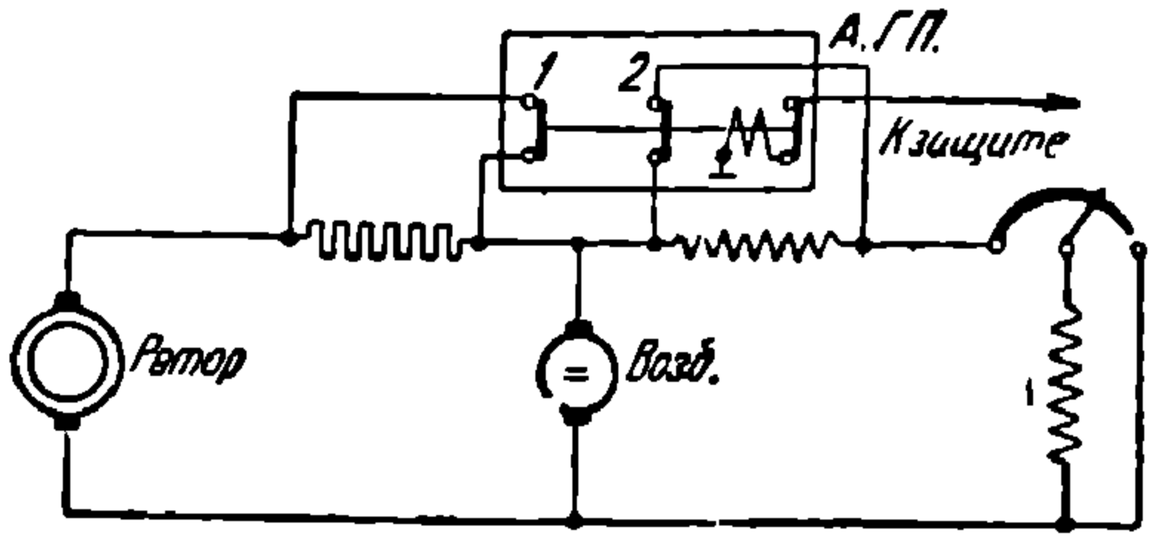
Величина гасительного сопротивления *R* определяется расчетом. Обычно величина *R* бывает в три-четыре раза больше активного сопротивления обмотки ротора в горячем состоянии.

Качество устройства для гашения поля оценивается временем гашения поля и остаточным напряжением.

УДУНТ (ДІТ)

Под временем гашения поля понимается то время, через которое междуфазное напряжение генератора снизится до величины, не поддерживающей горения дуги, т. е. до $500 \cdot \sqrt{3} = 866$ *в*. При этом предполагается, что генератор до гашения поля работал при номинальных параметрах.

Под остаточным напряжением понимается значение напряжения, остающегося на генераторе после окончания процесса гашения поля. При описанной схеме ХЭМЗ это значение составляет примерно 150—200 *в*. Экспериментальное определение времени гашения поля приводится в главе «Методы испытаний».



Фиг. 161. Схема устройства АЕГ для гашения поля генератора.

В существующих установках устройство для гашения поля бывает выполнено и по другим схемам. Наиболее распространенной из них является схема АЕГ (фиг. 161), при которой автомат гашения поля вводит одновременно сопротивления в цепь ротора и в цепь возбуждения возбудителя при одновременном размыкании рубильников *1* и *2*. Однако при этой схеме гашение поля происходит гораздо менее интенсивно, чем при схеме ХЭМЗ.

Устройство для гашения поля генератора должно приводиться в действие всеми защитами, производящими отключение генератора от сети. Это требование относится и к максимальной защите генератора с тем, чтобы предотвратить повышение напряжения на генераторе при сбросе нагрузки вследствие отключения генератора от сети.

37. ПРИМЕНЯЕМЫЕ ВИДЫ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ

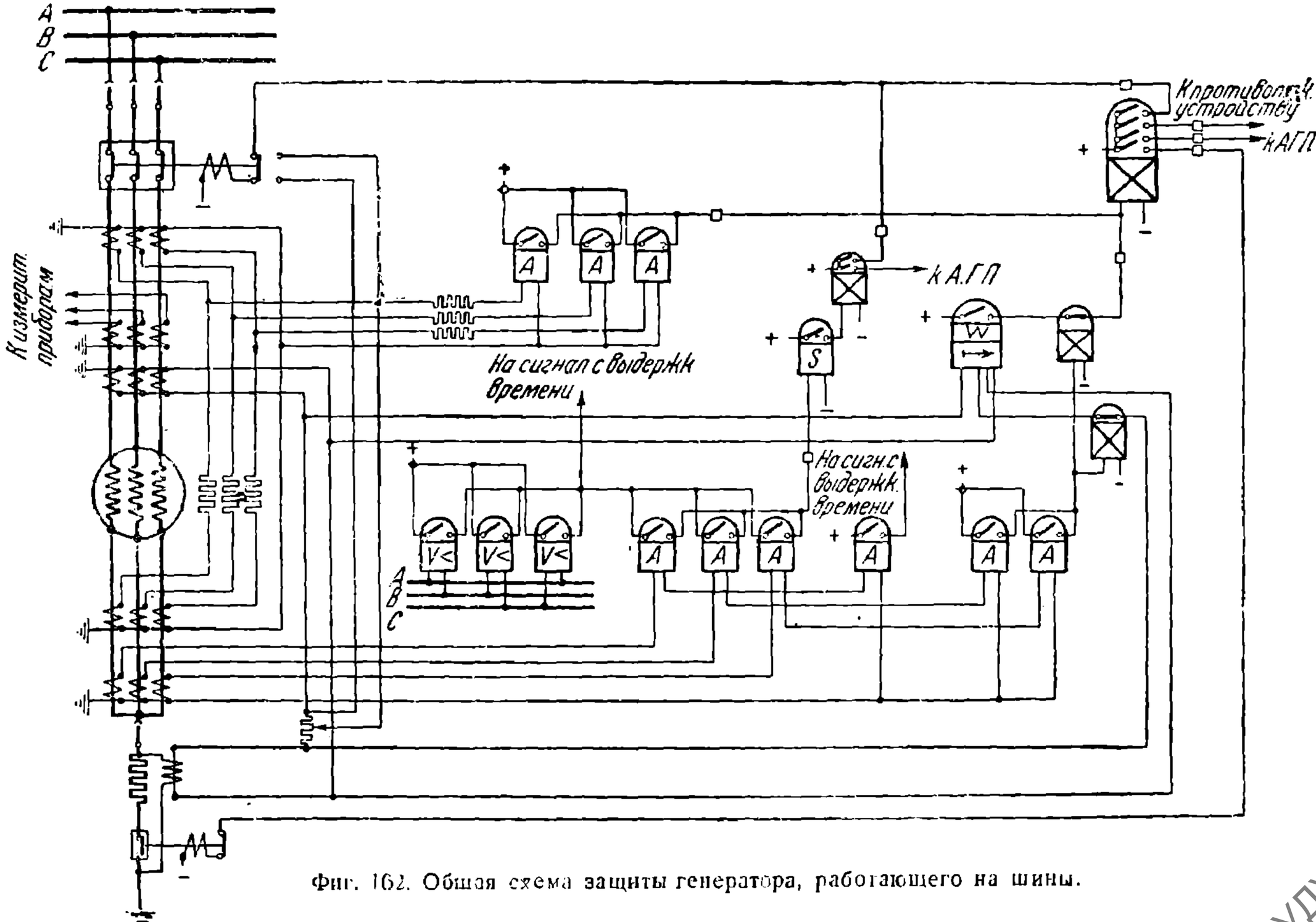
Из вышеизложенного следует, что на генераторах мощностью выше 1 000 *квт* устанавливаются следующие виды защитных устройств:

а) максимальная токовая защита от перегрузки;
б) защита минимального напряжения с токовой блокировкой;
в) диференциальная защита;
г) защита от замыкания на землю обмотки статора;
д) устройство для гашения поля генератора;
е) защита от двойных замыканий на землю обмотки возбуждения;
ж) противопожарное устройство.

На фиг. 162 представлена общая схема защиты генератора, работающего на шины [1].

[1] Защита обмотки возбуждения на схеме не показана.

УДУНТ (ДІІТ)



Фиг. 162. Общая схема защиты генератора, работающего на шины.

УДУНТ (ДІТ)

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

38. ОСНОВНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ И НЕНОРМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Трансформаторы, служащие для преобразования энергии одного напряжения в энергию другого напряжения, применяются почти во всех электрических установках. Мощность трансформаторов и степень их ответственности в системе могут быть весьма различны. В соответствии с этим и защита трансформатора выполняется по-разному.

Трансформаторы небольшой мощности имеют обычно более простую защиту.

В эксплоатации трансформаторов, как и генераторов, причинами нарушения нормального режима могут явиться перегрузка, вызываемая обычно внешними причинами, и внутренние повреждения различного характера.

Характер внутренних повреждений в значительной степени обусловлен конструктивными особенностями трансформаторов.

В трехфазных трансформаторах обмотки трех фаз находятся на разных сердечниках и разделены между собой большим слоем изоляционного масла, а в однофазных трансформаторах находятся даже в разных кожухах. Обмотки разных напряжений отделены друг от друга и от корпуса трансформатора сплошным слоем изолирующего материала. Поэтому пробой на корпус или на обмотку другого напряжения внутри кожуха трансформатора является крайне редким явлением. Значительно чаще может происходить замыкание между витками одной фазы, что и следует считать за основной вид повреждений внутри кожуха.

Причиной порчи изоляции обмоток внутри кожуха является обычно неправильная эксплоатация трансформаторов.

Порчу изоляции может вызвать чрезмерный нагрев обмоток от перегрузки или неисправности системы охлаждения (например, прекращение принудительной вентиляции, если таковая имеется), недопустимого понижения уровня масла (масло служит как для отвода тепла, так и для изоляции), попадания в масло воздуха (разъедание изоляции) и пр.

Помимо перегрузок и повреждений внутри кожуха трансформатора возможны также повреждения на наружных втулках, выводах и пр. Характер этих повреждений мало отличается от уже разобранных нами ранее повреждений в электрических установках.

Принцип защиты трансформаторов от повреждений внутри кожуха отличен от ранее разобранных защит. Здесь применяется особое газовое реле, основанное не на электрическом принципе. Защита трансформаторов от перегрузки и от коротких замыканий вне трансформатора (реагирующая, конечно, на короткие замыкания и внутри трансформатора) по своему принципу аналогична защите генератора.

УДУНТ (ДІІТ)

39. ПРИМЕНЯЕМЫЕ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

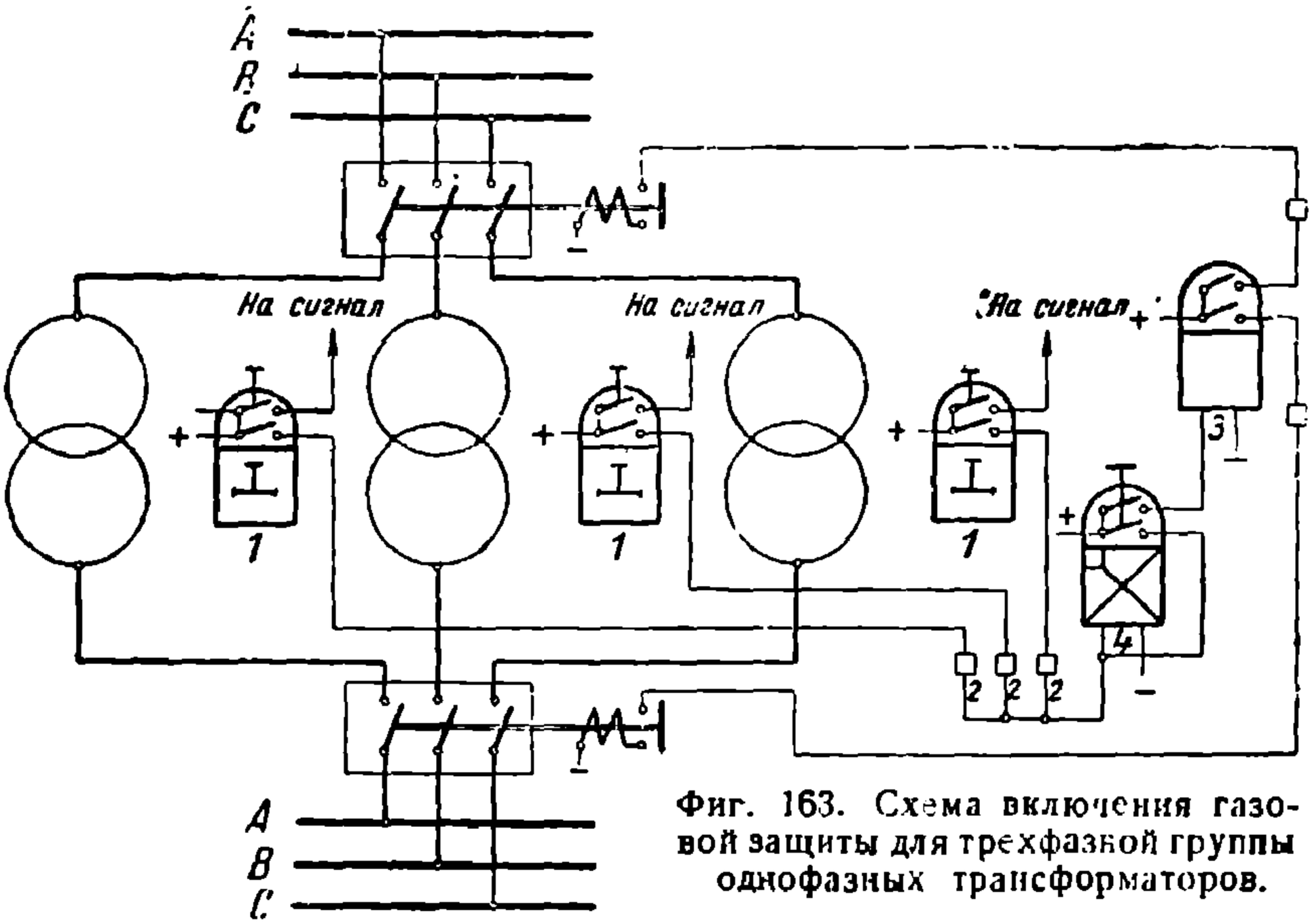
На трансформаторах устанавливаются следующие защиты:

Газовая защита от всех видов повреждений и ненормальных явлений внутри кожуха трансформатора: коротких замыканий, пожара железа, понижения уровня масла, попадания воздуха в масло. Устанавливается на трансформаторах мощностью 560 *ква* и выше.

Максимальная защита от перегрузки и от коротких замыканий. Устанавливается на всех трансформаторах.

Дифференциальная защита от двухфазных и трехфазных коротких замыканий в защищаемой зоне. Устанавливается на трансформаторах мощностью 1 000—3 200 *ква* и выше.

Защита от однофазных замыканий на землю. Устанавливается при наличии аналогичной защиты у питающего генератора.



Фиг. 163. Схема включения газовой защиты для трехфазной группы однофазных трансформаторов.

Сигнализация температуры масла. Устанавливается на трансформаторах мощностью 1 000—3 200 *ква* и выше.

Сигнализация прекращения охлаждения. Устанавливается на всех трансформаторах с искусственным охлаждением.

1. Газовая защита. Конструкции применяемых типов газовых реле и принцип их действия описаны на стр. 86.

Схема газовой защиты для трехфазной группы из трех однофазных трансформаторов показана на фиг. 163. Схема состоит из двух самостоятельных цепей: цепи отключения и цепи сигнала.

При замыкании верхнего контакта газового реле *1* защита действует на сигнал. При замыкании нижнего контакта через блинкер *2* действует промежуточное реле *4*.

УДУНТ (ДІІТ)

У блинкера аварийного трансформатора выпадает флажок показывая, какой из трех трансформаторов поврежден, а реле *4* замыкает оба контакта. Нижним контактом реле *4* питает само себя, а верхним действует на промежуточное реле *3*, которое производит отключение обоих выключателей трансформаторной группы. Включение промежуточного реле *4* по схеме «на прилипание» является обязательным, потому что, как показывает опыт, замыкание контактов отключающего поплавка газового реле в некоторых случаях происходит на очень малое время, не достаточное для отключения выключателей. При помощи самоблокировки реле *4* улавливает эти кратковременные замыкания контактов и дает длительный импульс на отключающее реле *3*.

Для возвращения реле *4* в начальное положение, необходимо выпустить газ из реле *1* поврежденного трансформатора через верхний краник и нажать кнопку реле *4*.

Основными достоинствами газовой защиты являются следующие:

а) Защита реагирует на повреждение в самой первоначальной стадии его образования, когда никакая другая защита, реагирующая на изменение электрических величин (тока, напряжения и т. п.), не действует.

б) Защита позволяет ориентировочно по выделившимся газам определить характер повреждения, не вскрывая кожуха трансформатора.

в) Защита отличается простотой конструкции и незначительной стоимостью.

Газовая защита устанавливается на силовых трансформаторах 560 *ква* и выше, а также на измерительных трансформаторах напряжением 110 *кв* и выше.

2. Максимальная защита. На трансформаторах мощностью 180 *ква* и ниже, если позволяют условия селективности, допускается осуществление максимальной защиты помощью плавких вставок.

Плавкие вставки со стороны питания (на стороне высшего напряжения) предназначаются для защиты от коротких замыканий и выбираются на ток не ниже двухкратного номинального тока трансформатора. Плавкими вставками на стороне низкого напряжения трансформатор защищается от перегрузки. В остальных случаях максимальная защита осуществляется помощью реле. Разберем в отдельности защиту от перегрузки и коротких замыканий.

Защита от перегрузки. Для трансформаторов в зависимости от температуры окружающего воздуха, а также предварительной загрузки, может быть допущена определенная кратковременная перегрузка, которая не вызовет порчи изоляции и сокращения срока службы трансформатора.

Однако следует иметь в виду, что трансформаторы в отличие от генераторов в большинстве своем выполнены для работы с номинальной мощностью с учетом годовых колебаний темпе-

УДУНТ (ДПТ)

ратуры окружающего воздуха. Это значит, что нельзя трансформатор поставить в такие условия, чтобы он работал с номинальной мощностью постоянно при температуре окружающего воздуха +35° С, тогда его нормальный срок службы значительно сократится.

Учитывая это, допускают перегрузки трансформаторов, главным образом, за счет предшествующих неполных нагрузок в условиях эксплоатации. Возможность перегрузки трансформаторов должна быть использована в эксплоатации, тем более в аварийных условиях. Например, при параллельной работе нескольких трансформаторов и отключении одного из них остальные должны остаться в работе, несмотря на их кратковременную перегрузку, впредь до принятия персоналом мер к разгрузке трансформаторов. В этих целях защита трансформаторов от перегрузки, как и у генераторов, устанавливается с действием на сигнал.

Применяемое для защиты максимальное токовое реле включается в одну из фаз и через реле времени действует на сигнал.

Ток трогань я и выдержка времени устанавливаются так же, как и в защите генераторов (стр. 123). В установках, не обслуживаемых персоналом непрерывно (например, на подстанциях с дежурством на дому) для защиты трансформаторов от перегрузки целесообразно устанавливать специальные тепловые реле, действующие на отключение перегруженного трансформатора и включение резервного или при отсутствии последнего на отключение менее ответственных фидеров.

Защита от коротких замыканий. Для защиты трансформатора от сквозных коротких замыканий (резервирование защиты остальных элементов системы) применяется максимальная токовая защита, выполненная по схемам, подобным схемам, которые применяются для защиты линий. Максимальные реле присоединяются к трансформаторам тока, устанавливаемым на стороне питания трансформатора, с тем, чтобы максимальная защита защищала от коротких замыканий в самом трансформаторе. При наличии трансформаторов тока для другой защиты, например дифференциальной, последние могут быть использованы также и для максимальной защиты.

Ток трогань я максимальной защиты устанавливается из такого расчета, чтобы защита не производила отключения параллельно работающих трансформаторов в случае аварийного отключения одного из них.

Таким образом если на станции работают параллельно два или несколько трансформаторов одинаковой мощности, ток трогань я каждого из них выбирается следующим образом:

$$i_{pm} = \frac{k_н}{k_в} \cdot \frac{I_{ном}}{n_m} \cdot \frac{m}{m-1},$$

где i_{pm} — ток трогань я максимального реле;

$k_н$ — коэфициент надежности;

УДУНТ (ДІІТ)

$k_в$ — коэфициент возврата реле;

$I_{ном}$ — номинальный ток трансформатора;

m — число параллельно работающих трансформаторов.

Коэфициент надежности $k_н$ принимается обычно равным 1,05—1,15. Для трансформаторов собственного расхода этот коэфициент надежности должен быть значительно увеличен с тем, чтобы не произошло отключения трансформатора от пусковых токов моторов, и может дойти до значений 2—3. Выдержка времени выбирается из условий селективности системы.

При указанном выше методе выбора токов трогань я может получиться, что максимальная защита не будет реагировать на короткие замыкания за трансформатором, так как токи короткого замыкания будут меньше тока трогань я защиты. В этом случае вместо обычной максимальной защиты применяют схему защиты минимального напряжения с токовой блокировкой, подобную описанной выше схеме для защиты генератора (стр. 128). Ток трогань я токовых реле выбирают без учета параллельной работы трансформаторов (т. е. значительно меньшим).

В этом случае, если произойдет перегрузка трансформатора, не сопровождающаяся понижением напряжения, защита не произведет отключения трансформатора, но благодаря уменьшению тока трогань я токовых реле будет реагировать на короткие замыкания, сопровождающиеся понижением напряжения.

Выдержка времени выбирается из условий селективности защиты всей системы. Для трансформаторов, питающихся с главных шин станции и имеющих диференциальную защиту, иногда устанавливают два реле времени с разными выдержками. С меньшей выдержкой времени отключается выключатель с приемной стороны, с большей выдержкой времени — выключатель с питающей стороны. Это делается для того, чтобы в случае действия защиты при сквозных коротких замыканиях трансформатор оставался под напряжением и персонал мог бы произвести обратное включение более быстро. Схема максимальной защиты двухобмоточного трансформатора представлена на фиг. 164.

Реле *1* служит для защиты от перегрузки и действует через реле времени *3* на сигнал. Промежуточное реле *6* включено по схеме на прилипание.

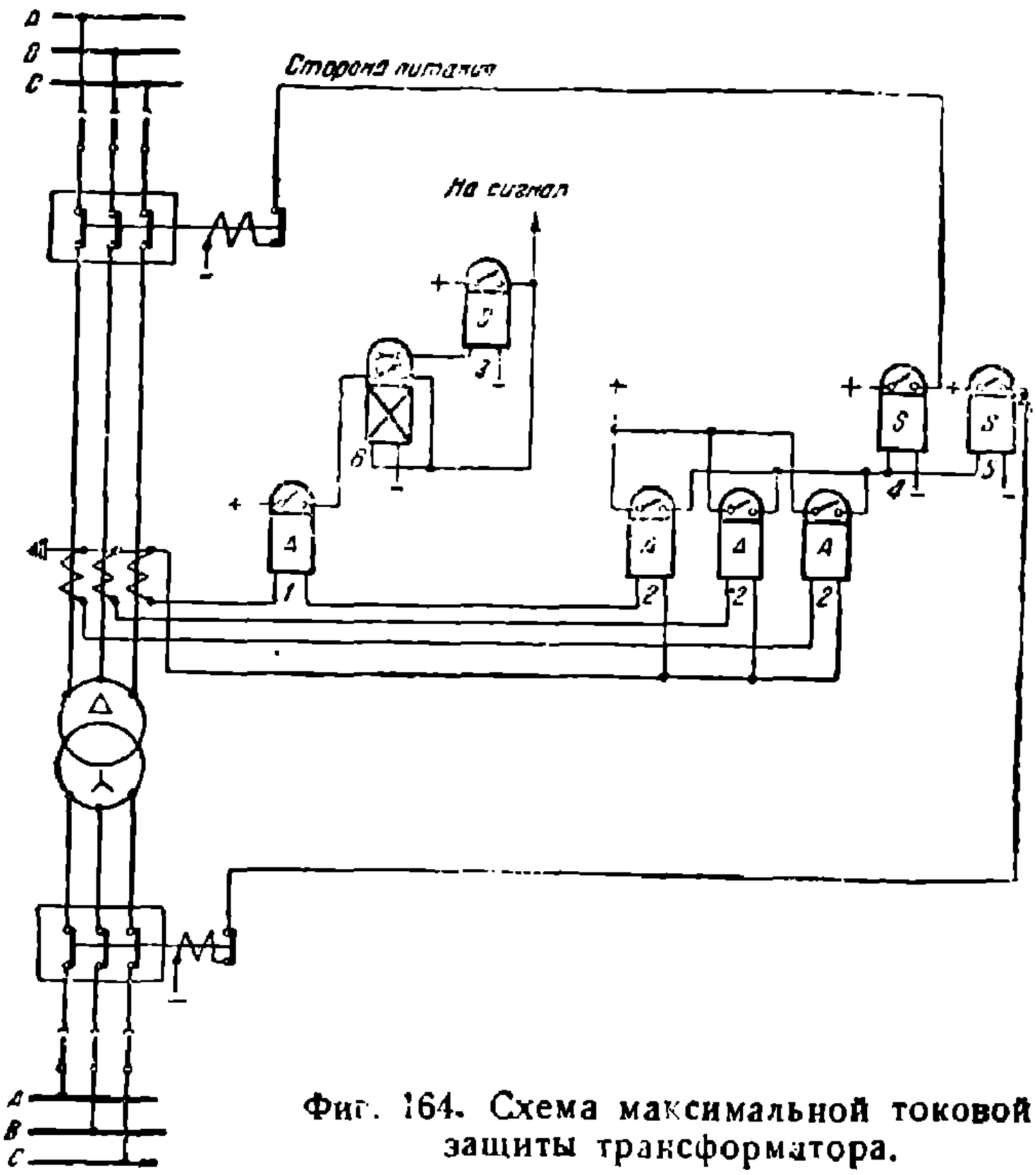
Реле *2* действуют одновременно на два реле времени *4* и *5*. Реле времени *4*, действующее на отключение выключателя со стороны питания трансформатора, имеет выдержку времени на одну ступень большую, чем реле *5*.

В качестве реле *1* применяется реле ЭТ-71, реле *2* — независимые или зависимые токовые реле. В ряде случаев для ускорения отключения трансформатора при повреждении со стороны питания применяют максимальную токовую защиту с отсечкой, принцип действия которой описан в главе «Защита сетей» (стр. 98).

В сетях с заземленной нейтралью максимальная защита реагирует на все виды коротких замыканий.

УДУНТ (ДПІТ)

3. Диференциальная защита. Газовая защита, устанавливаемая на трансформаторах, реагирует на все виды повреждений внутри кожуха трансформатора, связанные с выделением газа или воздуха. Эта защита не реагирует на междуфазные короткие замыкания на втулках трансформатора. Для защиты от таких повреждений устанавливается диференциальная защита, которая будет действовать также при коротких замыканиях внутри трансформатора. В защищаемую зону защиты желательно включать помимо самого трансформатора еще и кабели или шины на участке от трансформатора до выключателей с тем, чтобы отключать повреждения в большей зоне в наикратчайший срок.



Фиг. 164. Схема максимальной токовой защиты трансформатора.

Диференциальная защита трансформаторов имеет свои особенности, отличающие ее от аналогичной защиты генераторов и линий.

Как известно, для того чтобы при нормальном токе нагрузки в реле не протекало никакого тока, необходимо, чтобы трансформаторы тока, попарно установленные на каждой из фаз, имели одинаковые характеристики, т. е. при определенном значении первичного тока вторичные токи были бы равны.

В диференциальной защите генератора это сделать гораздо легче, так как устанавливаемые трансформаторы тока берутся с одинаковыми коэфициентами трансформации и на одно и то же напряжение.

УДУНТ (ДІІТ)

В защите трансформаторов дело обстоит несколько иначе. Вследствие того что токи на первичной и вторичной сторонах трансформатора разнятся между собой по величине, то и трансформаторы тока также берутся разных конструкций — не с одинаковыми коэфициентами трансформации. Поскольку приходится выбирать трансформаторы тока стандартного типа, не всегда удается выдержать равенство вторичных токов.

Пример. Предположим, мы имеем силовой трансформатор мощностью 10 000 *ква* с коэфициентом трансформации 6 300/115 000 *в*, обмотки которого соединены в звезду.

Номинальный ток на стороне 6 300 *в* будет равен:

$$I_{6,3} = \frac{10\,000}{6{,}3 \cdot \sqrt{3}} = 918 \ a;$$

на стороне 115 000 *в*:

$$I_{115} = \frac{10\,000}{115 \cdot \sqrt{3}} = 50$$

На стороне 6,3 *кв* выбираем ближайший стандартный тип трансформаторов тока с коэфициентом трансформации 1 000/5 *а*, а на стороне 115 *кв* — с коэфициентом трансформации 50/5 *а*.

Тогда при номинальном токе трансформатора мы будем иметь следующие вторичные токи:

на стороне 6,3 *кв*:

$$i_{6,3} = \frac{918}{200} \approx 4{,}6 \ a;$$

на стороне 115 *кв*:

$$i_{115} = \frac{50}{10} = 5 \ a.$$

Как мы видим, вторичные токи уже не равны между собой, и поэтому при номинальном первичном токе трансформатора в реле будет протекать ток, равный разности вторичных токов трансформатора тока, т. е.

$$i_{реле} = 5 - 4{,}6 = 0{,}4 \ a.$$

Однако не только разобранная выше причина может вызвать неравенство вторичных токов (ток небаланса).

Обмотки высшего и низшего напряжений силового трансформатора могут иметь различные схемы соединений. Тогда ток, проходя через силовой трансформатор, претерпевает сдвиг, т. е. токи на первичной и вторичной сторонах трансформатора не будут совпадать по фазе. Это также обусловит неравенство и несовпадение по фазе вторичных токов. Необходимо этот сдвиг компенсировать или соответствующим включением вторичных обмоток трансформаторов тока или каким-либо устройством. Необходимо еще отметить, что в обмотку силового трансформатора со стороны питания помимо тока нагрузки будет протекать ток намагничивания, который также будет создавать нера-

УДУНТ (ДІІТ)

венство вторичных токов. Уравнивание вторичных токов как по величине, так и по фазе может быть достигнуто различными способами:

а) Возможна установка специального промежуточного трансформатора, описанного на стр. 36, путем подбора необходимого для компенсации числа витков и соответствующего соединения обмоток. Промежуточные трансформаторы установлены на многих трансформаторах, однако на новых установках они больше не применяются.

б) Можно установить во вторичной цепи трансформаторов тока автотрансформаторы, которые уравнивают вторичные токи по величине (стр. 37). В этом случае выравнивание по фазе производится соответствующим включением обмоток трансформаторов тока. Так, например, если имеется силовой трансформатор со схемой соединения звезда-треугольник, то трансформаторы тока на стороне звезды соединяются в треугольник, а на стороне треугольника — в звезду.

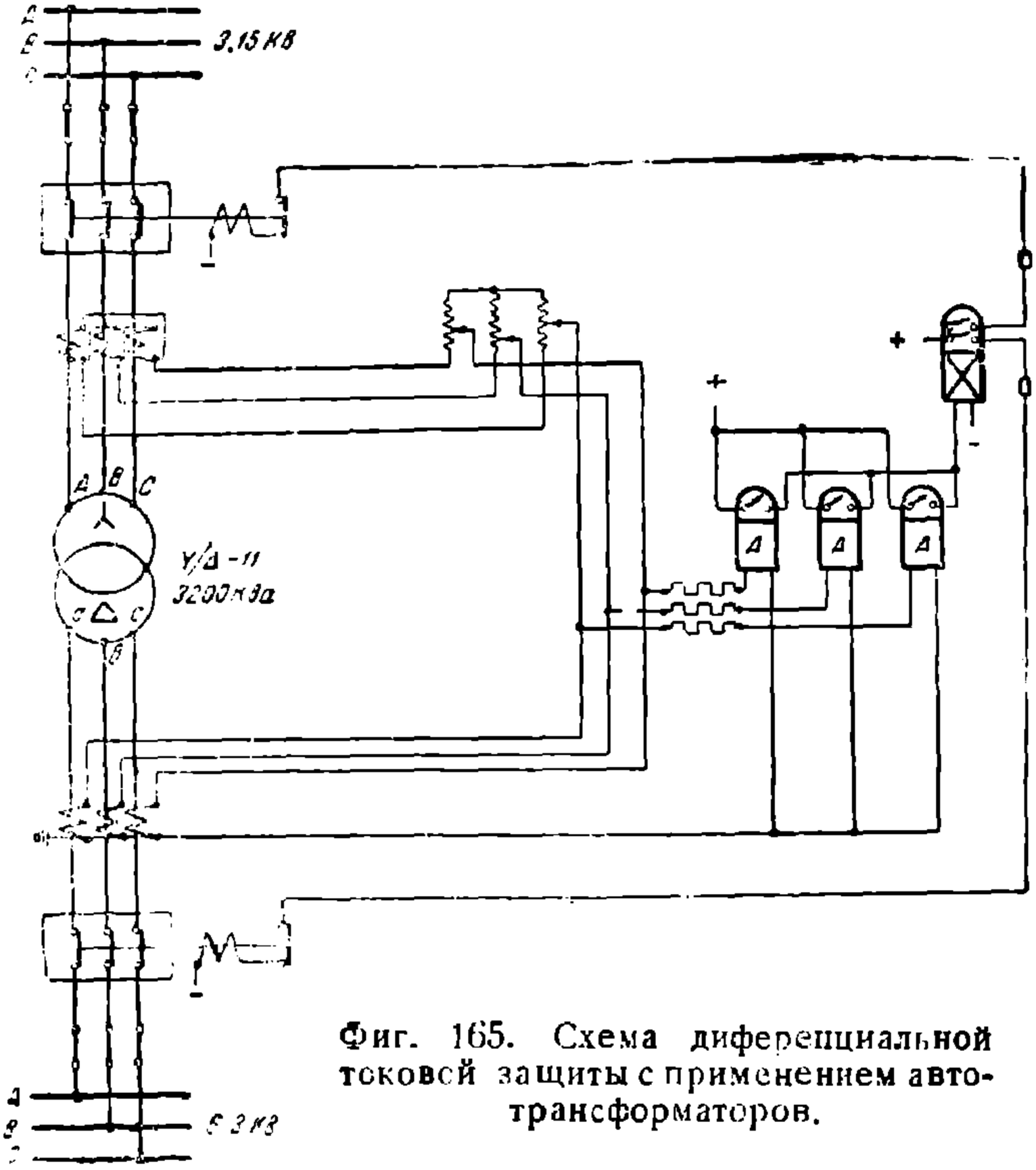
в) В ряде случаев выбирают коэфициент трансформации трансформаторов тока не соответствующим номинальному току силового трансформатора, что позволяет грубое уравнивание вторичных токов между собой произвести выбором соответствующего коэфициента трансформации. Например, в случае соединения силового трансформатора звезда-треугольник, как уже указывалось, трансформаторы тока для выравнивания фаз соединяются на стороне звезды в треугольник, а на стороне треугольника — в звезду. Соединение трансформаторов тока в треугольник вызовет увеличение вторичных линейных токов в $\sqrt{3}$ раз. Применив в этом случае трансформаторы тока не на номинальный ток, а в $\sqrt{3}$ раз больший, мы тем самым уменьшим вторичный ток в $\sqrt{3}$ раз и компенсируем получившееся увеличение его благодаря соединению вторичных обмоток в треугольник.

Следует также отметить, что при использовании для дифференциальной защиты маломощных трансформаторов тока, например бушинговых (встроенных во втулки выключателей), в целях повышения точности их работы рекомендуется не применять коэфициент трансформации ниже 150/5 — 200/5. Кроме того, для увеличения их мощности рекомендуется соединять трансформаторы тока последовательно (стр. 237).

Еще одной особенностью трансформатора, влияющей на его защиту, является ток намагничивания. В момент включения трансформатора, при повышении напряжения на клеммах трансформатора по сравнению с нормальным, а также при восстановлении напряжения в системе после отключения короткого замыкания (т. е. во всех случаях изменения магнитного состояния трансформатора), ток намагничивания, протекающий через одну обмотку силового трансформатора, может достигнуть значительной величины и тем самым создать большой небаланс вторичных токов. Например, при включении трансформатора удар-

УДУНТ (ДІТ)

ный ток намагничивания может достигнуть 10—12-кратного значения от номинального тока трансформатора, в то время как в нормальных условиях работы трансформатора этот ток не превышает 5—6% от номинального тока. Для предотвращения неправильных отключений в защите устанавливают выдержку времени, применяют реле, имеющие выдержку времени (реле транслей) или специальные реле, выводящие защиту из работы при режимах, сопутствующих появлению больших токов намагничивания.



Фиг. 165. Схема диференциальной токовой защиты с применением автотрансформаторов.

Основными схемами диференциальной защиты трансформаторов являются: продольная диференциальная защита типа Мерц-Прайс, диференциальная защита типа трансле́й и диференциальная защита с применением реле с тормозными катушками.

Разберем эти схемы защит в отдельности.

Продольная диференциальная защита типа Мерц-Прайс. На фиг. 165 представлена принципиальная схема защиты типа Мерц-Прайс с применением автотрансформаторов. Покажем на примере, как выполняется защита.

Пример. Пусть имеется трансформатор собственного расхода мощностью 3 200 *ква* с коэфициентом трансформации 6 300/3 150 *в*. Схема соединения $\Delta/\curlywedge$. Требуется осуществить диференциальную защиту этого трансформатора.

УДУНТ (ДІІТ)

Определяем номинальные токи трансформатора на первичной и вторичной сторонах:

номинальный ток на стороне 6,3 *кв*:

$$I_{6,3} = \frac{3\,200}{6,3 \cdot 1,73} = 292 \ a;$$

на стороне 3,15 *кв*:

$$I_{3,15} = \frac{3\,200}{3,15 \cdot 1,73} = 584 \ a.$$

Предположим, что трансформаторы тока для диференциальной защиты выбраны по номинальным токам силового трансформатора со стандартными коэфициентами трансформации ближайшими большими:

на стороне 6,3 *кв* 300/5;

на стороне 3,15 *кв* 600/5.

Так как силовой трансформатор на стороне 6,3 *кв* соединен в треугольник, а на стороне 3,15 *кв* — в звезду, вторичные обмотки трансформаторов тока для компенсации сдвига фаз соединяем на стороне 6,3 *кв* в звезду, а на стороне 3,15 *кв* в треугольник.

Тогда вторичный ток трансформаторов тока на стороне 6,3 *кв* будет равен:

$$i_{6,3} = \frac{292 \ a}{300/5} = 4,86 \ a,$$

а на стороне 3,15 *кв*:

$$i_{3,15} = \frac{584 \ a}{600/5} \cdot \sqrt{3} = 8,4 \ a.$$

Как видим, вторичные токи не равны между собой, поэтому при номинальном первичном токе через реле будет протекать ток:

$$i_{реле} = 8,4 - 4,86 = 3,54 \ a.$$

Для выравнивания вторичных токов следовало бы применить автотрансформатор с коэфициентом трансформации

$$n_a = \frac{8,4}{4,86} = 1,7,$$

который снижал бы вторичный ток трансформаторов тока на стороне 3,15 *кв*. Применение автотрансформатора является наиболее выгодным с точки зрения потерь в нем, когда коэфициент трансформации его близок к единице. В силу этого более выгодным является применение на стороне 3,15 *кв* трансформаторов тока не на номинальный ток силового трансформатора, а в $\sqrt{3}$ раз больший, т. е. с коэфициентом трансформации

$$n_{m3,15} = \frac{584\sqrt{3}}{5} = \frac{1\,000}{5}.$$

В этом случае

$$i_{3,15} = \frac{584}{1\,000/5}\sqrt{3} = 5,04 \ a.$$

УДУНТ (ДІІТ)

Тогда коэфициент трансформации автотрансформатора будет уже равным:

$$n_a = \frac{5{,}04}{4{,}86} = 1{,}03,$$

т. е. очень близким к единице.

Значит более выгодным оказывается взять на стороне 3,15 *кв* трансформаторы тока с коэфициентом трансформации 100/5 и для выравнивания вторичных токов включить во вторичную цепь автотрансформатор с коэфициентом трансформации 1,03.

При регулировке напряжения силового трансформатора помощью отводов будут изменяться и первичные токи. Для того чтобы в этом случае сохранить равенство вторичных токов, коэфициент трансформации автотрансформатора следует также соответственно изменить.

В случае если силовые трансформаторы имеют устройство для регулировки коэфициента трансформации под нагрузкой, то одновременная автоматическая регулировка коэфициента трансформации автотрансформатора встречает большие конструктивные затруднения и в этом случае приходится итти на неравенство вторичных токов, загрубляя чувствительность защиты или применяя специальные реле с тормозным действием.

Ток трогания максимальных реле устанавливается в зависимости от качества трансформаторов тока и их характеристик, в особенности при сквозных коротких замыканиях. Обычно его величина берется от 2 до 5 *а* из-за возможных значительных токов небаланса при больших кратностях первичного тока.

Токи небаланса колеблются в широких пределах, в среднем доходя до 40—60 *ма* при номинальном первичном токе и трансформаторах тока достаточной мощности. При наличии в схеме маломощных встроенных трансформаторов тока небаланс может доходить до 100 *ма* и выше.

Выдержка времени. Как правило, следует стремиться, чтобы действие защиты по возможности было мгновенным. Однако для устранения влияния тока намагничивания приходится устанавливать выдержку времени 0,5—0,75 сек. Выдержка времени должна быть проверена экспериментально при включении трансформатора вхолостую.

Действие защиты. Защита действует на отключение выключателей с обеих сторон трансформатора и на включение резервного трансформатора (если таковой имеется).

Применяемые типы аппаратуры: максимальные токовые реле ЭТ-71; реле времени ЭВ; автотрансформатор ВУ или АТД.

Вместо автотрансформатора во многих установках применены специальные трансформаторы ТП. В этом случае вторичные обмотки трансформаторов тока с обеих сторон силового трансформатора соединяются в звезду, так как компенсация сдвига производится самим промежуточным трансформатором.

Недостатки защиты. В применении к трансформато-

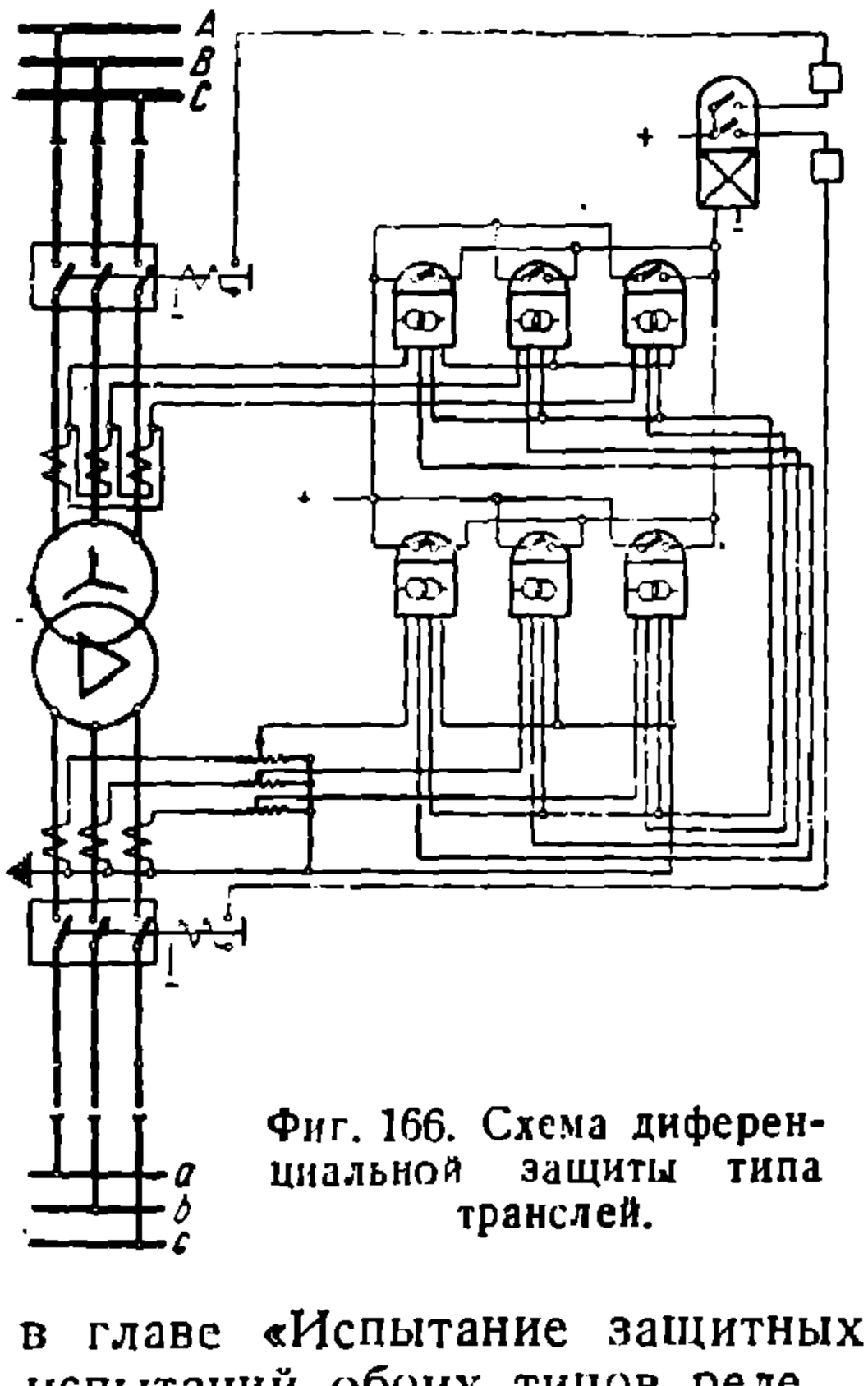
УДУНТ (ДІІТ)

рам эта защита получается более грубой (менее чувствительной), чем для генераторов из-за возможных больших токов небаланса.

Область применения. Защита может применяться для двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов. Защиту не рекомендуется применять при наличии маломощных встроенных трансформаторов тока.

Дифференциальная защита типа трансле́й. При описании защиты линий указывалось, что значительно более совершенную диференциальную защиту можно осуществить, применяя специальные реле трансле́й. Это особенно относится к защите трансформаторов, где применяются трансформаторы тока разных конструкций и с неодинаковыми коэфициентами трансформации.

Для диференциальной защиты трансформаторов применяются реле трансле́й ИТ-22 и ИТ-21 ХЭТЗ. Принцип устройства этих реле описан в главе «Защита линий» (стр. 107). Технические характеристики реле приведены в приложении.



Фиг. 166. Схема диференциальной защиты типа трансле́й.

Реле ИТ-22 — однофазное, т. е. имеет одну первичную обмотку. Реле ИТ-21 — двухфазное и имеет две первичные обмотки.

Диференциальную защиту трансформаторов можно осуществить применением двух комплектов реле ИТ-22 (всего шесть реле) или двух комплектов, состоящих каждый из одного реле ИТ-21 и одного реле ИТ-22 (всего четыре реле).

Руководящие указания Главэнерго рекомендуют применение двух комплектов реле ИТ-22, поэтому ниже приводится схема диференциальной защиты с применением реле ИТ-22. Поскольку в эксплоатации имеются также схемы с применением реле ИТ-21, в главе «Испытание защитных устройств» приводятся методы испытаний обоих типов реле.

На фиг. 166 представлена схема диференциальной защиты двухобмоточного трансформатора с применением реле ИТ-22.

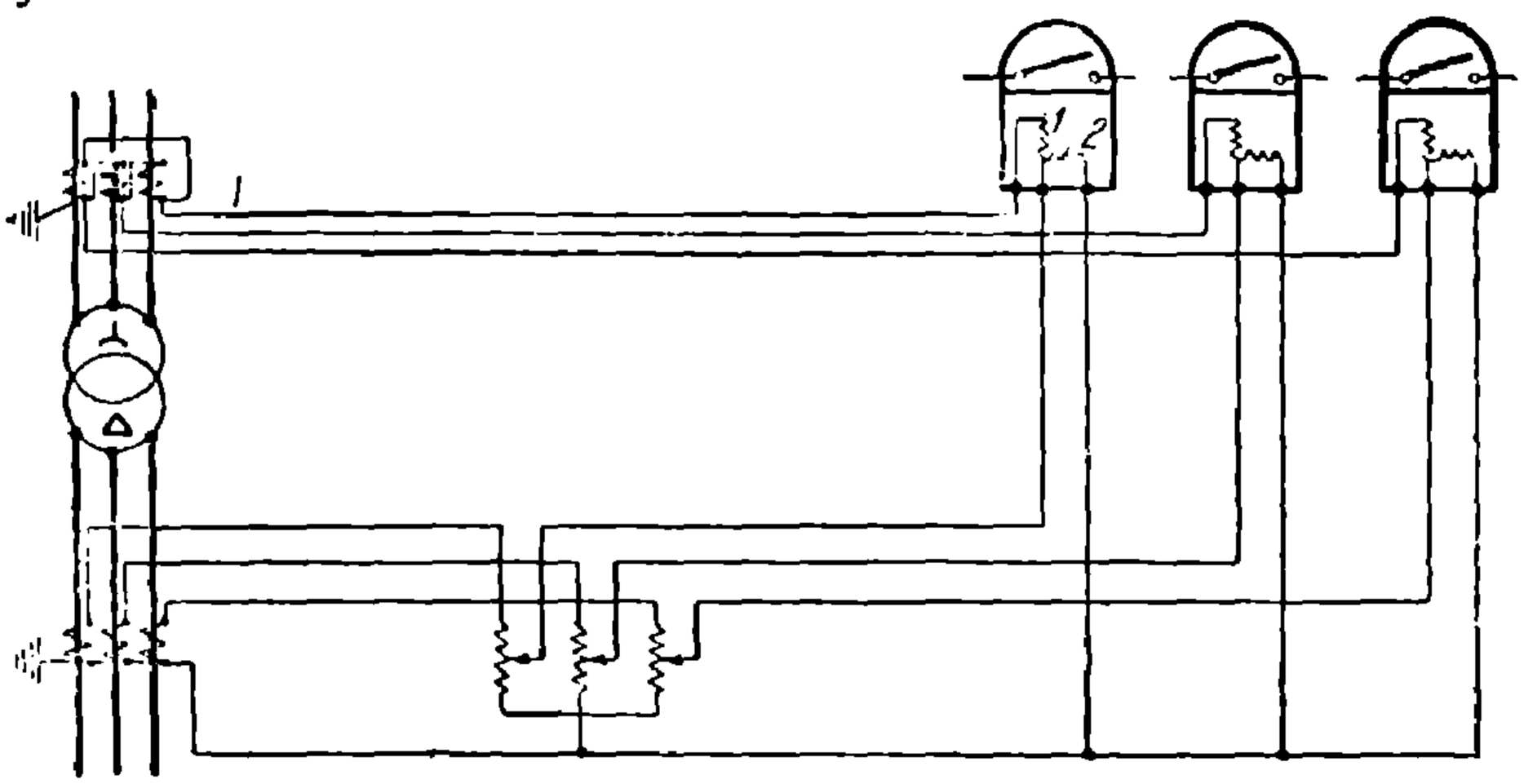
Соединение вторичных обмоток трансформаторов тока, выбор коэфициентов трансформации, выравнивание вторичных токов и т. д. производится как и в диференциальной защите Мерц-Прайс, рассмотренной выше. Поскольку реле трансле́й обладает некоторой собственной выдержкой времени и тормозным действием, реле времени не устанавливается. Контроль проводов в противоположность защите линий не осуществляется, так как

УРУНТ (ДІТ)

длина воспомогательных проводов обычно незначительна и повреждения менее вероятны.

Область применения. Защита трансле́й применяется, главным образом, для двухобмоточных трансформаторов или трехобмоточных с односторонним питанием. Для трехобмоточных трансформаторов с двух- или трехсторонним питанием применение защиты нецелесообразно. Защита в этих случаях получается с недостаточным тормозным действием при сквозных коротких замыканиях, почему приходится усложнять схему введением специальных токовых блокировок. Для указанных случаев рекомендуется применение защиты помощью реле с тормозными катушками.

Ток трогань я может регулироваться в пределах от 2 до 4 *а*. Установку тока трогань я определяют опытным путем, исходя из условий несрабатывания защиты под действием ударных токов намагничивания при включении трансформатора вхолостую.



Фиг. 167. Принципиальная схема диференциальной защиты с тормозными катушками.

Диференциальная защита помощью реле с тормозными катушками (с тормозным действием). Принцип действия и схема включения диференциального реле с тормозными катушками подробно разобраны в главе «Защита сетей» (стр. 106).

Диференциальные реле подобного типа могут быть выполнены с одной, двумя и тремя тормозными катушками.

В эксплоатации имеется много установок диференциальной защиты помощью реле с тормозными катушками. Большинство этих реле поставлены заграничными фирмами или изготовлены силами местных лабораторий. Реле с одной тормозной катушкой получается обычно из максимального токового реле ЭТ-71. На фиг. 167 представлена схема диференциальной защиты помощью реле с одной тормозной катушкой.

Ценность защиты помощью реле с тормозными катушками заключается в простоте, небольшом количестве реле (по сравне-

УДУНТ (ДІІТ)

нию с защитой трансле́й), возможности применения для всех типов трансформаторов и достаточной при этом чувствительности.

4. Защита от однофазных замыканий на землю. В системах с глухо заземленной нейтралью максимальная защита от коротких замыканий, устанавливаемая на трех фазах, а также дифференциальная защита защищают также и от однофазных замыканий на землю.

В системах с малым током замыкания на землю, например, в сетях генераторного напряжения, ток замыкания на землю обычно бывает недостаточным для приведения в действие максимальной или дифференциальной защиты, но в то же время, опасным для трансформатора. В этом случае устанавливают максимальную токовую защиту от замыкания на землю, описанную на стр. 100 (фиг. 119).

В ряде случаев вместо максимальной токовой защиты устанавливают защиту с реле максимальной мощности.

5. Сигнализация температуры масла. При работе трансформатора даже при номинальной нагрузке температура масла, а следовательно, и обмотки может подняться выше допустимых пределов, например, из-за неисправности охлаждающего устройства трансформатора, повышения температуры окружающего воздуха и пр. Максимальная токовая защита, реагирующая лишь на изменение величины тока, не будет срабатывать при повышении температуры. Вследствие этого трансформаторы должны снабжаться приборами, подающими сигнал дежурному персоналу при повышении температуры масла выше допустимого предела. В верхних слоях масла устанавливаются термометры сопротивления или ртутные контактные термометры, замыкающие цепь сигнализации при достижении маслом определенной температуры.

6. Сигнализация прекращения охлаждения. У трансформаторов с искусственным охлаждением при прекращении циркуляции воды или масла обычно подается сигнал.

Современные трансформаторы советского производства имеют обычно принудительное воздушное охлаждение. При нагрузках, превышающих 70% номинальной, включается мотор дутьевого вентилятора. Исправная работа вентилятора контролируется обычной сигнализацией включения мотора.

Включение дутьевой вентиляции рекомендуется автоматизировать.

40. ЗАЩИТА АГРЕГАТА ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР

При защите агрегата, состоящего из генератора и трансформатора, на каждом из них устанавливают обычно все необходимые защиты, как и в том случае, когда генератор и трансформатор работают раздельно.

Однако в большинстве случаев между генератором и трансформатором не устанавливается выключатель или разъединитель, и агрегат представляет собой электрически одно целое.

УДУНТ (ДІІТ)

Поэтому для таких агрегатов некоторые защиты могут быть объединены и служить для защиты как генератора, так и трансформатора.

Общими защитами в ряде случаев могут являться дифференциальная, максимальная и защита от замыкания на землю.

При наличии общей продольной дифференциальной защиты, на генераторе рекомендуется установка самостоятельной дифференциальной защиты.

В случае работы генератора на трехобмоточный трансформатор нельзя ограничиться общей максимальной защитой, устанавливаемой в нулевой точке генератора, так как отдельные обмотки трансформатора не будут защищены от перегрузки, а потому приходится устанавливать отдельные максимальные защиты еще на двух обмотках трансформатора.

При наличии ответвления на генераторном напряжении, например, для питания трансформатора собственного расхода, схема защиты несколько усложняется.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ЗАЩИТА УСТАНОВОК СОБСТВЕННОГО РАСХОДА

41. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Надежная работа механизмов собственного расхода электростанций играет большую роль в бесперебойной работе электростанции.

Отключение ответственного двигателя, например, двигателя циркуляционного насоса и т. д. может повлечь за собой выход из работы целого агрегата, котла, турбины и т. д. Поэтому к установкам собственного расхода предъявляется требование простоты схемы питания и защиты отдельных элементов (двигателей, трансформаторов и пр.), обеспечивающих безусловную надежность работы установки. Источниками питания собственного расхода являются обычно трансформаторы собственного расхода, присоединяемые к генераторному напряжению, или отдельные турбогенераторы собственного расхода. В последнем случае установки собственного расхода работают независимо от сети и в случае порчи турбогенератора собственного расхода могут автоматически получить питание от основных генераторов станции или параллельно с сетью, но при ненормальных явлениях в сети отделяются от нее.

Защита генераторов собственного расхода осуществляется аналогично защите основных генераторов.

Защита трансформаторов собственного расхода осуществляется также аналогично защите обычных силовых трансформаторов. Следует только отметить, что рабочие агрегаты, питающие собственный расход, должны быть сблокированы с резервными. Блокировка должна автоматически включать

УДУНТ (ДИТ)

резервные агрегаты при отключении рабочих под действием защиты от внутренних повреждений (дифференциальная, газовая, защита от замыкания на землю).

Наиболее распространенным типом двигателя в системе собственного расхода являются **асинхронные двигатели**, и лишь в специальных случаях, когда требуется регулирование числа оборотов в широких пределах, применяются двигатели постоянного тока (моторы питателей пыли и топочных решеток).

В настоящее время во вновь сооружаемых станциях устанавливают, главным образом, короткозамкнутые двигатели вне зависимости от их мощностей, причем для регулирования производительности механизмов применяют гидравлические муфты, направляющие лопатки и пр.

В существующих установках помимо двигателей с короткозамкнутым ротором имеется много двигателей с фазным ротором.

Реостаты служат для уменьшения пусковых токов двигателей и регулировки числа оборотов (регулировочные реостаты).

Двигатели с короткозамкнутым ротором обычно могут пускаться непосредственно от полного напряжения сети. При этом они потребляют ток, значительно превышающий номинальный ток двигателя и равный примерно 5—6-кратному значению последнего. Величина пускового тока не зависит от типа приводимого в движение механизма, который оказывает влияние лишь на длительность протекания пускового тока. Моторы с фазным ротором, как правило, могут пускаться непосредственно от сети лишь при полностью введенном пусковом устройстве и потребляют пусковой ток, равный 1—2-кратному значению номинального тока двигателя.

В зависимости от мощности двигателей они изготовляются на высокое или низкое напряжение [1]. Обычно, начиная с 50—70 *квт* и выше, двигатели изготовляются на высокое напряжение и присоединяются к сети при помощи выключателей. Двигатели низкого напряжения присоединяются к сети помощью специальных воздушных автоматов или рубильников с плавкими вставками.

Применяемые защитные устройства для двигателей собственного расхода различны в зависимости от типа двигателя, его мощности и назначения.

42. ВИДЫ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И НЕНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ И УСТАНАВЛИВАЕМЫЕ ТИПЫ ЗАЩИТ

Основными видами ненормальных режимов работы и повреждений являются:

а) Короткое замыкание (двухфазное или трехфазное, одно-

[1] Двигатели напряжением 500 *в* и ниже условно называются двигателями низкого напряжения.

УДУНТ (ДІІТ)

фазное замыкание на землю и замыкание между витками одной фазы).

б) Обрыв фазы.

в) Перегрузки.

г) Понижение напряжения в сети.

Двигатели мощностью до 1 000 *квт*, имеющие наибольшее распространение в установках собственного расхода, защищаются обычно не от всех видов вышеуказанных повреждений и ненормальных режимов работы.

Так, например, защита от замыканий между витками одной фазы из-за ее сложности в установках собственного расхода не применяются, хотя этот вид повреждений является достаточно распространенным.

Защита от однофазного замыкания на землю также применяется лишь в отдельных случаях, например, при питании двигателей непосредственно с шин генераторного напряжения, когда ток однофазного замыкания на землю системы генераторного напряжения выше 5 *а*.

При питании двигателей от трансформаторов собственного расхода с изолированной нейтралью, ток однофазного замыкания на землю системы собственного расхода обычно не превышает 5 *а* (емкостный ток). Поэтому замыкание на землю является не столь опасным, пока оно не перешло в междуфазное замыкание; защита же от однофазного замыкания на землю при столь малом токе однофазного замыкания на землю получается достаточно сложной и дорогой. Следует отметить, что на некоторых установках, где двигатели имеют изношенную изоляцию, защита от замыкания на землю все же устанавливается, для чего искусственно создается ток однофазного замыкания на землю, путем заземления нейтрали системы собственного расхода через ограничительное сопротивление.

Отдельная защита, реагирующая на обрыв фазы, не устанавливается, так как при обрыве фазы двигатель потребляет из сети токи, превышающие номинальные, на которые будет реагировать защита от перегрузки.

Таким образом на моторах мощностью до 1 000 *квт* устанавливаются следующие защитные устройства: защита от междуфазных коротких замыканий, защита от перегрузки и защита от понижения напряжения в сети, питающей моторы.

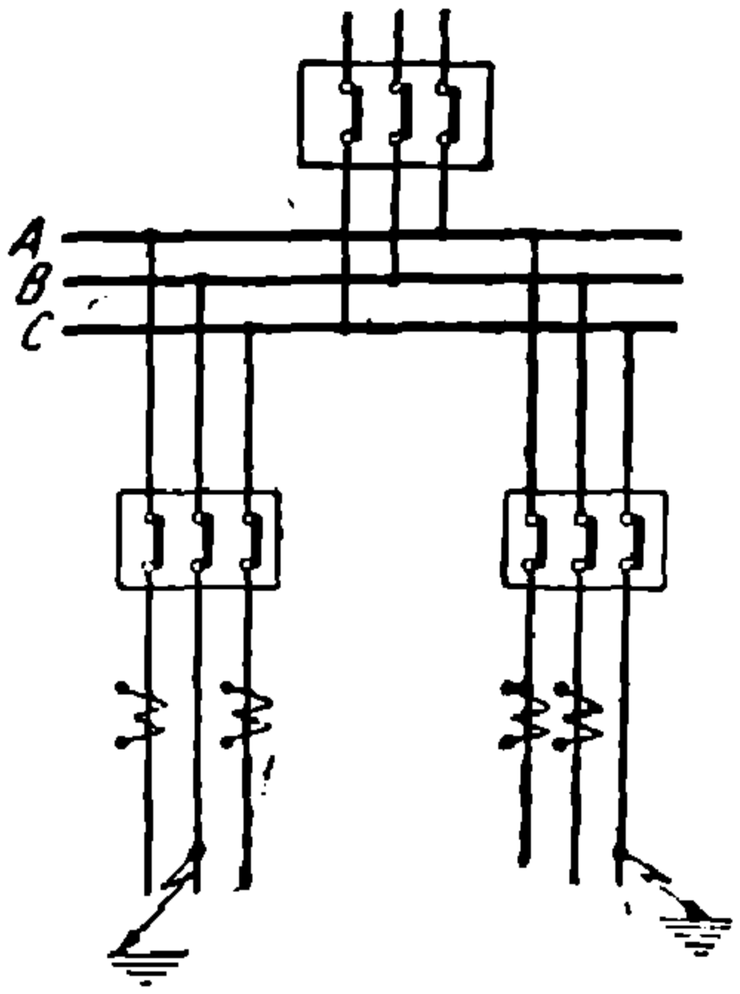
43. ПРИМЕНЯЕМЫЕ СХЕМЫ ЗАЩИТ

1. Защита от коротких замыканий. Защита от коротких замыканий в моторе или в питающем фидере является обязательной. Чтобы устранить влияние возникшего короткого замыкания на всю остальную систему собственного расхода, а также уменьшить размер повреждений, действие защиты должно быть по возможности мгновенным и не превышать нескольких периодов. Защита выполняется посредством максимальных токовых реле мгновенного действия ЭТ-71, РММ и т. д.

УДУНТ (ДІІТ)

Защита устанавливается обычно на двух фазах, так как нейтраль системы собственного расхода не заземляется. Обязательным условием в этом случае является установка трансформаторов тока на всех защищаемых двигателях собственного расхода на одних и тех же фазах. В противном случае при двойных замыканиях на землю защита может не работать.

Сказанное поясняется фиг. 168. На одном фидере трансформаторы тока установлены на фазах *A* и *C*, на другом — на фазах *A* и *B*. При одновременном замыкании на землю на фазе *B* первого фидера и на фазе *C* второго фидера защиты этих фидеров не сработают, что вызовет неселективное действие защиты фидера, питающего шины.



Фиг. 168.

Ток трогань я реле должен быть выше тока короткого замыкания $I_к$ двигателя. Под током короткого замыкания $I_к$ понимается ток, потребляемый двигателем при полном напряжении сети, когда ротор закорочен и неподвижен. Последнее требование вызвано следующими обстоятельствами:

а) При пуске короткозамкнутых моторов пусковой ток по своей величине соответствует току короткого замыкания.

б) Протекание пусковых токов, по своей величине соответствующих току короткого замыкания, возможно для моторов с реостатным пуском при закороченном реостате во время восстановления напряжения после отключения коротких замыканий.

в) При коротком замыкании в сети, питающей мотор, в первый момент от мотора к месту короткого замыкания может протекать ток, даже превышающий ток короткого замыкания $I_к$. Протекание этого тока обусловлено запасенной электромагнитной энергией в моторе.

При разобранных случаях защита от коротких замыканий не должна работать, поэтому ток трогань я для защиты как для моторов с реостатным пуском, так и короткозамкнутых должен быть выше их тока короткого замыкания. Ток трогань я определяется по формуле:

$$i_{pm} = k_н \frac{I_к}{n_m},$$

где i_{pm} — ток трогань я;
$I_к$ — ток короткого замыкания мотора;
n_m — коэфициент трансформации трансформаторов тока;
$k_н$ — коэфициент надежности, принимаемый равным 1,1.

УДУНТ (ДІІТ)

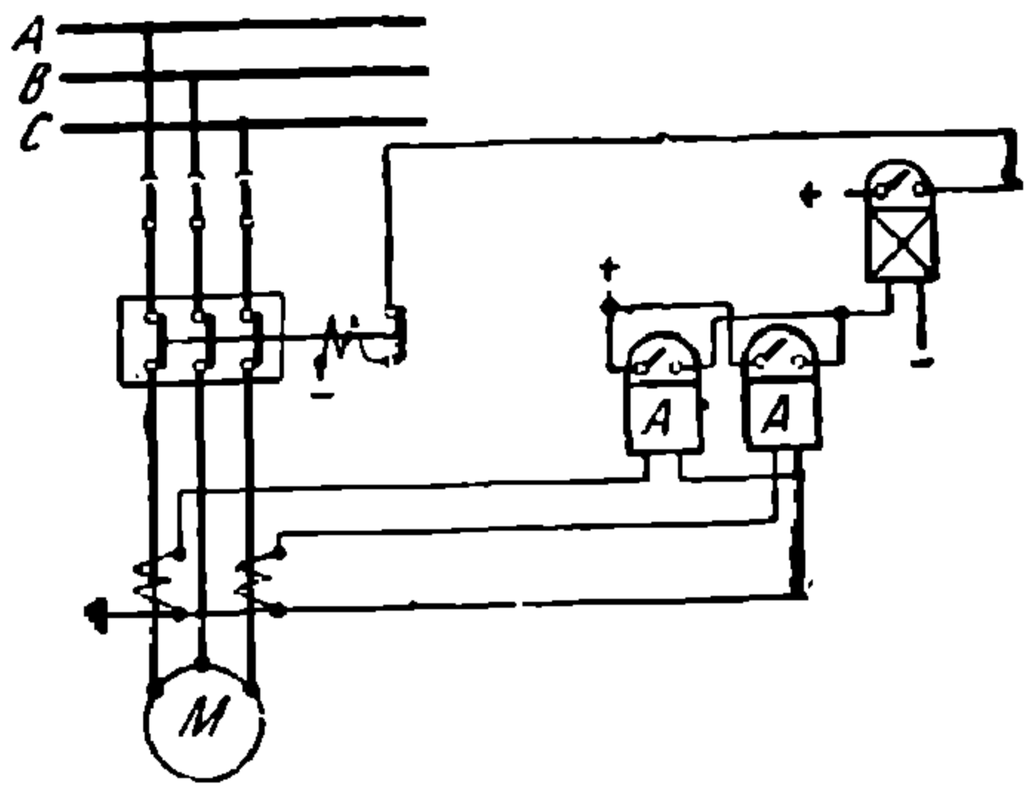
Если применяется реле ЭТ-71 с действием на отключение без промежуточного реле, то ток трогания должен быть увеличен в 1,3—1,7 раза против расчетной величины, полученной по приведенной формуле. Это вызывается тем, что собственное время реле ЭТ-71 весьма мало (около одного периода) и нестационарные пики тока короткого замыкания за этот период не успевают спасть. Поэтому рекомендуется применять реле ЭТ-71 с промежуточным реле РП, реле РММ или ИТ-81 с токовой отсечкой. Время действия их является достаточным для спада пика тока короткого замыкания и ток трогания может быть определен по указанной формуле.

Ток короткого замыкания мотора $I_к$ (пусковой ток) определяется обычно косвенным путем на основании опыта короткого замыкания мотора. Опыт короткого замыкания заключается в замере напряжения и тока, потребляемого мотором при заторможенном роторе. Путем пересчета данных опыта короткого замыкания можно определить действительный ток $I_к$, который будет потреблять мотор при полном напряжении сети. Для того чтобы мотор не потреблял слишком большого тока во время опыта короткого замыкания, когда ротор заторможен, к нему подводится пониженное напряжение порядка 15—20% от номинального, с тем чтобы получить при опыте ток по величине близким к номинальному току мотора. Опыт следует производить достаточно быстро, чтобы из-за отсутствия вентиляции не перегреть обмотку мотора (ротор заторможен, и вследствие этого вентилятор не работает).

Для определения величины тока короткого замыкания при номинальном напряжении пересчет делается по формуле:

$$I_к = 1{,}4 \cdot I'_к \frac{U_н}{U'_к},$$

где $U_н$ — номинальное напряжение мотора;
$U'_к$ — напряжение при опыте короткого замыкания;
$I'_к$ — ток, замеренный при напряжении $U'_к$.



Фиг. 169. Схема максимальной токовой защиты от коротких замыканий.

Коэфициент 1,4 получен экспериментально и учитывает увеличение тока вследствие насыщения железа.

Схема максимальной токовой защиты от междуфазных коротких замыканий показана на фиг. 169.

Для защиты от коротких замыканий могут быть применены также плавкие вставки в особенности для моторов на низкое напряжение. Номинальный ток плавких вставок для коротко-

УДУНТ (ДІІТ)

замкнутых двигателей должен также выбираться с учетом пускового тока по формуле:

$$I_{ном.\,пр} = \frac{I_к}{2{,}5 \div 3{,}5},$$

где $I_к$ — ток короткого замыкания двигателя.

2. Защита от перегрузок. Перегрузка моторов, так же как генераторов и трансформаторов, может вызвать недопустимое повышение температуры изоляции, в результате чего срок службы мотора сокращается.

Причинами перегрузки в большинстве своем являются повреждения механической части привода (заедания механизмов, поломка отдельных частей, порча подшипников, задевание ротора о статор и пр.). Потребляемый при этом ток может превосходить номинальный, но в то же время быть недостаточным для срабатывания защиты от коротких замыканий.

Поэтому необходима отдельная защита от перегрузки, реагирующая на небольшое увеличение тока против номинального.

Учитывая, с одной стороны, чрезвычайную ответственность моторов собственного расхода в работе всей системы и наличие постоянного наблюдения за ответственными моторами, а с другой стороны — возможность случайных кратковременных перегрузок, целесообразно защиту от перегрузки включать на сигнал. Это в ряде случаев могло бы предотвратить ненужные отключения.

Однако на станциях в настоящее время еще не в достаточной степени проведена централизация управления моторами, которая позволила бы быстро разгрузить или произвести отключение перегруженных двигателей. Поэтому защита от перегрузки включается на сигнал только на ответственных двигателях (например, двигатель циркуляционного насоса), а на остальных действует на отключение выключателя [1].

Разберем, какими характеристиками должны обладать реле для защиты моторов от перегрузки.

Нагрев обмотки зависит от величины тока и времени его протекания.

Очевидно, что при малых токах перегрузки допустимо большее время перегрузки и, наоборот, при больших токах это время должно быть уменьшено. Для каждого мотора может быть построена такая перегрузочная характеристика, выражающая зависимость допустимого времени протекания тока перегрузки от величины тока. Для хорошей защиты мотора целесообразно иметь реле с характеристикой, близко совпадающей с тепловой перегрузочной характеристикой мотора. Наиболее отвечающими этому условию являются тепловые реле (стр. 65).

---

[1] Следует иметь в виду, что при осуществлении действия защиты на сигнал необходимо иметь дополнительную защиту от обрыва одной фазы, так как при этом ток в двух других фазах возрастет примерно в 1,7—1,8 раза и защита от коротких замыканий работать не будет.

УДУНТ (ДІІТ)

Однако для двигателей собственного расхода защита осуществляется в большинстве своем посредством максимальных токовых реле ЭТ-71 или РММ с выдержкой времени или зависимыми реле ИТ-82. Тепловые реле, выпускаемые в настоящее время ХЭМЗ, не имеют особых преимуществ по сравнению с максимальной токовой защитой по ряду причин: работа моторов собственного расхода характеризуется длительной равномерной нагрузкой, вследствие чего нет столь большой надобности в использовании тепловой характеристики мотора, как это имеет место при резко колеблющейся нагрузке.

В системе собственного расхода тепловые реле обычно устанавливаются в распределительном устройстве, вдали от защищаемого мотора, и поэтому не могут реагировать на изменение окружающей мотор температуры или условий его охлаждения.

Ток трогания выпускаемых в настоящее время тепловых реле ХЭМЗ сильно зависит от температуры окружающего воздуха. В силу этого чувствительность защиты при установке ее в распределительном устройстве будет меняться в зависимости от температуры последнего.

Кроме того, тепловые реле ХЭМЗ после их срабатывания могут быть возвращены в исходное положение только от руки, что также является эксплоатационно неудобным.

Наконец, уход за тепловым реле (настройка, испытания) гораздо более сложен, чем при максимальной токовой защите. В последнее время ХЭМЗ готовит к выпуску тепловые реле ТТ-28, не имеющие указанных недостатков при применении их для моторов собственного расхода. Но из-за сложности ухода за ними, как за всякими тепловыми реле, они вряд ли найдут применение в системе собственного расхода.

Реле для защиты моторов от перегрузки можно было бы устанавливать в одной фазе, так как перегрузки обычно бывают во всех трех фазах. Но в этом случае защита не будет реагировать на перегрузки двух фаз в случае обрыва той фазы, на которой установлено реле. Поэтому реле включаются на двух фазах.

Ток трогания максимальной токовой защиты от перегрузки должен быть по возможности близким к номинальному току мотора и определяется по формуле:

$$i_{pm} = k_н \frac{I_{ном}}{k_в \, n_m},$$

где i_{pm} — ток трогания;
$I_{ном}$ — номинальный ток двигателя;
$k_в$ — коэфициент возврата реле;
n_m — коэфициент трансформации трансформаторов тока;
$k_н$ — коэфициент надежности, принимаемый равным от 1,05 до 1,1.

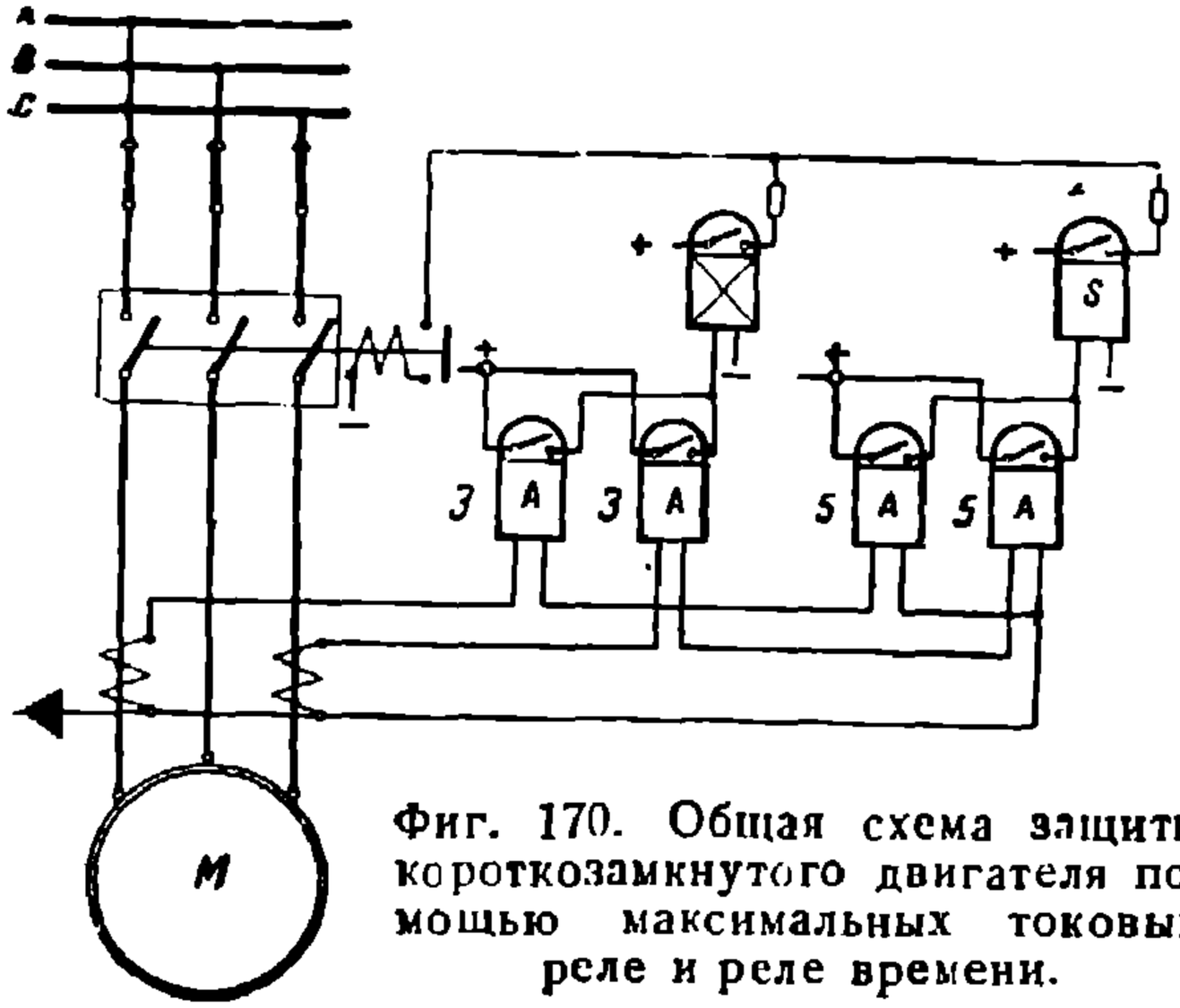
Выдержка времени максимальной токовой защиты от перегрузки выбирается такой, чтобы защита не действовала как при нормальных пусках, так и при самозапуске после восстановления

УПУНТ (ЦНТ)

напряжения. Если защита имеет независимую выдержку времени, уставка берется 10—15 сек. В системах, подверженных длительным качаниям, выдержка времени берется 15—20 сек.

Ток трогань я тепловых реле выбирается в зависимости от места установки реле и окружающих температурных условий, учитывая, что ток трогань я меняется с изменением температуры воздуха у реле.

Следует еще отметить, что описанные защиты от перегрузки мотора оказываются мало удовлетворительными, когда моторы имеют регулировку оборотов помощью регулировочных реостатов.

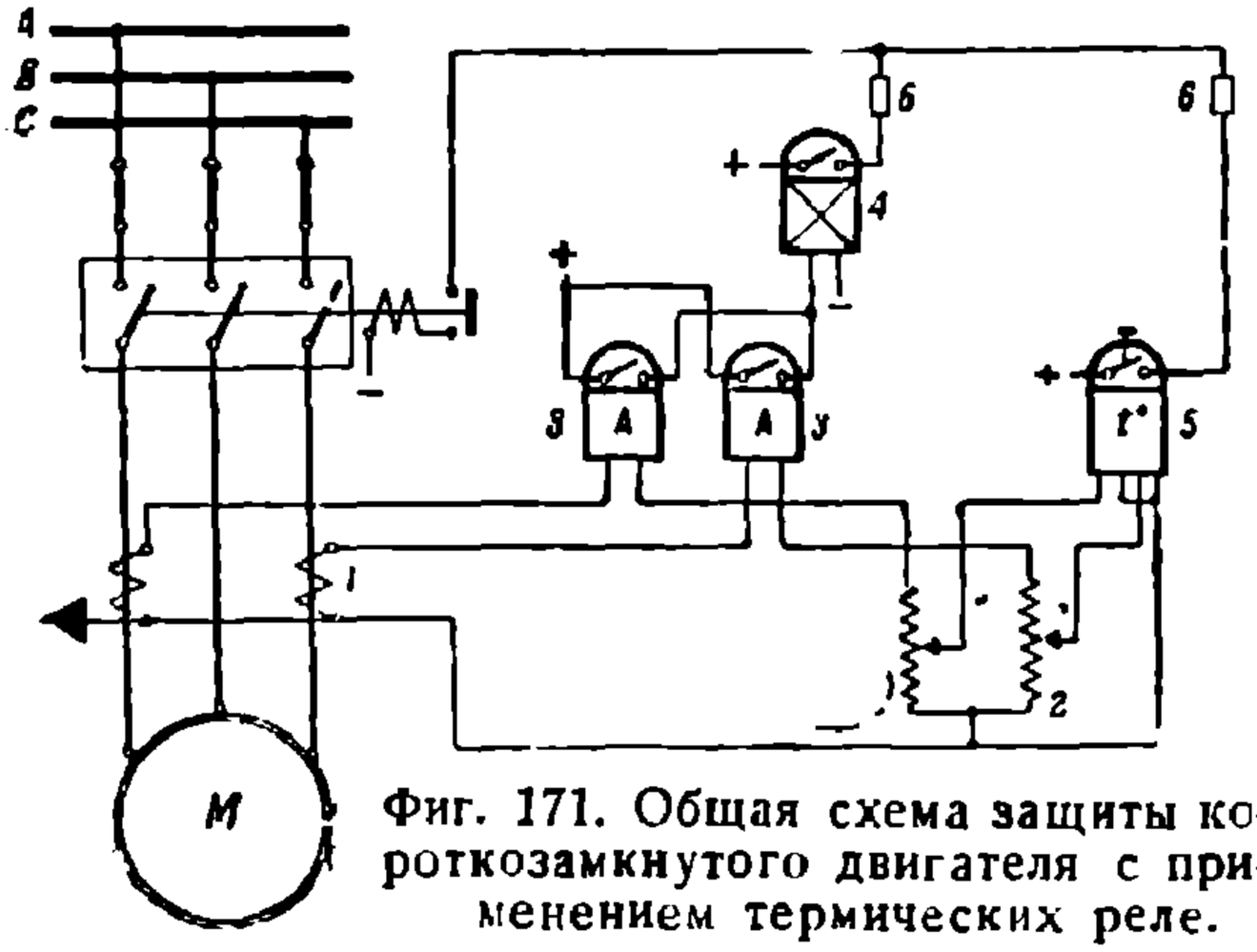


Фиг. 170. Общая схема защиты короткозамкнутого двигателя помощью максимальных токовых реле и реле времени.

Допускаемая при сниженных оборотах мотора величина тока должна быть меньше номинального тока мотора из-за ухудшившихся условий охлаждения.

Ток трогань я защиты от перегрузки, выбранный близким к номинальному току мотора, окажется в этом случае слишком большим и защита сильно загрубится.

Это следует иметь в виду при эксплоатации, ведя особо тщательное наблюдение за моторами при работе их с пониженными оборотами.



Фиг. 171. Общая схема защиты короткозамкнутого двигателя с применением термических реле.

На фиг. 170 представлена схема защиты мотора от коротких замыканий и от перегрузки помощью максимальных токовых реле с независимой выдержкой времени. Вместо этих реле целесообразно устанавливать зависимые реле с токовой отсечкой ИТ-82. В последнем случае одно реле служит для защиты от перегрузки и от коротких замыканий. При установке зависимых реле другого типа следует проверять, обеспечивает ли характеристика реле нормальный пуск мотора и самозапуск при восстановлении напряжения после отключения короткого замыкания.

УДУНТ (ДІІТ)

На фиг. 171 представлена схема защиты мотора с применением тепловых реле. Плавкие вставки существующей конструкции не пригодны для защиты от перегрузки короткозамкнутых моторов, так как по условиям пуска плавкие вставки следует выбирать на ток, значительно превышающий номинальный ток мотора. Моторы с фазным ротором плавкие вставки могут защитить при перегрузках порядка 140—160% от номинального тока мотора.

3. Защита от понижения напряжения (минимального напряжения). При коротких замыканиях в системе, от которой питаются моторы собственного расхода, напряжение может упасть до нуля и восстановиться лишь после отключения короткого замыкания. При снижении напряжения уменьшается момент, развиваемый мотором, благодаря чему снижаются обороты и увеличивается потребляемый мотором ток.

Если в течение времени посадки напряжения (времени отключения короткого замыкания) обороты мотора снизятся до нуля, т. е. мотор остановится, то после восстановления номинального напряжения мотор будет потреблять пусковой ток, равный по величине току короткого замыкания мотора. Это относится как к короткозамкнутому мотору (имеющему короткозамкнутый ротор), так и к мотору с реостатным пуском, потому что последний при нормальном режиме работы имеет также короткозамкнутый ротор. Для короткозамкнутого мотора этот пусковой ток не является опасным, так как мотор предназначен для пуска от полного напряжения. Для мотора с реостатным пуском полный ток короткого замыкания $I_к$ опасен в динамическом отношении.

Усилия, появляющиеся при этом токе, могут причинить обмотке механические повреждения, которые в конечном итоге приведут к пробою изоляции. Поэтому моторы с реостатным пуском защищают от понижения напряжения в сети помощью защиты минимального напряжения, отключающей мотор при снижении напряжения сети ниже определенного значения. Но каждый мотор, в том числе и мотор с реостатным пуском, должен выдерживать ток, соответствующий работе мотора при максимальном моменте. Ток при максимальном моменте у большинства моторов равен приблизительно 65—70% от полного тока короткого замыкания $I_к$. Ток короткого замыкания мотора находится в прямой зависимости от величины подаваемого на мотор напряжения. Очевидно, для того чтобы потребляемые при самозапуске после восстановления напряжения токи не были опасны в динамическом отношении для мотора с реостатным пуском, т. е. не превышали бы по своей величине 65—70% от полного тока короткого замыкания, необходимо, чтобы подаваемое в этом случае на моторы напряжения было не больше 70%. Расчеты показывают, что при большинстве существующих схем собственного расхода, когда питание производится от трансформаторов или отдельных генераторов собственного расхода, подаваемое на моторы после отключения короткого замыкания напряжение (восстановившееся напряжение) не пре-

УДУНТ (СДІТ)

вышает 70—75% от номинального. Это объясняется тем, что пусковые токи вызывают дополнительное падение напряжения в питающих трансформаторах.

В силу этого для большинства моторов собственного расхода, которые могут полностью развернуться при выведенных реостатах (моторы циркуляционных и питательных насосов, дымососов, вентиляторов, эксгаустеров), защита минимального напряжения не является обязательной или может быть установлена с большой выдержкой времени.

Практически в условиях эксплоатации возможны такие случаи, когда после некоторого перерыва питания в течение некоторого времени напряжение подается не на все моторы, а лишь на часть из них (например, на одну сборку при групповом питании). Тогда дополнительное падение напряжения в трансформаторе будет значительно меньше и пусковые токи могут явиться опасными для обмоток мотора.

Для предотвращения этого защита минимального напряжения все же устанавливается на всех моторах с реостатным пуском, но на ответственных моторах с выдержкой времени (порядка 10 сек.), превышающей наибольшую выдержку времени защиты от коротких замыканий и позволяющей мотору полностью развернуться в процессе восстановления напряжения, без его отключения. В ряде случаев применяются схемы, в которых защита минимального напряжения действует мгновенно на введение пускового реостата (схема ХЭМЗ для моторов с регулировкой числа оборотов).

На моторах менее ответственных, как с реостатным пуском, так и короткозамкнутым, защита минимального напряжения устанавливается мгновенной или с малой выдержкой времени порядка 0,25—0,5 сек. с тем, чтобы облегчить самозапуск ответственных моторов после отключения коротких замыканий, так как пусковые токи этих моторов создают дополнительную загрузку источников питания.

Защита с малой выдержкой времени, порядка 0,25 сек., устанавливается также на моторах, которые не могут развернуться без пусковых реостатов из-за недостаточного в этом случае начального пускового момента. К числу последних относятся все агрегаты с моментом вращения, не зависящим от числа оборотов, — мельницы, дробилки и т. д.

Небольшие выдержки времени защиты минимального напряжения (порядка 0,25—0,5 сек.) желательны, чтобы избежать ненужных отключений при коротких замыканиях в сети или на других моторах, отключаемых мгновеннодействующей защитой.

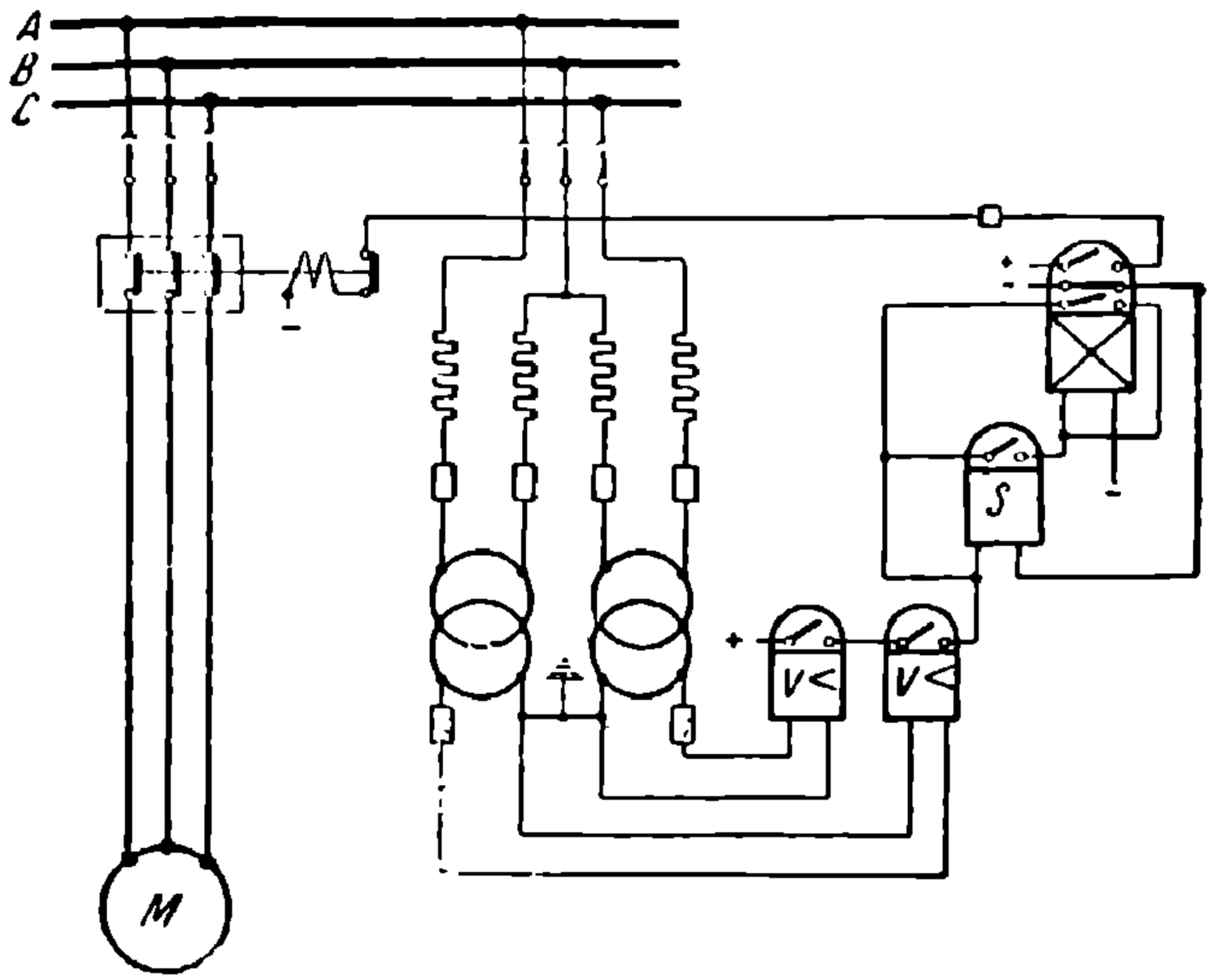
Защита минимального напряжения осуществляется посредством реле минимального напряжения мгновенного действия ЭН-78 или реле с зависимой от напряжения характеристикой ИН-32, ИН-138 и ИН-139. Для низковольтных моторов применяются катушки напряжения мгновенного действия. Для моторов, которые не могут развернуться без пусковых реостатов (мельницы, дробилки и пр.), реле минимального напряжения

УПУНТ (ДІТ)

включаются на все три междуфазные напряжения (может применяться трехфазное реле ИН-138). Во всех остальных случаях достаточно включение реле только на одно междуфазное напряжение.

Напряжение трогания реле минимального напряжения выбирается равным примерно 70% от номинального.

При осуществлении защиты ответственных моторов, действующей на их отключение, должно быть обращено особое внимание на возможность ложного срабатывания защиты при перегораниях предохранителей или других неисправностях в цепях напряжения защиты.



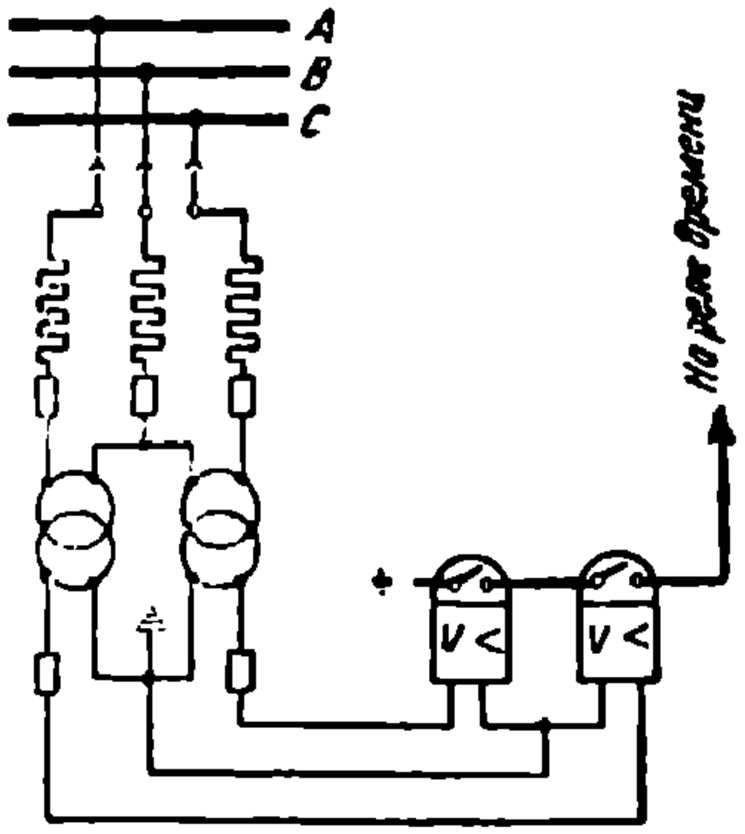
Фиг. 172. Защита минимального напряжения с дублированными трансформаторами напряжения и реле.

Для предотвращения этого защита ответственных моторов с действием на отключение должна иметь дублирование в защитной аппаратуре.

На фиг. 172 представлена схема защиты минимального напряжения с дублированной аппаратурой. Защита работает только при снижениях напряжений во всех трех фазах.

При перегорании предохранителя или обрыве в цепи одного трансформатора напряжения защита не будет работать.

В схеме применено специальное включение промежуточного реле для предотвращения длительного протекания тока через реле времени, которое на это не рассчитано. Испытания показали возможность надежной регулировки и работы схемы в случае применения реле времени ЭВ-180 и промежуточного реле ЭП-230. Промежуточные реле РП и реле времени РВ не обеспечивают надежной работы схемы.



Фиг. 173. Защита минимального напряжения.

На фиг. 173 дан другой вариант схемы включения реле и трансформаторов напряжения, предохранители на низкой стороне трансформаторов напряжения устанавливаются на разную величину тока, что в известной степени обусловливает перегорание только одного

УРУНТ (ХДПТ)

предохранителя в случае короткого замыкания в двух фазах.

Следует отметить, что в эксплоатации имеется ряд установок, где ответственные моторы с реостатным пуском имеют защиту минимального напряжения мгновенного действия (нулевые катушки). Это часто приводит к выходу из работы всего собственного расхода при коротких замыканиях в сети.

Поэтому необходимо подобные защиты реконструировать, установив на них выдержку времени (см. «Электрические станции» № 1 за 1938 г.). В ряде случаев защита минимального напряжения с большой выдержкой времени устанавливается и на ответственных короткозамкнутых моторах для осуществления блокировок включения резерва.

4. Защита источников питания и фидеров, питающих сборки. Генераторы и трансформаторы собственного расхода защищаются аналогично обычным генераторам и трансформаторам со следующими особенностями: на генераторе, работающем с регулятором напряжения, предусматривается специальная защита, предотвращающая повышение напряжения из-за неисправности регулятора напряжения.

Для обеспечения бесперебойного питания собственного расхода предусматривается блокировка, включающая резервный агрегат при действии защиты от внутренних повреждений рабочего агрегата.

Трансформаторы и фидеры, питающие сборки, защищаются максимальной токовой защитой только от коротких замыканий. Выдержка времени должна быть на ступень выше выдержки времени защиты от коротких замыканий моторов.

Ток троганья должен быть выше тока, потребляемого моторами, присоединенными к фидеру или трансформатору во время восстановления напряжения.

Если схема собственного расхода такова, что возможна перегрузка фидеров или трансформаторов (кольцевое питание, резервирование отключенных фидеров и т. д.), следует устанавливать дополнительно максимальную защиту от перегрузки, действующую на сигнал.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕРКИ И ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

44. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При испытаниях защитных устройств приходится пользоваться целым рядом измерительных приборов, предназначенных, главным образом, для измерения следующих величин:

а) величины постоянного или переменного тока;
б) напряжения постоянного или переменного тока;
в) мощности постоянного или переменного тока;
г) омического сопротивления;
д) времени.

УДУНТ (ДІІТ)

Измерения часто приходится производить в очень широких пределах. Например, ток приходится измерять в пределах от нескольких миллиампер до нескольких тысяч ампер, а сопротивление — от долей ома до нескольких миллионов ом. Отсюда большое разнообразие применяемых измерительных приборов. Кроме того, при испытаниях защитных устройств используются различные вспомогательные аппараты (реостаты, нагрузочные трансформаторы, поляромеры и т. п.). Поэтому, прежде чем описывать методы испытания защитных устройств, необходимо дать описание той аппаратуры, которой приходится пользоваться при этих испытаниях.

45. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ПРАВИЛА ПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИ

Электроизмерительные приборы, применяемые в релейной службе, относятся обычно к числу так называемых переносных приборов. Один из таких приборов изображен на фиг. 174. Как видно, прибор заключен в деревянный ящик, защищающий его (прибор) от механических повреждений, и снабжен ручкой для переноски.

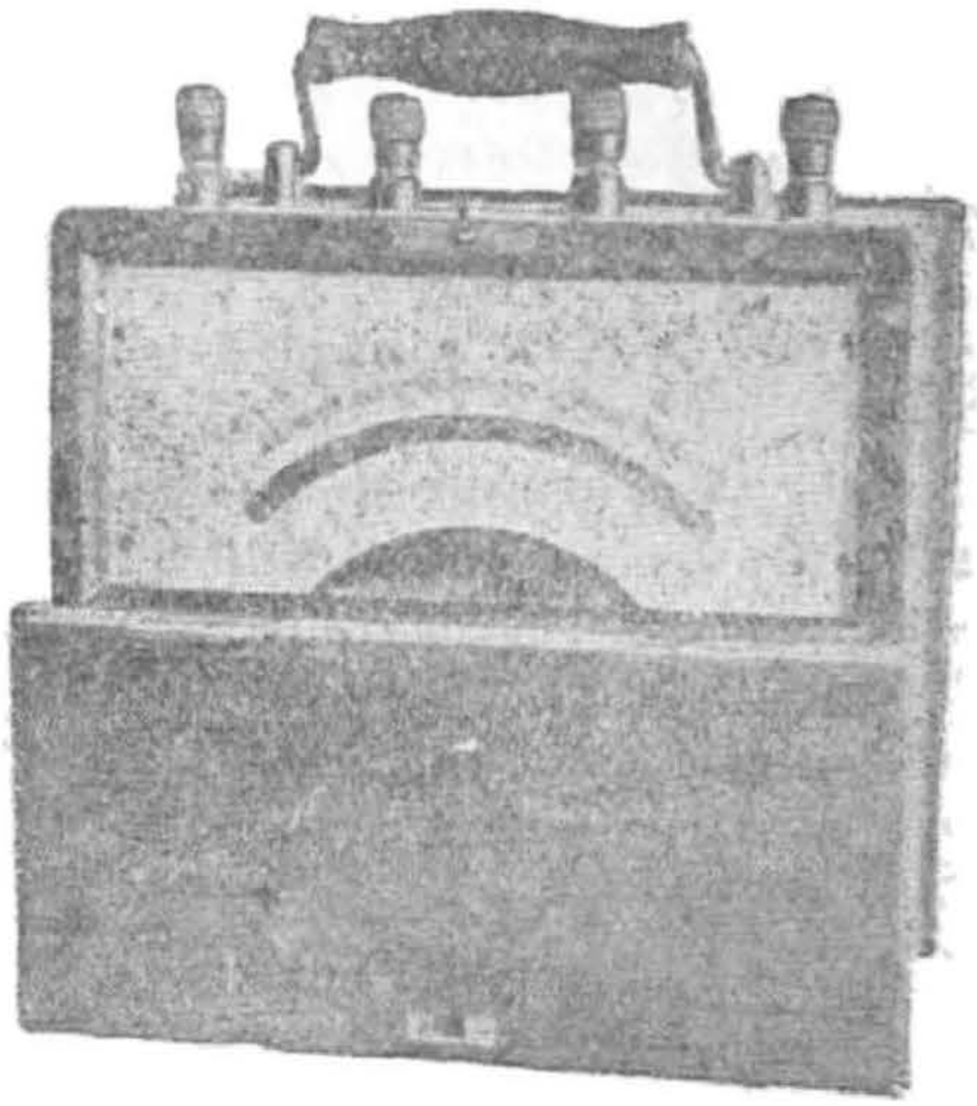
1. Принцип действия. Классификация приборов. Все наиболее распространенные приборы для измерения тока и напряжения по своему принципу действия разделяются на следующие шесть групп:

а) электромагнитные приборы, пригодные как для постоянного, так и для переменного тока;

б) магнито-электрические приборы, пригодные только для постоянного тока;

в) электродинамические приборы, пригодные как для постоянного, так и для переменного тока;

г) тепловые, пригодные для постоянного и переменного токов;



Фиг. 174. Вольтметр ЭТИ на три предела измерения (65, 130 и 260 в).

д) термоэлектрические, пригодные для постоянного и переменного токов;

е) электронные, употребляемые обычно для переменного тока, хотя они пригодны (после переградуировки шкалы) также и для постоянного тока.

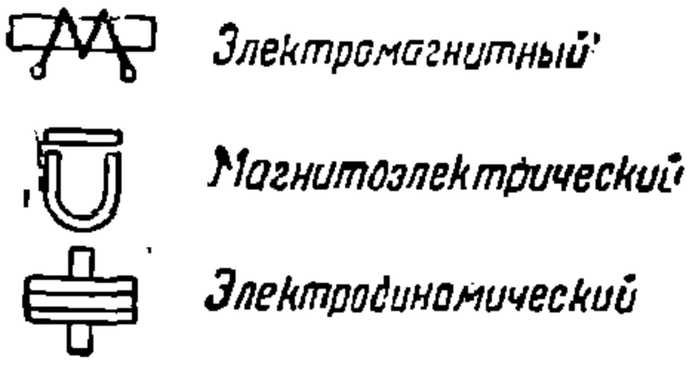
В повседневной практике чаще всего приходится пользоваться приборами, отнесенными к первым четырем группам.

Принцип действия прибора указывается на его шкале с по-

УПУНТ (КДПТ)

мощью условных обозначений. Обозначения наиболее распространенных принципов действия приведены на фиг. 175.

2. Род тока. Из предыдущего следует, что электроизмерительные приборы могут быть пригодными только для переменного тока, только для постоянного тока, или в равной степени пригодными как для переменного, так и для постоянного тока. Род тока, для которого пригоден данный прибор, указывается на шкале особым значком. На приборах только для постоянного тока ставится значок ⎓, только для переменного однофазного тока — значок ~, только для трехфазного тока — значок 3 ~.



Фиг. 175. Условные обозначения принципов действия.

Если на шкале прибора стоит значок ≃, то это значит, что такой прибор в равной степени пригоден как для переменного, так и для постоянного тока.

3. Точность. Измерительные приборы, вообще говоря, не обладают абсолютной точностью измерения. Разница между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины называется погрешностью прибора. Погрешность прибора измеряется обычно в процентах от наибольшего возможного показания прибора (от всей шкалы) или от действительного значения измеряемой величины. Для того чтобы определить действительное значение измеряемой величины, нужно к показаниям прибора прибавить некоторую величину, зависящую от погрешности и называемую поправкой.

Точность, с которой можно произвести измерение каким-либо прибором без введения поправки, зависит от его погрешности. Если прибор имеет погрешность 1%, то, следовательно, измерение им без введения поправки может быть произведено с точностью до 1%.

По точности все приборы разделяются на три класса: I, II и III, причем класс I делится на два подкласса Л и К. Класс точности указывается на шкале прибора. Для этого применяются буквенные обозначения Л (лабораторный), К (контрольный), Т (технический) и У (указательный).

Прибор считается тем более точным, чем меньше он может дать погрешность. Допустимые погрешности для каждого класса и принципа действия, подсчитанные в процентах к пределу измерения, приведены в табл. 6.

Из этой таблицы видно, что наиболее точными являются приборы I класса Л, употребляемые при точных лабораторных измерениях, а наименее точные приборы III класса У. К числу последних относится большинство щитовых приборов.

Переносные приборы, применяемые при испытаниях защитных устройств, обычно по точности стоят в классе I — К.

Следует отметить, что указанные выше допустимые погрешности действительны только в том случае, когда прибор находится в нормальных условиях, т. е. когда температура окружающего воздуха, частота тока (для приборов переменного

УДУНТ (ДІТ)

ТАБЛИЦА 6

Допустимые погрешности для электроизмерительных приборов
(по ОСТ 5236)

Наименование приборов и принцип действия	Допустимые погрешности в %			
	Класс I		Класс II	Класс III
	подкласс Л	подкласс К	Т	У
Вольтметры магнито-электрической системы	0,2	0,3	1,0	2,0
Вольтметры других систем	0,3	0,5	2,0	4,0
Амперметры магнито-электрической системы	0,2	0,3	1,0	2,0
Амперметры других систем	0,4	0,6	2,0	4,0
Ваттметры	0,3	0,5	2,0	—

тока), расположение прибора и т. п. соответствуют указанным на шкале прибора или оговоренным специальным стандартом.

Наиболее часто прибор находится в ненормальных температурных условиях. Поэтому ниже приводится таблица допустимых погрешностей приборов при условии отклонения температуры на $\pm$ 10° С от нормальной [1].

ТАБЛИЦА 7

Наименование прибора и системы	Допустимые погрешности в %			
	Класс I		Класс II	Класс III
	подкласс Л	подкласс К	Т	У
Вольтметры магнито-электрической системы	0,5	0,6	3,0	5,0
Вольтметры других систем	0,6	0,8	4,0	7,0
Амперметры магнито-электрической системы	0,7	0,8	3,0	5,0
Амперметры других систем	0,9	1,1	4,0	7,0
Ваттметры	0,6	0,8	4,0	—

ТАБЛИЦА 8

Класс точности	Допустимая погрешность в %, отнесенная ко всей шкале
0,2	0,2
0,5	0,5
1,0	1,0
1,5	1,5
2,5	2,5

[1] Нормальной температурой, если нет специальных указаний на шкале прибора, считается +20°С.

УДУНТ (ДПТ)

По новому ОСТ 40008 все амперметры, вольтметры и ваттметры по точности разделяются на пять классов. Допустимые погрешности каждого класса при нормальной температуре окружающего воздуха, отнесенные ко всей шкале приборов, приведены в табл. 8.

При испытаниях и наладке защитных устройств применяются обычно приборы класса точности 0,5 или 1,0.

Если температура окружающего воздуха отличается от нормальной ($+20^\circ$ С) на $\pm 10^\circ$ С, то наибольшая допустимая погрешность на конечной точке шкалы возрастает в два раза.

4. Пределы измерения. Для каждого прибора имеется предел измерения. Если измеряемая величина больше предельной, то стрелка прибора «уйдет за шкалу», т. е. отклонится дальше, чем нанесены деления на шкале, и прибор может испортиться (погнется стрелка, сгорит обмотка и т. п.). Предельные значения обычно называются нормальными: например, нормальная величина тока амперметра, нормальное напряжение вольтметра и т. п. Для ваттметров указываются нормальные величины тока и напряжения. При нормальном (предельном) значении измеряемой величины стрелка контрольного и лабораторного прибора отклоняется как раз до наибольшего деления шкалы. Предел измерения приборов указывается двумя способами: если шкала градуирована непосредственно в измеряемых величинах (например, на шкале амперметра против делений написан ток в амперах), то пределом измерения будет величина, написанная против последнего (крайнего правого) деления шкалы. Если шкала прибора разбита на деления (обычно 100 или 150) и отдельно указана величина тока (для амперметра), напряжение (для вольтметра) или то и другое (для ваттметра), то эта отдельно написанная величина и будет пределом измерения. По такому способу градуируется большинство лабораторных и контрольных приборов. Например, если шкала амперметра разбита на 100 делений и отдельно написано «5А», то это значит, что предел измерения данного амперметра 5 *а*, соответствующие 100 делениям шкалы. Шкалы щитовых приборов обычно градуируются с учетом измерительных трансформаторов тока или напряжения, шунтов и добавочных сопротивлений. В таких случаях на шкалах делаются соответствующие пометки, например, если наибольшее деление шкалы амперметра 100 *а*, на шкале стоит надпись: «с трансформатором тока $\frac{100}{5}$ А», то это значит, что нормальный ток самого амперметра только 5 *а*, а шкала его проградуирована с учетом, что данный амперметр должен включаться через трансформатор тока $\frac{100}{5}$ *а*.

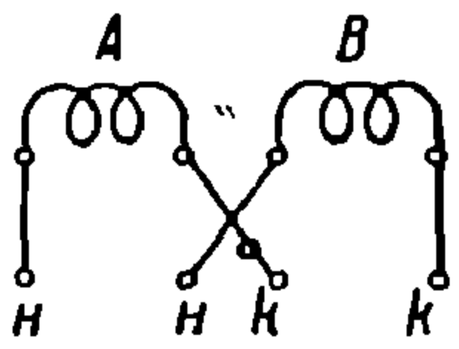
Лабораторные и контрольные приборы изготовляются на следующие нормальные токи и напряжения: нормальные токи 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10 и 20 *а* и нормальные напряжения 30; 65; 130; 150; 260 и 520 *в*.

УДУНТ (ДІІТ)

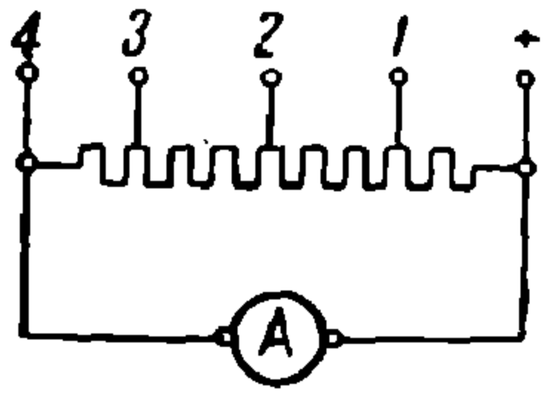
Для того чтобы прибор давал гарантированную точность, необходимо, чтобы измеряемая величина была равна не менее одной трети предела измерения прибора.

5. Приборы на несколько пределов измерения. При различных контрольных и лабораторных измерениях встречается необходимость в приборах на разные пределы измерения. Поэтому, для того чтобы сократить количество необходимых приборов, лабораторные и контрольные приборы часто строятся на несколько пределов измерения. Такие приборы снабжаются специальными переключателями пределов, в зависимости от положения которых один и тот же прибор может быть использован на разные пределы.

Изменение пределов достигается в основном тремя способами. Первый способ изменения пределов применяется, главным образом, для сериесных обмоток электродинамических приборов (ампереметры и токовые обмотки ваттметров) и заключается в следующем: сериесная обмотка делится на две равные части (*А* и *В* на фиг. 176). Специальным переключателем обе части можно соединить между собой последовательно или параллельно. При параллельном соединении обеих половин предельный (нормальный) ток в два раза больше, чем при последовательном соединении.



Фиг. 176. Сериесная обмотка прибора на два предела измерения.



Фиг. 177. Амперметр с шунтом на четыре предела измерения.

Второй способ применяется для изменения пределов измерения магнито-электрических амперметров (для постоянного тока) и заключается в следующем: параллельно обмотке амперметра *А* включен шунт с отпайками *1*, *2*, *3* и *4* (фиг. 177).

Величина сопротивления шунта между клеммой + и каждой отпайкой различна и тем больше, чем больше номер отпайки. Поэтому, если прибор включить в провод клеммой + и какой-либо одной отпайкой, то для каждой отпайки нужна будет различная величина тока в проводе, чтобы стрелка амперметра отклонилась на всю шкалу. Для каждой отпайки можно определить эту величину тока, которая и будет пределом измерения амперметра на данной отпайке шунта.

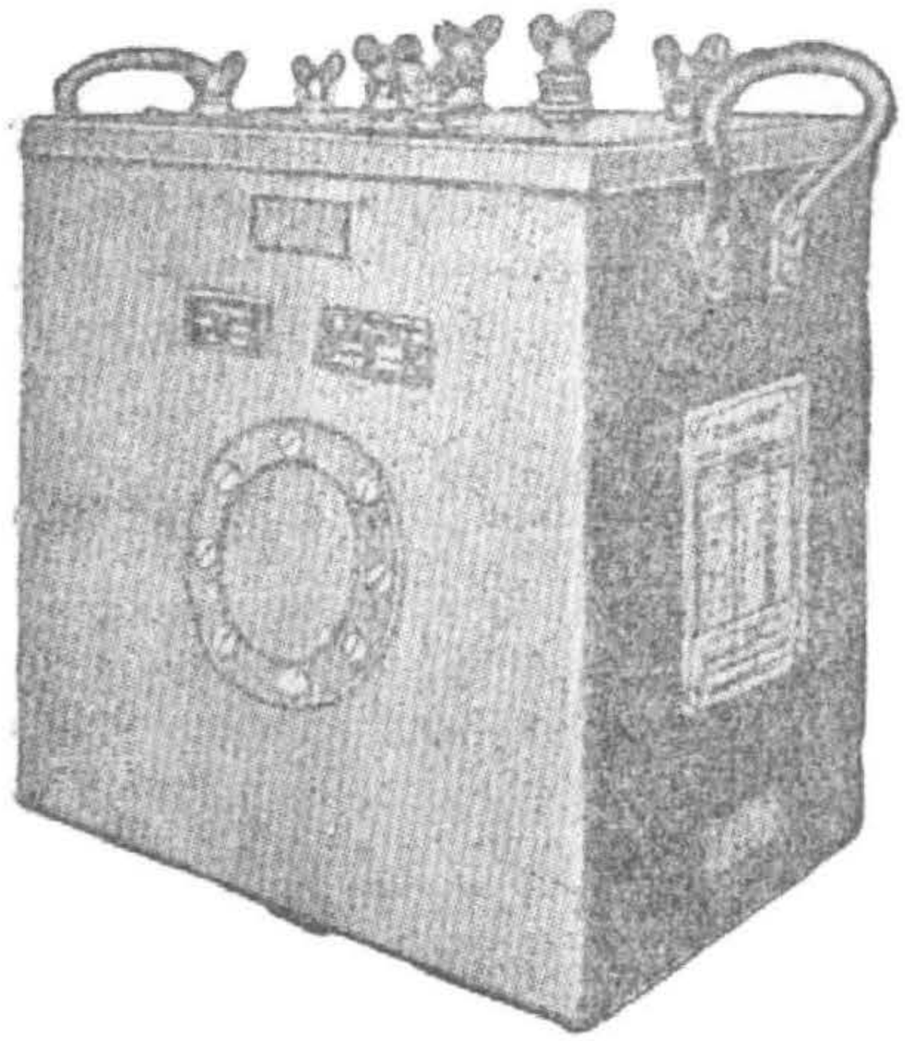
Третий способ применяется для изменения пределов измерения вольтметров и обмоток напряжения ваттметров. Этот способ заключается в том, что от добавочного сопротивления вольтметра сделаны отпайки, позволяющие использовать только часть сопротивления. Таких отпаек делается обычно не менее трех-четырех. На фиг. 174 изображен вольтметр, изготовляемый ЭТИ на три предела напряжения (65, 130 и 260 *в*). У этого вольтметра добавочное сопротивление помещено внутри кожуха, а на крышке укреплены зажимы, к которым присоединены отпайки от соответствующих частей добавочного сопротивления.

6. Трансформаторы тока. При испытаниях и настройке релей-

УПУНТ (СПІТ)

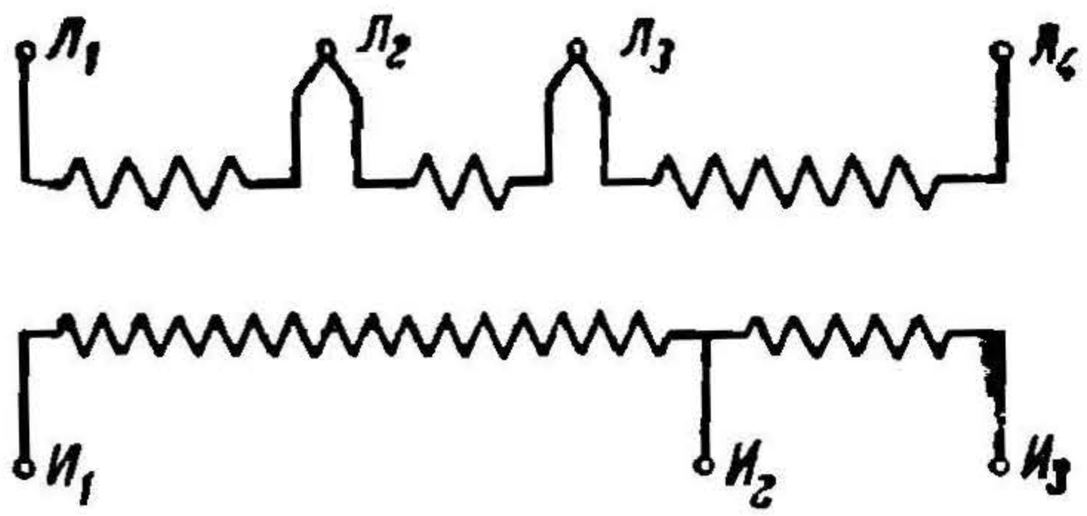
ной защиты применяются трансформаторы тока переносного типа, коэфициент трансформации которых n_m можно по желанию изменять в довольно больших пределах.

Делается это для того, чтобы с помощью одного трансформатора и одного амперметра (или ваттметра) можно было производить измерение тока (или мощности) в широких пределах с достаточной точностью (т. е. при отклонении стрелки амперметра или ваттметра не менее чем на одну треть шкалы). К числу таких трансформаторов тока относится лабораторный трансформатор тока ТЛ-0,5 (завод «Электроаппарат»), у которого имеется возможность изменять коэфициент трансформации от $\frac{15}{5}$ до $\frac{1\,500}{5}$ *а*. Изоляция этого трансформатора тока рассчитана на напряженеие 500 *в*, поэтому в сетях высокого напряжения он неприменим.



Фиг. 178. Лабораторный трансформатор тока ТЛ-0,5 от $\frac{15}{5}$ до $\frac{1\,500}{5}$ *а*.

Трансформатор тока ТЛ-0,5 заключен в металлический кожух с двумя ручками для переноски (фиг. 178) и сквозным отверстием в середине. На верхней крышке поме-



Фиг. 179. Схема обмоток трансформатора тока ТЛ-0,5, $Л_1$, $Л_2$, $Л_3$ и $Л_4$ — клеммы первичной обмотки; $И_1$, $И_2$, $И_3$ — клеммы вторичной обмотки.

щены четыре зажима первичной обмотки ($Л_1$, $Л_2$, $Л_3$ и $Л_4$) и три вторичной ($И_1$, $И_2$ и $И_3$).

На фиг. 179 приведена схема обмоток трансформатора тока, из которой видно, что первичная обмотка разделена на три части, а вторичная на две. Таким образом, включая трансформатор тока в схему различными зажимами, можно получить различные числа витков первичной и вторичной обмоток, т. е. разные коэфициенты трансформации.

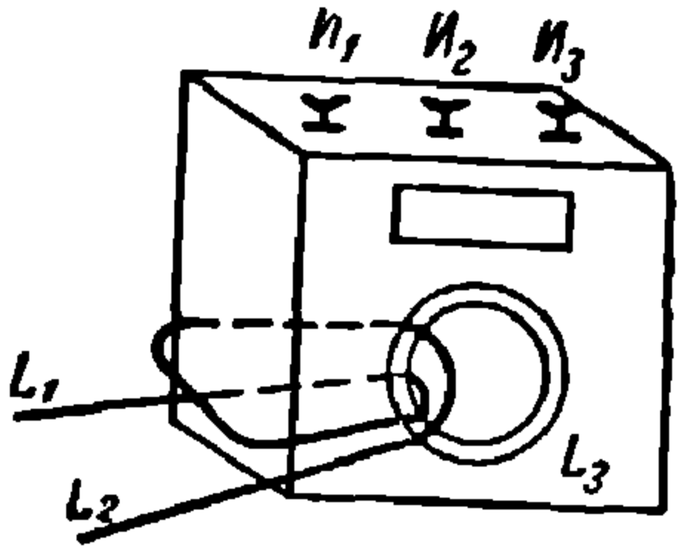
В табл. 9 указаны коэфициенты трансформации, которые получаются в зависимости от того, какие использованы зажимы первичной и вторичной обмоток. При этом подразумевается, что первичная обмотка включается в провод, ток в котором требуется измерять, а вторичная обмотка замыкается на токовую обмотку измерительного прибора (амперметра или ваттметра).

УРУНТ (ДІТ)

ТАБЛИЦА 9

Коэфициент трансформации в a	Клеммы первичной обмотки	Клеммы вторичной обмотки
15/5	$Л_1$-Л	$И_1$-$И_2$
20/5	$Л_2$-Л	$И_1$-$И_3$
25/5	$Л_2$-Л	$И_1$-$И_2$
30/5	$Л_3$-$Л_4$	$И_1$-$И_3$
40/5	$Л_1$-$Л_3$	$И_1$-$И_2$
50/5	$Л_1$-$Л_3$	$И_1$-$И_3$
60/5	$Л_1$-$Л_2$	$И_1$-$И_2$
75/5	$Л_1$-$Л_2$	$И_1$-$И_3$
120/5	$Л_2$-$Л_3$	$И_1$-$И_2$
150/5	$Л_2$-$Л_3$	$И_1$-$И_3$

Из этой таблицы видно, что, переключая зажимы первичной и вторичной обмоток, можно получить коэфициенты трансформации от $\frac{15}{5}$ до $\frac{150}{5}$ a. Для дальнейшего увеличения коэфициента трансформации $\left(\text{от}\frac{200}{5}\text{ до }\frac{1\,500}{5}\right)$ следует в качестве первичной обмотки пользоваться изолированным гибким проводом, пропускаемым в отверстие в кожухе (фиг. 180). При этом зажимы $Л_1$, $Л_2$, $Л_3$ и $Л_4$ первичной обмотки должны быть разомкнуты. Измерительные приборы приключаются к зажимам $И_1$, $И_2$ или $И_3$ (в зависимости от коэфициента трансформации). В табл. 10 указано, какой получается коэфициент трансформации в зависимости от того, сколько витков гибкого провода продето в отверстие и к каким зажимам приключены измерительные приборы.



Фиг. 180. Замена первичной обмотки трансформатора тока ТЛ-0,5 гибким проводом.

ТАБЛИЦА 10

Коэфициент трансформации в a	Число витков провода, продетого в отверстие	Клеммы вторичной обмотки
200/5	6	$И_1$-$И_2$
250/5	6	$И_1$-$И_3$
300/5	4	$И_1$-$И_2$
400/5	3	$И_1$-$И_2$
500/5	3	$И_1$-$И_3$
600/5	2	$И_1$-$И_2$
750/5	2	$И_1$-$И_3$
1 200/5	1	$И_1$-$И_2$
1 500/5	1	$И_1$-$И_3$

УДУНТ (ДПІТ)

7. Определение цены деления шкалы приборов. Некоторые измерительные приборы, в особенности лабораторные и контрольные, имеют шкалу без отметок измеряемых величин, а разделенную только на мелкие деления (градусы). В таком случае надо знать значение одного деления шкалы (или градуса), что называют ценой деления.

Шкалы лабораторных и большей частью контрольных амперметров разбиваются на 100 делений, а на приборе указывается нормальный ток, при котором стрелка отклоняется на 100 делений, и цена деления амперметра. В некоторых случаях цена деления не указывается. Тогда перед измерением тока нужно сначала определить цену деления амперметра. Зная нормальный ток прибора, это очень легко сделать, исходя из следующих соображений: для того чтобы стрелка отклонилась на 100 делиний, нужен нормальный ток (обозначим его через $I_н$ ампер). Следовательно, для того чтобы стрелка отклонилась на одно деление, нужен ток в 100 раз меньший, т. е

$$\frac{I_н}{100}\ a.$$

Это и будет цена деления амперметра. Например, шкала амперметра разбита на 100 делений. Нормальный ток (отклоняющий стрелку на 100 делений) равен $I_н = 5{,}0$ *а*. Очевидно, цена деления амперметра будет:

$$C = \frac{I_н}{100} = \frac{5{,}0}{100} = 0{,}05\ \textit{ампер/деление.}$$

Если стрелка такого амперметра при измерении тока отклонилась на 45 делений, то величина тока будет равна:

$$I = 45 \cdot C = 45 \cdot 0{,}05 = 2{,}25\ a.$$

Совершенно аналогично определяется цена делений для вольтметров.

Цена делений у ваттметров определяется следующим образом.

Если известно полное число делений шкалы (обозначим его буквой b) и нормальная мощность ваттметра $P_н$, то цена деления ваттметра, т. е. мощность, при которой стрелка ваттметра отклоняется на одно деление шкалы, будет равна:

$$C = \frac{P_н}{b}.$$

Если известны только нормальный ток $I_н$ и нормальное напряжение $U_н$, то, очевидно, при $\cos\varphi = 1{,}0$ нормальная мощность будет:

$$P_н = I_н \cdot U_н,$$

поэтому

$$C = \frac{I_н \cdot U_н}{b}.$$

УДУНТ (ДІІТ)

Если ток дан в амперах, напряжение в вольтах, а мощность в ваттах, то постоянная ваттметра получается в ваттах на одно деление.

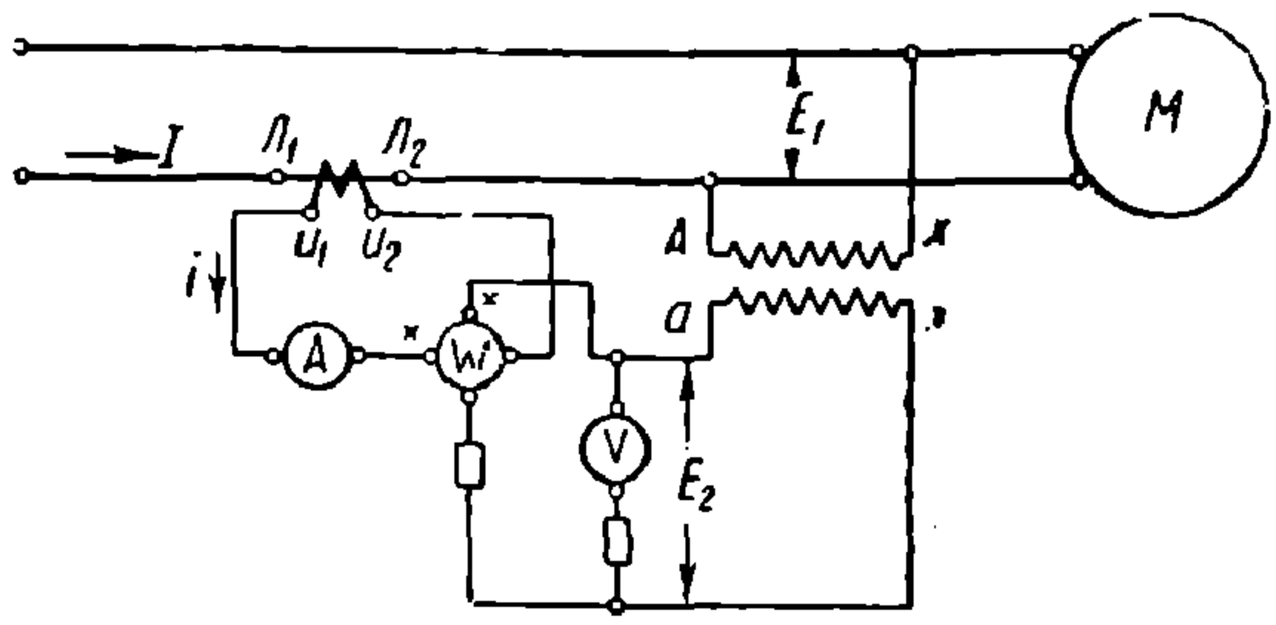
Например, если шкала ваттметра разбита на 150 делений и указаны нормальный ток 0,25 *а* и нормальное напряжение 120 *в*, то цена деления получится равной:

$$C = \frac{I_н \cdot U_н}{150} = \frac{0{,}5 \cdot 120}{150} = 0{,}4 \text{ } вт \text{ на одно деление шкалы.}$$

Если при измерении стрелка этого ваттметра отклонилась на 50 делений, то, очевидно, он измеряет мощность:

$$P = 50 \cdot 0{,}4 = 20 \text{ } вт.$$

Более сложно определяется цена делений приборов, присоединенных к измерительным трансформаторам. Рассмотрим пример определения цены делений всех приборов, присоединяемых на схеме фиг. 181.



Фиг. 181. Схема совместного включения амперметра, ваттметра и вольтметра с добавочными сопротивлениями через измерительные трансформаторы.

Предположим, что в этой схеме имеем: трансформатор тока $\frac{200}{5}$ *а*; трансформатор напряжения $\frac{3\,000}{100}$ *в*. Шкала амперметра разбита на 100 делений. Нормальный ток амперметра 5 *а*. Шкала ваттметра разбита на 150 делений. Нормальный ток ваттметра 5 *а*.

Дополнительное добавочное сопротивление ваттметра на 120 *в*.

Шкала вольтметра разбита на 130 делений. Дополнительное добавочное сопротивление вольтметра — на 260 *в*.

Показания приборов следующие:

амперметра 80 делений
вольтметра 50 »
ваттметра 80 »

Из сказанного выше следует, что цена деления амперметра

$$C = \frac{5}{100} = 0{,}05a,$$

цена деления вольтметра

$$C = \frac{260}{130} = 2 \text{ } в,$$

УДУНТ (ДПІТ)

цена деления ваттметра

$$C = \frac{120 \cdot 5}{150} = 4 \text{ вт.}$$

Теперь умножая показания прибора на цену деления его шкалы, можно подсчитать, что вторичный ток, измеренный амперметром,

$$i = 80 \cdot 0{,}05 = 4 \text{ а.}$$

Вторичное напряжение, измеряемое вольтметром,

$$U_2 = 50 \cdot 2 = 100 \text{ в.}$$

Вторичная мощность, измеряемая ваттметром,

$$P_2 = 80 \cdot 4 = 320 \text{ вт.}$$

Для того чтобы перейти к первичным цепям измерительных трансформаторов тока и напряжения, нужно ток, измеренный амперметром, умножить на коэфициент трансформации трансформатора тока:

$$I_1 = 4 \cdot 40 = 160 \text{ а,}$$

вторичное напряжение умножить на коэфициент трансформации трансформатора напряжения:

$$U_1 = 100 \cdot 30 = 3\,000 \text{ в,}$$

вторичную мощность умножить на коэфициент трансформации трансформаторов тока и напряжения:

$$P_1 = P_2 \cdot n_m \cdot n_н = 320 \cdot 40 \cdot 30 = 384\,000 \text{ вт, или } 384 \text{ квт.}$$

Коэфициент мощности, очевидно, будет равен:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} = \frac{384\,000}{3\,000 \cdot 160} = 0{,}8.$$

8. Расположение прибора. Для получения правильных показаний приборов необходимо их ставить в определенное положение, указываемое особыми значками на шкале прибора:

а) горизонтальное расположение —;

б) вертикальное расположение ↑;

в) наклонное ∠.

В последнем случае указывается, под каким углом к столу прибор должен располагаться. Например, значок ∠60° показывает, что прибор должен быть расположен под углом 60° к столу.

Это нужно иметь в виду при измерениях. Нельзя, например, прибор, предназначенный для вертикальной установки (значок ↑), класть на стол, так как тогда он будет давать неверные показания.

Лабораторные и контрольные приборы строятся, как правило, для двух первых расположений (в большинстве случаев для горизонтального).

УДУНТ (ДІІТ)

9. Установка стрелки на нуль. После установки прибора в соответствующее положение следует убедиться в том, что стрелка его состоит строго на нуле (при обесточенном приборе) [1], и если нужно, то установить стрелку на нуль, вращая специальный винт, укрепленный в корпусе прибора. Это условие, так же как и правильное расположение, необходимо строго соблюдать, так как только тогда прибор будет давать гарантированную точность.

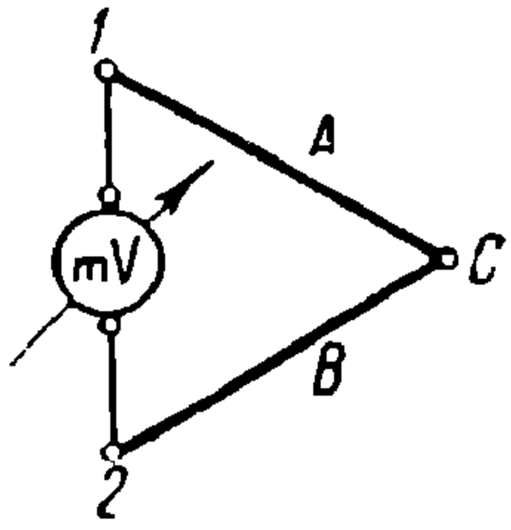
10. Производство отсчетов показаний приборов. Для правильности отметки показания прибора необходимо смотреть на стрелку прямо. При наблюдении стрелки сбоку отсчет по шкале получится неправильный.

Для большей точности отсчета в шкалах лабораторных (класс Л) и контрольных (класс К) приборов делается прорезь непосредственно под делениями, в которую вставляется зеркало (приборы с зеркальной шкалой). Глаз наблюдателя, производящего отсчет по этим приборам, должен располагаться таким образом, чтобы участок стрелки, находящийся над зеркалом, закрывал свое отражение в нем.

46. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕБОЛЬШИХ ТОКОВ

Наряду с такими общеизвестными приборами, как амперметры, включаемыми в измеряемую цепь непосредственно, через трансформатор тока или через шунт, при испытании защитных устройств применяются специальные приборы, предназначенные для измерения небольших величин (порядка нескольких миллиампер) преимущественно переменного тока. К числу последних относится термоэлемент, принцип действия которого поясняется фиг. 182, 183 и 184.

1. Термоэлемент. Если две проволочки (фиг. 182) из разных металлов (например, одна проволочка из меди, а другая — из константана) спаять в точке *C* и нагревать место спая, оставляя концы *1* и *2* холодными, то на этих концах появится разность потенциалов, которая может быть измерена чувствительным милливольтметром постоянного тока. Эта разность потенциалов будет тем больше, чем выше температура места спая *C* по сравнению с температурой концов *1* и *2*.



Фиг. 182. Термопара.

Две такие проволочки, изображенные на фиг. 182, называются термопарой, а само явление, т. е. возникновение разности потенциалов на концах *1* и *2* при нагревании места спая, называется термоэлектрическим эффектом.

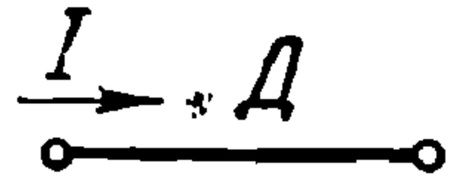
С другой стороны, если по проволочке *D* (фиг. 183) пропускать электрический ток (постоянный или переменный), прово-

[1] Стрелка катодного вольтметра должна устанавливаться на нуль при отключенных батареях.

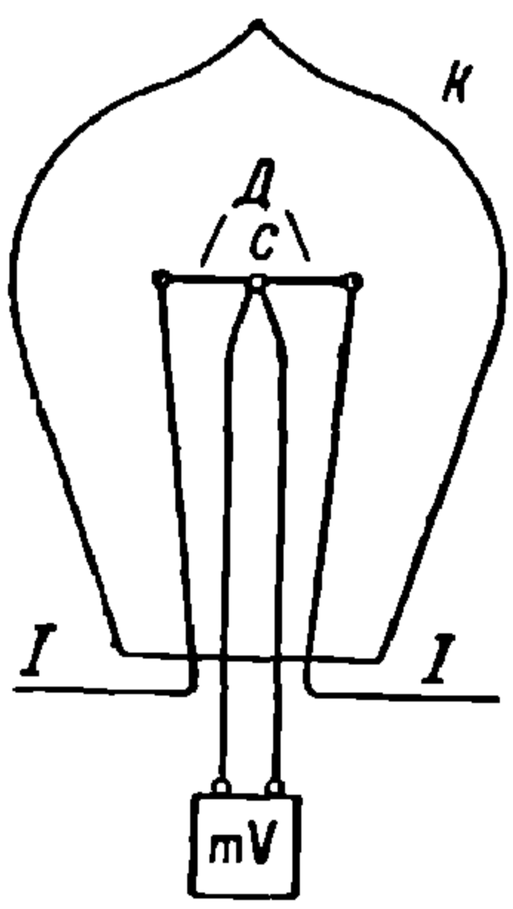
УДУНТ (КДПТ)

лочка будет нагреваться и температура cc будет тем выше, чем больше будет ток *I*. Это явление называется эффектом Джоуля.

Из сказанного следует, что если к проволочке *D* (фиг. 183), которую нагревает протекающий на ней ток *I* ампер, приложить спай *C* термопары (фиг. 182), то на холодных концах *1* и *2* этой термопары появится разность потенциалов, и стрелка милливольтметра, приключенного к этим концам, отклонится на несколько делений. Если теперь ток *I* в проволочке *D* увеличить, то температура ее возрастет, спай *C* термопары нагреется сильнее, разность потенциалов на концах *1* и *2* термопары возрастет и милливольтметр покажет больше милливольт. Очевидно, при уменьшении тока показания милливольтметра уменьшаются. Таким образом окажется, что показания вольтметра будут зависеть от тока в проволочке. Это и будет термоэлемент. Поскольку проволочка будет нагреваться независимо от рода протекающего по ней тока, термоэлемент оказывается пригодным для измерения как переменного, так и постоянного тока.



Фиг. 183. Проволока *Д* нагревается протекающим по ней током *I*.



Фиг. 184. Термоэлемент.

Так как температура проволочки *D* (а следовательно, и показания милливольтметра) зависит от тока *I* и от сопротивления этой проволочки, то, изменяя ее сечение и удельное сопротивление, можно получить одинаковые показания милливольтметра при разных токах.

По этому принципу оказывается возможным сконструировать термоэлемент на нормальный (измеряемый) переменный ток всего 10—15 *ма*. При этом сопротивление проволочки *D*, называемой нитью накала, оказывается порядка 20—25 *ом*. Поскольку ток, который требуется измерять, обтекает только нить накала, внутреннее сопротивление такого термоэлемента оказывается равным сопротивлению последней (20—25 *ом*), т. е. значительно меньше, чем сопротивление электромагнитного или электродинамического миллиамперметра, который можно было бы сделать на такую величину тока.

Устройство применяемого в релейной практике термоэлемента поясняется фиг. 184. В стеклянной колбе *K* (от катодной лампы), из которой выкачан воздух, помещена металлическая (обычно вольфрамовая) нить накала *D*. В середине нити укреплен спай термопары *C*. Нить накала включается в цепь измеряемого тока. На выведенные концы термопары приключается чувствительный милливольтметр. Концы нити накала и термопары в термоэлементах союзного производства присоединяются обычно к ножкам (к цоколю) электронной лампы. В этом случае термоэлемент очень похож на катодную лампу. Концы термопары *1* и *2* присоединяются к ножкам «анод» и «сетка»

УДУНТ (ДІІТ)

катодной лампы, концы нити накала присоединяются к тем же ножкам, что и у обычной катодной лампы. Термоэлемент помещается в стеклянный баллон *K*, из которого выкачан воздух, для того чтобы разность потенциалов на концах термопары возможно меньше зависела от температуры окружающего воздуха.

При измерениях нить накала включается в цепь измеряемого тока *I*, а к концам термопары присоединяется чувствительный милливольтметр. Отсчет показаний милливольтметра нужно производить спустя некоторое время (10—15 сек.) после включения измеряемого тока в нить накала, для того чтобы нить накала и спай термопары успели нагреться.

Нить накала перегружать нельзя, так как при токе, большем нормального, она сгорит. Поэтому в тех случаях, когда есть опасения, что ток, подлежащий измерению, больше нормального тока термоэлемента, последний целесообразно включить с шунтом по правилам присоединения шунта к амперметрам.

Для определения величины измеряемого тока по показаниям милливольтметра пользуются диаграммой с градуировочной кривой, составленной для данного термоэлемента совместно с определенным милливольтметром.

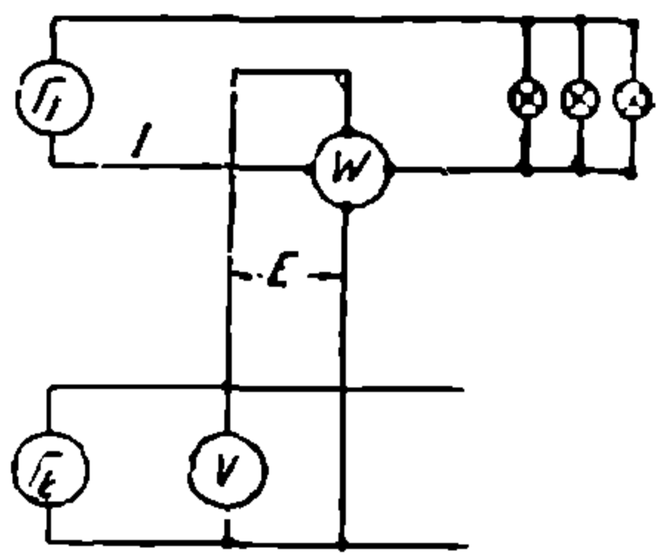
На градуировочной кривой по горизонтальной оси нанесены показания милливольтметра, а по вертикальной — соответствующие значения измеряемого тока. Если термоэлемент присоединен к шунту, то значения тока по диаграмме надо умножить на коэфициент шунта. Коэфициент шунта можно определить, если известно сопротивление термоэлемента.

Например, если термоэлемент был включен через шунт, сопротивление которого 20 *ом*, а сопротивление нити накала термоэлемента 25 *ом*, то коэфициент шунта

$$k_{ш} = \frac{25 + 20}{20} = 2{,}25.$$

2. Ваттметр. Наконец, для измерения малых величин переменного тока часто применяется ваттметр.

Метод измерения тока при помощи ваттметра поясняется фиг. 185. Сериесная обмотка ваттметра включается в цепь измеряемого тока *I*, а шунтовая присоединяется к другому генератору $Г_2$, работающему раздельно (несинхронно) от генератора $Г_1$. Если генераторы $Г_1$ и $Г_2$ работают с разной частотой, то стрелка ваттметра будет все время колебаться. При этом наибольшие показания ваттметра будут в те моменты, когда ток *I* (создаваемый генератором $Г_1$) и напряжение *U* (создаваемое генератором $Г_2$) окажутся совпадающими по фазе ($\cos \varphi = 1$). В таких случаях показания ваттметра будут равны



Фиг. 185. Измерение величины тока при помощи ваттметра с несинхронным напряжением.

$$\alpha = \frac{I \cdot U}{C_w},$$

УДУНТ (ДПІТ)

где C_w — цена деления ваттметра в ваттах;

α — число делений, на которое отклонилась стрелка ваттметра.

Поэтому, зная напряжение U (измеряется вольтметром V), можно подсчитать ток I:

$$I = \frac{\alpha \cdot C_w}{U} \cdot 1\,000 \text{ } ма.$$

При измерениях разница частот генераторов $Г_1$ и $Г_2$ не должна превышает 0,5 *гц*, так как иначе стрелка ваттметра будет колебаться слишком быстро, что затруднит производство отсчетов.

Практически для подобных измерений наиболее пригоден ваттметр с сериесной обмоткой на нормальный ток 0,5 *а*. Если шкала такого ваттметра разбита на 150 делений и на шунтовую обмотку подано нормальное напряжение, то нетрудно подсчитать, что уже при токе в 10 *ма* стрелка ваттметра отклонится на три деления, что при наличии равномерной шкалы даст возможность произвести отсчет, правда с весьма незначительной точностью. В самом деле, если, например, нормальное напряжение шунтовой обмотки нашего ваттметра равно 120 *в*, то при 150 делениях шкалы цена одного деления равна:

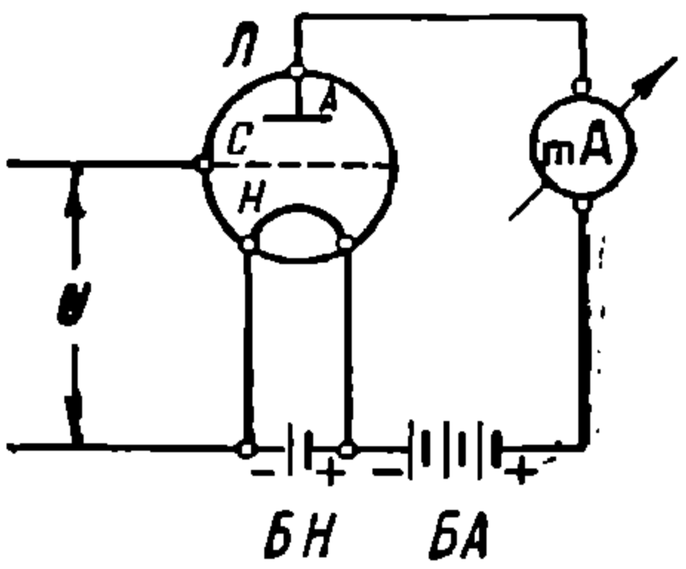
$$C_w = \frac{0{,}5 \cdot 120}{150} = 0{,}4 \text{ } вт.$$

Поэтому, если на шунтовую обмотку подано напряжение $U = 120$ *в*, а по сериесной протекает ток 10 *ма*, то при $\cos \varphi = 1$ число делений шкалы, на которое отклонится стрелка ваттметра, будет равно:

$$\alpha = \frac{10 \cdot 120}{0{,}4 \cdot 1\,000} = 3.$$

47. ЭЛЕКТРОННЫЙ ВОЛЬТМЕТР

Основными частями электронного вольтметра является электронная лампа и чувствительный миллиамперметр. Устройство и работа электронного вольтметра поясняются на фиг. 186. В стеклянном баллоне электронной лампы *Л*, из которого выкачан воздух, укреплена нить накала *Н*, анод *А* и сетка С, помещенная между анодом *А* и нитью накала *Н*. Если нить *Н* накалить током от батареи *БН*, а между нитью и анодом включить чувствительный миллиамперметр *mA* через батарею *БА*, то стрелка миллиамперметра отклонится. Это будет свидетельствовать о протекании тока *i* между нитью и анодом. Если теперь между сеткой и нитью накала приложить напряжение *U*, то ток *i*, а следовательно, и показание миллиамперметра изменятся и будут зависеть от величины этого

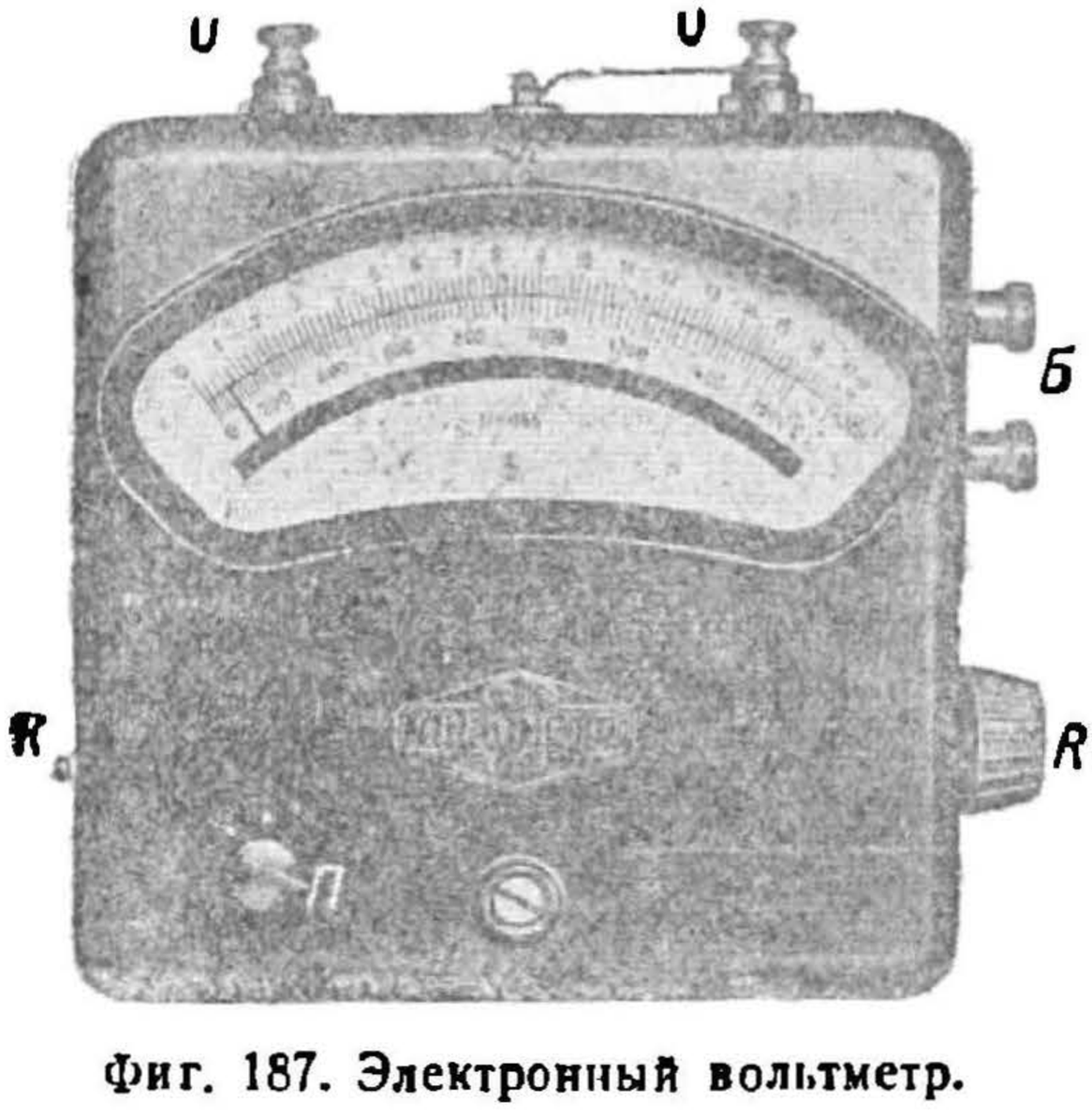


Фиг. 186. Принцип действия электронного вольтметра.

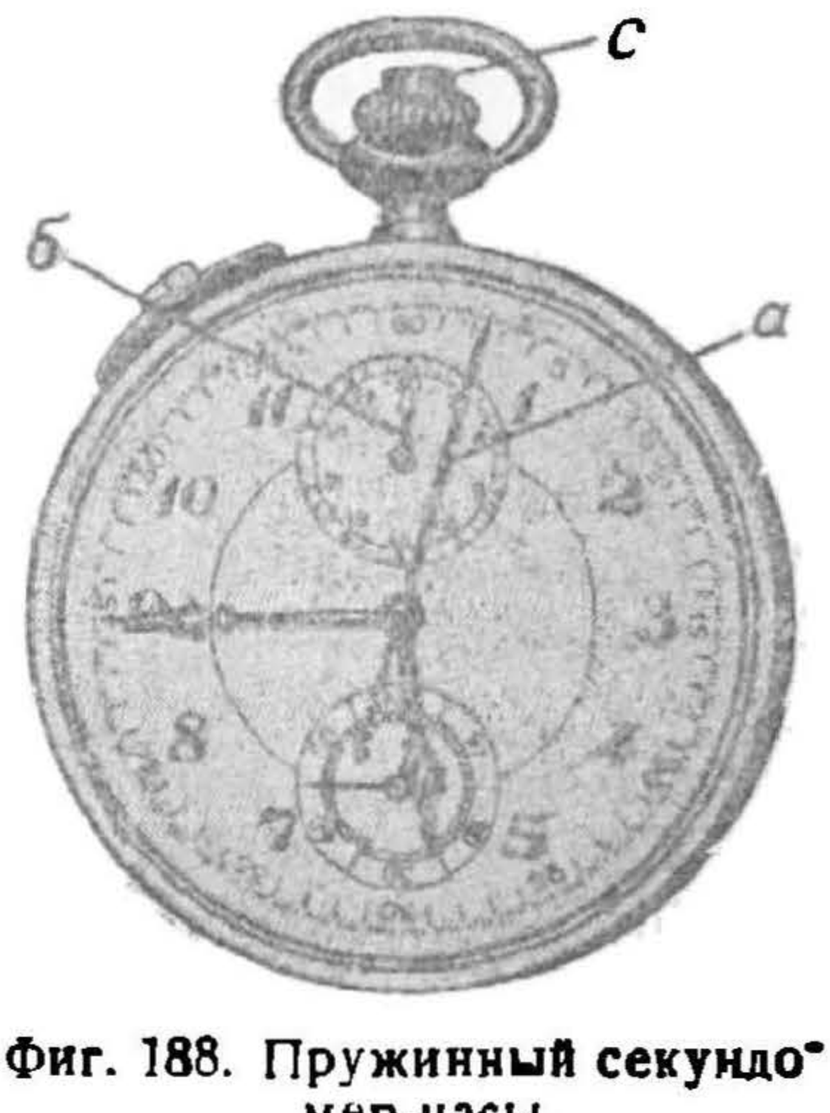
УДУНТ (ДІІТ)

напряжения. Это объясняется тем, что в зависимости от напряжения U изменяется сопротивление пути тока i внутри лампы между нитью и анодом. Прикладывая между сеткой и нитью накала лампы различные напряжения, можно проградуировать шкалу миллиамперметра в величинах измеряемого напряжения.

Электронный вольтметр в релейной практике градуируется и применяется для измерения напряжения переменного тока. Однако он может применяться также и для постоянного тока. В последнем случае он должен быть проградуирован на постоянном токе.



Фиг. 187. Электронный вольтметр.



Фиг. 188. Пружинный секундомер-часы.

С помощью электронного тока вольтметра может быть измерено напряжение переменного тока порядка 0,5—1,0 *в*. При этом внутреннее сопротивление электронного вольтметра между точками приложения измеряемого напряжения (т. е. между сеткой и нитью накала лампы) очень велико (несколько десятков и даже сотен тысяч ом). Этим он выгодно отличается от других вольтметров переменного тока на напряжение порядка 0,5—1,0 *в*, сопротивление которых значительно меньше.

На фиг. 187 изображен электронный вольтметр лаборатории Оргрэс, позволяющий обходиться одной батареей.

48. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

При испытаниях реле часто приходится измерять время порядка нескольких секунд. Для этой цели применяются приборы, называемые секундомерами. Все секундомеры, применяемые при релейных испытаниях, можно разбить на две группы — пружинные и электрические.

1. Пружинные секундомеры. Очень распространенный секундомер изображен на фиг. 188. Это обыкновенные точные часы, у которых имеются две дополнительные стрелки а и б. Тонкая стрелка обходит весь большой циферблат в течение

УПУНТ (ДПТ)

1 мин. Стрелка *в* обходит маленький циферблат в течение 30 мин. и двигается скачками через 1 мин.

Управление обеими стрелками производится вручную с помощью кнопки с, помещенной в головке часов. Нормально стрелка *а* стоит в положении 12 час. или 0 (60) сек., а стрелка *б* — в положении 0 (30) мин. При первом нажиме пальцем на кнопку обе стрелки начинают двигаться. При втором нажиме кнопки обе стрелки останавливаются, показывая время, прошедшее между первым и вторым нажатиями кнопки. При третьем нажиме кнопки обе стрелки возвращаются в исходное положение.

Описанным прибором можно одновременно пользоваться и как часами и как секундомером.

Для определения выдержки времени реле нужно одновременно с пуском реле пустить секундомер и остановить его в момент срабатывания реле. Для того чтобы можно было точно определить момент срабатывания реле, удобно пользоваться контрольной лампочкой, включаемой через контакты реле. В этом случае загорание лампочки будет свидетельствовать о том, что контакты реле замкнулись, и наоборот, лампочка погаснет в момент размыкания контактов.

Основной недостаток описанного способа заключается в том, что практически очень трудно пустить секундомер вручную одновременно с пуском реле и остановить его точно в момент загорания (или погасания) лампочки. При определении выдержки времени реле с помощью секундомеров, пускаемых вручную, ошибка при измерениях зависит от навыка лица, производящего эти измерения, и может доходить до 0,5 сек.

Этот недостаток может быть исключен при употреблении электрических секундомеров, пуск и остановка которых при определении выдержки времени реле происходят автоматически.

2. Электрические секундомеры. Электрические секундомеры предназначаются для работы на переменном токе и состоят в основном из двух частей — рабочего органа и добавочного сопротивления, включаемых последовательно к сети 110 или 220 *в*. Рабочий орган приводит в движение одну или две стрелки, показывающие время. Для того чтобы показания электрических секундомеров не зависели от возможных колебаний напряжения сети, в качестве рабочих органов используются или маленькие синхронные моторчики[1] или вибраторы. Секундомеры с вибраторами называются периодомерами.

Электрический секундомер включается от общего рубильника и испытуемым реле. Благодаря этому обеспечивается одновременный пуск реле и секундомера. Остановка секундомера в момент срабатывания реле производится двумя способами. При испытаниях реле, работающих на размыкание контактов, секундомер включается через эти контакты (фиг 189). Таким обра-

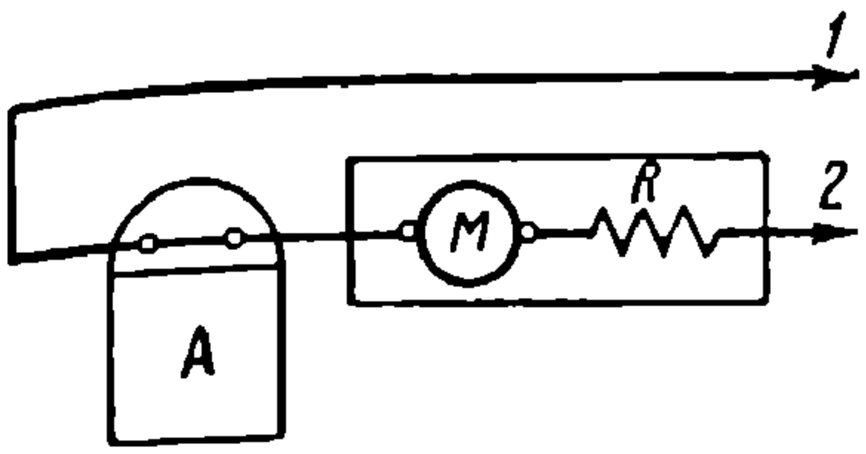
---

[1] Синхронным мотором называется электромотор переменного тока, скорость которого зависит только от частоты в сети.

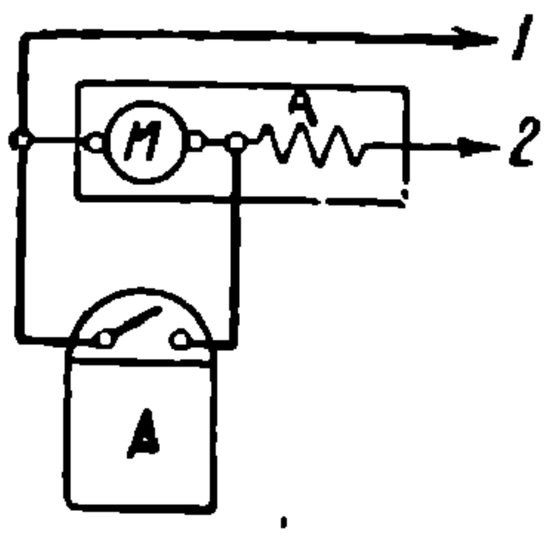
УДУНТ (ДІТ)

зом в момент размыкания контактов, т. е. точно в момент срабатывания реле, секундомер автоматически выключается и останавливается.

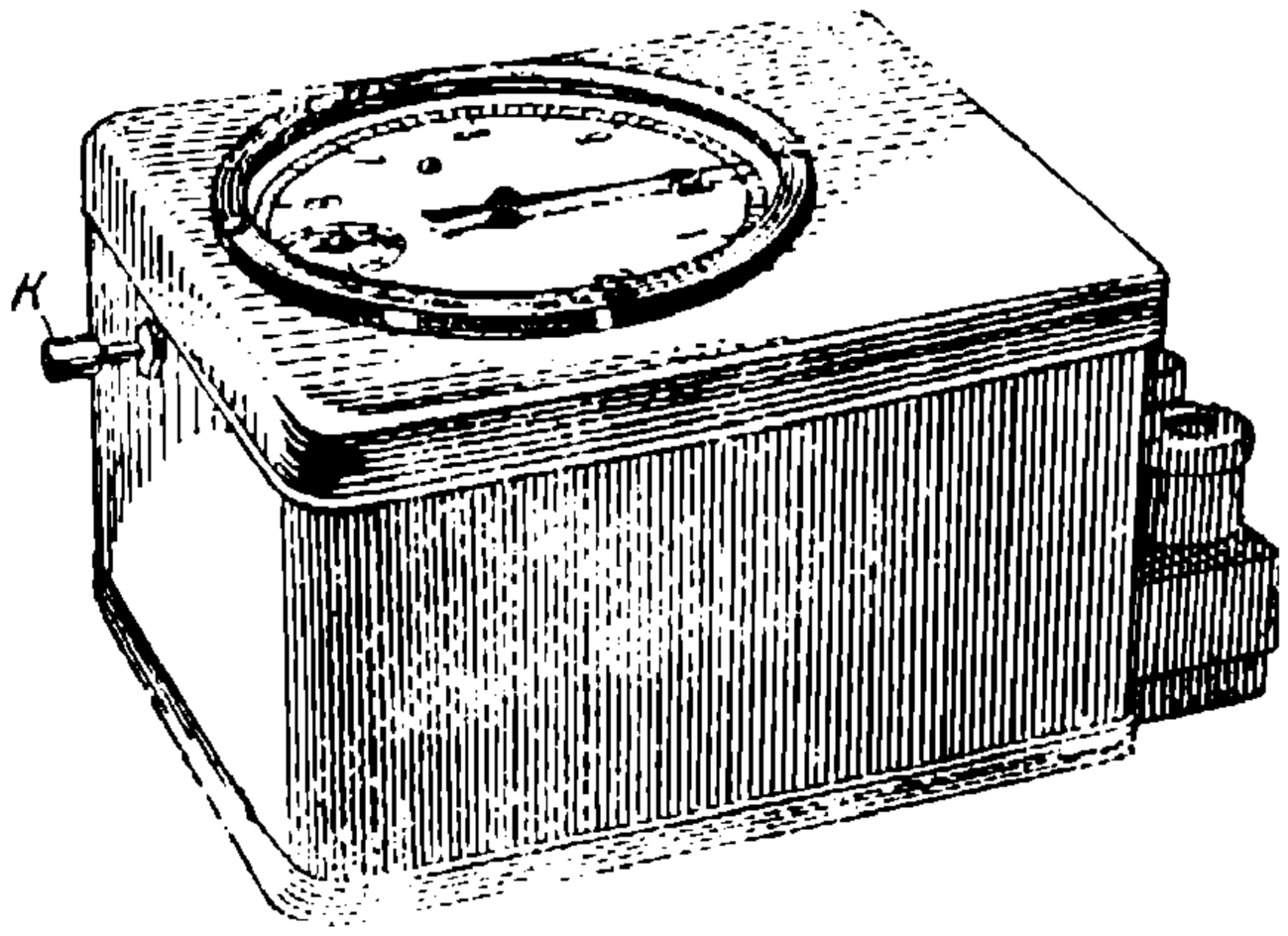
При испытаниях реле, работающих на замыкание контактов, секундомер включается таким образом, что в момент замыкания контактов рабочий орган секундомера ими закорачивается и секундомер автоматически останавливается (фиг. 190).



Фиг. 189. Схема включения электрического секундомера при определении выдержки времени реле *A*, работающего на размыкание контактов. Провода *1* и *2* присоединяются под общий рубильник с реле.



Фиг. 190. Схема включения электрического секундомера при определении выдержки времени реле *A*, работающего на замыкание контактов. Провода *1* и *2* присоединяются под общий рубильник с реле.



Фиг. 191. Электрический секундомер ЦЛЭМ Мосэнерго.

На фиг. 191 изображен электрический секундомер ЦЛЭМ Мосэнерго. Здесь в качестве рабочего органа применен маленький синхронный моторчик. У добавочного сопротивления сделана отпайка, благодаря чему секундомер может питать от сети 110 или 220 *в* переменного тока. Две стрелки — большая и малая — позволяют измерять время с точностью до 0,1 и даже 0,05 сек. Малая стрелка показывает секунды и делает полный оборот за 10 сек., большая стрелка показывает десятые доли секунды и делает полный оборот за 1 сек. Точность показаний секундомера зависит от частоты в питающеей сети. При частоте 50 *гц* секундомер дает правильные показания. Если частота равна не 50 *гц*, а какому-то другому числу герц (обозначим это число буквой *f*), то для того, чтобы узнать время, измеренное секундомером, нужно его показания умножить на отношение $\frac{50}{f}$. Например, если при частоте 45 *гц* этот секундомер показал время 4,5 сек. (т. е. малая стрелка остановилась на делении 4, а стрелка большая — на делении 5), то действительное время будет:

$$4{,}5 \cdot \frac{50}{45} = 5 \text{ сек.}$$

УДУНТ (ДІІТ)

Возврат обеих стрелок в начальное положение (0) происходит при нажатии пальцем на кнопку *К*.

Для того чтобы узнать показания секундомера в секундах, нужно показания малой стрелки сложить с показаниями большой, умноженными на 0,1. Если малая стрелка остановилась между двумя делениями, то за показание ее следует считать всегда меньшее деление из этих двух, даже в том случае, когда она хотя бы немного не дошла до большего деления. Например, малая стрелка остановилась между делениями 7 и 8 (немного не дошла до деления 8), а большая остановилась на делении 9. Это значит, что секундомер показал

$$7 + 0{,}1 \cdot 9 = 7{,}9 \text{ сек.}$$

Если же большая стрелка остановилась между двумя делениями, то за ее показания нужно брать то деление, к которому она остановилась ближе.

Если измеряемое время больше 10 сек., то за каждые 10 сек. малая стрелка будет делать один оборот. Число оборотов малой стрелки на приборе не отмечается, поэтому их нужно считать во время измерений. В этом случае, для того чтобы узнать время действия секундомера (при частоте 50 *гц*), нужно умножить число полных оборотов малой стрелки на 10 и приложить сумму показаний обеих стрелок. Например, малая стрелка сделала три полных оборота и остановилась между делениями 5 и 6. При этом большая стрелка остановилась на делении 9. Показания секундомера будут равны:

$$3 \cdot 10 + 5 + 0{,}1 \cdot 9 = 35{,}9 \text{ сек.}$$

49. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ

1. Измерение сопротивления по способу амперметра и вольтметра. Сопротивление можно определить на основании закона Ома как частное от деления напряжения, приложенного к измеряемому сопротивлению, на ток, протекающий через это сопротивление, т. е. по формуле

$$R = \frac{U}{I}.$$

Для этого надо воспользоваться вольтметром и амперметром.

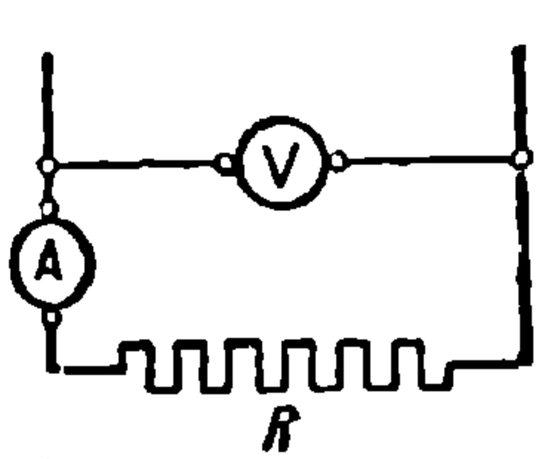
Если измерение производится на постоянном токе, то получаем омическое сопротивление, если же на переменном токе, то получим полное (кажущееся) сопротивление для переменного тока данной частоты. Поэтому, если требуется по способу амперметра и вольтметра измерять полное сопротивление, допустим, обмотки реле для переменного тока 50 *гц*, то при измерениях следует пользоваться переменным током частотой 50 *гц*.

Для того чтобы точно подсчитать сопротивление *R*, нужно знать падение напряжения только в сопротивлении *R* и ток в этом сопротивлении. Однако приборы можно включить либо по

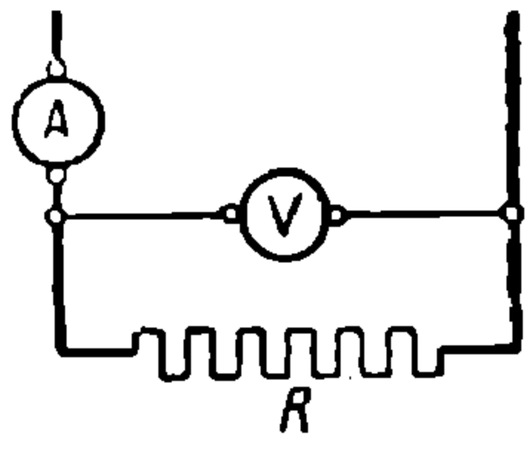
УДУНТ (ДІІТ)

схеме фиг. 192, либо по схеме фиг. 193. В первом случае вольтметр V измеряет падение напряжения в сопротивлении R плюс падение напряжения в амперметре. Отсюда следует, что измерение сопротивления по схеме фиг. 192 получается тем точнее, чем меньше сопротивление амперметра по сравнению с сопротивлением R.

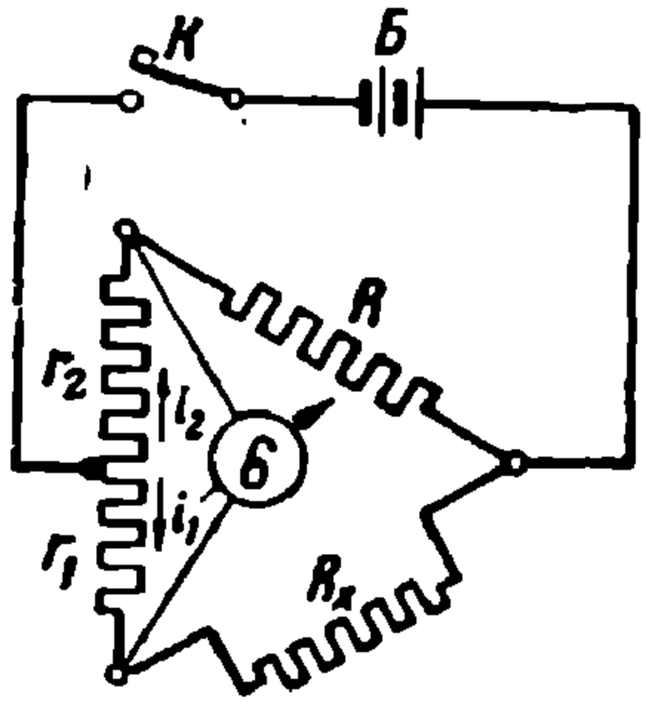
Во втором случае (фиг. 193) вольтметр измеряет только падение напряжения в сопротивлении R. Однако амперметр A измеряет ток в сопротивлении плюс ток в вольтметре. Таким образом показания амперметра оказываются преувеличенными на величину тока вольтметра, а сопротивление R, подсчитанное на основании показаний приборов по приведенной выше формуле, оказывается тем менее действительного, чем сопротивление вольтметра меньше сопротивления R. Отсюда следует, что измерение сопротивления по схеме фиг. 192 получается тем точнее, чем это сопротивление меньше сопротивления вольтметра. В силу этого для получения наибольшей точности по схеме фиг. 192 должны измеряться большие сопротивления (по сравнению с сопротивлением амперметра), а по схеме фиг. 193— малые сопротивления (по сравнению с сопротвилением вольтметра).



Фиг. 192. Схема включения приборов при измерении сопротивления, значительно большего, чем внутреннее сопротивление амперметра.



Фиг. 193. Схема включения приборов при измерении сопротивления, значительно меньшего, чем внутреннее сопротивление вольтметра.



Фиг. 194. Схема моста Витстона.

2. Мост Витстона. Измерение сопротивления на постоянном токе в пределах от 1 000 до 10 000 *ом* удобно производить специальным прибором. Такой прибор называется мостом Витстона. Принцип действия моста Витстона поясняется фиг. 194.

Здесь R — известное омическое сопротивление;
r_1 и r_2 — переменные омические сопротивления, величина которых всегда известна;
k — кнопка для включения электрической батарейки;
G — гальванометр (миллиамперметр) постоянного тока с двухсторонней шкалой (нуль в середине);
R_x — сопротивление, которое требуется измерять.

Если нажатием кнопки k включить элемент, то стрелка гальванометра отклонится (вправо или влево). Изменяя сопротивле-

УДУНТ (ДПТ)

ния r_1 и r_2, можно добиться исчезновения тока в гальванометре (стрелка гальванометра установится на нуль шкалы).

Из отсутствия тока в гальванометре можно заключить, что: а) падение напряжения в сопротивлении r_1 равно падению напряжения в сопротивлении r_2; б) падение напряжения в сопротивлении R равно падению напряжения в сопротивлении R_x; в) через сопротивления r_1 и R_x проходит одинаковый ток i_1, а через сопротивления r_2 и R — ток i_2. Из этого следует, что

$$i_1 \cdot R_x = i_2 \cdot R,$$

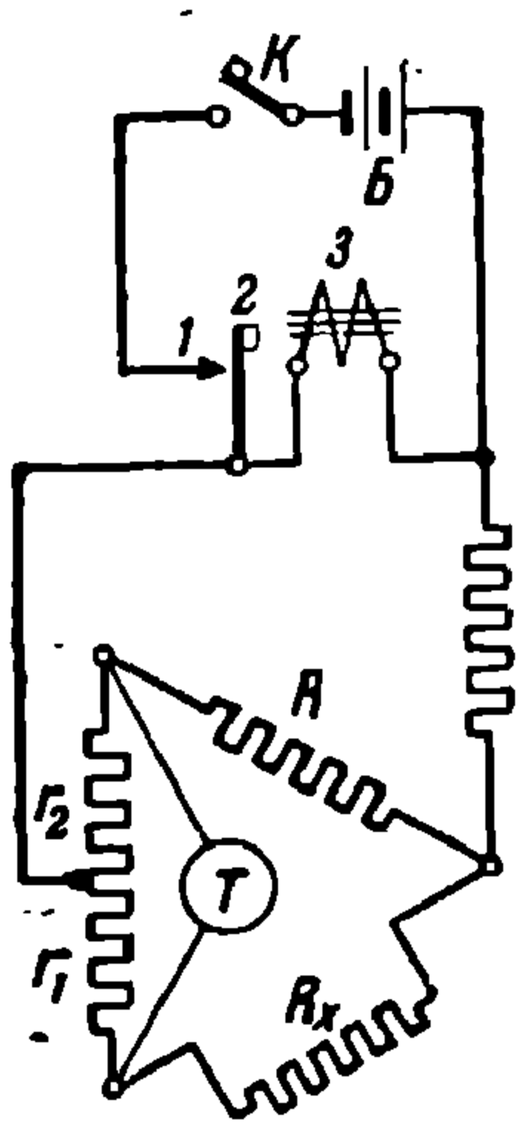
$$i_1 \cdot r_1 = i_2 \cdot r_2.$$

Деля оба эти уравнения друг на друга и учитывая, что отношение одинаковых величин равно единице (т. е. $\frac{i_1}{i_1} = 1$ и $\frac{i_2}{i_2} = 1$), получаем пропорцию:

$$\frac{R_x}{r_1} = \frac{R}{r_2},$$

отсюда, умножая правую и левую части пропорции на r_1, получаем искомое сопротивление:

$$R_x = R \cdot \frac{r_1}{r_2}.$$



Фиг. 195. Схема моста Кольрауша.

3. Мост Кольрауша. Если в мосте Витстона батарейку заменить источником переменного тока, а гальванометр — телефоном, то получим мост Кольрауша (фиг. 195).

Мост Кольрауша в релейной практике применяется редко.

Общий недостаток описанных выше мостов заключается в том, что одновременно с измерением требуемого сопротивления происходит измерение сопротивления соединительных проводов, которыми измеряемое сопротивление приключено, а также контактов. Поэтому для уменьшения ошибки измеряемое сопротивление должно подключаться короткими проводами, а контакты должны быть возможно лучше. По этой причине мостики Витстона и Кольрауша редко употребляются для измерения сопротивлений меньше 1 *ом*, которые точнее можно измерять по способу амперметра и вольтметра или специальным мостом Томсона.

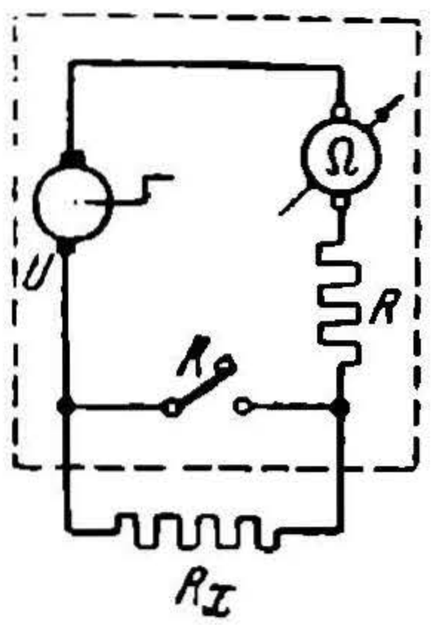
4. Приборы для измерения сопротивления изоляции. Для надежной работы электрической установки все части ее (проводка, реле, измерительные приборы, машины, трансформаторы и пр.) должны быть хорошо изолированы. Качество изоляции определяется ее сопротивлением.

Сопротивление изоляции вторичных цепей защиты высоковольтных установок (т. е. сопротивление изоляции реле, вто-

УДУНТ (ДІІТ)

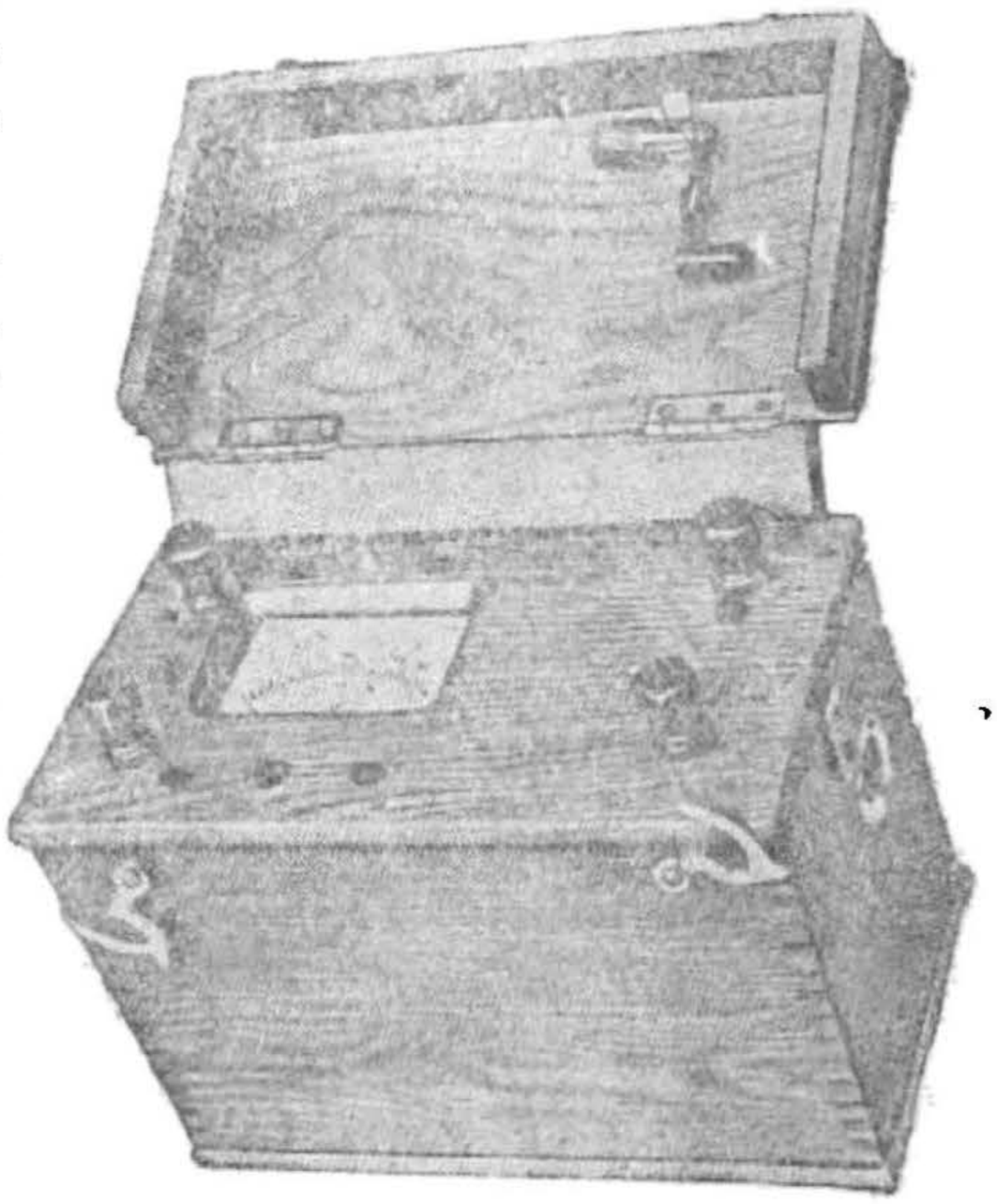
рнчных обмоток трансформатора тока и напряжения, проводки и т. п.) должно быть не менее 1 *мгом*.

Для того чтобы возможно точнее измерять сопротивление изоляции, измерение должно производиться при напряжении, близком к нормальному рабочему напряжению. Однако это не всегда удается осуществить. Поэтому измерения изоляции цепей защиты производят обычно при напряжении 240—500 *в* (редко 1 000 *в*). Для этой цели пользуются прибором, называемым меггером, или мегоммером. В релейной практике применяются меггеры различных конструкций, работающие по разным принципам. Однако каждый меггер представляет собой ящик, в котором заключен прибор, измеряющий сопротивление изоляции (собственно меггер), и небольшая динамомашинка (индуктор), питающая меггер, вращаемая при измерениях от руки. Для этой цели имеется специальная ручка. Измерение сопротивления изоляции производится при обесточенных проводах.



Фиг. 196. Пояснение принципа действия МПИ как меггера.

На фиг. 196 представлена упрощенная схема меггера МПИ, внешний вид которого представлен на фиг. 197. Здесь Ω — вольтметр, имеющий две шкалы: одну — в вольтах, а другую — в мегомах; R — добавочное сопротивление вольтметра; R_x — сопротивление изоляции, которое требуется измерять; U — динамомашина (индуктор), вращаемая вручную. Постоянство (по величине) напряжения динамомашины обеспечивается тем, что при включенном меггере сначала вращается ручка при нажатой кнопке k (в этом случае вольтметр оказывается подключенным непосредственно к динамомашине и, следовательно, измеряет ее напряжение).



Фиг. 197. Магнито-электрический переносный испытатель изоляции (МПИ).

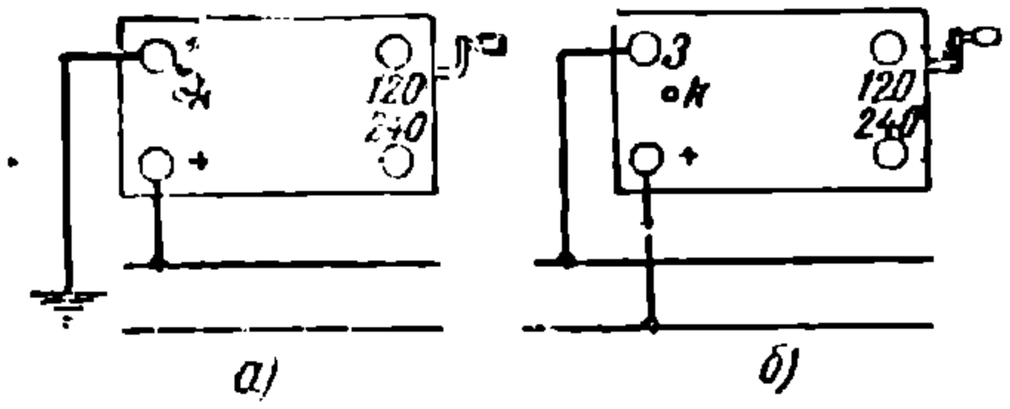
Скорость вращения рукоятки устанавливается такой, чтобы при нажатой кнопке k стрелка отклонилась до деления 240 *в* (по нижней шкале) или до 0 *мгом* (по верхней шкале). После этого, продолжая вращать рукоятку с прежней скоростью, отпускают кнопку и, после того как стрелка отклонилась в новое положение, производят отсчет сопротивления по шкале, градуированной в мегомах.

Меггер МПИ может быть использован не только как меггер,

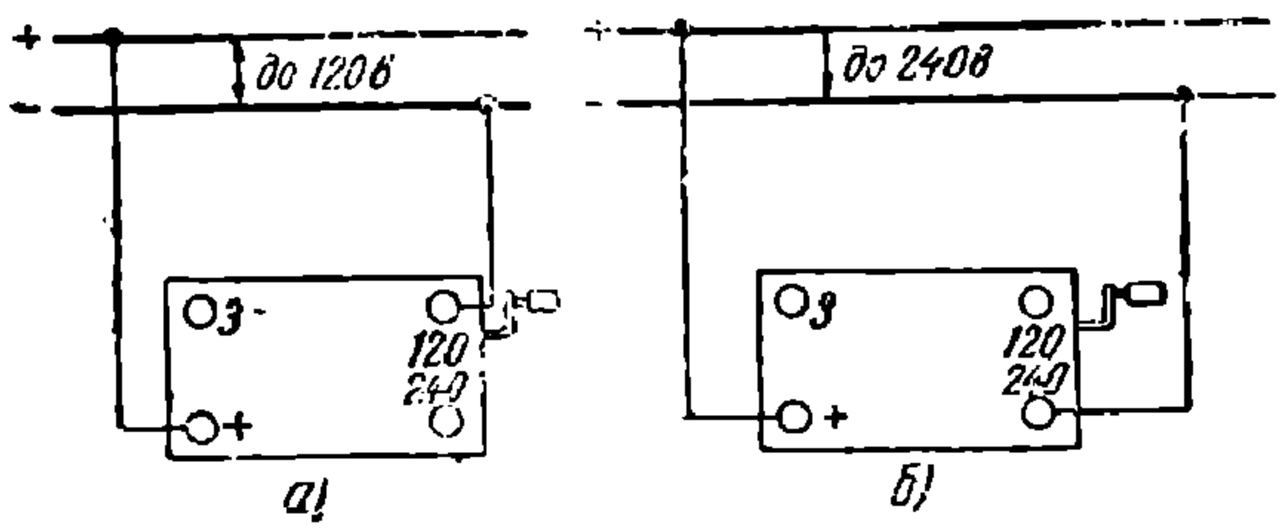
УДУНТ (ДІІТ)

но и как вольтметр с пределами измерения до 120 и 240 *в*. Поэтому он имеет не два, а четыре зажима.

Схема включения меггера МПИ для измерения сопротивления изоляции провода относительно земли дана на фиг. 198, *а*, а для измерения сопротивления изоляции между проводами — на фиг. 198, *б*. Применение меггера МПИ в качестве вольтметра постоянного тока поясняется на фиг. 199, *а* и *б*. В этом случае вращать рукоятку не требуется. Измерение напряжения производится при ненажатой кнопке.



Фиг. 198. Схемы включения МПИ как меггера.

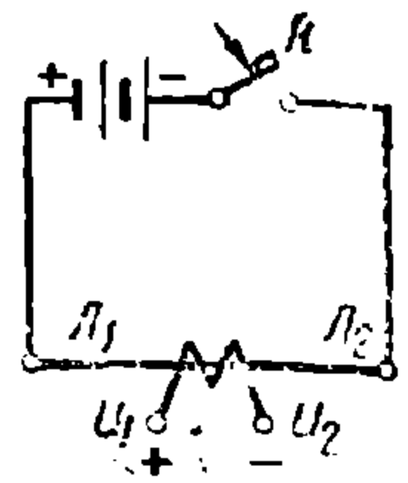


Фиг. 199. Схемы включения МПИ как вольтметра постоянного тока.

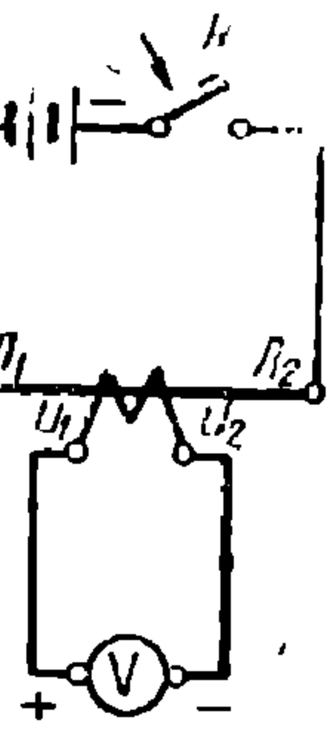
50. ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

1. Поляромер. Принцип действия. В тех случаях, когда однополярные зажимы трансформаторов тока почему-либо не обозначены или требуется проверить, не перепутаны ли они, применяется проверка полярности при помощи поляромера. Сущность этого способа заключается в том, что в момент включения постоянного тока в одну какую-либо обмотку, например, в первичную обмотку трансформатора тока (фиг. 200), во вторичной обмотке возникает э. д. с. постоянного знака. При этом полюсы однополярных зажимов одинаковы. Например, если элемент включить в первичную обмотку трансформатора тока плюсом к $Л_1$, а минусом к $Л_2$, то при правильном обозначении зажимов в момент включения элемента на зажиме U_1 вторичной обмотки появится плюс, а на зажиме U_2 — минус.

В момент отключения постоянного тока из одной обмотки во второй обмотке также возникает э. д. с., однако обратного знака, чем тот, какой был в момент включения, т. е. для нашего примера на зажиме U_1 появится минус,, а на зажиме U_2 — плюс.



Фиг. 200. Включение постоянного тока в первичную обмотку трансформатора тока.

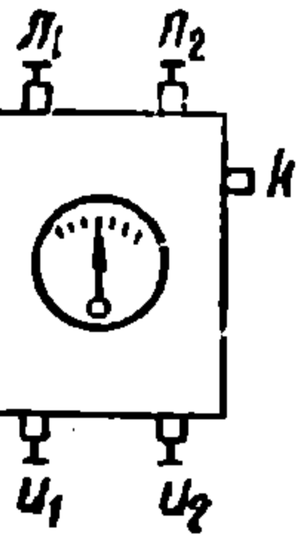


Фиг. 201. Определение полярности зажимов трансформатора тока.

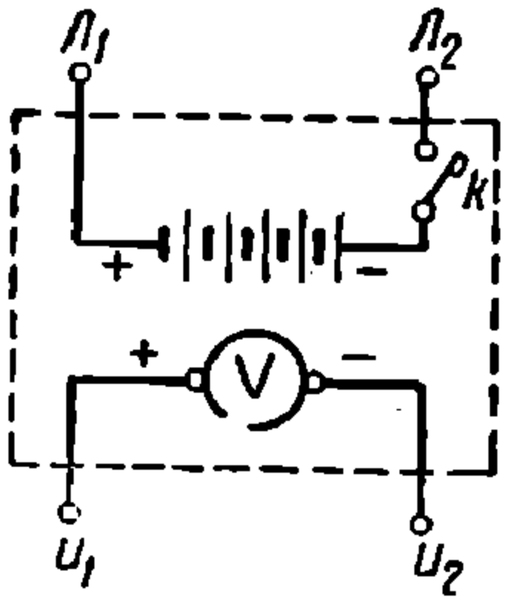
УДУНТ (ДІІТ)

Из сказанного выше следует, что, определяя знаки э. д. с., возникающей на зажимах одной обмотки трансформатора в момент включения постоянного тока в другую обмотку, можно найти однополярные зажимы. Для этой цели можно воспользоваться, например, магнито-электрическим вольтметром, стрелка которого, как известно, отклоняется в ту или иную сторону в зависимости от направления тока в рамке. Схема включения вольтметра при определении полярности зажимов трансформатора тока приведена на фиг. 201. Элемент через кнопку *к* приключается к первичной обмотке испытуемого трансформатора тока плюсом к $Л_1$, а минусом — к $Л_2$. Магнито-электрический вольтметр приключается к вторичной обмотке этого же трансформатора тока зажимом плюс к U_1, а зажимом минус — к U_2.

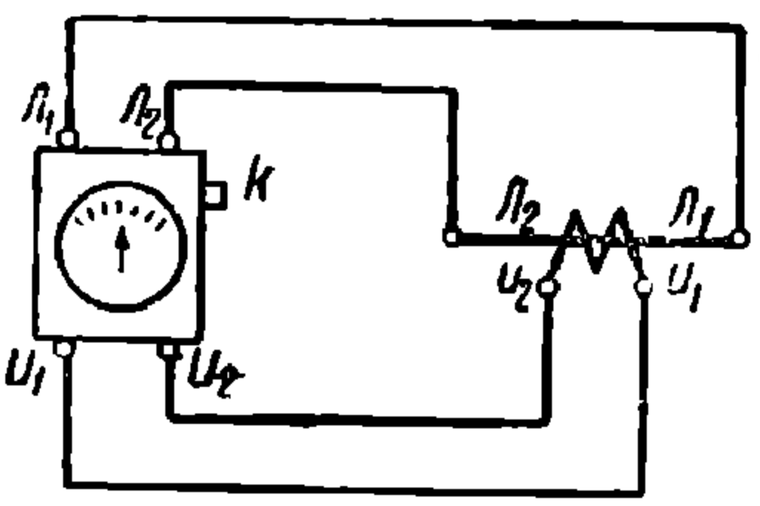
Если зажимы размечены правильно, то в момент нажатия кнопки *к* стрелка вольтметра должна отклониться на несколько делений шкалы (вправо), а в момент отпускания кнопки стрелка прибора отклонится в обратную сторону (влево от нуля). Если зажимы обозначены неверно, то отклонения стрелки будут противоположны.



Фиг. 202. Поляромер лаборатории Оргрэс.



Фиг. 203. Схема поляромера.



Фиг. 204. Схема проверки полярности зажимов трансформатора поляромером

Для того чтобы не повредить вольтметра в момент отключения тока или при неверном обозначении зажимов, когда стрелка, отклоняясь в обратную сторону, может удариться об упор, целесообразно пользоваться вольтметром с двухсторонней шкалой (нуль в середине).

Конструкции поляромера. Для определения или проверки полярностей зажимов трансформаторов очень удобно пользоваться специальными приборами, называемыми поляромерами. Поляромер настолько прост, что может быть изготовлен своими средствами. Очень удобный поляромер изображен на фиг. 202, а схема его — на фиг. 203. В небольшой деревянный ящик размером с карманный электрический фонарик заключена батарейка от карманного фонаря, которая через кнопку *к* приключена к зажимам $Л_1$ и $Л_2$. Снаружи на крышке ящика укреплен карманный магнито-электрический вольтметр (или миллиамперметр) с двухсторонней шкалой (нуль в середине). При проверке полярности трансформаторов тока зажимы поляромера соеди-

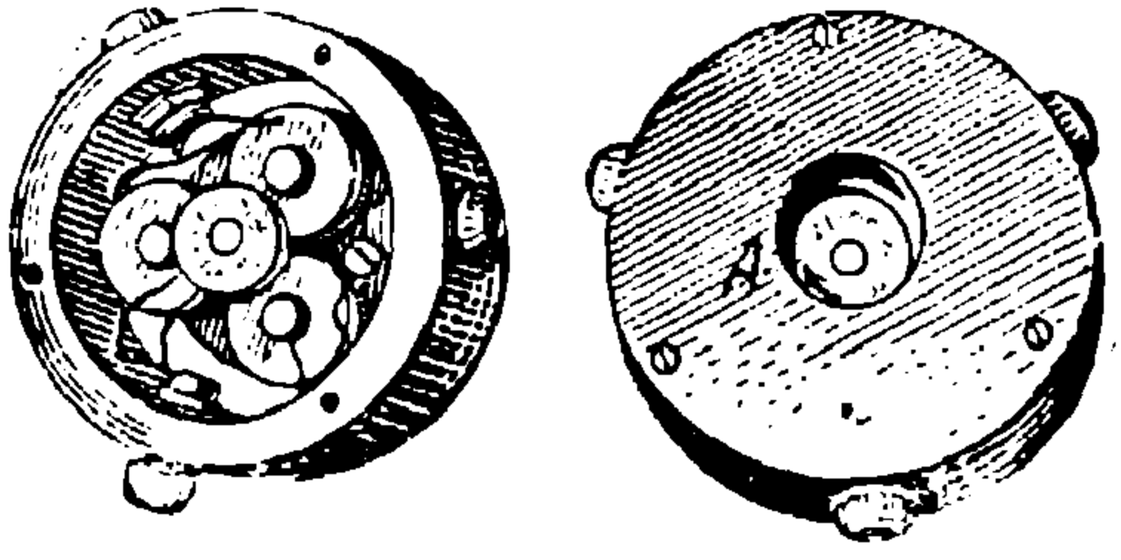
УДУНТ (ДПТ)

няются с одноименными зажимами испытуемого трансформатора тока (фиг. 204). Если зажимы используемого трансформатора тока размечены правильно, то в момент нажатия кнопки стрелка прибора отклоняется вправо, а в момент отпускания кнопки — влево.

2. Указатель фазочередования. При включении некоторых реле (например, максимально направленной защиты линии) и приборов (например, трехфазных фазометров) необходимо знать порядок чередования фаз. Существует много способов определения порядка чередования фаз. Наиболее просто и наглядно порядок чередования фаз может быть определен с помощью специального прибора, называемого указателем порядка чередования фаз.

Указатель порядка чередования фаз представляет собой маленький трехфазный асинхронный мотор с короткозамкнутым ротором. Ротор выполнен в виде легкого алюминиевого диска, а статор — в виде трех катушек из большого числа витков тонкого изолированного провода, сидящих на общем железном основании. Так как направление вращения ротора всякого асинхронного мотора зависит от порядка чередования фаз сети, от которой он питается, то направление вращения диска указателя порядка чередования фаз будет зависеть от порядка чередования фаз.

С внешней стороны этот прибор представляет круглую коробочку (фиг. 205), по краям которой расположены три зажима. С помощью этих зажимов прибор подключается к трем прово-



Фиг. 205. Указатель фазочередования.



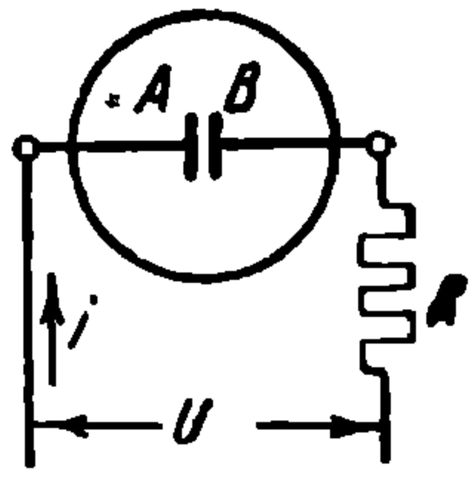
Фиг. 206. Схема включения указателя фазочередования

дам трехфазной системы, порядок чередования фаз которой требуется определить. Сквозь отверстие в верхней части прибора виден диск, который при включении прибора начинает вращаться в ту или иную сторону. По направлению вращения диска можно узнать порядок чередования фаз. Для этого надо записать названия фаз, следуя направлению вращения диска. Например, если диск прибора, включенного на фиг. 206, вращается по часовой стрелке, то это значит, что порядок чередования фаз есть *ABC*, или, что то же, *BCA*, или *CAB*. Если диск прибора, включенного по схеме фиг. 206, вращается против часовой стрелки, то

УДУНТ (ДІІТ)

порядок чередования фаз, следовательно, есть *ACB*, или, что то же, *CBA*, или *BAC*.

3. Неоновая лампа. Газ неон обладает свойством светиться ярко оранжевым светом при прохождении через него электрического тока. Поэтому, если к двум электродам *A* и *B* (фиг. 207), помещенным в запаянную стеклянную колбу, наполненную газом неоном, приложить напряжение *U*, то при достаточной величине этого напряжения газ между электродами начнет светиться. На этом принципе устроена неоновая лампочка. Если мы мгновенно снимем напряжение *U*, то лампочка мгновенно погаснет. Этим она отличается от обычной лампочки накаливания, которая после отключения еще некоторое время светится, так как нить не успевает сразу остыть.



Фиг. 207. Устройство неоновой лампы.

Поэтому, если неоновую лампочку приключить к сети переменного тока с частотой 50 *гц*, в которой напряжение 100 раз в секунду падает до нуля и возрастает до максимума, то промежуток газа между электродами лампочки 100 раз в секунду будет вспыхивать и гаснуть.

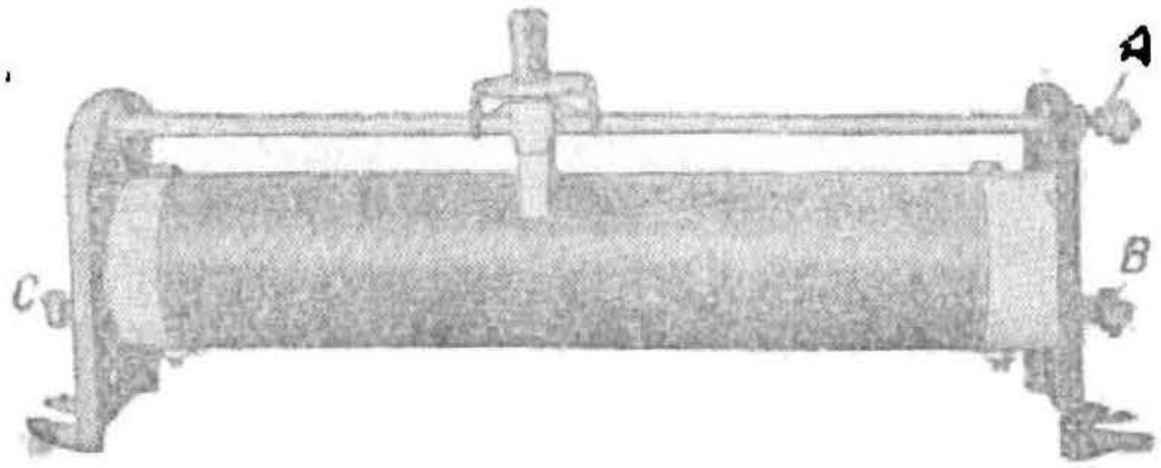
Если неоновую лампочку приключить к сети постоянного тока, то светиться будет только часть газа, расположенная ближе к электроду, приключенному к отрицательному проводу сети. Получится впечатление, что светится только отрицательный электрод. Газ, окружающий положительный электрод, светиться не будет, и положительный электрод будет казаться черным. Эта особенность неоновой лампочки может быть использована для определения полярности сети постоянного тока. Например, если неоновая лампочка приключена к сети постоянного тока, полярность которой нам не известна, то мы можем сказать, что провод сети, к которому приключен светящийся электрод, имеет отрицательный потенциал (минус), а следовательно, другой провод имеет положительный потенциал (плюс).

Неоновая лампочка сравнительно легко может быть изготовлена на очень малый ток (десятые доли миллиампера). Такие неоновые лампочки на очень малый ток применяются в индикаторах напряжения (трубка Циппа). Еще одно свойство неоновой лампочки заключается в том, что если напряжение на ее зажимах постепенно поднимать от нуля, то ток в проводах, которыми она приключена, появится не сразу, а только после того, как напряжение достигло определенной величины. При этом появление тока будет сопровождаться свечением лампочки. Ток появится только после того, как напряжение возрастет до величины, достаточной для пробоя газового промежутка между электродами. Это свойство неоновой лампочки используется при конструировании некоторых реле времени.

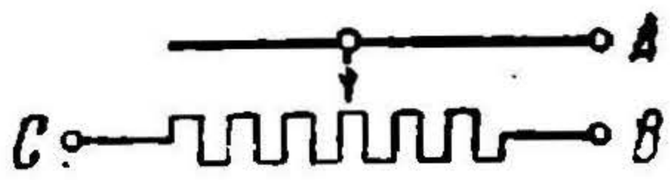
УДУНТ (КПИТ)

51. АППАРАТУРА ДЛЯ РЕГУЛИРОВКИ ТОКА

1. Реостат типа Рустрата. Этот аппарат, хотя и называется реостатом, в равной степени может быть использован и как потенциометр (об этом см. ниже на стр. 203). Устройство его поясняется фиг. 208 и 209. На керамиковом цилиндре намотана никелиновая проволока, по которой скользит медный ползунок. Начало и конец проволоки, а также ползунок, присоединены к трем зажимам *B*, *C* и *A*. В зависимости от положения ползунка между зажимами *A* и *B* (и *A* и *C*) оказывается включенным разное количество витков проволоки, а следовательно, и разное сопротивление. Чем больше витков включено между зажимами *A* и *B*, тем больше оказывается



Фиг. 208. Реостат Рустрата.



Фиг. 209. Схема реостата Рустрата.

и сопротивление между этими зажимами и тем меньше сопротивление между зажимами *A* и *C*. Поэтому, передвигая ползунок, можно регулировать сопротивление между зажимами *A* и *B*. Если реостат Рустрата включить зажимами *A* и *B* на напряжение *U* вольт, то через него потечет ток, величина которого *I* по закону Ома определится следующим образом:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Здесь *R* — сопротивление реостата между зажимами *A* и *B*.

Легко убедиться, что, передвигая ползунок, можно регулировать величину тока.

Для каждого реостата существует наибольший длительно допустимый ток. Этот ток, а также сопротивление при всех включенных витках обязательно указываются на реостате. Если через реостат пропускать ток больше максимально допустимого, то он очень нагреется и может перегореть. Поэтому при использовании реостата всегда необходимо знать его максимально допустимый ток и следить за тем, чтобы реостат не перегрузился. Например, для того, чтобы от сети с напряжением 120 *в* получить ток 5 *а*, необходим реостат с сопротивлением 24 *ом*. Тогда

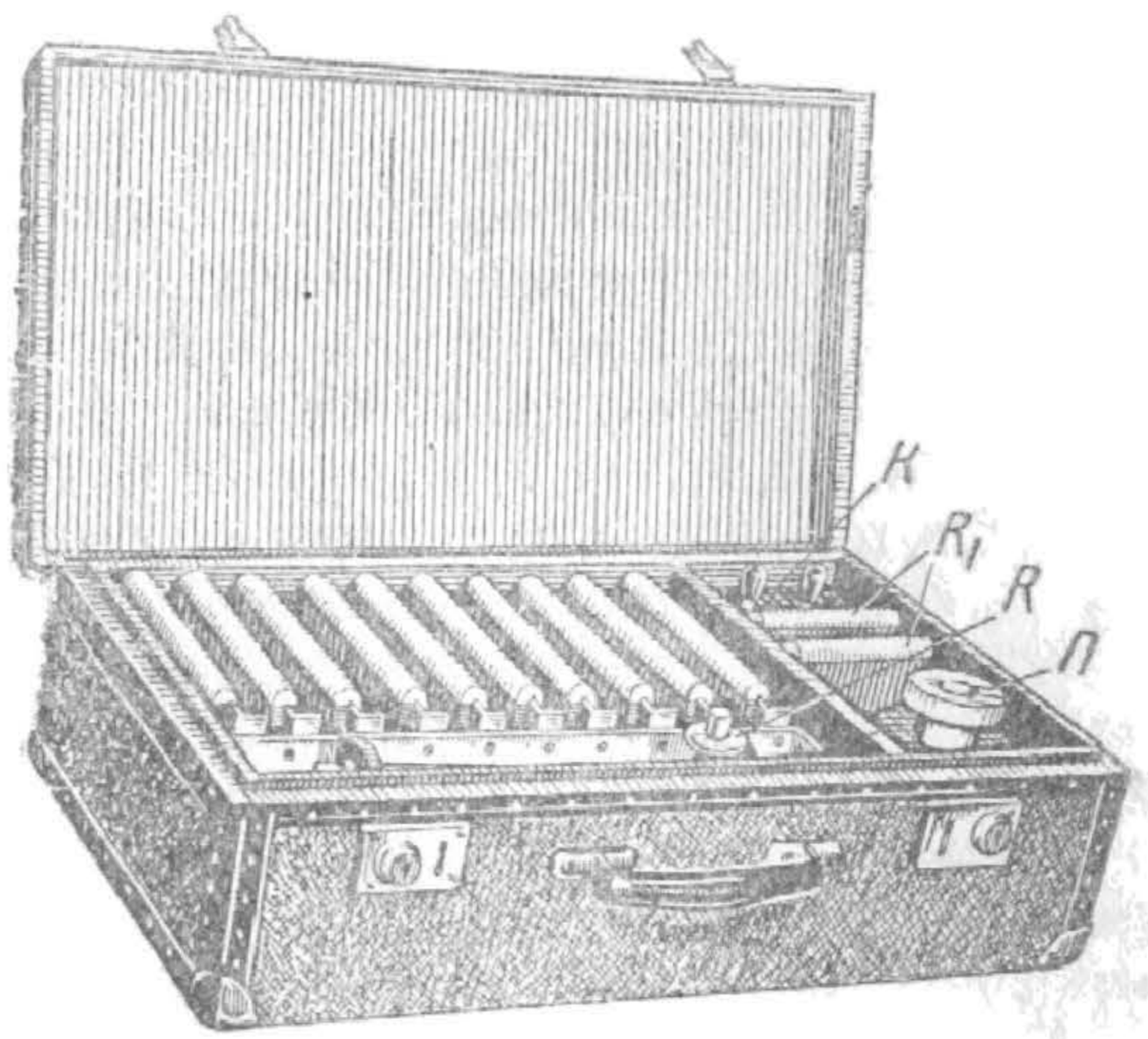
$$I = \frac{120}{24} = 5\ a.$$

Для этого подойдет любой реостат, сопротивление которого не меньше 24 *ом* и допустимая величина тока не меньше 5 *а*.

2. Переносный реостат ЦЛЭМ Мосэнерго. Недостаток реостата Рустрата заключается в его небольшой мощности. Напри-

УДУНТ (ДІІТ)

мер, практически невозможно подобрать реостат Рустрата, позволяющий от сети 120 *в* получить ток больше 2—5 *а*. Поэтому в тех случаях, когда от сети 100—200 *в* необходимо получить больший ток, приходится либо соединять несколько реостатов Рустрата последовательно (или параллельно), либо использовать более мощные реостаты. К числу последних относится переносный реостат ЦЛЭМ Мосэнерго, изображенный на фиг. 210. Этот реостат рассчитан для приключения к сети 120 *в* и состоит из 10 нерегулирусмых секций по 20 *ом* каждая, намотанных никелиновой проволокой на керамиковых угольниках. Кроме того, имеется 11-я секция, сопротивление которой $R_1 = 15$ *ом*. Последовательно с ней включен обычный реостат Рустрата $R = 45$ *ом*.



Фиг. 210. Переносный реостат ЦЛЭМ Мосэнерго.

Первые 10 секций при помощи специального коммутатора *П* могут все сразу или порознь включиться параллельно 11-й и реостату Рустрата. Поэтому при отключенных первых 10 секциях и введенном раостате Рустрата полное сопротивление между зажимами *1* и *2* равно 60 *ом* и реостат потребляет 2 *а*. При выведенном реостате Рустрата полное сопротивление равно 15 *ом* и, следовательно, ток, потребляемый реостатом, равен 8 *а*. Поэтому при отключенных первых 10 секциях, передвигая ползушку реостата Рустрата, можно регулировать ток в пределах от 2 до 8 *а*.

Если коммутатором подключить первую секцию, равную 20 *ом*, то легко убедиться, что при введенном реостате Рустрата величина тока будет равна:

$$\frac{120}{20} + \frac{120}{60} = 8 \text{ а},$$

а при выведенном реостате Рустрата 14 *а*.

Если включить две секции по 20 *ом* каждая, то величину тока можно будет регулировать в пределах от 14 до 20 а и т. д.

Очевидно, что при всех включенных секциях и полностью выведенном реостате Рустрата величина тока будет равна 62 *а*.

Легко видеть, что, передвигая ползушку реостата и включая коммутатором то или иное число секций, можно плавно регулировать величину тока в пределах от 2 до 62 *а*.

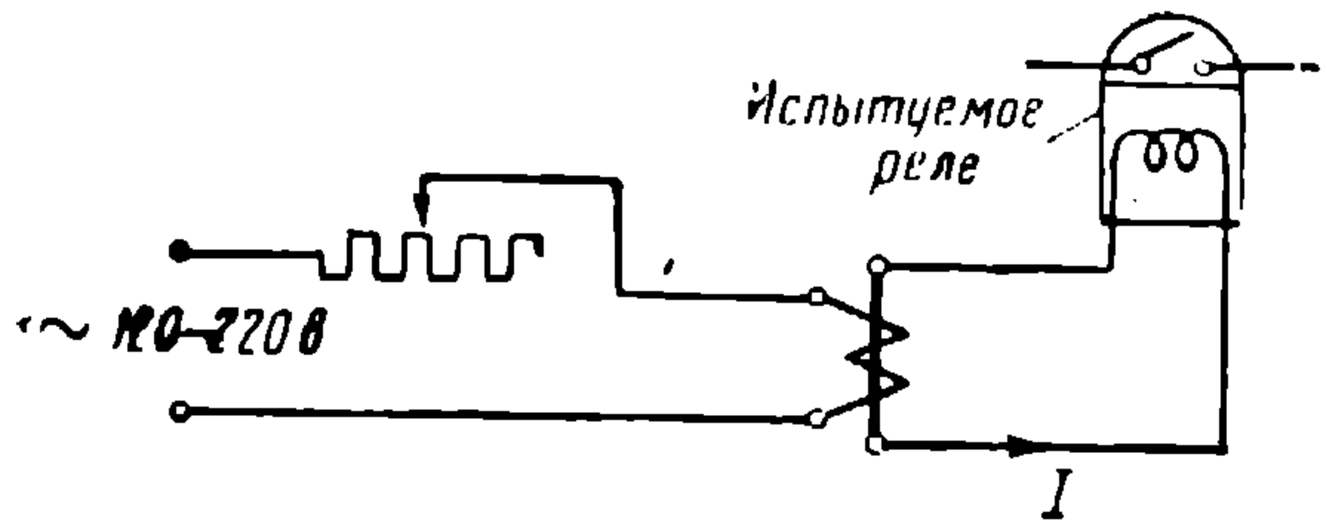
Описанный реостат рассчитан на протекание тока не более чем в течение 5—10 мин., что в большинстве случаев бывает до-

УДУНТ (ДІІТ)

статочным при испытании защитных устройств. Однако при использовании этого реостата всегда следует помнить, что через каждые 5—10 мин. его необходимо отключать на несколько минут, так как в противном случае секции могут перегореть.

3. Нагрузочные трансформаторы. Реостаты на большой ток (сотни и тысячи ампер) получаются очень громоздкими да и получить такой большой ток непосредственно от сети в большинстве случаев не представляется возможным. Поэтому в тех случаях, когда сопротивление испытуемого реле, трансформатора тока и т. п. мало, для получения больших токов часто пользуются нагрузочными трансформаторами, разумеется, только на переменном токе. Нагрузочный трансформатор по своему принципу действия занимает промежуточное положение между трансформатором тока и силовым трансформатором, однако ближе подходит к трансформатору тока. Вторичная обмотка этого трансформатора имеет небольшое число витков, дающих большой ток. К ней приключаются испытуемые реле и контрольный амперметр. Первичная обмотка, имеющая много витков, рассчитанных на сравнительно небольшой ток, приключается к сети через реостат, служащий для регулирования тока.

Если для проверки реле персонал не располагает специальным нагрузочным трансформатором, то для этой цели может быть использован обычный трансформатор тока на напряжение 10 *кв* или меньше. В таких случаях наиболее пригодным оказывается многовитковый трансформатор тока с коэфициентом трансформации порядка $\frac{200}{5} - \frac{500}{5}$ *а*. Если вторичную (пятиамперную) обмотку такого трансформатора тока приключить через реостат к сети 120—220 *в* переменного тока, то в первичной обмотке удается получить ток в несколько сот ампер (фиг. 211). Следует иметь в виду, что при таком использовании трансформатора тока его коэфициент трансформации будет отличаться от паспортного, вследствие чего контрольный прибор (амперметр) должен быть включен в цепь первичной обмотки, т. е. последовательно с испытуемым реле.



Фиг. 211. Использование трансформатора тока в качестве нагрузочного трансформатора.

В случае необходимости контрольный амперметр включается через самостоятельный трансформатор тока, первичная обмотка которого должна быть включена последовательно с испытуемым реле, т. е. в цепь тока *I*.

При применении нагрузочных трансформаторов тока следует иметь в виду, что э. д. с. их многоамперных обмоток обычно бывает не больше 5—10 *в*. Поэтому сопротивление проводов и приборов (реле), включаемых в цепь этих обмоток, должно быть

УПУНТ (ДІТ)

очень мало. Все контакты должны быть хорошо поджаты, так как сопротивление последних в сильной степени сказывается на величине тока. В противном случае можно не получить желаемого большого тока, трансформатор, как говорят, «сядет».

В качестве нагрузочных трансформаторов для получения токов порядка 50—100 *а* может быть использован трансформатор безопасности («котельный трансформатор»). В этом случае схема включения остается прежней (фиг. 211), причем реле приключается к обмотке 12 *в*. Вообще трансформаторы безопасности довольно широко используются при испытании защитных устройств (об этом см. в следующей главе).

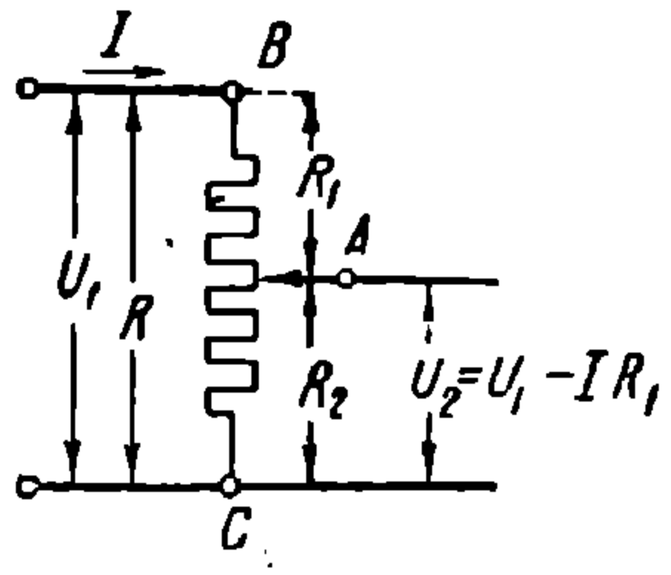
52. АППАРАТУРА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

1. Потенциометры. Для изменения напряжения при производстве испытания реле существует много способов, однако наиболее прост и часто применяется способ изменения напряжения потенциометром. В качестве потенциометра может быть использован любой проволочный реостат, имеющий выводы от начала и конца обмотки. Очень удобно воспользоваться для этой цели реостатом Рустрата, описанным на стр. 200.

Для этого нужно приключить указанный реостат к сети по схеме фиг. 212.

Если напряжение сети обозначить буквой U_1, а полное сопротивление реостата между зажимами B и C буквой R, то ток, текущий через реостат, будет, очевидно, равен:

$$I = \frac{U_1}{R},$$



Фиг. 212. Пояснение работы потенциометра. Передвигая ползушку реостата, изменяем напряжение U_2.

а напряжение U_2 между ползушкой и зажимом C будет:

$$U_2 = I \cdot R_2 = U_1 - I \cdot R_1.$$

Так как R_2 представляет сопротивление участка реостата между зажимом C и ползушкой, то, передвигая эту ползушку, мы будем изменять это сопротивление, а следовательно, и напряжение U_2. В том случае, когда ползушка стоит в самом низком положении (фиг. 212 около зажима C), напряжение U_2 будет практически равно нулю, и наоборот, самому верхнему положению ползушки (около зажима B) соответствует самое большое напряжение U_2, практически равное напряжению сети U_1.

Таким образом если напряжение U_2 подведено к испытуемому реле (фиг. 213), то, передвигая ползушку реостата, мы будем менять напряжение на этом реле.

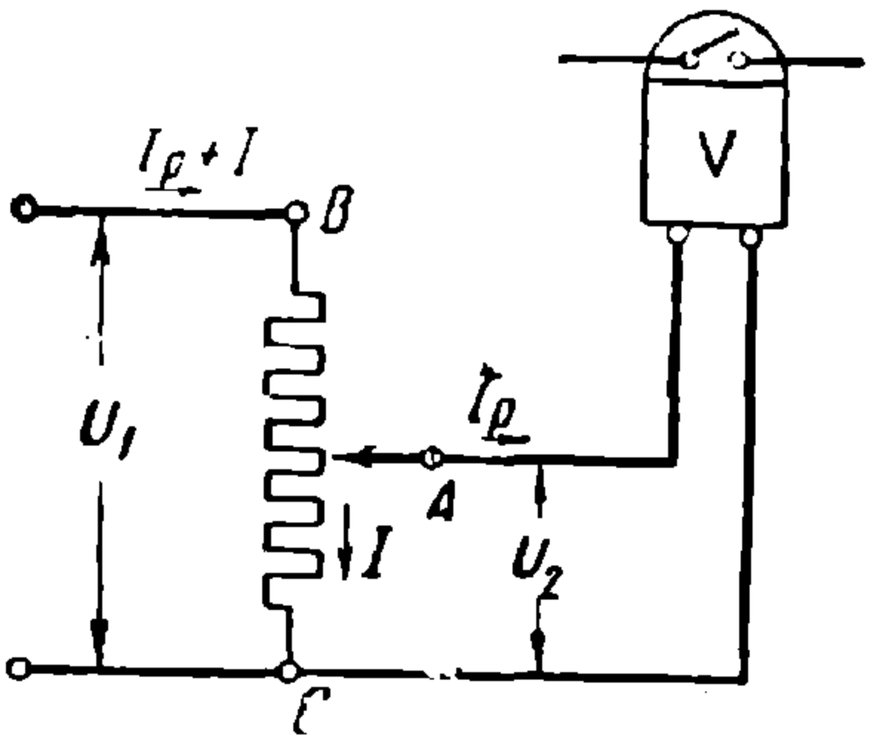
Из схемы фиг. 213 видно, что токи, текущие по участкам реостатов AB и AC, неодинаковы. Ток, протекающий по участку AB, больше тока, текущего по участку AC, на величину тока, потребляемого самим реле.

УДУНТ (КДПТ)

Поэтому правила выбора реостата для работы его в качестве потенциометра несколько отличаются от указанных на стр. 200. Очевидно, потенциометр должен быть выбран на величину тока, потребляемую реле $I_{реле}$, плюс ток I, протекающий через него при отключенном реле. Таким образом нормальный ток потенциометра (обозначим его буквой $I_н$) должен быть равен

$$I_н = I_{реле} + I.$$

При изменении напряжения на зажимах реле обычно бывает необходимо измерять это напряжение, для чего параллельно обмотке реле приходится включать вольтметр. В этом случае при выборе потенциометра нужно учитывать также и ток $I_в$, потребляемый вольтметром. Из сказанного видно, что работа потенциометра отличается от работы реостата. Поэтому не всякий реостат может быть использован в качестве потенциометра. Рассмотрим пример с применением реостата на нормальный ток 1,5 *а*, полное сопротивление которого $R = 130$ *ом* для включения по схеме фиг. 213, если напряжение сети $U_1 = 120$ *в*, наибольший ток, потребляемый обмоткой реле, $I_{реле} = 0{,}5$ *а*, наибольшее напряжение, которое нужно подать на зажимы реле,



Фиг. 213. Изменение напряжения U_2 на зажимах реле V.

$$U_2 = 60 \text{ в}.$$

Подсчитаем наибольший ток, который может протекать через реостат, включенный как потенциометр. Очевидно, это будет при наибольшем напряжении на реле, т. е. при

$$U_2 = 60 \text{ в}.$$

В этом случае ток, потребляемый реле (задан):

$$I_{реле} = 0{,}5 \text{ а}.$$

Ток, который протекал бы через потенциометр при отключенном реле:

$$I = \frac{U_1}{R} = \frac{120}{130} = 0{,}925 \text{ а}.$$

Таким образом наибольший ток, который будет протекать через наш реостат, включенный как потенциометр, равен:

$$I + I_{реле} = 0{,}925 + 0{,}5 = 1{,}425 \text{ а},$$

т. е. меньше нормального тока реостата (1,5 *а*). Поэтому для данного случая реостат 130 *ом*, 1,5 *а* подойдет, а например, рео-

УДУНТ (ДІІТ)

стат 50 *ом*, 2 *а* уже может оказаться неподходящим, так как $I_{реле}$ останется без изменения, а I будет:

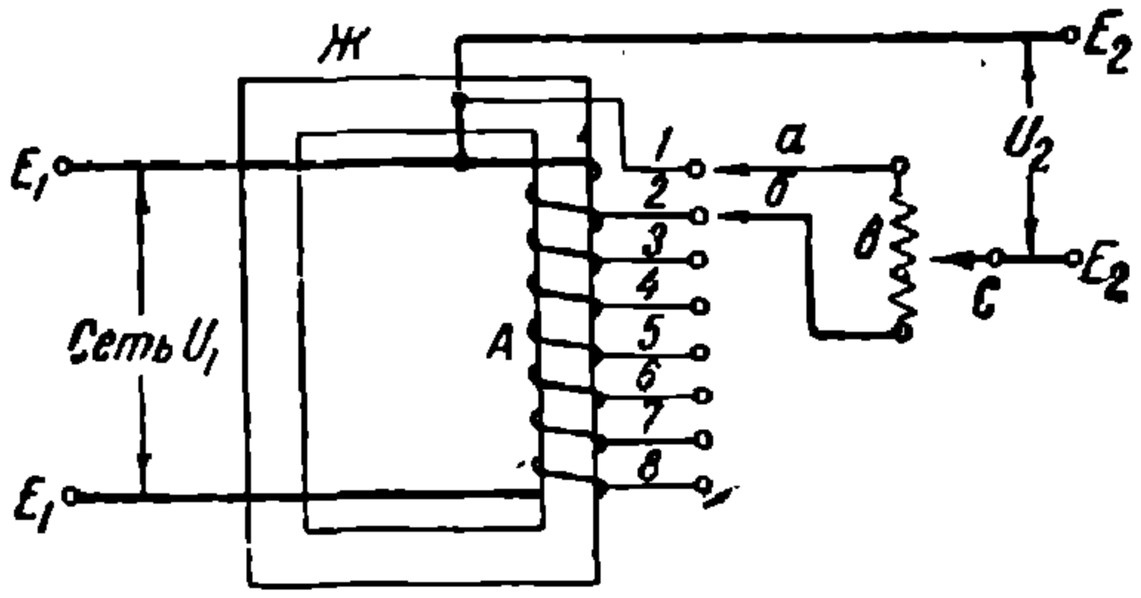
$$\frac{120}{50} = 2{,}4\ a,$$

откуда наибольший ток реостата будет:

$$2{,}4 + 0{,}5 = 2{,}9\ a,$$

т. е. больше нормального (2 *а*) почти на 50%.

2. Регулировочные автотрансформаторы. В некоторых, правда, довольно редких случаях применение потенциометров бывает нежелательно. Тогда можно воспользоваться регулировочными автотрансформаторами. Очень удобные регулировочные автотрансформаторы, допускающие плавное изменение напряжения, изготовляются, например, германской фирмой Сименс и Гальске и у нас в Союзе мастерскими Росстандарта (так называемые «колонки»). Устройство такого автотрансформатора поясняется на фиг. 214. На железном сердечнике *Ж*, набранном из листов трансформаторного железа, надета обмотка *А* из сравнительно большого числа витков изолированной проволоки, от которой сделаны отпайки, подключаемые к контактам *1*, *2*, *3*, ..., *8* (на самом деле этих отпаек больше восьми). По этим контактам с помощью штурвала передвигаются две ползушки *а* и *б*. Эти ползушки устроены таким образом, что при поворачивании штурвала сначала ползушка *а* сразу переходит с контакта *1* на контакт *3*, затем ползушка *б* переходит с контакта *2* сразу на контакт *4* и т. д. Кроме того, имеется потенциометр *в*, обмотка которого намотана на другой железный сердечник (на фиг. 214 не показанный). Зажимами E_1 автотрансформатор приключается к сети переменного тока 120 или 220 *в*, а к зажимам E_2 присоединяется реле или другой какой-либо прибор, напряжение на котором нужно изменять. Переменное напряжение сети распределяется приблизительно равномерно по всей обмотке *А*, поэтому если все восемь отпаек сделаны от равного числа витков, т. е. обмотка *А* разбита на семь частей, то напряжение между двумя соседними контактами будет в семь раз меньше напряжения сети. Это напряжение будет подводиться к потенциометру *в*. Таким образом при положении ползунков *а* и *б*, как показано на фиг. 214, передвигая ползунок с потенциометра *в* сверху вниз, мы будем изменять напряжение на зажимах E_2 от нуля до $^1/_7$ напряжения сети. Однако это будет происходить до тех пор, пока ползунки *а* и *б* стоят, как показано на фигуре.



Фиг. 214. Устройство регулировочного автотрансформатора.

УДУНТ (ЦНТ)

Если мы повернем штурвал, о котором говорилось выше, на одно деление, то ползунок *а* перескочит с контакта *1* на контакт *3*. Теперь при нижнем положении ползушки на зажимах E_2 будет напряжение, равное напряжению между контактами *1* и *2*, т. е. $^1/_7$ напряжения сети. Передвигая ползушку *с* вверх, мы будем увеличивать напряжение на зажимах E_2. При верхнем положении ползушки *с* напряжение U_2 будет равно напряжению между контактами *1* и *3*, т. е. $^2/_7$ от U_1. Таким образом, передвигая ползушки *а* и *б* с помощью штурвала и двигая ползушку *с*, можно плавно изменять напряжение на зажимах E_2 от нуля до напряжения, равного напряжению сети U_1. При этом напряжение на обмотке потенциометра *в* всегда будет очень малым (в нашем случае $^1/_7$ от U_1). Регулировочные автотрансформаторы снабжаются обычно особым переключателем, в зависимости от положения которого автотрансформатор можно подключать к сети 120 или 220 *в*. Эти автотрансформаторы допускают ток в цепи испытуемых реле (или приборов), т. е. в цепи зажимов E_2, до 100 *а*, вследствие чего могут применяться не только для регулировки напряжения, но и для получения сравнительно больших (до 100 *а*) токов.

53. КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

При испытаниях очень удобно пользоваться комплектными устройствами, содержащими все (или большую часть) необходимые приборы и аппараты, заранее соединенные между собой. В таких случаях очень экономится время на собирание схемы, так как нужно только приключить испытуемое реле, трансформатор тока и т. п.

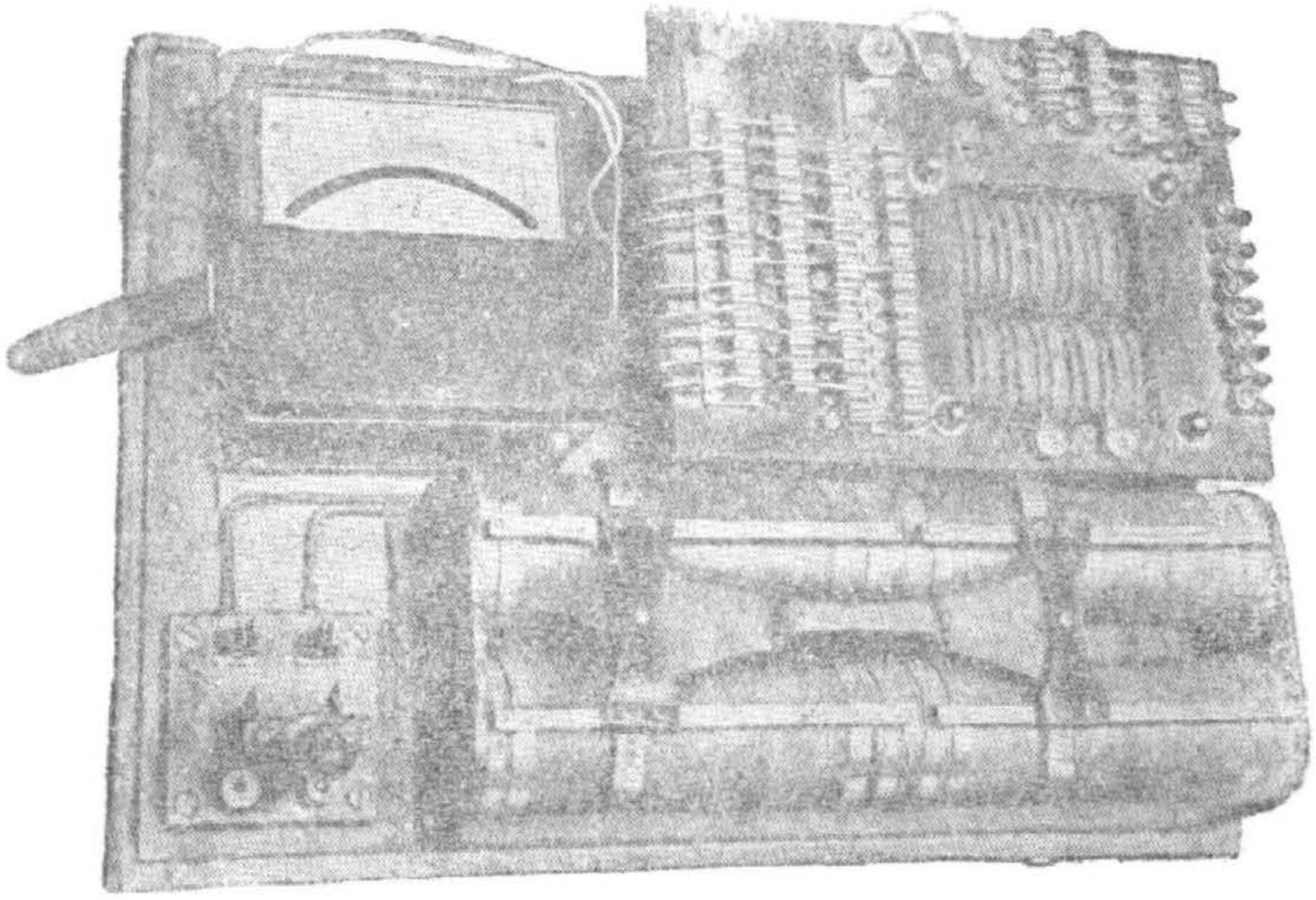
1. Нагрузочный аппарат типа фирмы Фохт и Гефнер. У нас в Союзе изготовляются специальные аппараты по типу аппаратов фирмы Фохт и Гефнер для получения токов от 20 до 1200 *а*.

Такой аппарат (фиг. 215) представляет собой деревянный чемодан, в который заложен реостат, нагрузочный трансформатор и амперметр с трансформатором тока. Аппарат этот предназначен для питания от сети переменного тока с напряжением 120, 240 и 480 *в*. Для этого на крышке нагрузочного трансформатора имеется восемь переключателей. Вторичная обмотка нагрузочного трансформатора разделена на 12 секций. Грубая регулировка величины вторичного тока получается путем последовательного или параллельного включения секций вторичной обмотки. Для этой цели на крышке трансформатора имеется 24 переключателя. Одновременно этими же переключателями производится изменение пределов измерения амперметра. Достигается это путем изменения коэфициента трансформации (числа витков первичной обмотки) трансформатора тока, помещенного в общем кожухе с нагрузочным трансформатором, к которому приключен амперметр. Аппарат устроен таким образом, что предельно допустимый вторичный ток всегда равен пределу измерения амперметра.

УДУНТ (ДІІТ)

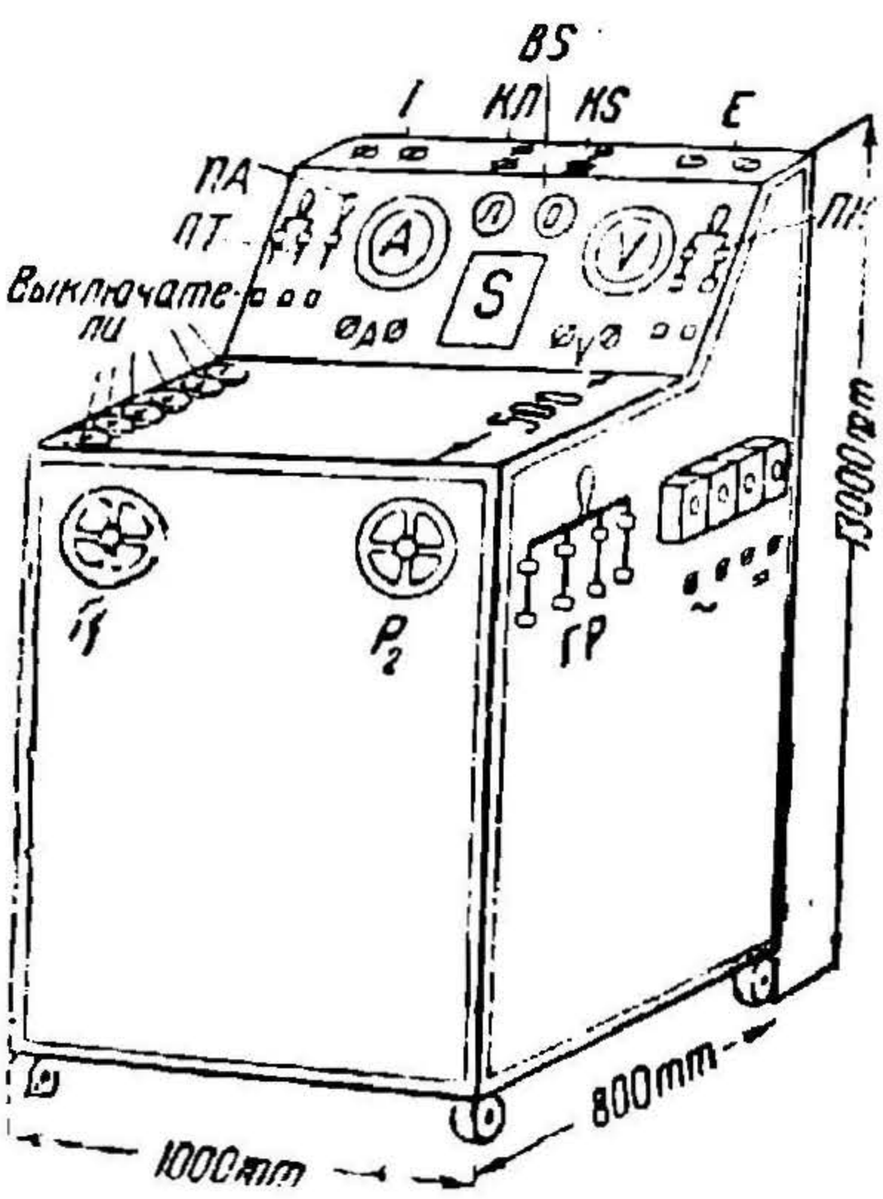
Плавная регулировка тока производится реостатом.

Описанный аппарат сравнительно удобен для переноски (вес около 24 *кг*) и поэтому часто применяется при испытаниях защиты (главным образом максимальной)



Фиг. 215. Нагрузочный аппарат со снятой крышкой.

2. Колонка для испытания электромагнитных реле и приборов. На фиг. 216 изображен внешний вид, на фиг. 217 — схема «колонки», которая может быть использована для испытания электромагнитных реле и приборов. Благодаря значительному весу «колонка» предназначена, главным образом, для мест, где сосредоточено большое количество реле и приборов (щиты управления, распредустройства). В таких случаях она всегда находится в одном помещении и только подкатывается к панели, на которой находятся реле или приборы, подлежащие испытанию.



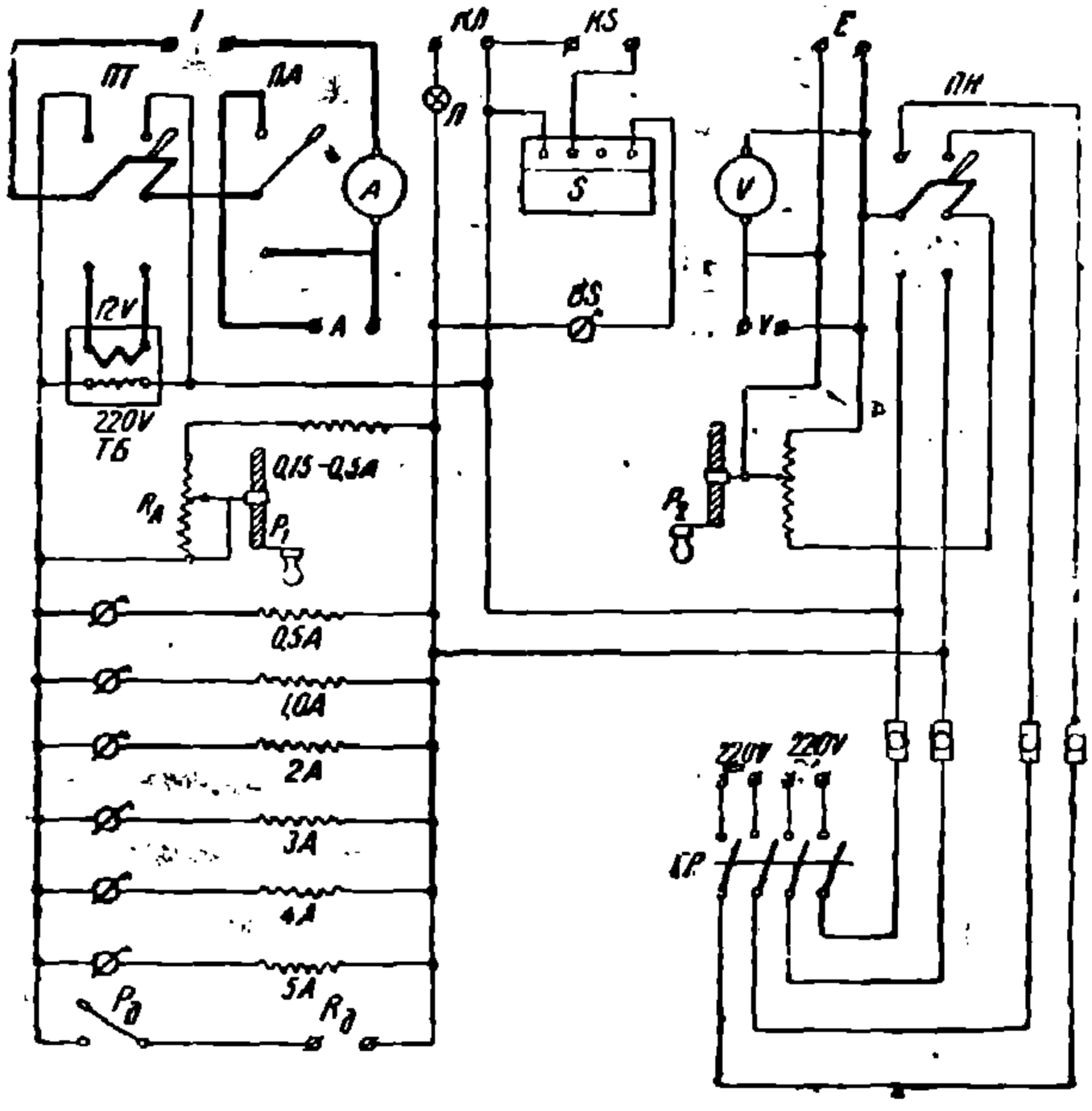
Фиг. 216. „Колонка" для испытания реле и приборов.

Как видно из схемы, на колонке смонтированы амперметр на 150 *а*, вольтметр, постоянно-переменного тока на 250 *в*, электрический секундомер, реостаты, трансформатор безопасности 220/12 *в*, рубильники, выключатели, серия зажимов, контрольная лампа и предохранители, т. е. вся аппаратура, которая может потребоваться при испытаниях электромагнитных реле по описываемым ниже методам. Колонка присоединяется

УДУНТ (ДІІТ)

к сети переменного тока 220 *в* и постоянного тока 220 *в* через четырехполюсный рубильник *ГР* и позволяет получить переменный ток от 0,5 до 150 *а* и напряжение переменного или постоянного тока от 0 до 220 *в*.

Если нужно испытать токовое реле, то обмотка его присоединяется к зажимам *I*, а контакты — к зажимам *КЛ* (при желании пользоваться контрольной лампой) или к зажимам *KS* (при желании измерять выдержку времени электрическим секундомером *S*; в этом случае выключатель *BS* должен быть включен). Если нужно для измерения величины тока пользоваться дополнительным контрольным (переносным) амперметром, то последний включается на зажимы *A*, а переключатель *ПА* ставится в верхнее положение. Если контрольный прибор не нужен, то переключатель ставится в нижнее положение (щитовой амперметр *A* остается включенным). Если переключатель *ПТ* стоит в верхнем положении, то испытуемое реле оказывается подключенным к сети переменного тока через реостаты. Плавная регулировка тока ведется реостатом *R*, ползушка которого



Фиг. 217. Схема „колонки" для испытания реле и приборов.

передвигается при помощи червяка (при вращении ручки P_1). Ступенчатая регулировка тока производится при помощи реостатов, отрегулированных на 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4 и 5 *а*. Эти реостаты включаются при помощи выключателей. Таким образом можно регулировать величину тока в пределах от 0,5 до 16 *а*. Если непосредственно от сети нужно получить ток больше 16 *а*, то к зажимам $R_д$ присоединяется дополнительный реостат, который и включается потом рубильником $P_д$.

Если переключатель *ПТ* стоит в нижнем положении, то испытуемое реле и амперметр оказываются приключенными к вторичной обмотке (12 *в*) трансформатора безопасности ТБ, первичная обмотка которого приключена к сети 220 *в* через реостаты. В этом случае трансформатор безопасности работает как трансформатор тока, повышая ток, текущий через реостаты, примерно в 18 раз $\left(\frac{220}{12} = 18\right)$. Поэтому, если, например, реоста-

УДУНТ (ДІІТ)

тами мы отрегулируем ток в первичной обмотке трансформатора безопасности на 0,5 *а*, то ток в обмотке реле будет около

$$0{,}5 \cdot 18 = 9\,а.$$

При испытании по такой схеме реле ЭТ-71 удается в его обмотке получить величину тока в пределах примерно от 9 до 150 *а*. Необходимо отметить, что по такой схеме можно испытывать только электромагнитные реле (стр. 214).

Если необходимо испытать реле напряжения или реле времени, то обмотка его присоединяется к зажимам *Е*, а контакты к зажимам *КЛ* (лампа) или *KS* (секундомер). Переключатель *ПН* ставится в верхнее или в нижнее положение в зависимости от необходимого рода тока на обмотке реле (постоянный или переменный). Дополнительный контрольный вольтметр, если он необходим, приключается к зажимам *V*. Регулировка напряжения ведется потенциометром *П*, ползушка которого передвигается при помощи червяка (при вращении ручки $Р_2$).

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ИСПЫТАНИЯ РЕЛЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

54. ОБЩАЯ ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЯ И ПРОВЕРКИ РЕЛЕ

Испытания и проверка реле независимо от типа, как правило, производятся по следующей программе: а) осмотр, б) проверка шкал и характеристик и в) настройка.

Кроме того, для вновь устанавливаемых реле предварительно должен быть произведен осмотр механической части, во время которого производится выявление и устранение всех механических дефектов. Механическая профилактика производится квалифицированным электромехаником (в мастерской по точным приборам), а все остальные работы по проверке и испытаниям реле должен уметь производить электромонтер релейной службы. Эти работы должны производиться после того, как реле установлено в надлежащем для него месте для того, чтобы при испытаниях можно было выявить возможные дефекты монтажа. Вновь монтируемые реле должны предварительно проверяться в лаборатории (после механической профилактики). Однако все без исключения реле должны быть испытаны на месте установки независимо от того, проверялись они в лаборатории или нет. После испытаний реле закрывается, пломбируется и доступ к нему кого бы то ни было кроме специально предназначенного персонала воспрещается.

Разберем подробнее упомянутые три пункта испытаний.

1. Осмотр. Осмотр, как правило, производится следующим образом:

а) снимается крышка реле (перед этим необходимо обтереть реле снаружи чистой сухой тряпкой).

УДУНТ (ДИТ)

Проверяется чистота всего механизма, контактов и внутренней части кожуха. В индукционных реле часто скопляется пыль, частицы краски и железные опилки в зазоре между диском и полюсами магнитов, что приводит к нечеткой работе реле (разброс точек, затирание). Поэтому зазоры между диском и полюсами электромагнитов и тормозных постоянных магнитов следует прочистить при помощи сложенной плотной белой бумаги. Контакты и мостик, их замыкающий, очищаются от грязи и окалины, а если они окажутся чистыми, то протираются чистой плотной бумагой или картоном. У тепловых реле ТТ-21 и ТТ-22 поверхность, по которой скользит конец биметаллической пластины, должна быть совершенно очищена от ржавчины и тщательно отполирована, так как иначе реле будет работать нечетко. Внутренняя часть кожуха и крышки протирается чистой сухой тряпкой, после этого весь механизм реле и внутренняя часть кожуха продуваются чистым сжатым воздухом (мехами).

б) Проверяется затяжка всех винтов и гаек крепящих и контактных. Плохое крепление может быть причиной неправильной работы реле (затирание, вибрация контактов, разброс точек и т. п.).

в) Одновременно проверяется исправность элементов реле, устанавливающих их регулировку. Эти элементы (например, регулировочные рычажки у реле ЭТ и ЭН, грузики у реле РММ и пр.) должны находиться в таком состоянии, чтобы не могли сами собой (напримрер, при сотрясении) сдвинуться с места, но, с другой стороны, не должны быть зажаты настолько, чтобы их перестановка при регулировке была затруднена.

г) Осматривается спиральная пружинка. Плоскость ее должна быть строго перпендикулярна оси реле, и витки не должны касаться друг друга. В противном случае возможен большой разброс точек реле вследствие увеличения трения.

д) У реле с масляным демпфером проверяется наличие масла. Демпферы реле ЭТ, ЭН, РММ и им подобных должны быть залиты только чистым костяным маслом. Именно костяное масло особенно необходимо для реле, установленных в неотапливаемых помещениях. Одновременно обращается внимание на механическую регулировку демпфера. Поршенек демпфера реле ЭТ и ЭН не должен задевать за стекло или проходить близко от него при возможной «игре» подвижной системы реле. В противном случае может появиться вибрация реле при больших токах.

е) 1 000-*в* меггером производится проверка изоляции всех токоведущих частей реле относительно ближайших к ним металлических частей. Например, изоляция обмотки электромагнита проверяется относительно железа этого электромагнита; изоляция контактного мостика (контактной вилки) проверяется относительно оси реле и т. д.

Сопротивление изоляции, измеренное 1 000-*в* меггером, должно быть во всяком случае не ниже 1 *мгом*. Сопротивление часто бывает пониженным вследствие сырости изоляции. В таких слу-

УДУНТ (ДІІТ)

чаях просушка реле может восстановить нормальное состояние изоляции.

ж) Проверяется правильность регулировки контактов. На фиг. 40 показано, как должны быть изогнуты контакты реле ЭТ и ЭН завода ХЭМЗ. Для этих реле, а также для реле ИТ-11 (12), ИТ-21 (22, 25, 26), ИН-32 (33) и пр. контактная вилка должна свободно вращаться на своей оси, а неподвижные контакты должны быть изогнуты таким образом, чтобы контактная вилка, находясь в среднем положении, одновременно касалась обоих неподвижных контактов. При замыкании контактов контактная вилка должна несколько скользить по неподвижным контактам и останавливаться не ближе чем на 1,0—1,5 *мм* от концов контактных поверхностей. Длина скольжения контактной вилки должна быть около 2 *мм*. При разомкнутых контактах наименьшее расстояние от конца контактной вилки до неподвижного контакта равно 1,5 *мм*.

Одновременно проверяется, что хомутик или втулка, крепящие контактную вилку к оси реле, не проворачиваются. У реле прежних выпусков ЭТ, ЭН и им подобных эти хомутики (или втулки), участок оси реле и стягивающий болт (или стопорный винт) должны быть смазаны бакелитовым или шеллачным лаком, чтобы не проворачивались.

При осмотре контактов таких реле, как ИМ-143, ИН-131 и т. п., необходимо убедиться в том, что контактный диск, если его отклонить, сам возвращается в исходное (вертикальное) положение, а при срабатывании реле одновременно замыкает оба нелодвижных контакта.

з) Проверяется движение без задеваний подвижной системы реле. У индукционных реле диск иногда задевает за полюсы магнитов. У индукционных реле эта проверка производится следующим образом: реле устанавливается в рабочее положение, и его подвижной системе обеспечивается наибольший угол поворота (для этого, например, у реле ИТ-12 делается наибольшая установка времени по шкале). После этого диск поворачивается пальцем от одного крайнего положения до другого и наблюдается на свет наличие зазора при любом положении диска и отсутствие его «игры». Одновременно проверяется, что диск не задевает за упор и не проходит мимо него, а также проверяется крепление ограничителей хода подвижной системы.

На этом в основном заканчивается осмотр реле. Производить дальнейшее испытание (проверку шкал и т. п.) можно только после того, как осмотром установлено удовлетворительное состояние реле. В противном случае электромеханик должен устранить все отмеченные дефекты.

2. Проверка шкалы. Проверка шкалы мгновенных реле заключается в измерении токов (напряжений) трогания и возврата для всех уставок по шкале и в проверке совпадения токов (напряжений) трогания со шкалой. Для некоторых типов ваттметровых реле (например, реле заземления) ток трогания определяется в зависимости от напряжения и строится вольтамперная

УДУНТ (ДІІТ)

характеристика (см. ниже). При этом одновременно подсчитывается коэфициент возврата, который для максимальных реле (тока и напряжения) должен быть не ниже 0,8—0,85, а для минимальных не выше 1,2—1,25. Плохой коэфициент возврата (т. е. ниже 0,8 или выше 1,25) и несовпадение токов (напряжений) трогания со шкалой свидетельствует о дефекте реле (большей частью затирание в осях, в контактах или неодновременное касание обоих контактов). Для зависимых индукционных реле помимо токов (напряжения) трогания и возврата снимается одна или две точки характеристики выдержки времени и проверяется совпадение их с данными шкалы, а ваттметровые реле еще проверяются на самоход от тока и напряжения.

Проверку характеристики выдержки времени или вольтамперной характеристики удобно совмещать с настройкой реле. Иными словами, подбирается заданная настройка характеристики и проверяется ее совпадение со шкалой. Причиной несовпадения со шкалой характеристики выдержки времени и токов (напряжений) трогания при правильно собранной схеме (о схеме см. ниже) служит обычно заедание в подпятниках, задевание диска за магниты, разрегулировка постоянного (тормозного) магнита или неодновременное касание мостиком обоих контактов.

Для реле времени измеряется минимальное напряжение, при котором реле работает (это напряжение не должно быть выше 80% от нормального напряжения реле), а затем при нормальном напряжении реле измеряются выдержки времени реле для каждой уставки по шкале и проверяется совпадение их с данными шкалы.

Испытания термических реле требуют сравнительно много времени. Поэтому проверку шкалы и настройку на заданные характеристики совмещают и непосредственно после внешнего осмотра производят настройку на заданный ток трогания и проверяют совпадение его с данными шкалы. После настройки на заданный ток трогания производятся измерения выдержек времени при двух-трех токах и совпадение этих выдержек с данными заводской характеристики.

3. Настройка. Настройка реле на заданную характеристику и заданный ток (напряжение) трогания, как правило, должна производиться после внешнего осмотра и проверки шкалы с тем, чтобы сразу же после этого можно было закрыть реле и запломбировать.

Все величины, на которые реле настроено, должны обязательно проверяться опытным путем независимо от того, что они уже были проверены при проверке шкалы. Это, главным образом, относится к токам (напряжениям) трогания мгновенных и индукционных реле и к выдержкам времени реле времени.

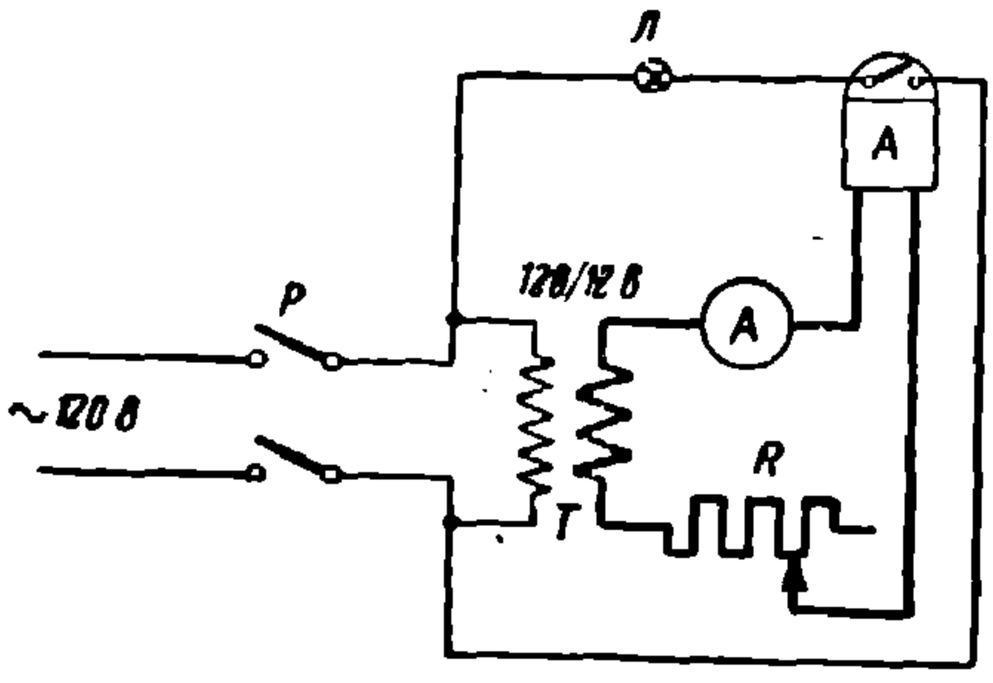
4. Протоколы испытаний реле. Одновременно с испытаниями должны составляться протоколы. Испытательная схема может разбираться только после того, как заполнен протокол. В протоколе должны быть указаны тип и номер реле, защита, в схему которой это реле включено,

УДУНТ (ДІІТ)

наименование фидера, защищаемого данным реле, типы и коэфициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения, питающих данное реле, а также окончательные данные проверки шкалы и настройки.

55. ПРОВЕРКА ШКАЛЫ ТОКОВ ТРОГАНЬЯ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА, РАБОТАЮЩИХ НА ЗАМЫКАНИЕ КОНТАКТОВ

Как уже указывалось выше, при проверке шкалы токов трогань я измеряются токи трогань я и токи возврата. Для этой цели при испытаниях мгновенных электромагнитных реле, предназначенных для работы на переменном токе, удобно бывает воспользоваться понизительным трансформатором $\frac{120}{12}$ *в* или $\frac{220}{12}$ *в*, применяемым для освещения безопасности, и реостатом Рустрата, схема включения которых показана на фиг. 218. Первичная обмотка (120 или 220 *в*) трансформатора безопасности *Т* через рубильник *Р* приключается к сети переменного тока, напряжение которой не выше нормального напряжения первичной обмотки трансформатора *Т*. К этому же рубильнику через контакты испытуемого реле присоединяется контрольная лампочка *Л*, желательно неоновая. Обмотка реле через реостат *R* и контрольный амперметр *А* приключается к вторичной обмотке (12-*в*) трансформатора *Т*. Установив ползушку реостата в положение наибольшего сопротивления (на фигуре вправо), и установив минимальный ток трогань я по шкале реле, включаем рубильник *Р* и, передвигая ползушку реостата, плавно увеличиваем ток в реле до тех пор, пока оно не сработает и не замкнет своих контактов, т. е. пока лампочка *Л* не загорится.



Фиг. 218. Схема испытания электромагнитного реле максимального тока.

Наименьший ток, заставляющий срабатывать реле, измеренный амперметром *А*, и будет током трогань я реле.

После того как реле сработало, начинаем плавно уменьшать ток до тех пор, пока подвижная система реле не вернется в исходное положение. Наибольший ток, при котором реле возвращается в исходное положение, будет током возврата. После этого, не меняя уставку по шкале, по обмотке реле кратковременно (в течение нескольких секунд) пропускается ток, в 10—15 раз превышающий ток трогань я (но не больше 150—200 *а* для реле, подключаемых к 5-*а* обмоткам трансформаторов тока), а затем снова проверяются ток трогань я и ток возврата. Это делается для того, чтобы проверить работу реле в условиях, близких к условиям короткого замыкания на защищаемом фидере. При протекании большого тока контрольная

УДУНТ (ДІІТ)

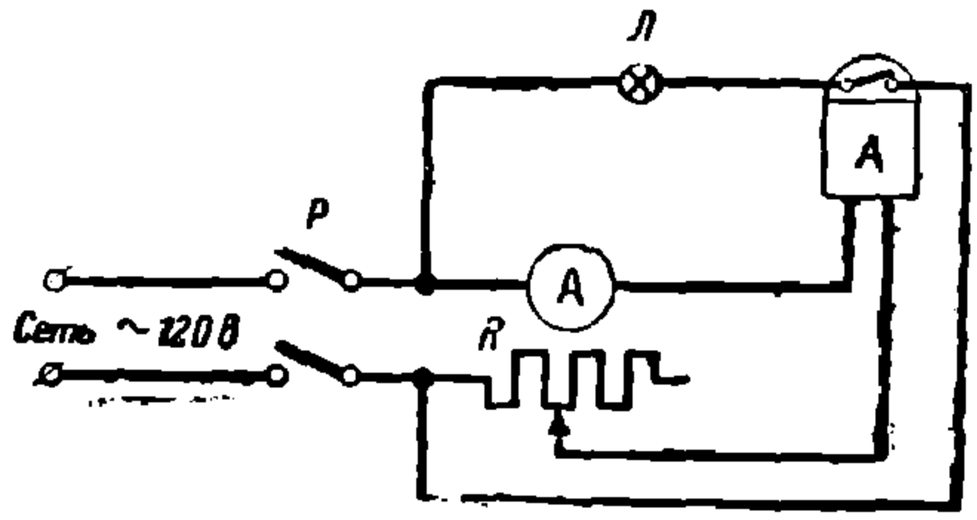
лампочка должна гореть совершенно спокойно, не мигая. Мигание лампочки свидетельствует о вибрации контактов. Значительное различие токов трогания и возврата (процентов на 5—10 и более), измеренных до и после пропускания большого тока, свидетельствует обычно о плохом креплении деталей реле. Оба недостатка должны быть устранены. Причина вибрации контактов заключается обычно в неправильном изгибе контактов, заедании в демпфере или недостаточном количестве масла.

При испытаниях реле ЭТ-71 или других типов реле с аналогичной контактной системой нужно дать несколько импульсов большого тока и убедиться в том, что контактный мостик не заскакивает за неподвижный контакт. Этот довольно часто встречающийся дефект может служить причиной неселективной работы защиты.

Испытание реле большим током производится только на одной уставке по шкале — желательно наименьшей, так как при этом легче выявить возможные дефекты.

На других уставках проверяются только токи трогания и токи возврата и подсчитывается коэфициент возврата.

При испытаниях индукционных реле схема фиг. 218 оказывается непригодной. Это объясняется тем, что индукционные реле могут работать правильно только в том случае, когда их обмотки обтекаются синусоидальными токами.



Фиг. 219. Схема испытания реле максимального тока.

По схеме же фиг. 218 при больших значениях тока, когда реостат выведен, токи, текущие в индукционные реле, оказываются несинусоидальными. Это может привести к тому, что при испытаниях получатся преувеличенные или преуменьшенные токи трогания (и выдержки времени).

При испытаниях индукционных реле нужно собирать схему фиг. 219, т. е. питать реле через реостат и амперметр непосредственно от сети, напряжение которой не меньше 110 *в*.

При проверке шкалы токов трогания реле максимального тока (как электромагнитных, так и индукционных) нужно иметь в виду следующее:

а) При определении тока трогания ток в реле нужно все время очень плавно у в е л и ч и в а т ь (желательно от нуля). Уменьшать ток при этом нельзя.

б) При определении тока возврата ток в реле нужно плавно уменьшать, начиная с тока трогания. Увеличивать ток нельзя.

в) Смотреть только на контрольную лампу при определении тока возврата как у индукционных, так и у электромагнитных реле нельзя, так как погасание лампы свидетельствует только о том, что контакты реле разомкнулись, отнюдь не показывая, что реле вернулось в исходное положение.

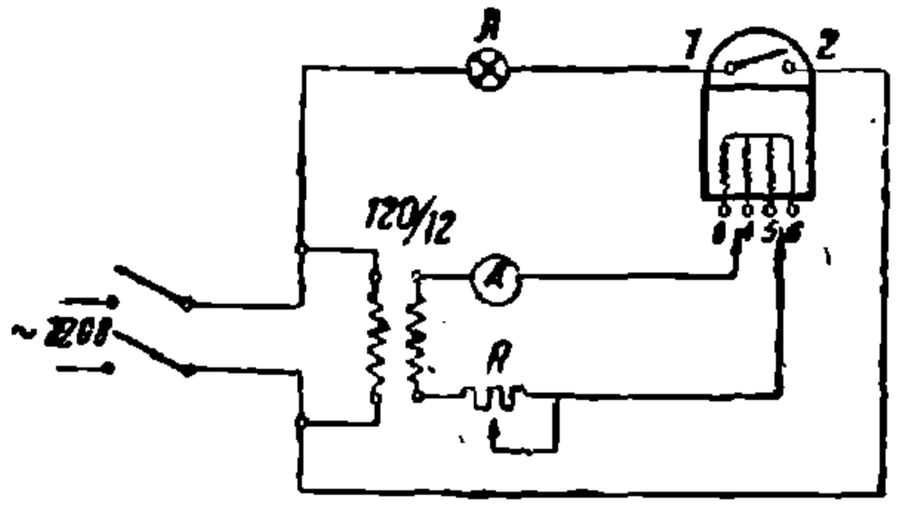
УДУНТ (ДІТ)

При проверке шкалы токов трогания трехфазных реле завода ХЭМЗ типа РД, имеющих три катушки на общем трехфазном сердечнике, нормально питаемые токами трех фаз, испытания производятся по схеме фиг. 220. Сначала при какой-либо уставке тока трогания по шкале (желательно при уставке на большой ток трогания) проверяется исправность реле. Для этого измеряются токи трогания реле при питании поочередно всех катушек поодиночке (реле поочередно включается клеммами *3-6*, *4-6* и *5-6*), а затем — попарно (реле включается клеммами *3-4*, *4-5* и *5-3*). После этого производится пересчет токов трогания для режима трехфазного питания по формулам:

$$I_3 = \frac{I_1}{2{,}12},$$

$$I_3 = \frac{I_2}{1{,}23};$$

здесь I_3 — трехфазный ток трогания;
I_1 — ток трогания при питании одной катушки;
I_2 — ток трогания при питании двух катушек.



Фиг. 220. Схема испытания трехфазного электромагнитного реле максимального тока.

Например, если при какой-либо уставке по шкале получили ток трогания 5 *а* при питании двух катушек (например, при включении реле клеммами *3-4*), т. е.

$$I_2 = 5{,}0\ a,$$

то при той же уставке по шкале трехфазный ток трогания будет:

$$I_3 = \frac{5{,}0}{1{,}23} = 4{,}0\ a.$$

Подсчитанные таким образом трехфазные токи трогания должны быть одинаковыми для любой комбинации катушек. Причиной различия подсчитанных трехфазных токов трогания при разных комбинациях катушек, но при одной и той же уставке по шкале может быть несимметрия магнитной системы (неодинаковые зазоры между полюсами подвижной и неподвижной систем), неидентичность обмоток или неверное соединение концов катушек в общую нулевую точку, подключенную к клемме *6*. Последний дефект легко обнаруживается при определении тока трогания I_2 (питание двух катушек), так как в этом случае комбинация, в которой участвует неверно включенная катушка, будет давать ток трогания, преувеличенный в 1,5—2 раза. Для устранения дефекта необходимо поменять местами концы неверно включенной катушки. Например, при попарном питании катушек получались следующие токи трогания: при

УДУНТ (ДІІТ)

включении реле клеммами *3-4* ток трогания $I_2 = 5$ *а*; при включении реле клеммами *4-5* ток трогания $I_2 = 8$ *а*; при включении реле клеммами *5-3* ток трогания реле $I_2 = 8{,}1$ *а*.

Это указывает на то, что катушка, один конец которой присоединен к клемме 5, включена неверно. Необходимо концы этой катушки поменять местами, т. е. конец, который подходит к клемме 5, присоединить к общей точке (клемма *6*), а конец, подходящий к общей точке, перенести на клемму 5. После этого испытание необходимо повторить.

Проверка шкалы токов трогания производится после того, как установлена исправность реле. При этом достаточно для разных уставок по шкале определять действительные токи трогания и возврата при питании одной какой-либо пары катушек и производить пересчет на трехфазный ток по формуле:

$$I_{3\ трог} = \frac{I_{2\ трог}}{1{,}23},$$

$$I_{3\ возвр} = \frac{I_{2\ возвр}}{1{,}23};$$

здесь $I_{3\ трог}$ и $I_{3\ возвр}$ — трехфазные токи трогания и возврата;

$I_{2\ трог}$ и $I_{2\ возвр}$ — измеренные токи трогания и возврата при питании двух катушек.

56. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА, РАБОТАЮЩИХ НА ЗАМЫКАНИЕ КОНТАКТОВ

Как уже указывалось при описании приборов для измерения времени (стр. 189), выдержка времени реле может быть измерена либо пружинным, либо электрическим секундомером. При употреблении пружинного секундомера — часов с ручным пуском — можно воспользоваться схемой фиг. 219. При включенном рубильнике *P* с помощью проволочного [1] реостата *R* устанавливается величина тока, выдержку времени при которой требуется определить, затем рубильник отключается. После того как реле вернулось в исходное положение (это обязательно нужно иметь в виду), одновременно включают рубильник и пускают секундомер, останавливая последний в момент загорания лампочки, т. е. в момент срабатывания реле (в момент замыкания контактов). Затем, заметив показания амперметра, отключают рубильник и, записав показания амперметра и секундомера, возвращают стрелку секундомера в исходное положение. Для каждой величины тока (для каждой точки характеристики) делают три замера и в протокол записывают среднее арифмети-

[1] Пользоваться ламповыми реостатами нельзя, так как сопротивление их при холодных лампах значительно меньше, чем при нагретых. Поэтому выдержка времени получится преуменьшенной.

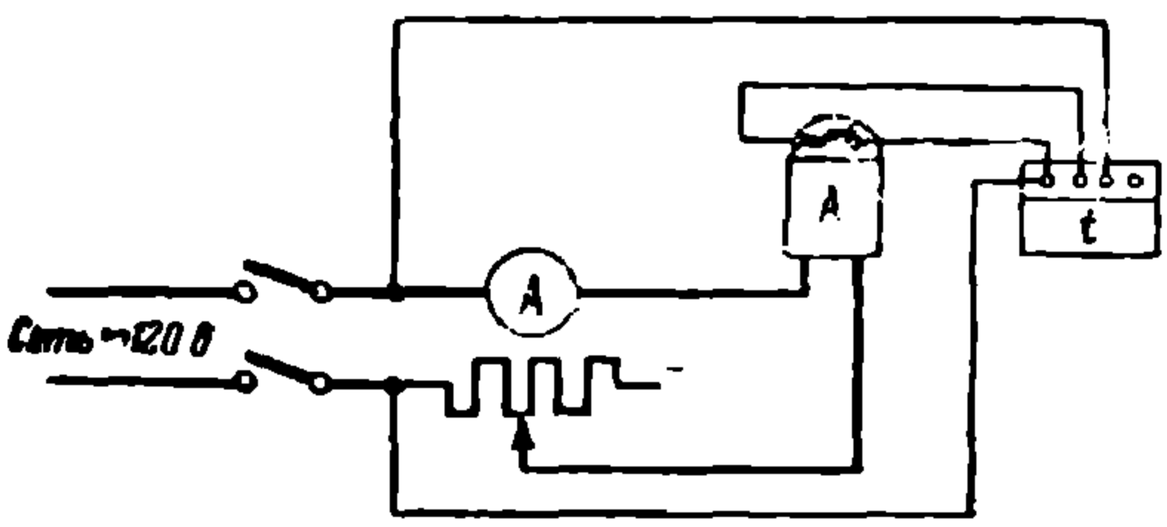
УДУНТ (ДІІТ)

ческое, т. е., например, если при одном и том же токе реле работало: первый раз 5 сек., второй раз 5,2 сек., третий раз 4,9 сек., то в протокол записывают:

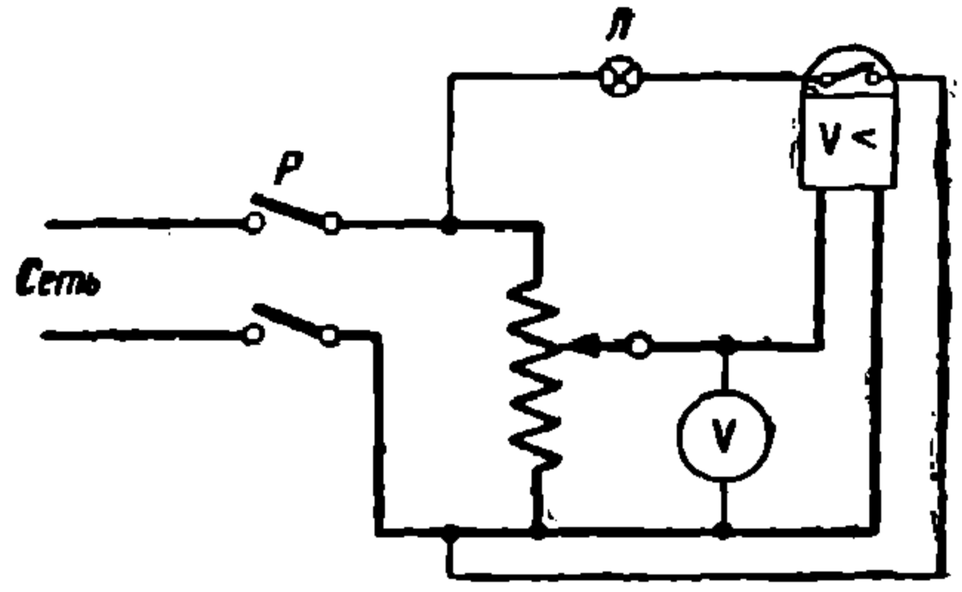
$$\frac{5+5{,}2+4{,}9}{3}=5{,}1 \text{ сек.}$$

Для того чтобы снять характеристику реле, нужно измерять выдержки времени при токах, равных примерно 1,5 $I_{трог}$, 2,0 $I_{трог}$, 2,5 $I_{трог}$, 3,0 $I_{трог}$ и 5 $I_{трог}$, где $I_{трог}$ — действительный ток трогания реле на той уставке по шкале, при которой производится испытание.

При определении выдержки времени всегда, где только возможно, нужно пользоваться электрическим секундомером, так как он пускается и останавливается автоматически, благодаря чему измерение времени происходит гораздо точнее, чем с помощью пружинного секундомера с ручным пуском, кроме того, работа весьма упрощается. Схема включения электрического секундомера для измерения выдержки времени реле максимального тока приведена на фиг. 221. Его устройство и правила пользования описаны на стр. 190.



Фиг. 221. Измерение выдержки времени реле максимального тока электрическим секундомером *t*.



Фиг. 222. Схема испытания реле минимального напряжения.

57. ПРОВЕРКА ШКАЛЫ НАПРЯЖЕНИЙ ТРОГАНЬЯ РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ

При этих испытаниях, так же как и при аналогичных испытаниях реле максимального тока, производится измерение напряжения трогания и возврата.

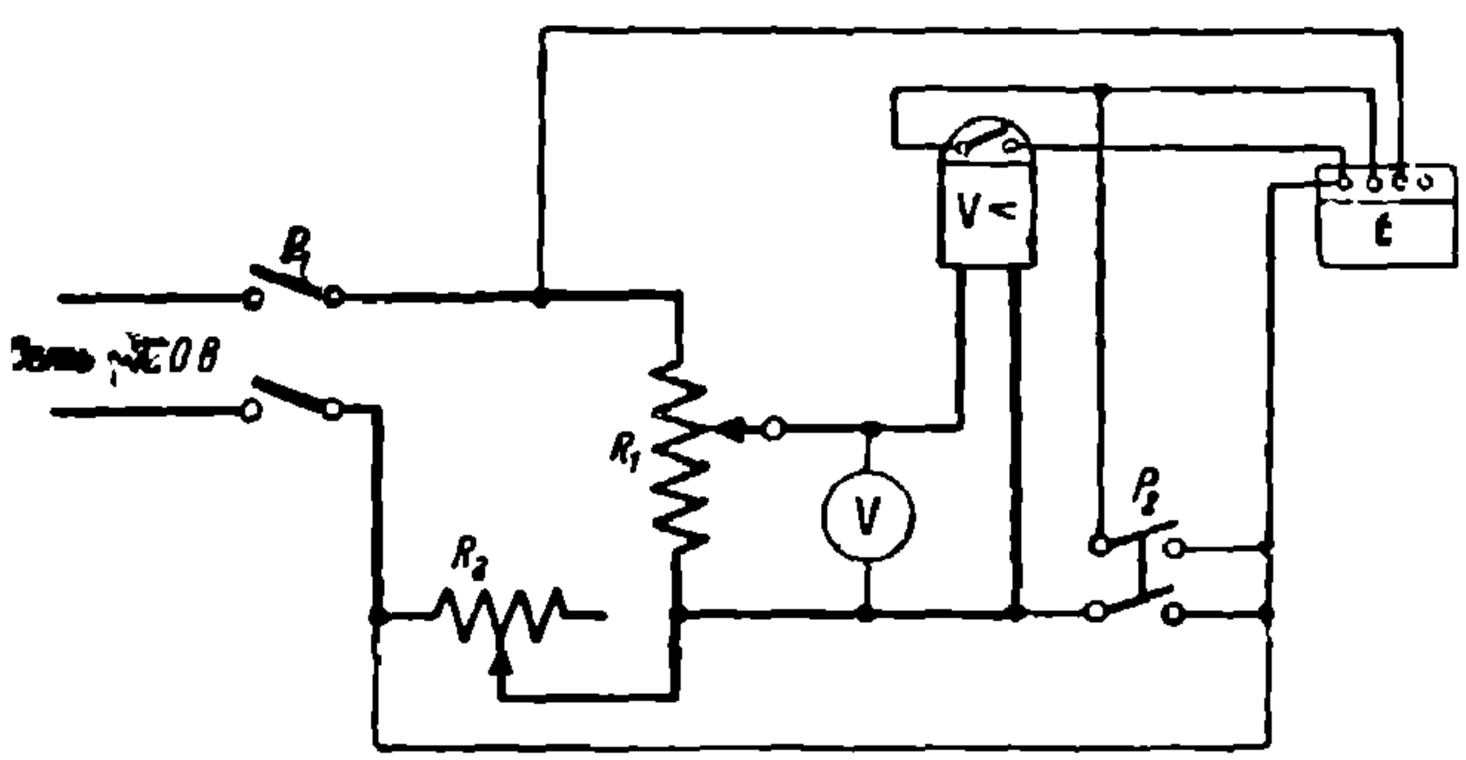
Испытания для всех мгновенных реле напряжения производятся по схеме фиг. 222, из которой видно, что изменяется напряжение с помощью потенциометра (стр. 203), приключенного к сети. При испытаниях минимальных реле напряжение сети должно быть на 5—10% выше нормального напряжения реле. При испытаниях максимальных реле напряжение сети должно быть на 10—15% выше наибольшей уставки по шкале реле.

Для контроля замыкания контактов применяется контрольная лампочка. При испытаниях реле максимального напряжения порядок работы следующий.

УДУНТ (ДІІТ)

Установив ползушку потенциометра в начальное положение (по фиг. 222 вниз) и сделав уставку по шкале реле, включают рубильник *Р* и начинают плавно повышать напряжение (при помощи потенциометра) до тех пор, пока реле не сработает. Срабатывание реле определяется по лампочке. Минимальное напряжение, при котором реле сработает, будет напряжением трогания. После этого плавно понижают напряжение на реле до тех пор, пока подвижная система не вернется в исходное положение. Максимальное напряжение, при котором реле возвращается в исходное положение, будет напряжением возврата. Кроме того, на минимальной уставке по шкале реле кратковременно включается на наибольшее напряжение, которое может быть в сети. При этом проверяется отсутствие вибрации контактов. При испытаниях мгновенных реле минимального напряжения, работающих на замыкание контактов, делают уставку по шкале реле и, включив рубильник *Р*, поднимают напряжение на реле до нормального. Затем начинают плавно понижать напряжение до тех пор, пока реле не замкнет контакты (пока не загорится лампочка). Наибольшее напряжение, при котором реле замыкает контакты, будет напряжением трогания. Для того чтобы определить напряжение возврата, нужно плавно поднимать напряжение на реле с нуля до тех пор, пока оно не вернется в исходное положение. Наименьшее напряжение, возвращающее реле в исходное положение, будет напряжением возврата. Очевидно, напряжение возврата всегда будет больше напряжения трогания, вследствие чего коэфициент возврата реле минимального напряжения будет больше единицы.

При испытаниях индукционных реле минимального напряжения можно воспользоваться схемой фиг. 222. Однако в тех случаях, когда кроме проверки шкалы напряжения трогания бывает необходимо измерять выдержку времени реле, целесообразно сразу собирать схему фиг. 223 или 224 (подробное описание этих схем см. ниже). Обе схемы одинаково пригодны как для проверки шкалы, так и для измерения выдержки времени. При проверке шкалы рубильник P_1 должен быть включен, а рубильник P_2 отключен. Напряжение на реле изменяется при помощи реостатов R_1 и R_2, а замыкание или размыкание контактов контролируется секундомером *t* или лампочкой *Л*. При испытаниях этих реле нужно иметь в виду следующее:



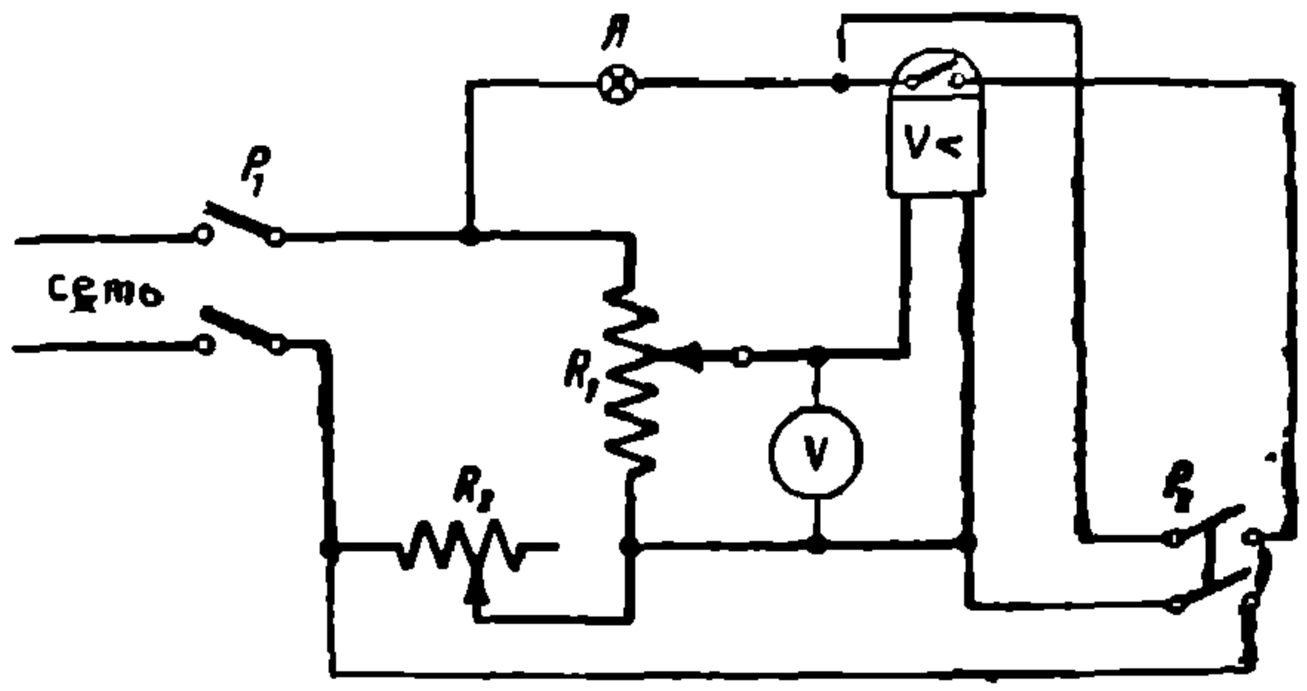
Фиг. 223. Схема измерения выдержки времени зависимого реле минимального напряжения электрическим секундомером *t*.

УДУНТ (ДІІТ)

а) при определении напряжения трогания минимальных реле нужно напряжение на реле только понижать (повышать нельзя), а при определении напряжения возврата, наоборот, только повышать (понижать нельзя);

б) при испытаниях индукционных реле напряжение нужно регулировать таким образом, чтобы диск едва заметно двигался (отнюдь не быстро) в наружную сторону;

в) причиной плохого (слишком большого) коэфициента возврата может быть затирание в осях, задевание диска за магниты, неодновременное касание мостиком обоих контактов или грязь на контактах.



Фиг. 224. Схема испытания зависимого реле минимального напряжения при измерении выдержки времени пружинным секундомером с ручным пуском.

58. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ РЕЛЕ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА ЗАМЫКАНИЕ КОНТАКТОВ

Для того чтобы снять характеристику зависимости выдержки времени реле минимального напряжения, нужно внезапно понижать до разных величин напряжение на клеммах испытуемого реле и измерять получающиеся выдержки времени. Опыт усложняется тем, что до понижения напряжение на клеммах реле должно быть равно нормальному. В таких случаях можно применять схему фиг. 223. Эта схема предусматривает измерение времени электрическим секундомером t и требует для своего осуществления помимо секундомера t и вольтметра V двух реостатов R_1 и R_2 и двух двухполюсных рубильников P_1 и P_2. При замкнутых обоих рубильниках реостат R_2 оказывается закороченным нижним ножом рубильника P_2, вследствие чего на реостат R_1, включенный потенциометром, подается полное напряжение сети. Напряжение на обмотке испытуемого реле можно изменять, передвигая ползушку реостата R_2 от нуля до напряжения сети. При этом даже при наличии на обмотке реле напряжения, равного нормальному, т. е. когда контакты его разомкнуты, секундомер не работает, так как, хотя на клеммы его и подано полное напряжение сети, рабочий орган (моторчик) закорочен верхним ножом рубильника P_2. Если теперь рубильник P_2 разомкнуть, то последовательно с реостатом R_1 окажется включенным реостат R_2, вследствие чего часть напряжения сети потеряется в этом реостате и напряжение на обмотке реле (а также на клеммах реостата R_1) упадет. Одновре-

УДУНТ (ДИТ)

менно начнет работать секундомер, так как благодаря размыканию рубильника P_2 закоротка с его рабочего органа снимается. Работа секундомера будет продолжаться до тех пор, пока испытуемое реле не сработает (не замкнет свои контакты). Таким образом секундомер покажет время, прошедшее от начала понижения напряжения до момента срабатывания реле, т. е. его выдержку времени. Если измерение времени производится пружинным секундомером с ручным пуском, то схема принимает вид, изображенный на фиг. 224. Все манипуляции за исключением манипуляций с секундомером остаются прежними. Выдержка времени реле будет равна времени, прошедшему от момента отключения рубильника до момента повторного загорания контрольной лампочки *Л*.

Для успешной работы по этим схемам сопротивление реостата R_2 должно быть в несколько раз (раза в три-четыре) больше, чем сопротивление реостата R_1. Однако оба они должны быть рассчитаны на работу в качестве потенциометров практически под полным напряжением сети. Если напряжение сети 120 *в*, то для этой цели при испытаниях индукционных реле минимального напряжения завода ХЭМЗ хорошо подходят следующие распространенные реостаты:

$$R_1 — 130\ ом,\ 1{,}5\ а;$$

$$R_2 — 380\ ом,\ 0{,}6\ а.$$

Порядок работы при испытаниях следующий: включив приборы по схеме фиг. 223, замыкаем оба рубильника (P_1 и P_2) и, двигая ползушку реостата R_1, устанавливаем на клеммах реле нормальное напряжение.

После этого размыкаем рубильник P_2 и, не обращая внимания на секундомер, двигая ползушку реостата R_2, устанавливаем на клеммах реле напряжение, при котором нужно измерять выдержку времени. Затем снова включаем рубильник P_2 и, убедившись, что вольтметр снова показывает нормальное напряжение реле, возвращаем стрелку секундомера в начальное положение. После того как диск реле вернулся в исходное положение, размыкаем рубильник P_2. При этом реле начнет работать, а секундомер отсчитывать время и остановится в момент срабатывания (момент замыкания контактов) реле, измерив его выдержку времени. Вольтметр же покажет напряжение, при котором реле сработало. Если теперь замкнуть рубильник P_2, то на реле вновь появится нормальное напряжение, и оно вернется в исходное положение. Измерение можно повторить, поставив предварительно стрелки секундомера на нуль.

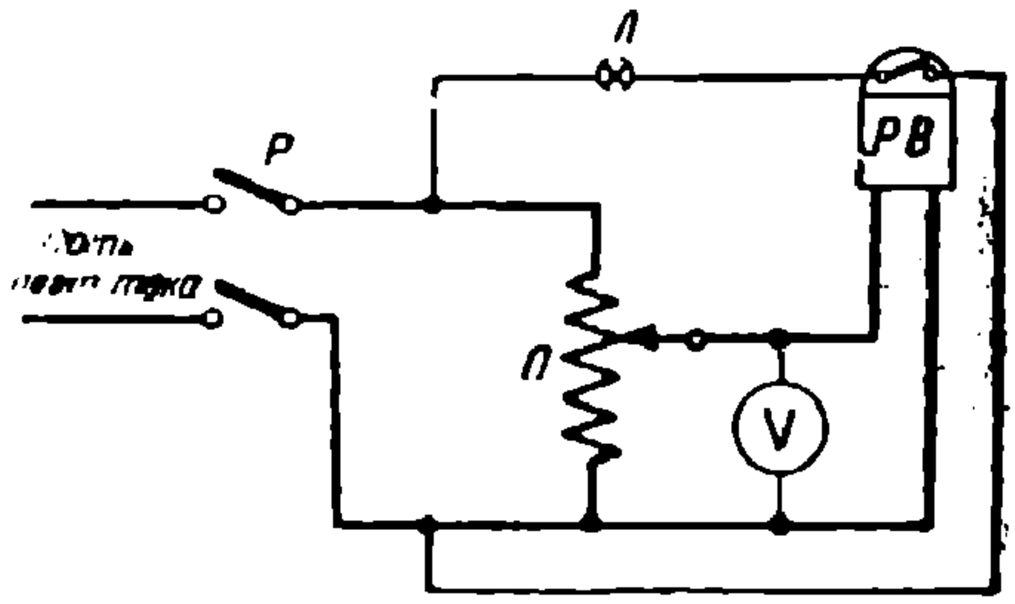
Для снятия характеристики времени большинства реле достаточно измерять выдержки времени при напряжениях, равных 90, 80, 70, 50 и 0% от напряжения трогания реле. Для каждого напряжения (для каждой точки характеристики) время измеряется три раза, и в протокол записывается среднее арифметическое этих трех размеров.

УДУНТ (ДІІТ)

Схемы фиг. 223 и 224 в равной степени пригодны и для проверки шкалы напряжений троганья. В самом деле, если выключить рубильник P_2, а ползушку реостата R_2 поставить в положение, соответствующее сопротивлению, равному нулю (крайнее левое положение на фиг. 223 и 224), то эти схемы будут в принципе подобны схеме фиг. 222 с той разницей, что на фиг. 223 вместо контрольной лампы используется электрический секундомер, который при разомкнутых контактах реле и включенном рубильнике P_1 будет работать.

59. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

1. Определение минимального напряжения срабатывания. При испытании реле времени включается по схеме фиг. 225, из которой видно, что испытуемое реле РВ и подключаемый параллельно его обмотке вольтметр *V* через потенциометр *П* и двухполюсный рубильник присоединяются к сети постоянного тока. Напряжение сети не должно быть ниже нормального напряжения реле. В основном эта схема известна нам по фиг. 222 и отличается от нее только тем, что в данном случае используется сеть постоянного тока. Однако порядок работы несколько своеобразен. Дело в том, что при определении минимального напряжения троганья реле времени последнее должно включиться под напряжение «толчком». Поэтому в данном случае, включив рубильник, поднимают напряжение на реле примерно до 80% от нормального, затем выключают рубильник и снова включают. Если реле не срабатывает, то несколько повышают напряжение и снова отключают и включают рубильник. Так продолжают до тех пор, пока реле не начнет срабатывать. Если реле срабатывает уже при 80% напряжения, то таким же порядком производят понижение напряжения. Таким образом находят минимальное напряжение, при котором реле времени срабатывает.



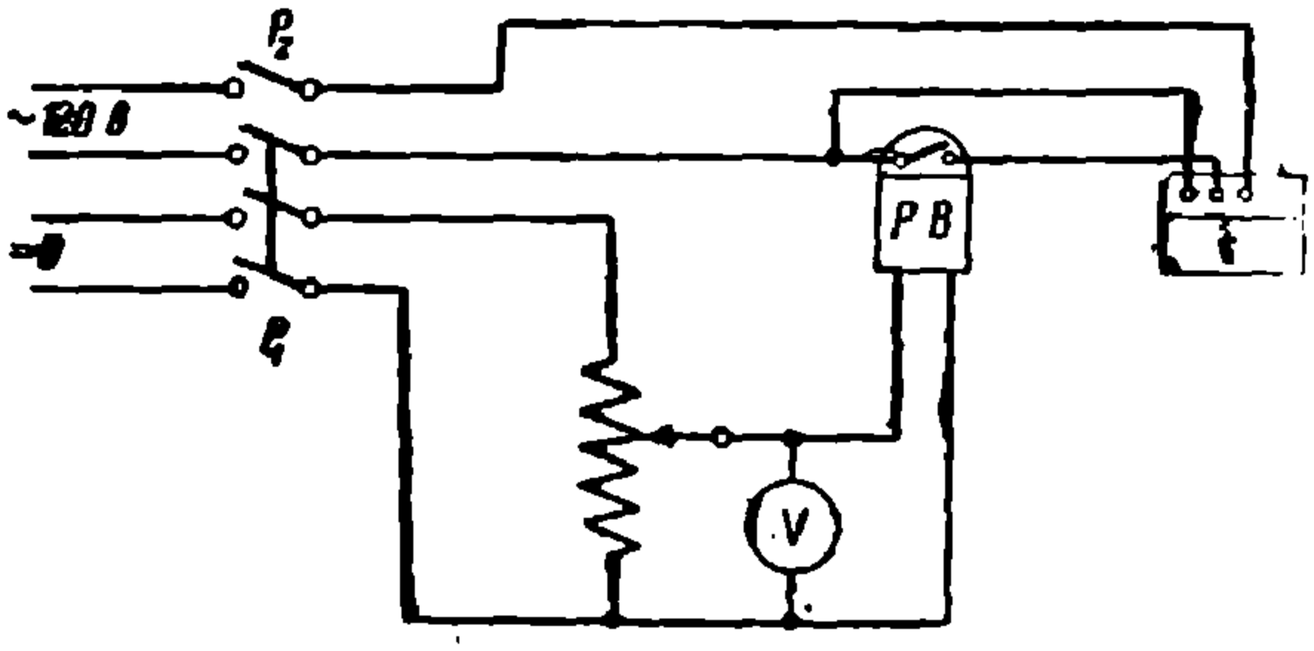
Фиг. 225. Схема испытания реле времени *РВ* при измерении времени пружинным секундомером с ручным пуском.

2. Проверка шкалы времени реле. Если для проверки шкалы выдержек времени используется пружинный секундомер с ручным пуском, то применяется та же схема фиг. 225. В этом случае при включенном рубильнике, передвигая ползушку потенциометра, устанавливают на реле нормальное напряжение. Затем отключают рубильник и включают снова, пуская одновременно секундомер. В момент загорания контрольной лампочки секундомер нужно остановить.

Если измерение времени производится электрическим секундомером, то применяется схема фиг. 226. Схема усложняется тем, что для работы реле времени нужен постоянный ток, а для

УДУНТ (ДІІТ)

работы секундомера — переменный, причем оба тока нужно включать одновременно. Для этого применяются два рубильника — один однополюсный P_2, включенный все время, и один трехполюсный P_1, которым производится одновременно включение реле времени и секундомера. Эта схема в равной мере пригодна и для определения минимального напряжения трогания, так что при измерениях времени электрическим секундомером нет надобности сначала собирать схему фиг. 225 (для определения минимального напряжения трогания), а затем схему фиг. 226 (для проверки шкалы). Как пользоваться схемой фиг. 226, должно быть ясно из предыдущего.



Фиг. 226. Схема испытания реле времени при измерении времени электрическим секундомером *t*.

При испытаниях реле времени нужно иметь в виду следующее:

а) Минимальное напряжение трогания должно быть не выше 80% от нормального при холодной обмотке реле. Причиной повышенного напряжения трогания может быть высокая температура обмотки, поэтому, если есть сомнение, то нужно охладить реле и повторить измерение. Кроме того, повышенное напряжение трогания у реле РВ и ЭВ завода ХЭМЗ может быть из-за загрязнения сердечника электромагнита или паза в катушке, в котором движется сердечник. У некоторых реле времени РВ был обнаружен перекос катушки относительно сердечника, что также служило причиной повышенного напряжения трогания.

б) Измерение времени действия должно производиться при надетой крышке. При этом нужно следить, чтобы перед каждым измерением ветрянка успела остановиться, иначе время действия получится преуменьшенным.

в) Для реле со шкалой от 0,5 до 3 сек. проверяется время действия при уставке по шкале на 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; и 3,0 сек. Для реле со шкалой от 2,0 до 10 сек. проверяются уставки 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 и 10 сек.

г) Для каждой точки шкалы измерения времени производятся три раза, и по трем замерам подсчитывается среднее арифметическое.

60. ИСПЫТАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЕ

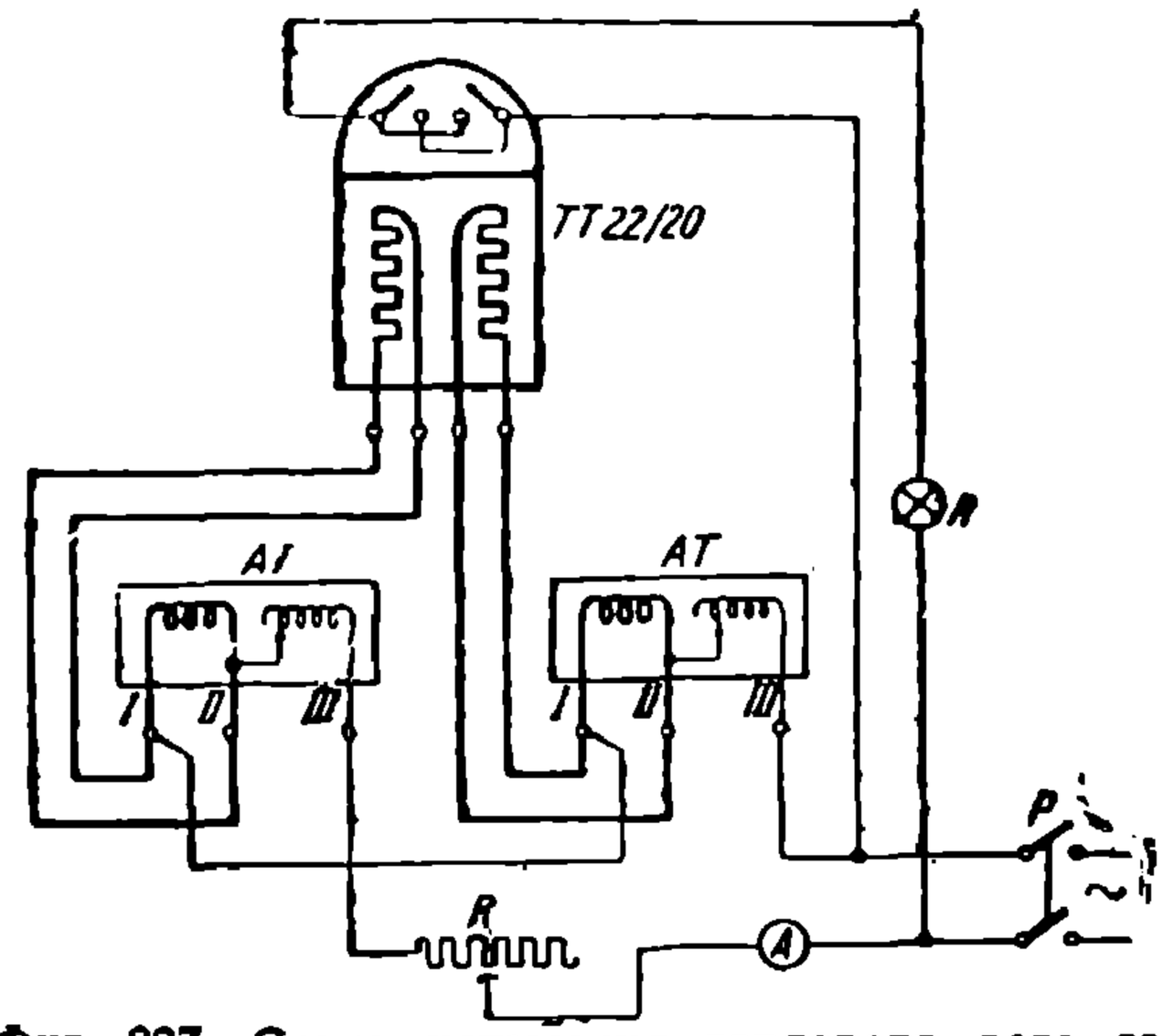
При испытаниях промежуточных реле помимо внешнего осмотра производится только определение минимального напряжения срабатывания. При этом методы и схема испытания остаются такими же, как для электромагнитного реле времени (см. выше).

УДУНТ (ДІІТ)

61. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА ТРОГАНЬЯ, НАСТРОЙКА И ПРОВЕРКА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ

Это — одна из наиболее трудоемких работ. Ниже даются указания, как определять ток трогания, настраивать и проверять характеристику тепловых реле ТТ-22/20 завода ХЭМЗ, работающих с автотрансформаторами тока ВУ-21 или ВУ-22 (описание этих реле и трансформаторов тока приведено на стр. 65). Испытания должны вестись таким образом, чтобы оба элемента реле одновременно обтекались одинаковым током. При этом крышка на реле должна быть надета, а под контакты элемента, который в данный момент не испытывается, должна быть подложена бумажка.

Характеристики реле в сильной степени зависят от температуры окружающего воздуха и сопротивления проводов, которыми оно соединено с промежуточным автотрансформатором. Поэтому испытания должны производиться после того, как реле смонтировано, а испытательная схема должна собираться таким образом, чтобы провода, соединяющие реле с промежуточными автотрансформаторами, остались теми же, какие были установлены при монтаже. В эти провода нельзя включать какие бы то ни было приборы. Кроме того, должно быть учтено влияние температуры окружающего воздуха (см. ниже).



Фиг. 227. Схема испытания теплового реле завода ХЭМЗ типа ТТ-22/20 с промежуточными автотрансформаторами тока ВУ-21 или ВУ-22.

ТТ — тепловое реле; *АТ* — автотрансформаторы тока; *R* — проволочный или водяной реостат; *А* — контрольный амперметр; *Р* — двухполюсный рубильник от сети переменного тока; *Л* — сигнальная лампочка.

Схема испытаний приведена на фиг. 227, из которой видно, что регулировка (реостатом *R*) и измерение (амперметром *А*) тока производятся в первичной цепи промежуточных автотрансформаторов. Для того чтобы произвести все необходимые испытания реле, на рубильнике *Р* должно быть напряжение не ниже 40—50 *в*. Поэтому применение понижающих трансформаторов на 12 *в* (как в схеме фиг. 218) невозможно, и к рубильнику обычно подводится напряжение сети переменного тока 120 (или 220) *в*.

1. Определение тока трогания. Допустим, нужно определить ток трогания теплового реле при установке промежуточных автотрансформаторов на 4,5 *а* и регуляторов тока трогания

УДУНТ (ДІІТ)

внутри реле на 100%. Оба элемента испытываются по очереди, например, сначала левый, потом правый. Подложив бумажку под контакты элемента, который в данный момент не испытывается, и установив регулятор внутри реле на 100%, закрываем реле крышкой. Штепсели обоих промежуточных автотрансформаторов, изменяющие коэфициент трансформации их, устанавливаем в гнезда 4,5 *а*. Включаем рубильник *Р* и реостатом *R* устанавливаем величину тока, заведомо большую 4,5 *а* (например, 8 *а*), наблюдая за лампочкой. Как только лампочка загорится (реле сработает), снижаем ток до 3,5 *а* и пробуем возвратить контакты реле (нажимаем кнопку возврата внизу реле). Как только оказалось возможным вернуть контакты реле (т. е. лампочка погасла после отпускания кнопки возврата), снова увеличиваем ток, но уже до меньшей величины, чем раньше (например, до 6 *а*). После срабатывания реле снова уменьшаем ток, но уже до большей величины (например, до 4,0 *а*), ждем, пока контакты можно вернуть, а затем снова увеличиваем ток, но еще до меньшей величины, чем в предыдущем случае (например, до 5 *а*). Такое постепенное сближение токов, при которых реле срабатывает и при которых оно дает возможность вернуть контакты, продолжаем до тех пор, пока разница между ними не будет порядка 5—10%. Например, в конце концов установили, что при токе 4,9 *а* реле срабатывает и при 4,5 *а* дает возможность вернуть контакты, т. е. разница всего

$$4{,}9 - 4{,}5 = 0{,}4 \ а,$$

или 8 — 9% от тока возврата (от 4,5 *а*).

На этом испытание можно прекратить и с достаточной точностью можно считать, что действительный ток трогания при данной настройке реле и температуре окружающего воздуха равен сумме обоих токов, деленных пополам (среднему арифметическому), т. е. для нашего примера ток трогания реле равен:

$$\frac{4{,}5 + 4{,}9}{2} = 4{,}7 \ а.$$

Описанный выше способ позволяет довольно быстро определить ток трогания теплового реле, страдая, однако, некоторыми недостатками.

В частности, нужно отметить, что в процессе прогревания реле током, большим чем ток трогания, все части, находящиеся под крышкой, и сама крышка могут настолько нагреться, что будут влиять на работу реле и может получиться преуменьшенный ток трогания.

Поэтому существует более точный, хотя и более длительный, способ, который в основном заключается в следующем.

Сразу же после того, как включен рубильник, устанавливаем ток, равный току, на который установлены промежуточные трансформаторы, умноженному на число делений регулятора тока внутри реле и деленному на 100. Например, если регулятор внутри реле установлен на 100%, а штепсельки автотрансфор-

УДУНТ (ДІІТ)

маторов — на 4,5 *а*, то ток по амперметру *А* (схема фиг. 227) сразу устанавливаем:

$$\frac{4{,}5 \cdot 100}{100} = 4{,}5\ a;$$

под этим током оставляем реле в течение 2—3 час. Если за это время реле не сработает, то увеличиваем ток на 5—10% (т. е. в нашем примере до 4,7—5,0 *а*) и снова ждем 2—3 часа. Так продолжаем до тех пор, пока реле не сработает. Для определения действительного тока трогания нужно взять среднее арифметическое между наименьшим током, при котором реле срабатывает, и наибольшим током, при котором оно не срабатывает, например, если при токе 4,5 *а* реле еще не работает, а при токе 5,0 *а* уже работает, то ток трогания будет

$$\frac{4{,}5 + 5{,}0}{2} = 4{,}75\ a.$$

Если после первого же включения рубильника реле сработало, то нужно таким же образом производить снижение тока через 5—10% (выжидая каждый раз по 2—3 часа). В этом случае каждый раз перед включением нового, пониженного, тока нужно снять крышку и дать реле остыть.

2. Учет влияния температуры окружающего воздуха. Как уже указывалось выше, ток трогания теплового реле в сильной степени зависит от температуры окружающего воздуха. Шкала реле и автотрансформатора действительна только при температуре окружающего воздуха +35° С.

Поэтому если, например, регулятор тока трогания реле стоит на 80%, а штепсель автотрансформатора — на 4,5 *а*, то при температуре окружающего воздуха, отличной от 35° С, ток трогания будет не $3{,}6 \sim \left(\frac{4{,}5 \cdot 80}{100} = 3{,}6\right)$, а больше в *k* раз. Коэфициент *k* зависит от температуры окружающего воздуха и положения регулятора тока трогания, так как чем выше стоит этот регулятор, тем меньше ток трогания реле зависит от температуры окружающего воздуха.

В нижеследующей таблице указан коэфициент *k* для разных положений регулятора тока трогания и температуры окружающего воздуха, полученный авторами опытным путем. Из этой таблицы видно, что, например, при температуре воздуха 20° С и установке регулятора тока трогания на 80%, $k = 1{,}27$, т. е. ток трогания в 1,27 раз больше, чем при 35° С. Поэтому для нашего примера (4,5 *а*, 80%)

ТАБЛИЦА 11

Регулятор тока трогания стоит на	80%	100%	120%
Температура окружающего воздуха в °С 60	—	0,7	0,83
50	—	0,84	0,91
40	—	0,95	0,97
35	1,0	1,0	1,0
25	1,15	1,095	1,06
20	1,22	1,13	1,09
15	1,27	1,17	1,12
10	1,33	1,21	1,15

УДУНТ (ДИТ)

ток трогания при 35° С будет 3,6 *а*, а при 20° С не 3,6 *а*, а $3{,}6 \cdot 1{,}27 = 4$ *а*.

Измерение температуры окружающего воздуха должно производиться четырьмя термометрами, расположенными с четырех сторон реле на расстоянии около метра от него, и по среднему показанию этих термометров при помощи табл. 11 определяется коэфициент *k*.

3. Измерение выдержки времени в зависимости от тока. Выдержка времени измеряется для реле без предварительного подогрева. Схема испытаний остается та же, что и для определения тока трогания (фиг. 227). При употреблении электрического секундомера последний включается по общеизвестной схеме на контакты реле (например, так же как на схеме фиг. 221). В последнем случае контрольная лампочка не нужна. Измерение выдержки времени производится при токах, равных двойному, тройному и пятикратному току трогания, определенному по одному из способов, описанных выше. Измерение выдержки времени для каждого элемента производится отдельно, при этом под контакты не испытывающегося в данный момент элемента подкладывается бумажка.

Порядок работы следующий.

Включив рубильник, быстро устанавливают ток, при котором желают измерять выдержку времени, и после этого рубильник отключают. Регулировку тока нужно производить очень быстро, для того чтобы не нагреть реле. Оставив реостат в положении, соответствующем желаемому току, снимают крышку с реле, дают ему остыть по возможности дольше. Когда реле совершенно остынет (не менее чем через 1—2 часа), закрывают его крышкой, включают рубильник и измеряют время действия реле. Немедленно после срабатывания реле рубильник отключают. Через 5—10 мин. рубильник включают снова и устанавливают величину тока, при котором нужно снять следующую точку характеристики. Затем рубильник отключают и, не меняя сопротивления реостата, дают реле остыть со снятой крышкой не менее 2 час., после чего можно произвести новый замер выдержки времени. Таким образом, давая реле остывать каждый раз в течение 2 час., снимают нужное количество точек характеристики. Из сказанного следует, что для проверки даже трех точек характеристики нужно потратить целый рабочий день (около 7 час.). Поэтому более трех точек снимать нецелесообразно.

В случае если в результате испытания выяснилось, что характеристика реле не соответствует заводской характеристике, следует, кроме того, произвести испытание реле в нагретом состоянии, производя замеры каждый раз после того, как реле длительно обтекалось номинальным током.

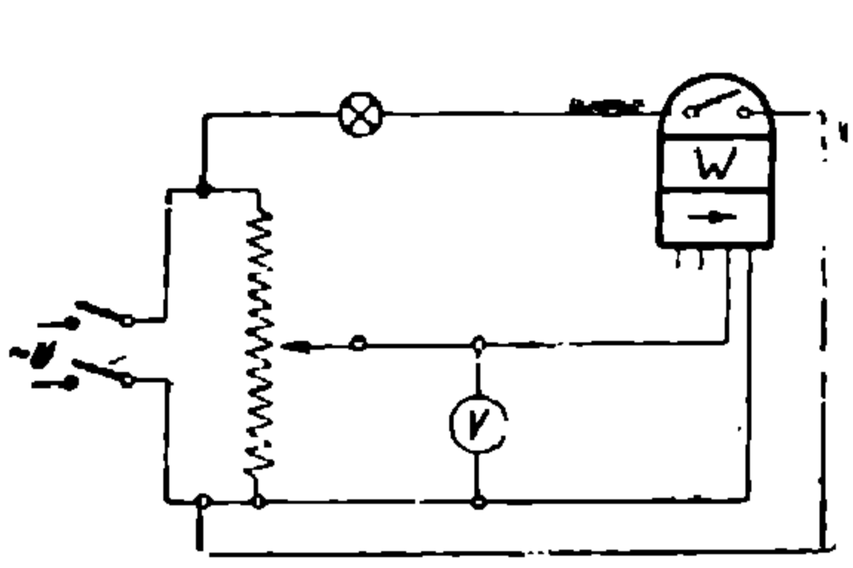
62. ИСПЫТАНИЕ РЕЛЕ МОЩНОСТИ

Испытания реле мощности всегда бывают тесно увязаны с испытаниями всего комплекта защиты, осуществленной этими

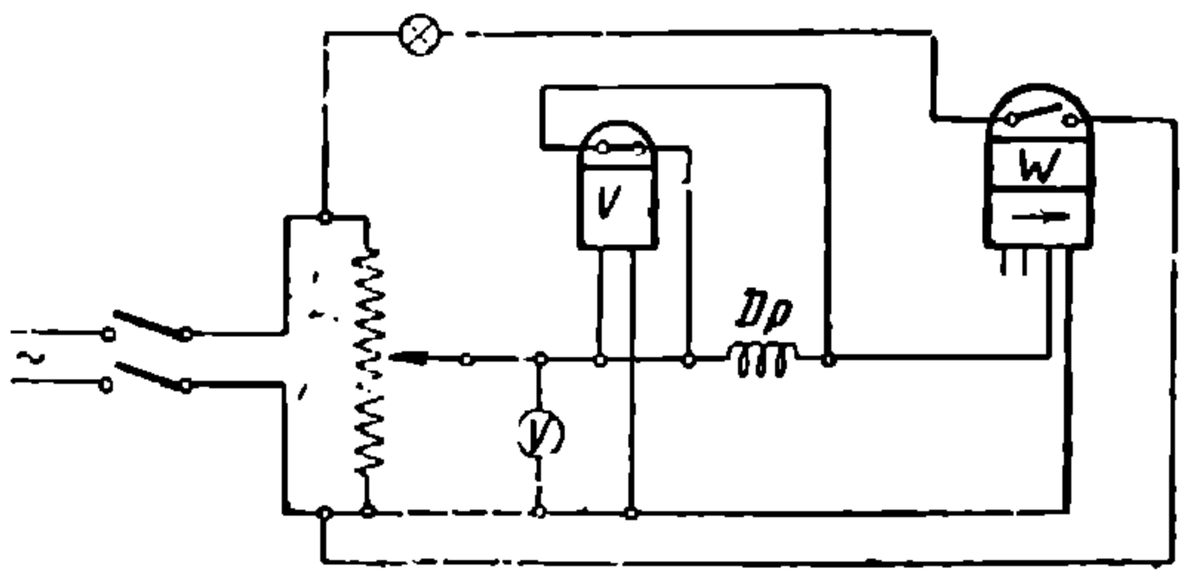
УПУНТ (ДІТ)

реле. Испытания самого реле мощности заключаются в основном в проверке реле на самоход, в определении вольтамперной характеристики трогания и в снятии характеристики выдержки времени.

1. Проверка реле мощности на самоход. Перед тем как снимать какие-либо характеристики, реле мощности должно быть проверено на самоход как от напряжения, так и от тока В обоих случаях самоход должен быть уничтожен.



Фиг. 228. Схема проверки реле мощности на самоход от напряжения.



Фиг. 229. Схема проверки на самоход от напряжения реле мощности, включенного с дросселем.

Для проверки реле на самоход от напряжения применяется схема фиг. 228. Проверка производится два раза: один раз при разомкнутой сериесной обмотке, а другой — при замкнутой накоротко. В обоих случаях подвижная система реле не должна двигаться при изменении напряжения с помощью потенциометра от нуля до наибольшего напряжения, которое может оказаться на клеммах шунтовой обмотки реле при его эксплоатации. При этом нужно иметь в виду, что в тех случаях, когда при определенном напряжении последовательно с шунтовой обмоткой реле включается дроссель, понижающий напряжение на ее клеммах (см. схему защиты от замыкания на корпус генератора на фиг. 154), наибольшее напряжение на шунтовой обмотке реле может быть либо при отключенном, либо при включенном дросселе. В первом случае оно равно напряжению трогания реле, включающего дроссель (реле *V* на схеме фиг. 154).

Поэтому в таких случаях нужно применять схему фиг. 229, где *Dp* — дроссель, а *V* — реле напряжения, включающее дроссель. Перед этим должно быть проверено и настроено реле напряжения *V*. Проверка реле на самоход от тока производится по схемам *а* и *б* фиг. 230. Схема фиг. 230, *а* удобна для проверки на самоход чувствительных реле, а схема фиг. 230, *б* для сравнительно грубых реле.

В схеме фиг. 230, *а* в качестве миллиамперметра может быть использован вольтметр. Перевод его показаний в миллиамперы производится по формуле:

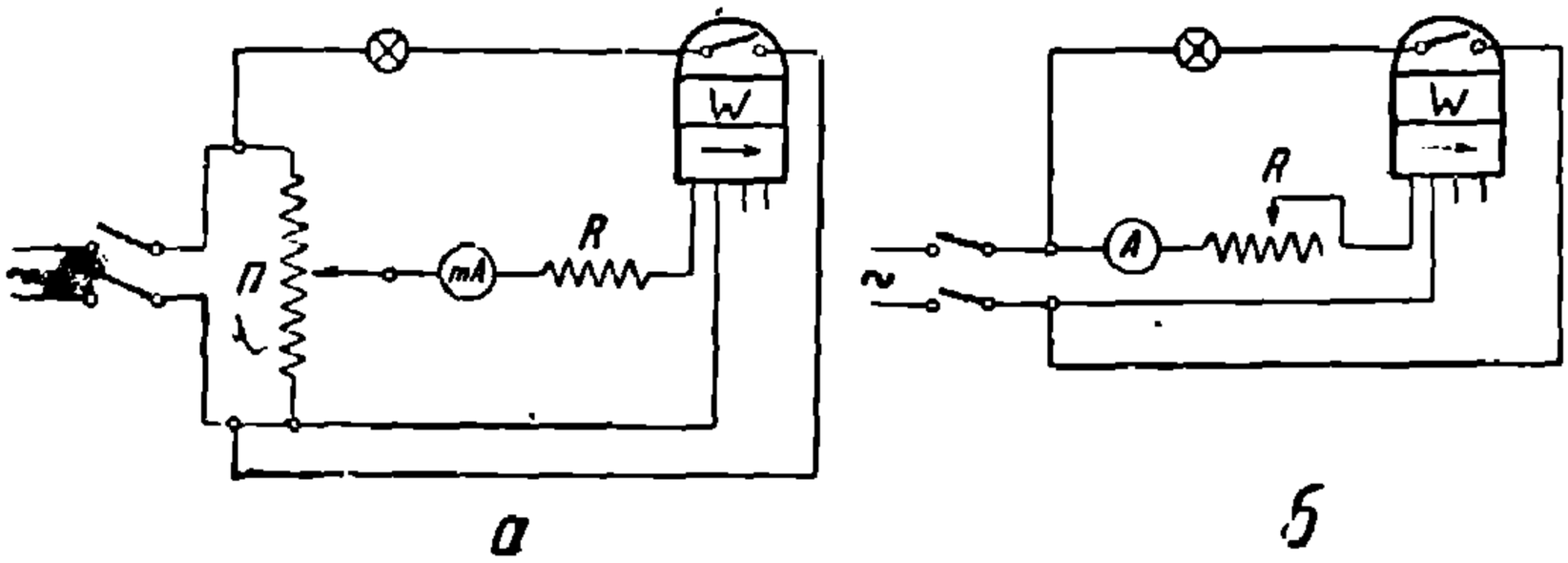
$$I = \frac{V}{R}\ 1\,000\ ма;$$

УДУНТ (ДІІТ)

здесь v — показание вольтметра в вольтах;
R — внутреннее сопротивление вольтметра в омах;
I — ток в обмотке реле в амперах.

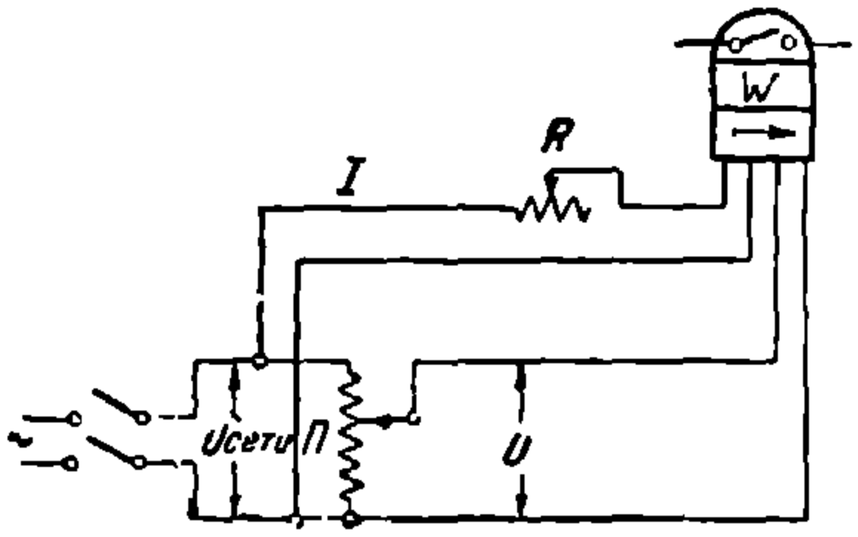
Проверка на самоход от тока должна производиться два раза: первый раз при разомкнутой шунтовой обмотке и второй при замкнутой накоротко.

В обоих случаях подвижная система не должна двигаться при изменении тока в сериесной обмотке реле потенциометром $П$ (схема фиг. 230,*а*) или реостатом R (схема фиг. 230, *б*) от нуля до наибольшей возможной в эксплоатации величины. При проверке реле на самоход от тока или напряжения уставка по шкале реле должна быть на наименьшую мощность трогания.



а *б*

Фиг. 230. Схемы проверки реле мощности на самоход от тока.



Фиг. 231. Схема испытания реле мощности, не обеспечивающая точного совпадения по фазе тока и напряжения.

2. Получение вольтамперной характеристики трогания. Мощность трогания реле мощности практически не постоянна и зависит от напряжения на его шунтовой обмотке. Это вызывает необходимость снимать вольтамперную характеристику трогания:

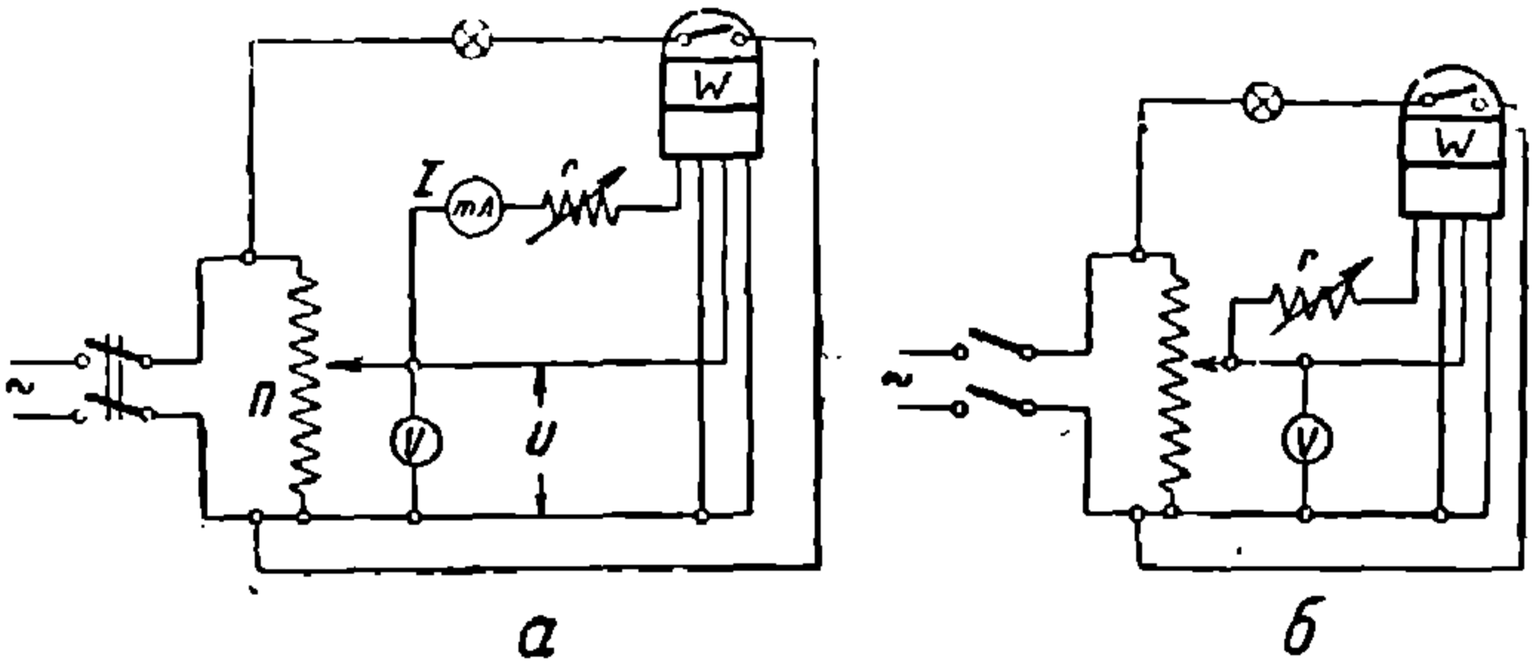
$$I_{трог} = f\ (U),$$

представляющую собой зависимость тока трогания реле от напряжения. Вольтамперная характеристика трогания должна сниматься при неизменном сдвиге между током в сериесной и напряжением на шунтовой обмотке, причем этот сдвиг между током и напряжением должен как раз соответствовать условиям наибольшей чувствительности реле (наименьшей кажущейся мощности трогания). Поэтому испытания чисто косинусных реле мощности (например, ИМ-41, ИМ-43, ИМ-143, ИМ-45 завода ХЭМЗ) должны производиться при $\cos \varphi = 1{,}0$, т. е. при полном совпадении по фазе тока в сериесной обмотке с напряжением на шунтовой. Испытания же чисто синусных реле должны производиться при $\cos \varphi = 0$, т. е. при угле сдвига между током и напряжением, равном 90°. Казалось бы, что при испытании чисто косинусного реле наиболее удобно применять схему фиг. 231,

УРУНТ (ДІТ)

т. е. ток *I* в сериесной обмотке изменять с помощью реостата *R*, а напряжение *U* на шунтовой обмотке изменять с помощью потенциометра *П*. Однако следует отметить, что схема эта как раз не обеспечивает полного совпадения по фазе тока *I* с напряжением *U*, особенно при испытаниях индукционных реле, шунтовые обмотки которых имеют почти только индуктивное сопротивление. Объясняется это, главным образом, тем, что ток, потребляемый шунтовой обмоткой испытуемого реле, проходя по потенциометру *П* (на участке между ползушкой и клеммой *а*), как бы сдвигает напряжение *U* относительно напряжения сети. Сдвиг получается тем больше, чем меньше кажущееся сопротивление шунтовой обмотки реле по сравнению с сопротивлением потенциометра *П*. Поэтому, для того чтобы, применяя схему фиг. 231, по возможности уменьшить сдвиг между током *I* и напряжением *U*, необходимо пользоваться потенциометрами со сравнительно небольшими сопротивлениями (в частности, при испытаниях реле мощности завода ХЭМЗ ИМ-41, ИМ-43, ИМ-45 и т. п. полное сопротивление этого потенциометра должно быть не более 100 *ом*).

При испытании реле мощности следует применять схемы, в которых описанный выше недостаток схемы фиг. 231 по возможности исключен. Такие схемы изображены на фиг. 232 и 233. Схемы фиг. 232 должны применяться при испытаниях вы-



Фиг. 232. Схемы испытания чувствительного реле мощности.

сокочувствительных чисто косинусных реле мощности для защиты генераторов от замыкания на землю завода ХЭМЗ (ИМ-143, ИМ-43, ИМ-45, РЗВ и др.). По этим схемам напряжение на шунтовой обмотке реле изменяется потенциометром *П* и измеряется вольтметром *V*. По схеме фиг. 232, *а* параллельно шунтовой обмотке через реостат *r* и миллиамперметр приключена сериесная обмотка реле. При токах троганья реле не более 100—200 *ма* в качестве реостата удобно применять магазин сопротивлений (фиг. 232,*б*). Тогда надобность в миллиамперметре отпадает, так как величина тока *I* с достаточной точностью может быть подсчитана по формуле:

$$I = \frac{U}{r},$$

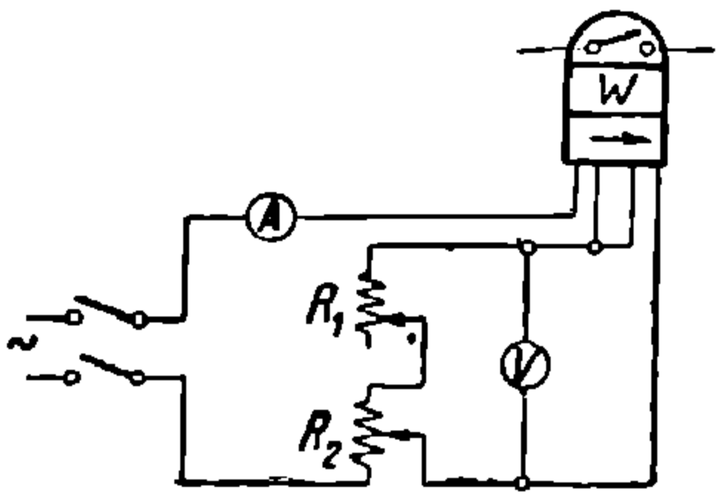
УДУНТ (ДІІТ)

r — сопротивление магазина;

U — напряжение на шунтовой обмотке реле.

При испытаниях сравнительно грубых реле мощности, токи трогань я которых могут превышать 1—2 *а*, схемы фиг. 232 оказываются не всегда удобными. В таких случаях можно применять схему фиг. 233. Здесь используются два реостата, включенные последовательно. Реостат R_1 служит для изменения величины тока в сериесной обмотке реле, а реостат R_2 — для изменения напряжения на клеммах шунтовой обмотки.

При испытаниях реле мощности, в цепь шунтовой обмотки которого при некотором напряжении включается дроссель, должны быть сняты две вольтамперные характеристики трогань я — одна при отключенном дросселе, т. е. по одной из схем фиг. 232 (или по схеме фиг. 233), а другая при включенном дросселе. Последний должен быть включен последовательно только с шунтовой обмоткой ваттметрового реле.



Фиг. 233. Схема испытания сравнительно грубого реле мощности.

3. Получение характеристики выдержки времени реле мощности. Характеристика выдержки времени

$$t = f\ (I \cdot U),$$

представляющая зависимость выдержки времени реле от кажущейся мощности, подводимой к нему $(I \cdot U)$, так же как и вольтамперная характеристика трогань я, должна сниматься при неизменном сдвиге между током и напряжением, соответствующем наибольшей чувствительности (наименьшей мощности трогань я) реле. Поэтому испытания должны производиться по уже описанным схемам фиг. 232 и 233. Порядок испытания примерно такой же, как для максимальных реле. Установив желательное напряжение и величину тока, отключают рубильник и, дав реле вернуться в исходное положение, включают снова, пуская одновременно секундомер. Здесь, так же как и при испытаниях максимальных реле, желательно пользоваться электрическим секундомером. Схема включения последнего не приводится, так как она должна быть достаточно известна из предыдущего (см., например, фиг. 221). Поскольку мощность трогань я реле мощности зависит от напряжения (или от тока), соотношение между током и напряжением, подводимыми к реле при снятии характеристики выдержки времени, должно быть по возможности таким же, как при работе реле в действительности. Соблюсти это условие при испытаниях реле защит от замыкания на землю генераторов оравнительно легко. Для этого при испытаниях по схеме фиг. 232, *б* сопротивление магазина сопротивлений должно быть для схемы защиты по фиг. 150 всегда равным сопротивлению r, через которое приключена серисеная обмотка реле к трансформатору напряжения нулевой точки.

УДУНТ (ДІІТ)

Если защита собрана по схеме фиг. 149, то величина сопротивления магазина сопротивлений подсчитывается по формуле:

$$r = \frac{R_{заз}}{n_{но}} n_{то},$$

где $R_{заз}$ — величина заземляющего сопротивления между точками присоединения первичной обмотки нулевого трансформатора напряжения;

$n_{но}$ и $n_{то}$ — коэфициенты трансформации измерительных трансформаторов в нулевой точке генератора.

63. ИСПЫТАНИЕ РЕЛЕ ТРАНСЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Испытания реле трансле́й в еще большей степени, чем испытания реле мощности тесно увязываются с испытаниями всей защиты трансле́й в целом. В частности, производить испытания одного реле не имеет смысла. Поэтому описываемые ниже испытания должны производиться для комплекта из двух реле, предназначенных для установки с обеих сторон защищаемого трансформатора на одних и тех же фазах. Такие реле называются «спаренными», так как вторичные обмотки их по схеме защиты спариваются (соединяются «навстречу», т. е. на равновесие напряжений при отсутствии повреждения в защищаемой зоне). Испытание такого комплекта спаренных реле производится по следующей программе:

а) проверяется идентичность (одинаковость) спаренных реле;

б) проверяются шкалы токов троганья каждого реле;

в) снимаются тормозные характеристики для каждого реле;

г) снимается характеристика выдержки времени для каждого реле.

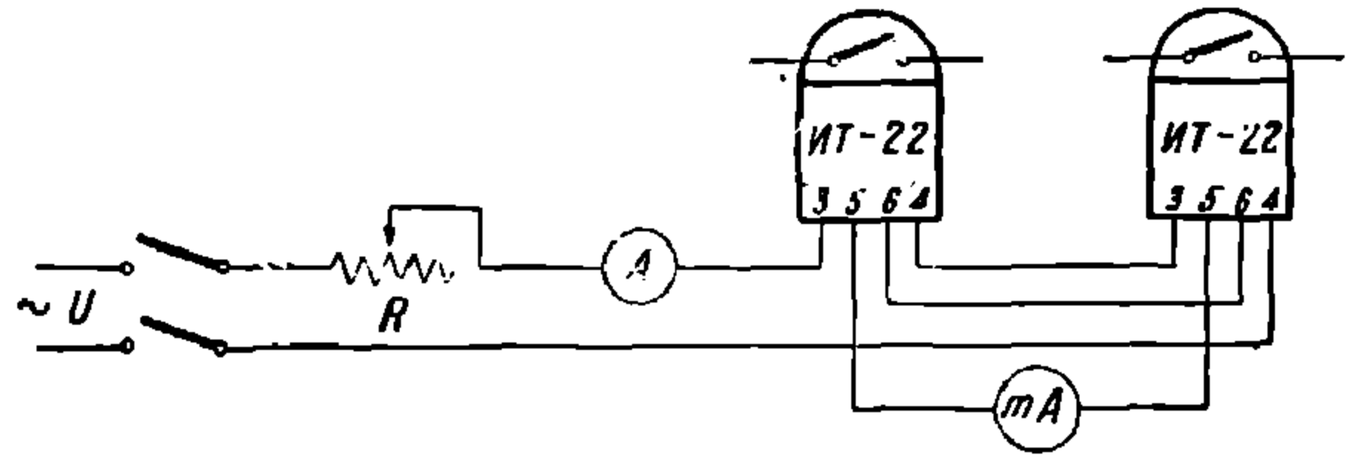
Как известно, реле трансле́й для защиты трансформаторов бывают либо однофазные (ИТ-22 завода ХЭМЗ), либо двухфазные (ИТ-21 завода ХЭМЗ). Описание реле трансле́й приведено на стр. 107. Ниже описываются испытания как реле ИТ-21, так и ИТ-22. Для того чтобы не усложнять схему, внутренние соединения реле не показаны. Поэтому при осуществлении описываемых здесь схем нужно ориентироваться по номерам клемм, которые соответствуют действительным номерам на реле.

Во всех случаях регулирование величины тока при испытаниях реле должно производиться проволочными реостатами (например, реостатами Рустрата), а напряжение на ножах рубильника должно быть не меньше 110 *в*. Применение различных нагрузочных трансформаторов, автотрансформаторов и пр. при испытаниях реле трансле́й не допускается, так как иначе характеристики реле получатся искаженными, не соответствующими действительным. Объясняется это тем, что правильные характеристики получаются только при чисто синусоидальной форме

УДУНТ (ДІІТ)

кривой переменного тока в первичных обмотках реле. Форма же кривой тока, получаемого от нагрузочного трансформатора или автотрансформатора, при испытаниях реле трансле́й получается не синусоидальной.

1. Проверка идентичности спаренных реле. Спаривать можно только совершенно одинаковые реле, так как в противном случае защита может действовать неселективно. Реле трансле́й завода ХЭМЗ более ранних выпусков не все одинаковы. На табличках этих реле указан номер парного реле, с которым данное реле только и может спариваться. Реле более поздних выпусков завода ХЭМЗ совершенно идентичны (одинаковы). Эти реле взаимозаменяемы и на табличках номера их парных реле не указаны. Однако независимо от того, к какому выпуску относится испытуемая пара реле, прежде чем снимать все необходимые характеристики, необходимо проверить идентичность обоих спаренных реле. Для этого нужно первичные обмотки реле включить последовательно, а вторичные — «навстречу» и измерять величину тока во вторичных обмотках при величине тока в первичных, равной 50—100 *а*.



Фиг. 234. Схема проверки идентичности спаренных реле трансле́й ИТ-22.

Проверка идентичности реле ИТ-22 производится по схеме фиг. 234. Ток в первичных обмотках регулируется реостатом *R* и измеряется амперметром *A*. Последний включается или непосредственно или через измерительный трансформатор тока, на схемах не показанный. Испытания должны производиться быстро, для того чтобы не сжечь обмотки реле. Ток во вторичных обмотках измеряется миллиамперметром переменного тока с нормальным током не более 150—200 *ма*. По величине вторичного тока можно судить об идентичности реле. Реле считаются пригодными для спаривания, если ток во вторичных обмотках не больше определенной величины, которая зависит не только от величины тока в первичных обмотках, но и от сопротивления миллиамперметра. В нижеследующей таблице даются максимально допустимые для спаренных реле токи во вторичных обмотках в зависимости от сопротивления миллиамперметра при величине тока в первичных обмотках, равной 100 *а*.

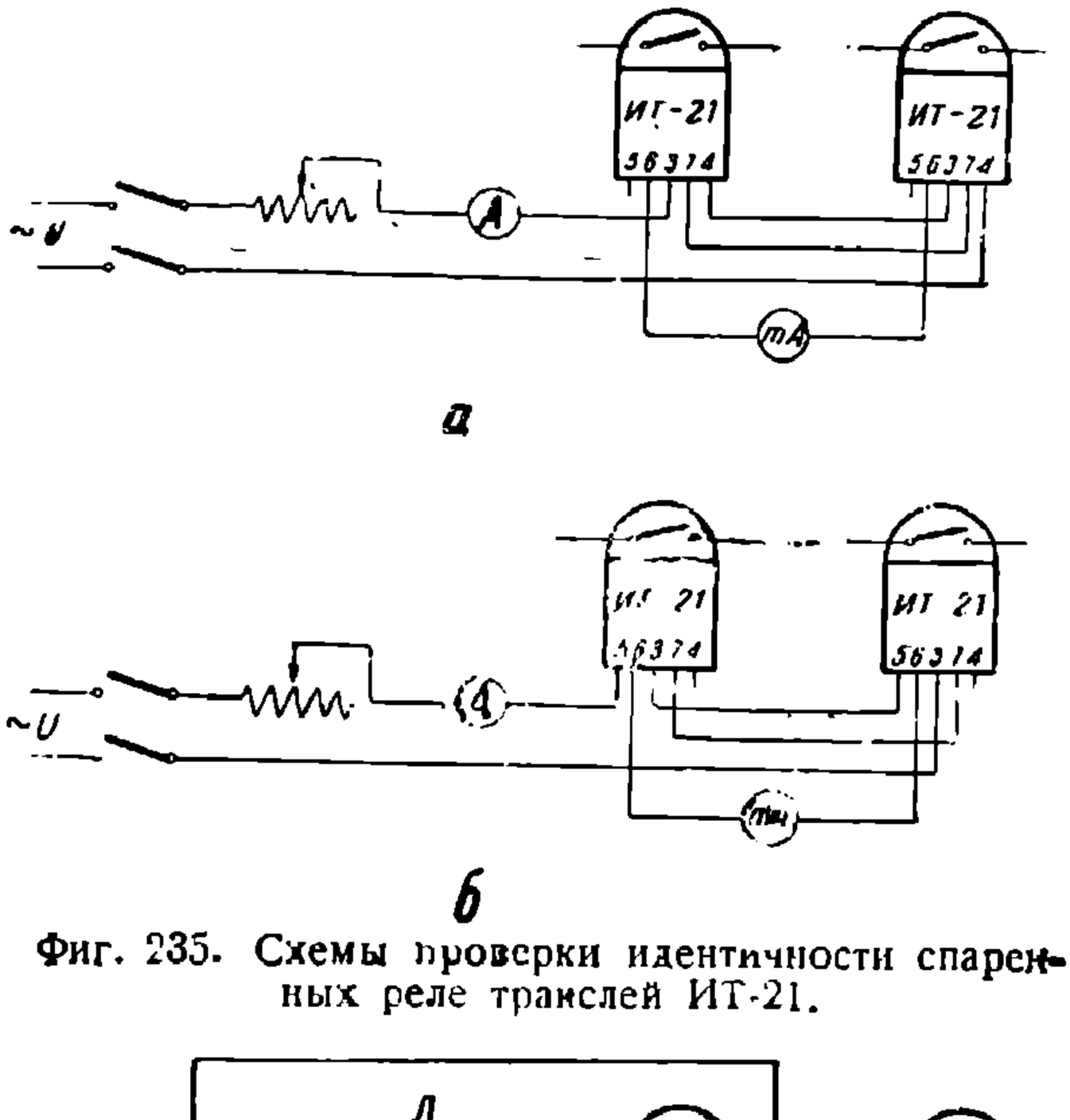
ТАБЛИЦА 12

Сопротивление миллиамперметра в омах . .	10	150	440
Предельно допустимый вторичный ток в миллиамперах	30	25	18

УДУНТ (ДІІТ)

При токе в первичных обмотках, равном 50 *а*, величина тока во вторичных обмотках, измеренная миллиамперметром с внутренним сопротивлением 15—100 *ом*, не должна быть более 5—7 *ма*.

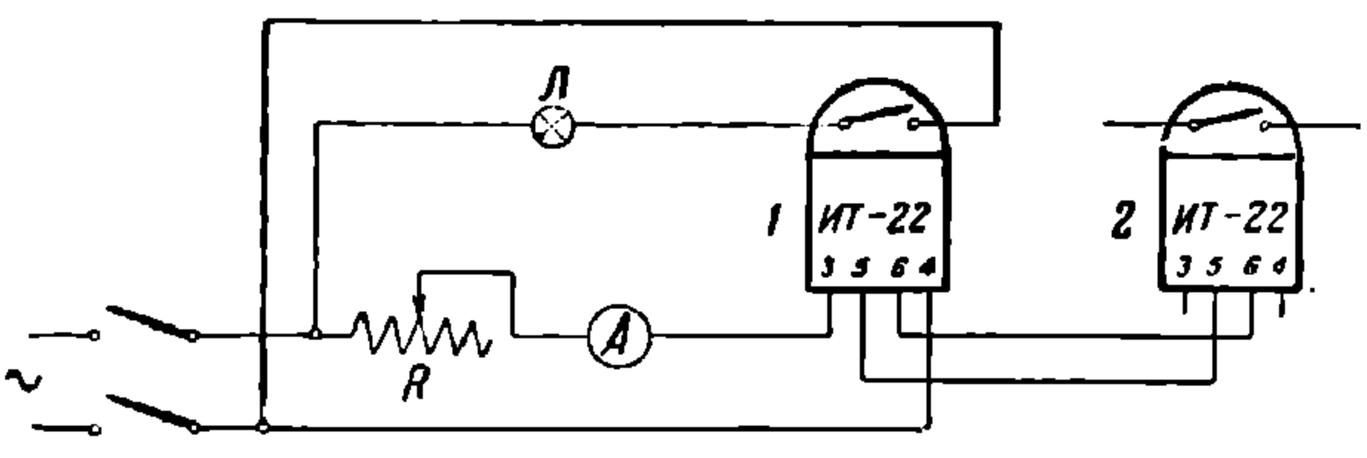
Причиной кажущейся неидентичности реле часто бывает обрыв сопротивления, шунтирующего часть вторичной обмотки (это сопротивление намотано на катушке, помещенной в правом нижнем углу реле). Поэтому, прежде чем браковать неидентичные реле, нужно проверить исправность указанного сопротивления.



Фиг. 235. Схемы проверки идентичности спаренных реле трансле́й ИТ-21.

Первичные обмотки реле ИТ-21 разделены, как известно, на две равные части. Проверка идентичности этих реле производится поочередно для каждой половины первичной обмотки, т. е. два раза — первый раз по схеме фиг. 235,*а* и второй по схеме фиг. 235,*б*. Максимально допустимые токи во вторичных обмотках те же, что и для реле ИТ-22 (см. выше).

2. Проверка шкалы токов троганья. Токи троганья реле измеряются при уставках по шкале на 2, 3, 4 и 5 *а*. Схема испытания реле ИТ-22 приведена на фиг. 236. Ток регулируется реостатом *R* и измеряется амперметром *A*. При измерении токов троганья вторичная обмотка испытуемого реле должна быть замкнута на одноименные клеммы парного реле. Порядок работы такой же, как при измерении токов троганья индукционного реле максимального тока, работающего на замыкание контактов (стр. 214).



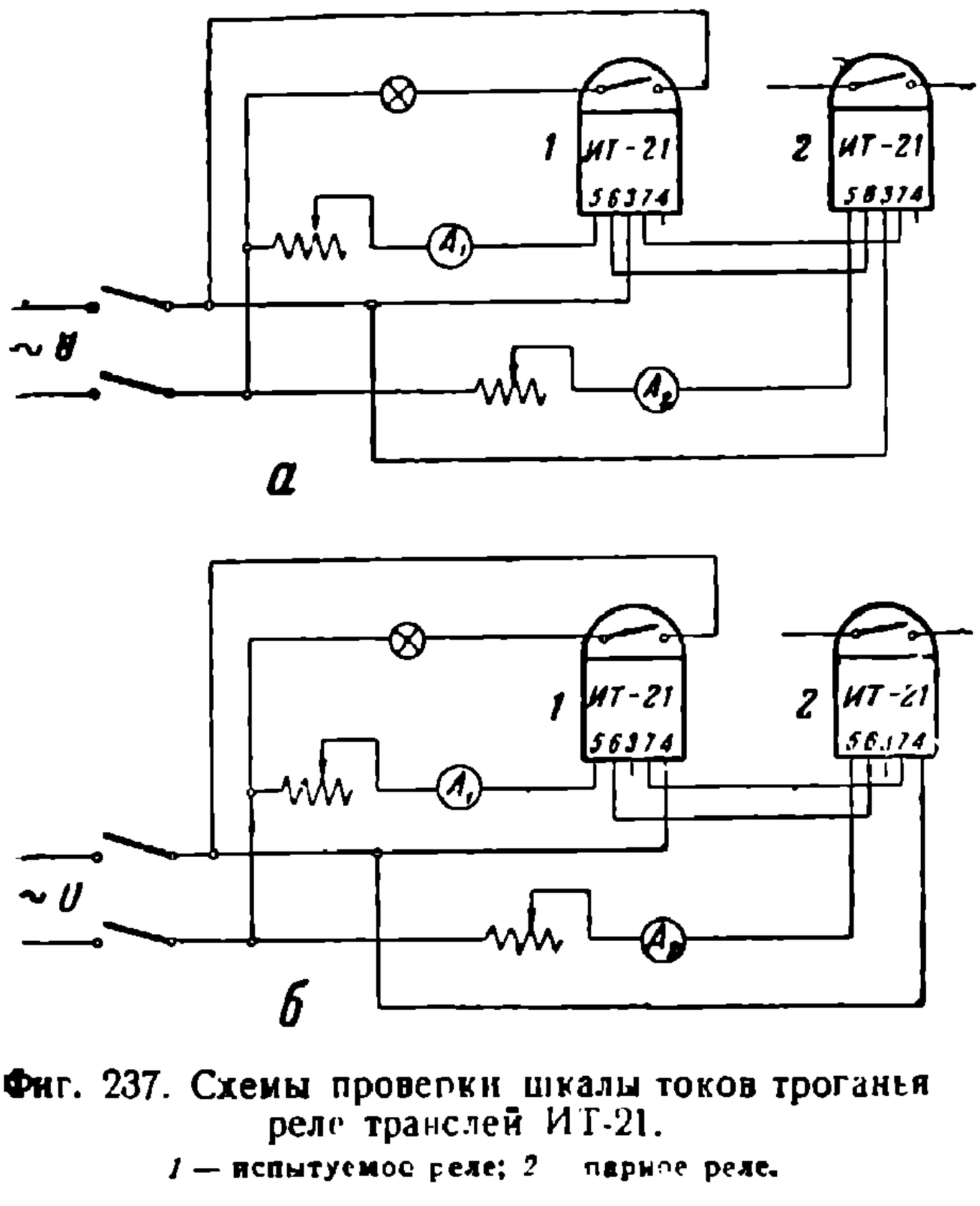
Фиг. 236. Схема проверки шкалы токов троганья реле трансле́й ИТ-22.
1 — испытуемое реле; *2* — парное реле.

Шкалы токов троганья реле ИТ-21 проверяются при поочередном питании обеих половин первичной обмотки (схемы фиг. 237,*а* и *б*).

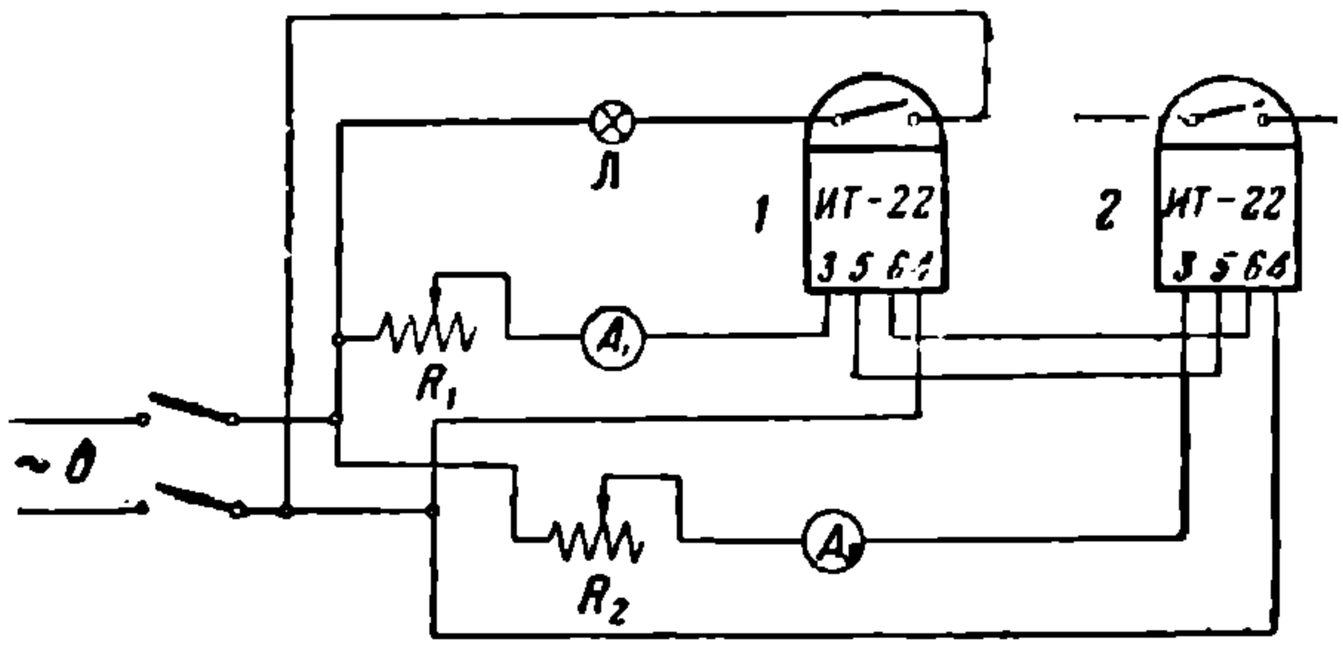
3. Получение тормозной характеристики. Тормозная характеристика $I_{трог} = f(I_{торм})$ представляет собой зависимость тока троганья испытуемого реле от тока в первичной обмотке парного реле при нагрузке или коротком замыкании вне зоны защиты.

УДУНТ (ДІІТ)

Эта характеристика для однофазных реле (ИТ-22) получается по схеме фиг. 238. Первичные обмотки обоих спаренных реле через самостоятельные реостаты (R_1 и R_2) и амперметры приключаются к сети переменного тока, напряжение которой не ниже 110 *в*. Вторичные обмотки реле соединяются на равновесие напряжений («навстречу»). Индикатором срабатывания испытуемого реле служит контрольная лампочка *Л*. Порядок работы для получения каждой точки характеристики следующий:



Фиг. 237. Схемы проверки шкалы токов трогания реле транслей ИТ-21.
1 — испытуемое реле; *2* — парное реле.



Фиг. 238. Схема для получения тормозной характеристики реле транслей ИТ-22.
1 — испытуемое реле; *2* — парное реле.

Включив рубильник, устанавливаем реостатом R_2 какую-либо величину тока в парном реле. Затем, регулируя реостатом R_1 ток в испытуемом реле, определяем его ток трогания. Определение токов трогания производится примерно при следующих величинах тока в парном реле: 1; 2; 3; 5; 7; 10; 15; 20 и 25 *а*, т. е. снимается девять точек тормозной характеристики. Для каждого реле ИТ-22 следует снять две тормозные характеристики — одну при уставке по шкале 2 *а* и другую — при 5 *а*.

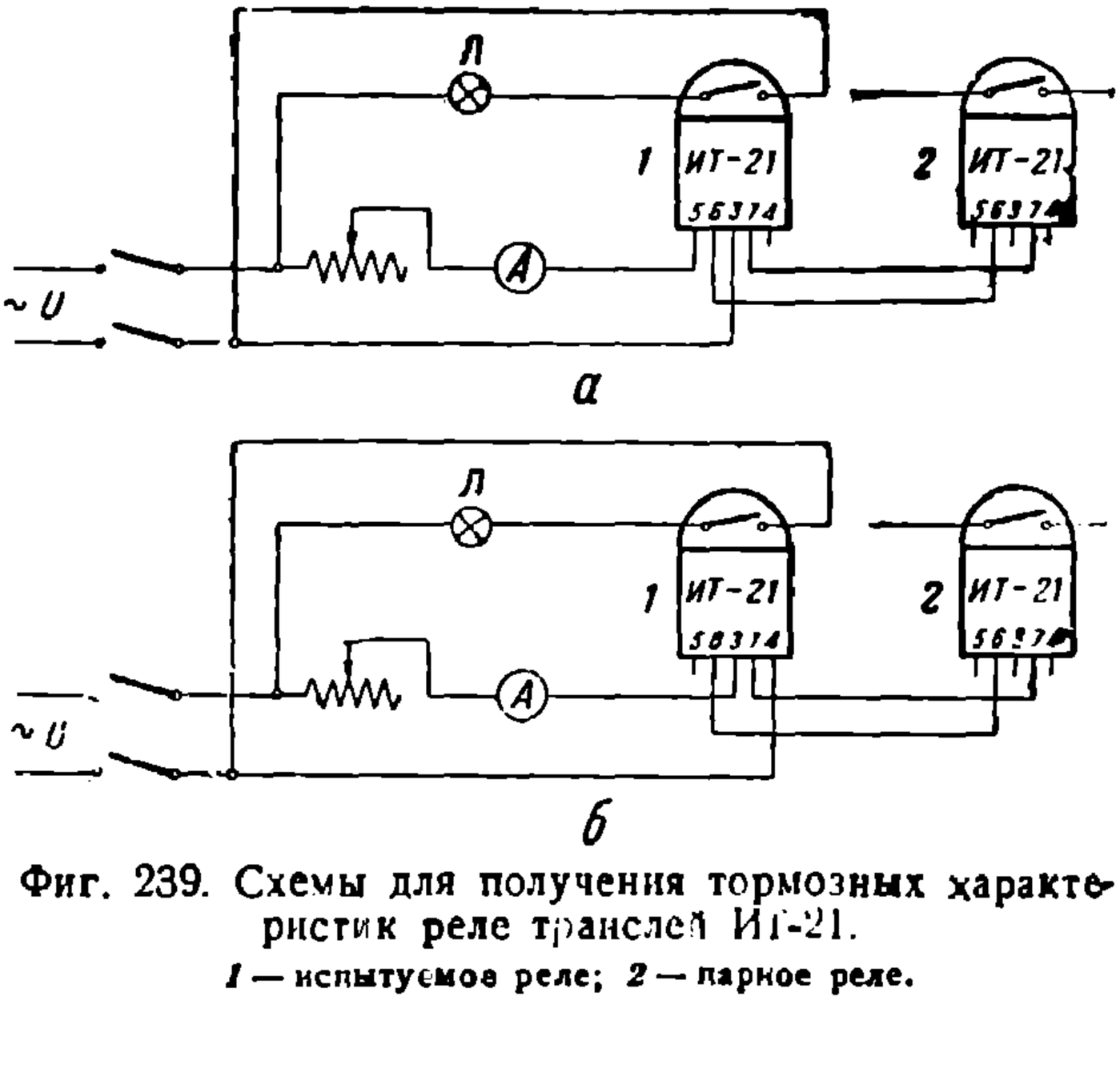
Тормозные характеристики реле транслей ИТ-21 (двухфазных) получаются при питании одних и обеих половин первичных обмоток, т. е. сначала по схеме фиг. 239,*а* (токами обтекаются только половины первичных обмоток между клеммами *5* и *3*), а затем по схеме фиг. 239, *б*. Таким образом в результате испытания реле ИТ-21 получается удвоенное по сравнению с ИТ-22 число тормозных характеристик (4 вместо 2).

УДУНТ (ДІТ)

4. Получение характеристики выдержки времени. Характеристика выдержки времени

$$t = f(I)$$

представляет собой зависимость выдержки времени реле от тока. При снятии этой характеристики вторичная обмотка испытуемого реле должна быть соединена с вторичной обмоткой парного реле. Первичная обмотка парного реле должна быть обесточена. Схемы включения обмоток реле, применяемые при данном испытании, те же, что и при проверке шкалы токов трогания (фиг. 236 и 237). Порядок работы такой же, как при измерении выдержки времени индукционных реле (стр. 216). Характеристики выдержки времени снимаются при двух крайних уставках по шкале токов трогания (2 и 5 *а*).



Фиг. 239. Схемы для получения тормозных характеристик реле трансле́й ИТ-21.

1 — испытуемое реле; *2* — парное реле.

64. ИСПЫТАНИЕ РЕЛЕ ТРАНСЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ

Испытания линейных реле трансле́й (ИТ-25 и ИТ-26 завода ХЭМЗ) производятся по той же программе, что и испытания реле трансле́й для защиты трансформаторов. Поэтому принципиальные схемы и методы испытаний остаются такими же, как при испытаниях трансформаторных реле (см. выше). Здесь следует только отметить, что при всех испытаниях в цепи вторичных обмоток реле должны быть включены реостаты, эквивалентные сопротивлению соединительных проводов, а также различные фильтры и пр., включаемые по схеме защиты в эти провода.

65. ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

1. Задача испытания. При испытаниях защитных устройств весьма часто приходится производить проверку трансформаторов тока, которая обычно заключается в проверке изоляции обмоток, определении полярностей клемм первичной и вторичной обмоток и в измерении коэфициента трансформации.

Способ проверки правильности обозначений полярностей указан на стр. 196.

УДУНТ (ДПІТ)

Для производства этих работ достаточно пользоваться обыкновенными контрольными приборами.

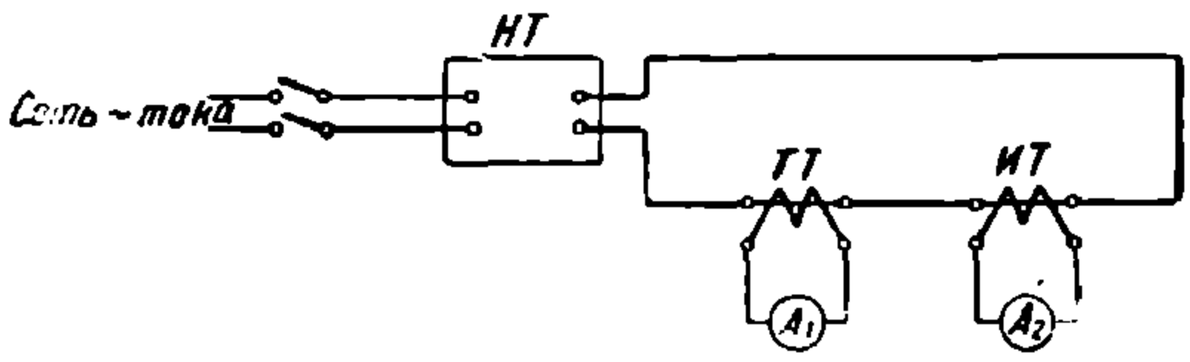
Все трансформаторы тока, применяемые для включения защитных устройств, в зависимости от метода их испытания, можно разделить на три группы:

К первой группе относятся трансформаторы тока с нормальным вторичным током 5 *а* за исключением бушинговых (встроенных во втулки выключателей). Последние также могут быть отнесены к первой группе, если коэфициент трансформации их не ниже $\frac{200}{5}$ **а.**

Ко второй группе относятся бушинговые трансформаторы, коэфициент трансформации которых ниже $\frac{200}{5}$ *а.*

К третьей группе относятся промежуточные трансформаторы тока, автотрансформаторы и вообще трансформаторы с малым коэфициентом трансформации.

2. Проверка коэфициента трансформации. При измерении коэфициента трансформации трансформатора тока удобно пользоваться нагрузочным трансформатором или нагрузочным аппаратом, описанными на стр. 202 и 206. Полная схема испытания в таких случаях приведена на фиг. 240.



Фиг. 240. Схема измерения коэфициента трансформации трансформаторного тока с помощью нагрузочного трансформатора.

НТ — нагрузочный трансформатор; *ТТ* — точный трансформатор тока; *ИТ* — испытуемый трансформатор тока.

Измерение первичного тока производится амперметром A_1, включенным через точный трансформатор тока *ТТ*, тогда как величина тока во вторичной обмотке испытуемого трансформатора тока измеряется амперметром A_2. Как правило, нормальная величина тока этого амперметра не должна быть меньше нормальной величины тока вторичной обмотки испытуемого трансформатора тока.

Для каждой из трех групп, на которые выше разбиты все трансформаторы тока, измерение коэфициента трансформации имеет свои особенности и «узкие места».

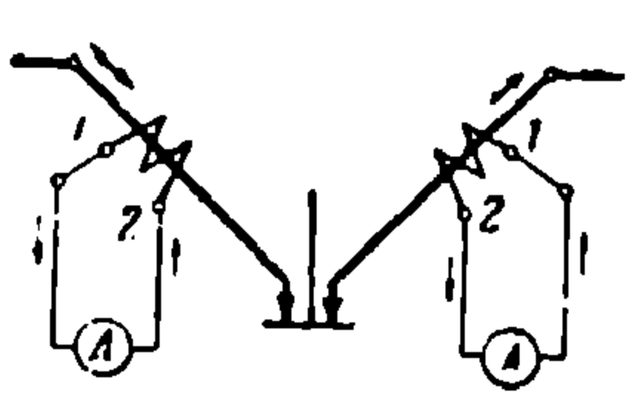
1. Измерение коэфициента трансформации трансформаторов тока, отнесенных к первой группе, т. е. всех трансформаторов тока с нормальным вторичным током 5 *а*, за исключением встроенных трансформаторов тока с коэфициентом трансформации ниже $\frac{200}{5}$ **а**, удобнее всего производить либо по схеме фиг. 240, либо под нагрузкой фидера, на котором данные трансформаторы тока установлены. В последнем случае амперметр A_1, служащий для измерения первичного тока, присоединяется к какому-либо достаточно точному трансформатору тока, установленному на том же фидере (и на той же фазе).

Коэфициент трансформации измеряется при величине тока

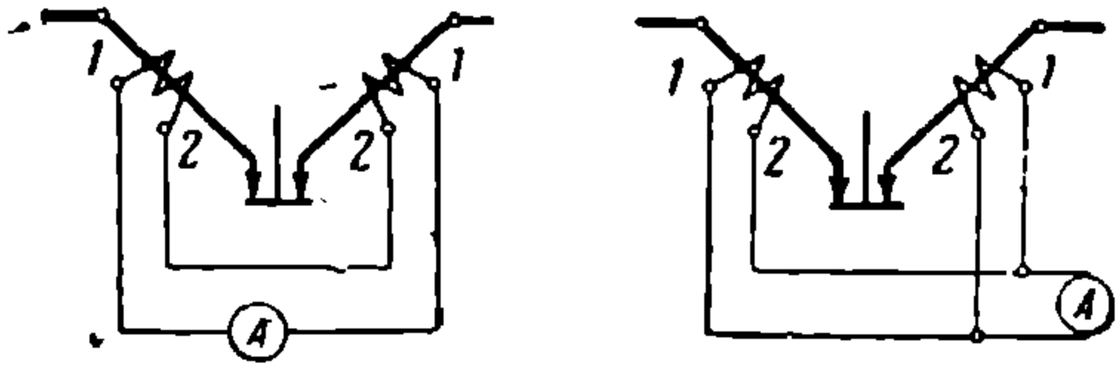
УДУНТ (ДІІТ)

в первичной обмотке испытуемого трансформатора близкой к номинальной величине тока этой обмотки. Основной целью измерения является проверка исправности трансформатора тока и правильности его маркировки.

Трансформатор тока может считаться исправным и правильно маркированным, если измеренный коэфициент трансформации не более чем на 2—3% отличается от указанного на паспорте. Если измеренный коэфициент трансформации оказался значительно больше паспортного, то прежде всего необходимо проверить, нет ли короткого замыкания в разряднике (см. стр. 30).



Фиг. 241. Полярность зажимов обмоток, встроенных в выключатель трансформаторов тока.



а *б*

Фиг. 242. Последовательное *а* и параллельное *б* соединения вторичных обмоток встроенных трансформаторов тока.

При измерениях коэфициента трансформации встроенных трансформаторов тока первичные обмотки обоих трансформаторов в обеих втулках одной фазы всегда оказываются включенными последовательно. Поэтому вторичные обмотки не испытывающихся трансформаторов тока должны быть закорочены.

При измерениях же коэфициента трансформации обоих встроенных трансформаторов тока данной фазы, вторичные обмотки которых соединены последовательно или параллельно, необходимо сначала испытать каждый трансформатор тока в отдельности, а затем уже испытывать их совместно.

При этом необходимо следить за тем, чтобы оба трансформатора тока были соединены между собой со строгим соблюдением полярностей клемм вторичных обмоток.

Коэфициенты трансформации обоих трансформаторов тока (особенно при последовательном соединении вторичных обмоток) должны быть строго одинаковы. При проверке (определении) полярностей клемм, а также при соединении между собой встроенных трансформаторов тока необходимо иметь в виду, что все «начала» (желтые цвета клемм выключателей завода «Электроаппарат») или наименьшие номера клемм вторичных обмоток обычно соответствуют по полярности клемме, находящейся вне бака выключателя той втулки, в которую они встроены.

Сказанное поясняется фиг. 241. Поэтому при последовательном соединении вторичных обмоток всегда нужно соединять между собой одноименные клеммы, а при параллельном — разноименные. На фиг. 242 показаны схемы последовательного *а* и параллельного *б* соединений вторичных обмоток обоих встроенных трансформаторов тока одной и той же фазы выключателя.

УДУНТ (ДІІТ)

2. Измерение коэфициента трансформации встроенных трансформаторов тока, коэфициенты трансформации которых меньше $\frac{200}{5}$ а (вторая группа), отличается от измерения коэфициента трансформации трансформаторов тока первой группы в основном только величинами первичных токов, при которых производится измерение коэфициента трансформации, и схемой включения амперметра, измеряющего вторичный ток. Объясняется это тем, что в данном случае требуется не только проверить исправность трансформаторов тока, но и определить их погрешности.

Чем меньше коэфициент трансформации трансформаторов тока, тем в большей степени его погрешности зависят от сопротивления соединительных проводов, реле и приборов, включенных в цепь вторичной обмотки, а также величины тока в первичной.

При испытаниях трансформаторов тока первой группы этой зависимостью обычно бывает возможно пренебречь.

Поэтому измерение коэфициента трансформации трансформаторов тока второй группы должно производиться при нескольких величинах первичного тока. Это измерение для трансформаторов тока, питающих максимальную защиту с зависимой выдержкой времени или диференциальную защиту или дистанционную, желательно производить при первичном токе, равном примерно 0,5 $I_н$, 1,0 $I_н$, 2 $I_н$, 3 $I_н$ и не менее чем до 4,0 $I_н$, где $I_н$ — нормальная величина тока первичной обмотки.

В некоторых случаях оказывается необходимым измерять коэфициент трансформации при еще больших токах.

Для того чтобы учесть влияние вторичной нагрузки, все провода, нормально приключенные к клеммам вторичной обмотки, отсоединяться не должны, а амперметр для измерения вторичного тока должен включаться в рассечку проводов.

Внутреннее сопротивление этого амперметра должно быть как можно меньше, для того чтобы дополнительной нагрузкой, создаваемой им, было возможно пренебречь.

Если испытуемые трансформаторы установлены в системе с заземленной нейтралью, то измерение коэфициента трансформации производится пофазно.

Если же нейтраль системы изолирована, то измерение производится два раза — один раз пофазно, а другой — при одновременном обтекании током трансформаторов тока двух фаз, первичные обмотки которых соединены последовательно. На фиг. 243 приведены обе схемы измерения коэфициента трансформации при соединении вторичных обмоток их в звезду, а на фиг. 244 — в треугольник.

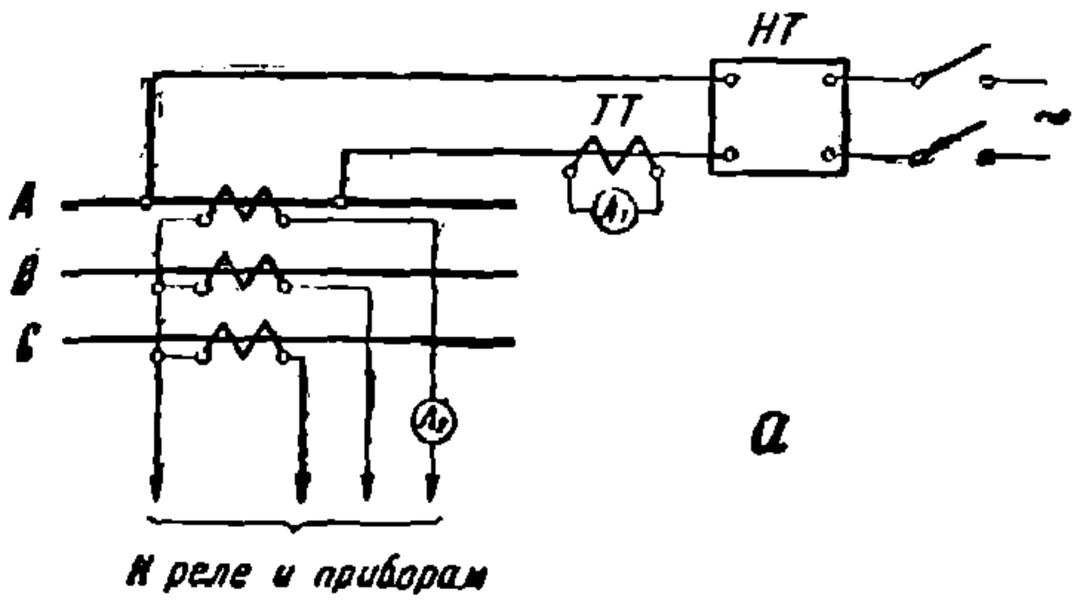
При измерении по схемам фиг. 243 и 244 коэфициента трансформации трансформаторов тока, питающих диференциальную защиту, необходимо закорачивать обмотки диференциальных реле, включенных по схеме на циркулирующий ток.

Если испытуемые трансформаторы тока питают защиту

УДУНТ (ДІІТ)

трансле́й, то при измерении коэфициента трансформации по схеме фиг. 243 и 244 вторичные обмотки реле трансле́й должны быть разомкнуты.

3. Способы и схемы измерения коэфициента трансформации специальных и промежуточных трансформаторов и автотрансформаторов тока зависят от типа и назначения испытуемого трансформатора и для каждого конкретного случая разрабатываются отдельно. При этом всегда необходимо иметь в виду следующее:



Фиг. 243. Схемы измерения коэфициента трансформации трансформатора тока фазы *A* с учетом вторичной нагрузки при соединении вторичных обмоток в звезду.

НТ — нагрузочный трансформатор;
ТТ — точный трансформатор тока;
A_1 — амперметр для измерения первичного тока;
A_2 — амперметр для измерения вторичного тока.

Фиг. 244. Схемы измерения коэфициента трансформации трансформатора тока фазы *A* с учетом вторичной нагрузки при соединении вторичных обмоток в треугольник.

НТ — нагрузочный трансформатор;
ТТ — точный трансформатор тока;
A_1 — амперметр для измерения первичного тока;
A_2 амперметр для измерения вторичного тока.

а) Измерение вторичного тока должно производиться амперметром с возможно меньшим внутренним сопротивлением.

б) Нормальный ток амперметра, включаемого во вторичную обмотку, не должен быть меньше нормального тока этой обмотки.

в) Если измерение вторичного тока производится амперметром, включенным через точный трансформатор тока, то нормальная величина тока первичной обмотки последнего не должна быть меньше нормальной величины тока вторичной обмотки испытуемого трансформатора тока.

г) Во всех случаях, когда сопротивление соединительных проводов и реле может значительно влиять на погрешность испытуемого трансформатора тока, измерение коэфициента транс-

УДУНТ (ДІІТ)

формации должно производиться при подключенных проводах и реле.

д) У промежуточных трансформаторов и автотрансформаторов тока первичной обмоткой всегда должна считаться обмотка, рассчитанная на больший ток.

При всех испытаниях, связанных с большими токами (это в первую очередь относится к испытаниям трансформаторов тока), контрольный амперметр необходимо располагать как можно дальше от нагрузочного трансформатора и проводов, обтекаемых большим током, так как иначе погрешность контрольного амперметра может очень возрасти. Это в свою очередь может служить причиной забракования исправного трансформатора тока.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

66. ВИДЫ И СРОКИ ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Надежность работы защитных устройств в значительной степени зависит от тщательности их проверки и регулировки. Допущенные при испытании ошибки могут повлечь за собой большие аварии, поэтому эксплоатационный персонал должен уделить особое внимание вопросам испытаний и надзора за защитными устройствами.

Эксплоатационные испытания обычно бывают двух видов: а) полная комплектная проверка защитного устройства и б) частичная его проверка.

При полной проверке, проводимой обычно один раз в год, измеряется изоляция схемы вторичной коммутации, снимаются рабочие характеристики реле и проверяется действие приводов выключателей при нормированных отклонениях напряжения оперативного тока.

Комплектное испытание защитных устройств производится посредством первичного тока (см. ниже).

При частичной проверке, проводимой также обычно один раз в год, испытание защиты ограничивается проверкой ее действия замыканием контактов основных реле от руки и проверкой действия приводов выключателей при номинальном напряжении оперативного тока. Исключение составляет автомат гашения поля, действие которого проверяется при пониженном напряжении оперативного тока.

В периоды между испытаниями производятся периодические осмотры защитных устройств. Помимо эксплоатационных испытаний существуют типовые испытания, которым подвергаются новые типы реле, еще неизвестные в эксплоатации, и приемные испытания, проводимые при приемке после монтажа вновь включаемых защитных устройств. Объем этого

УДУНТ (ДІТ)

вида испытаний является значительно более расширенным сравнительно с эксплоатационными испытаниями и устанавливается каждый раз отдельно применительно к типу защитных устройств. Предварительные испытания реле для выявления пригодности их и регулировки производятся в лаборатории. Окончательные испытания всех реле, как правило, производятся на месте их установки, так как некоторые типы реле могут изменить свои характеристики в результате установки их на щите (невертикальность установки и пр.).

Шкалы уставок, имеющиеся на реле, не могут считаться точными даже в том случае, если они проверены и отградуированы. Поэтому рекомендуется при всяком изменении установок производить проверку основной характеристики реле.

Следует отметить, что в условиях эксплоатации может иметь место еще один вид испытаний — п о с л е а в а р и й н ы х. Они производятся в том случае, когда во время аварии защитные устройства отказали в работе или сработали неправильно. Объем послеаварийной проверки устанавливается особо, в зависимости от характера аварии и поведения при этом защитных устройств.

67. ПРОВЕРКА СХЕМ ВТОРИЧНОЙ КОММУТАЦИИ И ЕЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В условиях эксплоатации электромонтеру релейной службы часто приходится сталкиваться с необходимостью проверки изоляции схемы, определения целости цепей вторичной коммутации, составления и проверки монтажных схем, определения наличия напряжения и пр.

Ниже даются краткие указания по выполнению этих работ.

1. Проверка изоляции. Изоляция проводов и аппаратуры проверяется как в отношении земли (корпуса), так и между фазами или соседними проводами. Метод проверки зависит, главным образом, от того, находится ли проверяемое оборудование под напряжением или нет.

Изоляция оборудования и проводки, н е н а х о д я щ и х с я п о д н а п р я ж е н и е м, определяется меггером или индуктором. Чем выше напряжение меггера, тем точнее определяется сопротивление изоляции. Это происходит вследствие того, что при большем напряжении меггера ток, проходящий через измерительный прибор меггера, также увеличивается, что дает возможность более точного замера. Однако следует иметь в виду, что в некоторых случаях слишком большое напряжение меггера может принести изоляции вред.

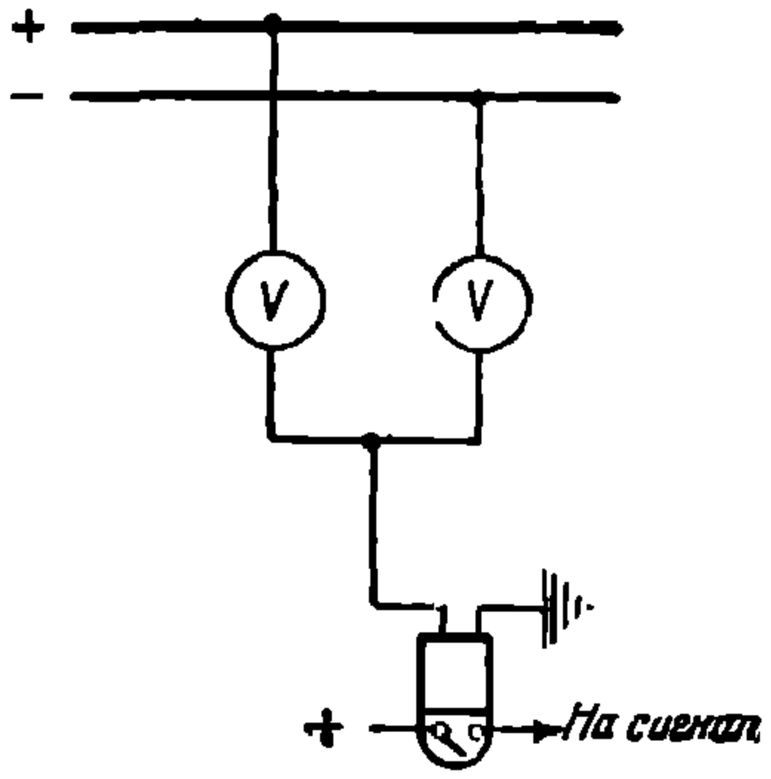
Контрольные кабели и провода испытываются меггером напряжением 500—1 000 *в*. При испытании меггером сопротивления изоляции кабелей следует отсчет по прибору делать лишь спустя определенный промежуток времени после того, как проверяемый кабель зарядится током от меггера. В противном случае, т. е. при быстром отсчете после нескольких оборотов ручки

УДУНТ (ДІІТ)

меггера, возможно получить весьма ошибочные результаты. Проверка изоляции схем переменного и постоянного токов производится обычно одновременно с прозвонкой схем (стр. 244).

При эксплоатационных проверках схем часто ограничиваются только проверкой изоляции относительно земли. Проверка производится раздельно для цепей переменного и постоянного токов.

На время проверки цепей переменного тока необходимо снять заземление вторичных обмоток измерительных трансформаторов, а цепи постоянного тока отъединить от источников питания. Сопротивление изоляции всей схемы в целом (включая провода, реле, трансформаторы тока и пр.) должно быть не меньше 1 *мгом*.



Фиг. 245. Схема автоматического контроля изоляции цепей постоянного тока.

На элементах установки, находящейся под напряжением, измерение сопротивления изоляции помощью меггера не допускается.

Для автоматического контроля состояния изоляции цепей постоянного тока применяют схему фиг. 245.

На шинах постоянного тока устанавливаются два вольтметра, обмотки которых заземляются через чувствительное токовое реле.

При отсутствии заземления оба вольтметра показывают одинаковое напряжение, равное половине напряжения на шинах постоянного тока. При полном заземлении, например на плюсе, вольтметр, присоединенный к минусу, покажет полное напряжение на шинах постоянного тока; другой вольтметр, присоединенный к плюсу, не покажет никакого напряжения. Так как в цепь заземления вольтметров включено чувствительное реле, то при заземлении реле будет обтекаться током, замкнет контакт и даст сигнал.

2. Проверка исправностей цепей. Исправность (целость) цепи какого-либо элемента установки, не находящейся под напряжением, может быть проверена меггером, индуктором или небольшой батарейкой со звонком.

Меггером нельзя проверять целость низковольтных обмоток трансформаторов напряжения во избежание появления опасного напряжения на высоковольтной стороне проверяемого трансформатора.

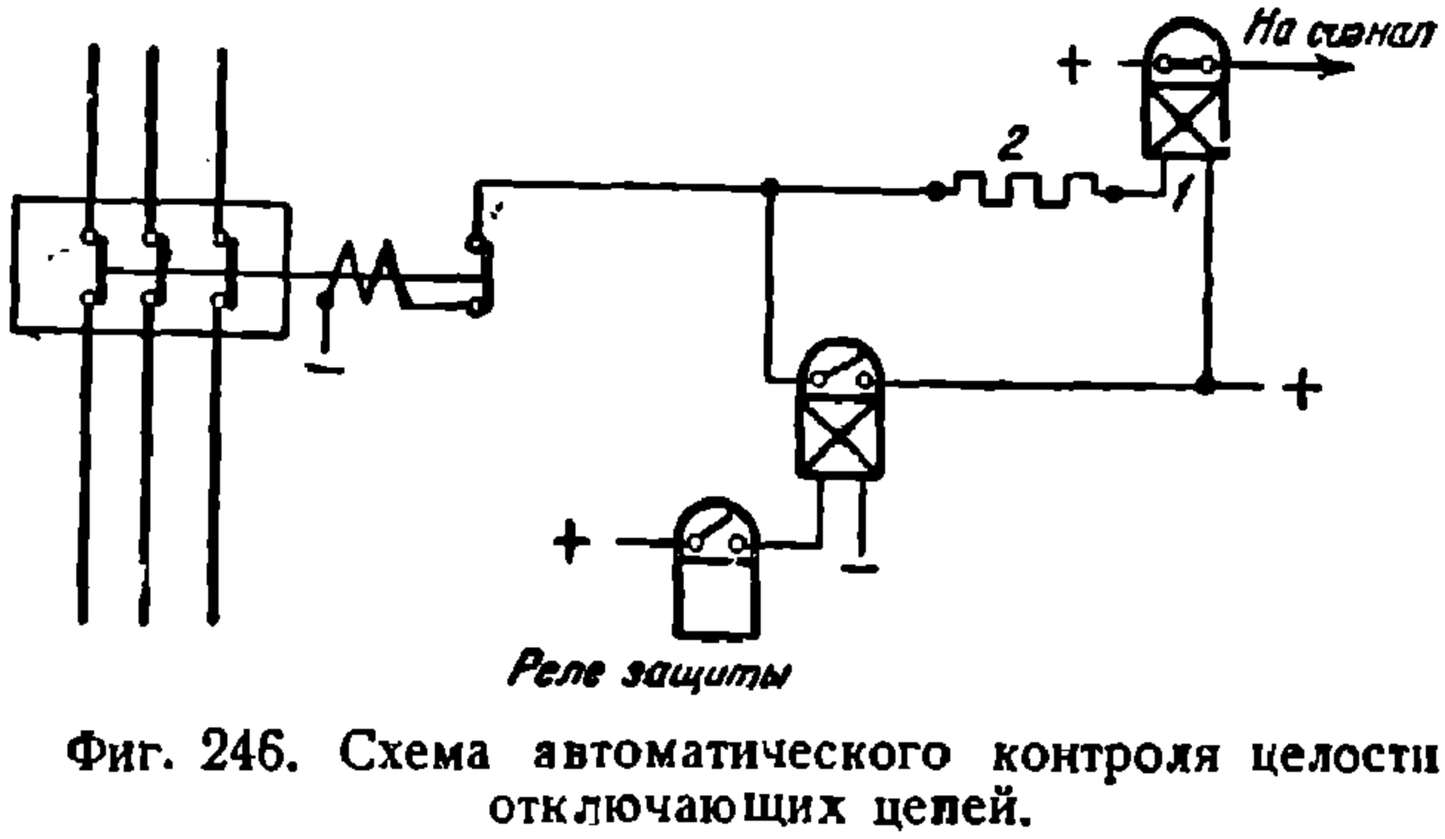
Осуществлять контроль целости цепей, находящихся под напряжением, указанными способами не представляется возможным.

Однако в схемах защиты целость оперативных цепей отключения играет решающую роль. Действительно, во всех схемах защиты цепь отключения проходит через вспомогательные контакты на валу выключателя, замкнутые при включенном поло-

УДУНТ (ДІІТ)

жении выключателя. Если этот контакт будет нарушен, вся защита явится бесполезной, и при аварии с защищаемым объектом последний не будет отключен, несмотря на правильную работу реле. Поэтому наличие постоянного контроля целости отключающих цепей оперативного тока является крайне нужным.

Принцип устройства такого контроля (фиг. 246) заключается в том, что через цепь отключения, в которую входит проводка от выходного промежуточного реле защиты, вспомогательные контакты и соленоид отключения выключателя пропускают ток небольшой величины, не достаточный для действия соленоида отключения выключателя. Цепь тока заводится через чувствительное реле *1*, держащее свои контакты замкнутыми при протекании тока. Если цепь нарушится или исчезнет напряжение постоянного тока, реле *1* разомкнет свои контакты и воздействует на сигнализационное устройство. Последовательно с реле *1* включается дополнительное сопротивление *2*, служащее для ограничения тока при случайном замыкании на клеммах реле.



Фиг. 246. Схема автоматического контроля целости отключающих цепей.

Вместо реле *1* могут быть включены неоновые лампы, горение которых будет указывать на исправность цепи отключения.

Величина тока, служащего для контроля цепей, обычно составляет 15—20% от номинального тока отключения отключающего соленоида выключателя.

3. Определение наличия напряжения в цепях вторичной коммутации. Наличие напряжения, например, на клеммах реле может быть определено помощью вольтметра. Однако в ряде случаев при производстве работ более удобно пользоваться лампочкой, по накалу которой и определяется наличие напряжения. Применение в этих случаях нормальной лампочки не допускается, так как она может вызвать ложное срабатывание реле. Это будет в том случае, когда сопротивление лампочки значительно меньше сопротивления обмоток каких-либо реле. Действительно, если, например, в схеме фиг. 246 измерять напряжение на клеммах реле *1*, имеющего сопротивление порядка нескольких тысяч ом, помощью обычной лампочки, имеющей сопротивление порядка нескольких сотен ом, то обмотка реле окажется зашунтированной лампочкой, сопротивление в цепи уменьшится, ток возрастет и отключающий соленоид выключателя сможет сработать. Поэтому в схемах защиты для определения наличия напряжения допускается пользоваться только

УДУНТ (ДІТ)

неоновой лампочкой, имеющей практически бесконечно большое сопротивление.

4. Проверка предохранителей. В цепях напряжения и цепях постоянного тока имеются, как правило, плавкие предохранители, назначение которых сводится к отключению участка, на котором произошло замыкание между разными полюсами.

На предохранителях и на плавких вставках помечены нормальные токи, на которые они рассчитаны. Такие же надписи должны быть сделаны на патронах предохранителей и на плитах, на которых укреплены плавкие вставки. Задача проверки сводится к выяснению соответствия пометок на предохранителях и плитах плавких вставок. В случае обнаружения несоответствия необходимо сменить предохранитель или плавкую вставку. Одновременно проверяется состояние самого предохранителя: целость его и наличие контактного винта. Встречающиеся иногда скрутки проволоки вместо контактного винта или вместо перегоревшей вставки должны быть немедленно изъяты и заменены нормальными деталями.

Кроме того, вывертыванием предохранителей постоянного тока производится проверка исправности сигнализации перегорания предохранителей (в случае ее наличия), которая устраивается специально для того, чтобы дежурный персонал во время эксплоатации узнал об имевшем место перегорании предохранителя и принял бы меры к его замене.

5. Проверка (прозвонка) монтажных схем. Перед включением в работу вновь выполненной схемы или схемы, в которой произведены изменения, необходимо произвести проверку ее. При проверке определяется: соответствие схемы монтажному чертежу и правильность маркировки проводов и клемм и проверяется изоляция всех входящих в схему элементов (реле, приборов, клемм, проводов, измерительных трансформаторов и пр.) как относительно земли, так и между собой (главным образом между жилами одного кабеля и клеммами одной клеммовой сборки).

Указанные проверки практически выполняются одновременно следующим образом:

а) Проверка производится по участкам, для чего вся проверяемая схема разбивается на участки, состоящие из ряда последовательно соединенных аппаратов, клемм, проводов и пр., без каких бы то ни было ответвлений.

б) Все элементы схемы за исключением прозваниваемого в данный момент участка связываются с землей. Для этого при прозвонке схемы переменного тока используется существующее в таких случаях защитное заземление, а при прозвонке схем постоянного тока последняя отключается от источника питания и заземляется на обоих полюсах.

При измерении сопротивления изоляции отключенного участка схемы относительно земли одновременно автоматически проверяется изоляция этого участка и относительно всей схемы, поскольку последняя заземлена.

УДУНТ (ДІІТ)

в) При прозвонке цепей трансформаторов тока целесообразно выделить в один участок всю цепь одной фазы.

г) При прозвонке цепей трансформаторов напряжения и наличии нескольких приборов (реле) напряжения, включенных параллельно в один участок, целесообразно выделять цепь, состоящую из обмотки одного трансформатора напряжения, соединительных проводов, предохранителей, промежуточных клемм и одного прибора (реле) напряжения, прозванивая отдельно цепи остальных приборов напряжения данной фазы.

д) При прозвонке цепей постоянного тока, имеющих большое многообразие, трудно указать способы деления схем на определенные участки. Однако, как правило, следует считать цепь отключения одним участком, цепь включения другим, цепь сигнальной лампы третьим и т. д. При этом следует убедиться, что все элементы проверяемого участка включены, обращая особое внимание на сигнальные шайбы на валу выключателей, разъединителей и пр. Порядок проверки обычно устанавливается следующий:

а) Схема проверяется двумя лицами, из которых один является руководителем, а другой его помощником.

б) Для проверки приготовляются: два телефона полевого типа, один меггер напряжением 500—1 000 *в* и две отвертки.

в) По монтажному чертежу составляется принципиально монтажная схема, с которой должны хорошо ознакомиться проверяющие лица. Руководитель должен осмотреть все элементы схемы и инструктировать помощника о порядке производства проверки.

г) На один конец проверяемого участка идет руководитель с меггером, телефоном и принципиально монтажной схемой. На другой конец идет помощник с телефоном. Между руководителем и помощником устанавливается телефонная связь. Телефоны включаются либо в резервные жилы кабелей, либо в одну из проверяемых цепей, используя в качестве второго провода землю. Способ связи должен быть установлен заранее.

д) Руководитель, ориентируясь по принципиально монтажной схеме, отключает проверяемый участок от схемы со своей стороны и испытывает его изоляцию относительно земли. При этом меггер должен показать полную землю (стрелка устанавливается на нуль), так как проверяемый участок еще приключен к заземленной схеме с другого конца (около помощника). После этого помощник по распоряжению руководителя отключает проверяемый участок от схемы со своего конца и руководитель измеряет меггером сопротивление изоляции отключенного с двух сторон участка относительно земли. Если меггер показывает удовлетворительную изоляцию, то это значит, что монтаж соответствует чертежу в части тех клемм, на которых производилось отключение, а изоляция участка как относительно земли, так и относительно остальной части схемы удовлетворительная.

е) Если при проверке окажется, что отключенный с двух сторон участок имеет пониженное сопротивление изоляции

УПУНТ (СПІТ)

относительно земли, то это значит, что либо произведенный монтаж не соответствует монтажной схеме, либо один или несколько элементов, входящих в проверяемый участок, имеют пониженную изоляцию относительно земли или относительно другого элемента схемы, не входящего в проверяемый участок. В таких случаях необходимо разбить проверяемый участок на более мелкие и прозванивать каждый из них в отдельности.

Если отключенный участок имеет удовлетворительную изоляцию, руководитель, ориентируясь по монтажной схеме, проверяет изоляцию в отношении земли всех реле, приборов, контактов, клемм и т. д., входящих в проверяемый участок со стороны руководителя. Если сопротивление изоляции на какой-нибудь клемме значительно ниже, чем на остальных, то это значит, что эта клемма не входит в проверяемый участок.

Если сопротивление изоляции этой аппаратуры удовлетворительно, руководитель переключает меггер к одной из клемм проверяемого участка и дает распоряжение помощнику поочередно замыкать на землю все клеммы приборов, контакты, клеммы и пр., входящие в проверяемый участок со стороны помощника, убеждаясь в том, что каждый раз в момент присоединения земли сопротивление изоляции проверяемого участка падает до нуля. Если при присоединении земли к какой-либо клемме сопротивление изоляции участка не падает до нуля, то это значит, что эта клемма не входит в проверяемый участок.

ж) По окончании проверки одного участка руководитель восстанавливает схему, наносит на чертеж проверенные клеммы и маркировку и переходит к следующему участку. По окончании всей проверки составляется принципиально монтажная схема. Ниже рассматривается пример прозвонки схемы цепей трансформаторов тока.

На фиг. 247 изображены принципиальная и принципиально монтажная схемы максимальной защиты цепи переменного тока, которую надо прозвонить. Разбиваем схему на следующие участки:

а) от клеммы U_1 трансформатора тока фазы *A* до клеммы *3* реле фазы *C*, включая вторичную обмотку трансформатора тока фазы *A*, обе клеммы *A*, жилу кабеля, реле фазы *A* и перемычку между клеммами *3-3* реле *A* и *C* (цепь фазы *A*);

б) от клеммы U_1 трансформатора тока фазы *C* до клеммы *3* реле фазы *C*, включая провода и жилу кабеля между этими клеммами, а также клеммы *O* и *O* цепь нулевого провода);

в) от клеммы U_1 трансформатора тока фазы *C* до клеммы *3* реле фазы *C*, включая обмотку трансформатора тока фазы *C*, обе клеммы *C*, жилу кабеля, провода и реле фазы *C* (цепь фазы *C*);

г) заземленная перемычка между клеммами U_1 трансформаторов тока фаз *A* и *C*. Этот участок можно не прозванивать отдельно, а только просмотреть, так как он очень мал и, кроме того, косвенно участвует при прозвонке других участков.

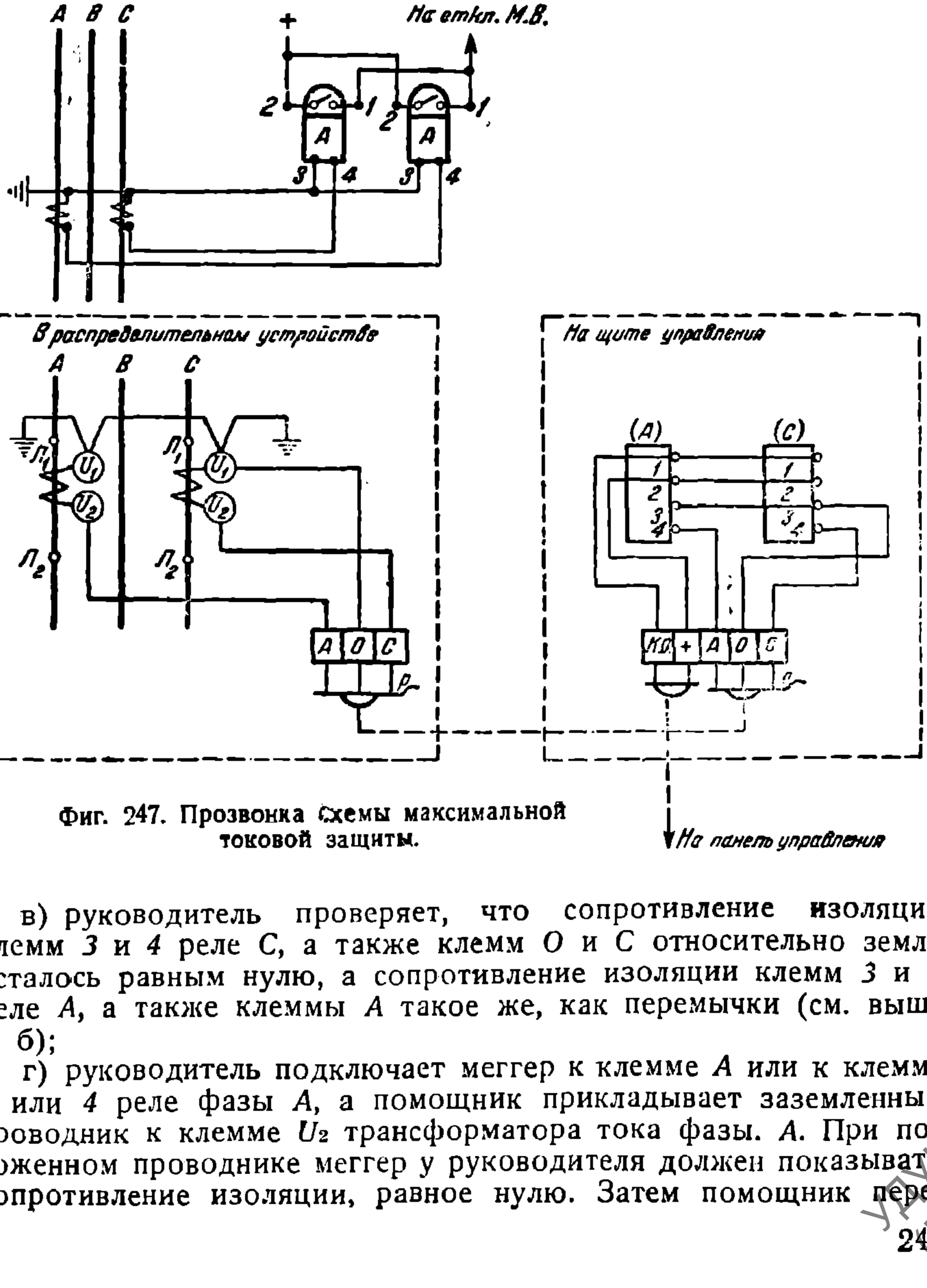
Порядок прозвонки первого участка следующий (руководитель находится на щите управления, а помощник — в распред-

УПУНТ (ДІТ)

устройстве. Телефонная связь между ними осуществляется по резервной жиле *Р*):

а) руководитель отключает перемычку между клеммами *3* обоих реле на клемме *3* реле фазы *С* и проверяет меггером, что сопротивление изоляции этой перемычки, а также клемм *А*, *О* и *С* относительно земли равно нулю;

б) помощник отключает все провода от клеммы U_1, трансформатора тока фазы *А*, а руководитель после этого убеждается в том, что изоляция перемычки, отключенной от клеммы *3* реле *С*, относительно земли удовлетворительно (не ниже 1 *мегом*);



Фиг. 247. Прозвонка схемы максимальной токовой защиты.

в) руководитель проверяет, что сопротивление изоляции клемм *3* и *4* реле *С*, а также клемм *О* и *С* относительно земли осталось равным нулю, а сопротивление изоляции клемм *3* и *4* реле *А*, а также клеммы *А* такое же, как перемычки (см. выше п. б);

г) руководитель подключает меггер к клемме *А* или к клемме *3* или *4* реле фазы *А*, а помощник прикладывает заземленный проводник к клемме U_2 трансформатора тока фазы. *А*. При положенном проводнике меггер у руководителя должен показывать сопротивление изоляции, равное нулю. Затем помощник пере-

УДУНТ (ДІІТ)

носит заземленный проводник на клемму *А*, а руководитель вновь проверяет, что при положенном проводнике меггер показывает сопротивление изоляции, равное нулю;

д) руководитель и помощник восстанавливают схему и переходят на прозвонку следующего участка.

6. Проверка действия приводов выключателей и автоматов. Так как многие защиты действуют на отключение выключателей или автоматов, то необходимо удостовериться в том, что приводы этих механизмов в исправности и что при действии защиты они произведут необходимое отключение. Приводы выключателей и автоматов питаются постоянным током от аккумуляторной батареи. Напряжение аккумуляторной батареи не остается постоянным: так, например, непосредственно после зарядки оно бывает несколько повышенным, а к концу разряда — несколько пониженным.

Значительное понижение напряжения постоянного тока может иметь место во время аварии, когда аварийное освещение переключается на постоянный ток и аккумуляторная батарея разряжается. Если в это время подействует защита, то должна быть уверенность, что отключающий соленоид выключателя сможет сработать, несмотря на пониженное напряжение. Вследствие этого необходимо испытывать работу приводов выключателей при отклонениях напряжения от нормального.

При полных эксплоатационных проверках защитных устройств действие приводов на включение и отключение проверяется два раза при номинальном напряжении и, кроме того, два раза на отключение при 65 или 80% номинального напряжения.

Значение пониженного напряжения, равное 80% от номинального, относится к приводам, изготовленным до 1936 г.

При частичных эксплоатационных проверках действие приводов проверяется два раза только при номинальном напряжении.

Действие автоматов гашения поля проверяется два раза при номинальном напряжении и два раза на отключение при 70% номинального напряжения.

Питание отключающих соленоидов при пониженном напряжении можно осуществить применением потенциометра.

68. МЕТОДЫ КОМПЛЕКТНОГО ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Испытания защитных устройств производятся различными методами в зависимости от вида испытаний. Основными методами испытаний являются следующие:

а) проверка действия защиты посредством замыкания контактов основных реле;

б) проверка действия защиты вторичным током;

в) проверка действия защиты первичным током или напряжением.

Разберем каждый из этих методов в отдельности.

1. Проверка действия защиты посредством замыкания контактов основных реле. Этот метод проверки применяется в том

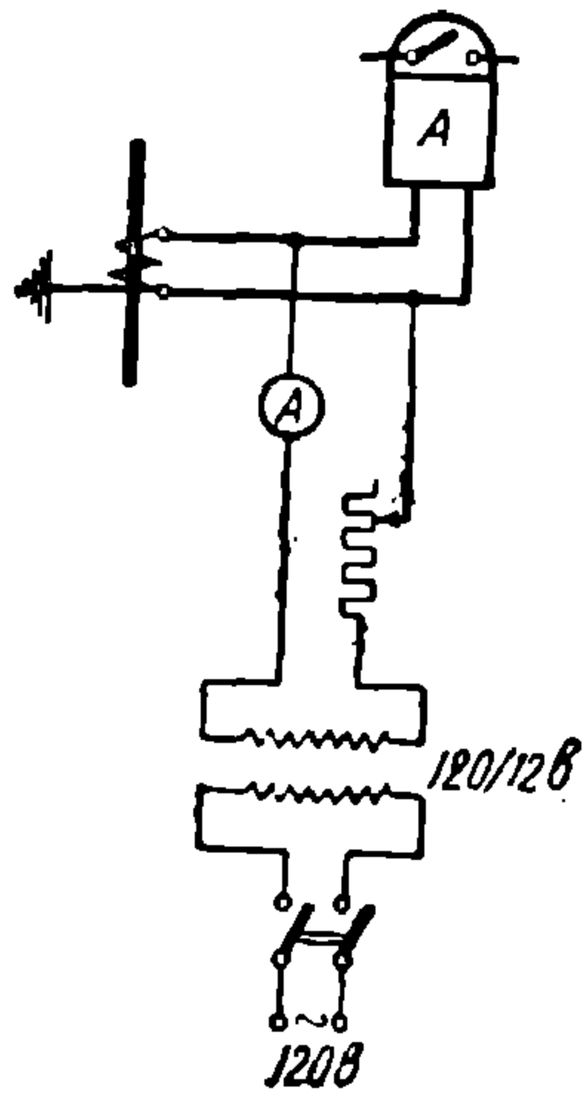
УДУНТ (ДІТ)

случае, когда достаточно проверить правильность и исправность только схемы постоянного тока данной защиты. Для этого на отключенном от сети проверяемом элементе включаются все выключатели, которые должны отключаться от действия защиты. Затем, замыкая контакты основного реле от руки, наблюдают за правильной и последовательной работой всех остальных реле (реле времени, промежуточных реле и т. д.), отключением необходимых выключателей и действием сигнализационных устройств.

Например, требуется проверить правильность действия цепей постоянного тока защиты от замыкания на землю генератора. Для этого включаются генераторный и нулевой выключатели и автомат гашения поля генератора. При замыкании от руки контактов реле мощности должны отключиться оба выключателя и сработать автомат гашения поля. При этом должны выпасть блинкеры в цепи отключившихся выключателей и автомата, а также подействовать звуковая и световая сигнализация.

2. Проверка действия защиты вторичным током. Для проверки действия основных реле и исправности цепей переменного тока от измерительных трансформаторов до реле применяют метод проверки вторичным током.

Для проверки этим методом собирается схема с источником питания, совершенно аналогичная схеме, применяемой для испытания реле (глава 9). К цепям переменного тока без отсоединения их от измерительных трансформаторов приключается собранная схема (фиг. 248). Благодаря этому испытывается не только реле данной защиты, но и цепь переменного тока. Одновременно с проверкой таким методом цепей переменного тока и действия основных реле представляется возможным проверить также и цепи постоянного тока, заставляя срабатывать основные реле от источника питания. Следует иметь в виду, что описанный способ дает некоторую ошибку для трансформаторов тока с малым коэфициентом трансформации (меньшим 50/5 а).



Фиг. 248. Схема проверки максимальной защиты вторичным током.

Используя в качестве источника энергии, заменяющего измерительные трансформаторы, осветительную сеть, следует особо тщательно убедиться в том, что трансформаторы напряжения отсоединены от схемы, так как в противном случае возможно появление высокого напряжения, опасного для жизни, на первичной стороне трансформаторов напряжения.

Кроме того, следует убедиться, не имеет ли источник энергии заземленных точек, так как в противном случае возможно короткое замыкание.

3. Проверка действия защиты первичным током и напряжением. В том случае, когда требуется проверить всю схему за-

УДМНТ (ДІІТ)

щиты вместе с измерительными трансформаторами тока и напряжения, пользуются методом проверки схемы первичным током или напряжением. Этот способ позволяет проверить полностью все элементы защитного устройства, трансформаторы тока, цепи от трансформаторов тока к реле и самые реле. Первичный ток по своему значению выбирается обычно таким, чтобы токовые реле проверяемой защиты могли сработать. Если получить такой ток не представляется возможным, испытание защиты может быть проведено и при токе, меньшем тока трогания реле. В этом случае исправность и правильность схемы проверяются замером помощью амперметра тока, протекающего через обмотку реле испытуемой защиты. Для проверки действия защиты при установленном токе трогания (если первичный ток недостаточен) защиту дополнительно проверяют вторичным током по методу, изложенному выше.

Сущность проверки первичным током и напряжением заключается в том, что в первичные обмотки измерительных трансформаторов испытуемой схемы защиты даются первичный ток и напряжение, т. е. создаются условия, близкие к нормальному или аварийному режиму, и одновременно с испытанием защиты проверяются измерительные трансформаторы.

Практически проверка первичным током и напряжением осуществляется обычно одним из трех способов: а) посредством специального нагрузочного трансформатора; б) отдельным генератором путем создания тока или напряжения, возрастающими от нуля; в) при рабочем токе.

Проверка защиты посредством специального нагрузочного трансформатора. Этот способ применяется для испытания простых защит, например, максимальной токовой и тепловой защиты моторов, максимальной защиты отходящих фидеров и т. д.

Нагрузочные трансформаторы выполняются обычно однофазными, вследствие чего испытание нагрузочным трансформатором производится в тех случаях, когда возможно испытывать защиту пофазно. При испытании с нагрузочным трансформатором следует проводку от него до трансформатора тока брать возможно короче в целях уменьшения нагрузки на нагрузочный трансформатор.

Предположим, требуется проверить максимальную токовую защиту высоковольтного двигателя (фиг. 249). Трансформаторы тока установлены с коэфициентом трансформации $n_m = \frac{100}{5} a$. Ток трогания максимальных токовых реле равен $i_{pm} = 20\ a$.

Первичный ток, при котором должна сработать защита, составит:

$$I_{npв} = i_{pm} \quad n_m = 20 \cdot \frac{100}{5} = 400\ a,$$

последовательность проверки следующая:

а) Нагрузочный трансформатор присоединяется к фазам А и С.

УДУНТ (ДІІТ)

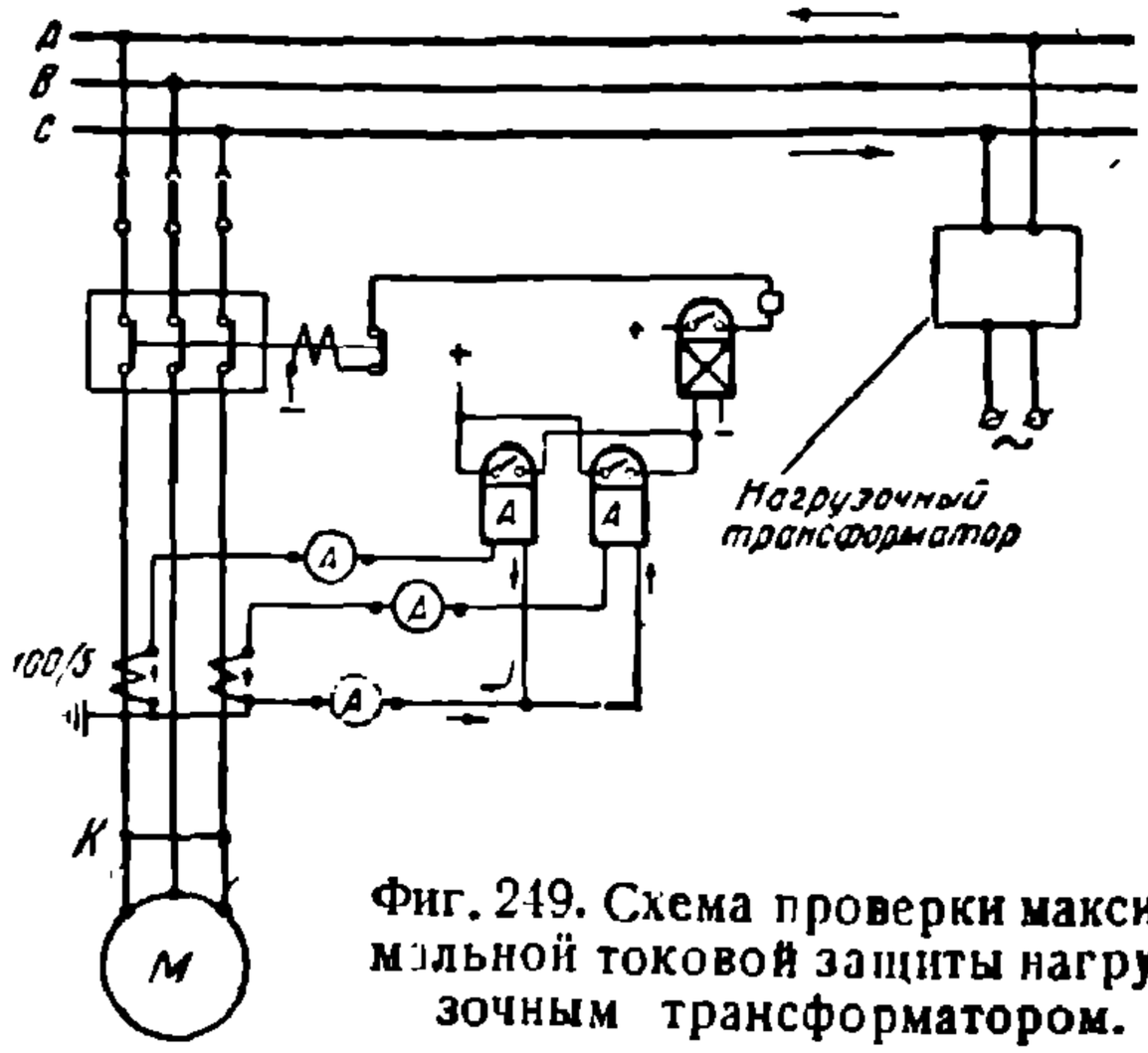
б) В точке *К* вблизи трансформаторов тока устанавливается закоротка между фазами *А* и *С* (возможно также, если это удобно, установить закоротку на всех трех фазах). Сечение закоротки выбирается обычно таким же, как сечение шин.

в) В цепь максимальных реле включаются амперметры для измерения тока до 20 *а* (у места установки реле).

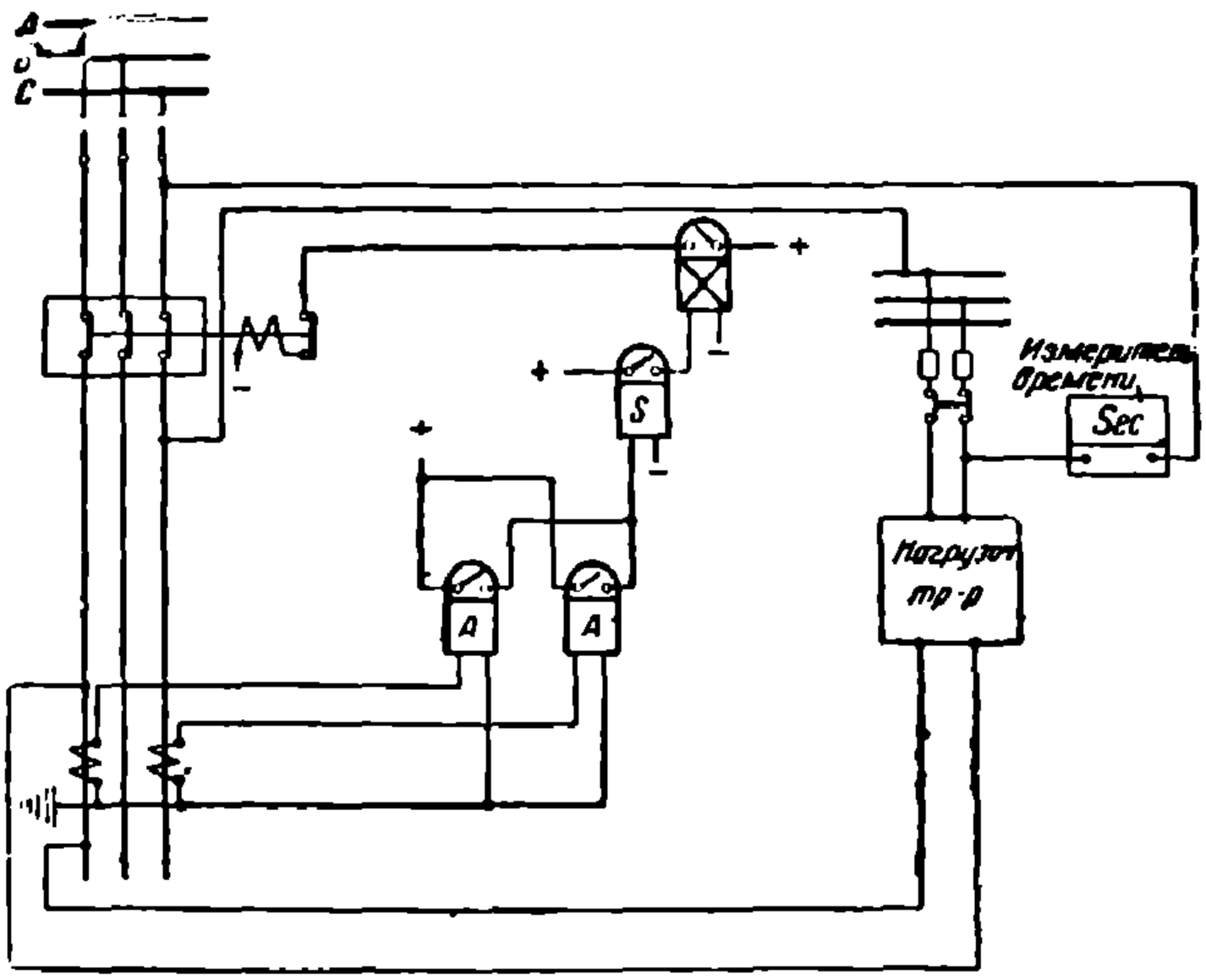
г) Включаются разъединитель и выключатель двигателя.

д) В схему дается первичный ток нагрузочным трансформатором. По показаниям амперметров проверяется коэфициет трансформации трансформаторов тока.

е) При доведении тока до 400 *а* защита должна сработать. При этом должен выпасть блинкер, отключиться выключатель и подействовать сигнализация отключения выключателя. При этих испытаниях можно также проверить правильность включения вторичных обмоток в отношении полярностей. Для этого надо включить амперметр в нулевой провод (показано пунктиром).



Фиг. 249. Схема проверки максимальной токовой защиты нагрузочным трансформатором.



Фиг. 250. Схема проверки максимальной токовой защиты нагрузочным трансформатором с замером времени действия защиты.

При правильном включении вторичных обмоток ток в нулевом проводе должен быть равен нулю (если вторичные токи в фазах *А* и *С* равны). При неправильном включении ток в нулевом проводе будет равен сумме вторичных токов фаз *А* и *С*, т. е. сумме токов, показываемых двумя амперметрами в фазах *А* и *С*.

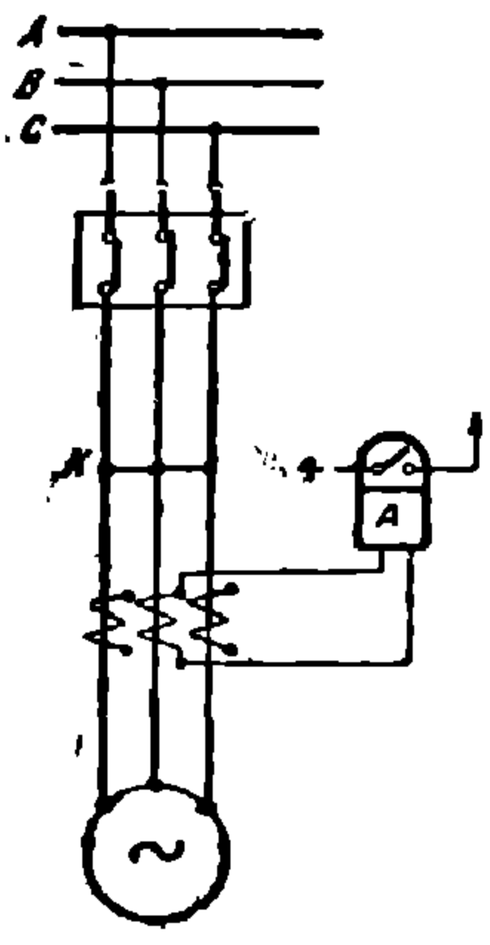
Проверку указанной схемы первичным током можно производить также пофазно, присоединяя нагрузочный трансформатор сначала к первичной обмотке трансформатора тока одной фазы, потом к другой. В тех случаях, когда максимальная защита вы-

УДУНТ (ДІІТ)

полнена с независимой выдержкой времени, проверяют одновременно с током троганья максимальной защиты также выдержку времени защиты в целом. На фиг. 250 представлена схема, по которой полное время действия защиты измеряется после отключения выключателя.

Проверка защиты путем подъема тока или напряжения от нуля. Проверка защиты подъемом тока или напряжения требует выделения на время испытаний генератора. Этим способом проверяются обычно более сложные защиты: генератора, трансформатора и линий передач, в особенности, когда для испытаний требуется трехфазный ток (дифференциальная, направленная защиты и пр.).

При этой проверке первичный ток или напряжение для измерительных трансформаторов получаются не от постороннего источника (например, нагрузочного трансформатора), а от самого генератора. С этой целью за измерительными трансформаторами испытуемой защиты устанавливается закоротка, т. е. создается искусственно короткое замыкание, к которому присоединен генератор. Путем постепенного увеличения возбуждения генератора ток генератора поднимается до необходимого значения, но не больше, чем номинальный ток генератора. При этом проверяется действие защиты или, если первичный ток недостаточен для срабатывания основного реле, производится измерение тока, протекающего через это реле. Предположим, требуется проверить максимальную защиту генератора (фиг. 251). Для этого в точке *K* устанавливается закоротка на всех трех фазах и при токе трехфазного короткого замыкания генератора, равном его номинальному току, производится проверка защиты. При испытании этим методом следует иметь в виду следующие обстоятельства:



Фиг. 251. Проверка максимальной токовой защиты генератора.

а) Испытания защиты производятся, как правило, только при трехфазных коротких замыканиях, т. е. закоротка должна быть установлена между тремя фазами. Испытания должны проводиться возможно быстрее.

б) При выборе места установки закоротки следует иметь в виду возможность повышения напряжения генератора в случае отключения места короткого замыкания или случайного перегорания закоротки. Так, например, на фиг. 250 закоротка установлена между трансформаторами тока испытуемой защиты и выключателем. При действии защиты выключатель может отключаться, что не вызовет повышения напряжения генератора.

в) Сечение закоротки должно быть рассчитано на протекающий через нее ток.

Таким же способом может быть проверена защита, действие которой связано не с током, а с напряжением. Например, при

УДУНТ (ДІІТ)

проверке защиты от замыкания на земле генератора одна из фаз в зоне защиты заземляется, и на генераторе постепенно поднимается напряжение до необходимого значения. При подъеме напряжения генератора от нуля при одной заземленной фазе следует иметь в виду, что напряжение двух других фаз в отношении земли при номинальном междуфазном напряжении (показываемом вольтметром) возрастет в 1,73 раза. Поэтому для генераторов допускается при испытаниях с одной заземленной фазой поднимать напряжение не выше 60% от номинального с тем, чтобы напряжение незаземленных фаз по отношению к земле не превышало номинального напряжения.

Проверка защиты при рабочем токе. При невозможности выделить для испытаний отдельный генератор испытание защит может быть проведено при рабочем токе путем замера необходимых токов и напряжений в цепях основных реле. Для более сложных защит приходится снимать векторные диаграммы схемы включения реле. Во избежание возможных срабатываний защиты при включении измерительных приборов защита на время проверки переводится на сигнал, а не на отключение.

4. Порядок испытания и резервирование защит. При испытании защит в первую очередь производится проверка токовых защит и лишь затем, когда токовая защита проверена и включена в работу, производится испытание защиты, связанной с подъемом напряжения. Такой порядок вызывается тем, что при проверке токовой защиты, например, подъемом тока с нуля, напряжение на защищаемом объекте незначительно, что в известной степени при неудовлетворительной изоляции предохраняет объект от аварии. При испытании же защиты, связанной с подъемом напряжения, повреждение изоляции может привести к аварии, так как защита в это время только проверяется и нет уверенности в правильности ее действия. Наличие в этом случае проверенной и включенной токовой защиты предотвратит развитие аварии. Кроме того, должно быть обеспечено резервирование защит. Например, при испытании дифференциальной защиты генератора обязательно должна остаться в работе максимальная защита, защита от замыкания на землю и гашение поля.

5. Основные принципы испытаний типовых защит. Испытания имеют своей целью установить исправность защитных устройств, их чувствительность и селективность. Для этого при испытаниях создаются режимы по возможности близко отвечающие условиям работы защиты при авариях, и замеряются необходимые величины токов и напряжений, которые позволили бы судить достаточно полно о поведении защит при действительных авариях (устраиваются искусственные короткие замыкания, замыкания на землю, производится проверка нагрузочным трансформатором и т. д.).

Ниже приводятся указания о необходимых замерах при полных испытаниях наиболее распространенных типовых защит.

Максимальная токовая защита. Исправное дей-

УДМТ (ДПТ)

ствие защиты проверяется при первичном токе, соответствующем току трогания максимальных реле. В случае невозможности получить первичный ток достаточной величины испытания производят при меньшей величине первичного тока, замеряют вторичный ток, текущий через реле, и после этого проверяют срабатывание защиты вторичным током.

Дифференциальная защита. Диференциальная защита в большинстве своем испытывается генератором путем подъема тока с нуля.

При испытаниях необходимо определить селективность и чувствительность защиты и произвести замер токов небаланса. Для определения селективности защиты при нормальном режиме работы устраивается трехфазное короткое замыкание вне защищаемой зоны. В цепь диференциальных реле включаются амперметры. Ток искусственного короткого замыкания поднимается до величины, соответствующей номинальному току защищаемого объекта. При правильно выполненной схеме защита не должна работать и показания амперметров должны быть весьма незначительны, так как через реле и амперметры будут протекать только токи небаланса. При этом же опыте трехфазного короткого замыкания вне защищаемой зоны производится точный замер тока небаланса во всех трех фазах и в нулевом проводе методом, изложенным в главе 8 (стр. 187). По величине тока небаланса можно судить об однотипности подобранных трансформаторов тока и равенстве плеч диференциальной защиты.

Ток небаланса обычно не должен превышать: 25—30 *ма* для продольной диференциальной защиты генераторов и линий, 80—100 *ма* для продольной диференциальной защиты трансформаторов и 40—60 *ма* для поперечной диференциальной защиты.

Уменьшение тока небаланса часто может быть достигнуто путем подбора величин сопротивлений в плечах диференциальной защиты (уравнивание плеч) или перестановкой трансформаторов тока.

Для определения чувствительности защиты устраивается трехфазное короткое замыкание в зоне защиты. Подъемом тока от нуля проверяется ток трогания и действие реле во всех трех фазах.

Схема испытания диференциальной защиты генератора представлена на фиг. 252. В качестве прибора для измерения токов небаланса применен ваттметр, который в начале испытания, когда нет уверенности в правильности схемы, шунтируется рубильником.

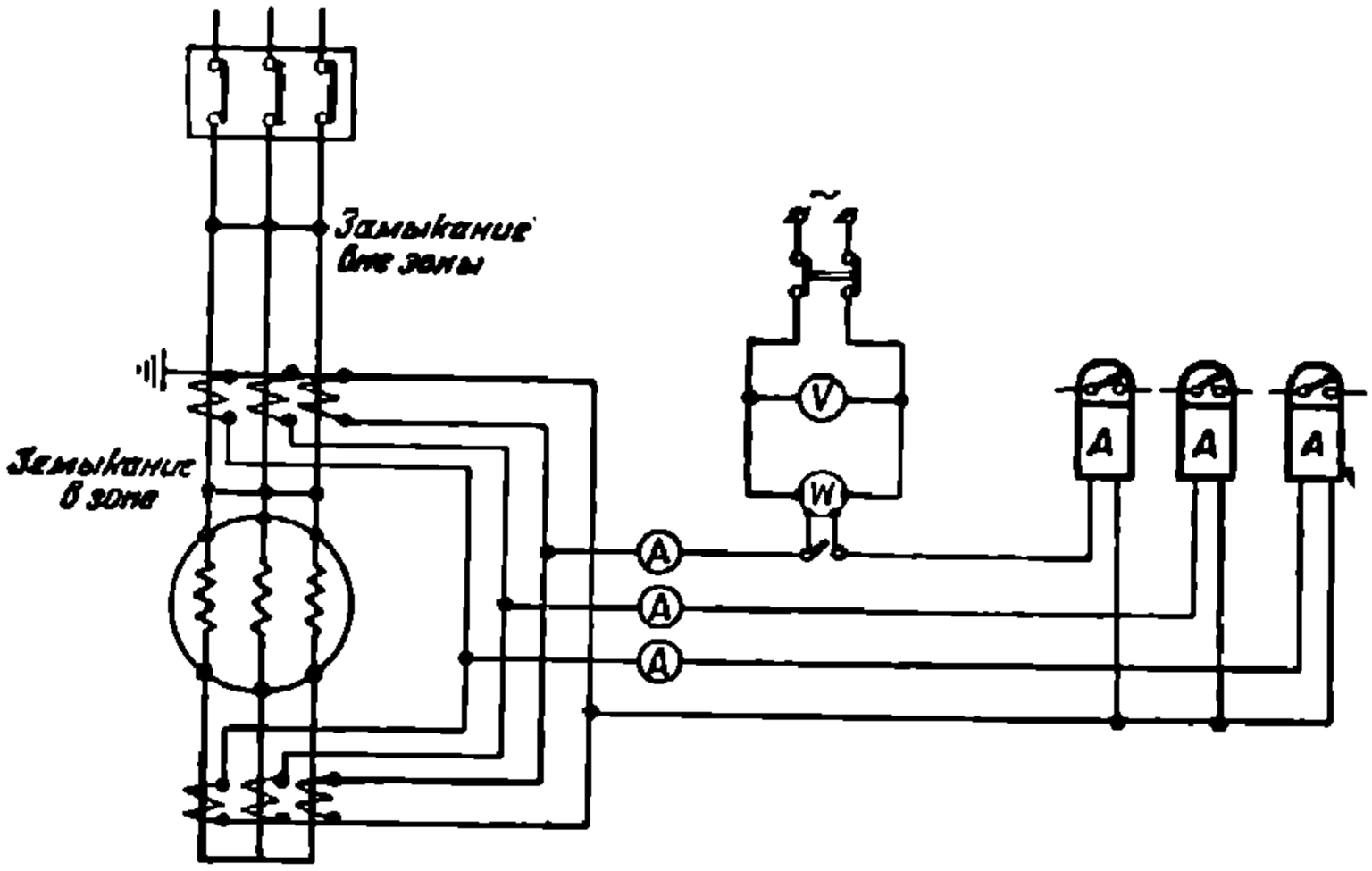
Если не представляется возможным выделить генератор для испытания защиты подъемом с нуля, проверяется только схема включения диференциальной защиты путем снятия векторной диаграммы и замера тока небаланса (метод снятия векторной диаграммы здесь не приводится).

Защита от однофазного замыкания на землю. Защита от замыкания на землю испытывается обычно путем подъема напряжения от нуля. При испытании, как и в случае

УДУНТ (ДІТ)

дифференциальной защиты, необходимо определить селективность и чувствительность защиты и произвести замер токов небаланса. Для определения селективности защиты устраивается заземление поочередно каждой фазы вне защищаемой зоны. Напряжение генератора поднимается от нуля до 60% номинального напряжения генератора. Защита при подъеме напряжения не должна работать.

Для определения чувствительности защиты заземляется поочередно каждая фаза в защищаемой зоне. Подъемом напряжения от нуля определяется то напряжение, при котором срабатывает защита. Это напряжение и характеризует чувствительность



Фиг. 252. Схема проверки дифференциальной защиты генератора первичным током.

защиты. Ток небаланса замеряется в зависимости от схемы защиты при трехфазном коротком замыкании (схема Гольмгрина) или при заземлении одной фазы вне зоны защиты (защита агрегата генератор-трансформатор).

Замеренные величины токов небаланса дают возможность проверить защиту расчетным путем и произвести регулировку отдельных элементов. Ток небаланса трансформаторов тока, включенных по схеме Гольмгрина, обычно не должен превышать: 5—10 *ма* для защиты генераторов и 100—200 *ма* для защиты линий. Уменьшение тока небаланса часто может быть достигнуто циклической перестановкой трансформаторов тока. Помимо перечисленных основных испытаний производятся также дополнительные испытания отдельных элементов схемы (замер импеданца трансформаторов тока схемы Гольмгрина, определение тока заземления и нагрева заземляющего сопротивления и пр.), здесь не указанные.

Устройство для гашения поля генератора. Как известно, работа устройства для гашения поля генератора характеризуется остаточным напряжением и временем гашения поля, т. е. кривой изменения напряжения генератора по времени

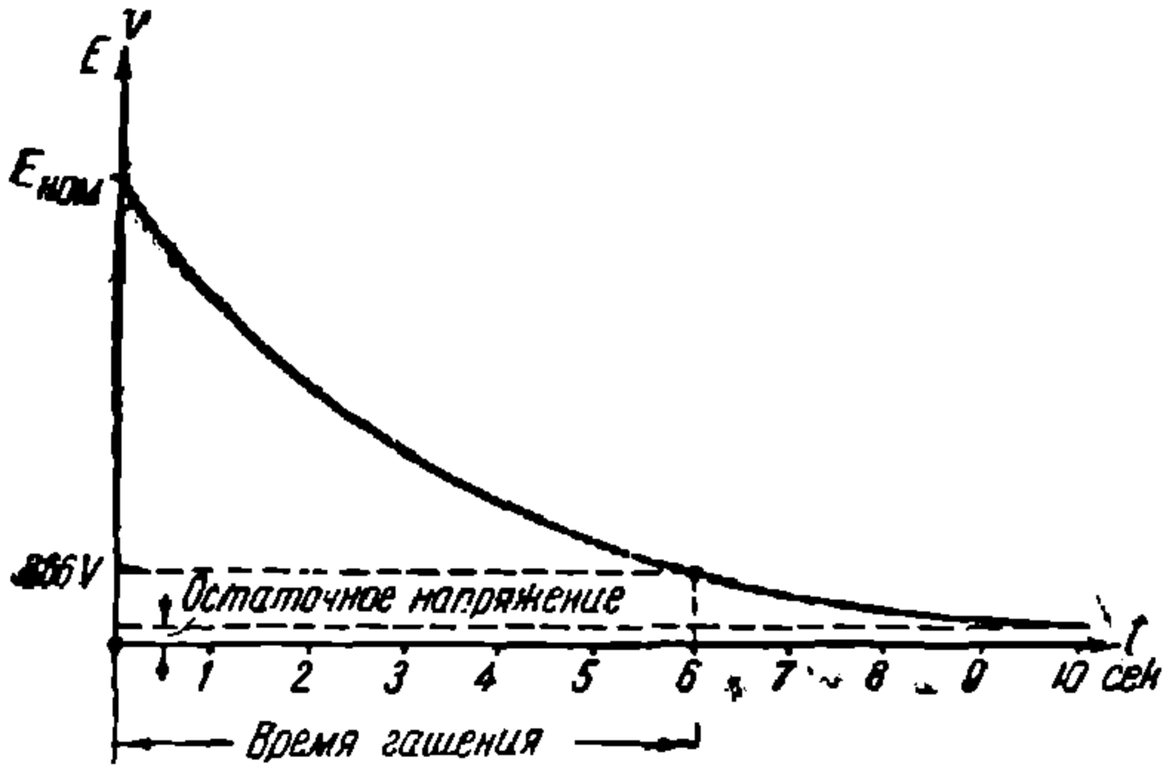
УДУНТ (ЦНТ)

Остаточное напряжение на клеммах генератора определяется следующим образом.

Генератор при холостом ходе возбуждается до номинального напряжения. После этого отключается автомат гашения поля и замеряется установившееся остаточное напряжение на клеммах генератора. Остаточное напряжение при схеме ХЭМЗ не должно быть больше 150—200 *в*.

Кривая гашения поля может быть снята помощью регистрирующего вольтметра со скоростью ленты 5—10 *мм/сек*. При отсутствии регистрирующего вольтметра можно воспользоваться обычным лабораторным вольтметром. Это испытание проводится следующим образом:

Напряжение на генераторе поднимается до номинального, затем отключается гаситель поля и приводится в действие секундомер. По отсчетам секундомера записываются напряжения на вольтметре, стрелка которого постепенно идет к нулю. Для удобства записи наклеивают (лаком, но не клеем) на стекле вольтметра бумажку так, чтобы виден был лишь конец стрелки и шкала, и по отсчетам времени наносят черточки на бумажке в том месте, где в данный момент находится стрелка. По окончании опыта восстанавливают по нанесенным черточкам напряжения, которые соответствовали моментам времени.



Фиг. 253. Кривая гашения поля.

Если произвести опыт дважды и отмечать первый раз напряжения на генераторе через 2; 4; 6; 8 сек. с момента отключения автомата, а второй раз через 1; 3; 5; 7 сек., то по этим заметкам получается кривая зависимости напряжения от времени, по которой можно судить, насколько быстро гасится поле. Полученная кривая будет обладать некоторой погрешностью вследствие инерции прибора, но все же даст представление о скорости гашения поля (фиг. 253). Время гашения поля составляет обычно при разомкнутом статоре 6—7 сек.

Газовая защита. Проверка газовой защиты производится накачиванием воздуха в реле при помощи насоса (например, футбольного или велосипедного) или из баллона со сжатым воздухом. Накачивание воздуха производится через кран, расположенный в нижней части реле, а в случае его отсутствия — через верхний. При плавном медленном нагнетании воздуха должен замкнуться только сигнальный контакт верхнего поплавка и защита должна подействовать на сигнал.

После замыкания сигнального контакта и дальнейшего плавного нагнетания воздуха в реле защита не должна действовать

УДУНТ (ДІІТ)

на отключение, так как излишек воздуха из резервуара реле будет уходить в консерватор.

При быстром нагнетании воздуха должен замкнуться нижний отключающий контакт, и защита должна подействовать на отключение. Иногда из-за недостаточной мощности нагнетательного насосика не удается добиться действия защиты на отключение. В этом случае необходимо закрыть краник в маслопроводе между консерватором и газовым реле и продолжать накачивать воздух. При отсутствии краника необходимо применять более мощный насос или баллон со сжатым воздухом. После окончания испытаний весь воздух из реле должен быть быстро выпущен через верхний краник, который после этого должен быть закрыт. Кран на маслопроводе всегда должен быть открыт и в этом положении запломбирован.

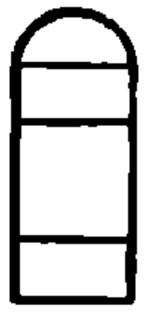
Для некоторых газовых реле перед проверкой их в собранном виде на трансформаторе производят предварительно испытание на непроницаемость и замыкание контактов. Для этого реле до испытания взвешивается на точных весах, затем подвергается испытанию давлением столба масла высотой 3 *м*, после чего реле снова взвешивается, чем проверяется, не попало ли масло в реле.

Действие ртутных контактов на замыкание также проверяется в масле, до установки реле на трансформатор.

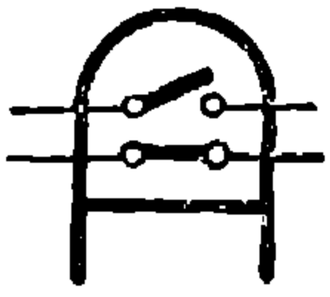
УДУНТ (ДИТ)

ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕЛЕ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Общие обозначения

№ по пор.	Наименование	Обозначение
1	Реле с одним органом	 — Контактная система — Один из органов
2	Реле с несколькими разными органами	 — Контактная система — Пусковой орган — Орган выдержки времени — Орган направления энергии

2. Обозначения контактной системы

№ по пор.	Наименование	Обозначение
1	Замыкающий контакт	
2	Размыкающий контакт	
3	Переключающий контакт	
4	Контакты, возвращаемые в начальное положение от руки	
5	Один замыкающий и один размыкающий контакты	

УДУНТ (ДІІТ)

Продолжение

№ по пор.	Наименование	Обозначение
6	Контакт, удерживающийся в замкнутом состоянии при прохождении через него тока	

Примечание. Контакты реле указываются в состоянии, соответствующем нормальному режиму работы защищаемого объекта, независимо от того, как изображены на схеме коммутационные аппараты (т. е. независимо от того, как изображены разъединители, выключатели и т. д.—во включенном или отключенном положении). В тех случаях, когда данное правило не выполнено, должны быть сделаны оговорки.

3. Пусковой орган

Буквенное обозначение пускового органа относится к тому фактору, на который реагирует пусковой орган.

Примечание. Если реле реагирует на разность двух факторов, подводимых к реле, то реле обозначается разностью соответствующих букв.

Пусковой орган, реагирующий на уменьшение фактора ниже некоторого заранее установленного значения, обозначается знаком $<$ (минимальный орган).

Пусковой орган, реагирующий на увеличение фактора свыше некоторого заранее установленного значения, обозначается без дополнительного знака (максимальный орган).

4. Орган выдержки времени

Буквенное обозначение органа выдержки времени относится к тому фактору, от которого зависит выдержка времени. Орган выдержки времени с независимой выдержкой времени обозначается буквой S (независимая характеристика выдержки времени).

Орган выдержки времени, уменьшающий выдержку времени с увеличением фактора, обозначается в виде обратной величины этого фактора (спадающая зависимая характеристика выдержки времени).

Орган выдержки времени, увеличивающий выдержку времени с уменьшением фактора, обозначается в виде прямой величины этого фактора (возрастающая зависимая характеристика выдержки времени).

5. Буквенные обозначения для пускового органа и органа выдержки времени

№ по пор.	Наименование	Обозначение
1	Ток	A
2	Напряжение	U
3	Мощность (активная)	W
4	Реактивная мощность	$VA \sin \varphi$
5	Кажущаяся мощность	VA
6	Разность токов	$A - A$
7	Разность напряжений	$U - U$

УДУНТ (ДИТ)

Продолжение

№ по пор.	Наименование	Обозначение
8	Разность активных мощностей	$W - W$
9	Сопротивление (общее обозначение)	Ω
10	Активное сопротивление	R
11	Реактивное сопротивление	X
12	Импеданц	Z
13	Угол сдвига фаз (общее обозначение)	θ
14	Угол сдвига фаз между током и напряжением	φ
15	Частота	f
16	Время	S
17	Температура	t°
18	Число оборотов	n

6. Обозначение органа направления энергии

№ по пор.	Наименование	Обозначение
1	Направление энергии от шин	
2	„ к шинам	
3	Оба направления энергии (избирательное действие)	

Примечание. Обозначения органа направления соответствуют тому направлению энергии, при котором действует реле.

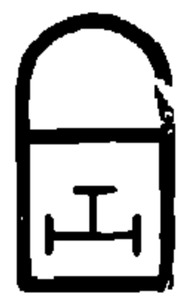
7. Вспомогательное реле

№ по пор.	Наименование	Обозначение
1	Реле времени Примечание. При обозначении контактной системы реле времени, имеющей несколько контактов с различными выдержками времени, делается соответствующее примечание. Если один из контактов мгновенного действия, то контакты с выдержками времени показываются со значком	
2	Реле промежуточное	

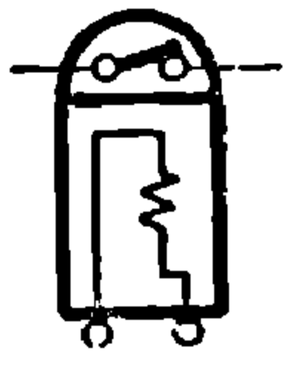
УДУНТ (ДІІТ)

№ по пор.	Наименование	Обозначение
3	Блинкер с возвращением выпадающего сигнала в нормальное положение от руки	
4	Реле промежуточное с выпадающим сигналом, возвращаемым в нормальное положение от руки	

8. Реле специального типа

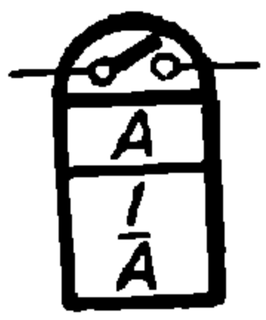
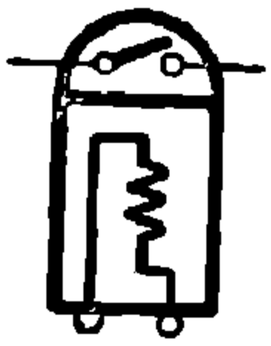
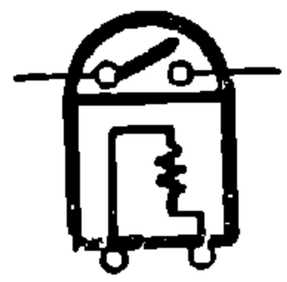
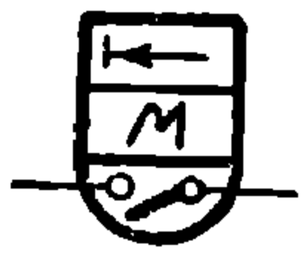
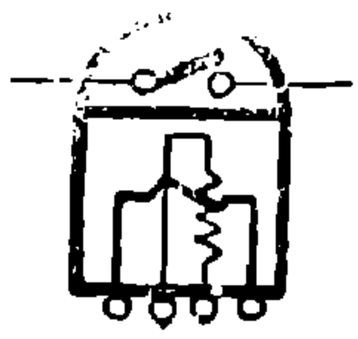
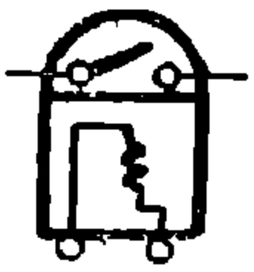
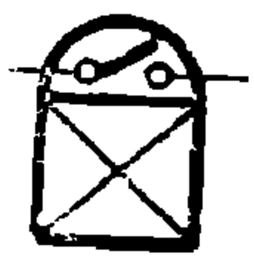
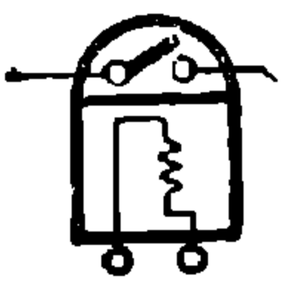
№ по пор.	Наименование	Обозначение
1	Реле газовое для трансформаторов	
2	Дифференциальное токовое реле с тормозными катушками	
3	Реле транслей	

9. Примеры обозначения реле

№ по пор.	Наименование реле	Обозначение	Схема внутренних соединений
1	Реле максимальное токовое мгновенного действия, с замыкающим контактом		

УДУНТ (ДІІТ)

Продолжение

№ по пор.	Наименование реле	Обозначение	Схема внутренних соединений
2	Реле максимальное токовое с выдержкой времени, зависимой от тока, с замыкающими контактами		
3	Реле минимального напряжения с выдержкой времени, зависимой от напряжения, с замыкающим контактом (например, реле, ИН-139/2)		
4	Реле максимальной мощности, действующее при направлении энергии к шинам, с замыкающим контактом		
5	Реле термическое с замыкающим контактом		
6	Реле промежуточное с замыкающим контактом		

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ РЕЛЕ СОЮЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА

(завод ХЭМЗ)

1. Максимальные токовые реле мгновенного действия ЭТ-70 и ЭТ-60

а) Собственное время действия реле замыкающимися контактами:
при токе в 120% от установленного тока трогания 0,15 сек.
» » » 200% » » » » 0,02—0,03 »

[1] Составлено по информационным материалам завода ХЭМЗ.

УДУНТ (ДІІТ)

б) Коэфициент возврата 0,85.

в) Потребляемая мощность 0,1 *ва* при наименьшем предельном токе трогания (например, реле с регулировкой тока трогания 2,5—5 *а* будет потреблять 0,1 *ва* при токе 2,5 *а*).

г) Мощность контактов. Замыкание 5 *а* при напряжении не выше 220 *в*, размыкание — при напряжении не выше 220 *в* составляет при переменном токе 400 *ва* и постоянном токе около 50 *вт*.

Реле ЭТ-70

Тип		Регулировка тока трогания	Длительно допустимый ток	Допустимый ток длительностью в 1 сек.
реле с замыкающимся контактом	реле с размыкающимся контактом	*а*	*а*	*а*
ЭТ-71/0,25	ЭТ-72/0,25	0,12—0,25	1,25	50
ЭТ-71/0,5	ЭТ-72/0,5	0,25—0,5	2,5	100
ЭТ-71/1	ЭТ-72/1	0,5 —1	4	150
ЭТ-71/2	ЭТ-72/2	1—2	10	300
ЭТ-71/5	ЭТ-72/5	2,5—5	10	500
ЭТ-71/10	ЭТ-72/10	5—10	10	500
ЭТ-71/25	ЭТ-72/25	12—25	10	500
ЭТ-71/50	ЭТ-72/50	25—50	10	500

Реле ЭТ-60

Тип			Пределы регулировки тока трогания в *а*	Соединение обмоток реле					
				Последовательно			Параллельно		
с замыкающимся контактом	с размыкающимся контактом	с одним замыкающимся и одним размыкающимся контактами		ток трогания в *а*	длительно допустимый ток в *а*	односекунд. ток в *а*	ток трогания в *а*	длительно допустимый ток в *а*	односекунд. ток в *а*
ЭТ-61/0,2	ЭТ-62/0,2	ЭТ-63/0,2	0,05—0,2	0,05—0,1	0,3	20	0,1— 0,2	0,6	40
ЭТ-61/0,6	ЭТ-62/0,6	ЭТ-63/0,6	0,15— ,6	0,15—0,3	1	50	0,3— 0,6	2	100
ЭТ-61/2	ЭТ-62/2	ЭТ-63/2	0,5—2	0,5—1,0	4	100	1— 2	8	200
ЭТ-61/6	ЭТ-62/6	ЭТ-63/6	1,5—6	1,5—3	10	300	3— 6	20	600
ЭТ-61/10	ЭТ-62/10	ЭТ-63/10	2,5—10	2,5—5	10	300	5—10	20	600
ЭТ-61/20	ЭТ-62/20	ЭТ-63/20	5—20	5—10	15	300	10— 20	30	600
ЭТ-61/50	ЭТ-62/50	ЭТ-63/50	12,5—50	12,5—25	20	500	25— 50	40	1 000
ЭТ-61/100	ЭТ-62/100	ЭТ-63/100	25—100	25—50	20	500	50—100	40	1 000
ЭТ-61/200			50—200	50—100	20	500	100—200	40	1 000

Реле ЭТ-63-1Д с насыщающимся трансформатором

Включение цепи тока на зажимы (см. фиг. 43)	Пределы регулировки тока трогания в *а*	Импеданц реле в омах при токе			Длительно допустимый ток в *а*	Односекундный ток в *а*
		I уставки миним.	5 *а*	30 *а*		
2—8	0,15—0 3	12	3,3	0,9	7	500
2—6	0,3—0,6	3	0,8	0,25	7	500
2—4	0,5—1	1	0,3	0,08	7	500

УПУНТ (ЦНТ)

2. Максимальные токовые реле мгновенного действия РММ и РД

а) Коэфициент возврата около 0,8.

б) Потребляемая мощность 5 *ва* при номинальном токе.

в) Собственное время действия 0,25 сек.—при токе, равном 150% от установленного тока трогань я; менее 0,1 сек.—при токах выше 300% от установленного.

г) Мощность контактов: замыкание—около 500 *ва*; размыкание—около 200 *ва* при максимальном напряжении 250 *в*.

Тип реле	Род тока	Пределы регулировки в *а*	Номинальное значение тока в *а*	Допустимый ток длительностью в 1 сек. в *а*
РММ нормальный	Однофазный	4—10	5	500
РММ модерниз.	"	0,8— 2	1	—
" "	"	2— 5	2,5	—
" "	"	10—25	5	500
РЗА	"	0,3— 1	0,5	—
РД	Трехфазный	1,5— 5	2,5	—

3. Максимальные токовые реле с зависимой характеристикой ИТ-11 и ИТ-12

а) Коэфициент возврата 0,8.

б) Потребляемая мощность при токе трогань я 4 *а* и токе в реле 5 *а*: ИТ-11—3 *ва* (около 1,5 *вт*); ИТ-12—4 *ва* (около 1,8 *вт*).

в) Термическая устойчивость 400 *а* в течение 1 сек. Длительно реле допускает ток 10 *а*.

г) Контакты исполняются только как замыкающиеся; как правило, выключатель, отключившись, должен посредством специальных контактов на своем валу разорвать цепь контактов. Мощность замыкания около 350 *ва*. Максимально допустимый ток 3 *а* (при напряжении 50 *в* допустим 5 *а*).

д) Инерционный выбег при уставке на максимальное время и 12-кратном токе около 0,3 сек.

Тип	Номинальный ток при 50 ~ в *а*	Пределы регулировки тока трогань я в *а* — Положение штепселя							Пределы регулировки выдержки времени в независимой части в секундах
		1	2	3	4	5	6	7	
ИТ-11	5	4	5	6	7	8	9	10	0,25—2
ИТ-12	5	4	5	6	7	8	9	10	0,50—4

Примечание. Точность установки на время ±0,1 сек. Точность установки на ток трогань я ±5%.

4. Максимальное токовое реле с зависимой характеристикой ИТ-80

а) Контакты реле путем простой перестановки могут быть выполнены замыкающимися или размыкающимися. Замыкающиеся контакты допускают включение 5 *а* при напряжении до 220 *в*. Размыкающиеся контакты допускают отключение 2 *а* при 220 *в*.

УДУНТ (ДІІТ)

б) Коэфициент возврата не ниже 0,85.
в) Блинкер реле возвращается от руки.
г) Инерционная ошибка не более 0,03 сек.

Тип	Пределы регулировки тока трогания в *а*	Длительно допустимый ток в *а*	Односекундный ток в *а*	Пределы регулировки выдержки времени в независимой части в сек.
ИТ-81/1	4—10	10	400	0,5 3,5
ИТ-81/2	2— 5	5	200	
ИТ-82/1	4—10	10	400	до 14
ИТ-82/2	2— 5	5	200	

Потребляемая мощность при 5 *а*

ИТ-81/1 и ИТ-82/1	Ток уставки	4	5	6	7	8	9	10
	Потребление, *ва*	15	9	6,5	4,5	3	2,5	2
ИТ-81/2 и ИТ-82/2	Ток уставки	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	Потребление, *ва*	60	36	26	18	12	10	8

5. Реле напряжения мгновенного действия ЭН-70 и ЭН-60

а) Потребляемая мощность около 1 *ва* при наименьшем предельном напряжении трогания.

б) Собственное время действия реле максимального напряжения:

При напряжении в 120% от установленного 0,15 сек.
» » » 200% » » 0,02—0,03 »

Для реле минимального напряжения время замыкания контактов 0,02 сек. при снижении напряжения до 80% напряжения уставки.

в) Коэфициент возврата для реле максимального напряжения 0,85 и для реле минимального напряжения 1,18.

г) Контакты: замыкание 5 *а*; напряжение не выше 220 *в*. Размыкание—при напряжении не выше 220 *в* составляет при переменном токе 400 *ва* и постоянном токе 50 *вт*.

Реле ЭН-70

Реле максимального напряжения		Реле минимального напряжения		Номинальное напряжение в *в*	Пределы регулировки напряжения трогания в *в*
с замыкающимися контактами	с размыкающимися контактами	с замыкающимися контактами	с размыкающимися контактами		
ЭН-76/30	ЭН-77/30	ЭН-78/30	ЭН-79/30	30	15— 30
ЭН-76/60	ЭН-77/60	ЭН-78/60	ЭН-79/60	60	30— 60
ЭН-76/100	ЭН-77/100	ЭН-78/100	ЭН-79/100	100	60—100
ЭН-76/200	ЭН-77/200	ЭН-78/200	ЭН-79/200	200	100—200
ЭН-76/400	ЭН-77/400	ЭН-78/400	ЭН-79/400	400	200—400

УДУНТ (ЦНТ)

Реле ЭН-60

Реле максимального напряжения		Реле минимального напряжения	Пределы регулирования напряжения трогания в *в*	Соединение обмоток реле			
				Параллельно		Последовательно	
с замыкающимся	с одним замыкающимся и одним размыкающимся контактами	в обесточенном состоянии реле контакт замкнут		напряжение трогания	длительно допустимое напряжение в *в*	напряжение трогания в *в*	длительно допустимое напряжение в *в*
ЭН-66/60	ЭН-65/60	ЭН-69/60	15— 60	15— 30	40	30 60	80
ЭН-66/200	ЭН-65/200	ЭН-69/200	50—200	50—100	150	100—200	300
ЭН-66/400	ЭН-65/400	ЭН-69/400	100—400	100—200	275	200—400	550

Реле ЭН-60/65Д с отдельным добавочным сопротивлением ВУ-67

Соединение обмоток	Напряжение трогания в *в*	Длительно-допустимое напряжение в *в*	Потребление при 30 *в* в *ва*
Параллельно	15—30	120	1
Последовательно	30—60	240	1

УДУНТ (ДІІТ)

6. Зависимые реле напряжения ИН-30

а) Потребляемая мощность при номинальном напряжении 15 *ва* (около 4 *вт*), для реле ИП 34 — 10 *ва* (около 3 *вт*).

б) Коэфициент возврата ИН-31 и ИН-32 — около 1,25, ИН-33 и ИН-34 — около 0,8.

в) Контакты выполняются только как замыкающиеся. Мощность замыкания 350 *ва*. Максимальное напряжение 220 *в*. Максимальный ток 3 *а* (при напряжении 50 *в* допустим ток в 5 *а*).

Реле максимального напряжения

Номинальное напряжение в *в*	Напряжение трогания в *в*	Пределы регулировки выдержки времени (при напряжении, равном 2 $U_{ном}$) в секундах	Тип
100	50	1—5	ИН-33
100	90—150	1—5	ИН-34

Примечание. Допустимое длительное напряжение 200 *в*.

Реле минимального напряжения

Номинальное напряжение в *в*	Напряжение трогания в *в*	Пределы регулировки выдержки времени (при падении напряжения до нуля) в секундах	Тип
58	41	1—5	ИН-31
100	70	1—5	ИН-32

Примечание. Допустимое длительное напряжение составляет 110% номинального.

7. Зависимые реле напряжения ИН-139

Тип	Номинальное напряжение в *в*	Пределы регулирования напряжения трогания от $U_{ном}$ в %	Потребление при 100 *в* в *ва*	Контакт реле при отсутствии напряжения
Реле минимального напряжения ИН-139/1 . . .	60	40— 70	4,5	Замкнут
Реле минимального напряжения ИН-139/2 . .	100	40— 70	4,5	
Реле максимального напряжения ИН-139/3 .	100	25—100	4	Разомкнут

УДУНТ (ЯГТУ)

а) Реле длительно выдерживает напряжение на 10% выше номинального.

б) Коэфициент возврата реле не ниже 0,75 $\left(\frac{1}{0,75} = 1,33\right)$.

в) Контакты реле могут замыкать ток до 1 *а* длительно при напряжении до 220 *в* и 6 *а* в течение 5 сек. В цепи контактов имеется удерживающая катушка постоянного тока. Разрыв цепи на контактах не рекомендуется.

8. Трехфазное зависимое реле минимального напряжения ИН-138

а) Реле реагирует на величину треугольника напряжений.

б) Номинальное напряжение 100 *в*. Длительно допустимое 110 *в*.

в) Напряжение трогания 70 *в*. Напряжение начала трогания не регулируется.

г) Коэфициент возврата 1,33 $\left(\frac{1}{0,75}\right)$.

д) Регулировка выдержки времени в независимой части (при изменении напряжения от 100 *в* до 0) от 1 до 5 сек.

е) Контакты реле при отсутствии напряжения замкнуты. Контакт может замыкать ток до 1 *а* длительно при напряжении до 220 *в* и 6 *а* в течение 5 сек. В цепи контактов имеется удерживающая катушка постоянного тока.

ж) Потребление при 100 *в* (фиг. 60) 3,5 *ва* — верхняя система (зажимы *3—4*), 2 *ва* — нижняя система (зажимы *4—5*).

9. Реле мощности ИМ-41 и ИМ-42

Момент реле пропорционален $UI\cos\varphi$. Реле применяется в качестве реле направления в схемах защиты линий.

Тип	Мощность трогания в *вт*		Номинальный ток в *а*	Номинальное напряжение в *в*	Номинальная частота в герцах	Потребляемая мощность			
						Токовая обмотка при 5 *а*		Обмотка напряжения при номинальном напряжении	
	при 5 *а*	при 100 *а*				*ва*	*вт*	*ва*	*вт*
ИМ-41	15	30	5	100	50	0,6	0,5	30	5
ИМ-42	9	17	5	58	50	0,6	0,5	30	5

Примечание. Регулировка мощности трогания реле отсутствует.

Время действия реле при 1,5-кратной мощности трогания 0,7—1 сек., при 10-кратной мощности около 0,25 сек.

Коэфициент возврата реле 0,6—0,7.

Термическая устойчивость. а) Токовая обмотка допускает длительный ток 10 *а*, ток в течение 1 сек. — 400 *а*. б) Обмотка напряжения допускает длительное напряжение 110% номинального, в течение 5 сек — 200% номинального напряжения.

Контакты исполняются только как замыкающиеся. Мощность замыкания 350 *ва*. Мощность размыкания 50 *ва* переменного тока и 10 *вт* постоянного тока. Максимально допустимое напряжение 250 *в*.

Расстояние между контактами (ход контактов) 1—1,2 *мм*.

УДУНТ (ДІІТ)

10. Реле мощности ИМ-43, ИМ-44 и ИМ-45

Момент реле пропорционален $UI\cos\varphi$. Реле применяется в качестве реле мощности в схемах защиты от замыканий на землю.

Тип	Пределы регулировки мощности трогания в *вт*	Номинальное напряжение в *в*	Длительно допустимый ток в *а*	Сопротивление токовой обмотки в *ом*		Мощность, потребляемая обмоткой напряжения при номинальном напряжении	
				Последовательное соединение	Параллельное соединение		в *вт*
ИМ-43	0,15—0,6[1]	60	1,5	8[2]	2	30	6
ИМ-44	0,25—1,0	100	1,5	8	2	30	6
ИМ-45	0,50—2,0	100	2,5	2	0,5	30	6

Примечания: 1. Мощность трогания без дросселя. При включении дросселя ВУ-16 последовательно с обмоткой напряжения мощность трогания увеличивается соответственно до 0,3—1,2 *вт* и поминальное напряжение до 120 *в*.

2. Для токовой обмотки $\frac{x}{z} = 0{,}72$.

Время действия реле при мощности, близкой к мощности трогания (1,1) около 5—8 сек. при 3-кратной мощности 1 сек. и при 10-кратной 0,5 сек Мощность контактов реле не выше 10 *вт*. При уставках реле на малую чувствительность контакты реле могут замкнуться от механических сотрясений основания реле. Поэтому при эксплоатации реле необходимо принимать меры для устранения даже случайных сотрясений или применять схемы защиты с блокировкой от механических сотрясений.

11. Реле мощности ИМ-142

Реле применяется в качестве реле направления в схемах защиты линий.

Включение напряжения на зажимы: (см. фиг. 63)	Момент реле	Мощность трогания в *вт*		Ток срабатывания реле при напряжении удерживающей системы 100 *в* на наивыгоднейшем угле φ в *а*	Минимальное напряжение рабочей и удерживающей обмоток в *в*	Номинальный ток в *а*
		при 5 *а*	при 100 *а*			
6—10	$UI\cos(\varphi + 15°)$	4,8	70	$7{,}5 \pm 0{,}5$	100	5
5—10	$UI\cos(\varphi + 45°)$	5	80	10 ± 1		

Потребление. Цепь тока — 2 *ва* при 5 *а*. Рабочая катушка 30 *ва* при 100 *в*. Удерживающая катушка 30 *ва* при 100 *в*.

Термическая устойчивость: а) токовая обмотка допускает длительный ток 10 *а*, ток в течение 1 сек. — 400 *а*; б) обмотки напряжения длительно выдерживают 110 *в*.

Контакты реле могут замыкать ток 4 *а* и размыкать 100 *ва* при напряжении до 220 *в*. При использовании нормально замкнутых контактов необходимо увеличить момент пружинки реле (указатель на шкале повернуть до правого упора). Мощность трогания реле при этом увеличится до 8 *вт*.

УДУНТ (ДИИТ)

Время действия при 1,5-кратной мощности трогания — 0,5 сек. на замыкание и 0,04 сек. на размыкание. При 10-кратной мощности время соответственно 0,2 и 0,03 сек.

12. Реле мощности ИМ-143

Момент реле пропорционален $UI\cos(\varphi + 12°)$. Реле применяется в качестве реле мощности в схемах защиты от замыканий на землю.

Тип реле	Пределы регулировки мощности трогания в *вт*		Сопротивление токовой обмотки в *ом*		Мощность потребления обмоткой напряжения при 100 *в*		Длительно допустимое напряжение в *в*	Односекундный ток токовых обмоток в *а*	
	Соединение токовых обмоток		Соединение токовых обмоток					Соединение токовых обмоток	
	последовательное	параллельное	последовательное	параллельное	*ва*	*вт*		последовательное	параллельное
ИМ-143/1	0,15–0,6	0,3—1,2	9	2,3	34	6,2	110	50	100
ИМ-143/2	1— 4	2— 8	0,3	0,08	34	6,2	110	200	400
ИМ-143/3	5—20	10—40	очень мало	очень мало	34	6,2	110	300	600

Контакты реле могут замыкать ток 4 *а* и размыкать 60 *ва* при напряжении до 220 *в*. Контакты реле могут замкнуться от механических сотрясений реле. Для уменьшения влияния механических сотрясений рекомендуется укрепить на неподвижные упоры диска замшу или фетр для уменьшения упругого удара. Время действия реле при 1,5-кратной мощности трогания 1 сек. и при 10-кратной 0,2 сек.

13. Трехфазное реле мощности ИМ-302

Реле применяется в качестве реле направления в схемах защиты линий.

Включение напряжения	Момент реле	Мощность трогания на фазу в *вт*		Ток срабатывания реле при трехфазном напряжении 100 *в* и наиболее выгодном угле сдвига φ в *а*	Номинальное напряжение работающих и удерживающих обмоток в	Номинальный ток в *а*
		при 5 *а*	при 100 *а*			
Непосредственно на зажимы реле . . .	$UI\cos(\varphi + 15^\circ)$	3	100	7,5±0,5	100	5
Через добавочное сопротивление (ВУ-45 $R = 500$ *ом*) .	$UI\cos(\varphi + 45^\circ)$	3,5	120	10±1		

Потребление. Цепь тока каждой фазы 0,6 *ва* при 5 *а*. Рабочая катушка каждой фазы 15 *ва* при 100 *в*.

Термическая устойчивость: а) токовая обмотка допускает длительно ток 5 и 100 *а* в течение 1 сек.; б) обмотки напряжения длительно выдерживают 110 *в*.

Контакты реле замыкают ток 4 *а* и размыкают 100 *ва* при напряжении до 220 *в*.

УДУНТ (ДІІТ)

Время действия реле при 1,5-кратной мощности трогания 0,85 сек. на замыкание и 0,1 сек. на размыкание. При 10-кратной мощности соответственно 0,23 и 0,04 сек.

14. Тепловое реле ТТ-20

Номинальный ток реле в *а*	Пределы регулировки тока трогания	Тип реле	
		Реле с замыкающимися контактами	Реле с размыкающимися контактами
20	16— 24	ТТ-22/20	ТТ-21/20
30	24— 36	ТТ-22/30	ТТ-21/30
40	32— 48	ТТ-22/40	ТТ-21/40
50	40— 60	ТТ-22/50	ТТ-21/50
60	48— 72	ТТ-22/60	ТТ-21/60
80	64— 96	ТТ-22/80	ТТ-21/80
100	80—120	ТТ-22/100	ТТ-21/100
125	100—150	ТТ-22/125	ТТ-21/125
150	120—180	ТТ-22/150	ТТ-21/150
200	160—240	ТТ-22/200	ТТ-21/200
Реле изготовляются для токов от 200 до 2000 *а* с регулировкой 80—120%		ТТ-32/—	ТТ-31/—

а) Изоляция реле рассчитана для непосредственного включения в цепь с рабочим напряжением до 600 *в*.

б) При подключении реле к трансформатору тока с номинальным вторичным током 5 *а* применяется реле ТТ-22/20 или ТТ-21/20, включаемые через повышающий автотрансформатор ВУ-21 или ВУ-22.

в) Термическая устойчивость. Реле выдерживает 30-кратный ток в течение 1 сек.

г) Контакты: замыкание 10 *а* при напряжении не выше 600 *в*; размыкание 200 *ва* при максимальном напряжении 200 *в* и 50 *ва* при 500 *в*.

15. Автотрансформаторы ВУ-21 и ВУ-22

Тип	Ток в первичной обмотке в *а* — Положение штепселя							Ток вторичной обмотки (ток в реле) в *а*
	1	2	3	4	5	6	7	
ВУ-21	2,1	2,25	2,5	2,75	3.0	3,25	3,5	20
ВУ-22	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	20

а) Потребляемая мощность при токе в первичной обмотке 5 *а*. При подключении к вторичной обмотке реле ТТ-21/20 или ТТ-22/20.

ВУ-21 положение штепселя 1—160 *ва*
ВУ-21 „ „ 7— 55 „
ВУ-22 „ „ 1— 58,5 „
ВУ-22 „ „ 7— 28,5 „

б) Термическая устойчивость 100 *а* в течение 1 сек.

16. Тепловое реле ТТ-11 и ТТ-12

Реле ТТ-11 — однофазное с одним нагревательным элементом.

Реле ТТ-12 — двухфазное с двумя нагревательными элементами.

а) Изоляция реле рассчитана для непосредственного включения реле в цепь с рабочим напряжением до 600 *в*.

б) Номинальный ток реле определяется типом нагревательного элемента (НЭ-105) и может быть изменен в пределах от 0,6 до 130 *а*. Реле выдерживает 8-кратный ток в течение 1 сек.

в) Ток трогания реле желательно выбирать не ниже 175% номинального тока.

г) Контакты реле действуют на размыкание. Мощность размыкания 100—150 *вт* постоянного тока при напряжении до 500 *в* и 250 *ва* переменного тока напряжением до 500 *в*.

УДУНТ (ДИТ)

17. Реле максимального импеданца мгновенного действия ИИ-120

а) Собственное время действия реле около 0,05 сек.

б) Ток надежной работы реле не менее 5—10 *а*.

в) Коэфициент возврата при токе не менее 10 *а* не ниже 0,30

г) Мощность контактов 10 *ва* при напряжении до 220 *в*.

Тип	Пределы регулирования импеданца трогания в *ом*	Соединение обмоток напряжения	Потребление в *ва*: цепь напряжения при 100 *в*	Потребление в *ва*: цепь одной обмотки при 5 *а*	Односекундный ток в *а*
ИИ-121	0,2—1,2	Параллельное . . .	140	0,25	350
	0,4—2,4	Последовательное .	29	0,25	350
ИИ-122	0,6—3	Параллельное . . .	12,5	0,25	350
	1,2—6	Последовательное .	4,0	0,25	350

18. Реле максимального импеданца с зависимой характеристикой ИИ-50

Тип	Номинальный ток в *а*	Номинальное напряжение в *в*	Предельное значение вторичного импеданца в *ом*	Выдержка времени в секундах: Пределы регулирования	Выдержка времени в секундах: Точность	Пусковой орган: Пределы регулирования в *а*	Пусковой орган: Коэфициент возврата	Пусковой орган: Точность установки в %	Напряжение источника постоянного тока, для которого изготовляется реле, в *в*	Потребляемая мощность: Токовая цепь в *ва*	Потребляемая мощность: Цепь напряжения при 40 *в* в *ва*	Потребляемая мощность: Цепь постоянного тока в *вт*
ИИ-51	5	100	3—6—9—12—18	0,3—11	±0,2	7,5—15	0,8	8	24, 48, 110 и 220	1	40	25
ИИ-52	5	100	1,5—3—4,5—6—9	0,3—11	±0,2	7,5—15	0,8	8	24, 48, 110 и 220	1	80	25
ИИ-53	2,5	100	3—6—9—12—18	0,3—11	±0,2	3,5— 7	0,8	5	24, 48, 110 и 220	4	80	25

Термическая устойчивость. Цепь тока выдерживает длительно двухкратный номинальный ток.

В течение 1 сек. — 150-кратный ток.

Цепь напряжения не рассчитана для длительного включения и выдерживает номинальное напряжение в течение 30 сек.

Контакты. Мощность замыкания и размыкания не выше 20 *ва*.

УДУНТ (ДІІТ)

19. Реле времени ЭВ-180

Тип	Количество контактов		Пределы регулировки времени в сек.	Потребляемая мощность в *вт*	Мощность контактов	
	мгновенного действия	с регулируемой выдержкой времени			ток замыкания в *а*	мощность размыкания в *вт*
ЭВ-181	—	1	0,25 — 4	40	10	200
ЭВ-182	—	1	0,5 —10	40	10	200
ЭВ-186	1	2	0,25— 4	40	1	20
ЭВ-187	1	2	0,5 —10	40	1	20

а) Реле изготовляются на номинальные напряжения постоянного тока 24, 48, 110 и 220 *в*. Реле надежно работает при понижении напряжения до 65% номинального напряжения.

б) Обмотка реле рассчитана на кратковременную работу (не более 30 сек.).

в) Обмотка реле времени переменного тока (ЭВ-200) потребляет при номинальном напряжении: начало работы 120 *ва* — 100 *вт*, при втянутом якоре 70 *ва* — 60 *вт*.

Реле времени РВ

Тип	Номинальное напряжение постоянного тока, на которое изготовляется реле, в *в*	Пределы регулировки выдержки времени в секундах	Потребляемая мощность в *вт*	Максимальный ток замыкания контактов в *а*	Мощность размыкания контактов при максимальном напряжении 220 *в* в *ва*
РВ	24; 48 110 и 220	0,5—3 или 2—10	45	5	200

Реле не допускает длительного обтекания катушки током.

20. Промежуточные реле РП и РУ

Тип	Число пар нормально замкнутых контактов	Число пар нормально разомкнутых контактов	Номинальное напряжение постоянного тока, на которое изготовлено реле, в *в*	Потребляемая мощность в *вт*	Собственное время действия реле в секундах	Контакты	
						Мощность размыкания при максимальном напряжении 250 *в* в *ва*	Максимальный ток замыкания в *а*
РП-2	1	2	24; 48 110 и 200	5,5	0,05	1 000	15
РП-2а	2	2					
РУ-1	—	2	24; 48 110 и 220	5,5	0,05	1 000	15
РУ-1а	2	2					
РУ-2	2	2	24; 48 110 и 220	4	0,05	1 000	15
РУ-2а	2	2					

Реле длительно выдерживает номинальное напряжение.

Реле надежно работает при отклонениях от номинального напряжения + 10% и —15%.

УДУНТ (ДИТ)

21. Промежуточное реле ЭП-231

а) Реле изготовляется на номинальное напряжение 24, 48, 110 и 220 *в* постоянного тока. Реле работает при 70% номинального напряжения. Обмотка реле длительно выдерживает напряжение на 10% выше номинального.

б) Потребляемая мощность при номинальном напряжении 6 *вт*.

в) Реле имеет четыре переключающихся контакта. Время замыкания нормально разомкнутых контактов 0,03—0,08 сек. Время размыкания контактов 0,02 — 0,04 сек.

г) Длительно допустимый ток контактов 15 *а*. Мощность замыкания контактов на постоянном и переменном токе 2200 *ва*. Мощность размыкания 1 500 *ва* при переменном токе и 70 *вт* на постоянном токе при напряжении до 220 *в*. Мощность контактов на размыкание может быть увеличена применением двухкратного разрыва цепи.

22. Промежуточные реле ЭП-240

а) Реле изготовляются на напряжение 24, 48, 110 и 220 *в* постоянного тока и 20, 110, 220 *в* переменного тока. Реле надежно работает при 70% номинального напряжения. Обмотка реле рассчитана на кратковременный режим работы.

б) Для постоянного тока исполняются реле ЭП-241 и ЭП-246. Для переменного тока исполняются реле ЭП-242 и ЭП-247.

в) Потребляемая мощность обмоткой реле при номинальном напряжении 8 *вт* для реле постоянного тока и 13 *ва* для реле переменного тока.

г) Реле ЭП-241 и ЭП-242 имеют одну пару нормально разомкнутых контактов, при помощи которых можно замыкать две цепи, имеющие одну общую точку. Реле ЭП-246 и ЭП-247 имеют одну пару нормально замкнутых и одну пару нормально разомкнутых контактов.

д) Собственное время действия реле около 0,04 сек. на замыкание и 0,02 сек. на размыкание (возврат).

е) Мощность замыкания контактов на постоянном и переменном токе 1 000 *ва*. Мощность размыкания 300 *ва* для переменного тока и 70 *вт* для постоянного тока. Мощность размыкания контактов может быть увеличена применением двухкратного разрыва цепи.

23. Промежуточное реле ЭП-400

Реле исполняются двух типов:

ЭП-401 — мгновенного действия с собственным временем действия (срабатывание и возврат) около 0,02 сек.

ЭП-402 — с выдержкой времени при отпускании якоря от 0,25 до 0,5 сек. в зависимости от контактной системы (с меньшим числом контактов — большая выдержка).

Реле каждого типа имеет следующее количество контактов:

Тип реле		ЭП-401/1 ЭП-402/1	ЭП-401/2 ЭП-402/2	ЭП-401/3 ЭП-402/3	ЭП-401/4 ЭП-402/4	ЭП-401/5 ЭП-402/5
Количество контактов	Нормально замкнутые	1	—	—	—	—
	Нормально разомкнутые	2	1	3	2	6
	Переключающиеся . .		3	3	5	3

УДУНТ (ДІІТ)

Обмотки реле изготовляются на напряжение 24—110—220 *в* постоянного тока и рассчитаны на длительное включение. Потребляемая мощность около 3,5 *вт* при номинальном напряжении. Мощность контактов на размыкание 50 *вт* постоянного тока и около 100 *ва* переменного тока при напряжении до 220 *в*.

24. Блинкер ЭС-90

Сериесный блинкер типа ЭС-91

Номинальный ток в *а*	Сопротивление катушки при 25° С в *ом*	Падение напряжения в катушке при номинальном токе в *в*	Тип блинкера
0,02	1 350	27	ЭС-91/3
0,04	350	14	ЭС-91/4
0,07	150	10,5	ЭС-91/5
0,10	75	7,5	ЭС-91/6
0,14	35	5,0	ЭС-91/7
0,19	17	3,23	ЭС-91/8
0,27	7	1,89	ЭС-91/9
0,35	5	1,75	ЭС-91/10
0,55	2	1,10	ЭС-91/11
0,8	1,0	0,8	ЭС-91/12
1,2	0,4	0,48	ЭС-91/13
2,7	0,08	0,22	ЭС-91/14
7,0	0,02	0,14	ЭС-91/15

Максимально допустимый длительный ток равен двухкратному номинальному.

Максимальный ток в течение 1 сек. равен 50-кратному номинальному.

Блинкер еще надежно срабатывает при токе в 80% от номинального.

Мощность контактов около 150 *вт*.

Шунтовой блинкер типа ЭС-92

Номинальное напряжение в *в*	Потребляемая мощность в *вт*	Тип блинкера
12—25	2	ЭС-92/4
25—50	2	ЭС-92/3
110	2	ЭС-92/2
220	2	ЭС-92/1

Блинкер может быть длительно включен на напряжение.

Блинкер еще надежно срабатывает при напряжении в 80% номинального.

Мощность контактов около 150 *вт*.

УДУНТ (ДІІТ)

25. Реле ИТ-21, ИТ-22, ИТ-25, ИТ-26

Исполнение	Тип	Пределы регулировки тока трогания в *а*	Номинальный ток реле при 50 герцах в *а*	Длительно допустимый ток в *а*	Допустимый ток в течение 1 сек. в *а*	Потребление в *ва*	Мощность контактов на замыкание в *ва*
1							
Для защиты:							
Трансформатора	ИТ-21	2—5	5	5	250	15	350
	ИТ-22	2—5	5	10	350	8—10	350
Линий	ИТ-25	4—7,5	5	10	350	4	350
	ИТ-26	1,5—3	5	10	350	25	350

Примечание. Реле типа ИТ-21 и ИТ-25 имеют первичную катушку с тремя выводами. Токи трогания для этих типов реле приведены для тока в одной половине катушки.

26. Электромагнитное балансное реле ЭБ-21/2

а) Ток трогания реле при отсутствии тормозного тока и напряжения около 3 *а*. При напряжении 100 *в* около 6 *а*.

б) Торможение равно около 25% при отсутствии удерживающего напряжения. При наличии напряжения торможение увеличивается.

в) Время действия реле около 0,02—0,01 сек.

Длительно допустимый ток 5 *а*. Односекундный ток 250 *а*.

г) Удерживающая катушка напряжения с последовательно включенным сопротивлением ВУ-51 выдерживает длительно 110 *в*.

д) Блокирующая катушка постоянного тока рассчитана на номинальный ток 2 *а*, односекундный ток 30 *а*.

е) Потребляемая мощность. Цепь тока (рабочая и тормозная катушки) 12 *ва* при 5 *а*.

Удерживающая катушка напряжения с включенным сопротивлением ВУ-51 потребляет 10 *ва* при 100 *в*.

ж) Мощность контактов определяется термической устойчивостью блокирующей катушки постоянного тока (2*а* длительно, 30 *а* в течение 1 сек.).

27. Газовое реле ПГ-22

а) Реле применяется для газовой защиты трансформаторов мощностью от 560 *ква* и выше.

б) Контакты реле ртутные. Мощность контактов 60 *ва* для постоянного и переменного токов при напряжении не выше 220 *в*.

в) Присоединение к зажимам реле производится в герметической коробке. Внешняя подводка к коробке осуществляется в стальной трубе диаметром 5/8 дюйма, которая соединяется с коробкой винтовой резьбой.

г) Оба поплавка реле имеют грузы для регулировки. Грузом верхнего поплавка регулируется действие поплавка на сигнал при определенном объеме газа в резервуаре реле. Грузом нижнего поплавка регулируется срабатывание нижнего поплавка при определенной скорости движения масла в консерватор.

УДУЭТ (ДІІТ)

28. Автотрансформатор для диференциальной защиты

ВУ-25

Схема автотрансформатора (см. фиг. 31)

а) Номинальный ток 5 *а*. Длительно допустимый ток 10 *а*, в течение 1 сек. — 375 *а*.

б) Пределы регулировки коэфициента трансформации 1,62—0,62. Возможные переключения приведены в таблице:

Положение штепселя	Обозначение зажимов		Коэфициент трансформации	Положение штепселя	Обозначение зажимов		Коэфициент трансформации
	Первичное	Вторичное			Первичное	Вторичное	
7	II-III	H-Ia	1,625	1	H-II	H-III	1,0
7	H-III	H-I	1,6	1	H-IIa	H-III	0,98
6	H-III	H-Ia	1,585	2	H-II	H-III	0,96
6	H-III	H-I	1,54	2	H-IIa	H-III	0,94
5	H-III	H-Ia	1,525	3	H-II	H-III	0,93
5	H-III	H-I	1,5	3	H-IIa	H-III	0,91
4	H-III	H-Ia	1,47	4	H-II	H-III	0,89
4	H-III	H-I	1,45	4	H-IIa	H-III	0,875
3	H-III	H-Ia	1,41	5	H-II	H-III	0,86
3	H-III	H-I	1,39	5	H-IIa	H-III	0,845
2	H-III	H-Ia	1,365	6	H-II	H-III	0,83
2	H-III	H-I	1,34	6	H-IIa	H-III	0,81
1	H-III	H-Ia	1,315	7	H-II	H-III	0,805
1	H-III	H-I	1,292	7	H-IIa	H-III	0,79
7	H-III	H-IIa	1,268	1	H-I	H-III	0,775
7	H-III	H-II	1,24	1	H-Ia	H-III	0,76
6	H-III	H-IIa	1,236	2	H-I	H-III	0,742
6	H-III	H-II	1,23	2	H-Ia	H-III	0,73
5	H-III	H-IIa	1,19	3	H-I	H-III	0,72
5	H-III	H-II	1,165	3	H-Ia	H-III	0,71
4	H-III	H-IIa	1,145	4	H-I	H-III	0,692
4	H-III	H-II	1,122	4	H-Ia	H-III	0,68
3	H-III	H-IIa	1,1	5	H-I	H-III	0,666
3	H-III	H-II	1,068	5	H-Ia	H-III	0,655
2	H-III	H-IIa	1,064	6	H-I	H-III	0,642
2	H-III	H-II	1,036	6	H-Ia	H-III	0,63
1	H-III	H-IIa	1,02	7	H I	H-III	0,624
1	H-III	H-II	1,0	7	H-Ia	H-III	0,615

$$\text{Коэфициент трансформации} = \frac{I_{первичн}}{I_{вторичн}}.$$

УДУНТ (ДІІТ)

29. Автотрансформатор для диференциальной защиты АТД завода „Электроаппарат“

Схема автотрансформатора (см. фиг. 33)

Тип	Обозначение зажимов		Коэфициент трансформации	Обозначение зажимов		Коэфициент трансформации
	Первичн.	Вторичн.		Первичн.	Вторичн.	
АТД-I	В-1	А-Б	1,4	А-Б	В-1	0,71
	В-2	А-Б	1,35	А-Б	В-2	0,74
	В-3	А-Б	1,3	А-Б	В-3	0,77
	В-4	А-Б	1,25	А-Б	В-4	0,8
	В-5	А-Б	1,2	А-Б	В-5	0,83
	В-6	А-Б	1,15	А-Б	В-6	0,87
	В-7	А-Б	1,1	А-Б	В-7	0,91
	В-8	А-Б	1,05	А-Б	В-8	0,95
АТД-II	В-1	А-Б	2,	А-Б	В-1	0,5
	В-2	А-Б	1,9	А-Б	В-2	0,53
	В-3	А-Б	1,8	А-Б	В-3	0,56
	В-4	А-Б	1,7	А-Б	В-4	0,59
	В-5	А-Б	1,6	А-Б	В-5	0,62
	В-6	А-Б	1,55	А-Б	В-6	0,64
	В-7	А-Б	1,5	А-Б	В-7	0,67
	В-8	А-Б	1,45	А-Б	В-8	0,69
АТД-III	В-1	А-Б	1,6	А-Б	В-1	0,62
	В-2	А-Б	1,55	А-Б	В-2	0,64
	В-3	А-Б	1,5	А-Б	В-3	0,67
	В-4	А-Б	1,45	А-Б	В-4	0,69
	В-5	А-Б	1,4	А-Б	В-5	0,71
	В-6	А-Б	1,35	А-Б	В-6	0,74
	В-7	А-Б	1,3	А-Б	В-7	0,77
	В-8	А-Б	1,25	А-Б	Б-8	0,8

$$\text{Коэфициент трансформации} = \frac{i_{первичн}}{i_{вторичн}}.$$

Номинальный ток — 5 *а*.

УДУНТ (ДІІТ)

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Авария, определение 8
Автотрансформатор 37, 271
— ВУ-25 277

Балансная защита 113
Балансное реле 114, 276
Безаварийная работа электрических установок 7
Блинкер 85
— ЭС-90 275
Блокировка в схемах защиты генераторов 136
Бушинг 29
Быстрота действия релейной защиты 13

Ваттметр, измерение небольших токов 187
Время возврата реле 43
Вспомогательные реле 76
Вторичное реле 17

Газовая защита 150
Газовые реле 19, 86, 276
Гашение поля генератора 146
Генераторы, аварии 121
— защита 126
— перегрузка 122
Гольмгрина схема 33, 99
Гоэлро план 6

Двухфазные короткие замыкания 9
Дистанционная защита 115
Дистанционное реле 70
Диференциальная защита 103
токовая защита 110
Диференциальное реле с тормозной катушкой 106

Железо, пожар 11

Замыкание витков одной фазы 10
Защита агрегата генератор-трансформатор 132, 162
— генераторов 126
— двойных параллельных линий 110
— кольцевой сети 101
— коротких линий 103
— Мерц-Прайс 105
— моторов от понижения напряжения 171
— радиальной сети 90
— сети с двухсторонним питанием 101
— сложных сетей 115
— трансформаторов 149
— установок собственного расхода 163
Защитные устройства высокой частоты 117

Измерение сопротивления 192
— — изоляции 194
Измерения выдержки времени реле 216, 219
Измерительные трансформаторы 23
Импеданцное реле 70
Индукционные реле 40
Инерционный выбег реле 43
Испытание ваттметровых реле 226
— защитных устройств 240
— промежуточных реле 222
реле 209
Испытание реле максимального тока 214
— — трансформаторов 231
— электромагнитного реле 213
— — — времени 221

«Колонка» для испытания реле и приборов 207
Комплектное испытание защитных устройств 248
Конфигурация сетей 89
Короткие замыкания 9
— — в генераторах 126
Косинусное реле 60
Коэфициент возврата 42
— трансформации 24, 28

Магнито-электрическое реле 41
Максимальная защита генератора 130
Максимальные реле 44
— — КАМ 49
— токовые реле ИТ-80 55, 264
— — — ИТ-11 и ИТ-12 51, 264
— — РММ и РД 47, 264
— — — ЭТ-70 и ЭТ-60 45, 262
Маркировка проводов 21
Меггер 195
Мертвая зона 102
Механическая устойчивость реле 43
Монтажные схемы 21
Мощность контактов 43

Нагрузочные трансформаторы 202
Надежность релейной защиты 15
Настройка реле 212
Неправильная синхронизация, повреждение генератора 142
Несинхронное включение генератора 11

Обозначение реле 258
Однофазные замыкания на землю обмотки статора 130
Оперативный ток 19
Осмотр реле 202

Параметры реле 42
Первичные реле прямого действия 17
Перегрузки генератора 122
Плавкий предохранитель 15

УДУНТ (ДІІТ)

Повреждение в сетях 89
— — цепи возбуждения генератора 143
— генераторов 121
— трансформаторов 149
Повторное включение выключателей 119
Повышение напряжения генератора 141
Погрешности электроизмерительных приборов 177
Пожар в генераторе 142
Полярность зажимов измерительных трансформаторов, определение 35
Поляромер 196
Поперечно-дифференциальная защита 111
Потенциометры 203
Потребляемая мощность реле 43
Пределы измерения приборов 178
Проверка схем вторичной коммутации 241
Проверка шкалы напряжений трогань реле 217
— — реле 211
Промежуточное реле 81
— — РП и РУ 273
— — РТ-2 и РУ 82
— — ЭП-231 274
— — ЭП-240 81, 274
— — ЭП-400 84, 274
Промежуточный трансформатор 36
Протоколы испытаний реле 212

Размыкание вторичной обмотки трансформатора тока, условия 32
Реактанцное реле 71
— — ИР-104 75
Регулировочные автотрансформаторы 205
Реле 12
— активной мощности 60
— балансное 114, 276
— времени 18, 76
— — СВ 80
— — РВ 80
— — ЭВ-180 77, 273
— , время возврата 43
— вспомогательные 76
— газовые 19, 86, 276
— импедансное 70
— индукционные 40
— инерционный выбег 43
— испытания 209
— магнито-электрическое 41
— максимального импеданса ИИ-50 272
— — — ИИ-120 272
— максимальные 44
— механическая устойчивость 43
— мощности 19, 59
— — ИМ-41 и др. 60, 268 и далее
Реле направления 19
— напряжения 57
— — ИН-30 267
— — ИН-139, ИН-138 59
— — ЭН-70 и ЭН-60 265
— РЭ-100 83
— понижения напряжения ИП-138 268
— потребляемая мощность 43
— тепловое 41, 65
— термическая устойчивость 43
— термические 19
— точность 44
трансляй 107
— электродинамическое 41
— электромагнитные 40
Релейная защита 12
— — надежность 15
— чувствительность 14
Реостат 200

Секундомеры 189
Селективность релейной защиты 13
Синусное реле 60
Служба релейной защиты 23
Собственное время действия реле 42
Схемы включения трансформаторов напряжения 25
— — — тока 32
— оперативного тока 19

Тепловое реле 41, 65
— — ТТ-11 69
— — ТТ-11 и ТТ-12 271
— — ТТ-22 65
— — ТТ-20 271
Термоэлемент 185
Токовая отсечка 98
Ток возврата реле 42
— короткого замыкания мотора 167
— небаланса в диференциальной защите 105
— трогань реле 42
Точность измерительных приборов 176
Трансформатор Ферранти 34
Трансформаторы напряжения 23
— — погрешности 26
— тока 23, 179
— — погрешности 31
Указатель фазочередования 198
Характеристики реле 42
Чувствительность защиты от замыкания на землю 138
релейной защиты 14
Электрификация 5
Электрические станции СССР, мощность 6
Электродинамическое реле 41
Электроизмерительные приборы 175
Электромагнитные реле 39
Электронный вольтметр 189

УДУНТ (ДІІТ)

Ціна 7 руб.

Сканувала Тараненко Т,В,

УДУНТ
(ДІІТ)