ГУЛЛИКСЕН Ф. Г. и ВЕДДЕР Е. Г.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

ОНТИ • НКТП • СССР • 1937

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ГУЛЛИКСЕН Ф. Г. и ВЕДДЕР Е. Г

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО

ИНЖ. Л. С. ГОЛЬДФАРБА И В. В. СОЛОДОВНИКОВА

4904/2
4952
3

Утверждено ГУУЗ НКТП в качестве учебного пособия для энергетических втузов

Ок
им. Л.М. Кагановича

НКТП СССР

ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1937 ЛЕНИНГРАД

НБ УДУНТ (ДІТ)

INDUSTRIAL ELECTRONICS

BY

F. H. GULLIKSEN

MEMBER A. I. E. E.

AND

E. H. VEDDER

MEMBER A I. E. E.

Редактор инж. *А. А. Соколов.*
Технич. редактор *К. М. Шевелев.* Корректор *А. О. Моткова.*

ЭЭ - 55 - 5 - 2. Прот. ТКК № 112 от 27/VIII 1937 г.

Сдано в производство 17/VII 1937 г.
Подписано к печати 11/X 1937 г.
Формат бумаги $62 \times 94^{1}/_{16}$.
Количество печ. листов 13,25.
Количество бум. лист. $6^{5}/_{8}$.
Учетно-авторских лист. 16,97.

Колич.печ. зн. в 1 бум. л. 98.176.
Авторских листов 15,7.
Энергоредакция № 54.
Заказ № 2345.
Тираж 7 000. Учетный № 7473.
Уполн. Главлита № Б-19897.

4-я тип. ОНТИ НКТП СССР «Кр. Печатник». Ленинград, Международный, 75а

НБ УДУНТ (ДІТ)

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге описывается большинство наиболее важных современных применений электронных приборов в промышленности. Для каждого вида применений в качестве примера подробно рассматривается одна из существующих схем. В I и II части, в качестве вспомогательного материала, облегчающего понимание III и IV части, посвященных аппаратуре и ее применениям, вкратце описываются электронные приборы, их характеристики и основные схемы.

Книга полезна для инженеров-практиков, так как она указывает на способы использования электронной аппаратуры, могущие принести в производстве значительную пользу. Основываясь на материале, собранном в книге, можно дать очень интересный и полезный курс по электронной промышленной аппаратуре. Книгу можно также использовать в качестве дополнения к более полному курсу по электронным приборам.

Выражаем свою признательность нашим сослуживцам, работающим в Westinghouse Electric a. Manufacturing Co за представленные в наше распоряжение данные и снимки. Необходимо также указать на содействие в подборе материала и различных данных, оказанное нам различными фирмами. В тексте на это каждый раз делается соответствующая ссылка.

Ф. Гулликсен

Э Веддер

Ист Питтсбург, июль, 1935 г.

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Электронные приборы

	Стр.
Глава I. Фотоэлементы	9
1. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом	—
2. Чувствительность фотоэлемента .	10
3. Зависимость фототока от освещенности .	11
4. Спектральная чувствительность фотоэлементов	12
5. Срок службы фотоэлемента .	—
6. Фотоэлементы с тлеющим разрядом	—
7. Селеновые фотоэлементы	13
8. Фотоэлементы с запирающим слоем	15
Глава II. Вакуумные приборы	—
9. Катоды вакуумных приборов .	16
10. Кенотроны	—
11. Вакуумные лампы с управляющей сеткой . .	17
12. Характеристики вакуумных ламп с управляющей сеткой	—
13. Сеточный ток в вакуумных лампах .	18
14. Коэфициент усиления электронных ламп	19
15. Крутизна характеристики вакуумных ламп	20
16. Электронный электрометр .	—
17. Ионизационный манометр	21
18. Электронно-лучевые приборы	—
19. Рентгеновские трубки . .	23
Глава III. Газонаполненные приборы	—
20. Катоды газонаполненных приборов	—
21. Газотроны	25
22. Стеклянные ртутные выпрямители .	26
23. Металлические ртутные выпрямители	27
24. Газовые и ртутные тиратроны	—
25. Характеристики зажигания тиратронов .	29
26. Время ионизации и деионизации тиратронов	30
27. Лампы тлеющего разряда с холодным катодом . . .	31
28. Характеристики ламп тлеющего разряда с холодным катодом	—
29. Ртутные тиратроны с жидким катодом	32
30. Игнайтроны . .	—
31. Газонаполненные лампы	33

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Основные электронные схемы

Глава IV. Ламповые усилители	34
32. Основные методы управления анодным током при помощи сетки	35

НБ УДУНТ (ДІТ)

Стр.

33. Многокаскадные усилители на сопротивлениях . 36
34. Многокаскадные усилители с емкостной связью . . . 37
35. Многокаскадные усилители с трансформаторной связью 38
36. Усилители с многоэлектродными электронными лампами . . —
37. Трехэлектродная лампа как генератор электрических колебаний . 39
38. Мультивибратор 41
39. Модуляция и детектирование высокочастотных колебаний —

Глава V. Схемы с тиратронами 42
40. Схемы управления на постоянном токе —
41. Схемы управления на переменном токе 44
42. Схема управления релейного типа . 47
43. Схемы управления при помощи сдвига фазы . . 48
44. Импульсные схемы управления при помощи сдвига фазы 51
45. Многофазные схемы управления . . 52

Глава VI. Схемы с игнайтронами . . 56
46. Схемы зажигания игнайтора током нагрузки . —
47. Схема со вспомогательным источником зажигания . 58

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Электронная контрольно-измерительная аппаратура

Глава VII. Фотоэлектрические приборы контроля 60
48. Фотореле —
49. Источники света . . 66
50. Применения фотореле . 68
51. Применение фотореле на лифтах 70
52. Схема безопасного автоматического управления дверьми на лифте 71
53. Автоматическое регулирование искусственного освещения 72
54. Регулятор дневного освещения 75
55. Дверные автоматы . 78
56. Сортировка деталей 79

Глава VIII. Указательные и регистрирующие приборы . . . 80
57. Прибор для измерения освещенности 81
58. Фотометрирование ламп . . —
59. Индикатор и регистратор дыма 82
60. Электронный регистратор 83
61. Прибор для измерения прозрачности . 85
62. Цветокомпаратор 86
63. Катодный осциллоскоп 87
64. Телеметрия 90
65. Стробоскопы 92
66. Стандартный стробоскопический прибор 94

Глава IX. Выпрямители и преобразователи частоты 96
67. Маломощные выпрямители низкого напряжения —
68. Конструкция ртутных выпрямителей 97
69. Вакуумная насосная система 99
70. Форма волны напряжения и тока в цепи нагрузки выпрямителя . 100
71. К. п. д. ртутных выпрямителей . 105
72. Применение игнайтрона в качестве выпрямителя . —
73. Инверторы 108

Глава X. Контроль электросварочных аппаратов. 112
74. Аппараты для точечной сварки . . 113
75. Контроль и выдержка времени при точечной сварке . —
76. Электронный контроль сварочного контактора 114
77. Электронный контроль сварочных аппаратов . . . . —
78. Игнайтронное реле времени для контроля точечной сварки 116

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Стр.

79. Аппарат для шовной сварки 118
80. Контроль шовных сварочных аппаратов 119
81. Игнайтронное реле времени для шовной сварки . . . —
82. Основные характеристики игнайтронных реле времени 121

Глава XI. Управление освещением в театрах и движущимися рекламами 123
83. Тиратронный выпрямитель для контроля освещения в театрах 124
84. Управление движущимися рекламами 126

Глава XII. Различные применения . 127
85. Контроль нефтяных форсунок —
86. Контроль движения поездов 128
87. Реостатные и контактные контрольные приборы 131
88. Выпрямители для очистки газов . . . 133
89. Промышленные рентгеновские установки . 135

Глава XIII. Электронные реле 138
90. Автоматические синхронизаторы —
91. Реле времени 144
92. Прибор для измерения коротких промежутков времени 146
93. Реле защиты 147

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

Электронные регуляторы

Глава XIV. Основные принципы конструирования автоматических регуляторов 154
94. Элементы конструкции автоматических регуляторов —
95. Элементы конструкции электронных регуляторов . 156
96. Измерители напряжения . . . . —
97. Схемы для уничтожения колебаний . 161

Глава XV. Регуляторы напряжения . . . 163
98. Регуляторы напряжения переменного тока . . . . . —
99. Реостатный регулятор напряжения с лампой тлеющего разряда 164
100. Астатические электронные регуляторы напряжения 165
101. Устройство для температурной компенсации регулятора . 173
102. Импульсное реле для ударного возбуждения 175
103. Регулятор напряжения генератора постоянного тока 176

Глава XVI. Регуляторы скорости . . 180
104. Регуляторы для одномоторных приводов —
105. Регулятор многомоторного привода . 181
106. Выпрямитель для регулирования скорости . 183
107. Регулятор натяжения в намоточной машине . . 186
108. Реостатный регулятор скорости движения бумаги 187
109. Регуляторы частоты 188

Глава XVII. Фотоэлектрические регуляторы скорости подачи 190
110. Регуляторы скорости подачи в одном направлении . . . 191
111. Фотоэлектрические регуляторы для контроля подачи в двух направлениях 196

Глава XVIII. Регулирование процессов 201
112. Цветометрические регуляторы —

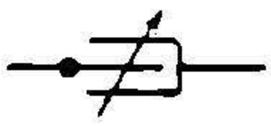
Глава XIX. Регуляторы температуры . . 206
113. Фотоэлектрические регуляторы температуры 207
114. Усиление напряжения небаланса мостиков и тока термопар 209
115. Тиратронный регулятор температуры . —

Алфавитный указатель . 210

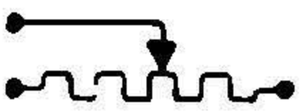
НБ УДУНТ (ДІІТ)

Обозначения составных элементов схем

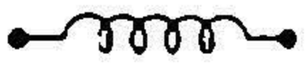

Конденсатор

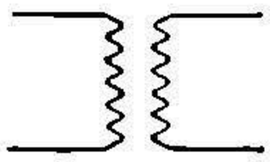

Переменный конденсатор

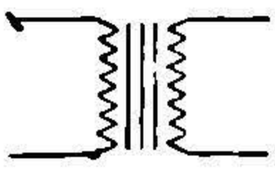

Сопротивление

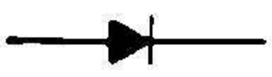

Переменное сопротивление

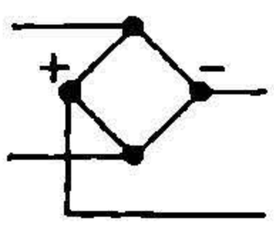
Катушка с железом


Катушка без железа

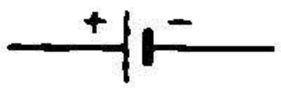

Воздушный трансформатор


Трансформатор с железным сердечником


Однополупериодный купроксный выпрямитель

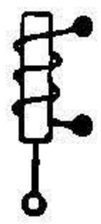


Двухполупериодный купроксный выпрямитель

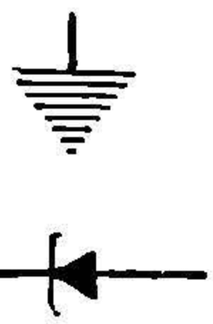


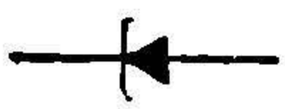
Батарея


Сопротивление (полное)


Соленоид


Шлейф осциллографа


Заземление


Закорачивающий плавкий предохран.

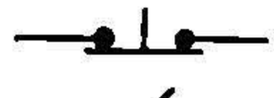
Разомкнутый рубильник


Блокировочный выключ. разомкнутый

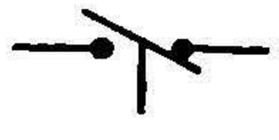

Блокировочный выключ. замкнутый

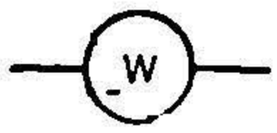

Разомкнутая нажимная кнопка

Замкнутая нажимная кнопка

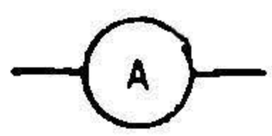

Нормально замкн. ограничит. выключ.


Нормально размкн. ограничит. выключ.

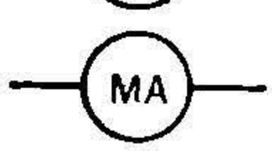

Переключатель



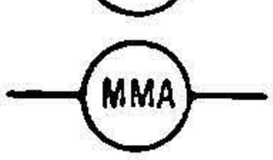
Ваттметр



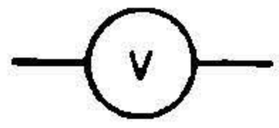
Амперметр



Миллиамперметр



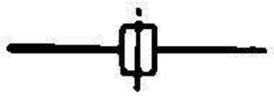
Микроамперметр

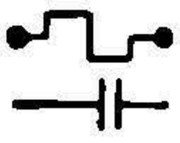


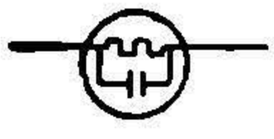
Вольтметр

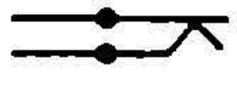

Катушка реле


Разомкнутые контакты реле

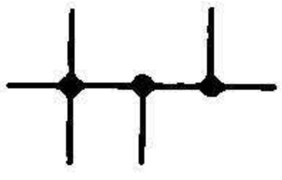

Замкнутые контакты реле

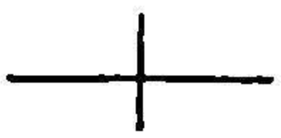

Термо-реле


Термо-реле


Джек

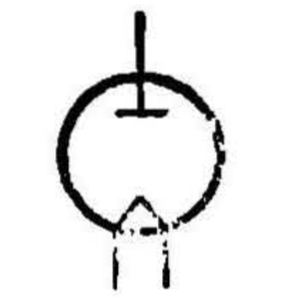
Зажим


Соединения проводов

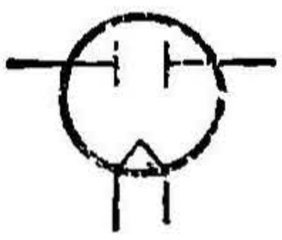

Пересечение несоединяющихся проводов

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Обозначения электронных приборов

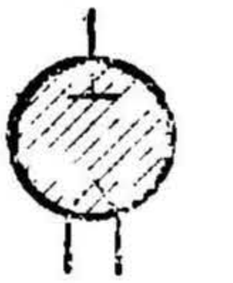


Однополупериодный

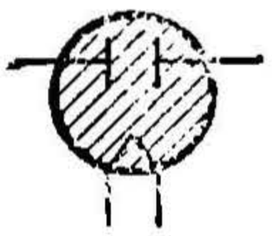


Двухполупериодный

Кенотроны

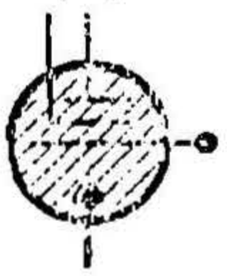


Однополупериодный

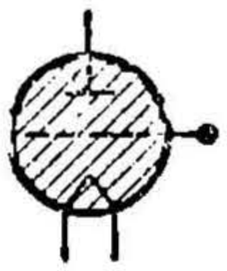


Двухполупериодный

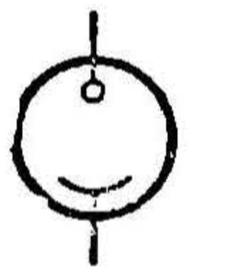
Газотроны



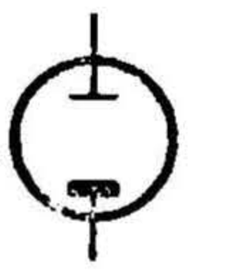
Лампа тлеющего разряда с холодным катодом



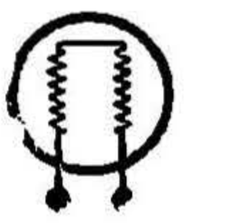
Тиратрон



Фотоэлемент с внешним фотоэффектом

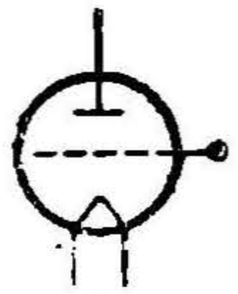


Фотоэлемент с запирающим слоем

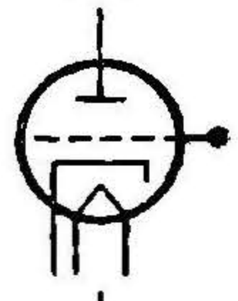


Барретер

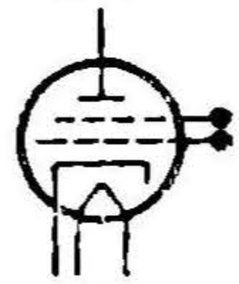
Усилительные лампы



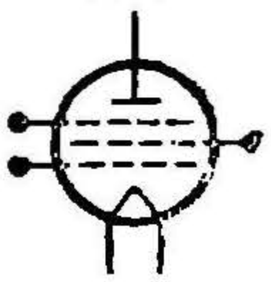
Трехэлектродная лампа



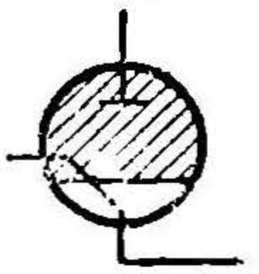
Трехэлектродная лампа с косвенным накалом



Экранированная лампа



Пентод



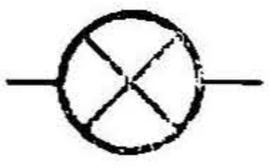
Неонатрон



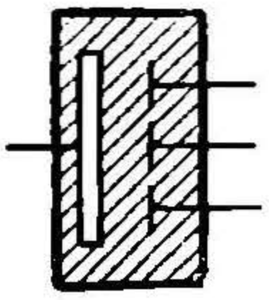
Выпрямительная лампа тлеющего разряда



Лампа тлеющего разряда



Лампа



Ртутный выпрямитель

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

В этой части нами будут вкратце рассмотрены характеристики различных типов электронных приборов. Все электронные приборы могут быть разделены на три основных класса. К первому классу относятся фотоэлементы, ко второму — высоковакуумные приборы и к третьему — газонаполненные приборы[1]. Класс фотоэлементов включает в себя все электронные приборы, чувствительные к свету. Класс высоковакуумных электронных приборов содержит все приборы, в которых создан высокий вакуум (за исключением вакуумных фотоэлементов). Класс газонаполненных приборов охватывает все электронные приборы (за исключением газонаполненных фотоэлементов), которые вначале откачиваются до высокого вакуума, а затем наполняются газом.

Глава I

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

1. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом. Фотоэлементом называется светочувствительный прибор, который при присоединении его к источнику напряжения пропускает ток в то время, когда он освещен. Наиболее широко применяемые фотоэлементы (фиг. 1) состоят из анода и катода, заключенных в колбу, из которой удален воздух, или колбу, наполненную газом при низком давлении. Катод состоит из вещества, обладающего способностью испускать электроны при освещении его светом определенной части спектра. Если к электродам фотоэлемента приложить напряжение так, чтобы анод находился при положительном, а катод при отрицательном потенциале, то электроны, вылетевшие из катода, под влиянием света, будут двигаться к аноду. Это означает, что если фотоэлементы включить в схему, показанную на фиг. 2, то через него потечет ток. Величина тока пропорциональна количеству света, падающему на катод (фиг. 4).

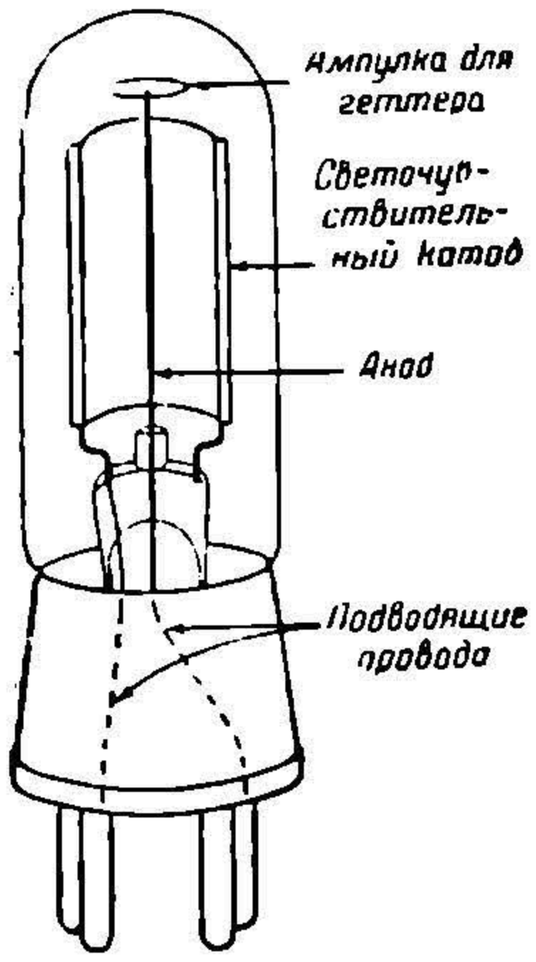
---

[1] Газонаполненные приборы точнее следует называть ионными приборами; ради краткости, в книге сохранен общий термин „электронные приборы", к которым относятся приборы как с электронной, так и с ионной проводимостью.

Прим. ред.

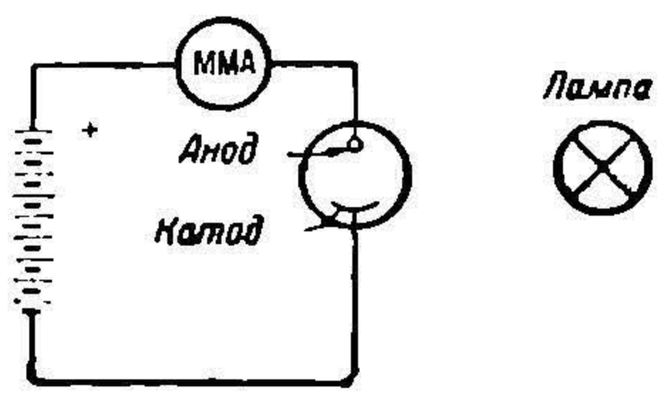
РЕПОЗИТОРИЙ УДУНТ (ДИТ)

Можно получить фотоэлементы, чувствительные в основном или только к ультрафиолетовому или только к инфракрасному свету. Большинство обычных фотоэлементов имеют сравнительно высокую чувствительность в области видимой части спектра и прилегающей к ней невидимой инфракрасной части. Фотоэлементы, применяемые для промышленных целей, должны быть возможно более чувствительны к красной части спектра, так как для большинства источников света, применяемых на практике, значительная часть испускаемой им световой энергии находится в красной части спектра. Фотоэлемент, обладающий такого рода спектральной характеристикой, может быть сделан либо вакуумным, либо газонаполненным.

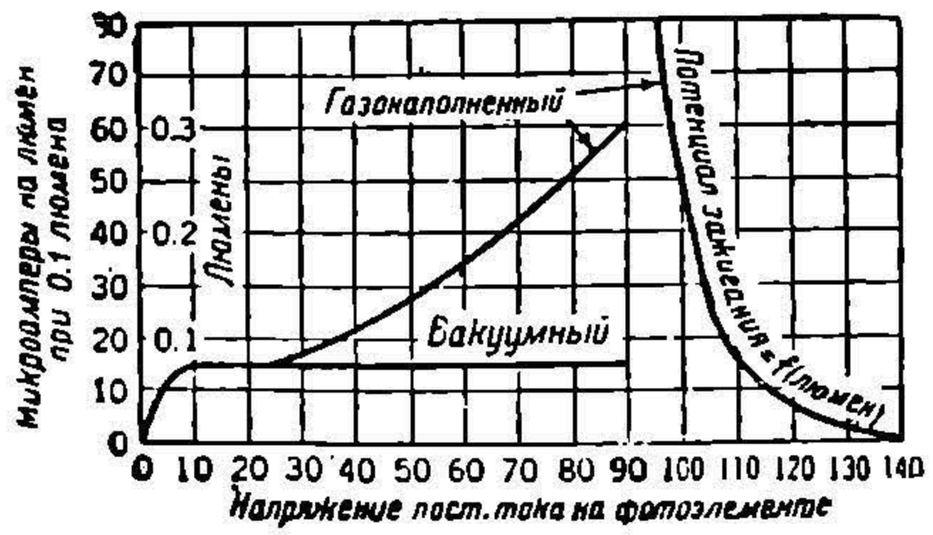


Фиг. 1. Конструкция фотоэлемента.

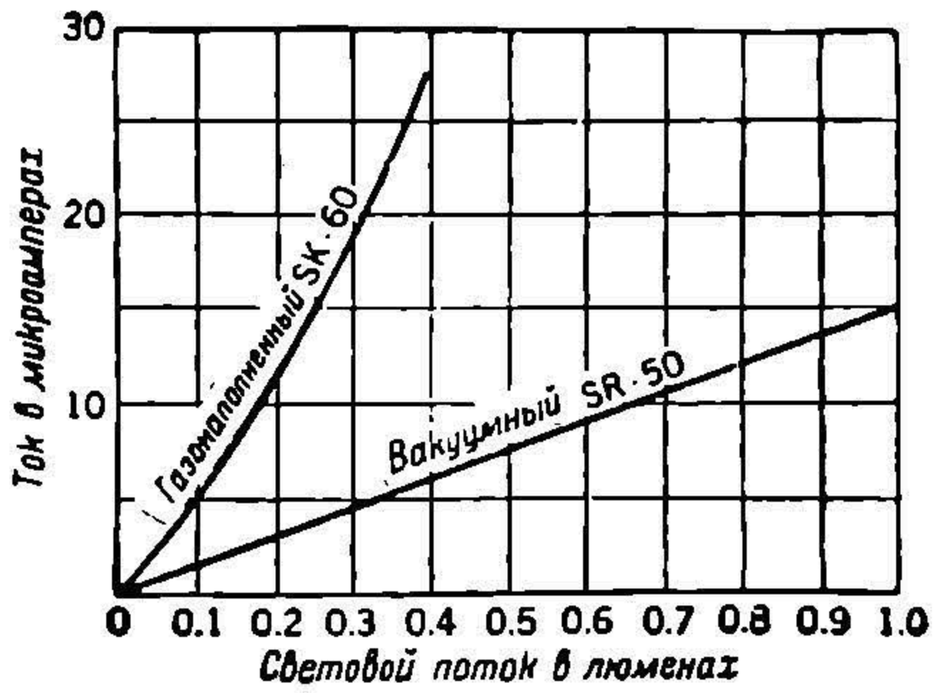
2. Чувствительность фотоэлемента. Чувствительность фотоэлемента, т. е. ток на единицу количества света (люмен), можно всегда измерить. Для того чтобы отнести результаты измерений к определенному спектру световой энергии, нужно в качестве источника света пользоваться лампой специальной конструкции, отградуированной при определенной температуре нити [1]. Свет от этого стандартного источника света направляется на катод фотоэлемента, и ток фотоэлемента отсчитывается при определенном напряжении. Чувствительность фотоэлемента в микроамперах на люмен определяется как частное от деления тока фотоэлемента на число люменов света, падающих на фотоэлемент.



Фиг. 2. Простая схема с фотоэлементом.



Фиг. 3. Характеристики — ток — напряжение — вакуумного и газонаполненного фотоэлементов.



Фиг. 4. Ток на выходе в функции от светового потока для вакуумного и газонаполненного фотоэлементов. Сопротивление в цепи фотоэлементов равно нулю. К обоим фотоэлементам приложено напряжение, равное 90 V (постоянного тока).

[1] Фотоэлектрические измерения обычно производятся с вольфрамовой лампой накаливания, имеющей цветовую температору 2 850° К. *Прим. ред.*

НЕ УДУНТ (ДІТ)

Кривые измерений чувствительности для вакуумных и газонаполненных фотоэлементов в зависимости от напряжения показаны на фиг. 3. Ток вакуумного фотоэлемента достигает почти полного насыщения при 20 V, и дальнейшее повышение напряжения уже практически не оказывает никакого влияния на величину тока при данном количестве света, падающем на фотоэлемент [1]. При напряжениях ниже 20 V между вакуумными и газонаполненными элементами практически нет никакой разницы. Кривые начинают расходиться в точке, соответствующей тому напряжению, при котором электроны, вылетающие из светочувствительной поверхности газонаполненного фотоэлемента, приобретают достаточную скорость для ионизации газа, находящегося на их пути. Ионизация вызывает добавочный или вторичный ток, наличие которого и объясняет различие между характеристиками обоих фотоэлементов. Коэфициентом газового усиления газонаполненного фотоэлемента называется отношение его чувствительности к чувствительности его до наполнения газом при данном напряжении, скажем, при 25 или 90 V (фиг. 3).

Кривая предельных значений напряжения, которое может быть приложено к газонаполненному фотоэлементу при различных световых потоках, дана на фиг. 3. Одно из существенных требований ко всем промышленным типам приборов с фотоэлементами заключается в том, чтобы напряжение на фотоэлементе было бы всегда ниже предельного значения, так как выше его наступает тлеющий разряд, изменяющий характеристики фотоэлемента.

Фотоэлементами можно пользоваться на переменном токе. Они не дают тока во время отрицательного полупериода, если только амплитуда напряжения ниже потенциала зажигания. Они не дают также тока и во время положительного полупериода, если фотоэлемент не освещен [2].

3. Зависимость фототока от освещенности. Кривые зависимости фототока от светового потока для вакуумных и газонаполненных фотоэлементов при нормальном напряжении даны на фиг. 4. В пределах изменения освещенностей, встречающихся на практике, ток, пропускаемый газонаполненными фотоэлементом, почти точно пропорционален освещенности. Однако при больших значениях освещенности чувствительность газонаполненного элемента слегка возрастает, между тем как чувствительность вакуумного фотоэлемента сохраняет свое постоянное значение. Почти строгая пропорциональность фототока количеству света при световых потоках ниже 0,2 lm позволяет выражать чувстви-

---

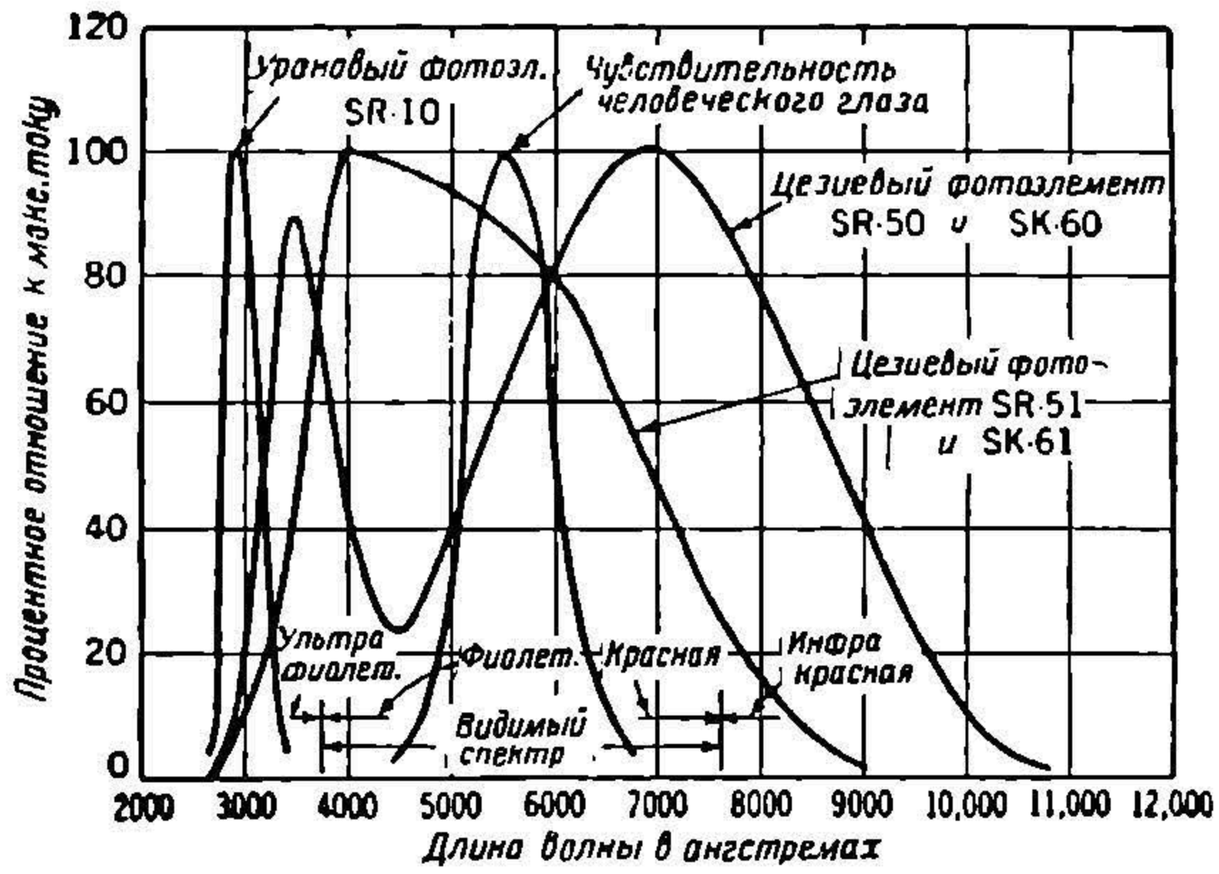
[1] Величина напряжения насыщения ваккумного фотоэлемента зависит от формы электродов и в фотоэлементах Электрозавода приблизительно равна 100 V. *Прим. ред.*

[2] Строго говоря, в фотоэлементе, имеется ток и при отсутствии освещения, который представляет собой ток термоионной эмиссии с фотокатода и ток утечки по стеклу колбы и по цоколю фотоэлемента. Величина темнового тока порядка 10^{-8}—10^{-9} А. Темновой ток значительно растет с увеличением температуры, влажности или напряжения. *Прим. ред.*

НВ УДУНТ (ДІІТ)

тельность фотоэлемента при данном напряжении и освещенности в микроамперах на люмен. Эту пропорциональность очень полезно иметь в виду при рассмотрении различных применений фотоэлементов [1].

4. Спектральная чувствительность фотоэлементов. Кривая спектральной чувствительности фотоэлемента показывает относительную чувствительность фотоэлемента к свету различной длины волны. На фиг. 5 приведено несколько типичных спектральных характеристик различных фотоэлементов. Среди них имеется кривая для фотоэлемента, чувствительного только к ультрафиолетовому свету. Однако этот фотоэлемент имеет ограниченную область применения из-за трудности получения источника света с достаточной интенсивностью в ультрафиолетовой части спектра, пригодного для широкого использования в промышленности.



Фиг. 5. Спектральные характеристики некоторых распространенных типов фотоэлементов.

5. Срок службы фотоэлемента. Чувствительность фотоэлемента с течением времени постепенно уменьшается. Это обстоятельство обычно учитывается при конструировании приборов с таким расчетом, чтобы обеспечить их непрерывную работу в течение не менее чем одного года. Испытания по определению срока службы различных фотоэлементов показывают, что величина освещенности мало влияет на срок службы, если только количество света не превышает того значения, при котором фототок превосходит максимальное, установленное для него, значение. Фотоэлемент портится, если на него падает очень интенсивное тепловое излучение. Большинство фотоэлементов выдерживают без всякого вреда температуру до 70° С. До этого предела чувствительность фотоэлементов не зависит от температуры [2]. Современные фотоэлементы могут выдерживать без изменения своих электрических характеристик почти любые механические сотрясения, если не считать прямых ударов.

6. Фотоэлементы с тлеющим разрядом. Фотоэлементы с тлеющим разрядом аналогичны газонаполненным фотоэлементам, но давление газа в них несколько выше, чем в последних. Они работают при таком напряжении между электродами, которое до-

---

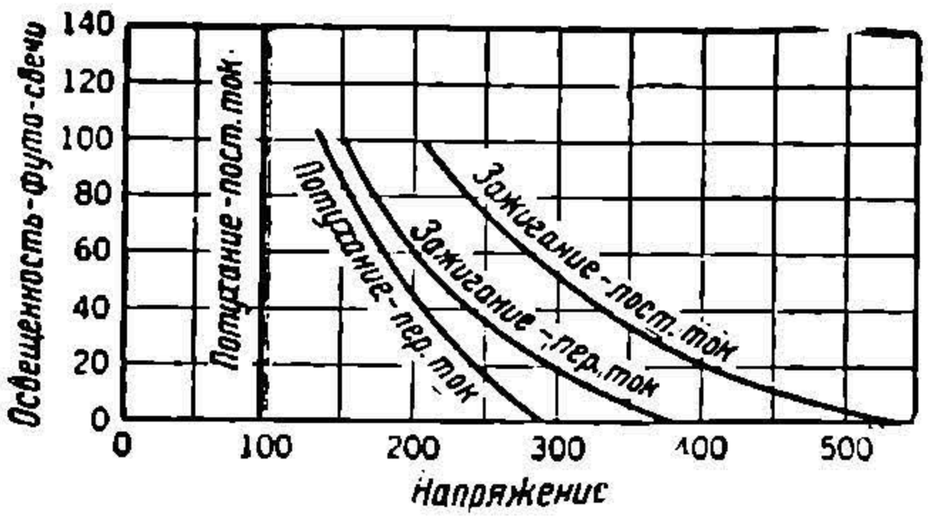
[1] Линейность световой характеристики фотоэлемента сильно искажается его усталостью и неравномерностью чувствительности в разных точках фотокатода. *Прим. ред.*

[2] Чувствительность фотоэлементов некоторых фирм, например, Электрозавода, значительно меняется с изменением температуры. *Прим. ред.*

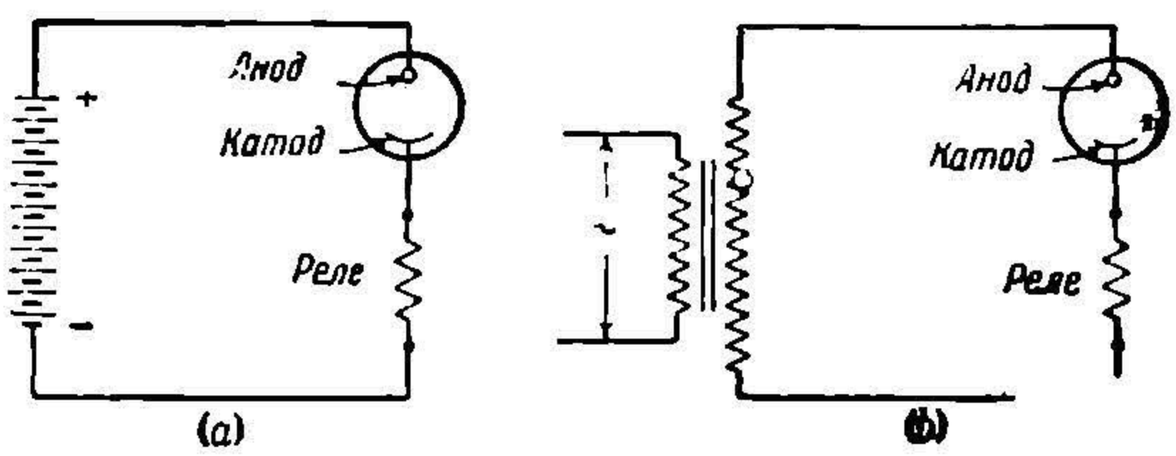
РБ УДУНТ (ДІТ)

статочно для того, чтобы электроны, вылетевшие из катода, могли бы ионизовать газ и вызывать тлеющий разряд. Ток таких фотоэлементов не пропорционален освещенности. Так как тлеющий разряд обладает характеристиками дуги при постоянном падении напряжения на ней, то величина тока при тлеющем разряде ограничивается только величиной сопротивления, включенного последовательно с фотоэлементом. Этот ток имеет достаточную величину для того, чтобы без предварительного усиления заставить сработать электромагнитное реле. Фотоэлементы с тлеющим разрядом имеют униполярную проводимость. Благодаря этому в схемах с фотоэлемента реле постоянного тока могут работать непосредственно от источника переменного тока.

Характеристики и схемы включения фотоэлементов с тлеющим разрядом приведены соответственно на фиг. 6, а схема включения его — на фиг. 7. Необходимо заметить, что фотоэлемент с тлеющим разрядом, для которого снимались кривые фиг. 6, характеризуется тем, что если освещение увеличивается до зна-



Фиг. 6. Освещенности, соответствующие зажиганию и потуханию фотоэлемента тлеющего разряда в функции от приложенного напряжения



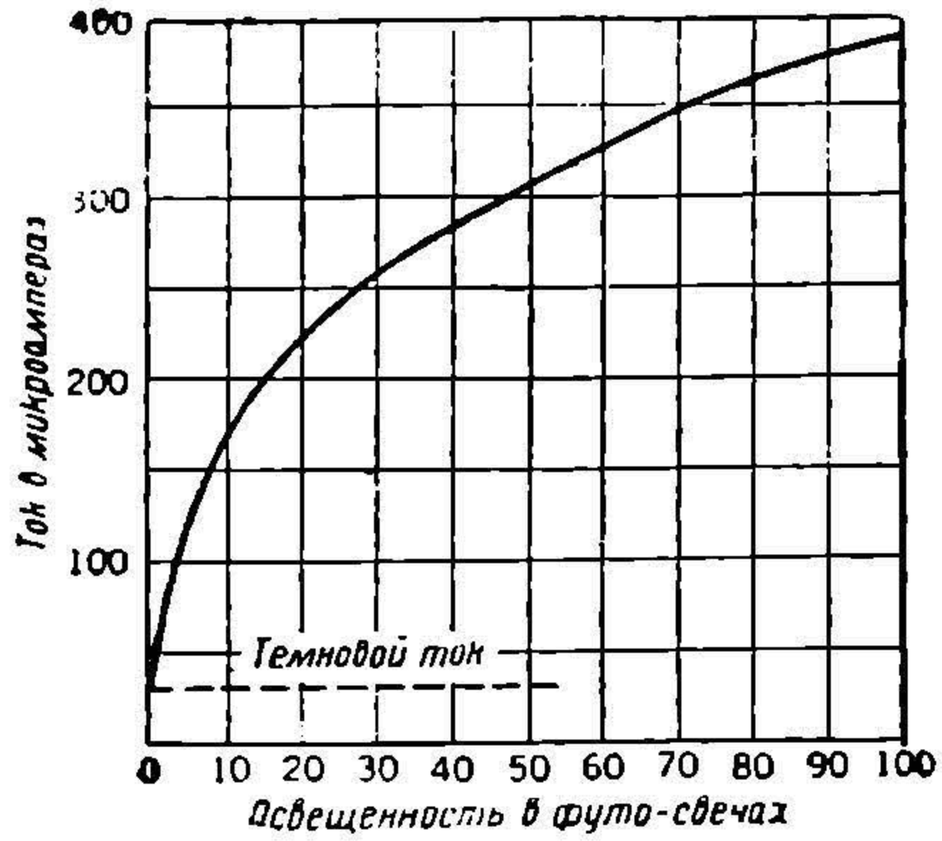
Фиг 7. Простые схемы с фотоэлементом тлеющего разряда.

чения, лежащего выше кривой зажигания, а затем уменьшается, но не ниже кривой потухания, то фотоэлемент продолжает пропускать ток. Это его свойство полезно для поддержания тока, возникшего благодаря быстрому изменению освещенности. В случае постоянного тока уменьшение освещенности не может вызвать прекращения тока (фиг. 6). Для того чтобы течение тока прекратилось, напряжение нужно уменьшить до значения, меньшего потенциала потухания на постоянном токе.

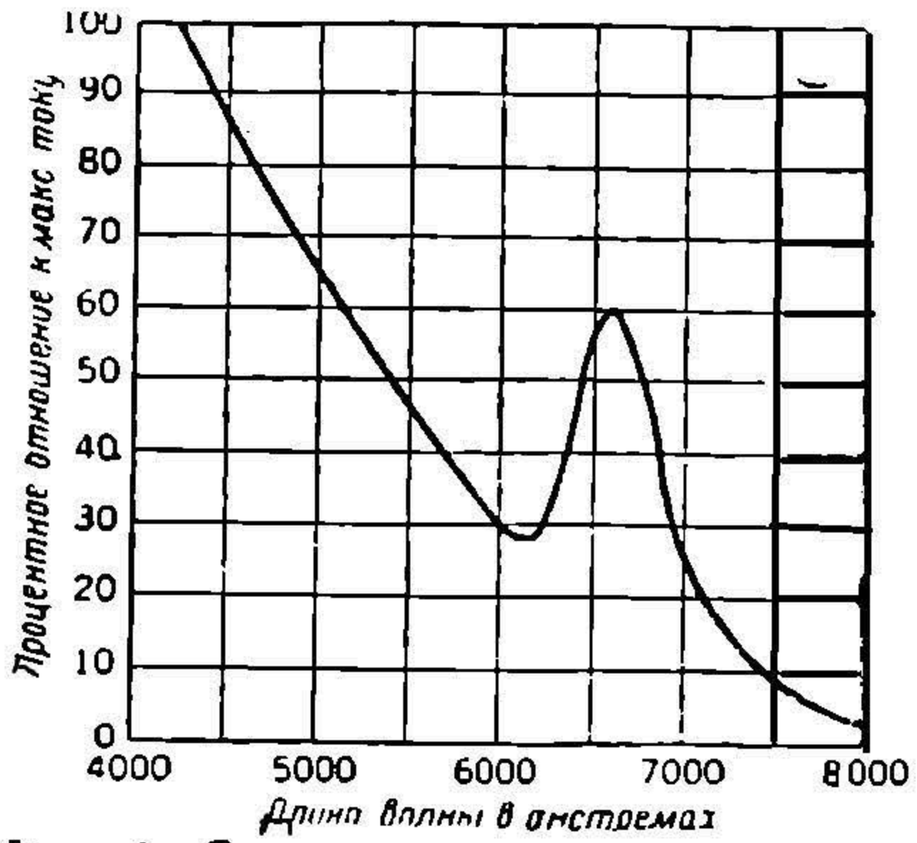
7. Селеновые фотоэлементы. Принцип действия селенового фотоэлемента заключается в том, что сопротивление металла — селена — изменяется в зависимости от количества падающего на него света. Кривая зависимости тока, пропускаемого обычным селеновым элементом, в функции от падающего на него света приведена на фиг. 8. Следует заметить, что селеновый фотоэлемент пропускает ток даже при отсутствии освещенности. Этот ток известен под названием темнового тока. Селеновые фотоэлементы медленно реагируют на изменения освещенности. В противоположность фотоэлементам с внешним фотоэффектом окончательное значение тока, соответствующее данной освещенности, в них устанавливается не сразу. Благодаря такого рода

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

запаздыванию, а также нелинейности характеристики, определяющей зависимость тока от освещенности, применение селено-

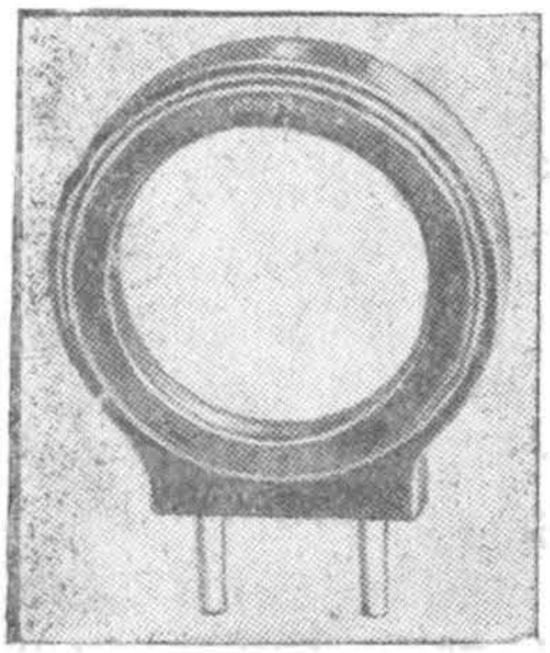


Фиг. 8. Зависимость тока селенового фотоэлемента от освещенности.

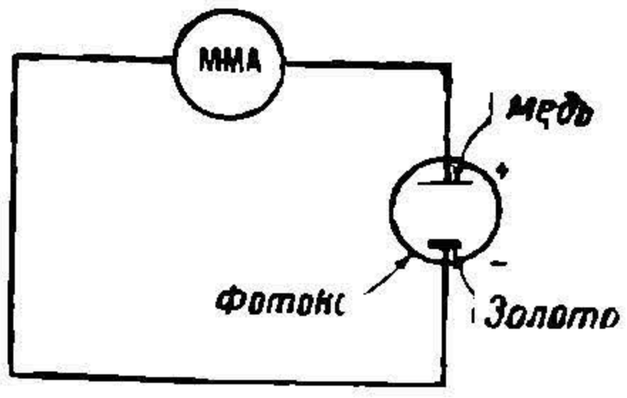


Фиг. 9. Спектральная характеристика селенового фотоэлемента.

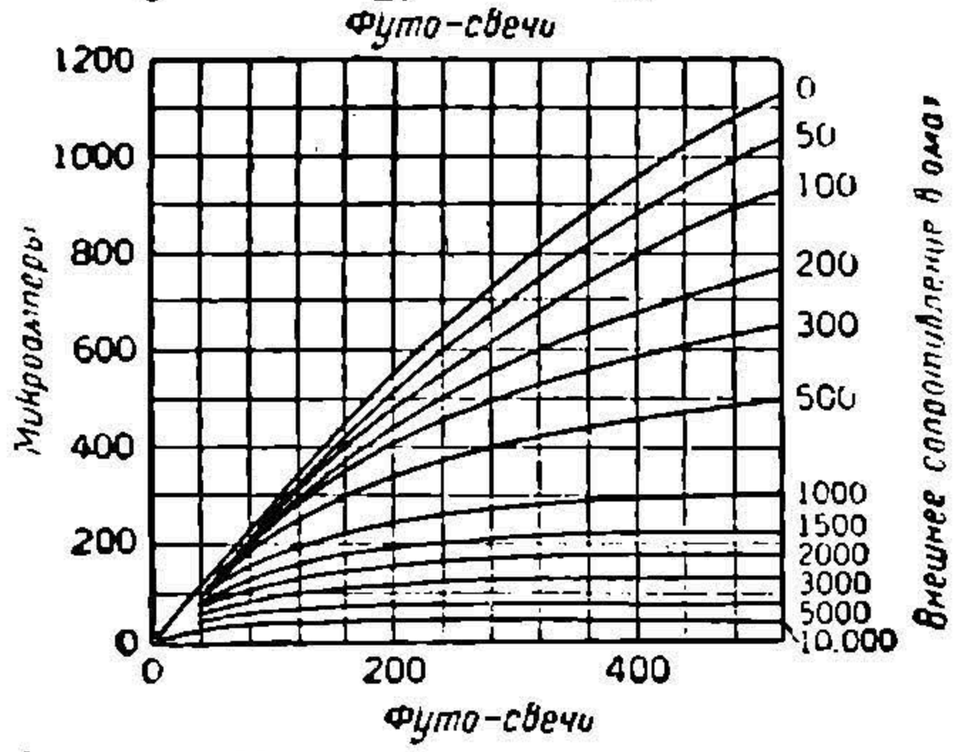
вых фотоэлементов несколько ограничено. Указанные два существенные недостатка селеновых фотоэлементов не окупаются даже основным их преимуществом, заключающимся в том, что при данном изменении освещенности мощность на выходе селенового фотоэлемента несколько больше мощности обычного фотоэлемента. Кривая спектральной чувствительности селенового фотоэлемента приведена на фиг. 9.



Фиг. 10. Фотокс.



Фиг. 12. Простая схема для фотоэлемента с запирающим слоем.



Фиг. 11. Кривые тока для фотоэлемента с запирающим слоем при различных значениях освещенности и внешнего сопротивления. Окно фотоэлемента имеет круглую форму площадью 0,02 кв. фута.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

8. Фотоэлементы с запирающим слоем. Характерная особенность фотоэлементов с запирающим слоем заключается в том, что они, будучи освещены, генерируют напряжение без помощи постороннего источника напряжения. Один из типов фотоэлементов с запирающим слоем представляет собой медный диск, покрытый слоем светочувствительного вещества — закисью меди, поверх которого нанесен слой золота, прозрачный для лучей света. Если такого рода элемент осветить и соединить проволокой слой золота с медью, то через проволоку от меди к золоту потечет ток. Таким образом, собрав схему, изображенную на фиг. 12, можно заставить реле или прибор реагировать на изменения света.

На фиг. 11 приведены кривые зависимости тока от освещенности для фотокса [1]. Кривая спектральной чувствительности фотоэлемента с запирающим слоем аналогична кривой спектральной чувствительности человеческого глаза, показанного на фиг. 5.

Фотоэлементы с запирающим слоем удобны для непосредственного воздействия на приборы и реле. Они особенно полезны в тех случаях, когда нельзя располагать обычными источниками напряжения. Применение этих фотоэлементов несколько ограничивается из-за малых значений генерируемых ими напряжений. Этот недостаток тем более существенен, что напряжение, получаемое на выходе фотоэлемента с запирающим слоем, нельзя усилить при помощи обычных недорогих усилителей.

Литература

«A New Selenium Tube», Metcalf and King, Electronics, December, 1931, pp 234—235.

«Use of Filter with Photoelectric Tubes», L. R. Koller, Rev. Sci. Instruments, March, 1931.

«Photocells and Their Application» Zworykin and Wilson, John Wiley & Sons, Inc., 1932.

«Photoelectric Phenomena», Hughes and Du Bridge, McGraw-Hill Book Co, Inc.

«Photoelectricity», A. H. Stanley, Longmans, Green & Co.

«Physics of Electron Tubes», L. R. Koller, McGraw-Hill Book Co., Inc.

«Photoelectric Cell Applications», Walker and Lance, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd.

«Ratings of Industrial Electronic Tubes», Pike and Ulrey, Elec. Eng., December, 1934, p. 1577.

«Photovoltaic Cells in Compound Circuits», E. D. Wilson, Electronics, April, 1935, p. 118.

Глава II

ВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ

Вакуумные приборы представляют собой электронные приборы, имеющие два или большее число электродов. В этих приборах электроны движутся в вакууме.

[1] Фотоксом называется меднозакисный фотоэлемент, изготовляемый фирмой Вестингауз.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Вакуумные приборы можно подразделить на: 1) кенотроны; 2) вакуумные лампы с сеткой; 3) электронно-лучевые приборы; 4) рентгеновские трубки и 5) лампы специального назначения, как, например, ионизационные манометры. Для промышленных применений наибольшее значение имеют кенотроны и усилительные вакуумные лампы.

9. Катоды вакуумных приборов. Для того чтобы лампа могла проводить ток через вакуум, она должна содержать элемент, который мог бы являться источником электронов. Подобным источником электронов в вакуумных лампах служит нить (или катод), нагреваемая электрическим током до температуры, при которой ее поверхность начинает излучать достаточное количество электронов. Если в лампу поместить другой электрод, называемый анодом, и между анодом и катодом приложить напряжение так, чтобы анод был положителен по отношению к катоду, то электроны, испускаемые катодом, будут двигаться по направлению к аноду. Однако, так как электроны представляют собой отрицательно заряженные частицы, то условно считают, что ток направлен от анода к катоду.

Детали конструкций катодов очень разнообразны и определяются типом лампы и ее назначением. Впервые катоды ламп изготовлялись из чистого вольфрама. Этот металл до сих пор идет на изготовление катодов в лампах, работающих при очень высоких анодных напряжениях, так как вольфрам может выдерживать сильную ионную бомбардировку. Лампы, работающие при низких анодных напряжениях, снабжаются теперь торированными катодами, так как катоды этого типа дают большую эмиссию, чем вольфрамовые катоды, и при низких анодных напряжениях подвержены незначительной ионной бомбардировке. Торированные катоды более прочны и лучше подходят для промышленных целей, ибо работают при сравнительно низкой температуре.

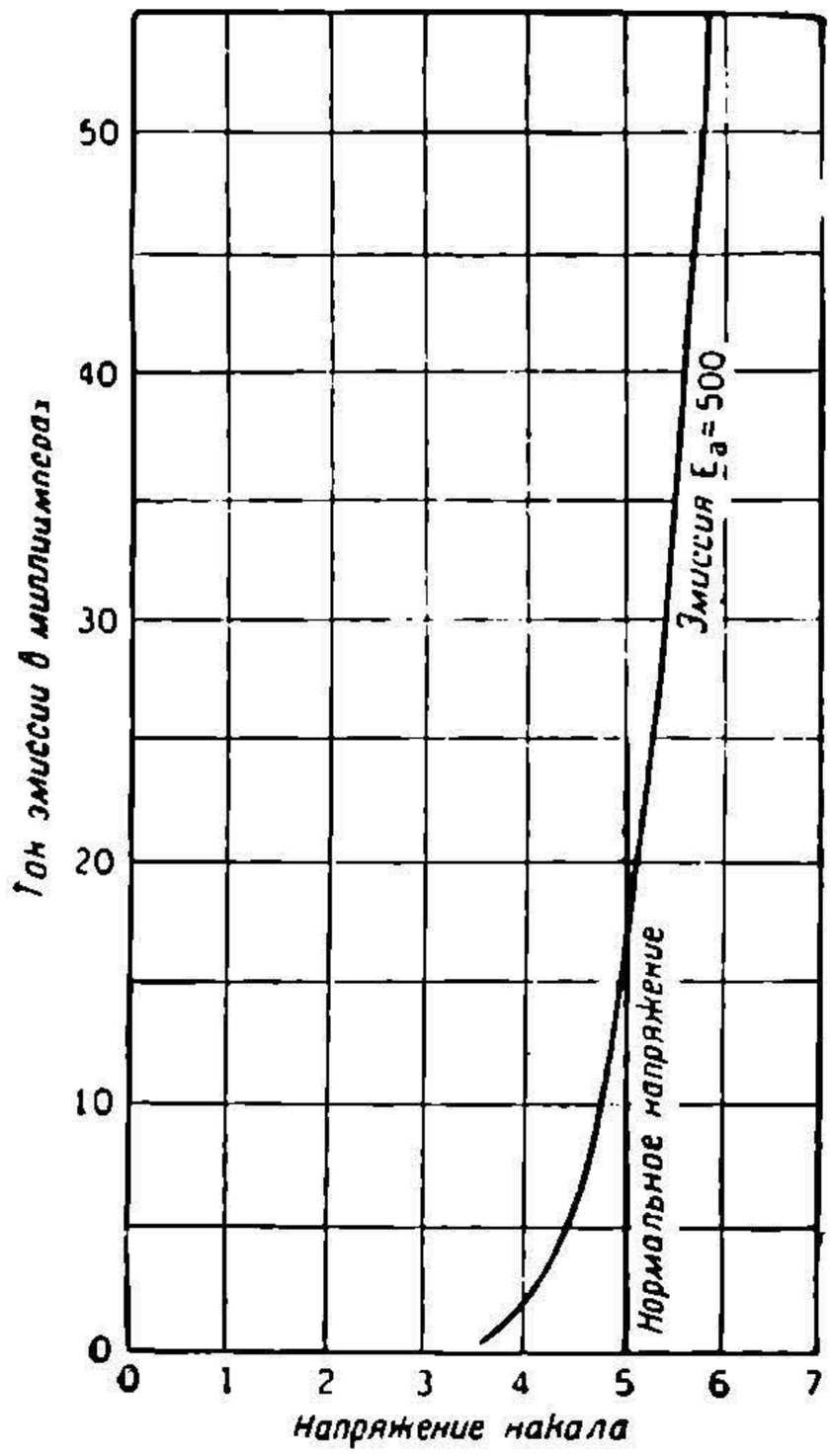
10. Кенотроны. В § 9 уже указывалось, что ток будет течь через вакуумный прибор только в том случае, если его анод положителен по отношению к катоду. На фиг. 13 дана кривая изменения анодного тока в зависимости от напряжения накала кенотрона с чистым вольфрамовым катодом. На фиг. 14 показано влияние изменения анодного напряжения на анодный ток. При увеличении анодного напряжения анодный ток достигает максимального значения, зависящего от напряжения накала. Напряжение накала изменяют для регулирования величины анодного тока при постоянном анодном напряжении.

Кенотроны описанного типа имеют наиболее выгодный режим работы при больших сопротивлениях нагрузки и высоких анодных напряжениях. Ваттные потери в лампе малы, если падение напряжения на лампе при прохождении тока невелико. Ваттные потери в лампе в любой момент времени равны произведению анодного тока на напряжение между анодом и катодом. Эта энергия рассеивается на поверхности анода, который часто нагревается докрасна. Лампы малых размеров охлаждаются бла-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

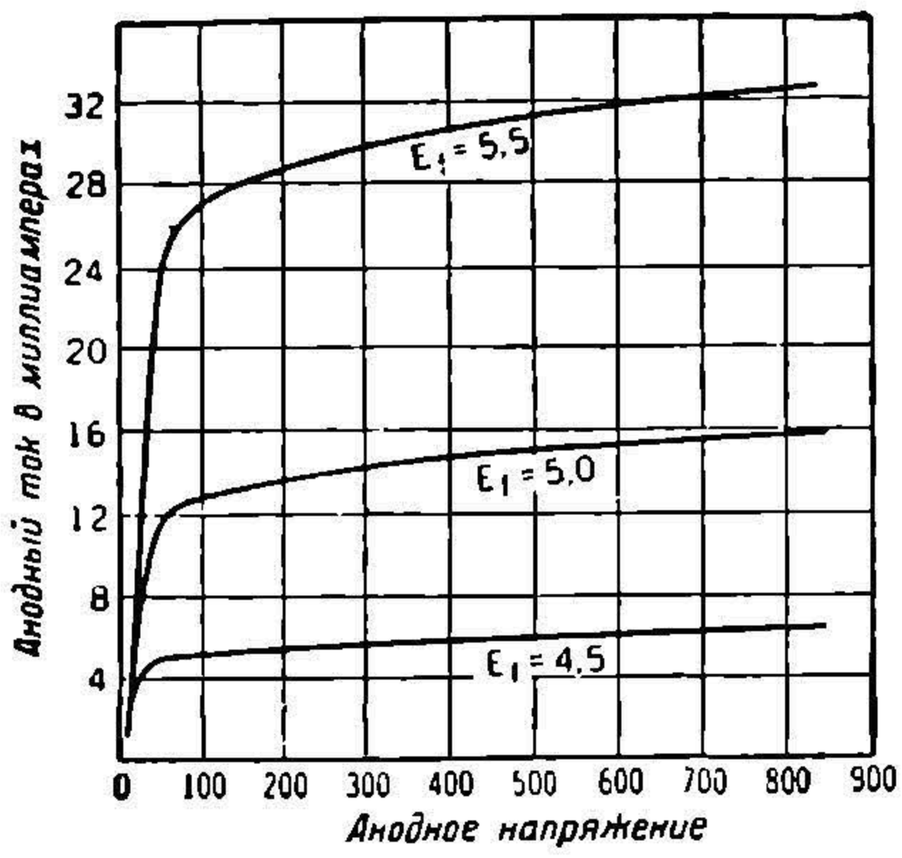
годаря излучению тепла в воздух. Лампы более значительных размеров имеют водяное охлаждение.

11. Вакуумные лампы с управляющей сеткой. К лампам этого типа относятся лампы, имеющие добавочный электрод, служащий для управления анодным током, протекающим через лампу. Эти лампы получили очень широкое применение, так как энергия, необходимая для управления величиной их анодного тока, мала по сравнению с энергией, получающейся на выходе.



Фиг. 13. Кривая тока эмиссии кенотрона с вольфрамовым катодом.

Простейшая конструкция вакуумной лампы с сеткой состоит из вакуумной двухэлектродной лампы, в которой между катодом и анодом помещен управляющий электрод или сетка. Потенциал, приложенный между сеткой и катодом, либо ускоряет, либо задерживает движение электронов от катода к



Фиг. 14. Кривые зависимости анодного тока от напряжения для кенотрона.

аноду. Если сетка отрицательна по отношению к катоду, то она тормозит движение электронов и таким образом уменьшает ток через лампу. Если сетка положительна по отношению к катоду, то движение электронов ускоряется, и ток через лампу увеличивается.

Известны более сложные конструкции вакуумных ламп, снабженные несколькими сетками. Однако все они предназначены для выполнения одной и той же функции независимо от конструкции, видоизменяющей лишь их рабочие характеристики.

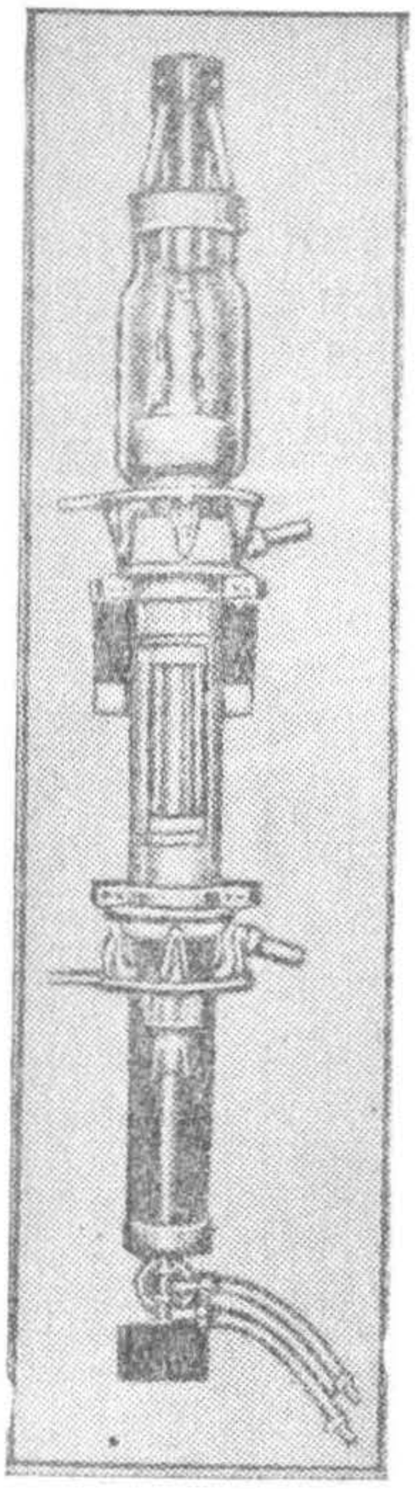
12. Характеристики вакуумных ламп с управляющей сеткой. Лампы этого типа обычно работают при постоянном напряжении накала. По этой причине мы рассмотрим лишь те характеристики, которые связывают между собой управляющее напряжение на сетке и анодный ток. Из фиг. 16 видно, что централь-

им. Л.М. Кагановича

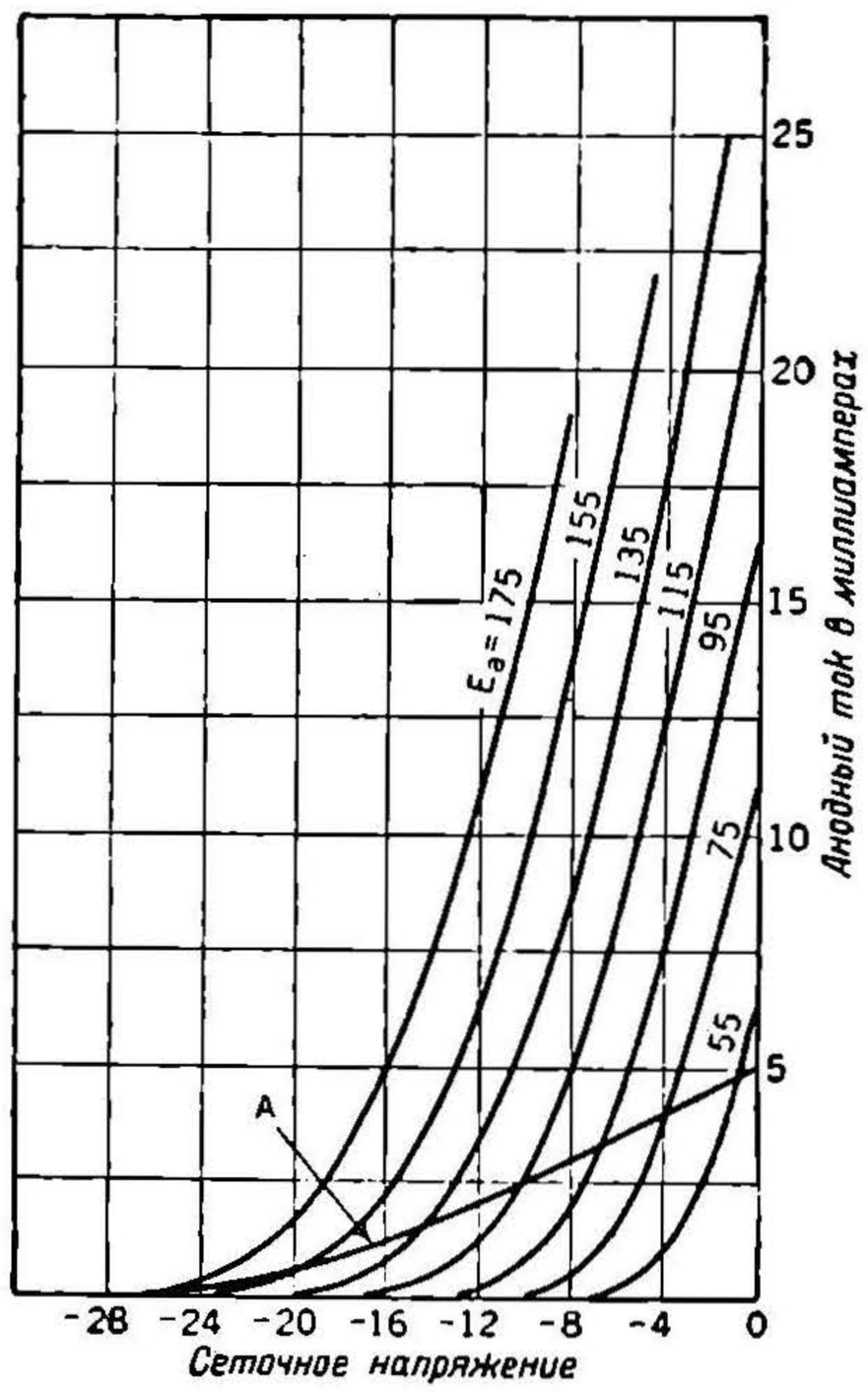
НВ УДУНТ (ДІІТ)

ная часть характеристики практически представляет собой прямую линию, т. е. изменение анодного тока пропорционально изменению сеточного напряжения.

На фиг. 17 дана кривая анодного тока усилительной лампы при синусоидальном изменении напряжения на сетке для произвольного значения отрицательного сеточного напряжения E_g, соответствующего анодному току A. Приложенное синусоидальное напряжение вызывает колебания анодного тока относительно линии A по кривой B.



Фиг. 15. 200-kW вакуумная лампа с управляющей сеткой.



Фиг. 16. Кривые зависимости анодного тока от сеточного напряжения для усилительной лампы.

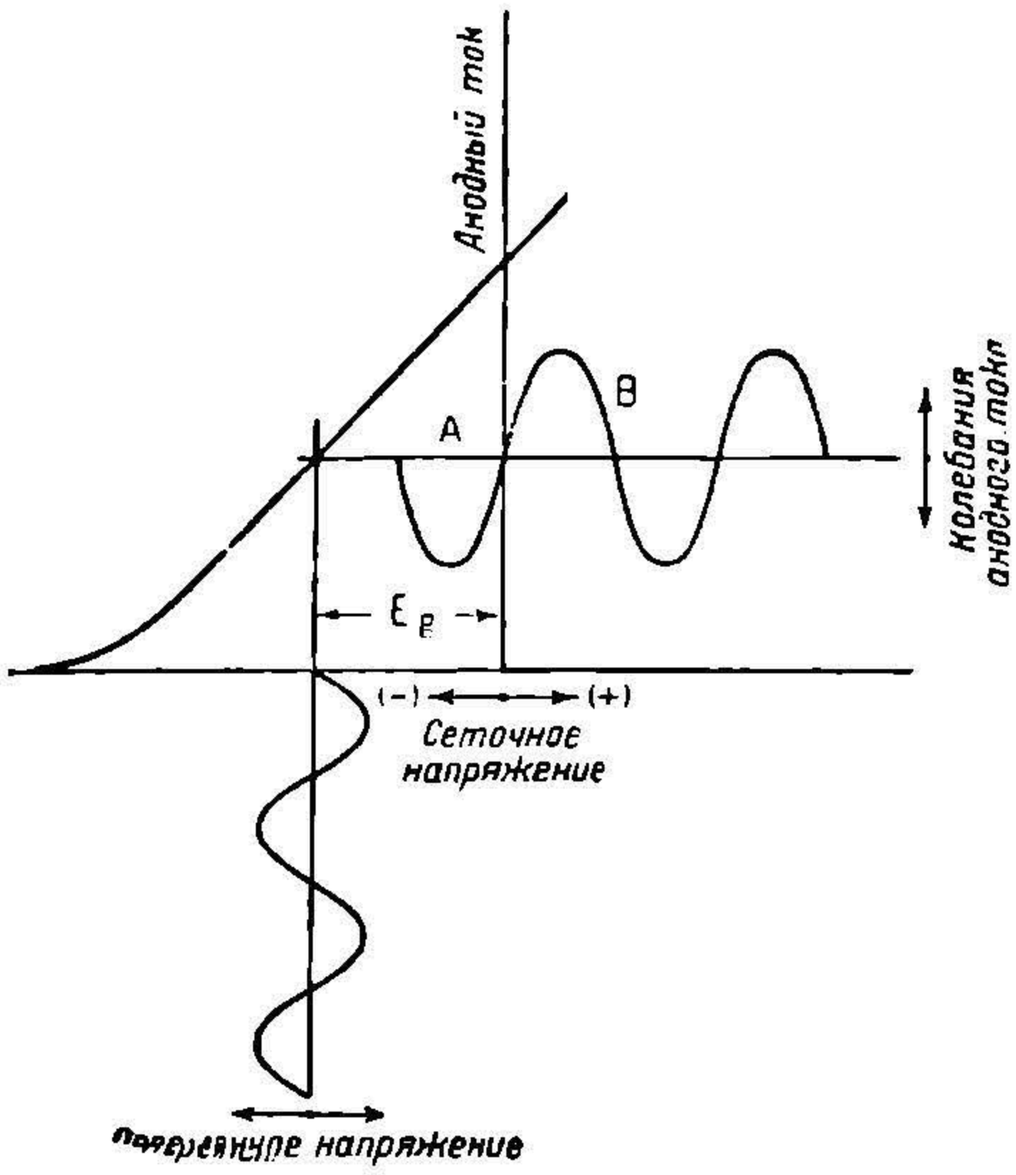
На фиг. 18 даны кривые зависимости анодного тока от анодного напряжения. Мы видим, что анодный ток может быть постоянным только при постоянном анодном напряжении.

В усилителях переменного тока эта трудность часто устраняется введением емкостной или трансформаторной связи между каскадами. Изменения анодного тока, вызываемые изменениями анодного напряжения, могут быть отчасти скомпенсированы питанием сетки и анода от одного и того же источника.

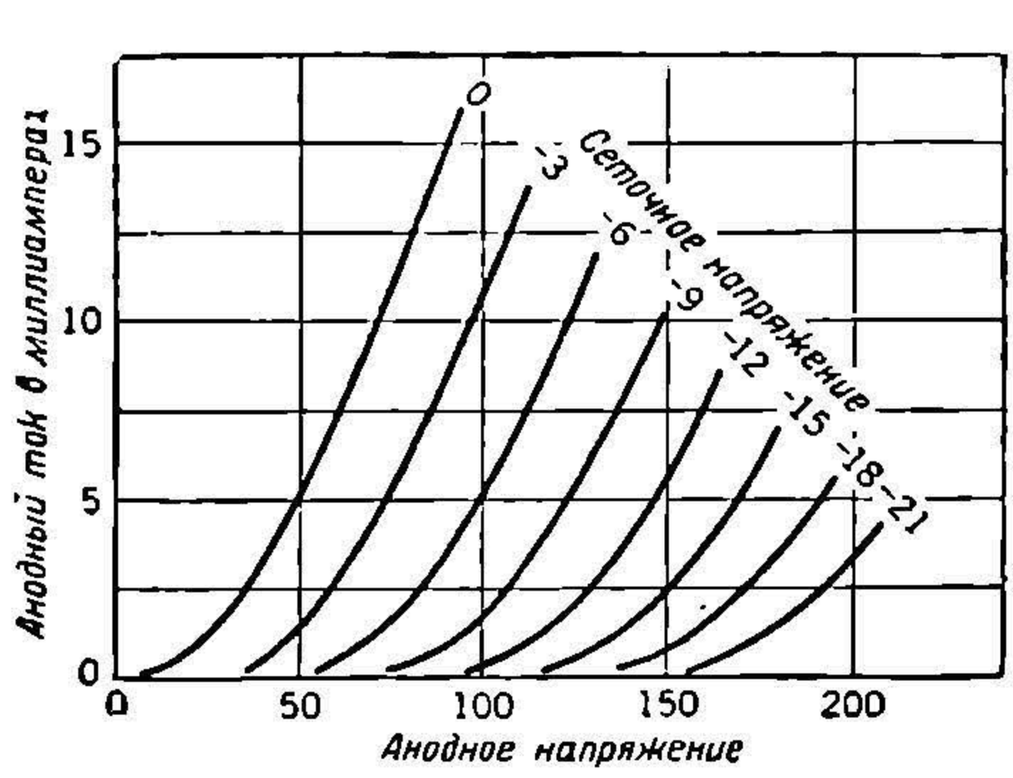
13. Сеточный ток в вакуумных лампах. Из фиг. 19 видно, что сеточный ток при отрицательном напряжении на сетке порядка нескольких вольт сравнительно мал. В большинстве схем

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в зависимости от условий работы последовательно с сеткой включается сопротивление величиною от 50 000 Ω до нескольких мегом. Если сопротивление мало, то сеточный ток не влияет на работу схемы. Если сопротивление равно нескольким мегомам, то на нем возникает падение напряжения в несколько вольт, даже при сеточном токе, не превышающем одного микроампера. Для схем с большим сопротивлением в цепи сетки



Фиг. 17. Колебания анодного тока, вызванные сигналом, поданным на сетку.



Фиг. 18. Характеристики ток — напряжение вакуумной лампы с управляющей сеткой.

имеются лампы с низким значанием сеточного тока. Эти лампы особенно удобны для усиления фототоков.

Из фиг. 19 видно, что при определенном потенциале сеточный ток проходит через нуль. Поэтому усилительная лампа никогда не должна работать со свободной сеткой, так как в этом случае анодный ток непостоянен и зависит от электростатических полей и переменной утечки между сеткой и другими электродами. При увеличении сопротивления в цепи сетки режим последней приближается к условиям свободной сетки. Поэтому для устойчивости сеточное сопротивление желательно иметь как можно более низким.



Фиг. 19. Кривая токов сетки для усилительной лампы с малым сеточным током.

14. Коэфициент усиления электронных ламп. Коэфициентом усиления электронной лампы называется отношение малого изменения анодного напряжения к такому изменению сеточного напряжения, которое необходимо для того, чтобы анодный ток лампы сохранился постоянным. Коэфициент усиления зависит от значений сеточного и анодных напряжений и поэтому определяется в зависимости от режима работы лампы. Усилительные

НБ УДУНТ (ДІІТ)

лампы можно разделить на два класса: лампы для усиления напряжения, и лампы для усиления мощности. Лампы, применяемые для усиления напряжения, имеют сравнительно небольшой ток и большой коэфициент усиления. Обычно их сопротивление велико, и они могут применяться лишь в тех случаях, когда необходимо усиливать незначительные мощности. Лампы, применяемые для усиления мощности, наоборот, имеют низкий коэфициент усиления, низкое сопротивление и могут пропускать большие токи. Электронные лампы первого класса обычно применяются в нескольких первых каскадах усилителя для усиления малых напряжений входа. Лампы же второго класса применяются для получения значительного тока и мощности в последнем каскаде усилителя.

Коэфициент усиления для современных ламп колеблется от 3 или 3,5 до 1500. Можно изготовить лампы с коэфициентом усиления, равным нулю, однако лампы с коэфициентом усиления, меньшим 3, до сих пор не нашли себе почти никакого применения. Значение коэфициента усиления, равное 1500, соответствует верхнему пределу, практически достигнутому для лампы современной конструкции.

15. Крутизна характеристики вакуумных ламп. Крутизной характеристики называется изменение анодного тока, соответствующее изменению сеточного напряжения на один вольт (при отсутствии сопротивления в цепи нагрузки). Если крутизна лампы известна, то можно вычислить изменение анодного тока при данном изменении сеточного напряжения.

Изменение анодного тока при данном изменении сеточного напряжения определяется формулой

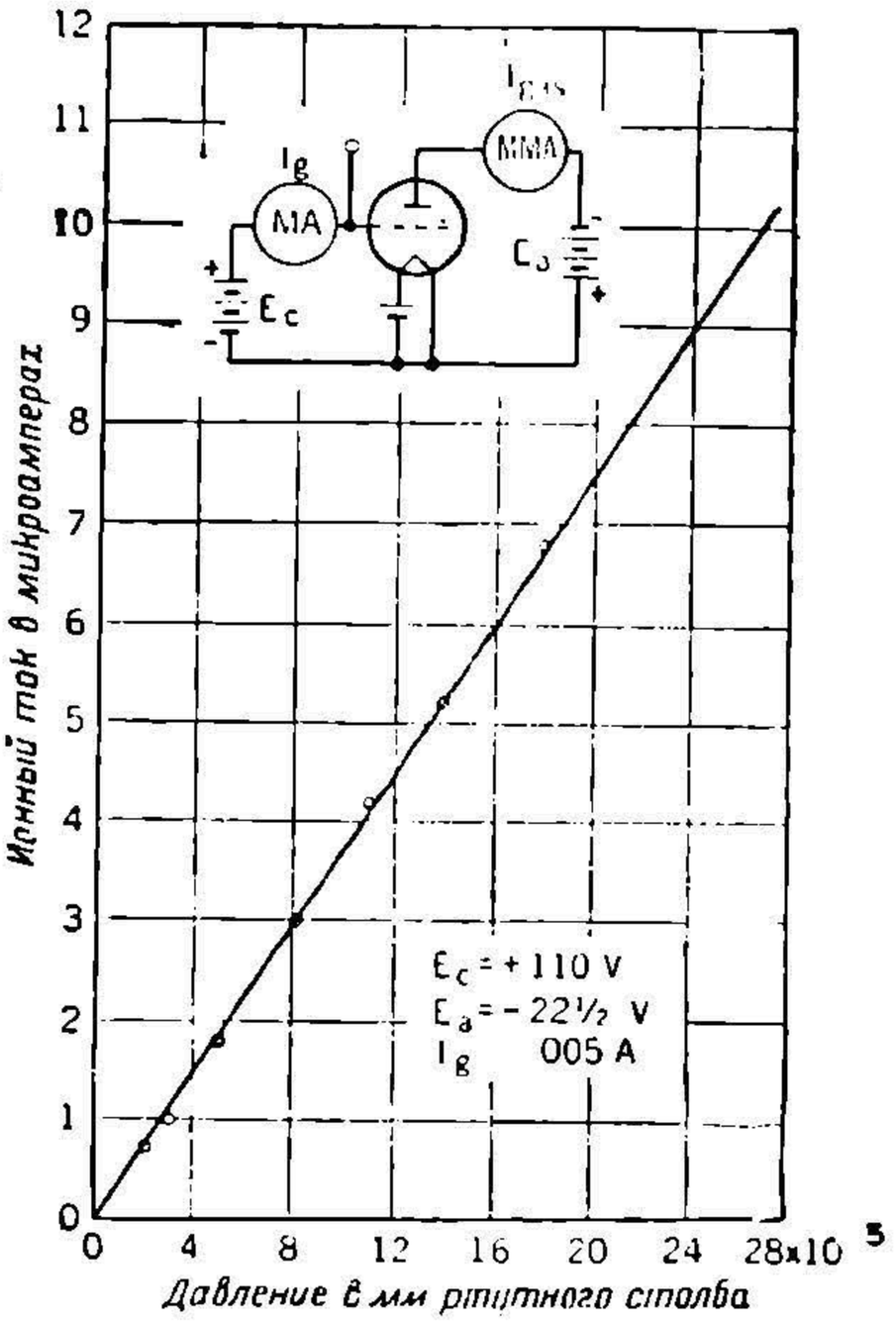
$$I_a = S_m E_g \frac{R_a}{R_a + R}, \qquad (1)$$

где I — изменение анодного тока в миллиамперах;
S_m — крутизна в mA на один вольт;
E_g — изменение сеточного напряжения в вольтах;
R_a — внутреннее сопротивление лампы в омах;
R — внешнее сопротивление в цепи анода в омах.

16. Электронный электрометр. Лампа, работающая в качестве электрометра, представляет собой вакуумную усилительную лампу с весьма малым сеточным током. Уменьшение сеточного тока достигнуто в ней за счет уменьшения мощности на выходе и уменьшения коэфициента усиления лампы. Входное сопротивление электрометрической лампы равно $10^{16}\ \Omega$ или выше, в зависимости от сеточного и анодного напряжений, между тем как в обычных радиолампах входное сопротивление составляет около $10^7\ \Omega$ и в специальных лампах с малым сеточным током — около $10^{11}\ \Omega$. Лампа, заменяющая электрометр, позволяет измерять и регистрировать очень малые изменения напряжения, получаемые, например, при сжатии кристаллов кварца в индикаторе давления, служащем для измерения давления в цилиндрах паровых машин и т. д.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

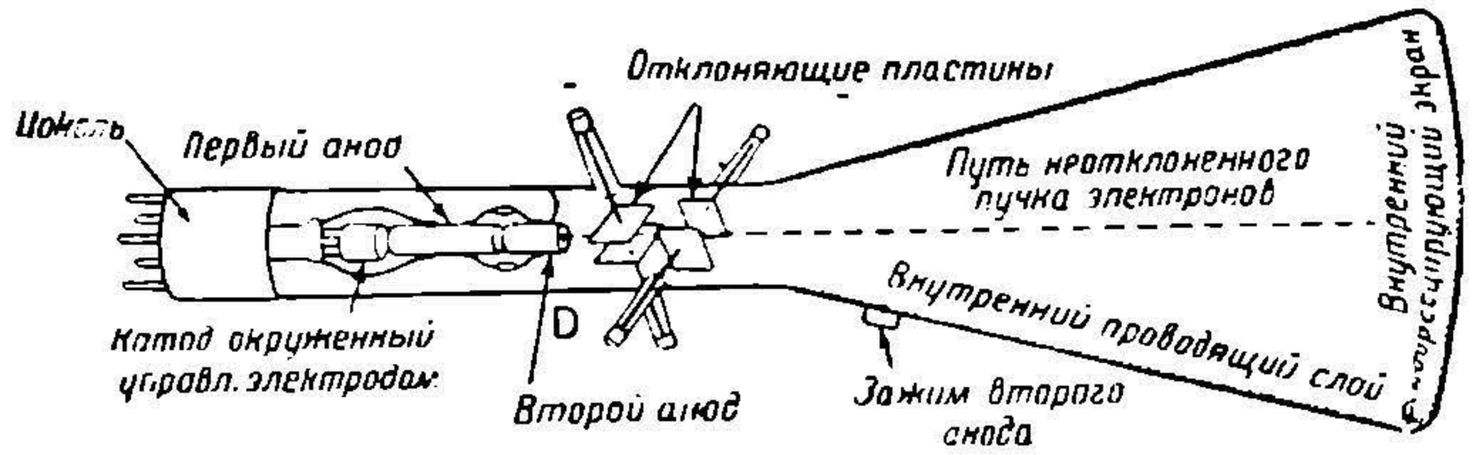
17. Ионизационный манометр. Ионизационный манометр представляет собой видоизменение трехэлектродной лампы. Его стеклянная колба присоединяется к откачиваемой вакуумной системе, давление в которой необходимо измерить. Сетка поддерживаетея при положительном напряжении в 110 V, а анод при отрицательном напряжения в $22\frac{1}{2}$ V по отношению к катоду. Температура катода (катод — вольфрамовый устанавливается таким образом, чтобы сеточный ток равнялся 5 mA. Ионизация, вызываемая сеточным током в 5 mA, изменяется в зависимости от давления газа в вакуумной системе. Так как анод находится при отрицательном потенциале, то все положительные ионы, образующиеся во время ионизации, притягиваются к нему, и создаваемый ими ток может быть измерен прибором, показания которого таким образом будут прямо пропорциональны давлению газа при давлениях приблизительно до 10^{-3} mm рт. ст. Градуировочная кривая для ионизационного манометра изображена на фиг. 20. Соотношение между давлением и ионным током для этой кривой выражается формулой



Фиг. 20. Градуировочная кривая ионизационного манометра в сухом воздухе.

$$P = 2{,}67 \cdot I_{ион} \text{ до } 10^{-3} \text{ mm Hg.} \qquad (2)$$

18. Электронно-лучевые приборы. В электронно-лучевых приборах или трубках пучок быстрых электронов, вылетающих из



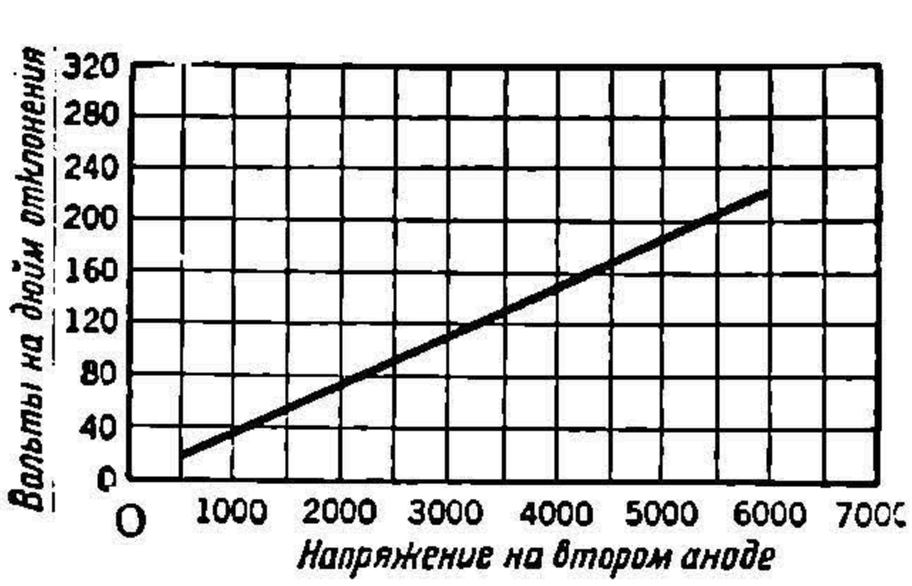
Фиг. 21. Конструкция современной катодной трубки.

катода, падает на флюоресцирующий экран. Место попадания электронного пучка зависит от электростатического или от магнитного поля, при помощи которых электроны отклоняются от своей нормальной траектории движения. Благодаря чрезвычайно низкой инерции электронного пучка электронно-лучевой прибор,

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

в котором используется электростатический метод управления пучком, применяется как осциллограф для изучения электрических явлений высокой частоты.

Конструкция электронно-лучевой трубки показана на фиг. 21. Катоды выполняются как с косвенным, так и с непосредственным накалом. Управляющая сетка в форме чашечки, изображенная на фиг. 21, имеется не во всех конструкциях электронно-лучевых приборов. Электроны, испускаемые катодом, приобретают большую скорость благодаря напряжению, приложенному к двум анодам. Первый анод находится при напряжении около 500 V. Поперечное сечение пучка уменьшается помощью электростатического поля, создаваемого напряжением второго анода. Второй анод имеет узкое отверстие *D* и присоединяется к проводящему слою, нанесенному непосредственно на стекло. Второй анод обычно работает при напряжении от 1500 до 3000 V. Флюоресцирующий экран наносится на стекло в конце



Фиг. 22. Характеристика катодной трубки.

Фиг. 23. Конструкция рентгеновской трубки.

трубки. В трубках с электростатическим управлением электронный пучок отклоняется электростатическим полем двух пар пластин, расположенных под прямым углом друг к другу. Одна пара пластин обычно питается от источника с регулируемой частотой, дающего возможность получить линейную ось времени. Другая пара пластин применяется для отклонения пучка в соответствии с изучаемым записываемым напряжением. Электронный пучок в электронно-лучевой трубке может управляться не отклоняющими пластинами, а двумя магнитными полями, направленными под прямым углом друг к другу.

На фиг. 22 дана кривая зависимости отклонения пучка при заданном измеряемом напряжении от напряжений второго анода. Чувствительность выражена в вольтах на дюйм отклонения для

НБ УДУНТ (ДІІТ)

трубок электростатического типа и в ампервитках на дюйм отклонения для трубок магнитного типа. Для того чтобы пятно на экране было хорошо сфокусировано, необходимо, чтобы напряжения обоих анодов относились приблизительно как 1:5.

19. Рентгеновские трубки. Рентгеновские трубки со времени их открытия применялись для медицинских и научных целей. С помощью их можно обнаружить внутренние трещины в отливках и наличие посторонних предметов в запакованных товарах.

Конструкция одной из рентгеновских трубок показана на фиг. 23. Маленькая чашечка, окружающая вольфрамовый катод, фокусирует пучок электронов на аноде. Напряжение между анодом и катодом очень велико, обычно порядка нескольких сотен тысяч вольт. Имеются рентгеновские трубки, работающие при напряжениях до 900 000 V. Благодаря чрезвычайно высокому анодному напряжению электроны приобретают скорость, приближающуюся к скорости света, и при приближении к аноду запасают достаточное количество энергии, чтобы проникнуть внутрь атомов вещества, абразующего анод. Возбужденные электроны в атоме обладают свойством испускать электромагнитные волны с частотой около 10^{18} Hz. Эти лучи способны проникать даже через несколько сантиметров стали. Их проницающая способность увеличивается при возрастании анодного напряжения. Это и является причиной того, почему все время стремятся строить рентгеновские трубки на все более и более высокие напряжения.

Литература

«Measuring $\frac{1}{100\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000}$ of an Ampere», B. J. Thompson, Electronics, September, 1930, pp. 290—291.

«Emission of Electrons from Hot Bodies», O. W. Richardson, Longmans, Green & Co., 1921.

«The Magnetron», A. W. Hull, Am. Inst. Elec. Eng., September, 1921.

«Thermionic Emission», Saul Dushman, Rev. Mod. Phys., Vol. 2, p. 381, October, 1930.

«Theory of Thermionic Vacuum Tubes», E. L. Chaffee, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1933.

«Thermionic Vacuum Tube», Van Der Bijl, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1920.

«Electronics», R. G. Hudson, John, Wiley & Sons, Inc., 1933.

«Electron Tubes», I. H. Morecroft, John Wiley & Sons, Inc., 1933.

«A Cold Cathode Amplifier», Reich and Hessellerth, Electronics, October, 1933, p. 282.

«Cathode-Ray Tubes and Their Applications», J. M. Stinchfield, Elec. Eng., December, 1934, p. 1608.

«Ratings of Industrial Electronic Tubes», Pike and Ulrey, Elec. Eng., December, 1934, p. 1577.

Глава III

ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ПРИБОРЫ

20. Катоды газонаполненных приборов. В § 9 уже указывалось, что, для того чтобы через лампу шел ток, в ней должен находиться источник электронов. Наиболее известным типом катода является горячий катод, рассмотренный в § 9. Конструк-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ция горячего катода в газонаполненных приборах в большинстве случаев несколько отличается от конструкции катодов, применяемых в высоковакуумных лампах. В лампах последнего типа электроны, испускаемые катодом, образуют пространственный заряд, который препятствует эмиссии электронов. Если катод, снабженный тепловым экраном, поместить в высокий вакуум, то электроны не смогут проникнуть через отверстия благодаря пространственному заряду. Так как количество электронов и положительных ионов вблизи катода газонаполненной лампы одинаково, то в ней не существует пространственного заряда, препятствующего эмиссии электронов из катода. Поэтому в газонаполненных приборах электроны могут вылетать из внутренних углублений, сделанных в катоде. Благодаря этому для газонаполненных приборов оказывается возможным сконструировать более совершенные в смысле эмиссии катоды, т. е. катоды, потребляющие меньшее количество тепловой энергии на ампер испускаемого ими тока, чем в случае электронных ламп с высоким вакуумом.

Большинство горячих катодов, применяемых в газонаполненных приборах, представляют собой оксидированные и торированные катоды, хотя в некоторых приборах применяются и чисто вольфрамовые катоды. Форма катодов бывает самой разнообразной: от простой стержневой формы и до экранированных катодов, имеющих сложную структуру нескольких вставленных друг в друга коробок с находящимся внутри нагревательным элементом. Тип катода, имеющий форму гофрированной ленты, имеет высокую механическую прочность. Почти для всех газонаполненных приборов с горячим катодом требуется нагреть катод до его рабочей температуры, прежде чем включать анодную цепь. Если разряд начался в тот момент, когда катод испускает еще недостаточное количество электронов, то катод будет бомбардироваться положительными ионами, стремящимися освободить требуемое добавочное количество электронов. В результате катод будет разрушаться все больше и больше при каждом последующем включении прибора. Некоторые из приборов с чистым вольфрамовым катодом, работающие при низком напряжении, как, например, ректигон [1], допускают немедленное включение анодного напряжения. Некоторые маломощные лампы с оксидированным катодом, требующие небольшого промежутка времени для прогревания катода, также могут включаться без всякой выдержки времени. Вообще говоря, более простые типы катодов применяются в небольших приборах, а сложные экранированные типы катодов применяются в мощных приборах. Очевидно, что высокая эффективность катода в небольших лампах не так важна, как в мощных приборах. Кроме того, в случае маломощных ламп затраты на установку автоматических реле времени могут быть оправданы гораздо реже, чем в случае больших и сравнительно дорогих ламп, для которых особенно важна эффективность катода.

[1] Так называется низковольтный газотрон высокого давления фирмы Вестингауз.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Другим распространенным типом катода, применяемым в мощных лампах и в лампах, которые должны пропускать очень большие пики токов, являются жидкие ртутные катоды. Катоды этого типа испускают электроны в том случае, если между поверхностью ртути и электродом, находящимся в лампе, возникает дуга. Различные способы зажигания дуги будут рассмотрены несколько ниже. Основным преимуществом жидких катодов является их способность давать почти неограниченную по величине эмиссию. Они очень удобны для тех ламп, которые должны работать при большом значении отношения максимального тока к среднему, как это, например, имеет место в электросварке. Лампы с горячим катодом менее приспособлены для работы в условиях, когда максимальный ток во много раз превышает средний ток. Это происходит потому, что катоды такого типа разрушаются, если анодный ток превышает ток эмиссии катода. Некоторые типы ламп имеют холодные катоды. Холодные катоды особенно широко применяются в неоновых лампах.

21. Газотроны (газонаполненные выпрямители с горячим катодом). Простейшим газотроном является ректигон — газотрон фирмы Вестингауз, применяемый для выпрямления низких напряжений, как, например, в случае зарядки аккумуляторов. Ректигон имеет вольфрамовый катод и один или два анода в зависимости от того, является ли лампа однополупериодным или двухпериодным выпрямителем. Лампа наполняется аргоном или каким либо другим инертным газом при сравнительно высоком давлении, равном приблизительно 6 cm рт. ст. Высокое давление газа необходимо для того, чтобы уменьшить распыление вольфрама при высоких температурах катода, необходимых для увеличения его эмиссии. Напряжение обратного зажигания для ректигона равно всего лишь 375 V, в то время как другие газотроны с низким давлением газа могут выдерживать напряжения в несколько тысяч вольт. Ректигон с вольфрамовым катодом не нуждается в реле времени для защиты катода во время включения. Падение напряжения на ректигоне, работающем в нормальных условиях, равно приблизительно 8 V независимо от величины тока.

Газотроны, предназначенные для более высоких напряжений, имеют несколько отличную конструкцию, обеспечивающую более высокую изоляцию. Это достигается расположением анода и катода на двух противоположных концах лампы. В лампах этого типа, имеющих оксидированные или торированные катоды, давление газа ниже, чем в ректигонах. Лампы наполняются каким-либо инертным газом или парами ртути, образующимися от введенной в лампу капли ртути. В случае применения ртути давление ее насыщенных паров соответствует данной температуре. Благодаря зависимости давления от температуры ртутные лампы могут применяться лишь в тех случаях, когда колебания температуры не выходят из пределов, вне которых они существенно изменяют характеристики, полученные при нормальной

НБ УГАТТ (ДІІТ)

температуре. Вид характеристик определяется наиболее холодной частью стеклянной колбы, так как давление паров ртути зависит только от температуры именно этой наиболее холодной части. Наименьшая температура колбы обычно находится вблизи от ее основания. Область изменения температуры, внутри которой можно применять лампы этого типа, заключается приблизительно между 25 и 80° С, причем значения температуры относятся к наиболее холодному месту колбы. Последнее обычно имеет температуру, превышающую приблизительно на 10° температуру окружающего воздуха.

Падение напряжения на высоковольтных газотронах, наполненных инертным газом, например, неоном, равно около 30 V. Падение напряжения на ртутных выпрямителях в среднем равно 13 V. В обоих случаях падение напряжения в условиях нормальной работы ламп не зависит от пропускаемого ими тока. Падение напряжения на лампе данной конструкции может увеличиться только при уменьшении тока эмиссии катода, что может произойти в том случае, если напряжение накала слишком мало или если катод служит в течение очень продолжительного времени. Падение напряжения может также увеличиться при уменьшении давления газа в лампе. Для ламп, наполненных инертным газом, это может произойти в конце срока службы лампы, а для ртутных в том случае, если они работают при слишком низкой температуре.

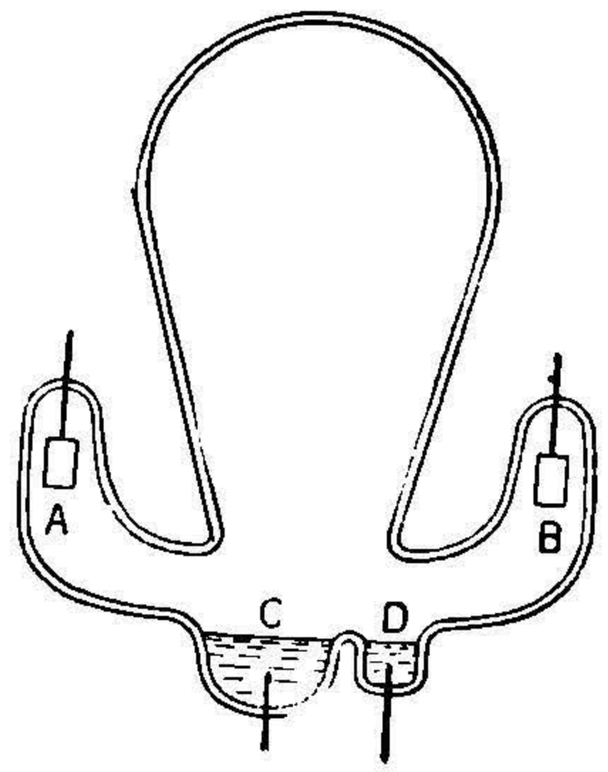
22. Стеклянные ртутные выпрямители. Приборы этого типа состоят из стеклянной колбы, содержащей несколько электродов и налитую на дно ртуть, служащую катодом. Колба имеет большую поверхность для того, чтобы на ней могли конденсироваться пары ртути, возникающие на поверхности катода за счет нагрева его дуговым разрядом. Конденсация должна происходить быстро, так как иначе давление внутри лампы возрастет и обратное напряжение (т. е. напряжение зажигания лампы в обратном направлении) сильно уменьшится. Аноды расположены в концах боковых отростков, приделанных к основной колбе. Благодаря такой конструкции уменьшается возможность прохождения тока от одного анода к другому. Кроме того, лампа имеет вспомогательный электрод, который служит для зажигания дуги. В лампе, показанной на фиг. 24, зажигание дуги производится следующим образом:

Между ртутью *C* и вспомогательным электродом *D* прикладывается напряжение и лампа наклоняется до тех пор, пока ртуть *C* не придет в соприкосновение с ртутью *D*. Затем лампа наклоняется обратно для того, чтобы на поверхности ртути *C* зажглась дуга. Эта дуга образует катодное пятно, служащее источником электронов, после чего между жидким катодом *C* и анодами *A* и *B* возникает основная дуга. Так как лампа деионизируется и становится непроводящей в течение нескольких микросекунд, то в течение отрицательного полупериода переменного тока она успеет потухнуть и ее опять нужно будет зажигать, если только не сохранять ток постоянным при помощи

НБ УДУНТ (ДІІТ)

каких-либо средств и тем самым не поддерживать горение дуги. Часто это достигается путем включения катушек самоиндукции в цепь анодов. Благодаря им ток в одной из анодных цепей проходит до тех пор, пока не возникает ток в другой анодной цепи.

Некоторые лампы снабжаются вспомогательными анодами, которые питаются переменным током и непрерывно поддерживают горение дуги. Некоторые большие лампы имеют два вспомогательных анода, которые приключены к трансформатору со средней точкой. Для сохранения непрерывной ионизации последовательно с каждым анодом включается самоиндукция.



Фиг. 24. Поперечное сечение ртутного выпрямителя.

Степень трудности откачки лампы и поддерживания в ней постоянного вакуума определяется ее размерами и размерами ее элементов. При увеличении размеров лампы тренировка отдельных ее частей для удаления из них газа становится все более затруднительной. Если газ не удален полностью, то во время работы лампы он будет постепенно выделяться и в конце концов приведет лампу в негодность. По этой причине, а также потому, что водяное и масляное охлаждение пока еще не является технически выгодным, лампы на большие силы тока выше 100 А выполняются в виде металлических резервуаров, которые непрерывно откачиваются вакуумным насосом.

23. **Металлические ртутные выпрямители.** Устройства этого рода приобретают все большее значение для выпрямления и преобразования частоты. Многие ртутные выпрямители, подобные, например, показанному на фиг. 128, находятся в непрерывной работе, вытесняя вращающиеся преобразователи. Принцип действия металлических ртутных выпрямителей не отличается от принципа действия стеклянных ртутных выпрямителей.

24. **Газовые и ртутные тиратроны.** Газовые и ртутные лампы с управляющей сеткой, или тиратроны, кроме катода и анода, имеющихся в ртутных выпрямителях (и газотронах), снабжаются еще сеткой в виде перфорированного цилиндра, помещаемого межлу анодом и катодом. Характеристика зажигания определяется положением сетки относительно анода и катода и давлением газа. Если сетка имеет отрицательное напряжение по отношению к катоду, то она задерживает движение электронов от катода к аноду. Если затем потенциал сетки делается все более и более положительным, то при некотором его значении электроны, испускаемые катодом, приобретают достаточную скорость для того, чтобы ионизовать газ и вызвать разряд между анодом и катодом. Действие сетки в лампах, наполненных газом, отличается от действия сетки в вакуумных лампах, так как

НТБ УДУНТ (ДИТ)

в первых она может препятствовать только возникновению разряда, но не может прекратить разряд после того, как он начался.

После возникновения разряда в пространстве между анодом и катодом находится приблизительно одинаковое число электронов и положительных ионов. Так как ионы нейтрализуют электроны, то пространственного заряда не существует, и следовательно, сетка не может как-либо повлиять на ход разряда. Единственные способы прекращения разряда заключаются в том, чтобы уменьшить ток до нуля, разорвав цепь, или в том, чтобы уменьшить напряжение до значения, меньшего постоянного падения напряжения на лампе.

Описанное выше своеобразное поведение сетки в тиратронах имеет большое значение для схем постоянного тока, от которых требуется быстрое или мгновенное срабатывание. На переменном токе тиратрон действует как выпрямитель и непрерывно восстанавливает свою управляемость благодаря перемене знака анодного напряжения и уменьшению анодного тока до нуля с каждым полупериодом.

Падение напряжения на тиратроне практически постоянно для всей области значений тока, на которую он рассчитан и колеблется от 10 до 30 V в зависимости от рода газа и его давления. Если напряжение цепи велико, то потери в тиратроне малы по сравнению с мощностью на выходе. Для того чтобы сделать это более ясным, сравним тиратрон с высоковакуумной электронной лампой. Так как к. д. п. зависит от напряжения, то мы вычислим его для нескольких значений напряжения

$$\text{к. п. д.} = \frac{(E - 20)\, I}{EI}\ , \qquad (3)$$

где E — напряжение цепи;

I — ток;

величина 20 соответствует предположенному нами постоянному падению напряжения на тиратроне.

Так как ток имеется и в числителе и в знаменателе, то, сокращая, мы видим, что в случае схем с газовыми приборами к. п. д. определяется напряжением цепи и постоянным падением напряжения на лампе.

Можно показать, что наибольшее возможное значение мощности на выходе в случае высоковакуумной электронной лампы с сеткой получается в том случае, когда сопротивление лампы равно сопротивлению нагрузки. В этом случае к. п. д. равен 50%. Это не соответствует максимальному к. п. д., но показывает, каким образом нужно пользоваться лампой для получения при данном сеточном сигнале наибольшей мощности на выходе. Возвращаясь обратно к уравнению (3), мы видим, что к. п. д. газового прибора, равный 50%, получается уже при 40 V; для высоковакуумной лампы это имеет место в случае равенства внутреннего сопротивления лампы и сопротивления нагрузки. При промышленном же напряжении в 220 V для газовых при-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

боров получается к. п. д., равный 90%. В наши вычисления не входит энергия, затрачиваемая на вспомогательные операции, как, например, на нагревание катода.

Для всех ламп с горячим катодом имеется некоторое предельное значение пропускаемого ими тока, зависящее от допустимой эмиссии электронов из катода. Величина пропускаемого среднего тока ограничивается теплорассеивающей способностью стеклянной колбы. Падение напряжения на лампе очень резко увеличивается, если ток превышает максимальное допустимое значение, — это может привести к разрушению катода.

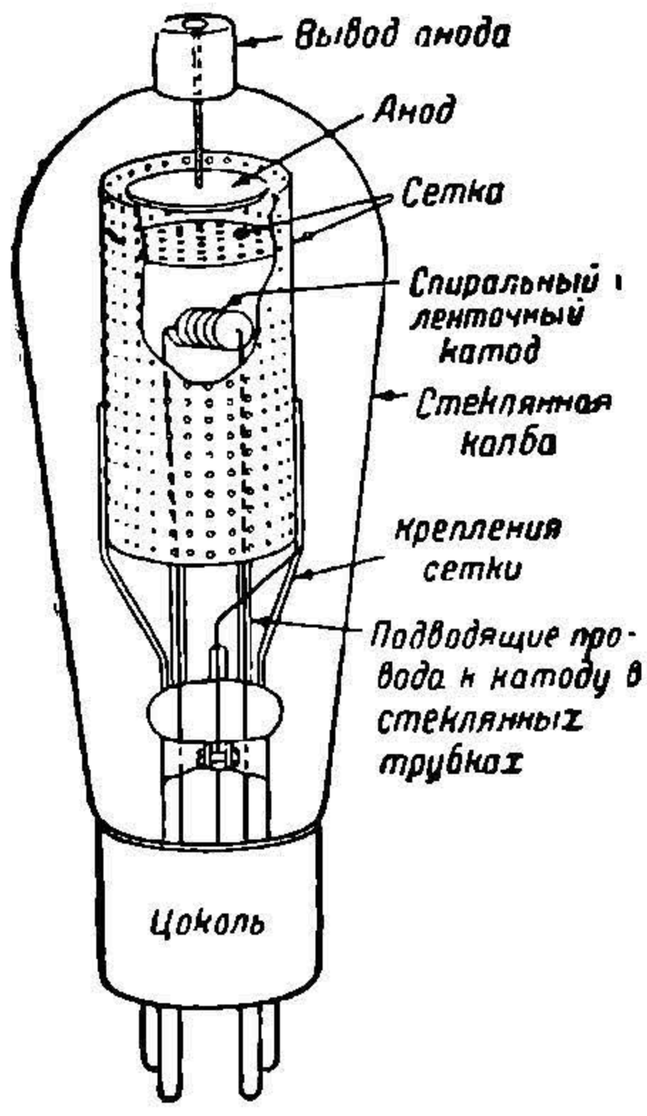


Фиг. 25. Тиратроны на различные силы тока.

a — неоновый тиратрон на 0,4 А; *b* — ртутный тиратрон на 4,0 А; *c* — ртутный тиратрон 10 А; *d* — ртутный тиратрон на 25 А.

25. Характеристики зажигания тиратронов. Анодное напряжение, необходимое для того, чтобы вызвать разряд, является функцией сеточного напряжения (см. кривую фиг. 27). Характеристика зажигания тиратрона, лежащая в области отрицательных значений сеточного напряжения (фиг. 27а), называется левой характеристикой и соответственно характеристика зажигания тиратрона, лежащая в области положительных сеточных напряжений, называется правой характеристикой.

Ртутные тиратроны кроме обычных характеристик зажигания имеют еще температурные характеристики, вид которых определяется влиянием температуры на давление паров ртути. На фиг. 28 показано несколько таких температурных характеристик, соответствующих различным температурам. Большинство тиратронов конструируется таким образом, чтобы их работа почти не зависела от изменений температуры в пределах от 25 до 85° С.



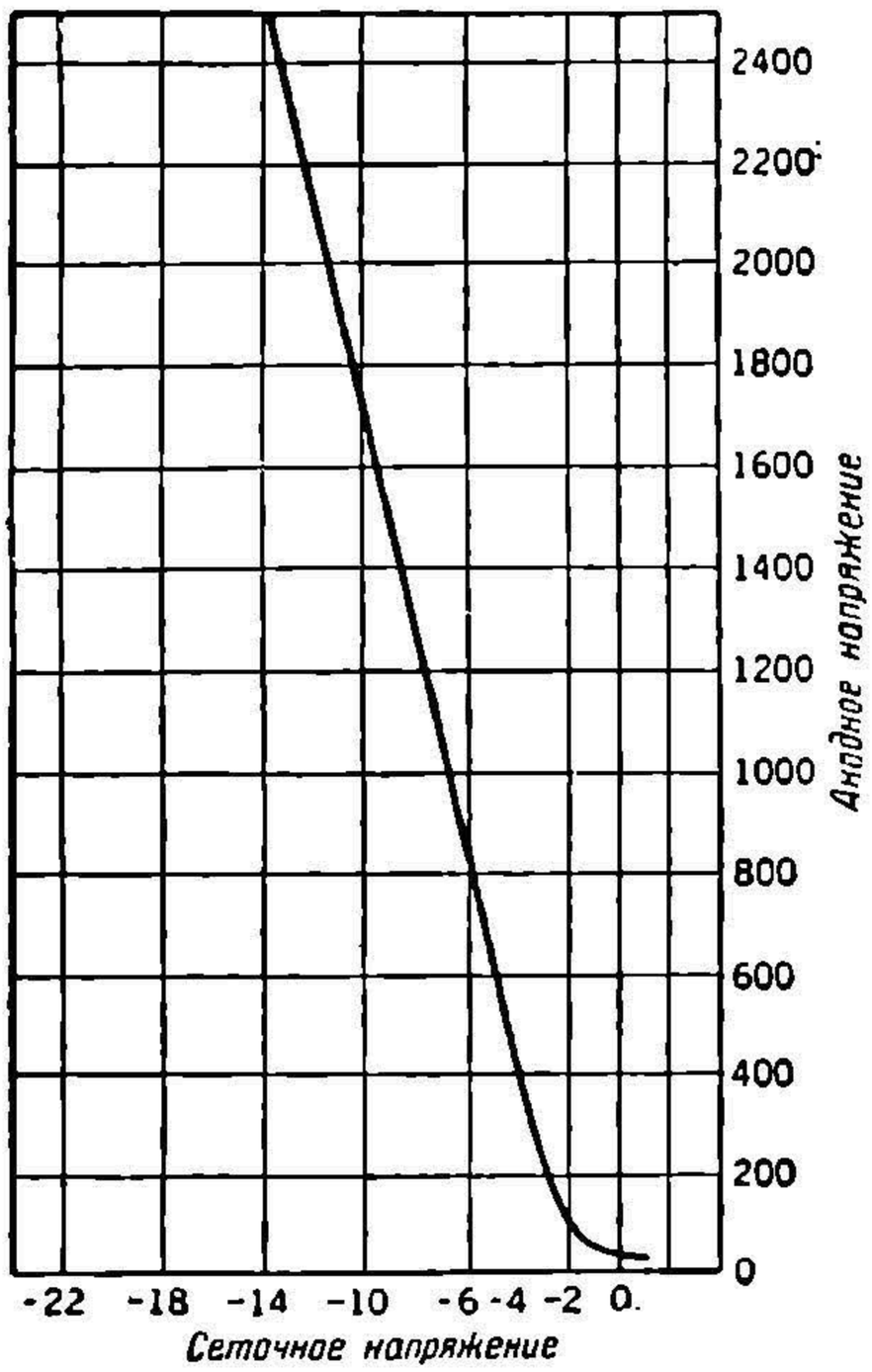
Фиг. 26. Конструкция ртутного тиратрона с горячим катодом.

НВ УДУНТ (ДІІТ)

Приведенные значения представляют собой температуру конденсации ртути, т. е., иначе говоря, наиболее холодной части стеклянной колбы. Последняя определяет давление паров ртути и, следовательно, температурные характеристики.

Тиратроны изготовляются на средние токи от 0,1 до 100 А. Отношение допустимого пикового значения тока к среднему значению тока зависит от конструкции и колеблется в пределах от $2^1/_2$ до 6.

26. Время ионизации и деионизации тиратронов. Для ионизации газа и возникновения тока в тиратроне требуется очень короткий промежуток времени. Незначительное время необходимо также и для деионизации газа и для прекращения тока.



Фиг. 27. Характеристики зажигания тиратрона. Кривая *A* — для тиратрона с левой, а кривая *B* — для тиратрона с правой характеристикой.

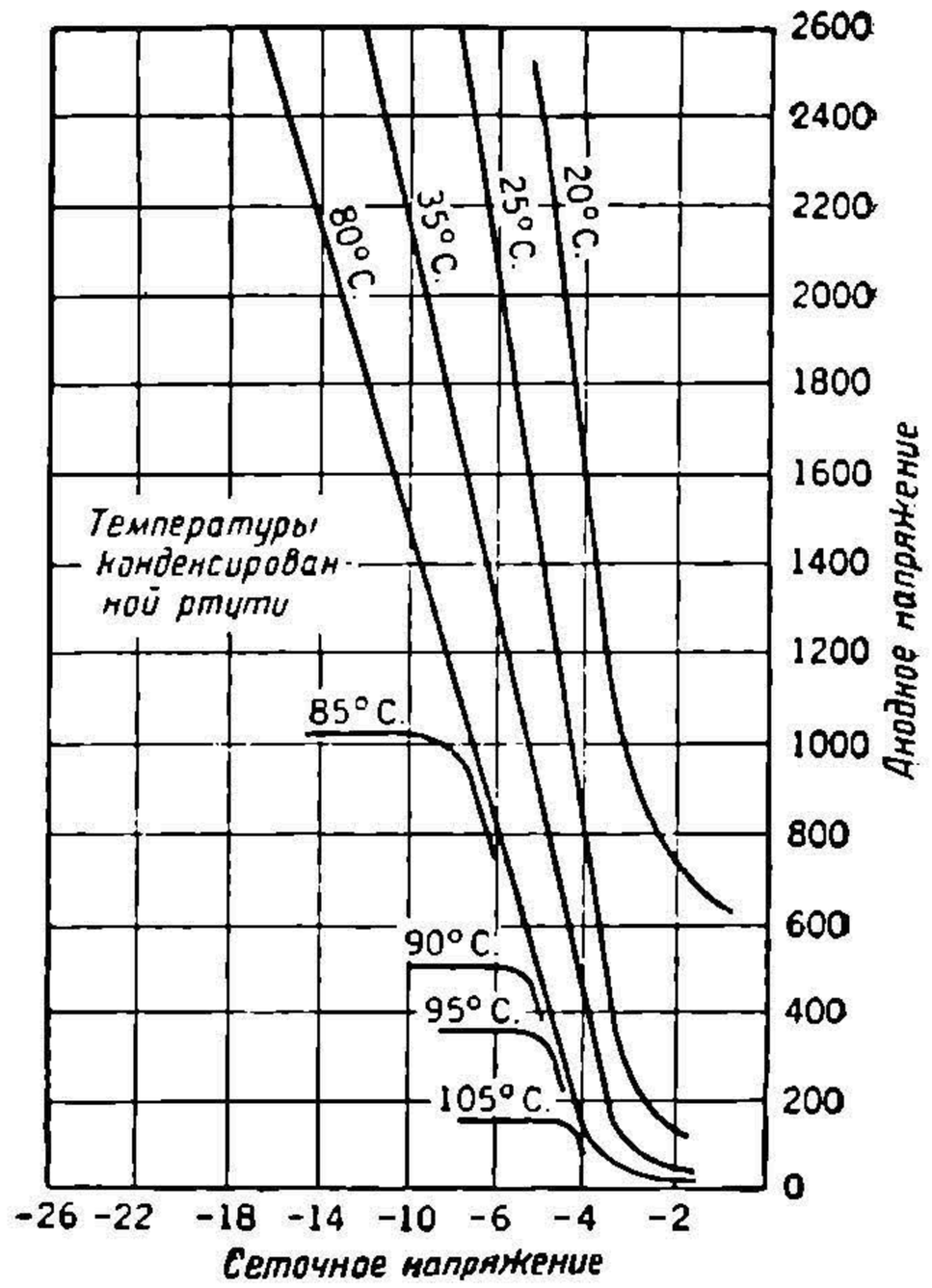
Указанные промежутки времени обычно называются временем ионизации и деионизации. Время ионизации может изменяться от 1 до 50 микросекунд; время деионизации не на много превышает 0,001 сек., а во многих случаях может иметь и значительно меньшее значение. Эти цифры приведены для того, чтобы дать представление о тех промежутках времени, которые необходимы для зажигания и потухания тиратронов. Очевидно, что схемы с тиратронами нужно рассчитывать таким образом, чтобы тиратрон всегда успевал бы деионизироваться, прежде чем на анод будет подан следующий положительный импульс напряжения, так как иначе тиратрон будет все время проводить ток и его сетка не сможет управлять.

Газовые и ртутные тиратроны подвержены влиянию высокочастотных электрических полей. Наличие высокочастотного поля

НБ УДУНТ (ДІІТ)

достаточно для того, чтобы ионизировать газ и вызвать течение тока независимо от высокого отрицательного сеточного потенциала. Этим явлением можно воспользоваться для обнаружения высокочастотных полей. Эффект, создаваемый высокочастотным полем, можно устранить при помощи надлежащей экранировки тиратронов и схемы.

27. Лампы тлеющего разряда с холодным катодом. Лампы тлеющего разряда с холодным катодом отличаются от тиратронов как по принципу действия, так и по характеристикам. Они работают, используя небольшую ионизацию, всегда существующую в газе. Эта ионизация достаточна для получения сеточного управления в лампе, но недостаточна для поддержания разряда. Если в газе находятся только два электрода, между которыми приложено напряжение, то электроны будут двигаться по направлению к аноду, а ионы — по направлению к катоду. Однако разряд станет самостоятельным только в том случае, если напряжение достаточно высоко, чтобы вызвать добавочную ионизацию газа, получаемую столкновением электронов с молекулами газа. При повышении напряжения в конце концов будет достигнута такая точка, когда в лампе возникает разряд и ток возрастет до значения, ограничиваемого только сопротивлением, включенным последовательно с лампой. Если между анодом и катодом поместить третий электрод или сетку, то мы получим характеристику, показанную на фиг. 30.



Фиг. 28. Температурные характеристики ртутного тиратрона.

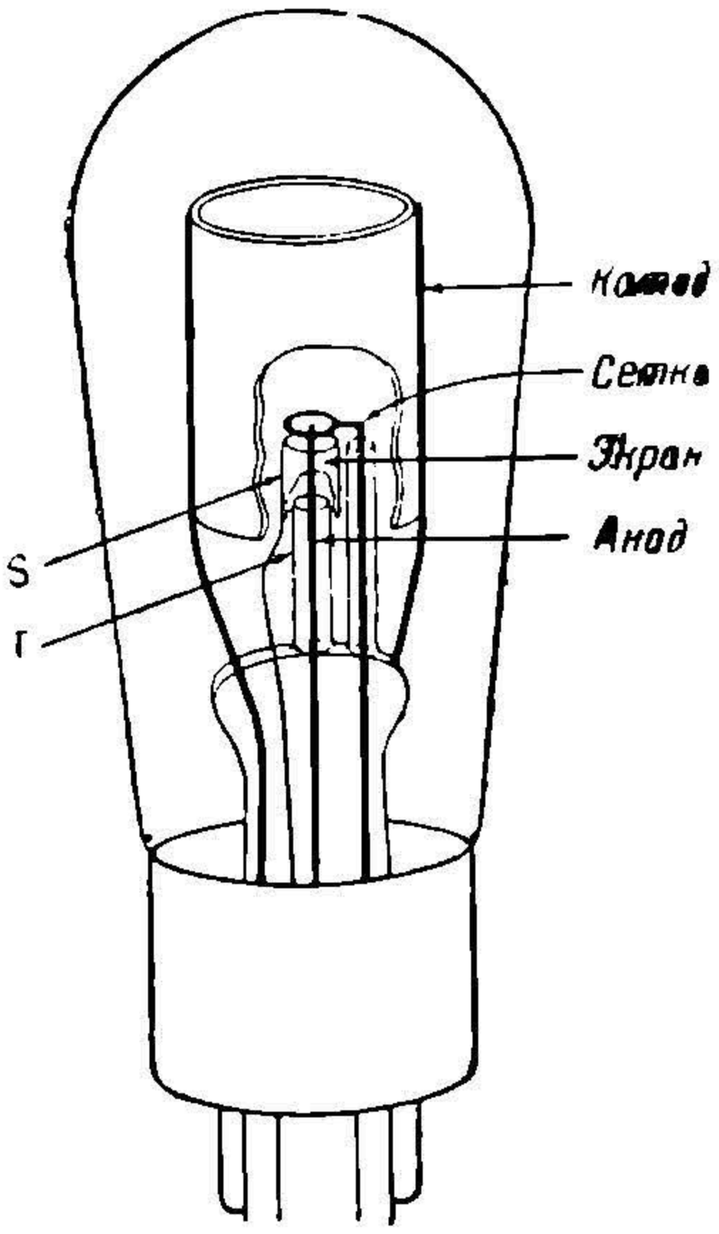
Конструкция лампы показана на фиг. 29. Анодом служит небольшая проволочка, пропущенная через стеклянную трубку. Катод представляет собой металлический цилиндр, обычно молибденовый, в центре которого находится анод. Сеткой является небольшой электрод, помещенный на очень близком расстоянии от анода. Сетка по всей своей длине заэкранирована стеклянной трубкой. Анод окружен небольшим экраном *S*, представляющим собой небольшой вспомогательный металлический электрод. Этот экран обычно поддерживается при некотором определенном потенциале.

28. Характеристики ламп тлеющего разряда с холодным катодом. Характеристики ламп тлеющего разряда с холодным катодом приведены на фиг. 30. Сеточный потенциал определяет анодное напряжение, необходимое для зажигания лампы.

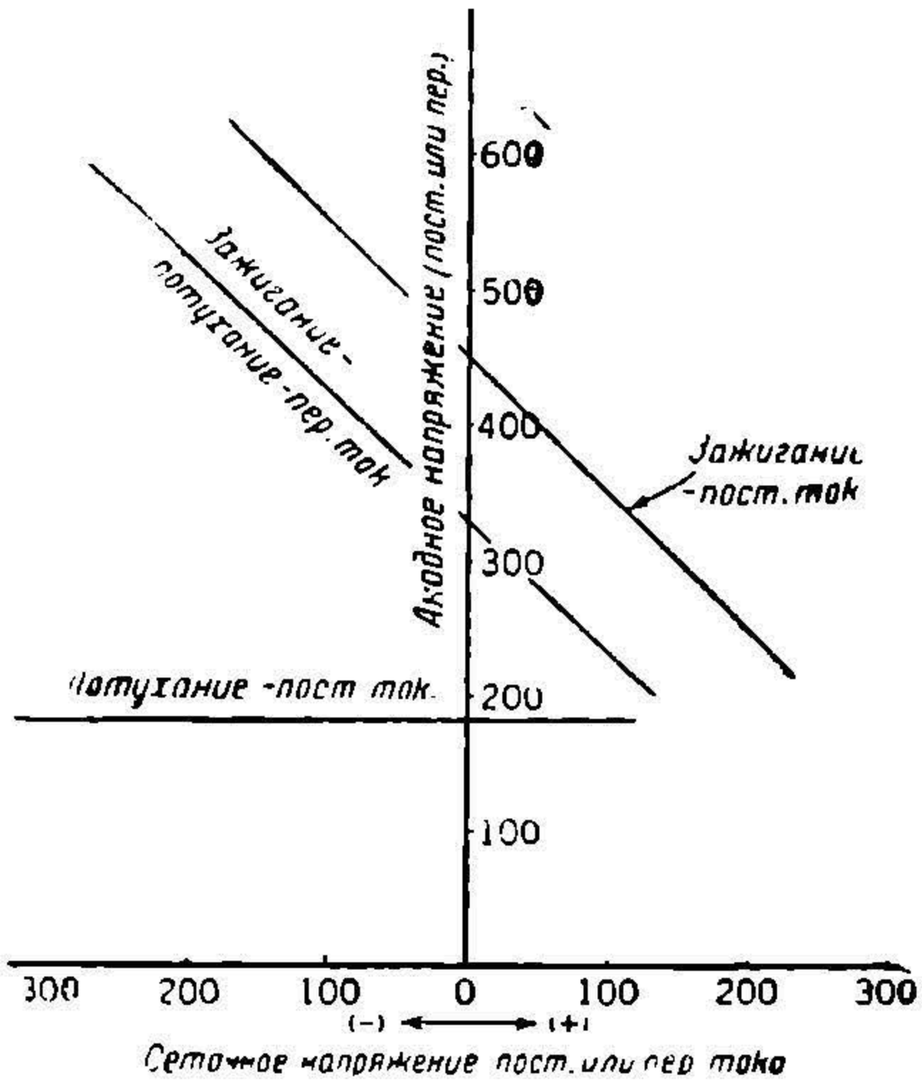
НБ УДУНТ (ДІІТ)

Падение напряжения на лампе с холодным катодом порядка 180 V, в то время как для тиратронов оно равно от 10 до 30 V. Лампа имеет малый ток сетки, благодаря чему она может управляться при помощи фотоэлемента или при помощи переменного высокоомного сопротивления.

29. Ртутные тиратроны с жидким катодом. Эти лампы имеют конструкцию, сходную с ртутными выпрямителями с жидким катодом и вспомогательным электродом. Но кроме катода и анода они имеют еще сетку, расположенную между катодом и анодом. Основные преимущества таких ламп по сравнению с тиратронами заключаются в их способности пропускать очень



Фиг. 29. Конструкция лампы тлеющего разряда с холодным катодом.



Фиг. 30. Характеристики зажигания и потухания лампы тлеющего разряда с холодным катодом.

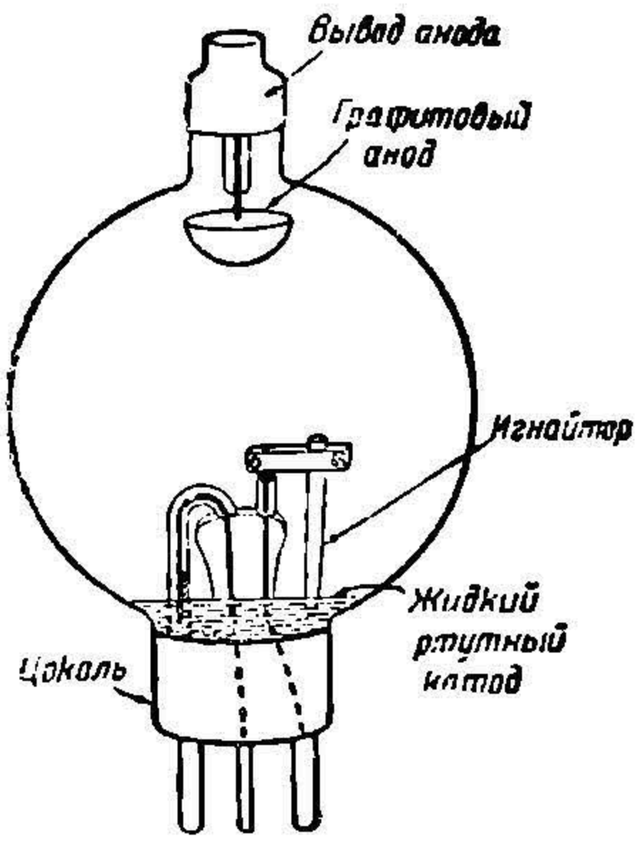
большие пики тока. Так как источником электронов является жидкий ртутный катод, то их эмиссионная способность почти неограничена.

30. Игнайтроны. Игнайтрон состоит из стального или стеклянного сосуда, на дно которого налита ртуть (фиг. 31 и 32). Анод в игнайтроне помещается наверху. Управление производится электродом, называемым игнайтором, изготовляемым из карбида, кремния или какого-нибудь другого вещества с сравнительно высоким удельным сопротивлением. Конец игнайтора погружен в ртуть. Лампа не пропускает тока до тех пор, пока игнайтор не вызовет появления предварительной дуги. Задача игнайтора заключается в том, чтобы создать катодное пятно или источник электронов, необходимый для зажигания основной дуги. Это производится путем пропускания тока между игнайтором и ртутью. Если ток достаточно велик, то в месте соприкосновения игнай-

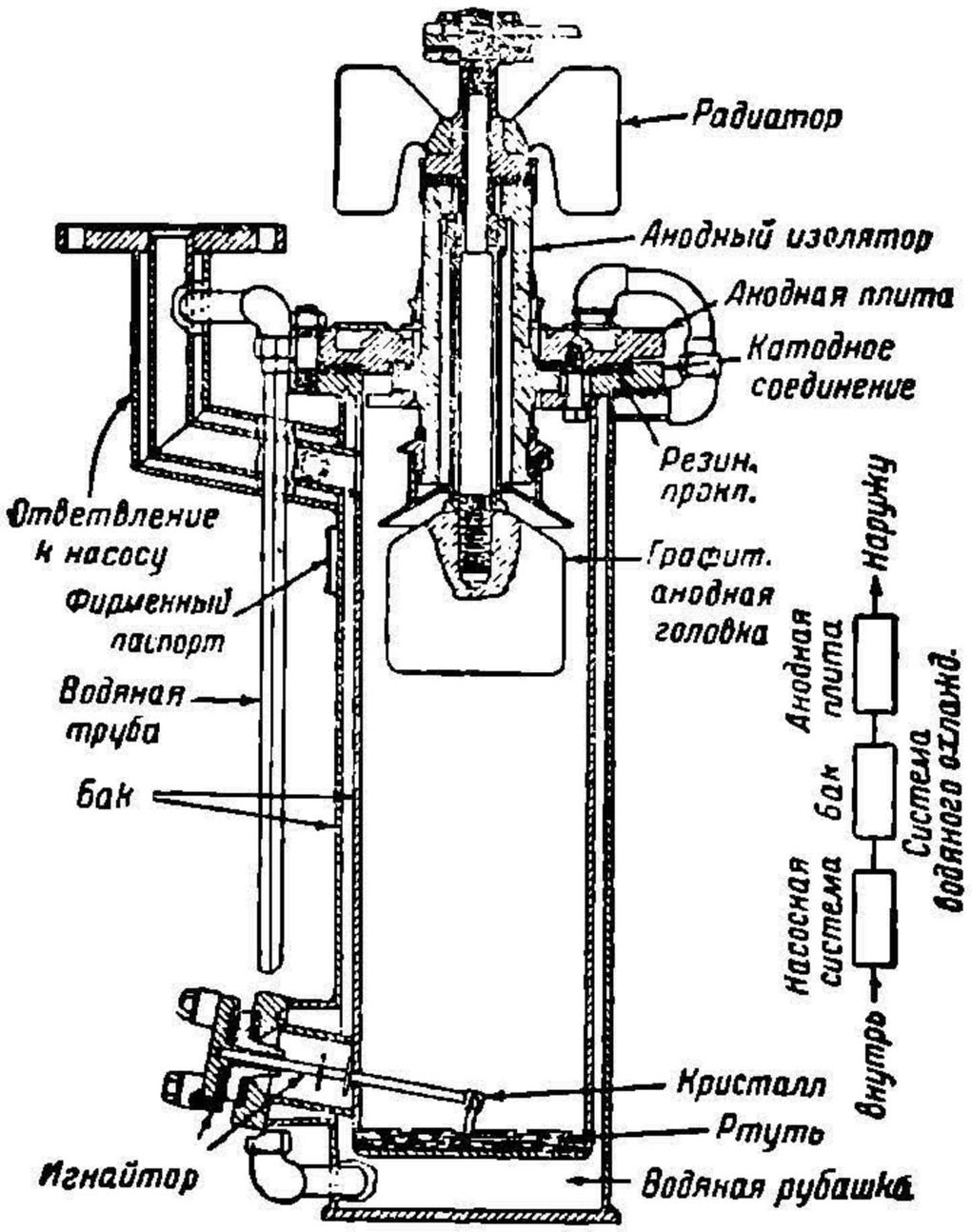
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

тора с ртутью возникает искра и образуется катодное пятно и если напряжение между анодом и катодом достаточно велико, то между ними мгновенно зажигается дуга. Время, необходимое для образования дуги, может равняться всего лишь нескольким микросекундам. Импульс тока, необходимый для зажигания игнайтрона, в зависимости от свойств игнайтора колеблется в пределах от 5 до 35 А.

Может показаться, что это значение настолько велико, что полезность такого рода ламп вообще сомнительна. Однако длительность импульса тока равняется всего лишь нескольким микросекундам. При работе на переменном токе импульсный ток течет в течение каждого положительного полупериода. Лампа, применяемая для питания игнайтора током, обычно



Фиг. 31. Конструкция стеклянного игнайтрона.



Фиг. 32. Разрез металлического 200-А игнайтрона.

имеет небольшую мощность, так как она должна давать средний ток, не превышающий 0,1 А.

О способности игнайтрона выдерживать перегрузочные токи можно судить по тому, что средний ток, пропускаемый обычным игнайтроном, не имеющим специального охлаждения, равен 5 А, а допустимое амплитудное значение равно 750 А, т. е. в 150 раз больше. Для тиратрона это отношение равно $2^1/_2 \div 6$.

31. Газонаполненные лампы. Все лампы, в которых ток проходит через газ, испускают свет. Это обстоятельство использовано для производства газосветных трубок. Большинство газосветных трубок с холодным катодом имеют два электрода. Многие лампы имеют два тождественных электрода, служащих попеременно то анодом, то катодом, в зависимости от того, который из них во время данного полупериода переменного тока положителен или отрицателен.

им. Л.М. Кагановича
НБ УРУНТ (ДІТ)

Среди специальных типов ламп можно упомянуть о точечных лампах. Особенность этой лампы заключается в том, что тлеющий разряд концентрируется в небольшом канале, высверленном на некоторую глубину в катоде.

Газосветные лампы (неоновые трубки) применяются, главным образом, для реклам. Неоновая лампа с управляющей сеткой применяется в качестве источника света для стробоскопа (см. § 65).

Литература

«Industrial Uses of Electron Tubes», Baker, Fitzgerald and Whitney, Electronics, January, 1931, pp. 467—469.

«The Kathetron», Palmer H. Craig, Electronics, March, 1933, pp. 70—71.

«Control of an Arc Discharge by Means of a Grid», Hull and Langmuir, Proc. Nat. Acad. Sci., Vol. 51, No. 3, pp. 218—225, March, 1929.

«Grid-Controlled Glow and Arc Discharge Tubes», Knowles and Sashoff, Electronics, July, 1930, Elec. Journal, August, 1930.

«Gas-filled Thermionic Tubes», A. W. Hull, AIEE Trans., July, 1928.

«Characteristics and Functions of Thyratrons», A. W. Hull, Phys. February, 1933.

«Grid and Plate Currents in a Grid-Controlled Mercury Vapor Tube», Seletzky and Shevki, J. Franklin Inst., March, 1933, p. 299.

«Shield-grid Controlled Rectifiers», Livingston and Moser, Electronics, April, 1934.

«Ratings of Industrial Electronic Tubes», Pike and Ulrey, Elec. Eng., December, 1934, p. 1577.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ

Содержание второй части этой книги заключается в описании способов и схем управления анодным током электронных ламп, тиратронов и игнайтронов. Схемы для каждого из трех классов ламп описываются независимо друг от друга для того, чтобы наиболее ясно обрисовать существующие методы управления.

Основные схемы для выпрямителей и фотоэлементов описаны во многих книгах. Поэтому мы будем останавливаться на них лишь в той мере, в которой это необходимо для понимания работы рассматриваемых нами схем. Многие из схем, приведенных в этой части, значительно упрощены: выпрямители и фильтры заменены батареями и не показаны способы изменения потенциалов.

Тщательное изучение основных элементарных схем необходимо для понимания более сложных схем, используемых в различных приборах и аппаратах и описываемых в последующих частях книги.

Глава IV

ЛАМПОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ

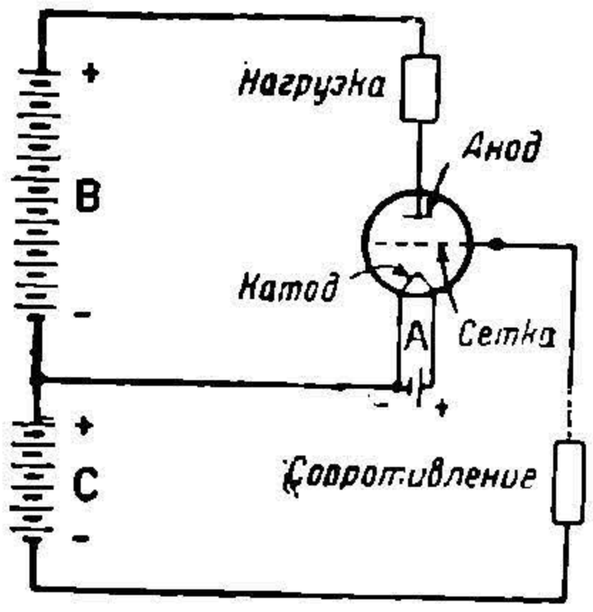
Схемы, в которых применяются высоковакуумные электронные лампы, можно разделить на генераторы и усилители. Генераторы применяются для получения колебаний высокой частоты и для некоторых специальных промышленных применений. Усилители

ГБ УДУНТ (ДІІТ)

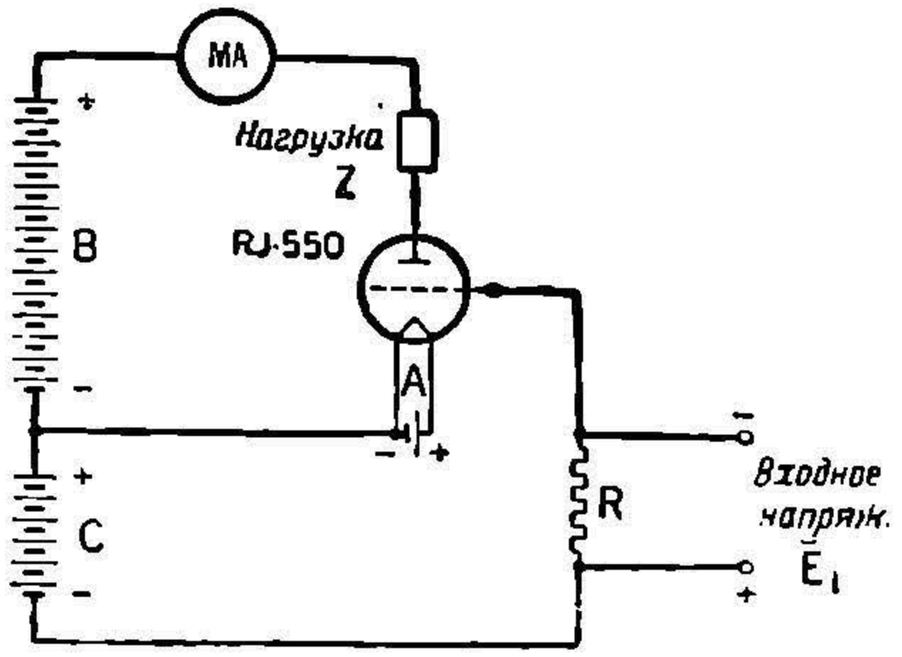
применяются для усиления слабых импульсов напряжения (получаемых, например, на выходе фотоэлемента) до значения, достаточного для приведения в действие других приборов, работающих при сравнительно больших мощностях или напряжениях.

Схемы, работающие при радиочастотах, пока не нашли себе широкого применения в промышленности. Усилители, используемые в производственных процессах, обычно служат для усиления напряжений низкой частоты или напряжений постоянного тока.

32. Основные методы управления анодным током при помощи сетки. Для того чтобы напряжение можно было бы усилить при

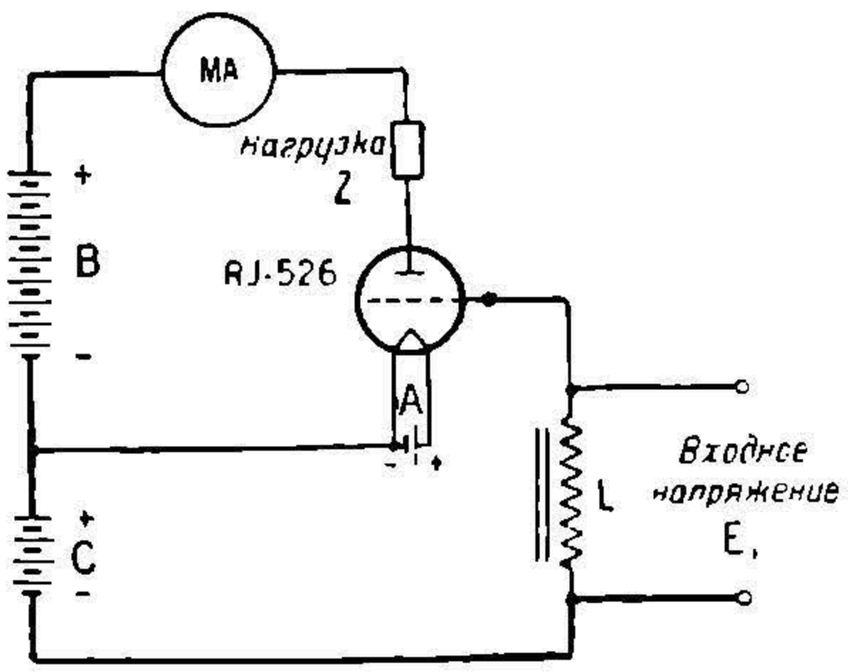


Фиг. 33. Простейшая схема усилителя.



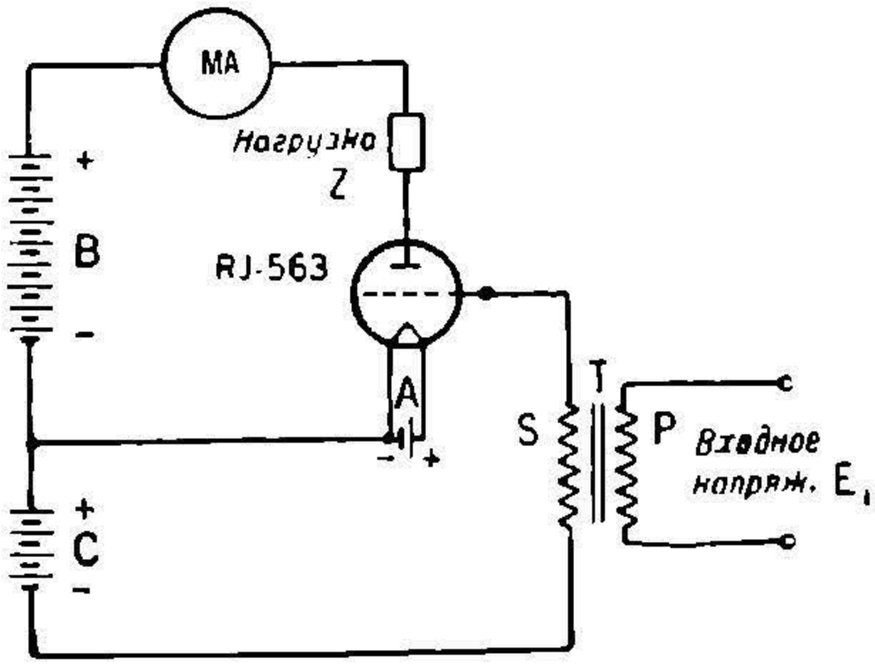
Фиг. 34. Однокаскадный усилитель на сопротивлениях. Характеристику лампы см. фиг. 16.

A — 2,5 V; B—135 V; C — 6 V; MA — 4mA при $E_i = 0$; MA — 2 mA при $E_i = 4{,}8$; $Z = 10\,000\ \Omega$; $R = 30$ M Ω.



Фиг. 35. Однокаскадный усилитель с дросселем на входе.

A — 1,25 V; B — 180 V; C — 9,5 V; L — 30 H; Z — 10 000 Ω; MA—4,5 mA при $E_i = 0$;



Фиг. 36. Однокаскадный усилитель с трансформаторной связью на входе.

A — 2,5 V; B — 350 V; C — 30 V; Z — 1250 Ω; MA — 80 mA при $E_i = 0$;

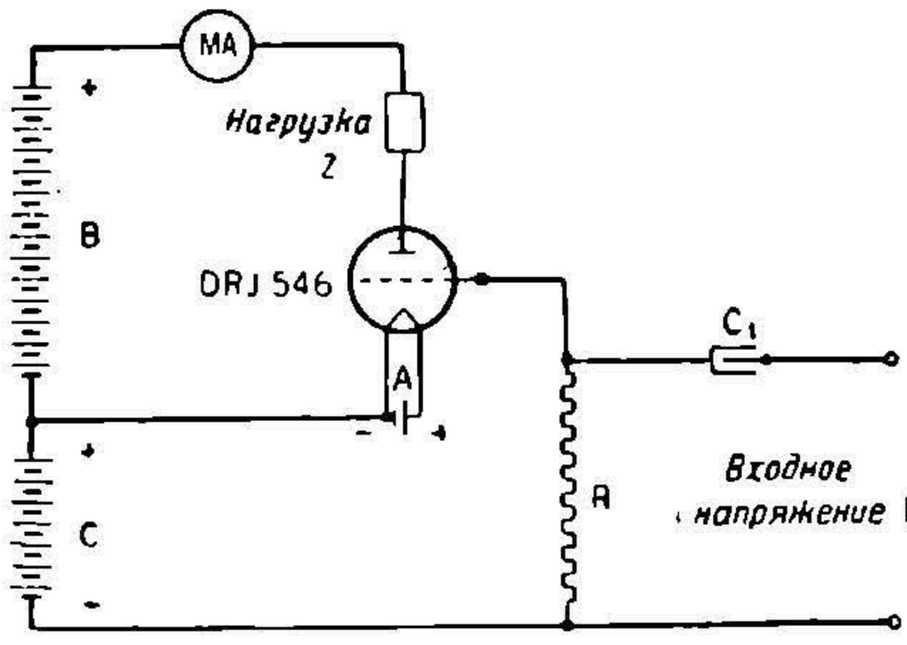
T — отношение $\frac{S}{P} = 5$.

помощи электронной лампы, его необходимо подать на сетку лампы таким образом, чтобы оно изменяло потенциал сетки относительно катода. Кроме того, на сетку должно быть наложено постоянное напряжение смещения, обеспечивающее работу лампы

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в рабочей точке ее характеристики. Напряжение смещения обычно включается в цепь, соединяющую сетку с катодом через активное сопротивление, дроссель, трансформатор или комбинацию из этих элементов. Усиливаемое напряжение подается на сопротивление, находящееся в цепи сетки.

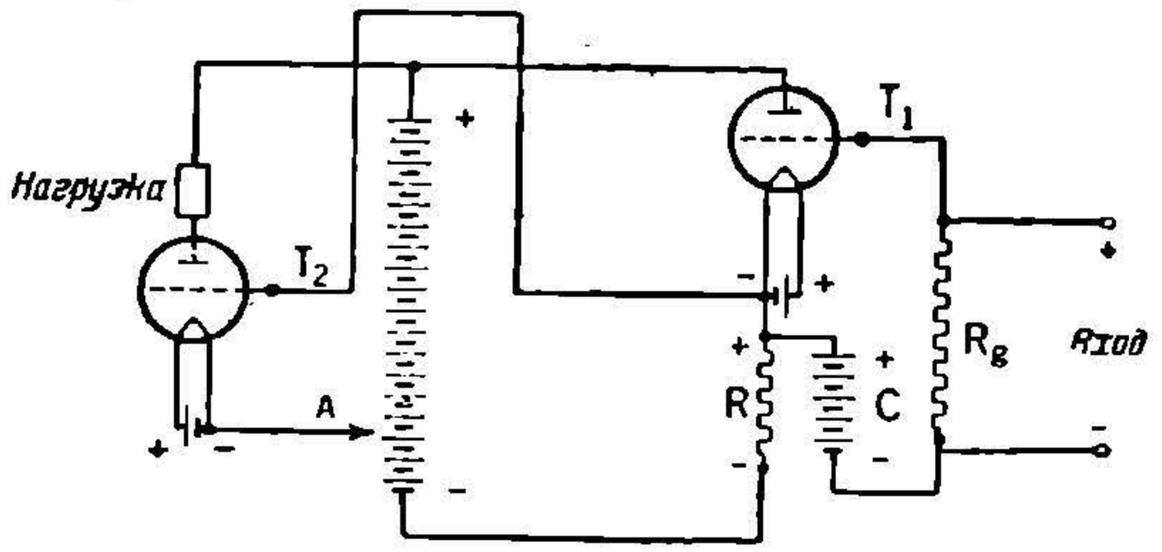
Простейшая схема усилителя показана на фиг. 33. Напряжение смещения подается на сопротивление в цепи сетки. При расчете схемы и выборе батареи *C* необходимо учитывать падение напряжения на сопротивлении, создаваемое наличием сеточного тока (см. § 13). Для того чтобы усилить напряжение, необходимо лишь подать его на зажимы сопротивления, находящегося в цепи сетки (фиг. 34). Если усиливаемое напряжение постоянно, то в цепь сетки необходимо включать активное сопротивление и нельзя вводить емкость. Если усиливается переменное напряжение, то сопротивление в цепи сетки может состоять из дросселя или трансформатора (фиг. 35 и 36).



Фиг. 37. Однокаскадный усилитель с емкостной связью на входе.
A — 2,5 V; B — 450 V; C — 5,0 V; Z — 20 000 Ω; C_1 — 0,2 μF; R — 1 MΩ; MA — 6 mA при $E_i = 0$.

Если входное напряжение представляет собой постоянное напряжение, имеющее переменную составляющую, то, для того чтобы пропустить к сетке последнюю, часто пользуются емкостной связью (фиг. 37). Тот же результат можно достигнуть при помощи трансформаторной связи (фиг. 36).

33. Многокаскадные усилители на сопротивлениях. Усилителями на сопротивлениях пользуются в основном лишь для усиления постоянных и медленно изменяющихся напряжений с частотой до 25 Hz. Объясняется это тем, что в этих усилителях напряжение на выходе зависит не только от изменения напряжения на входе усилителя, но и от изменения характеристик лампы. По этой причине число каскадов в усилителе постоянного тока не может быть большим. На фиг. 38 дана одна из типичных схем подобного рода усилителя. Эта схема требует отдельных источников питания для каждого каскада, так как между катодами обеих ламп существует некоторая разность потенциалов.



Фиг. 38. Двухкаскадный усилитель на сопротивлениях.

В том случае, когда напряжение на входе равно нулю, сетка лампы T_1 имеет отрицательный потенциал по отношению к катоду, величина отрицательного смещения определяется батареей *C*. Анод-

НБ УДУНТ (ДІТ)

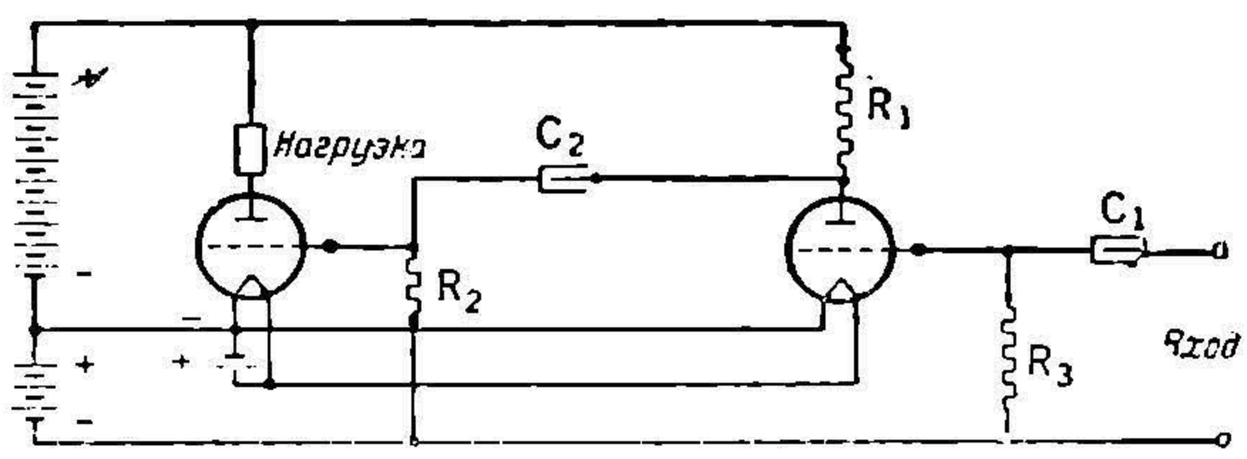
ный ток лампы T_1 создает падение напряжения на сопротивлении R. Сеточное напряжение лампы T_2 равно разности напряжений на сопротивлении R и батареи между точкой A и ее отрицательным полюсом. Поэтому анодный ток лампы T_2, т. е. выход усилителя, зависит от величины этого результирующего напряжения.

Если напряжение на входе усилителя имеет полярность, показанную на фиг. 38, то сетка T_1 делается более положительной, и анодный ток T_1, а следовательно, и ток через R увеличиваются.

В результате падение напряжения на сопротивлении R увеличивается, сетка лампы T_2 приобретает более положительный потенциал, и ток на выходе усилителя возрастает.

Максимальный коэфициент усиления на каскад в схеме этого типа меньше, чем в описываемых ниже усилителях с трансформаторной связью. Обычно коэфициент усиления по напряжению на каскад равен приблизительно всего лишь половине коэфициента усиления лампы.

34. Многокаскадные усилители с емкостной связью. Многокаскадный усилитель с емкостной связью, схема которого приведена на фиг. 39, применяется для усиления напряжений очень низкой частоты. При помощи соответствующего подбора постоянных схемы можно достигнуть без искажения усиления частот порядка 2—3 периодов в секунду. Сеточное напряжение на каждую лампу подается через сопротивление, включенное в цепь сетки (сопротивления R_2 и R_3 на фиг. 39). Таким образом напряжение на сетке каждой лампы поддерживается постоянным независимо от других ламп. Кроме того, оно не зависит от постоянной составляющей тока в анодной цепи предыдущей усилительной лампы, так как конденсаторы C_1 и C_2 не пропускают постоянный ток к сеткам. Если же на вход усилителя подается импульс постоянного напряжения или переменное напряжение, то конденсаторы пропускают это напряжение к сеткам ламп.

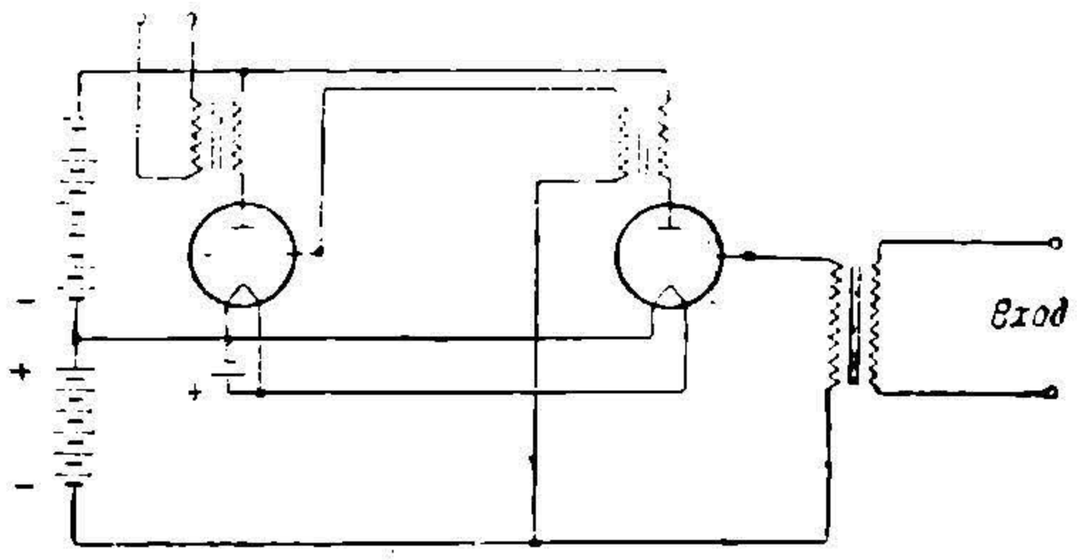


Фиг. 39. Двухкаскадный усилитель с емкостной связью.

Усилитель с емкостной связью гораздо более устойчив, чем усилитель, показанный на фиг. 38, так как изменения характеристик ламп, влияющие на анодный ток, не передаются от одного каскада к другому. Коэфициент усиления по напряжению на каскад усилителей этого типа почти такой же, как и в случае усилителей на сопротивлениях. Усилители с емкостной связью полезны для усиления импульсов напряжения и напряжений низкой частоты, которые неудобно усиливать при помощи усилителей с трансформаторной связью.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

35. Многокаскадные усилители с трансформаторной связью. Схема, приведенная на фиг. 40, отличается от схемы фиг. 39 тем, что в ней связь между каскадами осуществлена при помощи трансформатора, который не пропускает постоянную составляющую анодного напряжения предыдущего каскада на сетку лампы последующего каскада. Сеточное напряжение для каждого каскада подается через вторичную обмотку трансформатора, а не через сопротивление, как в предыдущих схемах. Преимущество усилителей с трансформаторной связью перед усилителями с емкостной связью заключается в том, что промежуточный трансформатор повышает коэфициент усиления. Полное усиление на каскад в случае усилителя с трансформаторной связью равняется примерно произведению $\frac{1}{2}$ коэфициента усиления лампы на коэфициент трансформации, который может быть равен 5.



Фиг. 40. Двухкаскадный усилитель с трансформаторной связью.

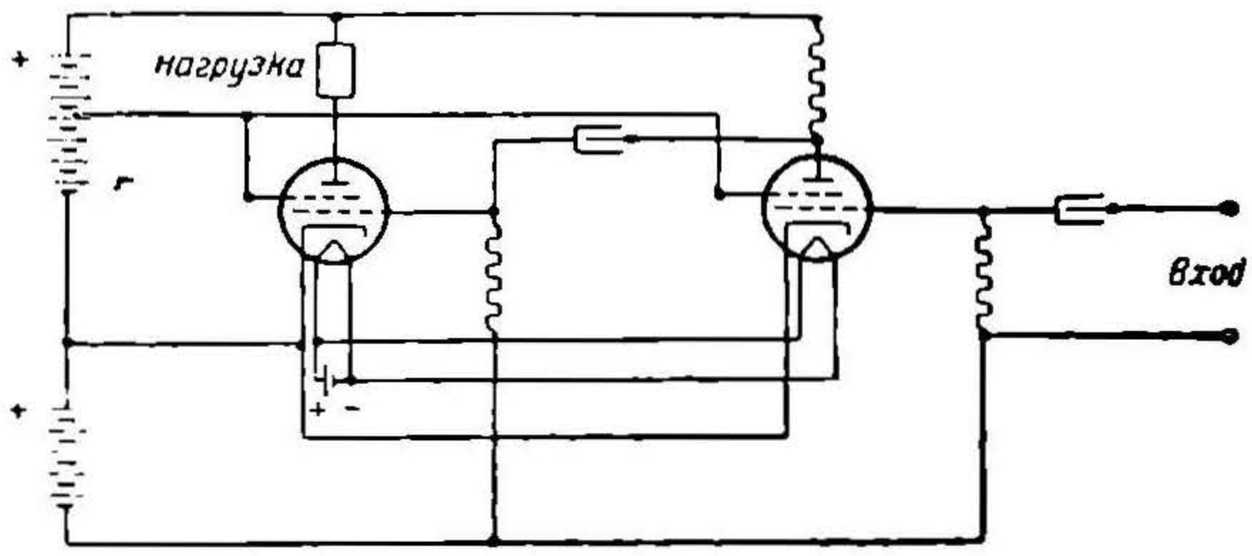
Усилители этого типа редко применяются при частотах ниже 25 Hz, так как при низких частотах промежуточные трансформаторы между каскадами делаются громоздкими и дорогими. Верхний предел частот для усилителей с трансформаторной связью имеет порядок 30 000 Hz в случае трансформаторов с железным сердечником. Для усиления более высоких частот применяют трансформаторы без железного сердечника.

136. Усилители с многоэлектродными электронными лампами. Схемы, рассмотренные в предыдущих четырех параграфах, основаны на применении трехэлектродных усилительных ламп. В действительности имеется очень много различных типов ламп, разработанных, главным образом, для радиотехнических целей, но нашедших себе применение и в промышленности. Наиболее важной из этих ламп является экранированная лампа. Максимальный коэфициент усиления трехэлектродной лампы не превышает 50, в то время как коэфициент усиления экранированной лампы может достигать 1 500.

Экранированные лампы отличаются от трехэлектродных ламп только тем, что они имеют вторую экранирующую сетку, расположенную между управляющей сеткой и анодом. Экранирующая сетка служит для того, чтобы нейтрализовать емкость между управляющей сеткой и анодом. Так как внутреннее сопротивление экранированной лампы очень высоко, то она не может давать большой мощности на выходе. Поэтому экранированные лампы применяются, главным образом, для усиления напряжения в первых каскадах усилителя, в которых они должны пропускать лишь такую мощность, которая достаточна для воздействия на

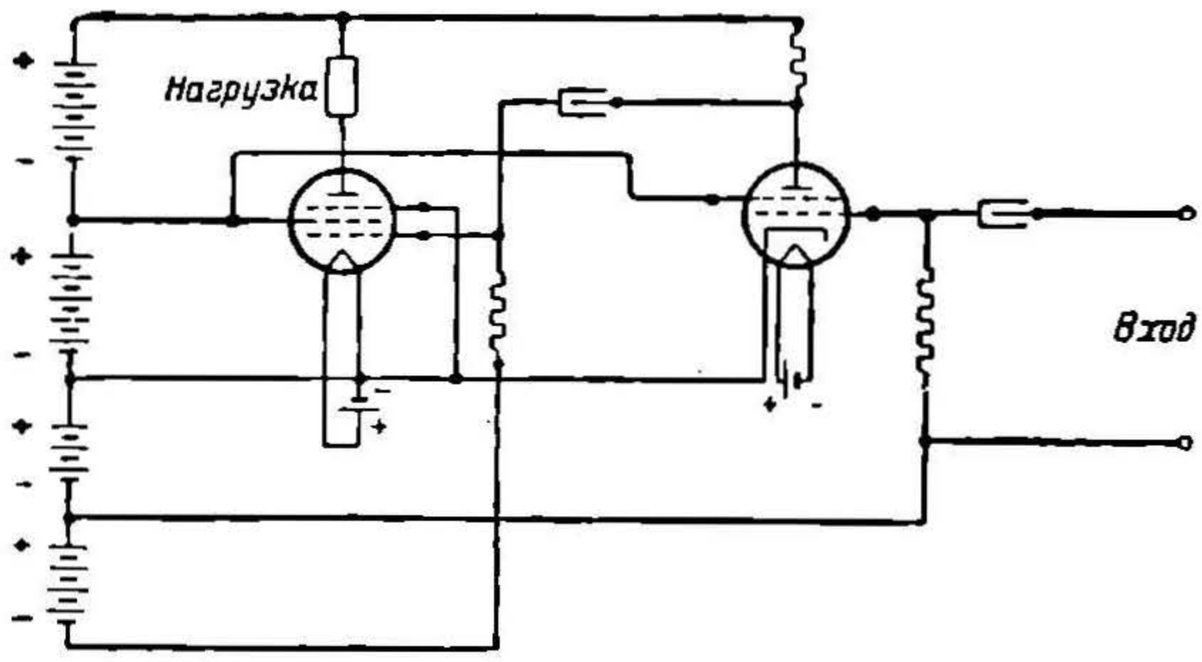
НБ УДУНТ (ДІІТ)

сетку лампы следующего каскада. Схемы усилителей на экранированных лампах мало чем отличаются от соответствующих схем с обычными трехэлектродными лампами, рассмотренных в § 32—35. Единственная разница заключается в том, что нужно располагать источником напряжения для питания экранирующей сетки (фиг. 41). Катоды экранированных ламп обычно имеют косвенный подогрев, как это показано на фиг. 41.

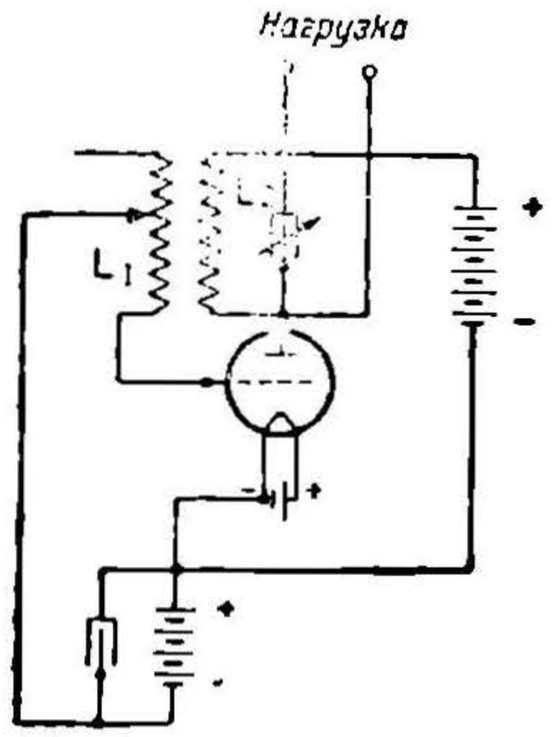


Фиг. 41. Двухкаскадный усилитель с связью на экранированных лампах.

Пентод является дальнейшим усовершенствованием экранированной лампы с точки зрения отдаваемой мой мощности. Пентод имеет третью сетку, расположенную между анодом и экранирующей сеткой и присоединенной к катоду. Эта сетка препятствует вторичным электронам вылетать из анода, когда его потенциал меньше потенциала экранирующей сетки. На фиг. 42 показан усилитель с емкостной связью с пентодом во втором каскаде.



Фиг. 42. Усилитель с емкостной связью с пентодом в выходном каскаде.



Фиг. 43. Генератор высокочастотных колебаний с настроенным контуром в цепи анода.

37. Трехэлектродная лампа, как генератор электрических колебаний. В некоторых промышленных применениях, как, например, для нагрева металла в индукционных печах, требуется располагать источником мощности высокочастотных колебаний, которые не могут быть экономично получены при помощи вращающихся машин. Требуемая частота обычно не так высока, как частоты, применяемые в радиотехнике. Электронные высоковакуумные лампы применяются в генераторных схемах также и для целей управления. Трехэлектродную лампу можно заставить генерировать колебания благодаря тому обстоятельству, что для управления движением электронов в лампе при помощи сетки нужна лишь небольшая часть полной энергии, выделяющейся в цепи

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

анода. Это означает, что если небольшое количество энергии перевести из цепи анода в цепь сетки при помощи обратной связи, то при определенных условиях можно достигнуть возникновения установившихся колебаний. Частота колебаний обычно задается резонансным контуром, включенным либо в цепь анода, либо в цепь сетки. Одна из простейших схем с контуром в цепи анода, настроенным в резонанс, при требуемой частоте дана на фиг. 43. Изменяя индуктивность и емкость в резонансном контуре, можно получить колебания частотой от одного периода в секунду до 10 000 000 периодов в секунду и выше.

Колебания возникают благодаря ничтожным электрическим возмущениям, которые всегда имеются в электрической цепи. Возмущение вызывает изменение тока, которое продолжается в одном направлении, пока это позволяют характеристики лампы и постоянные схемы. В случае возрастания тока изменение продолжается до тех пор, пока анодный ток не достигнет значения насыщения. В случае уменьшения тока изменение продолжается до тех пор, пока анодный ток не сделается равным нулю. Как только достигнут какой-нибудь из пределов, изменение начинает происходить в обратном направлении. Таким образом анодный ток колеблется вокруг некоторого постоянного значения, соответствующего заданному смещению на сетке.

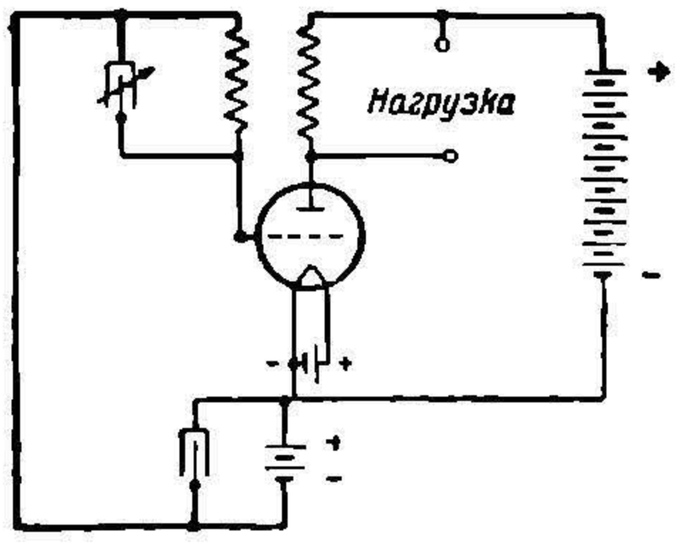
Так как колебания происходят исключительно благодаря непрерывной перекачке энергии из цепи анода в цепь сетки, то очень большое значение имеют индуктивности L_1 и L_2, при помощи которых осуществляется связь. Часто бывает, что наибольшая мощность на выходе выделяется в том случае, если между индуктивностями существует очень слабая связь, однако, достаточная для возбуждения колебаний. Очевидно, что наиболее надежная работа схемы, не зависящая от изменений напряжения источников тока и характеристик лампы, может быть достигнута лишь за счет некоторого ограничения мощности на выходе.

В генераторных лампах, применяемых для промышленных целей, один из методов управления возникновением и прекращением колебаний заключается в применении специального металлического экрана, который помещается между индуктивностями L_1 и L_2 или вблизи от них. Металл служит для того, чтобы поглощать энергию, которая в противном случае перешла бы в цепь сетки. Этот метод управления применяется в лифтах; к стенке шахты, в которой движется подъемник, прикрепляется металлическая пластинка. При приближении подъемника она проходит между катушками самоиндукции высокочастотного генератора, установленного на лифте.

Ток на выходе трехэлектродной генераторной лампы никогда не бывает чисто синусоидальным из-за нелинейности характеристики лампы. При помощи соответствующего подбора постоянных схемы можно получить форму волны, очень близкую к синусоидальной, за исключением самой нижней и самой верхней ее части, так как изменение знака производной тока в лампе происходит именно благодаря изменению наклона характеристики.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

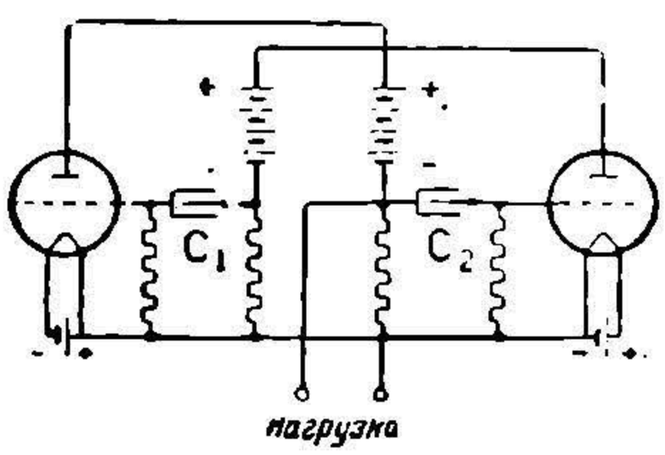
На фиг. 44 дана другая схема генератора, в которой настроенный контур включен в цепь сетки, а не в цепь анода. В тех случаях, когда требуются большие мощности на выходе, колебания обычно создаются при помощи небольшой лампы с настроенным контуром в цепи ее сетки или анода; эта лампа управляет сетками более мощных ламп. Метод сводится лишь к усилению первоначальной мощности высокочастотных колебаний небольшой лампы до величины, достаточной для выполнения поставленной задачи.



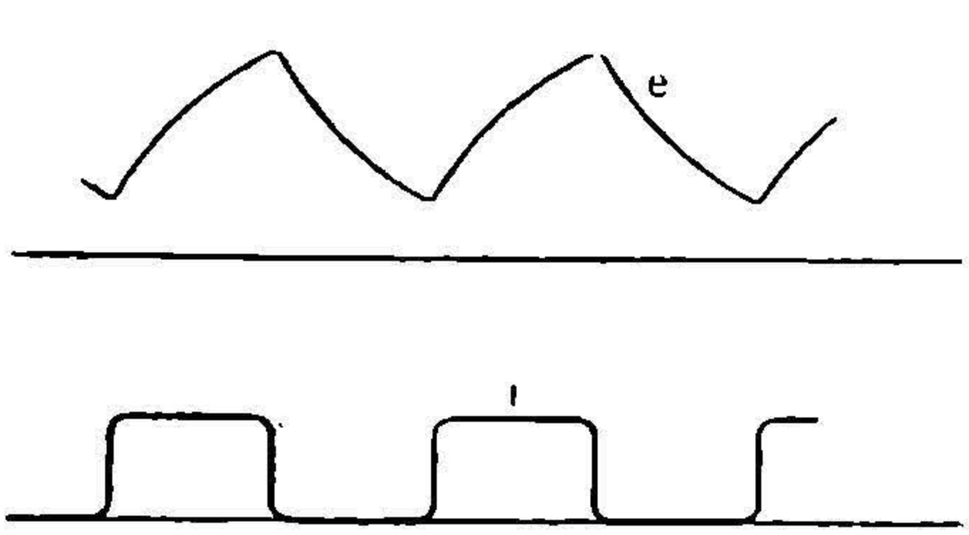
Фиг. 44. Генератор высокочастотных колебаний с настроенным контуром в цепи сетки.

38. Мультивибратор. Этот генератор специального назначения не содержит индуктивностей и обратной связи. Два конденсатора C_1 и C_2 (фиг. 45) попеременно то заряжаются, то разряжаются с определенной частотой. Форма волны напряжения через один из конденсаторов и форма волны тока через одну из ламп показаны на фиг. 46. Несколько видоизмененная схема применяется в катодном осциллографе для получения напряжения, управляющего координатой времени, возрастающей почти по линейному закону.

39. Модуляция и детектирование высокочастотных колебаний. При использовании колебаний высокой частоты в радио-



Фиг. 45. Схема мультивибратора генерирующего колебания без помощи индуктивного сопротивления.



Фиг. 46. Форма волны на выходе мультивибратора (фиг. 45).

передачах мощность высокочастотных колебаний генератора должна изменяться в соответствии с передаваемыми сигналами звуковой частоты. Этот процесс называется модуляцией. В приемниках сигналы выпрямляются и усиливаются, так как только в этом случае они будут услышаны человеческим ухом, которое не может воспринимать колебаний, имеющих частоту выше 30 000 Hz. Схемы такого рода применяются, главным образом, для связи, и поэтому их рассмотрение не входит в задачу этой книги.

Литература

«Amplification of Very Low Direct Currents», Electronics, May, 1931, p. 634.
«A Method of Realizing the Full Amplification Factor of High-mu Tubes», Otto H. A. Schmitt, Rev. Sci. Instruments, December, 1933.

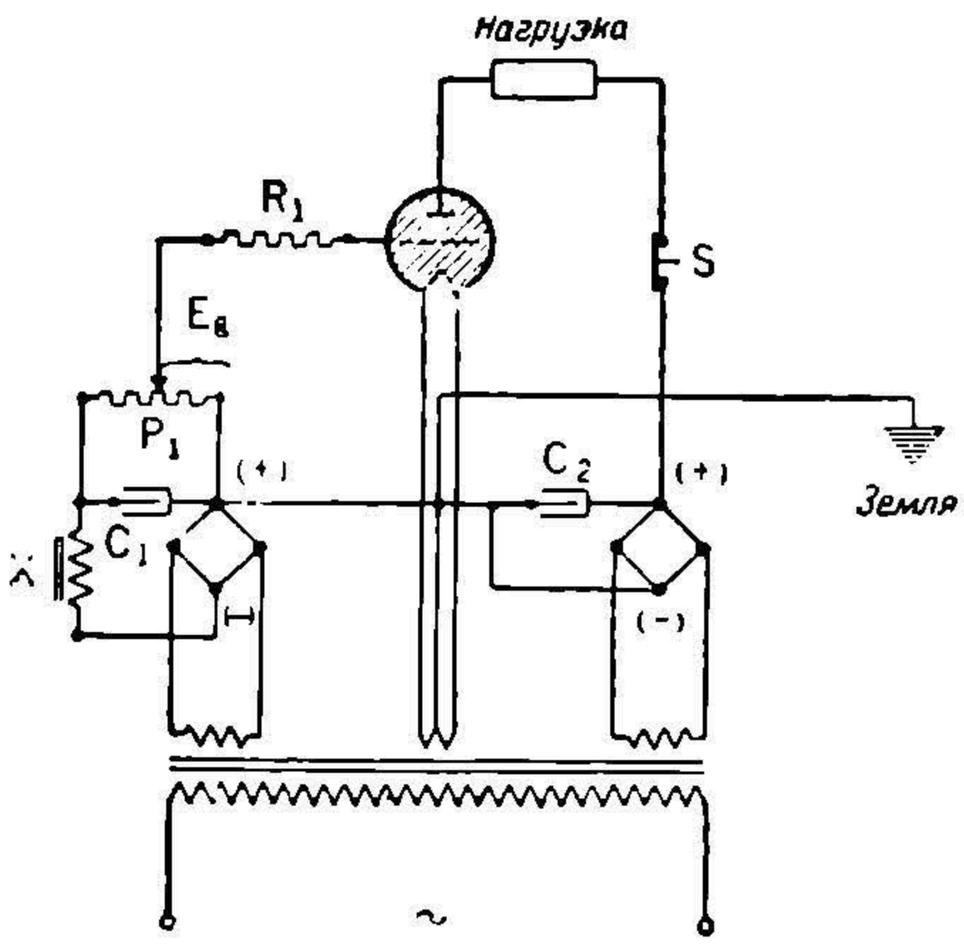
НБ УДУНТ (ДІІТ)

«Direct-current Amplifier for Measuring Small Currents», J. M. Eglin, J. Optical Soc. Am. Vol. 18, pp. 393—402, May, 1929.
J. Franklin Inst., W. B. Nottingham, p. 209, March, 1930.

Глава V

СХЕМЫ С ТИРАТРОНАМИ

В настоящее время известен целый ряд схем управления анодным током тиратрона. Все эти схемы можно подразделить на две группы в зависимости от того, включен ли в цепи анода тиратрона источник постоянного или переменного напряжения. В случае постоянного напряжения тиратрон обладает свойствами, в некотором отношении аналогичными свойствам обычного реле. В тот момент, когда сеточное напряжение делается более положительным, чем это требуется для зажигания тиратрона, последний внезапно „срабатывает“ и затем продолжает пропускать ток даже в том случае, если сеточное напряжение опять приобретает большое отрицательное значение. В случае же переменного анодного напряжения тиратрон в некотором отношении имеет такие же свойства, как и высоковакуумная усилительная лампа в том смысле, что его средний анодный ток в этом случае может регулироваться при помощи сеточного напряжения (см. § 41).



Фиг. 47. Схема управления тиратроном при постоянном сеточном и анодном напряжении.

40. Схемы управления на постоянном токе. Простейшая схема управления анодным током тиратрона изображена на фиг. 47. Постоянное напряжение для анодной цепи и цепи сетки получается при помощи купроксных выпрямителей и фильтров, сглаживающих пульсации переменного тока. В момент когда сеточное напряжение $U_в$ делается более положительным, чем значение, соответствующее потенциалу зажигания, согласно характеристике, приведенной на фиг. 27, тиратрон зажигается и продолжает проводить ток до тех пор, пока анодная цепь не будет разорвана при помощи выключателя.

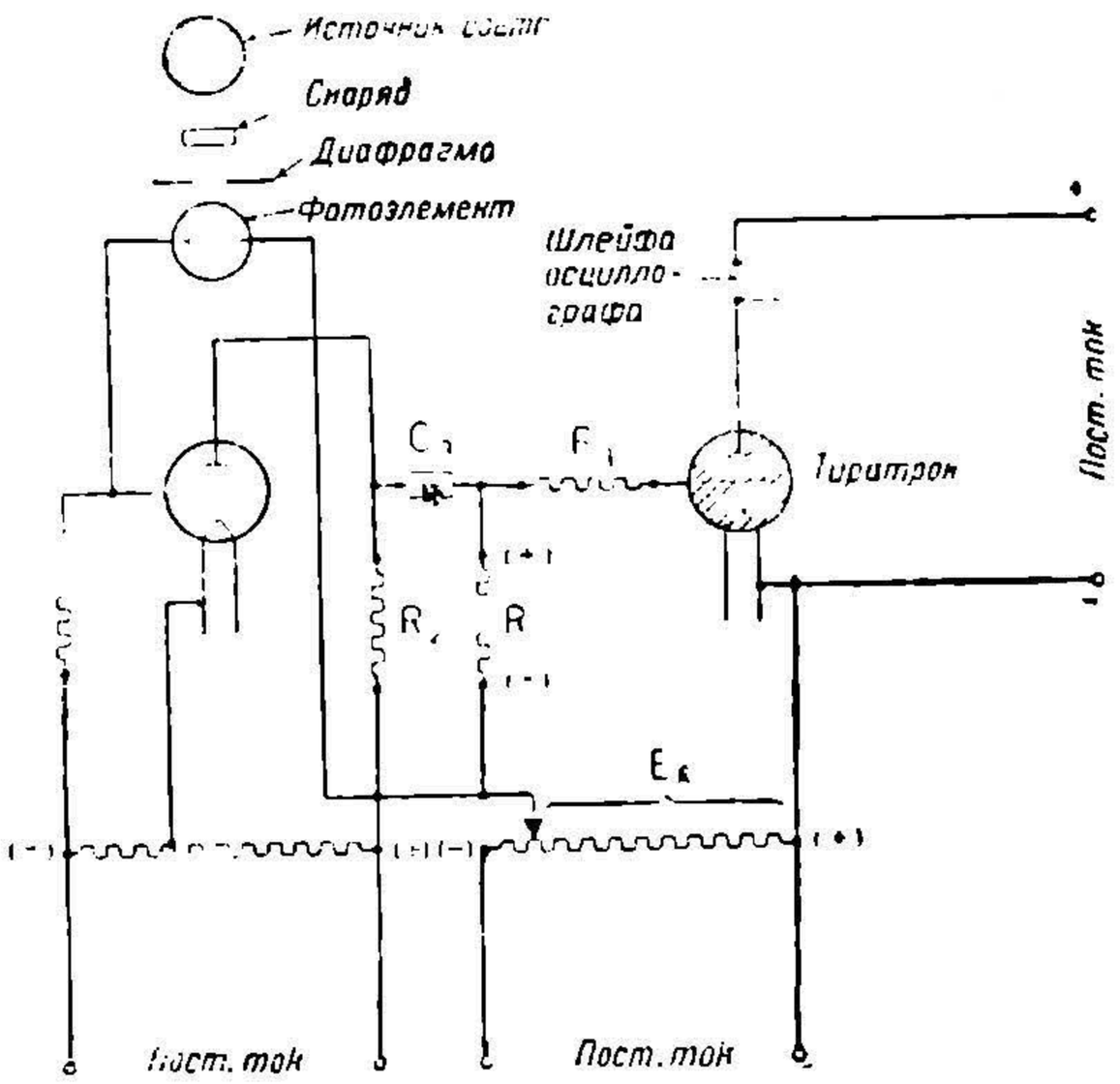
В случае применения схемы, показанной на фиг. 47, необходимо обратить особое внимание на предохранение анодной цепи и в особенности цепи сетки от наведения в них посторонних электродвижущих сил. Действие такого рода помех весьма удобно ограничивать при помощи конденсаторов C_1 и C_2.

Во многих схемах, нашедших себе применение в промышленности, потенциометр P_1 располагается на большом расстоянии от тиратрона, и поэтому провода, подводящие напряжение

НБ УДУНТ (ДІТ)

к управляющей сетке, должны иметь значительную длину. В этих условиях подводящие провода для устранения влияния статических полей должны прокладываться в кабеле с заземленной оболочкой. Ламповая схема обычно монтируется в заземленном металлическом ящике. Кроме того, между сеткой и катодом часто бывает выгодно включать конденсатор. Однако необходимо помнить, что если сопротивление R_1 в цепи сетки велико, то этот конденсатор может ввести запаздывание в работу схемы, которое не должно иметь места, если важно обеспечить быстрое действие схемы.

Расчет фильтров для схем с тиратронами в значительной мере зависит от тех требований, которые к этим схемам предъявляются. В большинстве случаев желательно давать достаточно высокую степень фильтрации в цепи сетки. Обычно сопротивление потенциометра P_1 не бывает выше 20 000—50 000 Ω. Если C_1 не очень велико, то часто бывает необходимо включать дроссель X (фиг. 47). В цепи анода такой дроссель менее необходим, так как нагрузка на выпрямителе до момента зажигания тиратрона равна нулю и напряжение на конденсаторе C_2, т. е. анодное напряжение тиратрона, не будет содержать пульсаций переменного тока до момента зажигания тиратрона. После же зажигания наличие таких пульсаций не влияет на работу схемы, и поэтому они могут быть допущены, если только это не имеет значения для нагрузки. Если полное сопротивление нагрузки настолько мало, что конденсатор C_2 влияет незначительно, то напряжение на тиратроне может упасть ниже минимального значения, требуемого для поддержания анодного тока. В этом случае схема не будет работать, если в нее не ввести фильтрующего дросселя.



Фиг. 48. Схема управления тиратроном при постоянном анодном и импульсном сеточном напряжении

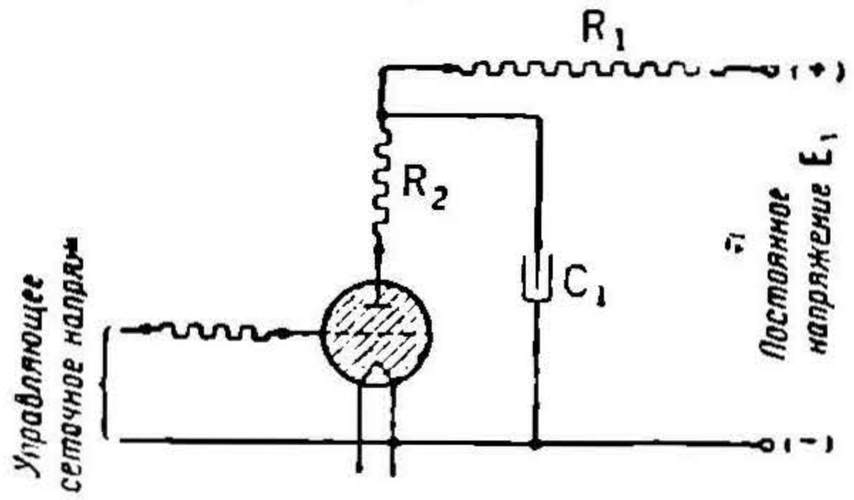
На фиг. 48 показана схема управления тиратроном, в которой зажигание контролируется переменным напряжением, накладываемым на постоянное напряжение. Это переменное напряжение может иметь либо обычную частоту сети, либо более высокую частоту, или же может быть наведено импульсом постоянного напряжения.

Схема на фиг. 48 предназначена для работы на напряжении, получаемом от вакуумной усилительной лампы, управляемой

НБ УДУНТ (ДІІТ)

фотоэлементом. Схема применяется для определения скорости движения снарядов.

Схема работает следующим образом: напряжение U_g подбирается так, чтобы тиратрон был бы заперт. В тот момент, когда снаряд пересекает пучок света, направленный на фотоэлемент, ток через усилительную лампу, а следовательно, и через сопротивление R_2, уменьшается. Благодаря этому конденсатор C_3 начинает разряжаться через сопротивление R_3 (направление тока отмечено знаками + и — на фиг. 48), увеличивая при этом положительное смещение на сетке тиратрона. В определенный момент тиратрон зажигается и воздействует на шлейф осциллографа, который применяется для отсчета времени. Для определения скорости движения снаряда необходимо располагать двумя схемами, расположенными на определенном расстоянии друг от друга. Тогда скорость снаряда может быть определена, если известна скорость движения фотопленки в осциллографе. Очевидно, что основное требование, которое предъявляется к такому устройству, это — быстрое действие. Для устранения запаздывания необходимо, чтобы емкость цепи фотоэлемента была бы возможно меньшей. Усилительная схема должна быть рассчитана таким образом, чтобы в ней не могло возникнуть никаких колебаний, могущих привести к преждевременному зажиганию тиратрона. Для выполнения этого требования необходимо тщательно заэкранировать сетки ламп, полностью сгладить при помощи фильтров напряжение от источников постоянного тока и правильно заземлить схему.



Фиг. 49. Схема для управления анодного тока тиратрона без помощи механического выключателя.

Если параллельно тиратрону приключить конденсатор (фиг. 49), то течение тока через тиратрон можно прерывать, не разрывая анодной цепи. Практическое применение этого принципа дано на фиг. 235. Принцип действия схемы, показанной на фиг. 49, основан на том, что конденсатор C_1 заряжается через большое сопротивление R_1 и затем разряжается через сопротивление R_2 и лампу. Если сеточное напряжение ниже потенциала зажигания тиратрона, то емкость C_1 будет заряжаться через сопротивление R_1 до тех пор, пока напряжение на ее зажимах не сделается равным напряжению E_1 постоянного источника тока. Если же сеточное напряжение больше потенциала зажигания тиратрона, то конденсатор C_1 будет разряжаться через тиратрон до тех пор, пока напряжение на тиратроне не сделается равным напряжению потухания. В этот момент разряд прекратится, сетка опять приобретет способность управлять тиратроном, и конденсатор C_1 снова начнет заряжаться через сопротивление R_1.

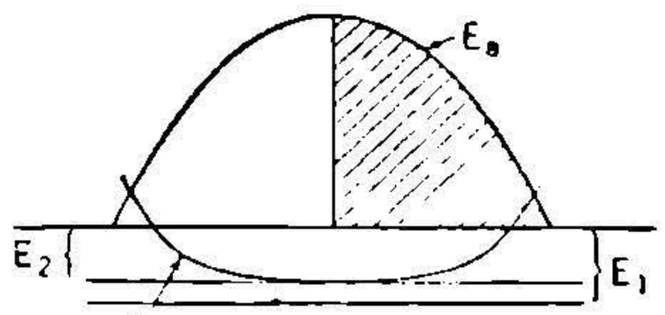
41. Схемы управления на переменном токе. Если анод тиратрона питается от источника переменного тока, то можно осу-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

ществить два, существенным образом отличающихся друг от друга, принципа управления. Один из них основан на изменении величины сеточного напряжения, а другой — на сдвиге фазы между сеточным и анодным напряжениями. При работе на переменном токе тиратрон, как это было указано в § 24, пропускает ток только в течение той половины периода, когда анод положителен по отношению к катоду. Если принять, что анодное напряжение синусоидально, то критическое сеточное напряжение E_g, вызывающее при соответствующем ему анодном напряжении E_a зажигание тиратрона, может быть представлено кривой, приведенной на фиг. 50. Если сеточное напряжение постоянно и равно E_1, как это показано на фиг. 51, то лампа не зажжется, так как сеточное напряжение будет более отрицательным, чем критическое сеточное напряжение, соответствующее амплитуде анодного напряжения E_a. Если сделать сеточное напряжение более положительным и равным E_2, то лампа зажжется при максимальном мгновенном значении анодного напряжения и будет



Фиг. 50. Кривая критического сеточного напряжения при синусоидальном анодном напряжении. Масштаб кривой E_g увеличен, для того чтобы дать представление о форме кривой.



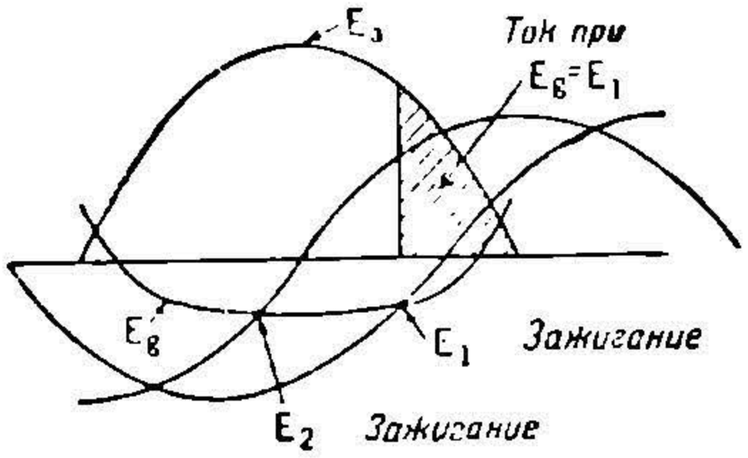
Фиг. 51. Кривая критического сеточного напряжения при переменном анодном и постоянном сеточном напряжении.

пропускать ток в течение оставшейся четверти периода, заштрихованной на чертеже. Если сеточное напряжение сделать еще более положительным, то заштрихованная площадь, а следовательно, и средний ток через тиратрон увеличится и достигнет значения, приблизительно в два раза превышающего прежнюю величину При помощи такого метода средний ток через тиратрон можно резко изменить от 0 до 50% его максимального значения.

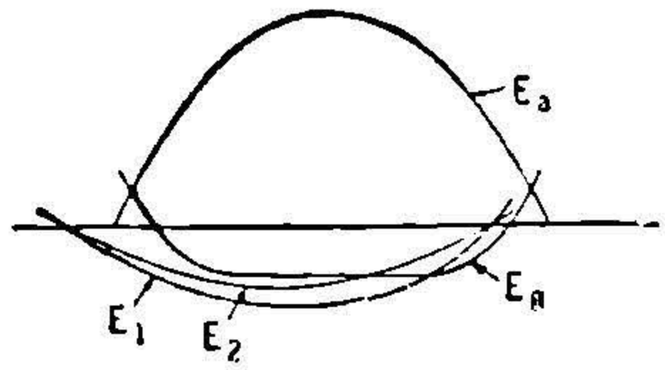
В пределах же от 50 до 100% максимального тока можно получить плавное регулирование величины тока. Благодаря тому, что кривая критического сеточного напряжения E_g имеет сравнительно плоскую форму, требуется лишь очень незначительное изменение сеточного напряжения для повышения среднего анодного тока от 50 до 85% его максимального значения. Поэтому описанная схема мало удобна для модулирования тока и служит лишь для включения или выключения тока.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Кривые, характеризующие способ управления величиной анодного тока тиратрона помощью сдвига фазы, показаны на фиг. 52, 53 и 54. На фиг. 52 дан тот случай, когда на сетку подается переменное управляющее напряжение с постоянной амплитудой и фаза которого изменяется по отношению к анодному напряжению E_a. Если сеточное напряжение дается кривой E_1, то тиратрон зажжется во второй четверти периода. Таким образом тиратрон будет проводить ток только в течение оставшейся короткой части каждого положительного полупериода, и сред-



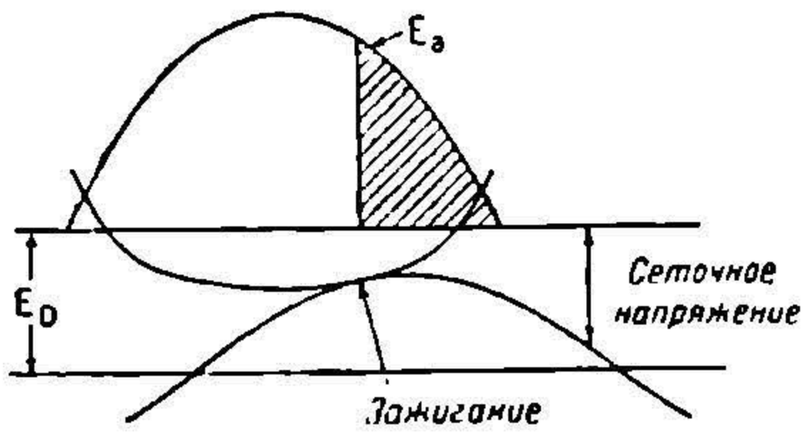
Фиг. 52. Управление током тиратрона при помощи сдвига фазы. Сеточное напряжение сдвинуто по отношению к анодному напряжению.



Фиг. 53. Управление током тиратрона при помощи сдвига фазы, вызываемого изменением величины переменного сеточного напряжения.

ний ток будет близок к нулю. При перемещении кривой сеточного напряжения влево к положению E_2 тиратрон будет зажигаться раньше в течение каждого периода, и средний ток будет больше.

Плавное регулирование анодного тока тиратрона может быть получено посредством изменения фазы переменного сеточного напряжения относительно анодного с последующим изменением амплитуды переменного сеточного напряжения (фиг. 53). Если сеточное напряжение велико, то тиратрон не зажжется. Если сеточное напряжение уменьшено до значения, соответствующего E_1, то тиратрон зажжется в конце положительного полупериода анодного напряжения и таким образом можно будет получить приблизительно 25% от максимального среднего значения анодного тока. Уменьшение сеточного напряжения до E_2 увеличивает средний анодный ток.



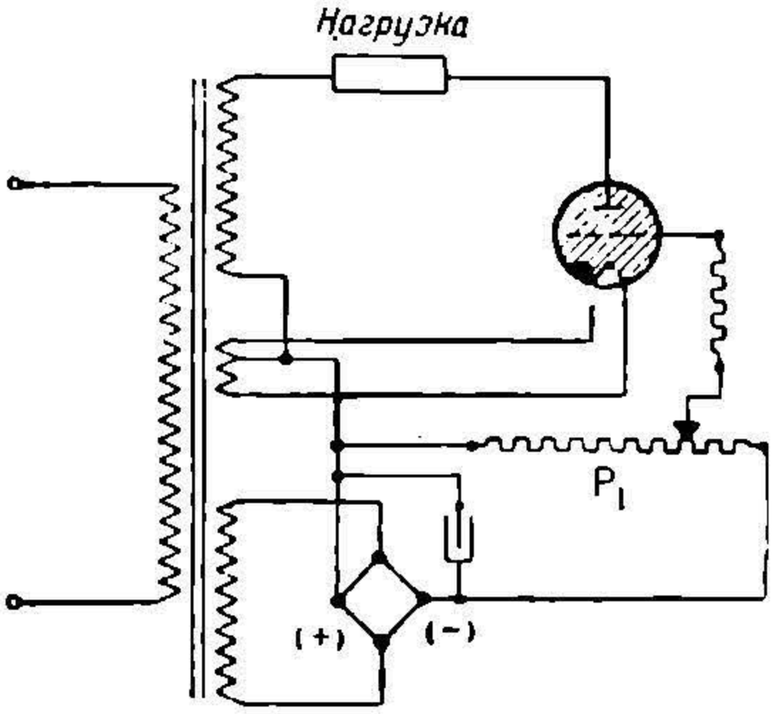
Фиг. 54. Управление током тиратрона при помощи сдвига фазы, создаваемого изменением постоянного сеточного напряжения, наложенного на переменное напряжение.

Этот способ контроля неустойчив, так как угол, под которым кривая переменного сеточного напряжения пересекает кривую критического сеточного напряжения $E_в$, настолько мал, что малейшее изменение в характеристиках тиратрона будет влиять на работу схемы. Описанный метод контроля применялся в некоторых случаях для автоматических регулирующих устройств, но если необходимо ручное регулирование тока тиратрона, то

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

он неприменим и лучше использовать метод, показанный на фиг. 52.

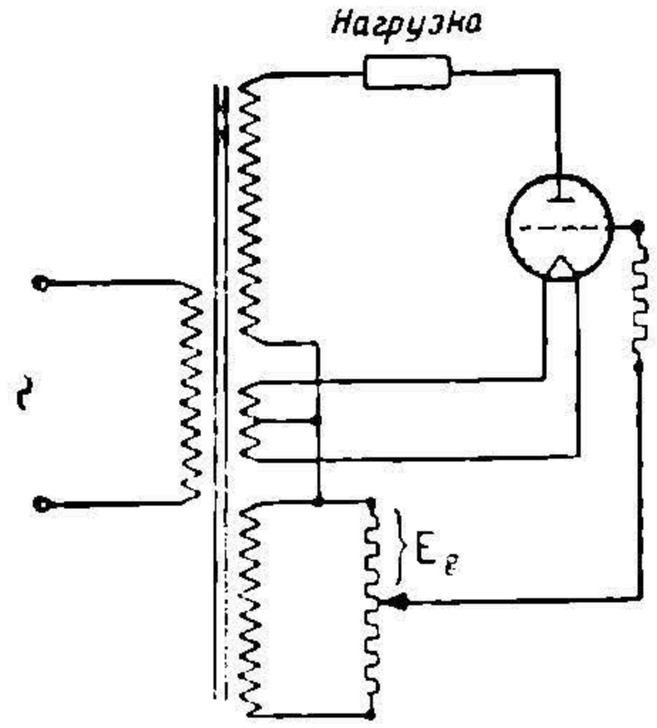
На фиг. 54 показана схема управления тиратроном путем изменения на сетке отрицательного постоянного смещения E_D, на которое наложено переменное напряжение, смещенное по фазе относительно анодного напряжения. В схемах, работающих на этом принципе, средний ток тиратрона увеличивается при уменьшении постоянной составляющей сеточного напряжения.



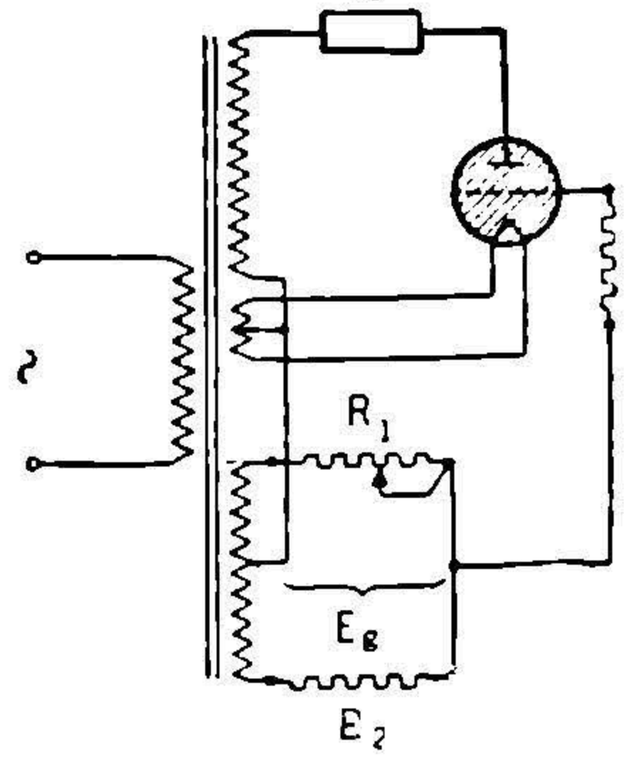
Фиг. 55. Релейная схема управления током тиратрона при переменном анодном и постоянном сеточном напряжении.

42. Схема управления релейного типа. В отличие от регулировочного режима работы тиратрона, когда анодный ток изменяется плавно, назовем релейным режимом метод использования тиратрона, в котором анодный ток изменяется резко, скачком, и который допускает плавное изменение тока в очень узких пределах.

Различные виды схем для резкого изменения величины тока тиратрона показаны на фиг. 55—57. На фиг. 55 показана схема управления с постоянным сеточным напряжением, в которой зажигание тиратрона достигается уменьшением отрицательного напряжения на сетке



Фиг. 56. Релейная схема управления током тиратрона при переменном анодном и сеточном напряжении.



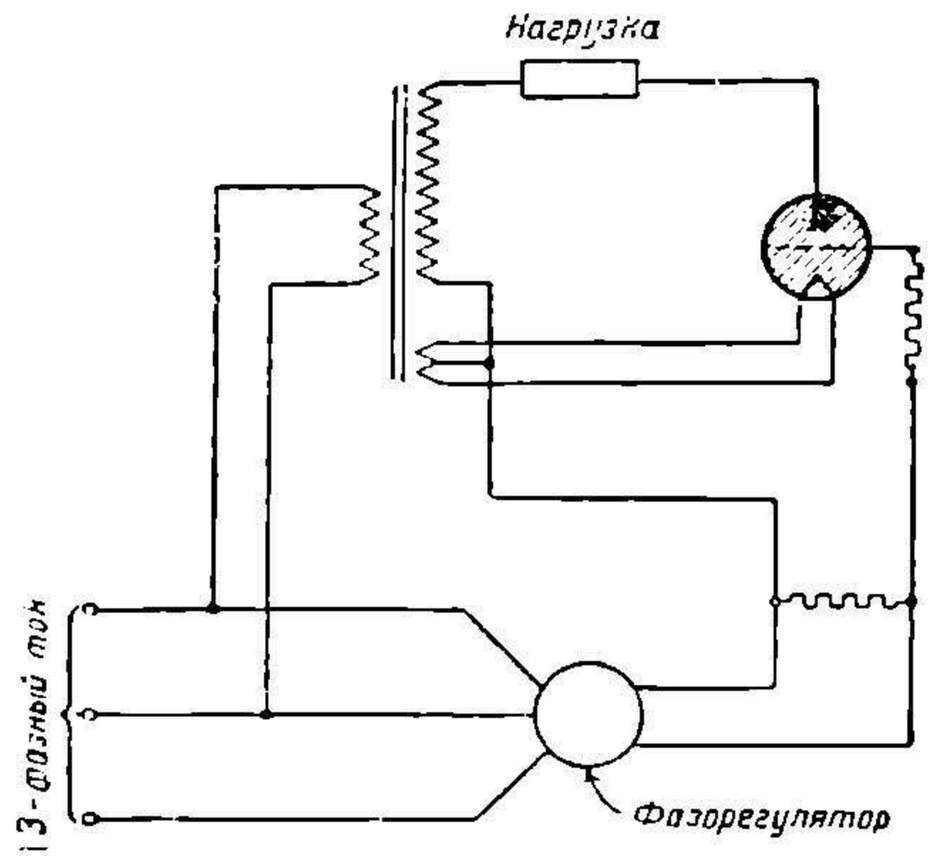
Фиг. 57. Релейная схема управления током тиратрона при переменном анодном напряжении и регулировании сеточного напряжения мостиком переменного тока.

Потенциометр P_1 служит для регулирования, а напряжение постоянного тока получается через двухполупериодный купроксный выпрямитель с конденсатором в качестве фильтра. Для управления сеткой можно воспользоваться любым другим регулируемым источником напряжения постоянного тока, например, фотоэлементом в цепи мостика, усилительной лампой, падением на-

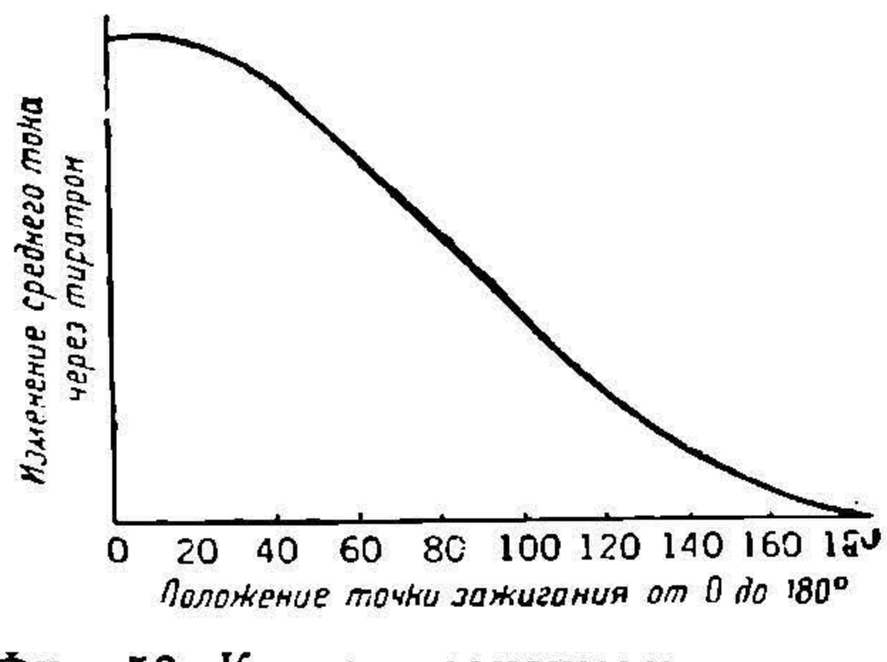
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

пряжения на сопротивлении или напряжением на якоре генератора постоянного тока.

На фиг. 56 дана релейная схема управления, в которой переменное сеточное напряжение смещено на 180° по отношению к анодному напряжению. Видоизменение этой схемы приведено на фиг. 57. Сеточное напряжение снимается с мостиковой схемы. При изменении сопротивления R_1 от максимума до минимума сеточное напряжение E_g будет изменяться от максимума до нуля, а затем, изменив полярность, от нуля до максимума. При опрокидывании фазы анодного напряжения в схемах, описываемых в § 43, также получается резкое изменение анодного тока тиратрона. Например, изменение сопротивления R на фиг. 61 даст релейный способ управления, если анодное напряжение E_a будет опрокинуто на фазе.



Фиг. 58. Схема управления током тиратрона посредством сдвига фазы сеточного напряжения, получаемого при помощи фазорегулятора.

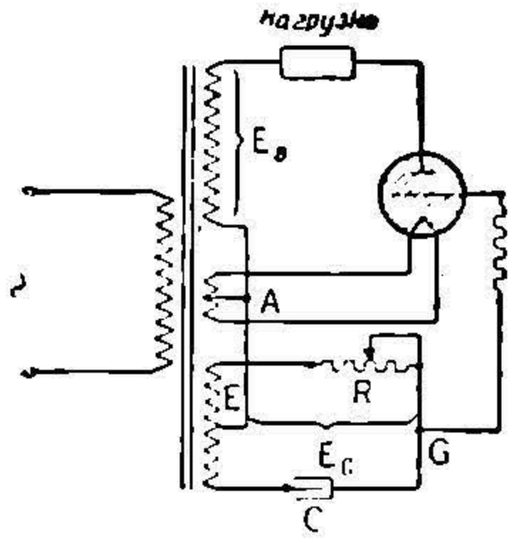


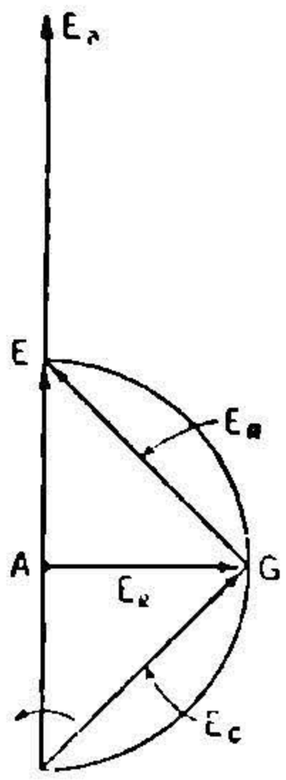
Фиг. 59. Кривая зависимости тока от положения точки зажигания для тиратрона, управляемого сдвигом фазы.

43. Схемы управления при помощи сдвига фазы. Некоторые из схем управления сдвигом фазы основываются на применении специальных механических устройств, другие же схемы используют электрические или электронные методы контроля. На фиг. 58 показана схема для ручного управления, в которой фаза сеточного напряжения регулируется при помощи фазорегулятора. Кривая на фиг. 59 показывает изменение среднего тока тиратрона в зависимости от угла сдвига фазы сеточного напряжения. Диаграмма напряжений для этой схемы приведена на фиг. 52. Для получения сдвига фазы сеточного напряжения можно воспользоваться мостиковыми схемами, составленными из сопротивлений, катушек самоиндукции и конденсаторов и дающими такие же результаты, как и схема на фиг. 58. Такого рода мостиковые схемы для получения сдвига фазы показаны на фиг. 60 и 61. В схеме на фиг. 60 сдвиг фазы получается при помощи сопротивления и конденсатора. При увеличении сопротивления R сеточное напряжение E_g сдвигается в сторону отставания от анодного напряжения E_a, вызывая при этом уменьшение среднего тока в анодной цепи тиратрона. На фиг. 61 для получения сдвига фазы

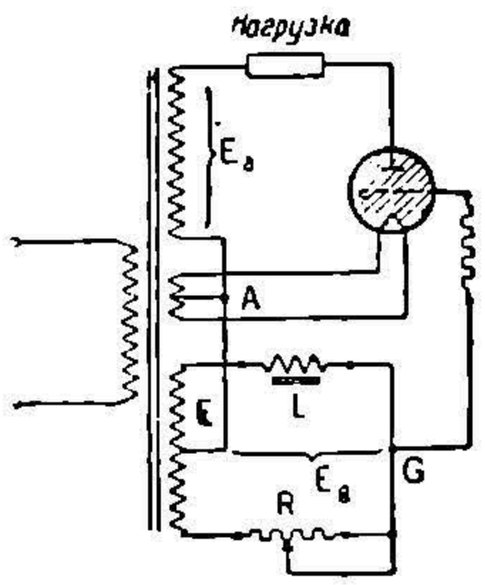
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

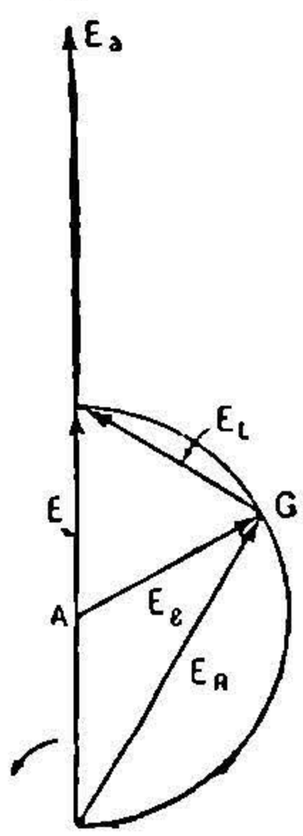
используется сопротивление и катушка самоиндукции. В этой схеме увеличение сопротивления R влечет за собой возрастание среднего тока тиратрона, так как при увеличении R сдвиг фаз между сеточным напряжением E_g и анодным напряжением E_a уменьшается. Схемы на фиг. 60 и 61 пригодны как для ручного, так и для автоматического управления током тиратронов. Если регулировка тока должна производиться при помощи сопротивления и если при уменьшении последнего анодный ток тиратрона должен возрастать, то необходимо воспользоваться схемой, показанной на фиг. 60. Регулирование анодного тока можно производить и при помощи изменения емкости или самоиндукции, необходимо лишь помнить, что при этом получается действие,





Фиг. 60. Схема управления током тиратрона при помощи сдвига фазы. Способ контроля сеточного напряжения мостиком, состоящим из емкости и сопротивления.





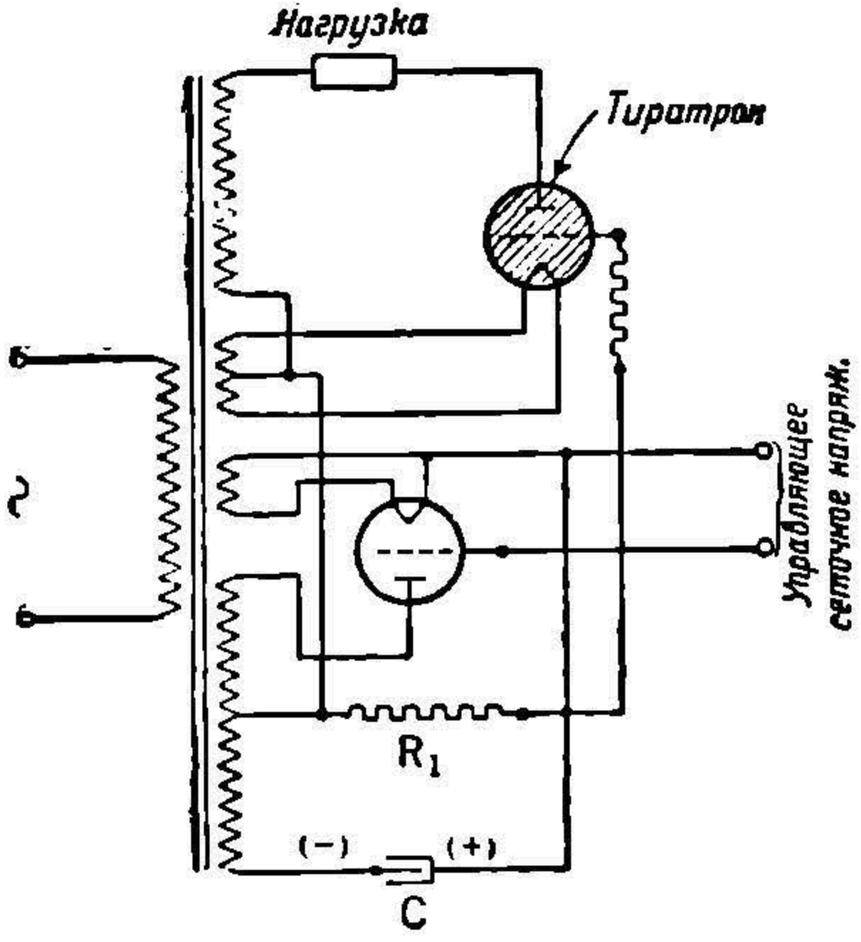
Фиг. 61. Схема управления током тиратрона при помощи сдвига фазы. Способ контроля сеточного напряжения мостиком, состоящим из самоиндукции и сопротивления.

противоположное тому, которое получается при изменении сопротивления. При ручном управлении обычно удобнее всего пользоваться сопротивлением в виде реостата. Если изменения тока должны производиться очень часто, то может оказаться более практичным воспользоваться переменным конденсатором или катушкой самоиндукции, так как эти детали менее подвержены механическому износу.

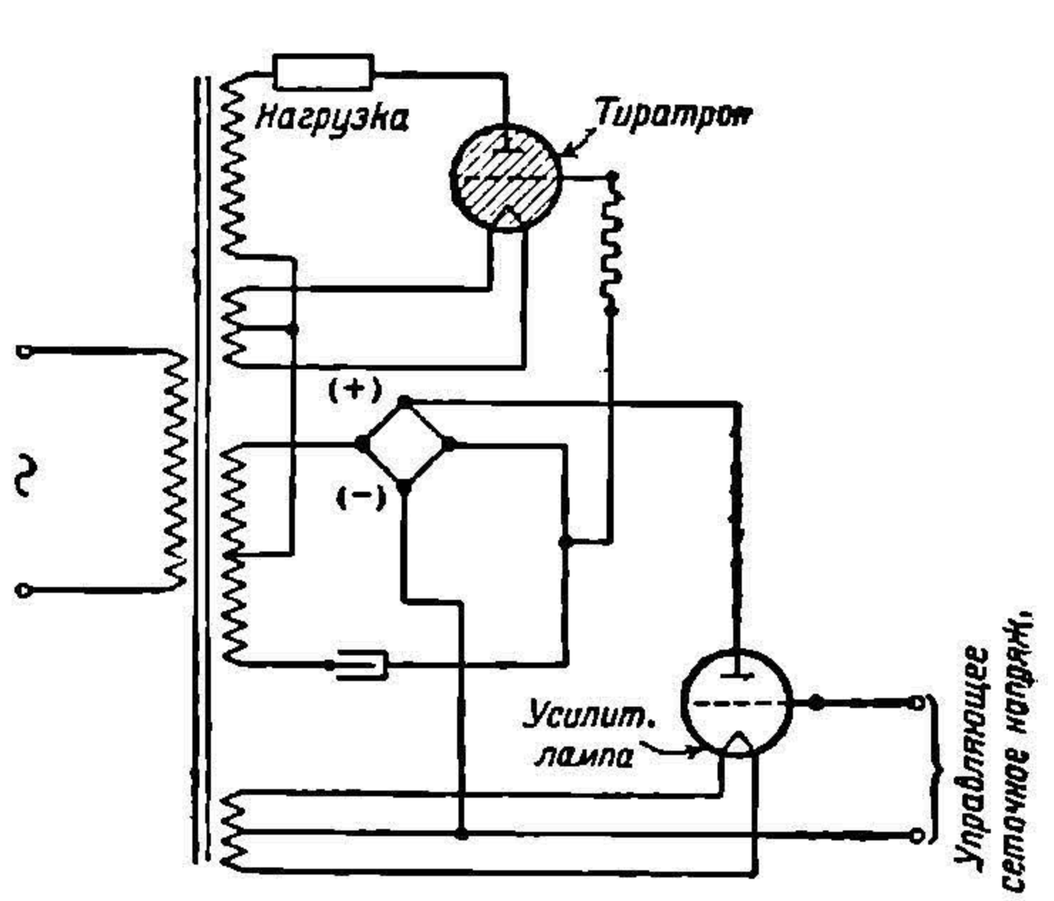
Электрический или электронный способ управления в схемах фазового регулирования более важен, чем ручной способ управления. Электронный способ управления позволяет изменять сопротивление или косвенно самоиндукцию. Способы электронного изменения емкости пока еще неизвестны. На фиг. 62 и 63 приведены схемы для изменения сопротивления электронным способом. На фиг. 62 используется усилительная лампа. Если сеточное напряжение усилительной лампы сделать более положительным, то ее эффективное сопротивление уменьшится и анодный ток тиратрона возрастет. Так как усилительная лампа сама по себе обладает выпрямительными свойствами, то конденсатор C будет заряжаться таким образом, что на правой его обкладке

НБ УДУНТ (ДІТ)

(фиг. 62) будет собираться положительный, а на левой — отрицательный заряд. Этот процесс зарядки искажает векторную диаграмму, показанную на фиг. 60. Для уменьшения этого искажения параллельно диагонали мостика включается, как это показано на фиг. 62, сопротивление R_1. Способ управления с усилительной лампой может быть осуществлен также схемой, показанной на фиг. 61. Если сетка усилительной лампы будет более положительна, то ток тиратрона будет уменьшаться. Усили-



Фиг. 62. Схема управления током тиратрона при помощи сдвига фазы. Способ контроля сеточного напряжения мостиком, состоящим из усилительной лампы и емкости.



Фиг. 63. Схема управления током тиратрона при помощи сдвига фазы. Способ контроля сеточного напряжения мостиком, состоящим из купроксного выпрямителя емкости.

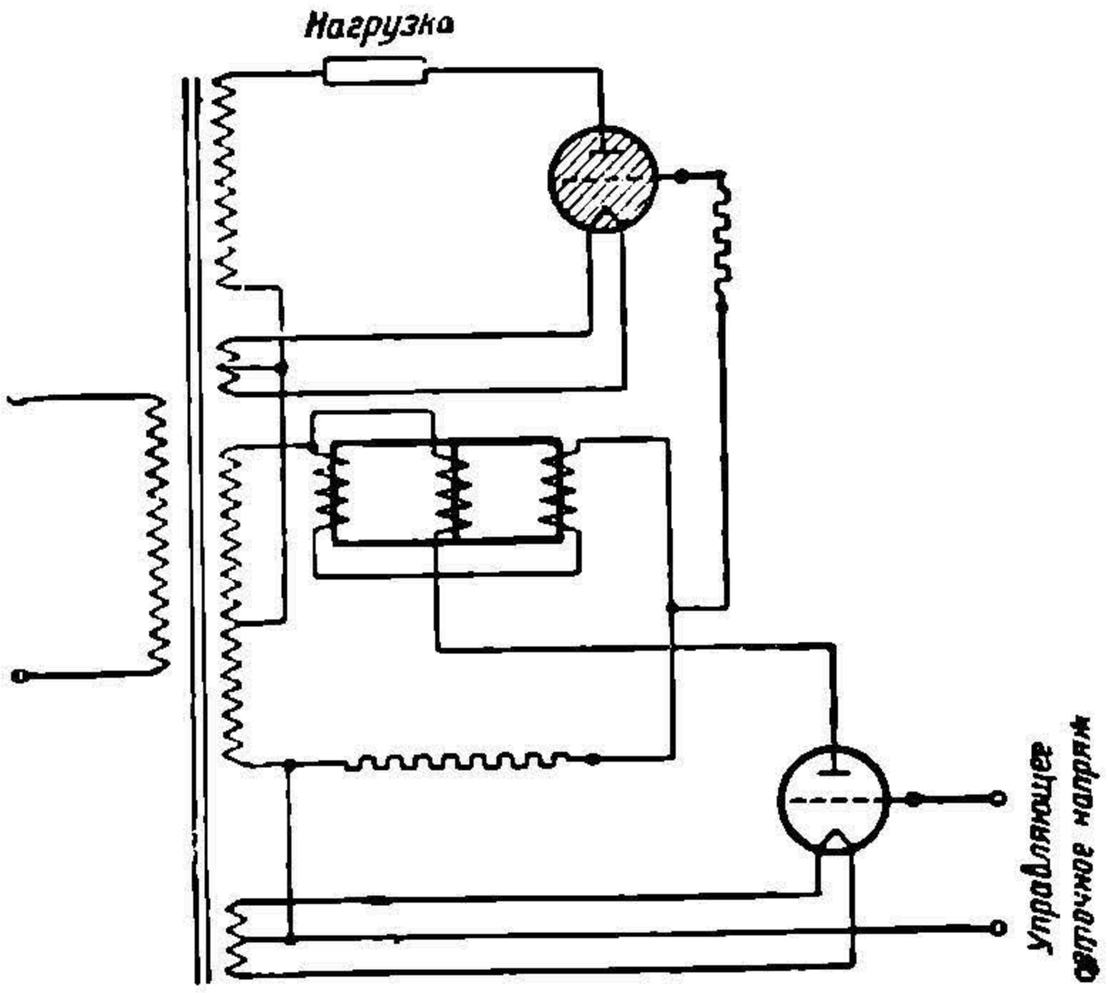
тельная лампа заменяет сопротивление R, причем ее анод должен быть присоединен к G.

Искажение формы волны сеточного напряжения, которое может получиться при использовании схемы фиг. 62, иногда нежелательно. Электронный способ контроля без искажения формы волны можно осуществить при помощи двухполупериодного выпрямителя, ток через который регулируется усилительной лампой так, как это показано на фиг. 63. Эффективное сопротивление выпрямителя изменяется при изменении его нагрузки. Так как выпрямитель использует обе полуволны переменного напряжения, то искажения формы волны не произойдет. Метод контроля, показанный на фиг. 63, может быть использован совместно с мостовой схемой, приведенной на фиг. 61.

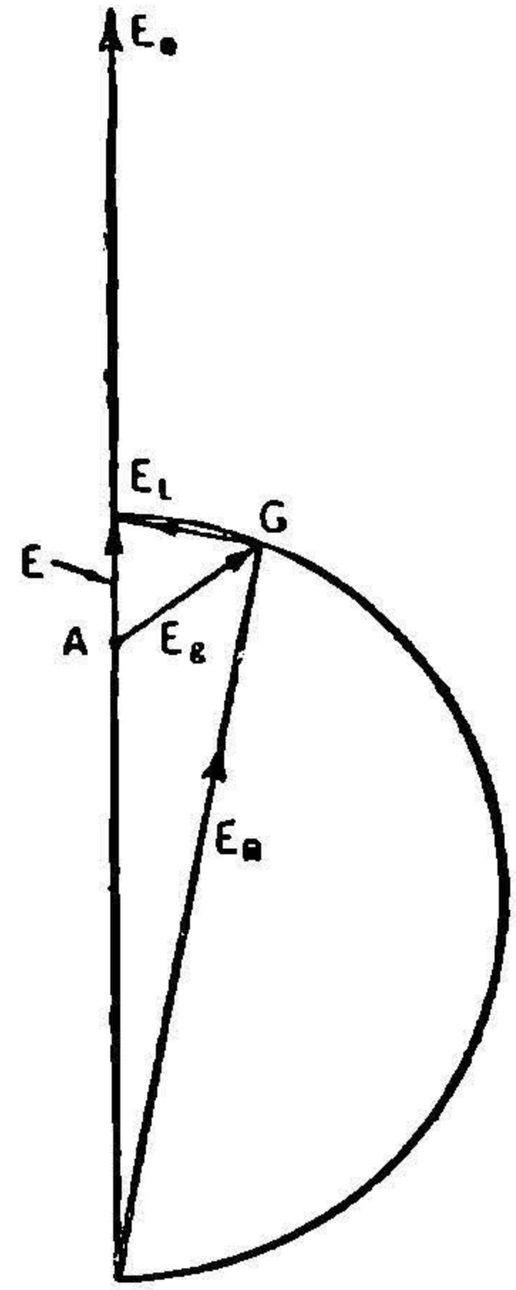
Схема управления фиг. 61 будет действовать также посредством регулирования индуктивности, изменением насыщения дросселя. На фиг. 64 показана одна из подобных схем. Ток подмагничивания, который изменяет степень насыщения железа, регулируется помощью усилительной лампы. Это приводит к изменению реактивного сопротивления обмотки переменного тока дросселя.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Во всех мостовых схемах (фиг. 60—64) катод тиратрона присоединен к средней точке обмотки трансформатора, питающего данную мостовую схему. Это делается потому, что при таком способе соединения сеточное напряжение всегда остается приблизительно постоянным. Однако часто может оказатся желательным присоединять катод несимметрично, для того чтобы получить векторную диаграмму, показанную на фиг. 65. В этом случае при сравнительно небольшом изменении сопротивления получается большое изменение фазы сеточного напряжения. Поэтому схемы такого рода обладают большой чувствительностью. Величина сеточного напряжения возрастает при увеличении угла сдвига фазы. Поэтому ток на выходе тиратрона уменьшается как благодаря возрастанию сеточного напряжения, так и благодаря возрастанию угла сдвига фазы.



Фиг. 64. Схема управления током тиратрона при помощи сдвига фазы. Способ контроля сеточного напряжения мостиком, состоящим из насыщенной катушки с железом и сопротивления.



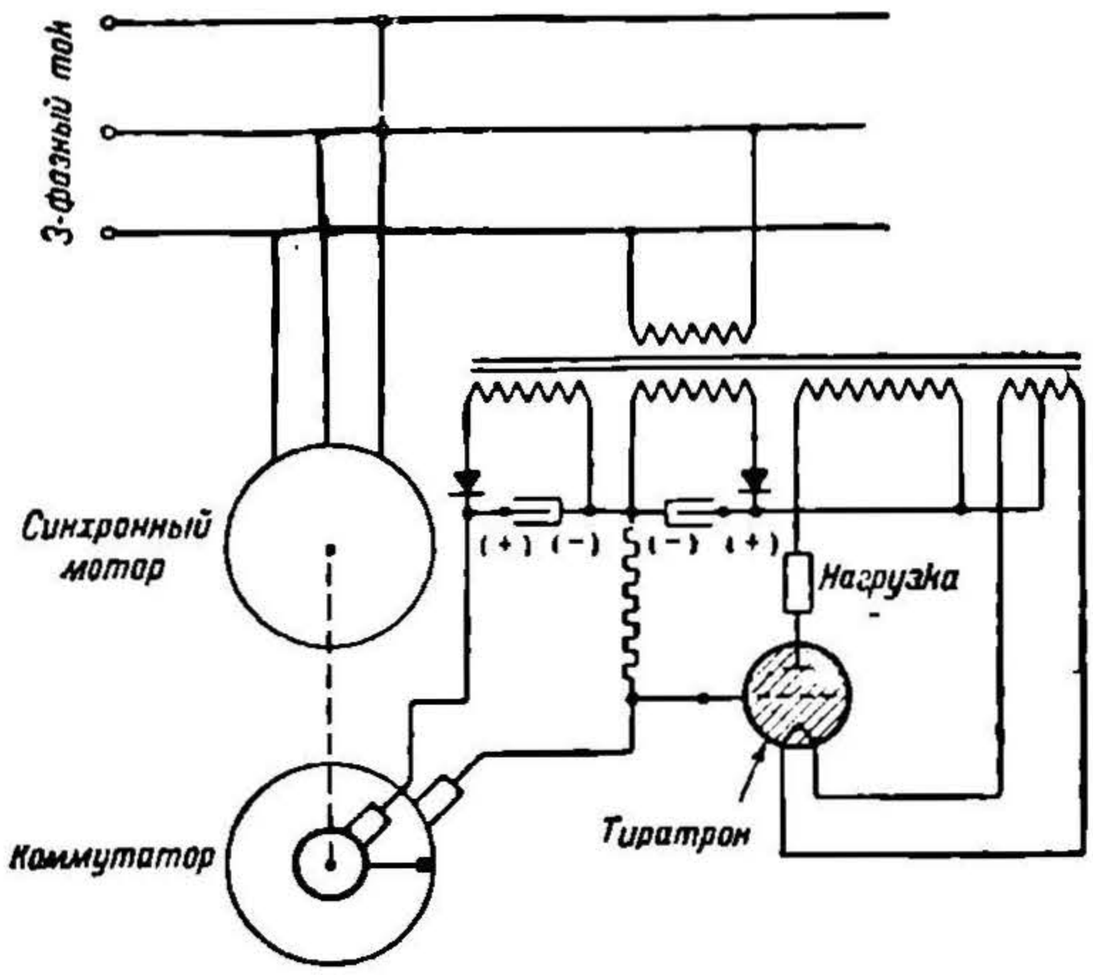
Фиг. 65. Векторная диаграмма для несимметричного мостика.

44. Импульсные схемы управления при помощи сдвига фазы. Принцип действия импульсного способа управления заключается в том, что к сетке тиратрона прикладывается отрицательное сеточное напряжение, благодаря которому тиратрон в нормальных условиях не проводит тока. В момент, когда тиратрон должен зажечься, на его сетку подается положительный импульс. Изменяя момент подачи импульса относительно анодного напряжения, можно осуществить фазовый контроль тока тиратрона. Для того чтобы импульсный метод управления давал точные результаты, необходимо, чтобы продолжительность импульса была бы весьма мала.

Одна из схем импульсного управления приведена на фиг. 66. Эта схема, применяемая в Германии для управления ртутными

НБ УДУНТ (ДІТ)

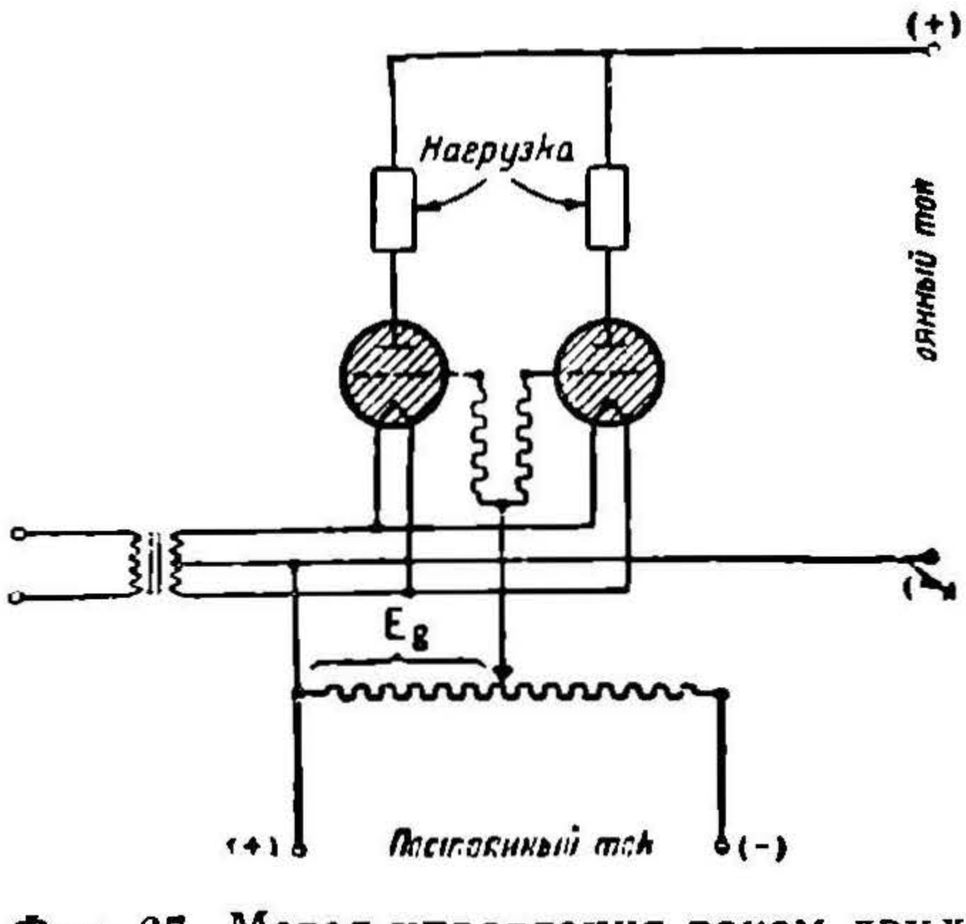
выпрямителями, состоит из вращаемого синхронным мотором коммутатора, который подает на сетку положительный потенциал в тот момент, когда приходит в соприкосновение с проводящим сегментом коммутатора. Положение импульса относительно волны анодного напряжения может изменяться или при помощи изменения положения щетки или при помощи фазорегулятора, включенного между источником переменного тока и синхронным мотором. Этот импульсный метод контроля особенно удобен для управления многофазными выпрямителями. Применение вращающихся механических частей нежелательно, и поэтому контактный метод контроля никогда не получит широкого распространения.



Фиг. 66. Тиратронная схема с контактным способом контроля сеточного напряжения.

Известен статический метод импульсного контроля, основанный на использовании характеристик трансформатора с насыщенным железом. Напряжение импульсного трансформатора, показанное на фиг. 73, практически равно нулю за исключением того момента, когда происходит изменение направления магнитного потока. В этот момент появляется пиковое вторичное напряжение. Момент появления пикового напряжения может изменяться различными методами, один из которых приведен на фиг. 73.

45. Многофазные схемы управления. При постоянном анодном напряжении нельзя увеличить ток нагрузки помощью параллельного соединения нескольких тиратронов. Причина этого заключается в том, что один из тиратронов всегда зажигается несколько раньше других, и поэтому анодное напряжение на всех других тиратронах делается меньшим, чем их потенциалы зажигания, и тиратроны не могут зажечься. Единственный эффективный способ увеличения тока на выходе заключается в разделении нагрузки на две параллельные ветви (фиг. 67).

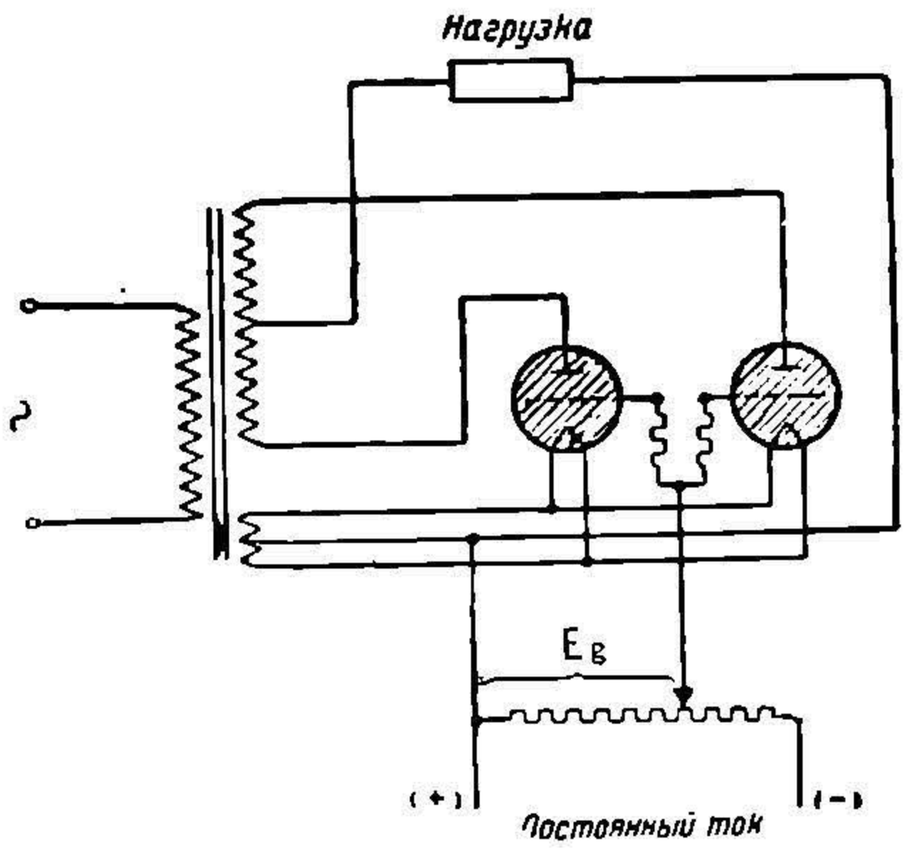


Фиг. 67. Метод управления током двух тиратронов, питаемых от источника постоянного тока.

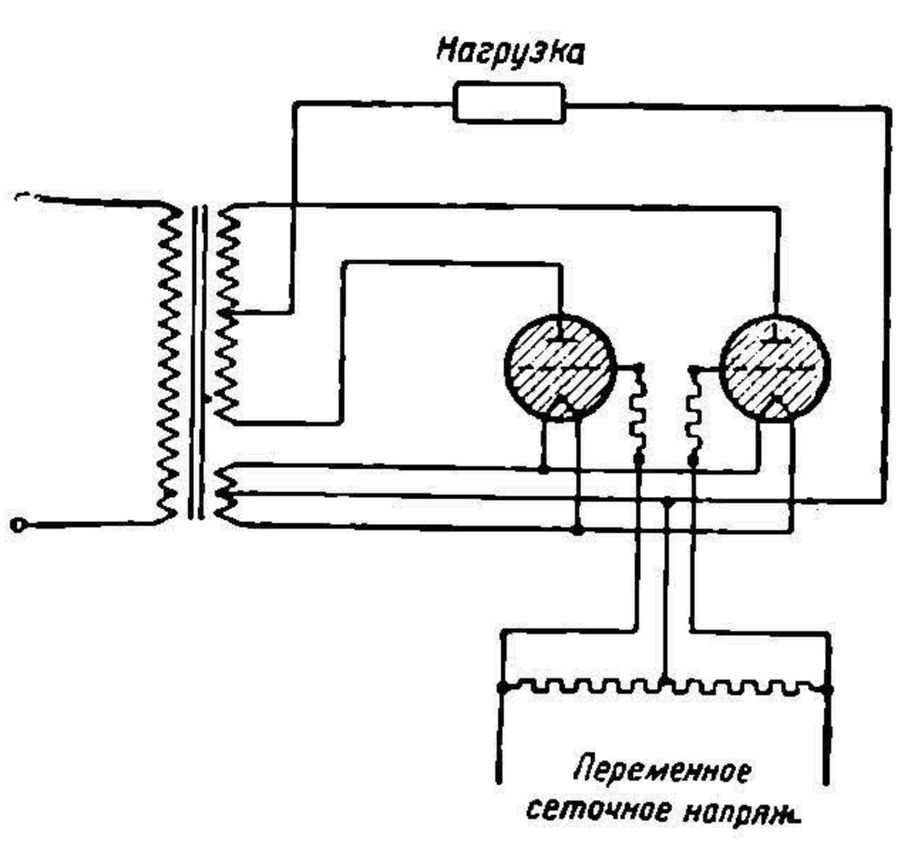
НБ УДУНТ (ДІІТ)

При переменном анодном напряжении можно пользоваться параллельным соединением тиратронов, зажигаемых от различных фаз волны переменного напряжения. Различные схемы управления, разобранные в § 41—44, должны быть изменены, для того чтобы ими можно было пользоваться в многофазных схемах управления.

Пожалуй, наиболее широко известной тиратронной схемой, особенно в тех применениях, когда тиратрон используется для приведения в действие реле, контакторов или других подобного рода приборов, является схема однофазного полуволнового выпрямителя. В этих применениях наличие пульсаций переменного тока в напряжении на выходе не имеет значения, поскольку



Фиг. 68. Однофазная двухполупериодная тиратронная схема управления током нагрузки при постоянном сеточном напряжении.



Фиг. 69. Однофазная двухполупериодная тиратронная схема управления током нагрузки с потенциометром в цепи сетки, питаемым переменным током.

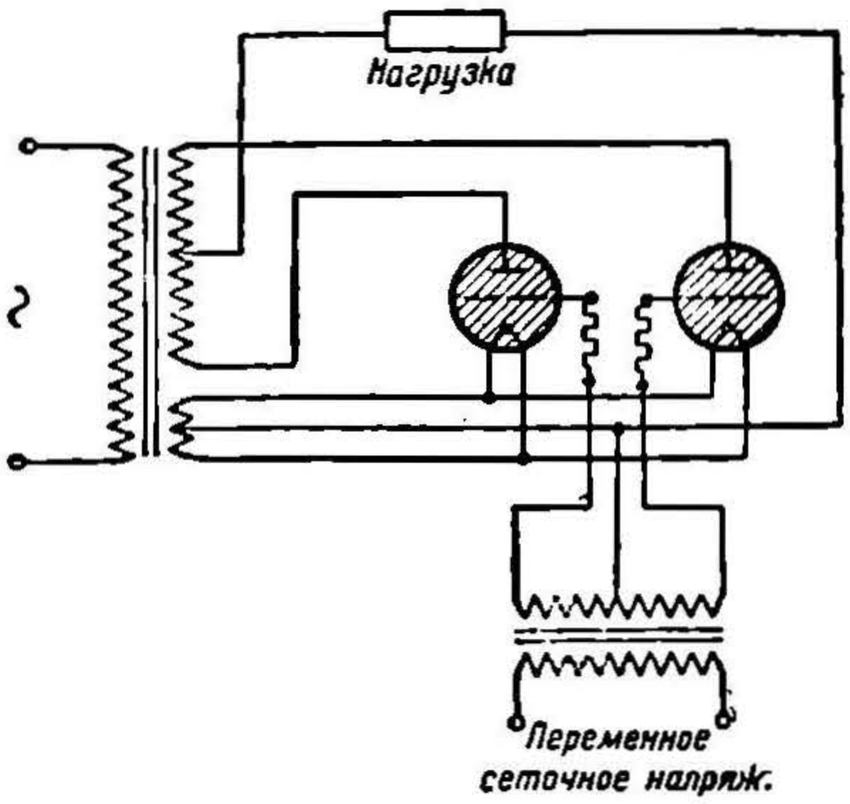
движущиеся части магнитной цепи не следуют за этими пульсациями. Если механическая инерция якоря реле мала, то удовлетворительная работа реле достигается шунтированием катушки реле емкостью, соединенной последовательно с сопротивлением. В том случае, если цепь нагрузки обладает большой самоиндукцией, то иногда применяется вспомогательный выпрямитель (фиг. 159), для того чтобы дать возможность разряжаться самоиндукции и сглаживать ток нагрузки.

Для улучшения формы волны постоянного тока и увеличения мощности на выходе часто бывает желательно пользоваться двухполупериодной схемой (фиг. 68). Эта схема служит для релейного способа управления, причем, как это видно из фигуры, сетки тиратронов соединены параллельно. Когда пользуются методом смещения фазы, необходимо смещать оба сеточных напряжения друг относительно друга на 180°, чтобы получить нужные фазы для отдельных анодов и сеток. Для этой цели можно пользоваться делителем напряжения (фиг. 69) или трансформатором в цепи сетки (фиг. 70).

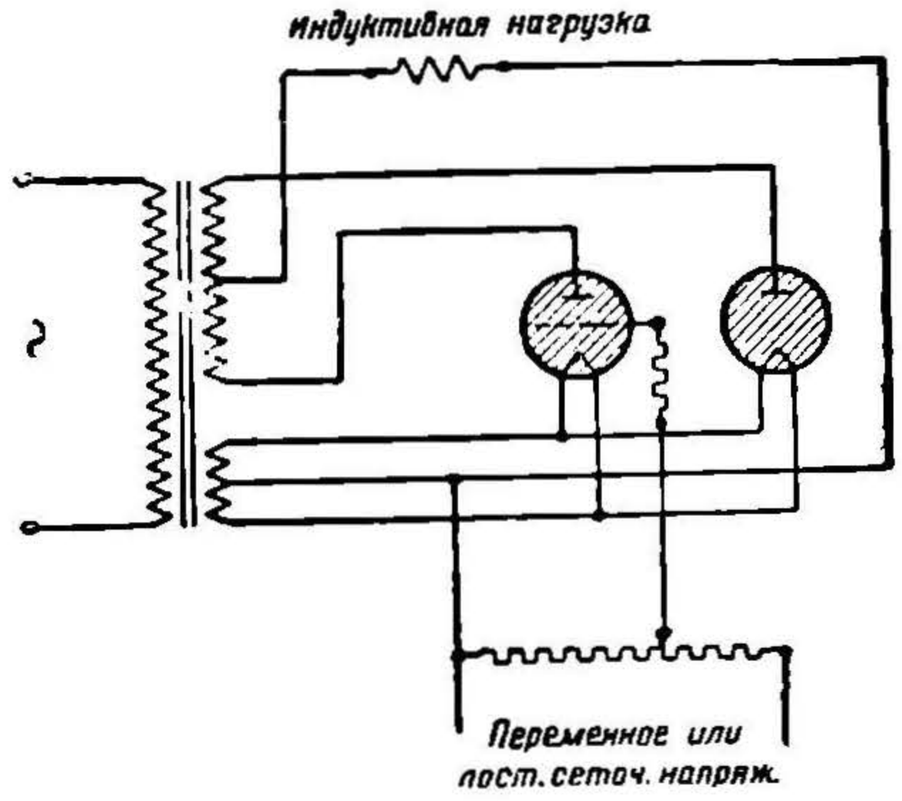
НТБ УДУНТ (ДИТ)

Если цепь нагрузки обладает большой самоиндукцией, как, например, обмотка возбуждения генератора, то можно пользоваться схемой управления, показанной на фиг. 71. Тиратрон присоединяется к одному из зажимов трансформатора, а выпрямитель присоединяется к другому зажиму. При помощи этой схемы можно получить приблизительно такой же диапазон регулирования, как и с двумя тиратронами.

Применение делителя сеточного напряжения или трансформатора в цепи сетки делает возможным применение схем управления на переменном токе, разобранных § 41—44 для контроля двух тиратронов. В случае трех тиратронов, соединенных в трехфазную схему, при использовании способа управления при помощи сдвига фазы необходимо для правильных фазовых соотно-



Фиг. 70. Однофазная двухполупериодная тиратронная схема управления током нагрузки с трансформатором в цепи сетки.



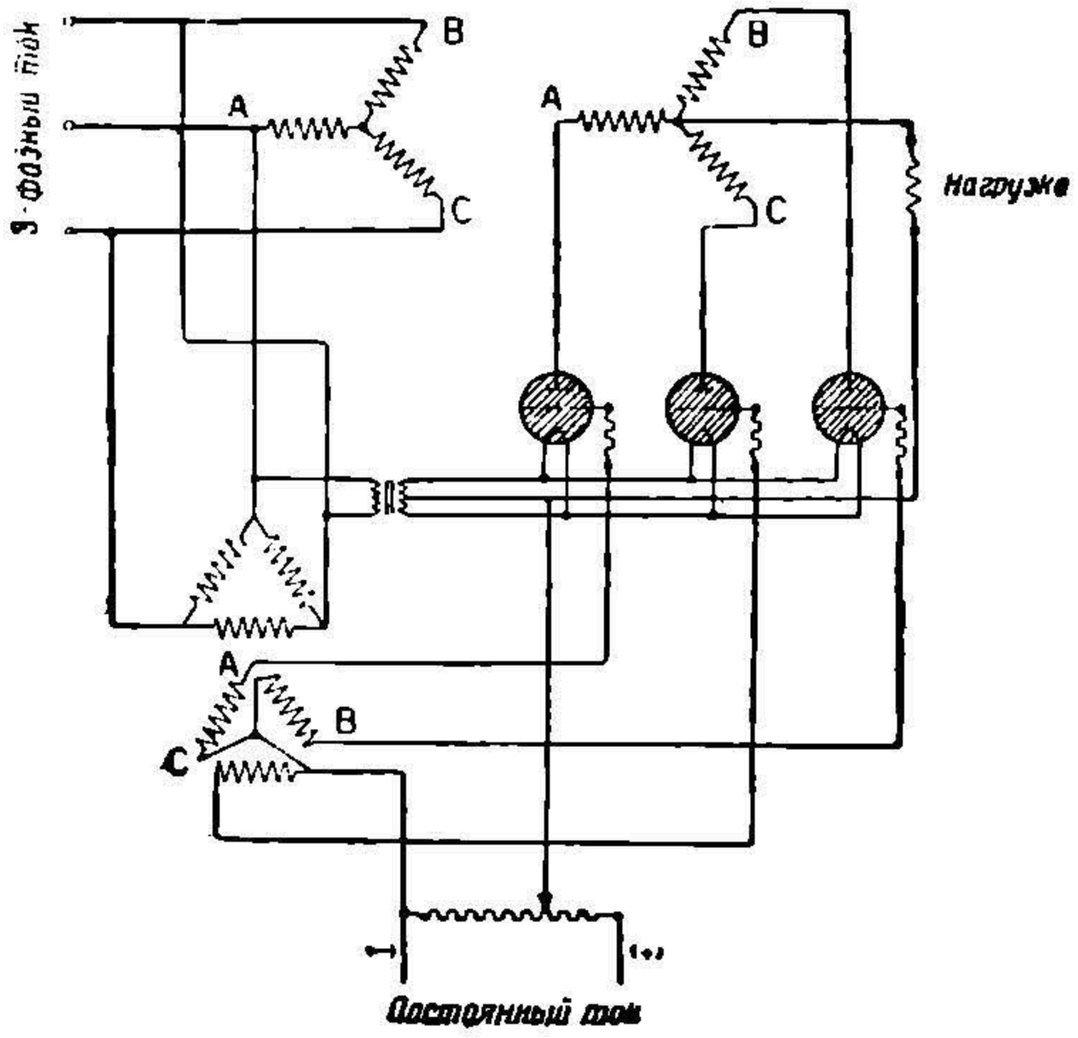
Фиг. 71. Схема двухполупериодного выпрямления при помощи тиратрона и газотрона для случая индуктивной нагрузки.

шений между отдельными анодами и сетками иметь трехфазный сеточный трансформатор. Схема на фиг. 58 легко может быть приспособлена для этого вида управления; она применяется и для ручного управления сеточным напряжением. При автоматическом и в особенности электронном способе управления сеточным напряжением трехфазные схемы управления при помощи сдвига фазы очень усложняются. Типичные схемы контроля показаны на фиг. 72, 73. В схеме на фиг. 72 используется смещенное по фазе переменное сеточное напряжение постоянной амплитуды и наложенное на него изменяющееся постоянное напряжение (фиг. 54). Электронный способ управления этой схемой легко можно осуществить при помощи усилительной лампы, контролирующей изменяющееся сеточное напряжение постоянного тока. Переменное сеточное напряжение в схеме на фиг. 72 отстает на 150° по отношению к анодному напряжению.

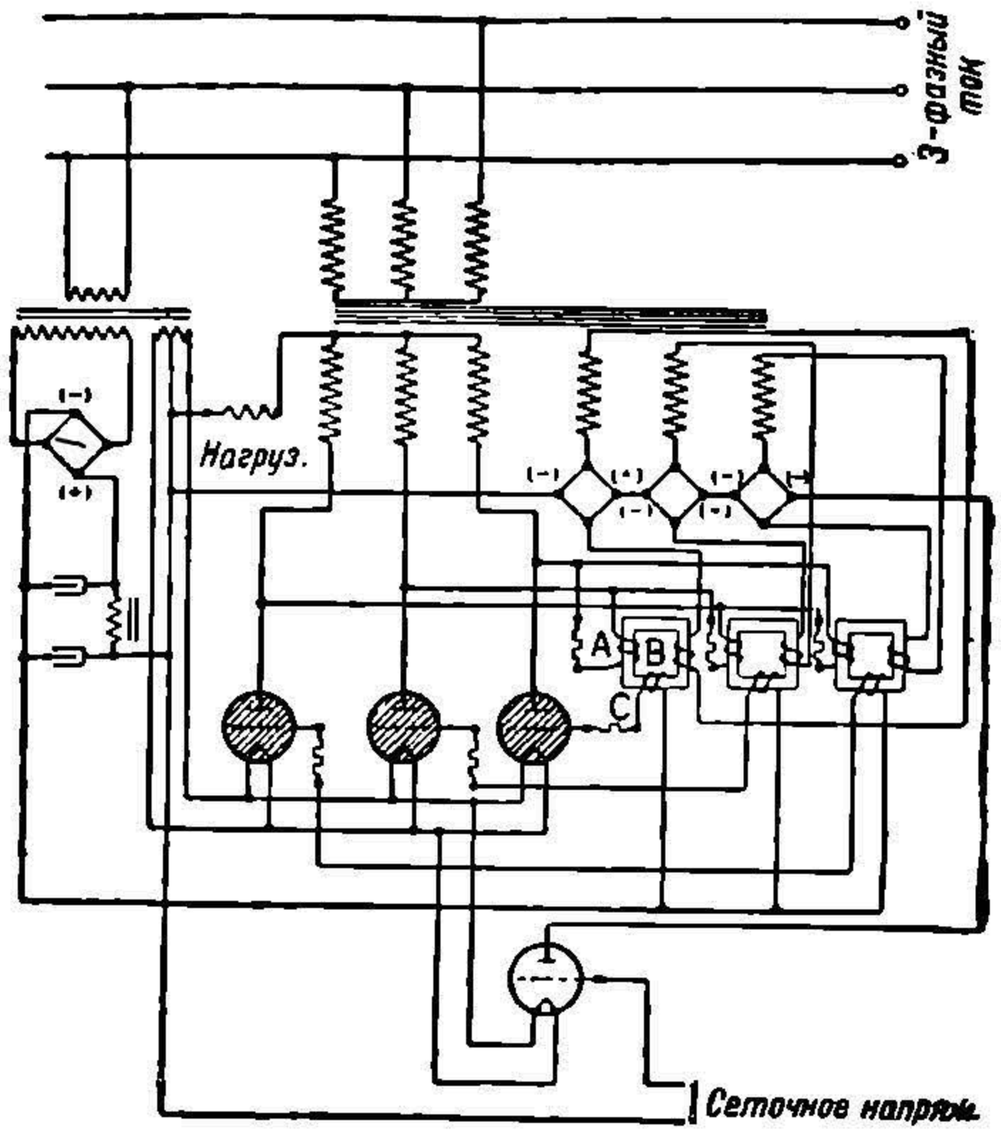
В схеме на фиг. 73 применяются три импульсных трансформатора специальной конструкции. Каждый трансформатор имеет три обмотки *A*, *B* и *C*. Потоки, наводимые токами в обмотках *A* и *B*, смещены на 150°, общий поток трансформатора проходит

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

через нуль и меняет полярность в момент равенства ампервитков обеих обмоток. В этот момент в обмотке *C* наводится положительное напряжение. Момент получения этого наведенного на-

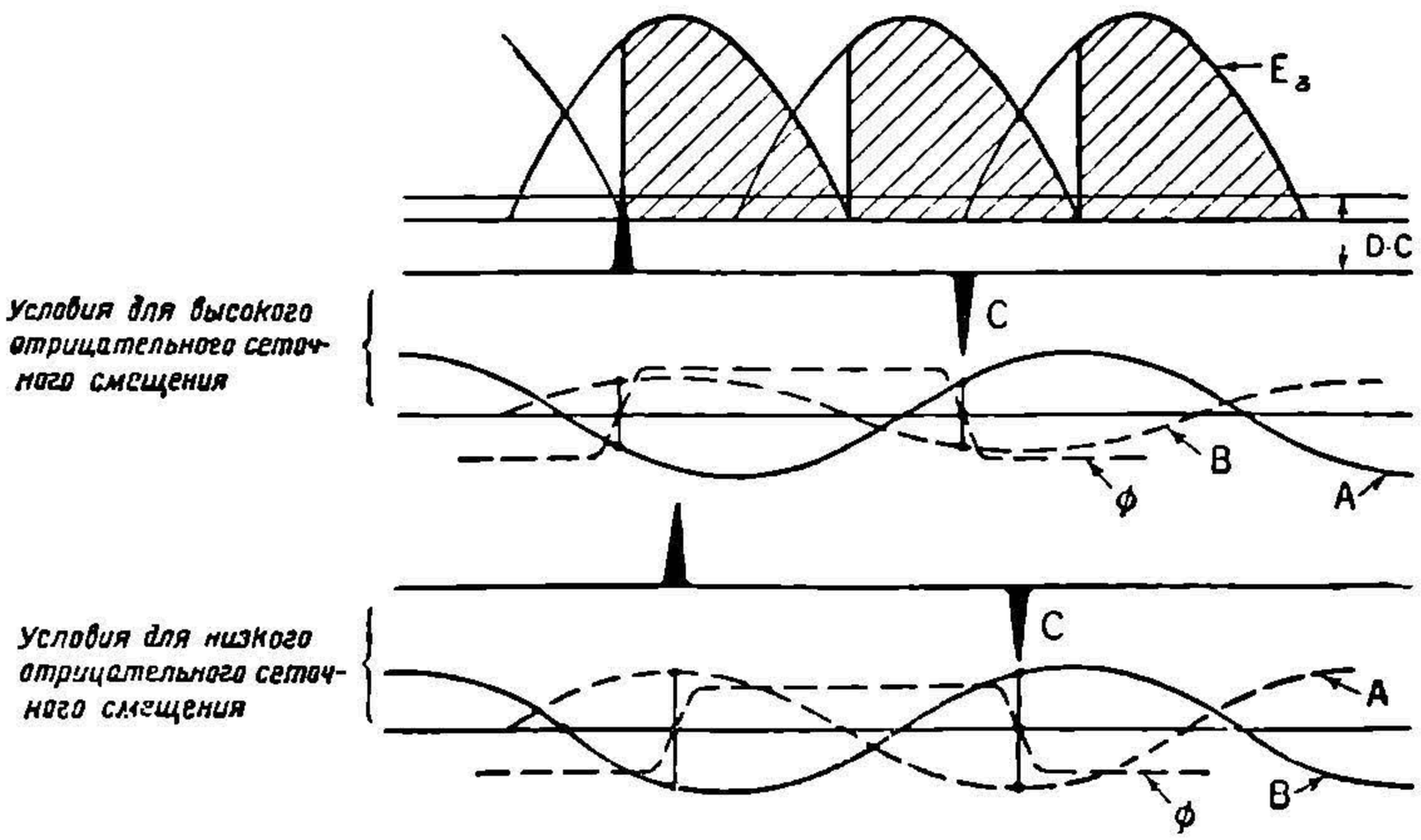


Фиг. 72. Схема выпрямления трехфазного тока при помощи тиратронов.



Фиг. 73. Схема выпрямления трехфазного тока с импульсным управлением сеточным смещением.

пряжения может регулироваться по отношению к волне анодного напряжения при помощи изменения величины тока, протекающего



Фиг. 74. Характеристики импульсного трансформатора.

через обмотку *B*. Удобный способ изменения этого тока состоит в изменении эффективного сопротивления купроксного выпрямителя путем изменения его нагрузки постоянного тока посредством электронной лампы.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При увеличении отрицательного смещения на сетке этой усилительной лампы сопротивление купроксного выпрямителя увеличивается, и ток через обмотку B уменьшается. Это приводит к увеличению тока через тиратрон (фиг. 74).

Литература

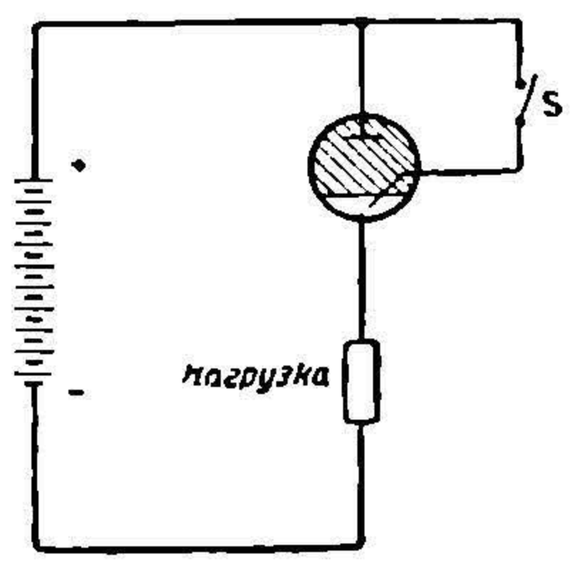
«Industrial Uses of Electron Tubes», W. R. G. Baker, A. S. Fitzgerald and C. F. Whitney, Electronics, January, 1931.
«The Kathetron — A Control Tube with External Grid», Palmer H. Craig, Electronics, March, 1933.
«A Self-Stopping d-c. Thyratron Circuit», Herbert J. Reich, Electronics, December, 1931.
U. S. Patent 1 654 949, P. Toulon.
«Hot-Cathode Thyratrons», A. W. Hull, Gen. Elec. Rev., Vol. 32, pp. 390—399.

Глава VI

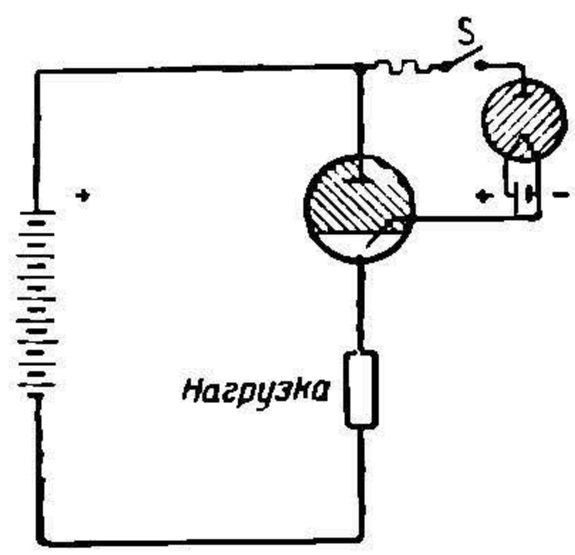
СХЕМЫ С ИГНАЙТРОНАМИ

Для управления игнайтронами применяются схемы двух основных типов. В одних из них игнайтрон зажигается током, протекающим в цепи его нагрузки. В других зажигание производится от вспомогательного источника, не связанного с нагрузкой. Управление током, текущим через игнайтор, может осуществляться несколькими способами для схемы зажигания каждого типа.

46. Схемы зажигания игнайтора током нагрузки. Простейшая схема зажигания током нагрузки изображена на фиг. 75. В этой схеме игнайтрон и нагрузка питаются от источника постоянного тока. При замыкании ключа S, соединяющего анод с игнайтором,



Фиг. 75. Основная схема с игнайтроном.



Фиг. 76. Развитие предыдущей схемы.

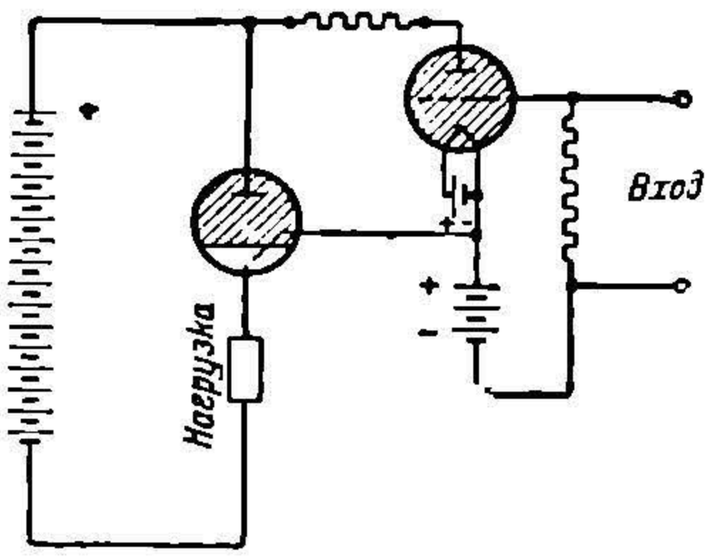
ток течет от положительного полюса источника тока через игнайтор к катоду и затем через нагрузку к отрицательному полюсу. При этом величина тока, текущего через игнайтор, ограничивается только его сопротивлением и сопротивлением нагрузки. Сумма сопротивлений игнайтора и нагрузки должна быть достаточно низка, чтобы ток через игнайтор мог зажечь игнайтрон. Недостаток этой простой схемы заключается в том, что продолжительное течение тока через игнайтор вызывает его нагревание.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

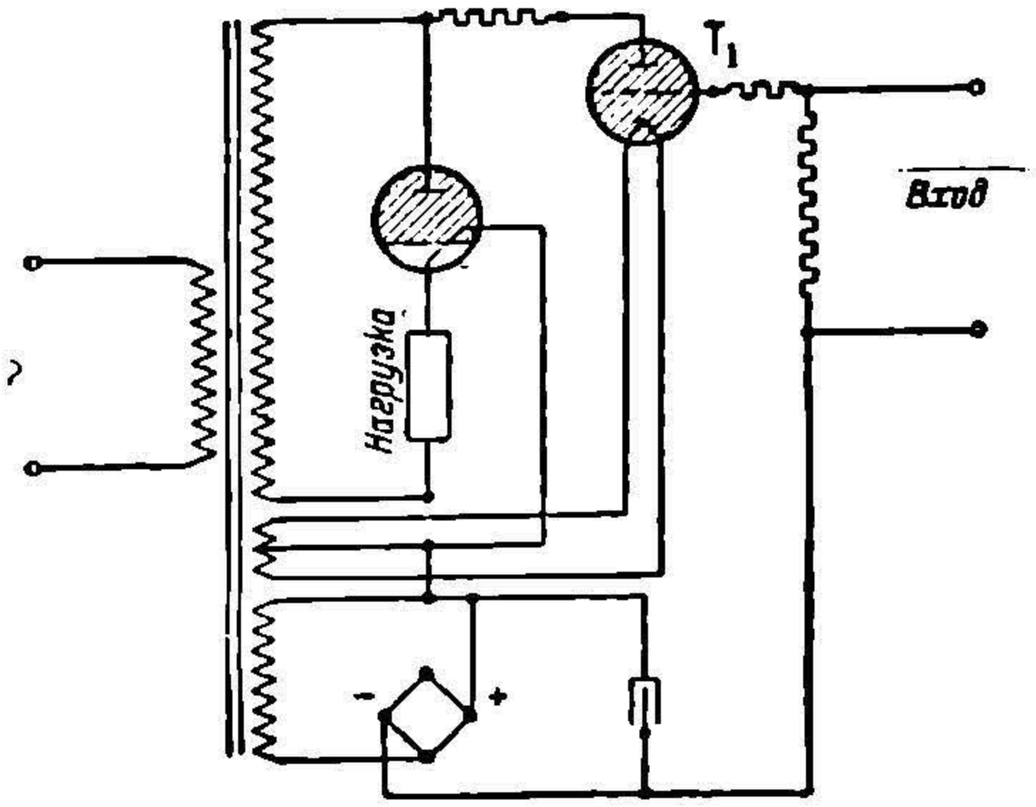
Этот недостаток легко устранить, введя в схему последовательно с ключом S газотрон (фиг. 76). Падение напряжения на газотроне должно быть выше, чем падение напряжения на игнайтроне, так как в этом случае ток через игнайтор прекратится в момент зажигания игнайтрона.

Заменив газотрон тиратроном, можно избавиться от ключа S (фиг. 77). Способы управления тиратроном уже были рассмотрены нами в гл. V.

На постоянном токе игнайтрон имеет характеристику быстродействующего самоблокирующегося реле. В тех случаях, когда самоблокировка нежелательна, игнайтрон можно питать от источника переменного тока. В этом случае ток делается равным нулю после каждого положительного периода и, для того чтобы игнайтрон пропускал ток в течение следующего полупериода, его необходимо за-



Фиг. 77. Схема управления игнайтроном при помощи тиратрона.



Фиг. 78. Практическая однополупериодная схема с игнайтроном.

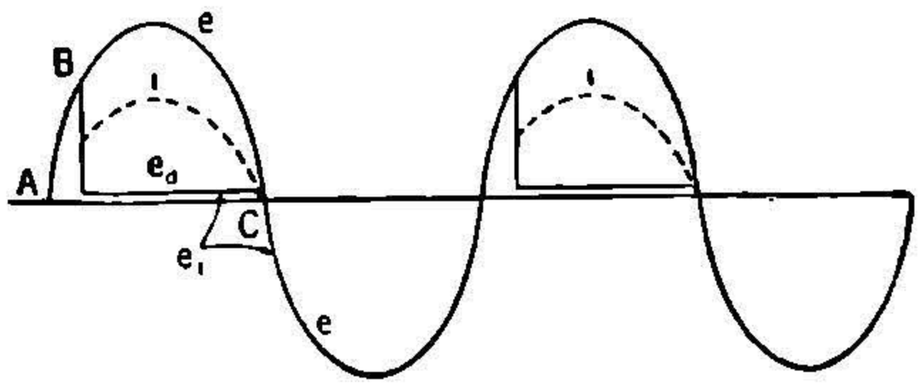
жигать каждый раз вновь. Благодаря выпрямительному действию ток на выходе игнайтрона представляет собой постоянный ток, состоящий из положительных полуволн. На фиг. 78 дана одна из схем управления игнайтроном, питаемым от источника переменного тока.

Предположим, что нагрузка в схеме фиг. 78 представляет собой чисто активное сопротивление и что анодное напряжение изменяется согласно кривой E (фиг. 79). В точке A анодное напряжение равно нулю. Поэтому как игнайтрон, так и тиратрон, управляющий его зажиганием, не проводят тока. При некотором значении напряжения, соответствующем точке B, тиратрон зажжется, и ток через игнайтор внезапно возрастет до значения, ограничиваемого только суммой сопротивлений нагрузки и игнайтора. Если этот ток превышает некоторое критическое значение, то игнайтрон зажжется и будет пропускать ток. Предположим, что во время пропускания тока напряжение на зажимах игнайтрона равно e_d. Тогда, поскольку напряжение на тиратроне, необходимое для того, чтобы он пропускал ток, должно быть больше чем e_d, то тиратрон потухнет. Если ток, текущий через

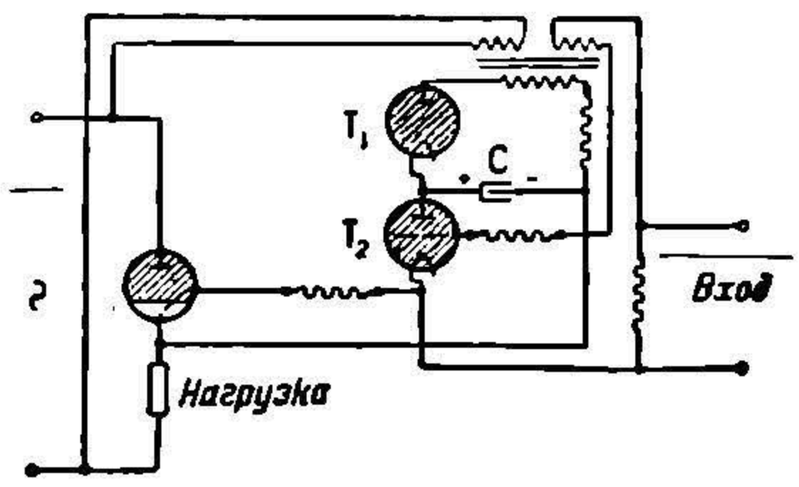
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

игнайтор, в точке B не достаточен для зажигания игнайтрона, то он будет непрерывно увеличиваться пропорционально напряжению e до тех пор, пока не достигнет значения, необходимого для зажигания игнайтрона. Тот же самый процесс повторится и в течение следующего положительного полупериода, если только напряжение на управляющей сетке тиратрона T_1 останется тем же самым.

Для управления током игнайтрона можно воспользоваться различными схемами, описанными в гл. V. Управление игнайтроном методом сдвига фазы может быть достигнуто изменением фазы сеточного напряжения тиратрона, управляющего его зажиганием. Основная схема в случае зажигания током нагрузки всегда остается одной и той же (фиг. 78) — изменяется лишь способ управления сеткой. Метод зажигания током нагрузки



Фиг. 79. Форма волны тока и напряжения для схемы на фиг. 78 в случае активной нагрузки.



Фиг. 80. Игнайтронная схема с вспомогательным источником зажигания, основанная на методе разряда конденсатора.

применим во всех случаях, когда полное сопротивление нагрузки достаточно мало, для того чтобы игнайтрон мог зажечься при зажигании тиратрона. Если полное сопротивление нагрузки слишком велико и поэтому препятствует немедленному зажиганию, то выгоднее пользоваться схемами со вспомогательным источником зажигания.

47. Схема со вспомогательным источником зажигания. Схемы этого типа несколько более сложны, чем схемы зажигания током нагрузки, но зато имеют то премущество, что они не зависят от полного сопротивления и других условий в цепи нагрузки. Пример схемы со вспомогательным источником зажигания приведен на фиг. 80. Во время отрицательного полупериода на аноде игнайтрона конденсатор C заряжается в направлении, указанном на фиг. 80 знаками + и —. Газотрон T_1 препятствует разряду конденсатора в течение следующего полупериода, когда тиратрон T_2 может зажечься и разрядить конденсатор через игнайтор. Точка волны напряжения, в которой происходит зажигание тиратрона, может быть выбрана при помощи надлежащего сдвига фазы сеточного напряжения тиратрона. Разряд конденсатора дает только начальный ток, необходимый для зажигания, который, однако, ввиду своей непродолжительности не может нагреть игнайтор.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ЭЛЕКТРОННАЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Эта часть посвящена рассмотрению электронной контрольно-измерительной аппаратуры и ее применению в промышленности. В настоящее время почти для каждой конкретной задачи разработано несколько различных приборов, отличающихся лишь по деталям конструкции. В дальнейшем мы, как правило, для каждой данной области применения будем рассматривать лишь какой-нибудь один из таких приборов, наиболее интересно или просто разрешающий поставленную задачу. Для получения представления о наиболее важных свойствах приборов нами будет дано краткое описание способов их применения и выполняемых ими функций.

Все приборы с электронными лампами можно разделить на два класса: на приборы, существование которых было бы невозможно без электронных ламп, и на приборы, которые в случае применения электронных ламп имеют более высокие качества и меньшую стоимость, чем в случае применения каких-либо других механических и электрических средств.

Имеется несколько основных причин, благодаря которым электронные приборы находят себе применение в промышленности. Ценным преимуществом фотоэлементов является их способность действовать подобно электрическому глазу. До появления фотоэлементов промышленность не располагала приборами, которые могли бы выполнять функции человеческого глаза при контроле различных производственных процессов. Кроме того, фотоэлементы имеют еще одно ценное качество, заключающееся в том, что они приводятся в действие светом, не обладающим инерцией. Поэтому фотоэлементы могут контролировать многие процессы без всякого соприкосновения с управляющими этими процессами механизмами, так как для работы фотоэлемента необходимо лишь изменение количества падающего на него света.

Следующим фактором, говорящим в пользу применения электронных приборов, является их быстродействие. Во многих случаях имеется необходимость в приборах, которые должны приводиться в действие настолько короткими по продолжительности неустановившимися процессами, что успешное использование механических и электромагнитных контрольных приборов оказывается невозможным. В этих случаях электронные приборы играют особенно большую роль благодаря их способности немедленно реагировать на изменение управляющей ими величины.

Наконец, еще одно преимущество электронных приборов заключается в их способности срабатывать неограниченное число раз без механического износа. Поэтому их применение вместо реле, контакторов и других электромагнитных приборов может иногда привести к значительному уменьшению эксплоатацион-

НБ УДУНТ (ДИТ)

ных расходов. Применение электронных ламп желательно также во многих случаях, когда количество энергии, которое можно затратить для вызова какой-либо последовательности действий, очень мало.

Глава VII

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ

В этой главе будут описаны устройства, основанные на применении фотоэлементов, описанных нами в гл. I. Мощность на выходе большинства фотоэлементов слишком мала для непосредственного приведения в действие грубых электромагнитных приборов. Поэтому между фотоэлементом и электромагнитным прибором обычно ставится усилитель. В простых аппаратах ограничиваются одним каскадом усиления, в более же сложных аппаратах для получения нужной выходной мощности применяется несколько каскадов усиления.

48. Фотореле. Область применения приборов с фотоэлементами очень широка. Фотоэлементы могут быть применены почти в каждой отрасли промышленности во множестве процессов. По экономическим причинам фирмы, производящие электронные аппараты и приборы, сконструировали типовые фотореле, которые могут быть применены в различных условиях и использованы в качестве основной единицы при конструировании какой-нибудь сложной системы контроля. Так как большинство электронных реле имеют достаточно большую выходную мощность, то применение вспомогательного оборудования часто бывает совершенно ненужным. Однако в некоторых случаях для получения определенной последовательности операций к фотореле добавляется специальная система реле.

Универсальные фотоэлектрические устройства могут выполнять самые разнообразные задачи отсчета деталей, движущихся по конвейеру, до автоматического управления подачи стальных листов прокатным станам. Большинство задач счета разрешается довольно просто. Управление прокатных станов гораздо более сложно, так как оно состоит из пуска, остановки и реверса моторов в определенной последовательности, определяемой положением листа стали.

Универсальные фотореле рассчитываются на работу как внутри зданий, так и на открытом воздухе. Фотоэлемент иногда монтируется в общем кожухе вместе с остальным оборудованием, а иногда в маленьком отдельном кожухе. В фотореле, предназначенных для работы на открытом воздухе, фотоэлемент почти всегда монтируется в общем кожухе. Эти реле, однако, иногда применяются и внутри зданий, если они должны быть расположены вблизи от водяной пыли, пара или вообще должны работать в трудных условиях, требующих непроницаемого кожуха. В этих случаях фотоэлемент иногда монтируется отдельно от всего вспомогательного оборудования таким образом, чтобы вблизи от управляемого объекта можно было поместить только сам фотоэлемент, заключенный в небольшой кожух.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В фотореле, предназначенных для работы внутри зданий, фотоэлемент обычно монтируется отдельно, так как в большинстве случаев фотоэлементы применяются для контроля машин, в которых свободное пространство чрезвычайно ограничено. Для всех универсальных фотореле требуются, конечно, подходящие источники света. Различные типы источников света будут рассмотрены в § 49.

Так как фотоэлемент должен реагировать только на источник света данного фотореле, то всегда необходимо принимать меры предосторожности от попадания на фотоэлемент постороннего света, например, солнечного. Для этого кожух, внутри которого помещается фотоэлемент, снабжается выступающей металлической трубкой, ограничивающей „поле зрения" фотоэлемента. В случае фотореле, работающих на открытом воздухе, обычно принимаются еще более серьезные меры предосторожности, так как многие из них должны срабатывать от 32 до 53 lx, в то время как освещенность от солнечного света может доходить до 100 000 lx.

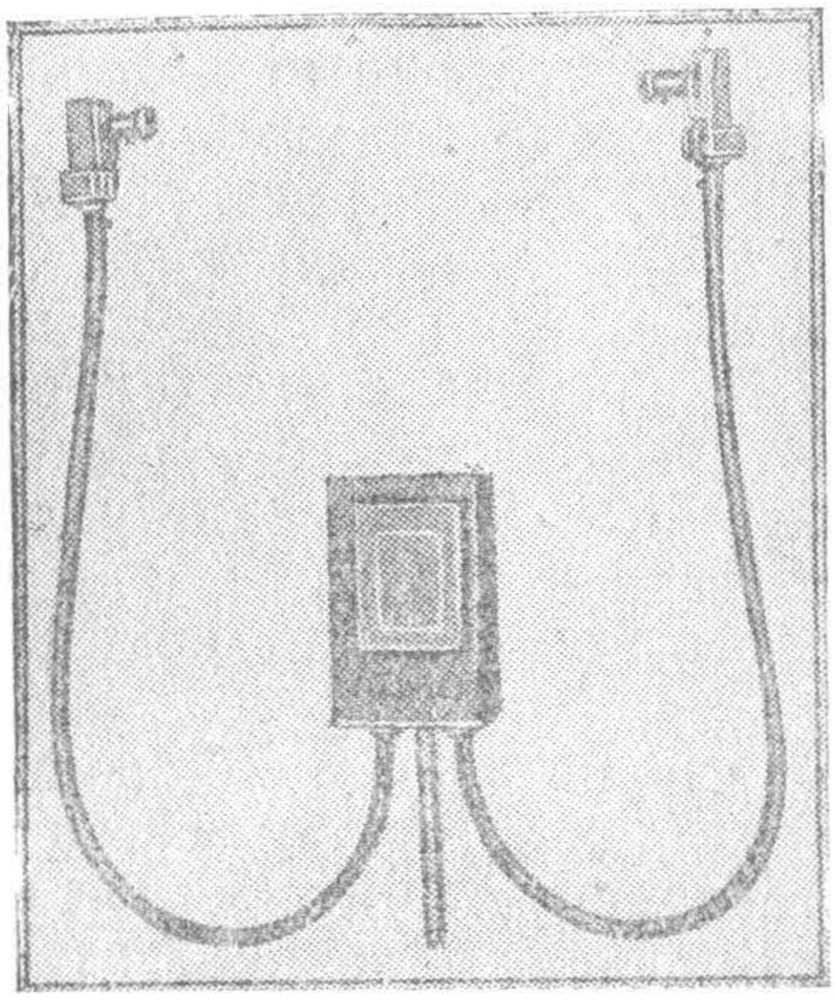
Обычный метод заключается в том, что на передней стороне кожуха помещается линза, которая собирает пучок света от источника и концентрирует его на фотоэлементе. Фотоэлемент помещается сзади диафрагмы, в которой сделано маленькое отверстие. Для того чтобы свет мог попасть на фотоэлемент, он должен пройти через линзу и это отверстие. Если свет падает на линзу в направлении, не параллельном оптической оси линзы, то свет, вместо того чтобы попасть на фотоэлемент, попадает на поверхность диафрагмы. Так как дневной свет состоит почти полностью из рассеянного света, то через отверстие в диафрагме до фотоэлемента доходит лишь ничтожное количество солнечного света. Для полной надежности такого рода световой защиты необходимо принять еще одну добавочную меру предосторожности. Последняя заключается в таком расположении реле, при котором солнце, даже при восходе или заходе, не может оказаться на оптической оси линзы.

Большинство универсальных фотореле включается и выключается в зависимости от количества света, падающего на фотоэлемент. Однако некоторые фотореле самоблокируются подобно тиратрону и рассчитаны на срабатывание от очень коротких импульсов света, продолжительностью порядка 0,0001 секунды. Для выключения самоблокирующегося реле необходимо разомкнуть анодную цепь тиратрона. Это может быть выполнено или при помощи специальных средств, предусмотренных в схеме, или просто при помощи выключателя.

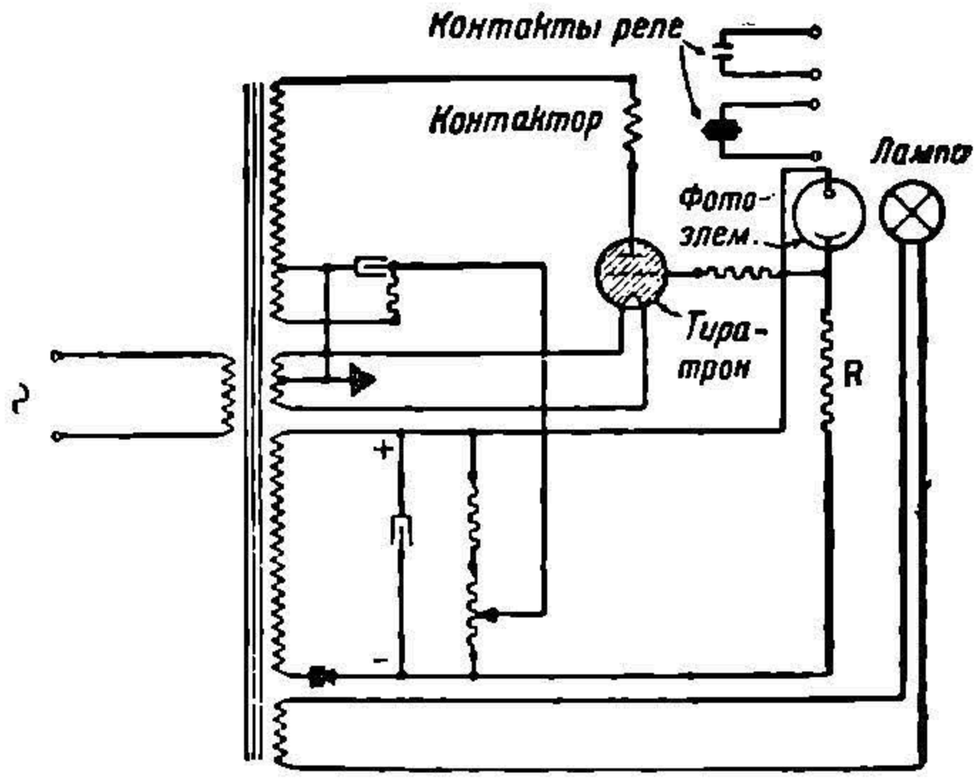
Фотореле, внешний вид которого дан на фиг. 81, а схема приведена на фиг. 82, состоит из фотоэлемента, воздействующего на тиратрон. Тиратрон приводит в действие контактор. Когда свет не падает на фотоэлемент, сетка тиратрона находится при отрицательном потенциале по отношению к катоду и тиратрон не пропускает тока. Напряжение на сетке e_g (фиг. 83) состоит из постоянного напряжения, величина которого определяется

НБ УДУНТ (ДІІТ)

положением движка потенциометра, и из наложенного на него переменного напряжения, сдвинутого по фазе. Переменное напряжение складывается с постоянным напряжением таким образом, что тиратрон всегда зажигается в начале положительного полупериода анодного напряжения E_a.

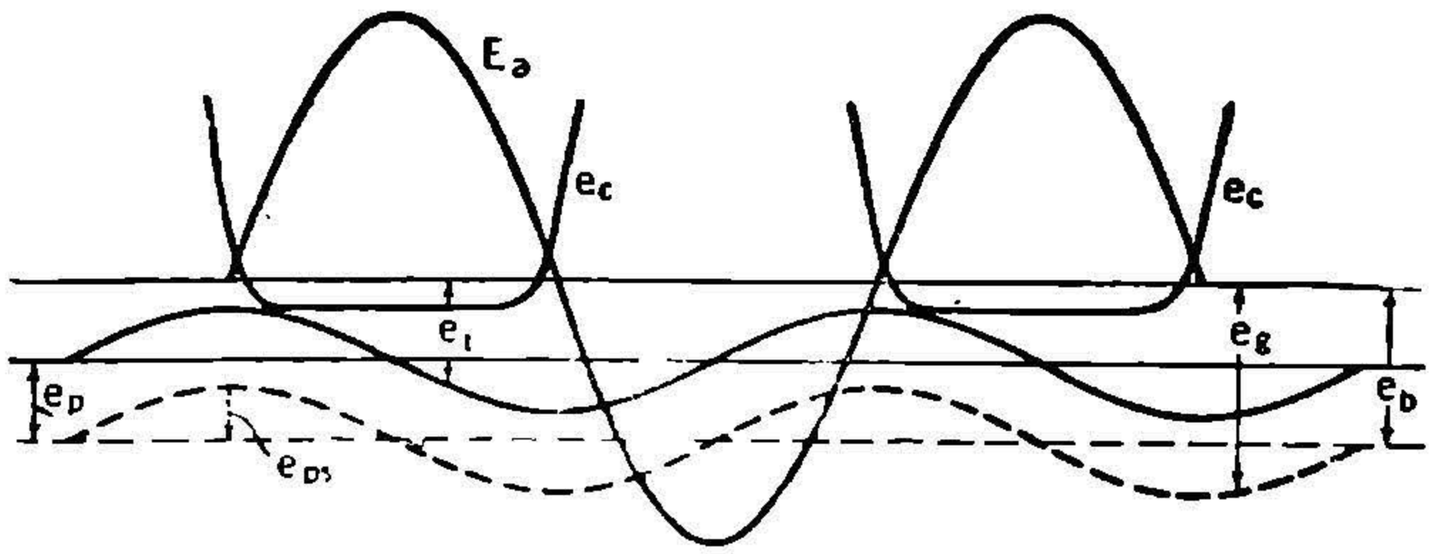


Фиг. 81. Фотореле с фотоэлементом и источником света.



Фиг. 82. Схема фотореле с тиратроном. Тиратрон выполняет роль чувствительного реле, приводимого в действие фотоэлементом. Фотоэлемент и сетка тиратрона работают при постоянном напряжении.

В случае одного только постоянного напряжения точка, в которой сеточное напряжение достигает критического значения e_c,



Фиг. 83. Кривые напряжений для схемы на фиг. 82.

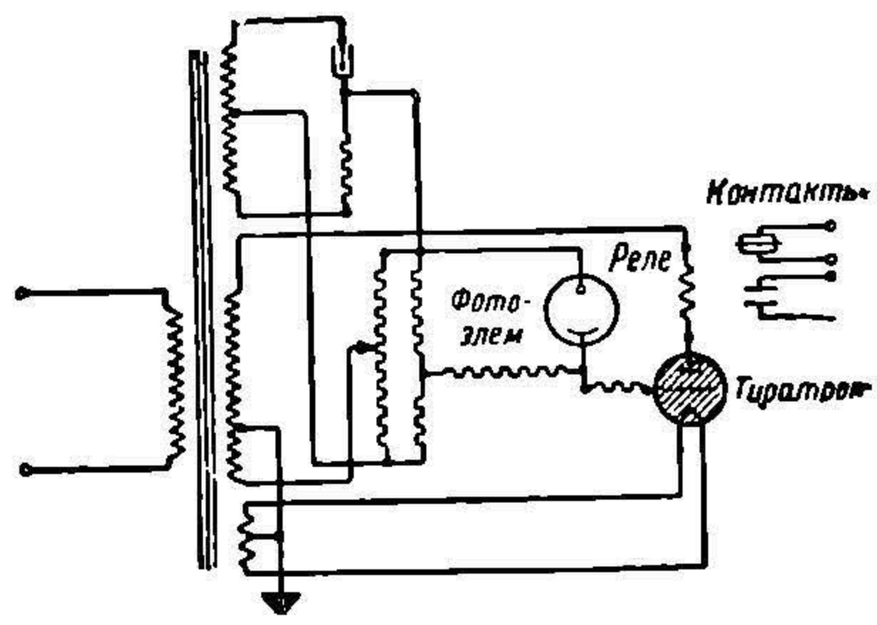
находилась бы в центре положительного полупериода. При зажигании в этой точке, соответствующей максимальному значению E_a, тиратрон давал бы только 50% своего максимального среднего тока на выходе. При увеличении количества света, падающего на фотоэлемент, точка зажигания должна быта бы перемещаться, что привело бы к постепенному возрастанию тока. Это нежелательно для работы реле.

При освещении фотоэлемента светом от источника, дающего освещенность около 30 lx, через фотоэлемент и сопротивление R в цепи сетки течет ток. Результирующее падение напряжения

НБ УДИНТ (ДІІТ)

на R равно напряжению e_p (фиг. 83). Полное сеточное напряжение e_t подобрано таким образом, чтобы тиратрон срабатывал при равенстве сеточного напряжения e_t и критического сеточного напряжения e_c — это рабочая точка реле. В действительности напряжение e_p должно быть несколько большим, для того чтобы гарантировать зажигание тиратрона в начале каждого положительного полупериода. При зажигании тиратрона контактор замыкается и выполняет требуемую операцию. Перерыв пучка света приводит к уменьшению e_p и к выключению контактора. Основное преимущество применения тиратрона в схемах этого типа заключается в том, что тиратрон может пропускать ток, достаточный для включения стандартного контактора промышленного типа или электромагнита без помощи промежуточных реле.

Благодаря способности тиратрона и фотоэлемента выпрямлять ток схема, приведенная на фиг. 82, может работать без помощи выпрямителя, служащего для питания цепи сетки и фотоэлемента. Такого рода схема, работающая при освещенности, равной 160 lx, дана на фиг. 84. В этой схеме фотоэлемент сдвигает фазу сеточного напряжения тиратрона так, чтобы тиратрон зажигался при освещении фотоэлемента. Строго говоря, сеточное напряжение не может быть смещено по фазе в обычном понимании этого выражения благодаря выпрямительному действию фотоэлемента. Однако сдвиг фазы сеточного напряжения во время положительного полупериода напряжения на фотоэлементе эквивалентен сдвигу фазы, получаемому обычными способами. Невозможность же управлять смещением фазы во время отрицательного полупериода напряжения на фотоэлементе не имеет значения, так как при этом анодное напряжение тиратрона отрицательно и он не пропускает тока.



Фиг. 84. Полная схема фотореле с тиратроном, работающая на переменном токе.

В другом распространенном типе фотореле фотоэлемент воздействует на ламповый усилитель, который заставляет срабатывать реле. Так как выходная мощность лампового усилителя мала, то в анодную цепь обычно включается небольшое чувствительное реле. Разрывная мощность контактов такого реле обычно бывает недостаточна, и поэтому часто оказывается необходимым вводить дополнительный контактор. В этом типе фотореле фотоэлемент, сетка и анод усилителя питаются выпрямленным напряжением. Но фотореле благодаря тому, что оно само по себе способно выпрямлять ток, может работать и на переменном токе, заставляя срабатывать электромагнитное реле, предназначенное для работы на постоянном токе.

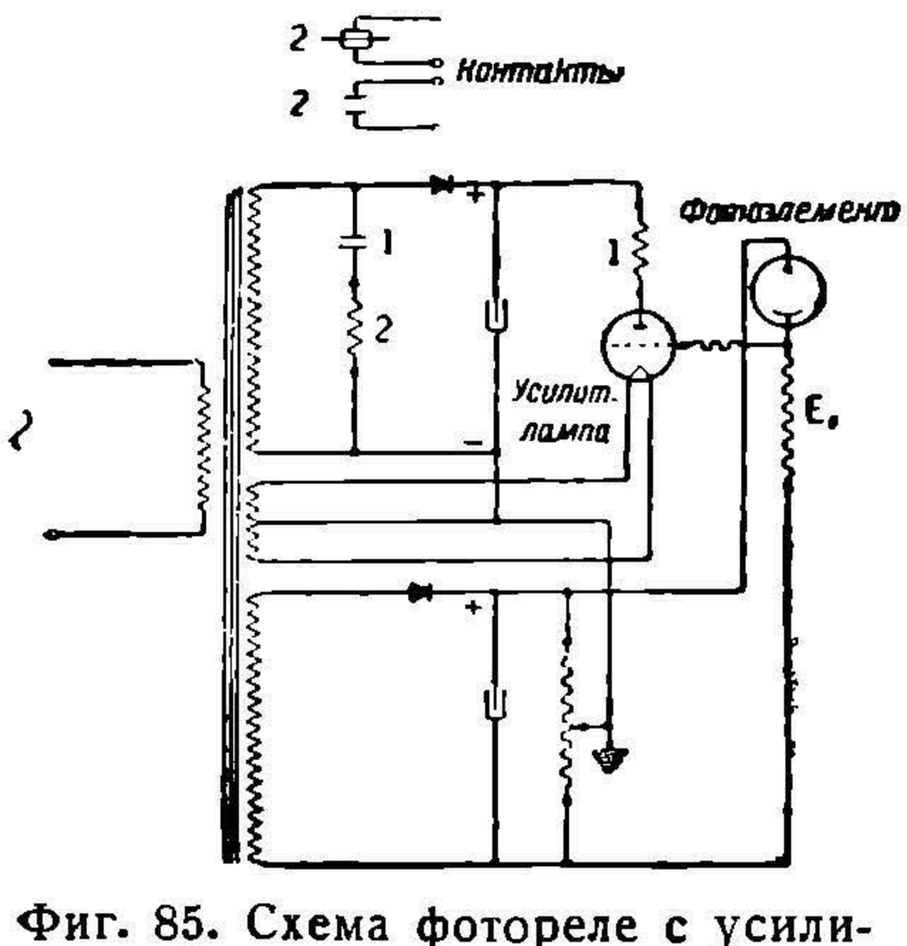
На фиг. 85 приведена полная схема фотореле с выпрямлением в цепи анода и сетки усилительной лампы. Схема работает так

НБ УДУНТ (ДИТ)

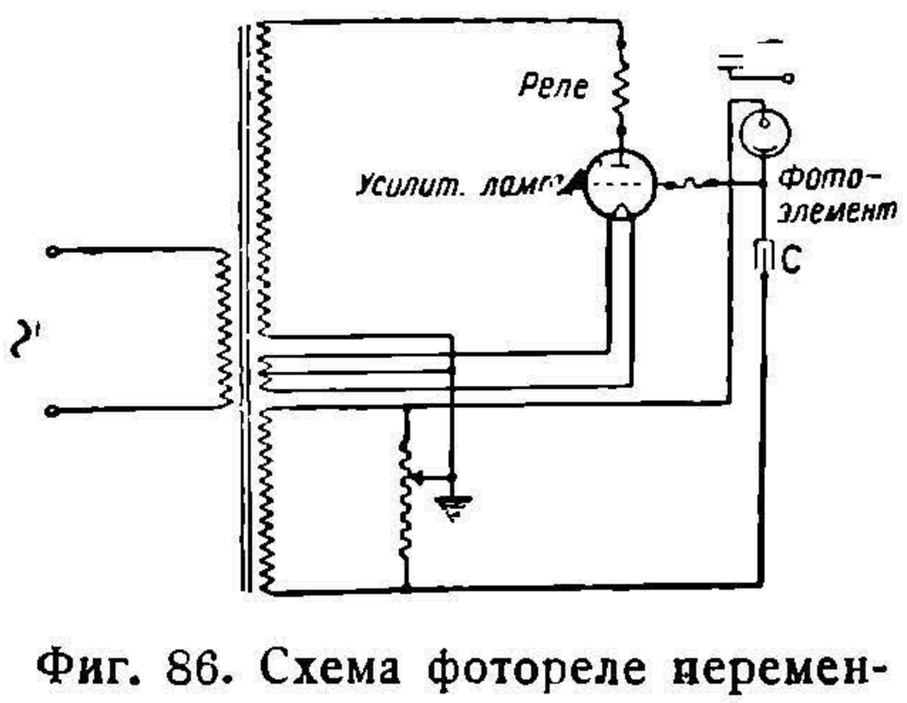
же, как однокаскадный усилитель, изображенный на фиг. 34. Сеточное напряжение усилительной лампы зависит от падения напряжения E_r, которое является функцией тока фотоэлемента.

Схема реле на переменном токе дана на фиг. 86. В этой схеме конденсатор C в цепи сетки заряжается один раз в течение каждого периода благодаря выпрямительному действию усилительной лампы. Фотоэлемент служит для разряда конденсатора и для управления сеточным напряжением в зависимости от освещения.

Количество света, требуемое для срабатывания универсальных реле с одним каскадом усиления, колеблется в пределах от 0,02 до 0,25 lm. В случае обычных фотоэлементов (фиг. 1) это количество света соответствует освещенности от 30 до 370 lx.



Фиг. 85. Схема фотореле с усилительной лампой и с выпрямлением в цепи анода и в цепи сетки.



Фиг. 86. Схема фотореле переменного тока.

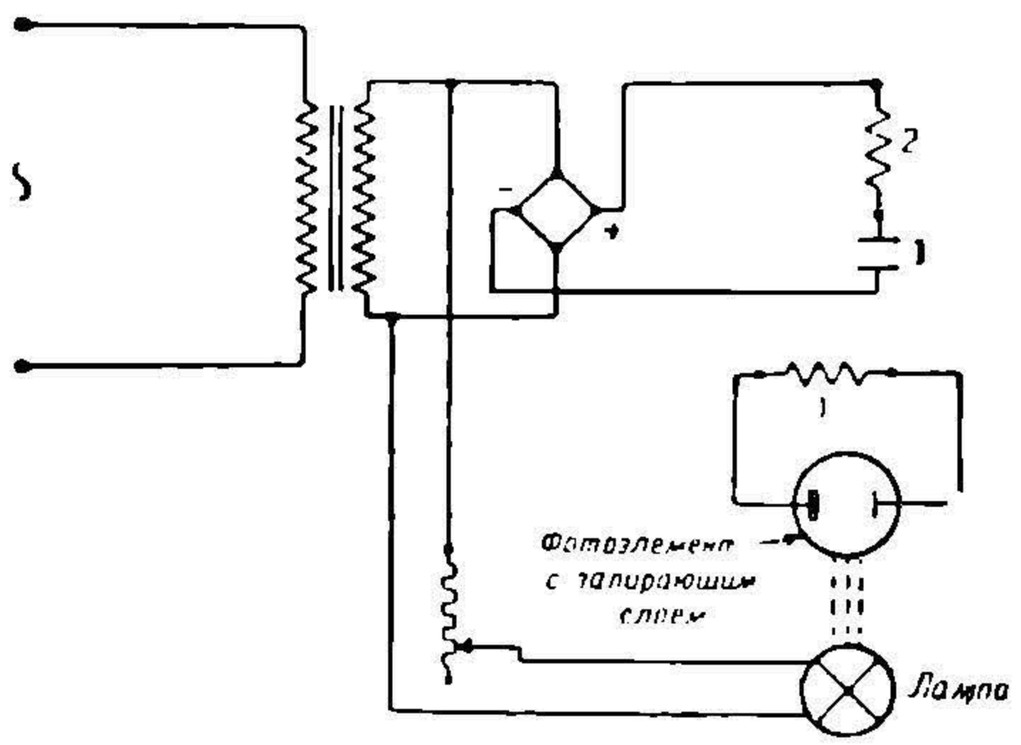
Количество света можно увеличить при помощи линз большого диаметра, способных собирать свет с большой площади и концентрировать его на фотоэлементе.

Расстояние, на которое фотоэлемент может быть удален от фотореле, зависит от емкости и сопротивления изоляции подводящих проводов и от емкости и сопротивления изоляции этих проводов относительно земли. В том случае, если фотоэлемент питается переменным током, это расстояние ограничивается емкостью проводов. Так как полное сопротивление в цепи сетки усилительной лампы или тиратрона почти никогда не бывает меньше 10 MΩ, то собственная емкость подводящих проводов может вызвать сдвиг фазы или изменение напряжения и в результате изменить чувствительность схемы. В обычном двухжильном кабеле с достаточно высоким сопротивлением изоляции емкость между проводами приблизительно равна 80 микромикрофарад (μμF) на 1 m, что при 60 Hz соответствует сопротивлению приблизительно в 100 MΩ. Если подводящий кабель имеет в длину 3 m, то сопротивление кабеля переменному току, если пренебречь емкостью относительно земли, равно всего лишь 10 MΩ. В случае гораздо больших расстояний в цепь сетки

НБ УДУНТ (ДІТ)

и в цепь фотоэлемента необходимо включать выпрямители. В том случае, если фотоэлемент питается постоянным током, емкость кабеля не влияет на работу схемы, она лишь замедляет ее действие благодаря увеличению постоянной времени, равной произведению сопротивления в цепи сетки на емкость кабеля. Максимальное расстояние фотоэлемента от остальной части схемы при работе на постоянном токе определяется сопротивлением изоляции кабеля. В настоящее время применяются аппараты, действующие удовлетворительно при длине кабеля до 15 m, что вполне достаточно для большинства применений.

Скорость действия фотореле определяется временем, необходимым для замыкания и размыкания электромагнитных реле. В некоторых случаях число срабатываний в единицу времени невелико, но световой импульс имеет настолько короткую продолжительность, что электромагнитное реле не успевает сработать и выполнить свою задачу. Фотореле, срабатывающее от импульсов очень короткой продолжительности, описывается в § 110.



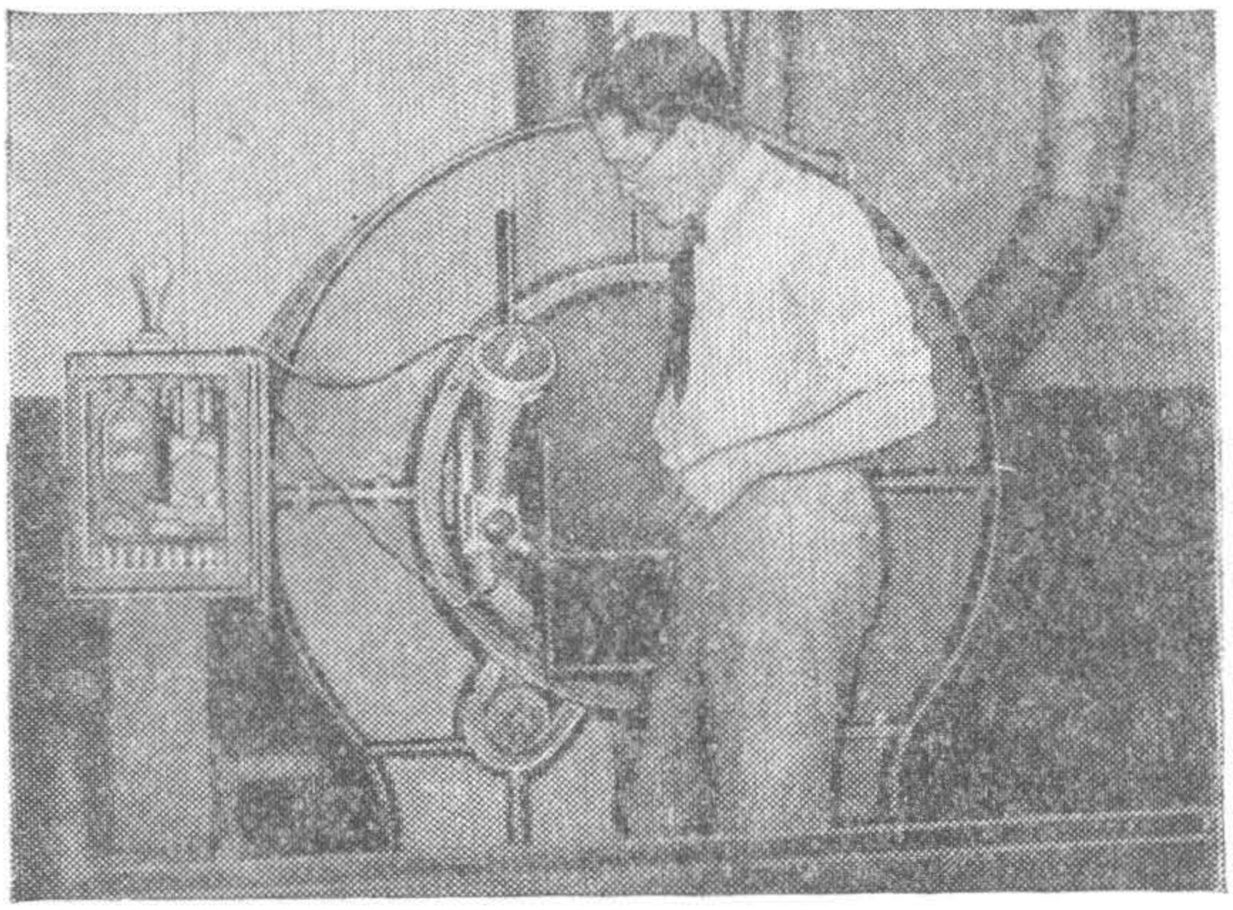
Фиг. 87. Схема фотореле, использующая фотоэлемент с запирающим слоем.

Чувствительность к импульсам света можно повысить, увеличив число каскадов усиления. В добавочных каскадах всегда используются высоковакуумные усилительные лампы, за исключением каскада мощности, в котором может быть использована как усилительная лампа, так и тиратрон. В § 33 мы уже указывали на неустойчивость работы многокаскадных усилителей на сопротивлениях. Поэтому обычно стремятся использовать скорость изменения света или модулировать свет заслонкой, вращаемой мотором, и применять усилители с емкостной или с трансформаторной связью. В случае необходимости получения постоянного тока на выходе усиленный переменный ток выпрямляется. Универсальные реле такого типа пока еще мало распространены, но принцип их действия уже используется в нескольких применениях, как, например, в регуляторе концентрации водородных ионов, описываемом ниже в § 112.

На фиг. 88 изображено фотореле фирмы Вестон, основанное на применении фотоэлемента с запирающим слоем. Фотореле применяется для управления печью, в которой жарят кофе. Фотоэлемент воздействует на чувствительное реле без всякого предварительного усиления (фиг. 87). Чувствительное реле включает контактор, способный управлять значительно большей мощностью. В тот момент, когда кофе приобретает нужный коричневый цвет, фотореле срабатывает и приводит в действие звуковой сигнал.

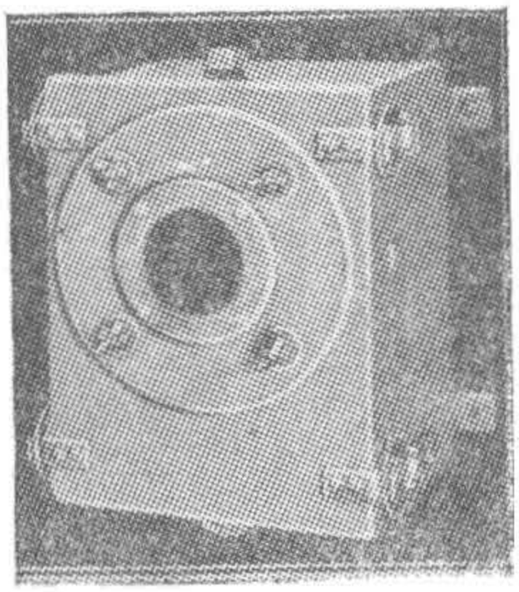
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

49. Источники света. Для обеспечения удовлетворительной работы фотореле необходимо располагать подходящим источником света. Все фотореле рассчитываются на срабатывание при минимальном значении освещенности. Фирмы обычно указывают количество света, которое необходимо для срабатывания фотореле, но при этом они не вводят поправку на поглощение света загрязненной оптической системой, дымом, паром и т. д. По этой причине необходимо всегда пользоваться достаточно мощным источником света, который мог бы заставить сработать реле даже при наиболее невыгодных возможных условиях. Так как стоимость введения добавочных каскадов в фотореле сравнительно высока, то часто более выгодно применять очень мощный источник света, чем увеличивать число каскадов усиления.



Фиг. 88. Применение фотореле для контроля прожаривания кофе.

Наиболее распространенный источник света состоит из маленькой низковольтной лампочки с плосковыпуклой или двояковыпуклой линзой, собирающей свет от лампы в почти параллельный пучок света. Приведем несколько элементарных сведений из оптики, которые могут иметь значение для конструирования и применения источников света.



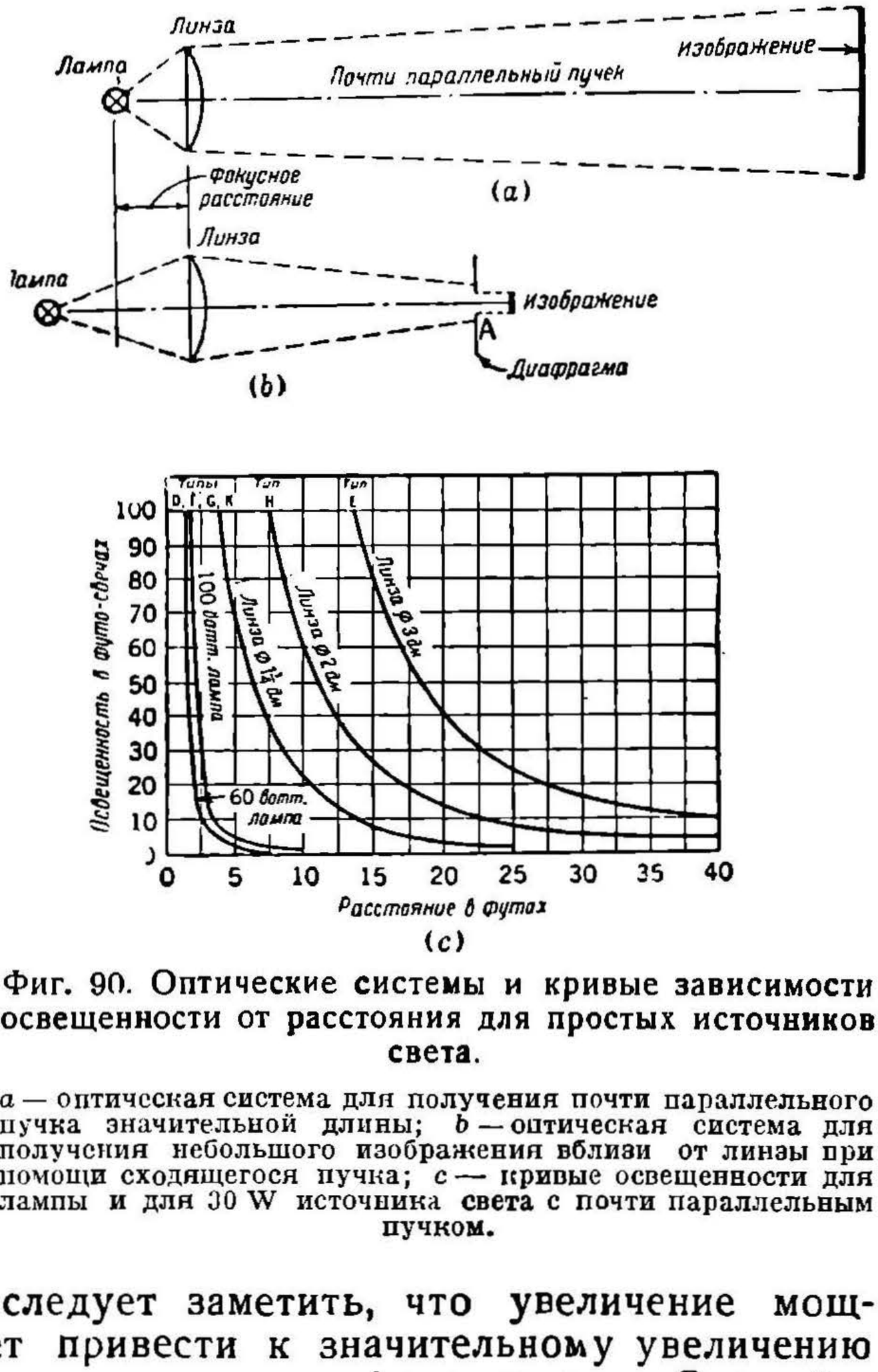
Фиг. 89. Мощный источник света с помещенным внутри кожуха трансформатором.

Источники света используются двумя основными способами. Простейший из них состоит в проектировании параллельного пучка света на расстояние порядка нескольких футов. В этом случае длина пучка велика по сравнению с диаметром и фокусным расстоянием линз. Если бы нить лампы представляла собой геометрическую точку, не имеющую размера, расположенную в фокусе линзы, то пучок света состоял бы из строго параллельных лучей. Однако в действительности этого идеального положения не существует. Лучи испускаются нитью, которая имеет конечные размеры, и поэтому они не строго параллельны, а несколько расходятся. Угол расхождения зависит от размеров нити и фокусного расстояния линзы. Размер изображения на фотоэлементе равен произведению размера нити на расстояние

НБ УДУНТ (ДІТ)

между нитью и фотоэлементом, разделенному на фокусное расстояние линзы. Это соотношение несправедливо, если расстояние от линзы до фотоэлемента имеет величину такого же порядка, как и фокусное расстояние линзы.

Всегда желательно располагать как можно большим количеством света от лампы и иметь возможность сконцентрировать его на возможно меньшей площади для получения наибольшой интенсивности света на маленькой площади отверстия напротив фотоэлемента. При заданном расстоянии и заданном типе лампы выгодно пользоваться линзой с возможно большим фокусным расстоянием и возможно большим диаметром, так как это увеличивает количество света в пучке. Чем больше фокусное расстояние, тем меньше размеры изображения на фотоэлементе и тем большее количество света может быть сосредоточено на маленькой площади. Чем больше диаметр линзы, тем больше максимальное количество света, которым мы можем располагать. В противоположность обычному представлению следует заметить, что увеличение мощности лампы не может привести к значительному увеличению интенсивности света, падающего на фотоэлемент. Это объясняется тем, что во всех лампах нить накаливается приблизительно до одной и той же температуры, причем чем больше мощность лампы, тем больше должны быть размеры нити. Таким образом применение мощной лампы в качестве источника света приводит к увеличению изображения на фотоэлементе, а не к увеличению интенсивности света. Обычно изображение имеет гораздо более значительные размеры, чем это необходимо, поэтому увеличение размеров изображения не может принести никакой пользы. По этой причине в большинстве современных



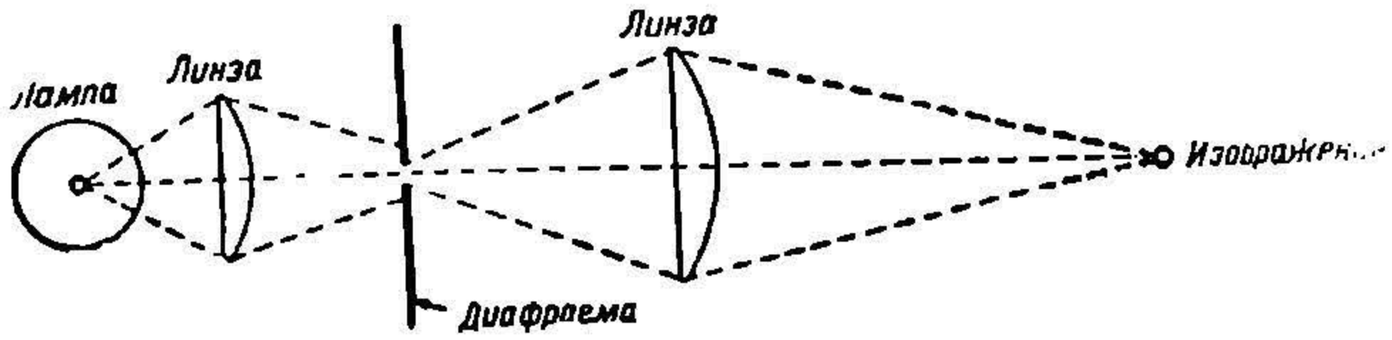
Фиг. 90. Оптические системы и кривые зависимости освещенности от расстояния для простых источников света.

a — оптическая система для получения почти параллельного пучка значительной длины; *b* — оптическая система для получения небольшого изображения вблизи от линзы при помощи сходящегося пучка; *c* — кривые освещенности для лампы и для 30 W источника света с почти параллельным пучком.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

фотореле в качестве источников света применяются низковольтные лампы, потребляющие сравнительно небольшую мощность и имеющую небольшую по размерам нить. Стандартные лампочки 110 V не годятся для этой цели, так как их нити длинны и дают большое изображение. Кроме того, значительное потребление энергии и размеры этих ламп ограничивают возможность их применения случаями, когда габариты прибора могут быть достаточно велики и его вентиляция обеспечена.

Другой способ применения источников света заключается в использовании концентрированного пучка света на коротких расстояниях в тех случаях, когда фотоэлемент должен реагировать на маленькие или медленно движущиеся объекты. При этом надлежащей концентрации пучка света можно добиться, поместив лампу от линзы на расстоянии, большем фокусного. Лучи света, вместо того чтобы расходиться, будут сходиться.



Фиг. 91. Оптическая система источника света для получения ограниченного пучка света.

В фокусе пучок света будет давать изображение нити лампы. Для изменения формы и размеров пучка света часто применяются специальные апертуры. Если имеется только одна линза, то апертура помещается между линзой и фотоэлементом как можно ближе к последнему. В этом случае необходимо принимать во внимание, что количество света, падающее на фотоэлемент, очень сильно уменьшается маленькой апертурой.

В случае применения нескольких линз нить можно сфокусировать на апертуре. После прохождения через апертуру свет затем фокусируется второй линзой, которая дает в нужном месте пучок ограниченных размеров.

50. Применения фотореле. Контроль многих промышленных процессов гораздо легче осуществить при помощи пучка света и фотоэлемента, чем при помощи механических или электромагнитных приборов. Например, в процессе производства стали некоторое оборудование, как, например, ограничительные выключатели, подвержено быстрому износу благодаря высокой температуре и сильным механическим ударам. Так как пучок света не может быть поврежден, а источник света и фотореле могут быть расположены на значительном расстоянии, то установка фотореле вместо ограничительных выключателей часто может привести к улучшению процесса производства и уменьшению эксплоатационных расходов. Механические ограничительные выключатели, применяемые для автоматизации работы прокатного стана, не всегда достигают цели. Лист металла, оставляя валки,

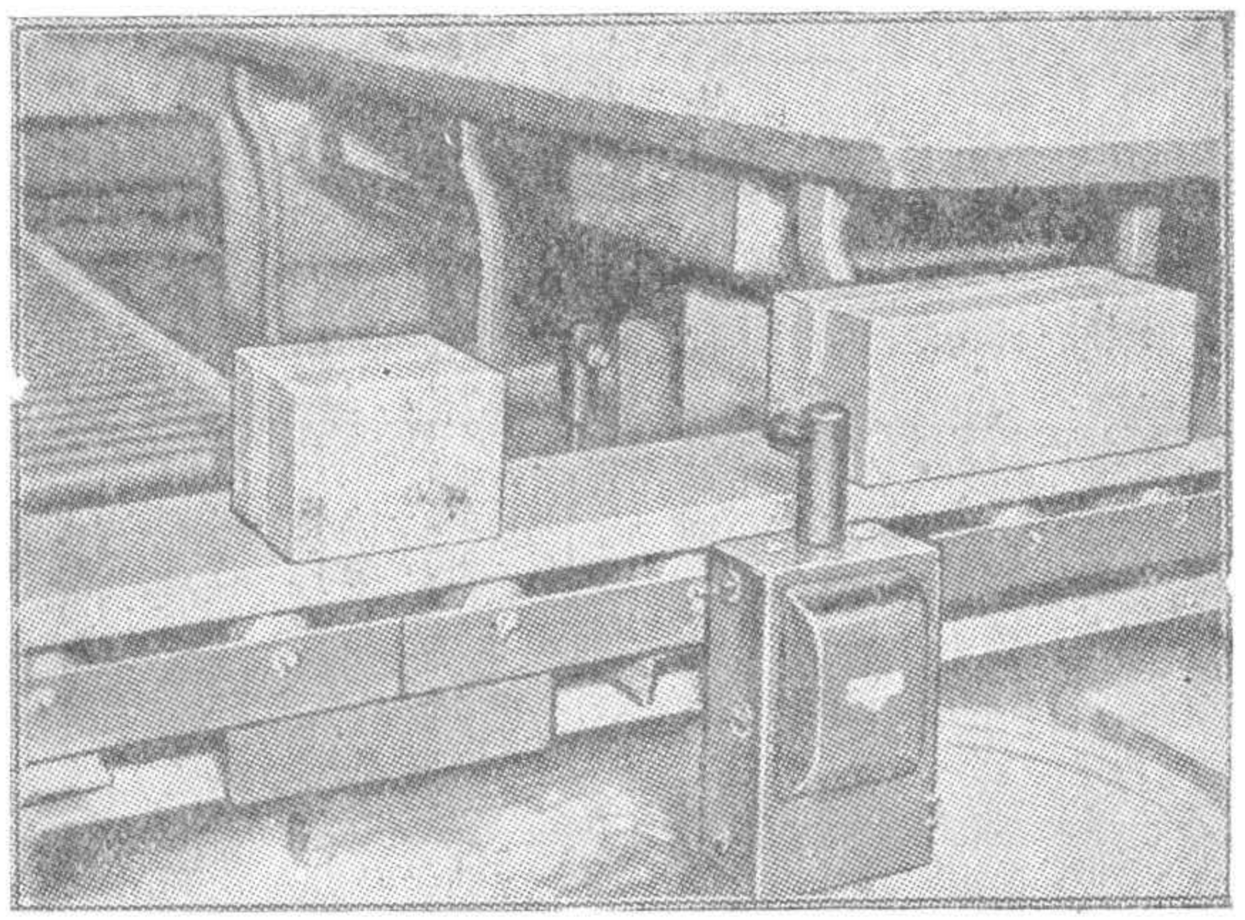
НБ УДУНТ (ДІІТ)

закручивается, и поэтому ограничительный выключатель не всегда срабатывает в одном и том же положении по отношению к каждому листу. По этой причине ограничительный выключатель иногда оказывается выгодным заменить фотореле, которое не может вызвать ложного или неправильного срабатывания.

В бумажной промышленности фотореле применяется для сигнализации о разрыве бумаги на бумажной машине. В этом случае фотоэлектрическое устройство удобно потому, что оно может работать, не соприкасаясь механически с бумагой, и поэтому им можно пользоваться даже на том конце машины, где бумага, пропитанная влагой, еле выдерживает свой собственный вес.

Введение некоторых вспомогательных приспособлений легко позволяет приспособить фотореле для автоматического открывания и закрывания дверей. Такого рода схема описывается в § 55.

Одно из наиболее распространенных применений фотореле заключается в счете деталей, движущихся по конвейеру. Для этой цели применяется стандартное фотореле, воздействующее на электромагнитный счетчик.



Фиг. 92. Счет деталей на конвейере.

В некоторых случаях счетчик присоединяется непосредственно к выходу усилителя или к тиратрону без всякого промежуточного реле.

Другой пример применения фотореле в случае нежелательности механического контакта состоит в автоматическом прекращении подачи взвешиваемого материала к весам в момент достижения требуемого веса. Луч света направляется таким образом, чтобы указательная стрелка весов прерывала его при приближении к требуемому положению на шкале. При прерывании пучка света подача материала замедляется до тех пор, пока стрелка весов не пересечет его и не окажется в нужном положении. В этот момент пучок света опять осветит фотоэлемент и совершенно прекратит подачу материала.

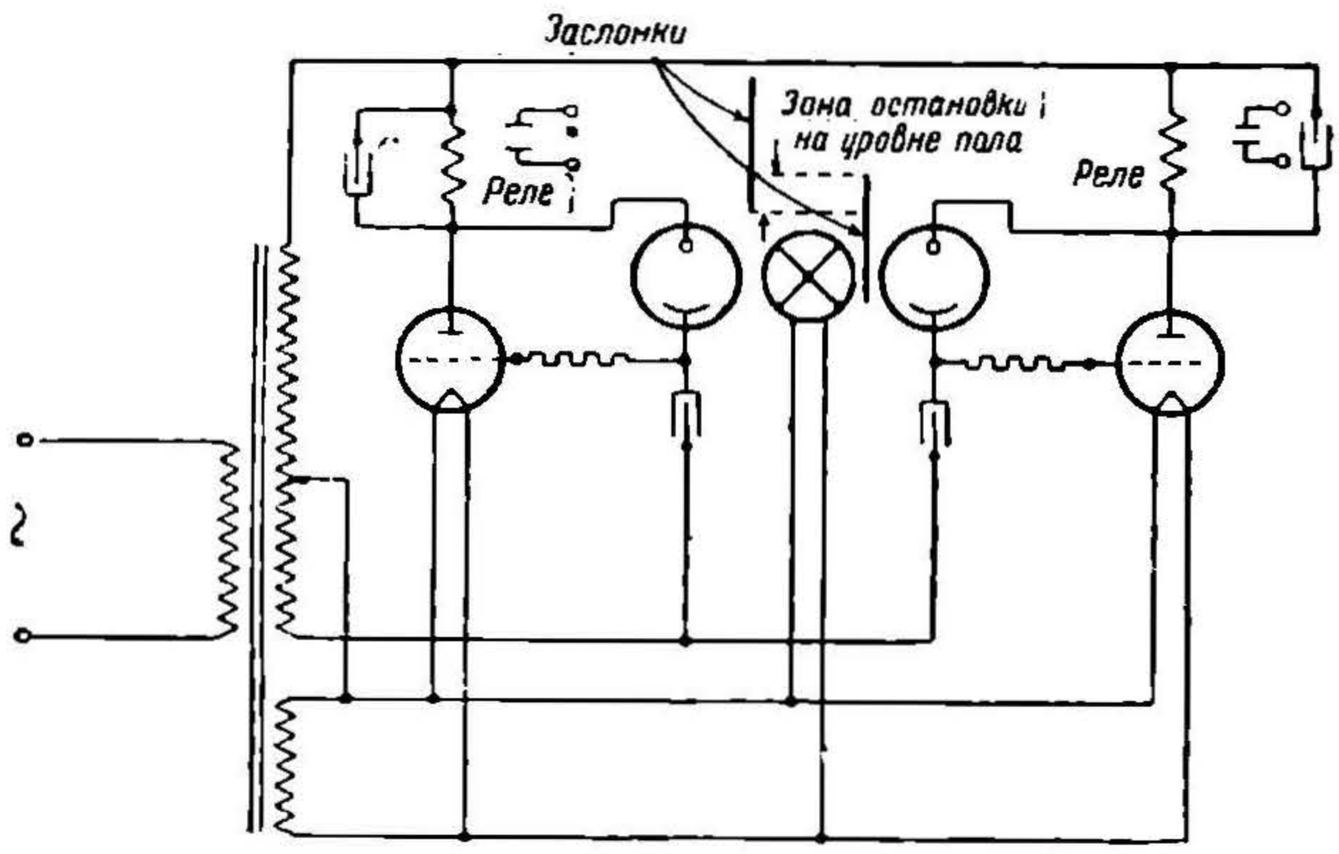
Фотореле можно также использовать для тревожной сигнализации в тех случаях, когда другие методы оказываются недействительными. Конечно, нельзя ручаться за то, что фотореле дает все 100% надежности, однако во многих случаях оно может привести к гораздо лучшим результатам, чем какой-либо другой прибор. В виде примера укажем на применение фотореле для наблюдения за пламенем в печи, работающей на пылевидном

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

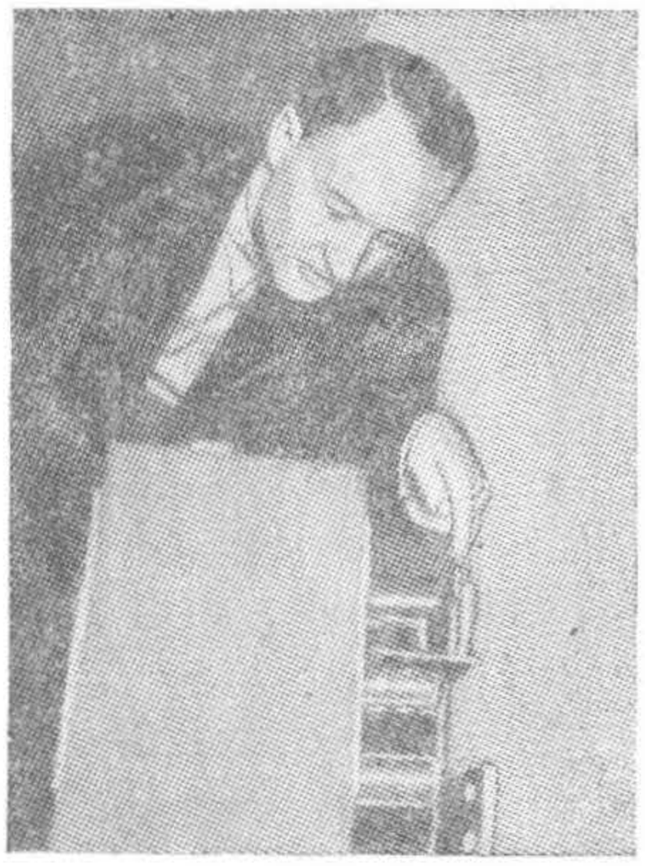
топливе. Фотореле прекращает доступ горючего и воздуха, если пламя в печи по какой-либо причине потухнет.

Чувствительные контактные указательные приборы часто очень неудобны благодаря прилипанию контактов. В настоящее время вместо контактов иногда применяют зеркальце, прикрепленное к стрелке прибора и отражающее свет на фотореле. Этим способом прибор может управлять каким-либо процессом, не производя никаких механических усилий.

51. **Применение фотореле на лифтах.** Фотореле применяются на лифтах потому, что они не зависят от изменения положения лифта относительно направляющих рельс, по которым он движется. Новые лифты очень точно движутся по направляющим, но с течением времени последние изнашиваются, и лифт получает некоторую свободу движения в горизонтальном направле-



Фиг. 93. Схема реле для лифтов. Реле расположены возле шахты лифта, а схема для остановки на данном уровне — на кабине.



Фиг. 94. Способ установки реле на крыше кабины лифта.

нии. Старые методы остановки лифта на нужном уровне основываются на применении ограничительных выключателей, срабатывающих в нужный момент благодаря контакту рычажного механизма с выступами на направляющих рельсах. При таком методе управления движением лифт может остановиться на нужном уровне, только в том случае, если его положение относительно направляющих рельс строго определено. Испытания показывают, что фотореле, показанное на фиг. 94, может контролировать положение кабины лифта с точностью до $\pm 1{,}5$ mm. Фотореле содержит два фотоэлемента и расположенный между ними общий источник света. Фотоэлементы и источник света помещены в отдельные кожухи, прикрепленные сбоку шкафа, содержащего все остальное оборудование. Отверстия в кожухах фотоэлементов расположены напротив отверстий в кожухе, содержащем источник света. Токи обоих фотоэлементов усиливаются независимо друг от друга усилительными лампами и приводят в действие реле, расположенное на главной распредели-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

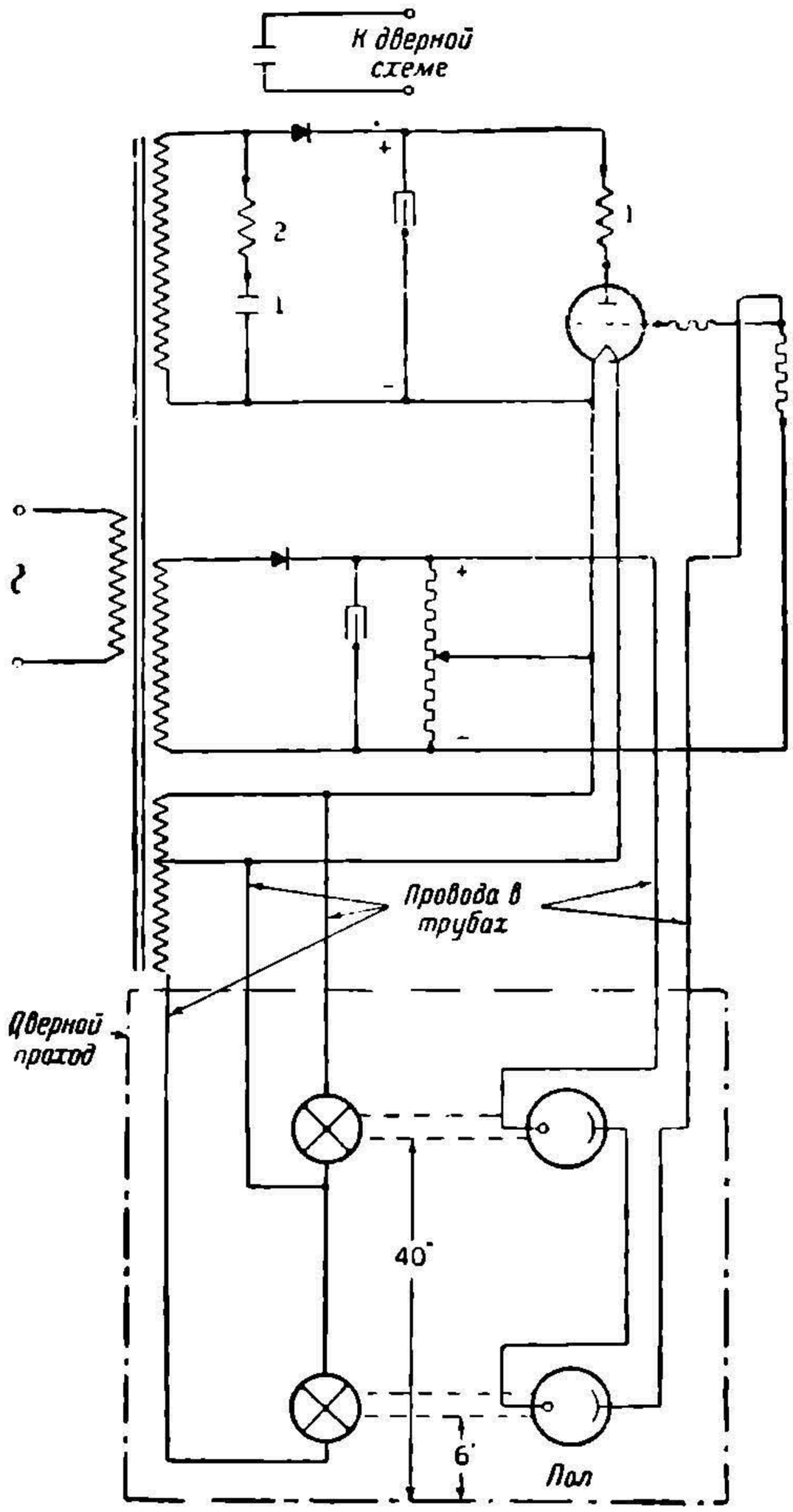
тельной доске. При приближении лифта к тому уровню, на котором должна произойти остановка, он автоматически замедляет скорость своего движения, когда кабина лифта оказывается на расстоянии приблизительно 25 cm от требуемого уровня. Как только пучок света, падающий на один из фотоэлементов, прерывается заслонкой, укрепленной на стене шахты (фиг. 94), лифт начинает замедлять свое движение. В тот момент, когда лифт достиг нужного уровня, одновременно прерываются оба пучка света благодаря тому, что в этой точке обе заслонки слегка находят друг на друга. Мотор выключается, и лифт останавливается. В том случае, если кабина успела продвинуться несколько выше нужного положения, один из фотоэлементов освещается, мотор реверсируется, и лифт возвращается к требуемому уровню.

Схема управления лифтом, изображенная на фиг. 93, состоит из двух простых фотореле, в которых фотоэлементы и усилительные лампы питаются переменным током. Некоторые детали, как, например, трансформатор для получения требуемых напряжений на аноде, сетке и фотоэлементе, являются общими для обоих фотореле. Несмотря на сравнительно низкую чувствительность такой схемы, ее применение в рассматриваемом случае дает вполне удовлетворительные результаты, так как количество света, падающее на фотоэлементы, может быть сделано очень большим. Способ укрепления фотореле сверху кабины подъемника ясен из фиг. 94. Фотоэлементы и лампа выступают сбоку кабины для того, чтобы между ними могли проходить заслонки, укрепленные на стене шахты. Конструкция допускает значительное перемещение кабины в боковом направлении. Большинство лифтов, работающих в Рокфеллер-Центре в Нью-Йорке, снабжено такими фотореле.

52. Схема безопасного автоматического управления дверьми на лифте. Схема безопасного автоматического управления закрыванием и открыванием дверей на лифте предупреждает возможность повреждения пассажиров, входящих или выходящих из кабины. Появление автоматически закрывающихся дверей привело к необходимости разработать такого рода защиту для того, чтобы дверь не могла ударить случайно оказавшегося на ее пути пассажира. Вся схема смонтирована в шкафу, за исключением двух источников света, расположенных по одну сторону дверей, и двух фотоэлементов, расположенных по другую ее сторону. Источники света и фотоэлементы прикреплены сбоку кабины, между кабиной и стеной шахты. Один пучок света проходит на расстоянии 15 cm от пола и прерывается ногами, а другой расположен на расстоянии 1 m от пола и прерывается всем телом пассажира (фиг. 95). Схема аналогична схеме, приведенной на фиг. 85, и отличается от нее только тем, что оба фотоэлемента соединены последовательно, благодаря чему срабатывание реле происходит при прерывании любого из пучков света. Вся схема играет роль светочувствительной блокировки дверного механизма. Если дверь открыта и пучок света прерван,

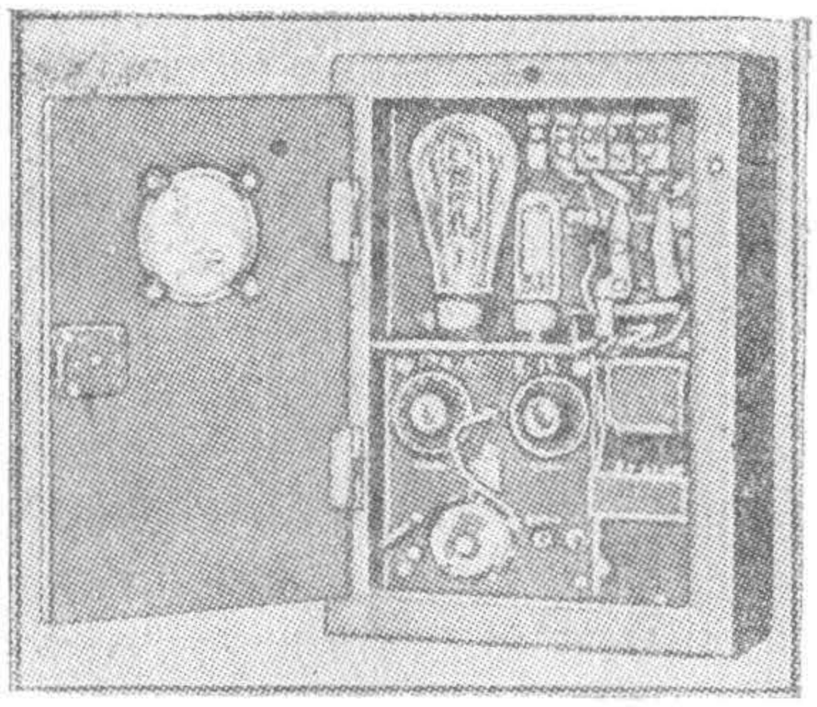
НБ УДУНТ (ДІІТ)

то дверь остается открытой даже в том случае, если пассажир в лифте сделает попытку пустить лифт. Лифт не может начать двигаться, так как он заблокирован дверными контактами. Если двери начнут закрываться, то они переменят направление движения и вновь откроются. Другими словами, фотореле целиком управляет движением дверей до тех пор, пока они не закрылись и не заставили сработать дверные выключатели. Схема применяется также и для автоматических кабин, управляемых извне, для которых вопрос о безопасном для пассажиров способе закрывания дверей имеет даже большее значение, чем в случае кабин, управляемых изнутри.



Фиг. 95. Схема соединений для управления дверьми на лифте.

53. Автоматическое регулирование искусственного освещения. Одно из наиболее важных применений фотоэлемента состоит в его использовании для контроля освещения. С наступлением темноты фотоэлемент при помощи усилителя и реле включает свет, а затем, когда естественный свет опять делается достаточным, выключает свет. Раньше регулирование освещения производилось ручным способом или при помощи часов, причем внутреннее освещение регулировалось почти исключительно ручным способом, а освещение улиц и рекламы обычно включались часовыми механизмами. Оба эти метода контроля освещения

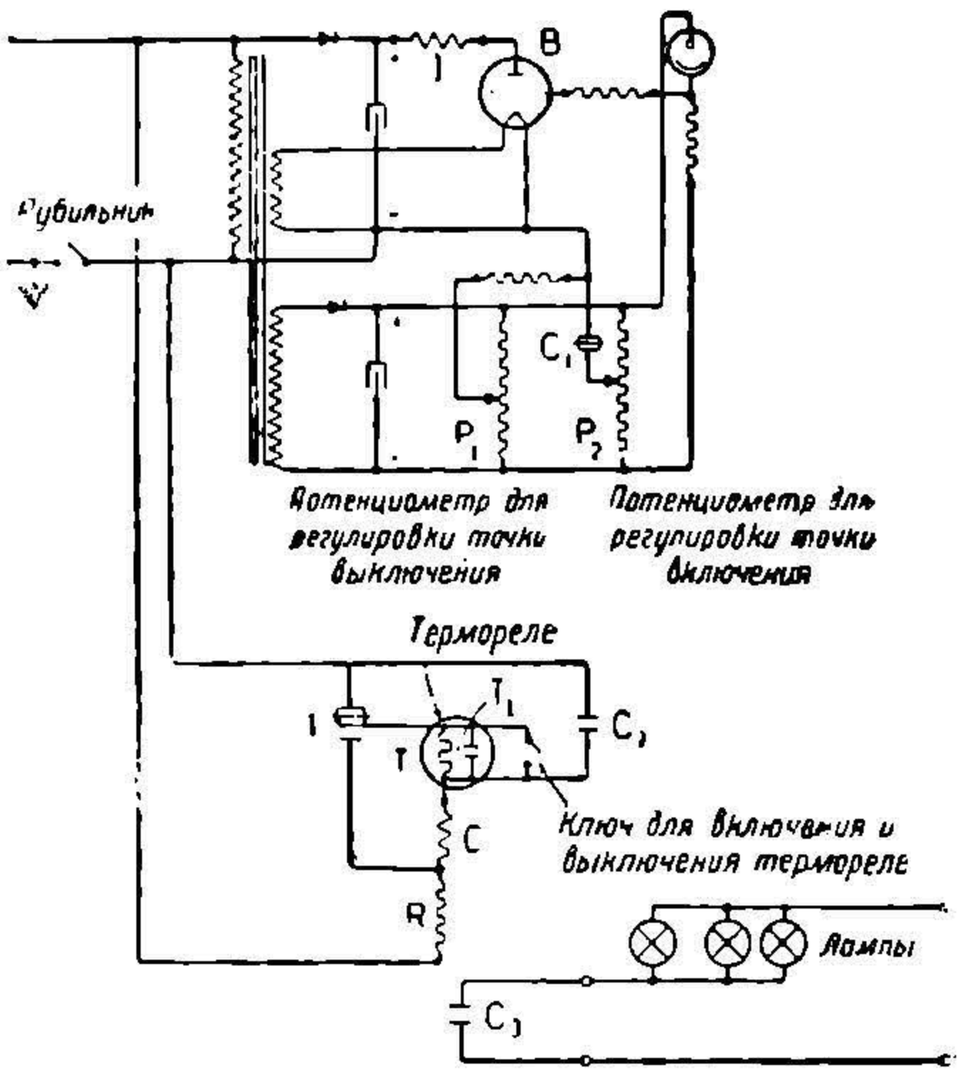


Фиг. 96. Реле для контроля освещения внутри помещений с часовым механизмом для выключения света после определенного часа.

НБ УДУНТ (ДІТ)

страдают тем недостатком, что они в противоположность фотоэлементу, для которого важно лишь количество света независимо от времени дня, не могут учесть всех изменений дневного света.

Требования, предъявляемые к устройствам для контроля освещения, зависят от типа регулируемой системы освещения. Основное различие обычно заключается в величине освещенности, при которой устройство должно вступать в действие. При контроле освещения внутри зданий, как, например, в конторах и на заводах, обычно требуется, чтобы свет включался при интенсивности естественного света, равной максимальной возможной интенсивности искусственного света. Это необходимо для того, чтобы интенсивность света никогда бы не опускалась ниже значения, которое может дать искусственное освещение. Интенсивность света, при которой должно производиться включение световых реклам, зависит от условий их видимости и условий, когда они могут привлечь к себе наибольшее внимание. Основное преимущество включения реклам при помощи фотоэлементов заключается в том, что в пасмурную погоду рекламы, включаемые фотоэлементами, загораются раньше, чем обычно, и выделяются на фоне других неосвещенных реклам. Фотоэлементы включают рекламы ранним вечером, когда улицы полны народа. Так как световые рекламы обычно около полуночи выключаются для экономии энергии, то устройство, осуществляющее контроль, должно включать в себя часовой механизм.



Фиг. 97. Схема реле для контроля освещения.

Уличное освещение должно включаться при очень низких значениях освещенности, так как человеческий глаз способен очень хорошо видеть при освещенностях порядка десятых долей люкса. Так, например, даже газету можно читать при освещенности, равной всего лишь 0,1 lx. На практике уличное освещение принято включать при освещенности, не превышающей 10 lx.

Схема, применяемая для контроля уличного освещения (фиг. 97), в существенных своих чертах сходна со схемой, приведенной на фиг. 85. Она отличается от нее лишь тем, что имеет независимую регулировку рабочих точек включения и выключения. Для этого в схему введен добавочный потенциометр, а контактор снабжен дополнительным контактом для переключения потенциометров. Схема снабжена реле времени, которое не допускает ее срабатывания от импульсов света короткой про-

ГБ УДУНТ (ДИТ)

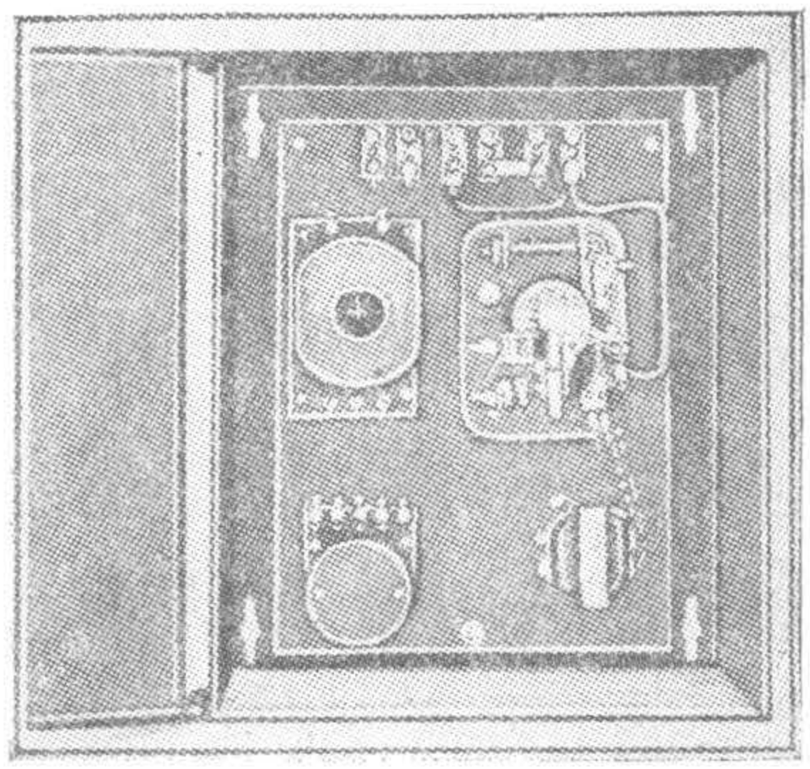
должительности, как, например, вспышки молнии ночью или тень прохожего днем. Переходя к описанию работы схемы, примем сперва, что дневной свет отсутствует и что уличное освещение включено. Для того чтобы горел свет, реле *1* должно быть разомкнуто, а контактор *C* замкнут. При этом сеточное смещение усилительной лампы зависит исключительно от положения движка потенциометра P_1, определяющего точку выключения. Если при помощи потенциометра P_1 сеточное смещение подобрано так, что анодный ток лишь на немного меньше значения, необходимого для включения реле *1*, то для того чтобы включить реле, на фотоэлемент нужно направить очень незначительное количество света. Если сеточное смещение сделать более отрицательным, то количество света, необходимое для срабатывания реле *1*, возрастет. При достаточно сильном увеличении интенсивности света анодный ток возрастет до такого значения, при котором реле *1* сработает и останется во включенном положении. При замыкании контактов реле *1* термореле *T* окажется включенным параллельно катушке контактора *C*. Через определенное количество времени нагревательный элемент заставит сработать реле *T*. При этом контакты T_1 замкнутся, катушка контактора *C* вместе с сопротивлением *R*, служащим для ограничения величины тока, замкнутся накоротко, контактор выключится, и свет погаснет. После выключения термореле опять будет готово к следующему включению. При выключении контактора замыкаются контакты C_1, и контроль сеточным смещением усилительной лампы переходит к потенциометру P_2. Положение движка потенциометра P_2 должно быть таким, чтобы включение света происходило при несколько меньшей интенсивности, чем его выключение. В противном случае схема будет работать неустойчиво, то включая, то выключая непрерывно свет. При достаточном падении освещенности реле *1* сработает, и термореле включится последовательно с катушкой контактора. Однако, так как сопротивление термореле высоко, то ток, протекающий через катушку контактора *C*, недостаточен для срабатывания контактора. Через некоторый промежуток времени контакты реле *T* замкнутся, закоротят нагревательный элемент и заставят сработать контактор *C*. Контакты C_2 закоротят термоэлемент и оставят контактор *C* в замкнутом положении.

При установке точек включения и выключения необходимо учитывать влияние искусственного света, который часто попадает на фотоэлемент. В случае контроля освещения внутри зданий искусственное освещение влияет на фотоэлемент почти во всех установках. При приближении освещенности к значению, соответствующему точке выключения, свет, падающий на фотоэлемент, состоит из изменяющегося дневного света и искусственного света, который остается неизменным до тех пор, пока он не выключен. В момент внезапного выключения искусственного освещения схема должна автоматически переградуироваться таким образом, чтобы она не срабатывала и не включала освещение до тех пор, пока дневной свет действительно не уменьшится.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Переградуировка осуществляется контактами C_1, включающими потенциометр P_2.

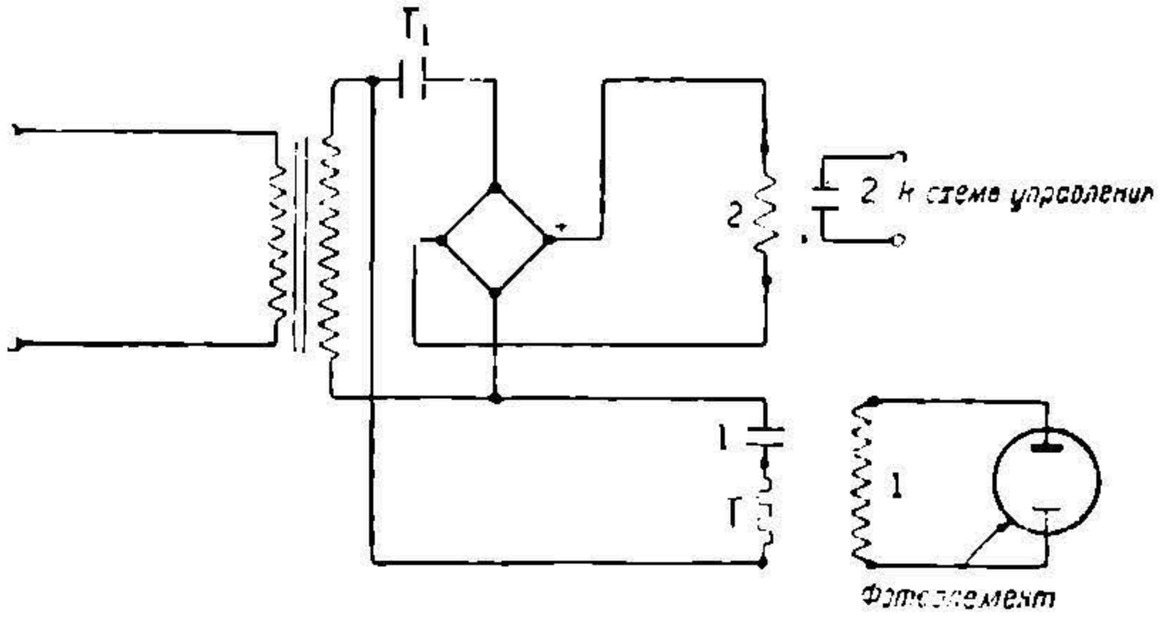
Высокая чувствительность, требуемая для контроля уличного освещения, достигается при помощи обычных фотореле, снабженных, однако, несколькими более значительными по размерам фотоэлементами, которые монтируются в отдельных стеклянных баллонах. Это делается для того, чтобы увеличить полезную площадь фотоэлемента, собирающую свет, и, следовательно, для того, чтобы реле могло срабатывать при слабых освещенностях.



Фиг. 98. Фотореле для контроля освещения, основанное на применении фотоэлемента с запирающим слоем. Фотоэлемент, установленный вне кожуха, на фигуре не показан.

На фиг. 98 изображено реле для контроля освещения фирмы Вестон. Реле использует вместо фотоэлемента с внешним фотоэффектом фотоэлемент с запирающим слоем. Фотоэлемент воздействует на чувствительное реле *1* (фиг. 99). При замыкании реле *1* вводится в действие нагревательный элемент термореле *T*, служащий для получения выдержки времени. Через определенный промежуток времени контакты *T* замыкаются и заставляют сработать контактор *2*, включающий освещение.

54. Регулятор дневного освещения. Задача поддержания постоянным естественного рассеянного дневного освещения вне зависимости от погоды и времени дня связана с большими трудностями. Наличие большого количества рассеянного дневного света особенно важно для помещений почтамтов, в которых происходит сортировка корреспонденции. Недавно построенный почтамт Хай Пойнт снабжен установкой, решающей эту задачу (фиг. 100).



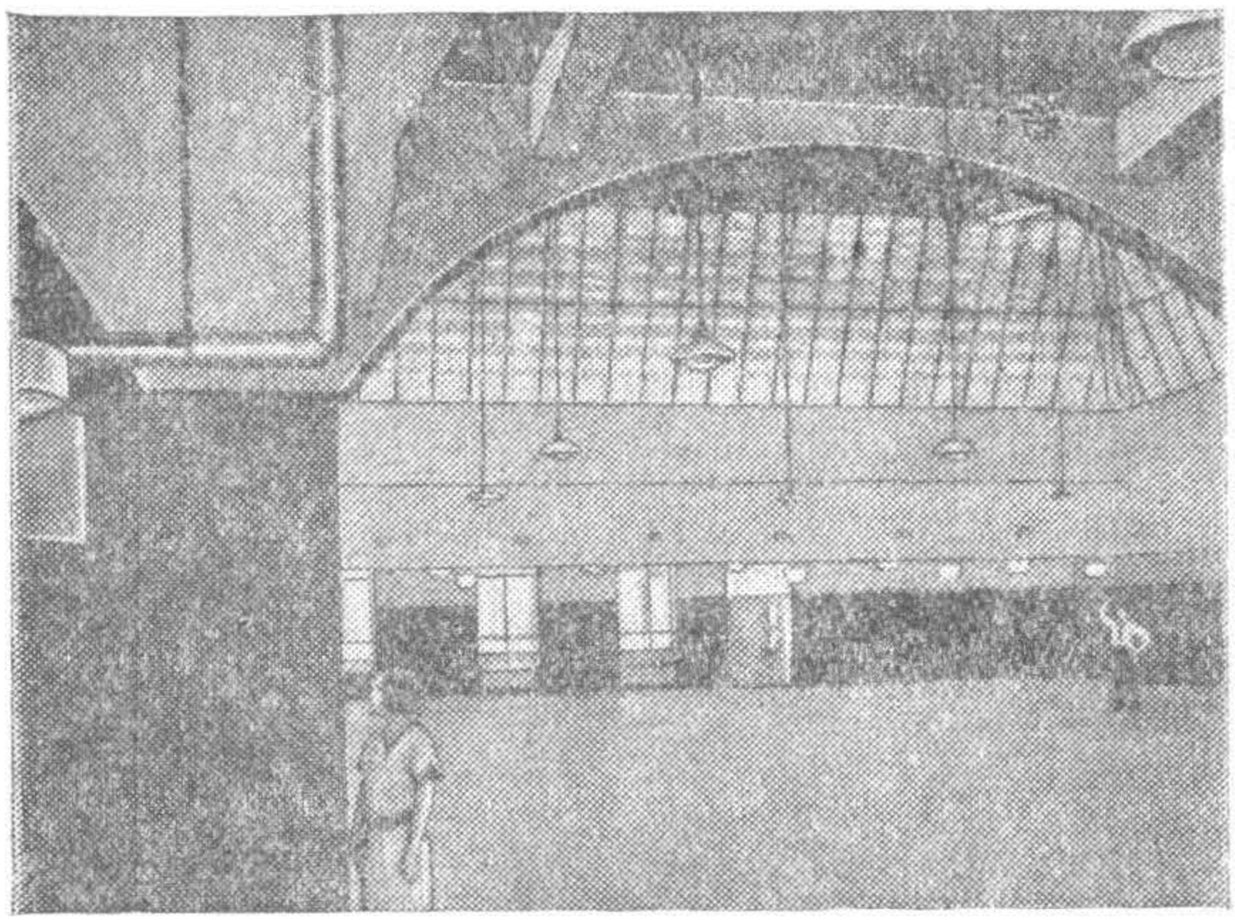
Фиг. 99. Схема фотореле для контроля освещения при помощи фотоэлемента с запирающим слоем.

Зал этого почтамта имеет четырехсторонний верхний свет, причем окна расположены по всем четырем сторонам. Окна расположены непосредственно над полом, на котором производится сортировка корреспонденции, и имеют приблизительно такие же размеры, как и сам пол, размеры которого равны 18 × 24 m.

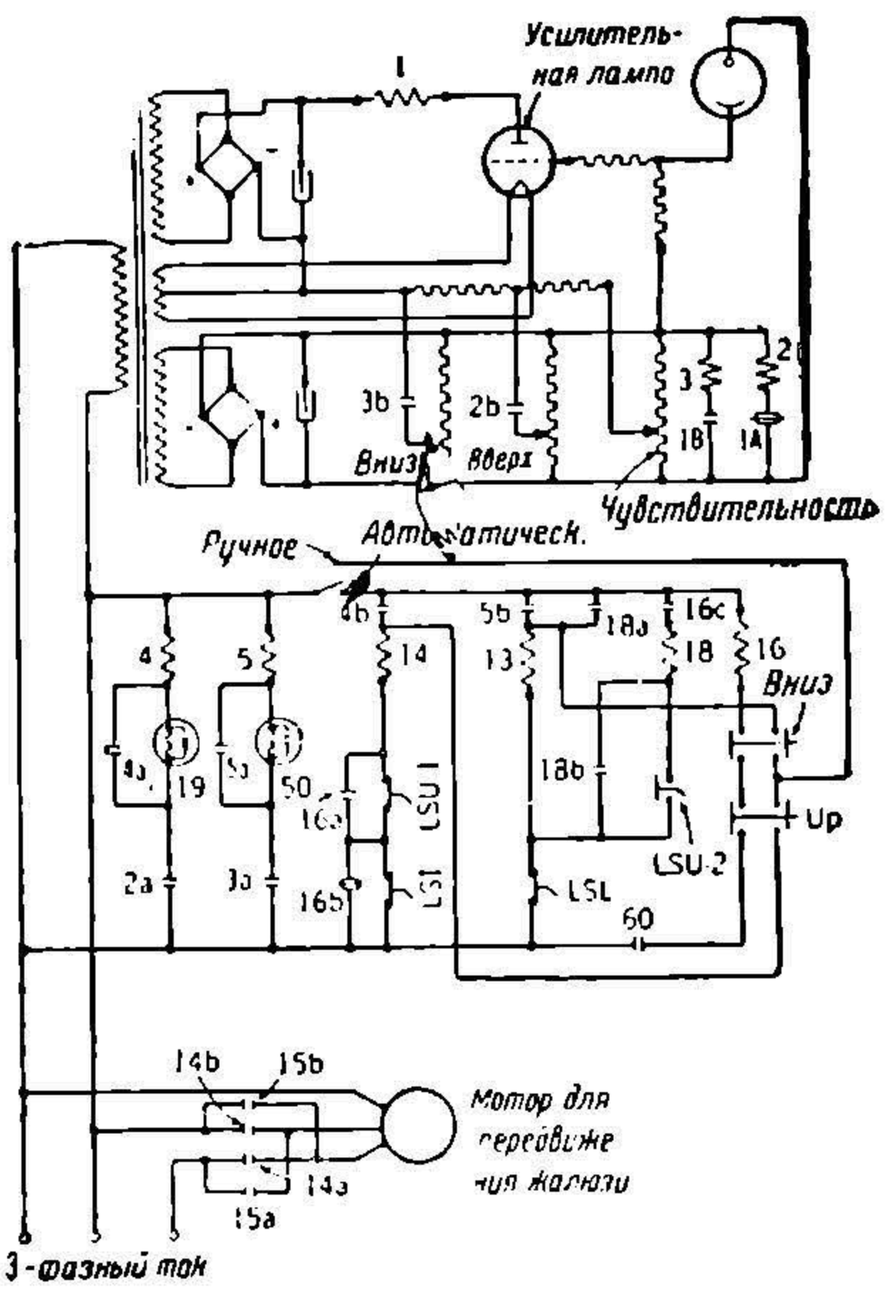
Окна сплошные (без простенков) и сделаны из стекла, рассеивающего свет. Непосредственно за окнами на каждой из четырех

НБ УДУНТ (ДІІТ)

сторон установлены алюминиевые жалюзи или ставни, приводимые в движение мотором. Жалюзи всегда должны занимать такое положение, при котором пол имеет заданную освещенность. Положение каждого из четырех жалюзи управляется отдельным фотоэлектрическим устройством, состоящим из фотоэлемента, укрепленного вблизи от потолка, и шкафа с вспомогательным оборудованием, установленным около пола. Если освещенность делается выше заданного значения, то главные контакты *60* устройства (фиг. 101) замыкаются, а если освещенность делается ниже заданного значения, то размыкаются. В остальном устройство действует так же, как и реле для контроля освещения, описанное в § 53. Для того чтобы пояснить работу устройства, примем сперва, что жалюзи находятся в своем крайнем нижнем положении, контакты главного контроллера замкнуты и реле *16* включено. В таком положении освещенность будет слишком мала. Поэтому устройство откроет жалюзи так, чтобы они пропускали большее количество света. Количество света, падающее на фотоэлемент, увеличится, и в момент когда оно будет достаточно, жалюзи остановятся.



Фиг. 100. Внутренний вид почтамта Хай-Пойнт. На фигуре показано положение контрольной панели, мотора и фотоэлемента (в черном круге).



Фиг. 101. Схема управления оконными жалюзи для получения постоянной в течение дня освещенности в помещении.

Реле *1*, включенное в анодную цепь усилительной лампы, сконструировано таким образом, что направление отклонения якоря реле от его нейтрального положения зависит от тока, текущего через катушку реле. Успешная работа этого устройства зависит от одного важного обстоятельства. Если принять, что контакты *2b* и *3b* разомкнуты, то сеточное напряжение усилительной лампы устанавлива-

НВ УДУНТ (ДІІТ)

ется потенциометром, который служит для регулировки чувствительности схемы. Поэтому, если количество света, падающее на фотоэлемент, таково, что подвижные контакты реле *1* находятся в центральном положении между неподвижными контактами, то жалюзи будут неподвижны. Если количество света не то, которое нужно, то замкнутся контакты *1A* и включится реле *2*. Реле *2* имеет две пары контактов *2a* и *2b*. При замыкании контактов *2b* включается потенциометр, который несколько изменяет сеточное смещение таким образом, чтобы анодный ток еще более уменьшился. В результате подвижной контакт реле *1* более плотно прижимается к неподвижному контакту. Это означает, что коррекция положения жалюзи достаточна и что контакты реле *1*, разомкнувшись, немедленно примут нейтральное положение. Срабатывание контактов реле *1* в противоположном направлении, приводящее к включению реле *3*, точно так же вызывает передвижение жалюзи, но уже не в верхнем, а в нижнем направлении.

Возвращаясь к действию реле *2*, мы замечаем, что при включении контактов *2a* цепь замыкается через нагревательный элемент *19* и катушку реле *4*. Термореле *19* через определенный промежуток времени после включения тока замыкает контакты *19* и включает реле *4*. Контакты *4a* замыкают накоротко реле *19*. Контакты *4b* включают реле *14*, так как ограничительные выключатели *LSU-1* и *LSI* для верхнего и промежуточного пределов замкнуты. При этом, как это нами уже указывалось ранее, срабатывает реле *16*, замыкая контакты *16a* и размыкая контакты *16b*. После срабатывания реле *14* мотор начинает передвигать жалюзи в верхнем направлении. Количество света, падающее на фотоэлемент, увеличивается, анодный ток усилительной лампы возрастает и стремится установить подвижные контакты реле *1* в среднее положение между неподвижными контактами. Если количество света слишком велико, то замыкаются контакты *1b* и жалюзи начинают опускаться.

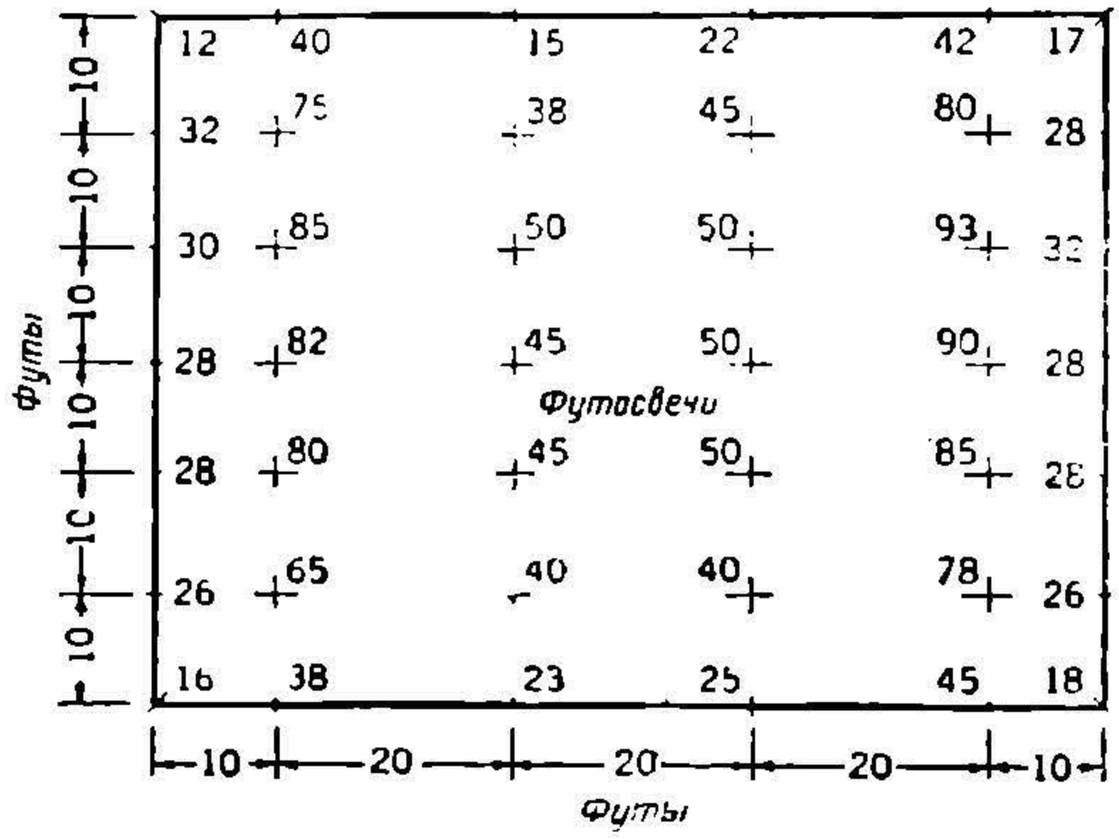
В течение дня, когда контакты *60* главного реле замкнуты, работа жалюзи происходит между ограничительными выключателями для нижнего и промежуточного пределов. Ограничительные выключатели соединены непосредственно с осью мотора и устраняют возможность перебега, размыкая в нужный момент соответствующее реле и останавливая мотор.

Если благодаря приближению ночи или пасмурной погоде контакты *60* главного контроллера размыкаются, то ограничительный выключатель для промежуточного предела закорачивается контактами *16b* и жалюзи начинают передвигаться до крайнего верхнего положения, определяемого ограничительным выключателем *LSU-1* для верхнего предела, который включается благодаря размыканию контактов *16a*. Когда требуемая величина освещенности уже не сможет поддерживаться изменением положения жалюзи, то служащие почтамта будут вынуждены включить искусственное освещение. Утром главный контроллер передвигает жалюзи в крайнее нижнее положение,

РЕПОЗИТОРИЙ УГАТУ НТБ (ДИТ)

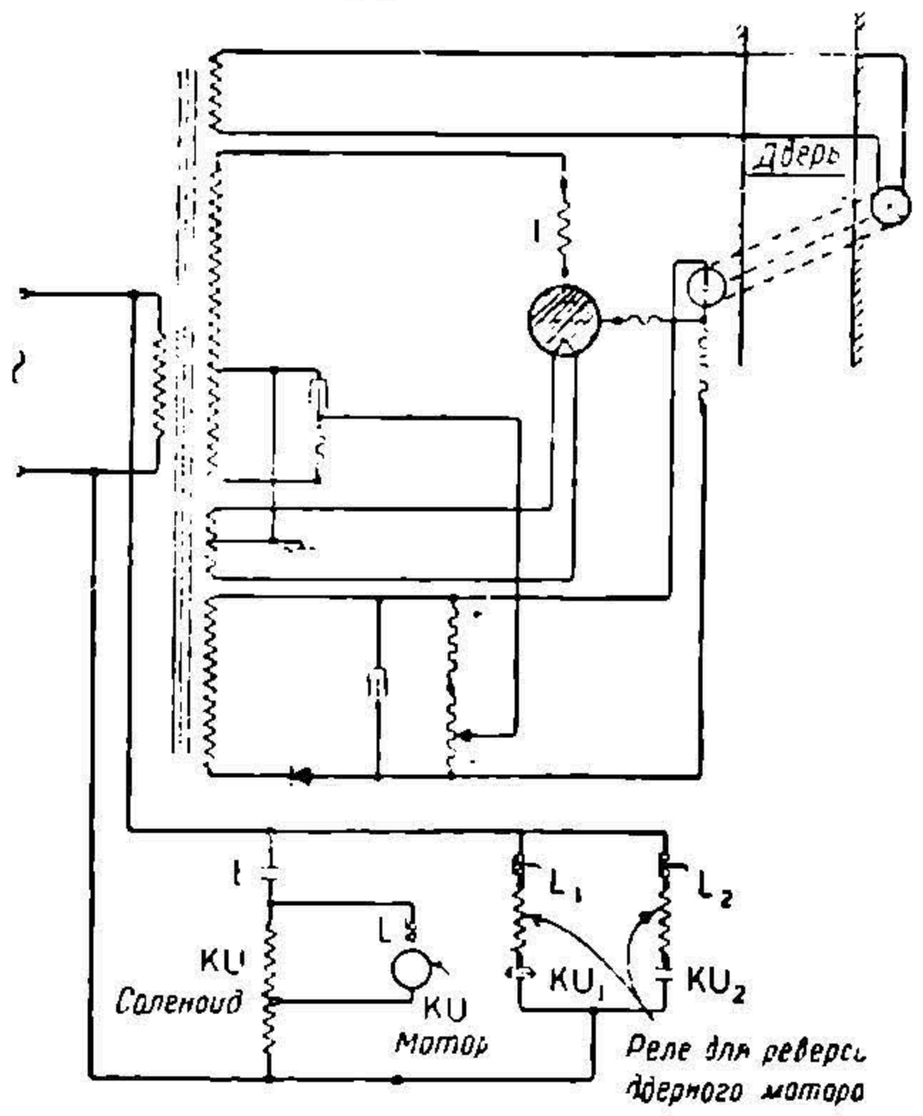
после чего управление положения жалюзи переходит к внутреннему контроллеру.

Распределение освещенности по площади пола приведено на фиг. 102. На фиг. 102 [1] дана освещенность в футо-свечах в различных точках пола рабочего зала почтамта. Приведенные данные были получены в ясный день. Изменение освещенности внутри помещения не превышает одной десятой изменения освещенности на открытом воздухе за все время дня. Человеческий глаз с трудом может заметить изменение освещенности в течение всего дня от раннего утра и до позднего вечера.



Фиг. 102. Распределение освещенности в почтамте во время среднего по яркости дня.

55. Дверные автоматы. Фотореле применяются для автоматического открывания дверей при приближении прохожего или экипажа. Количество необходимого вспомогательного оборудования зависит от требуемой последовательности действий и конструкции дверного механизма. Одна из простейших схем дверного автомата, состоящая из фотореле и реле времени, приведена на фиг. 103. Если движение происходит только в одном направлении, то устройство устанавливается только по одну сторону дверей. Источник света монтируется на противоположной от фотоэлемента стороне прохода. Иногда пучок света направляется под углом к дороге. Цель такого расположения, например в рудниках, заключается в том, чтобы поезд вагонеток представлял для пучка света одно целое без просветов между отдельными вагонетками.



Фиг. 103. Схема фотореле для автоматического открывания и закрывания дверей.

При прерывании пучка света контакты реле *1* замыкаются и дверь начинает немедленно открываться. Расстояние между пучком света и дверьми а также скорость открывания дверей должны выбираться с таким расчетом, чтобы дверь успевала откры-

[1] 1 футо-свеча = 10,76 люкса.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ваться достаточно быстро. Выключение реле *1* приводит к мгновенному срабатыванию реле времени *KU*. Сработав, реле времени замыкает свои задние контакты и включает дверной механизм. Схема для открывания двери остается замкнутой (если только ее не выключить при помощи ограничительного выключателя), а схема для закрывания двери разомкнутой до тех пор, пока пучок света не упадет опять на фотоэлемент. Когда фотоэлемент осветится вновь, реле *1* замкнется и приведет в действие реле времени *KU*. Реле выдержки времени сработает через некоторый промежуток времени, разомкнет схему для открывания двери и замкнет схему для закрывания двери. Выдержка времени выбирается таким образом, чтобы прохожий или повозка успели миновать двери, прежде чем они закроются. Прерывание пучка света в любой момент перед срабатыванием реле времени заставляет дверь оставаться открытой благодаря тому, что полное время выдержки реле времени устанавливается снова с момента прерывания пучка света. Этот процесс должен быть закончен, прежде чем двери успеют закрыться.

Если движение через двери происходит в обоих направлениях, то необходимо располагать двумя фотореле, устанавливаемыми по обе стороны двери. Экипаж, остановившийся в дверях, не будет прерывать ни одного из пучков света. Поэтому через промежуток времени, равный выдержке, дверь ударит по экипажу. В случае необходимости этого можно избежать, поместив в проходе третье фотореле. Для любого числа фотореле достаточно иметь одно реле времени.

В некоторых случаях желательно располагать специальной защитой против неправильного срабатывания двери в случае перегорания одного из источников света. В случае недопустимости неправильного срабатывания открывание и закрывание дверей производятся после целого ряда вспомогательных операций. Однако для большинства применений схема, данная на фиг. 103, вполне удовлетворительна.

56. Сортировка деталей. Способы использования фотоэлементов для сортировки деталей более сложны, чем способы, рассмотренные в предыдущих параграфах этой главы. Операции подобного рода раньше выполнялись при помощи человеческого глаза. Поэтому автоматы должны давать настолько же удовлетворительные результаты, как и человеческий глаз. В некоторых случаях применения фотоэлементов для сортировки изменения света достаточно велики, и поэтому задача автоматических устройств сравнительно проста. Однако в большинстве применений этого рода изменения света происходят в незначительных пределах, и поэтому автоматы делаются дорогими и сложными. Кроме того, глаз принадлежит человеку, обладающему разумом. Машина же не может быть наделена разумом.

Автоматы применяются для следующих целей:

Для определения формы, размеров или обнаружения механических дефектов.

Для обнаружения изменений цвета.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Для обнаружения различных отражательных свойств.
Для обнаружения различных коэфициентов преломления.
Для обнаружения различной прозрачности.

Сортировка или классификация предметов на две группы не сложна, если обнаруживаемое различие свойств значительно или если это различие производит большое действие на фотоэлемент. Сортировка наиболее трудна в том случае, когда ее нужно производить в зависимости только от какого-нибудь одного свойства продукта и когда оптические свойства материала сильно зависят от различных факторов. Эти факторы обычно имеют механический или оптический характер, определяемый самим процессом производства.

Наиболее трудными проблемами в массовом производстве являются задачи сортировки деталей по нескольким группам. Если сортировка должна производиться в зависимости от цвета, то задача еще более усложняется, так как сортировка по цвету связана с необходимостью измерения всех трех основных цветов: красного, зеленого и синего.

Сравнение предмета со стандартом легче, чем сортировка, так как требуемая абсолютная точность может быть достигнута уравнением качества стандарта с неизвестным качеством продукта. Неточность устройства будет тогда определяться ошибкой, связанной со способностью обнаруживать различия между стандартом и образцом, а не абсолютной ошибкой. Так же как и при сортировке, сравнение образцов по цвету связано с некоторыми трудностями ввиду необходимости измерения каждого из трех основных цветов. Один из цветоанализаторов описывается в следующей главе.

Литература

«Counting Traffic», Electronics, September, 1934, p. 275.
«Photoelectric Tubes as Limit Switches in Sheet Mill», A. F. Bowers, Electronics, August, 1931.
«Photocells Control Detroit Bridge Traffic», Benjamin Cooper, Electronics, June 1930, pp. 114—116.
«An Electronic Multiplier for High Speed Counting», Lord and Livingston, Electronics, January, 1934.
«Use of Filter with Photoelectric Tubes», L. R. Koller, Rev. Sci. Instruments, March, 1931..
«Synchronizing Conveyors by Selsyns and Photocells», W. B. Snyder, Elec. World, Feb. 13, 1932.
«Application of Electron Tubes in Industry», D. E. Chambers, Elec. Eng., January, 1935, p. 82.
«Industrial Electronic Control Applications», Gulliksen and Stoddard, Elec. Eng., January, 1935, p. 40.

Глава VIII

УКАЗАТЕЛЬНЫЕ И РЕГИСТРИРУЮЩИЕ ПРИБОРЫ

Большинство указательных и регистрирующих приборов должно сохранять свою градуировку неизменной в течение большого промежутка времени. Это требование привело к разработке схем, не зависящих от изменений параметров ламп, напряжения в ли-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

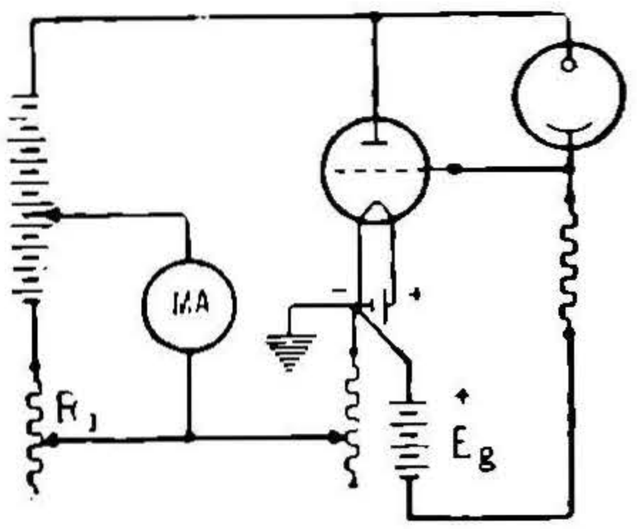
нии и т. д. Большинство электронных приборов основано на „нулевых“ методах или методах сравнения, устраняющих зависимость показаний прибора от изменения параметров лампы. Примеры, описываемые в этой главе, служат для иллюстрации встречаемых на практике задач и способов их разрешения.

57. Прибор для измерения освещенности. Прибор для измерения освещенности, пожалуй, является одним из наиболее простых электронных измерительных приборов. Измеряемый свет освещает фотоэлемент с запирающим слоем фотокс (см. § 8). Зажимы фотоэлемента присоединены непосредственно к микроамперметру. Величина тока на выходе фотокса прямо пропорциональна количеству падающего на него света и, следовательно, показание прибора пропорционально освещенности фотоэлемента. Шкала прибора отградуирована в футо-свечах (фиг. 104). Спектральная характеристика фотокса очень близка к спектральной характеристике человеческого глаза. Это свойство имеет первостепенное значение для прибора, измеряющего интенсивность света, так как цезиевый фотоэлемент, имеющий другую спектральную характеристику при той же освещенности, дает отклонение, большее чем нужно из-за его повышенной чувствительности в красном конце спектра.

58. Фотометрирование ламп. В настоящее время имеется много различных приборов, служащих для сравнения испытуемых источников света со стандартным источником света. Однако все эти приборы основаны на малопроизводительных методах сравнения и поэтому не особенно удобны для производственного испытания ламп. Для ускорения производства испытаний фирма Вестингауз разработала новую схему и метод, которые позволяют непосредственно отсчитывать количество света в люменах, испускаемое лампой. Для определения полного количества света, излучаемого испытуемой лампой, применяется хорошо известный шар Ульбрихта. Вместо обычного визуального сравнения стандарта с испытуемым образцом, находящимся внутри шара, в отверстии шара помещается фотоэлемент, защищенный от прямого света лампы таким образом, чтобы на него мог падать только рассеянный, отраженный свет. Количество света, падающего на фотоэлемент, прямо пропорционально интегральному световому потоку лампы, находящейся внутри шара. Измерение тока фотоэлемента производится лабораторными стандартными приборами с применением усилителя (фиг. 105). Сеточное смещение E_g подбирается таким образом, чтобы при затемнении фото-



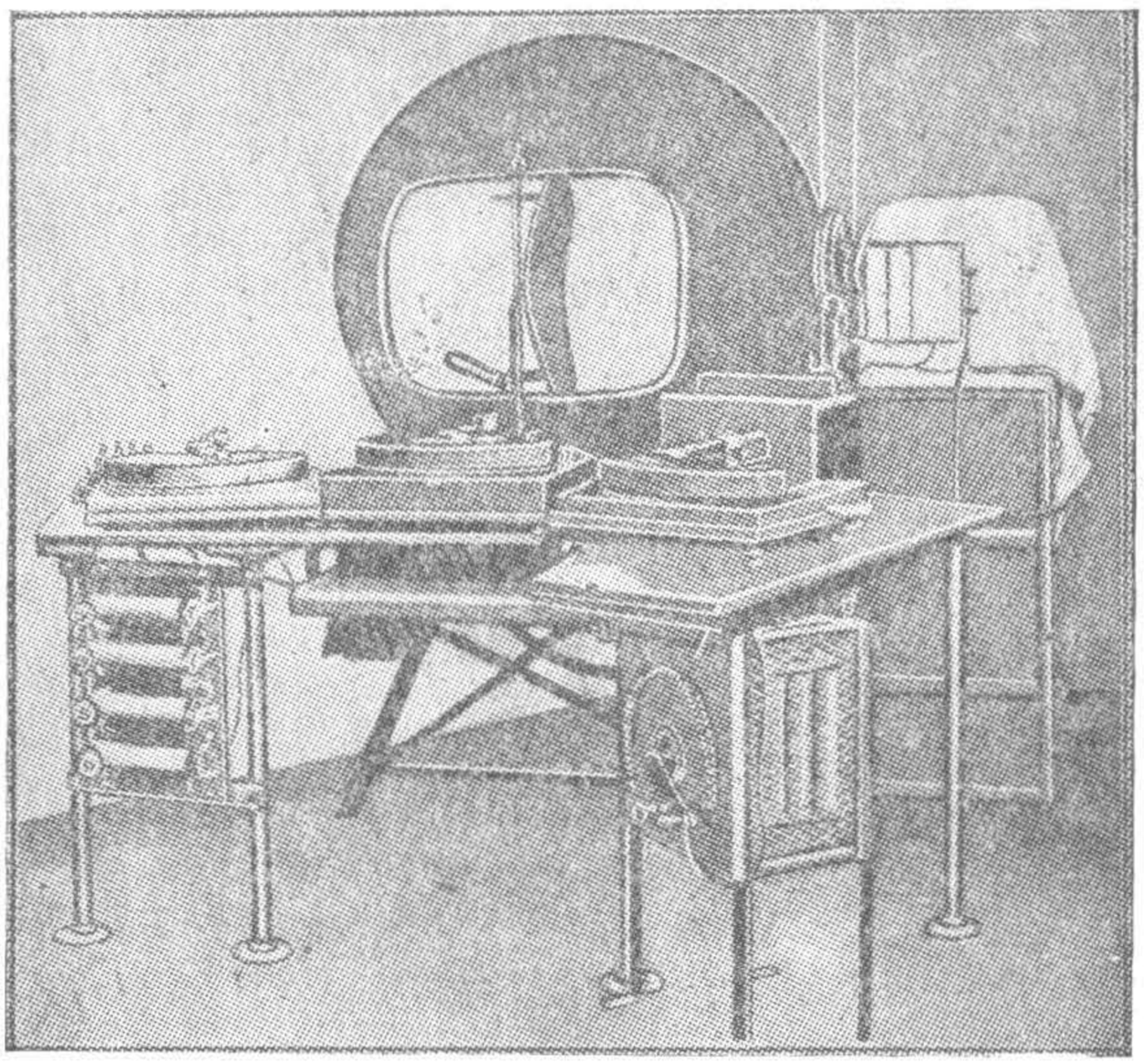
Фиг. 104. Прибор для измерения освещенности.



Фиг. 105. Схема лабораторного фотометра.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

элемента усилитель работал на прямолинейной части характеристики. Величина сопротивления R_1 при неосвещенном фотоэлементе регулируется до тех пор, пока стрелка миллиамперметра не станет на нуль. При освещении фотоэлемента миллиамперметр дает отклонение, пропорциональное числу люменов света. Фотометр градуируется при помощи фотометрических стандартных источников света мощностью 15, 25, 50, 60, 75 и 100 W. Сеточное смещение и анодное напряжение устанавливаются так, что показания прибора соответствуют световому потоку стандартных ламп с точностью до 2%. Для регулировки показаний фотометра и сохранения постоянной его градуировки перед фотоэлементом помещается ирисовая диафрагма. Проверки линейности и градуировки должны производиться каждое утро. Для того чтобы спектральная характеристика фотометра не отличалась от спектральной характеристики человеческого глаза, перед фотоэлементом установлен специальный зеленый фильтр.



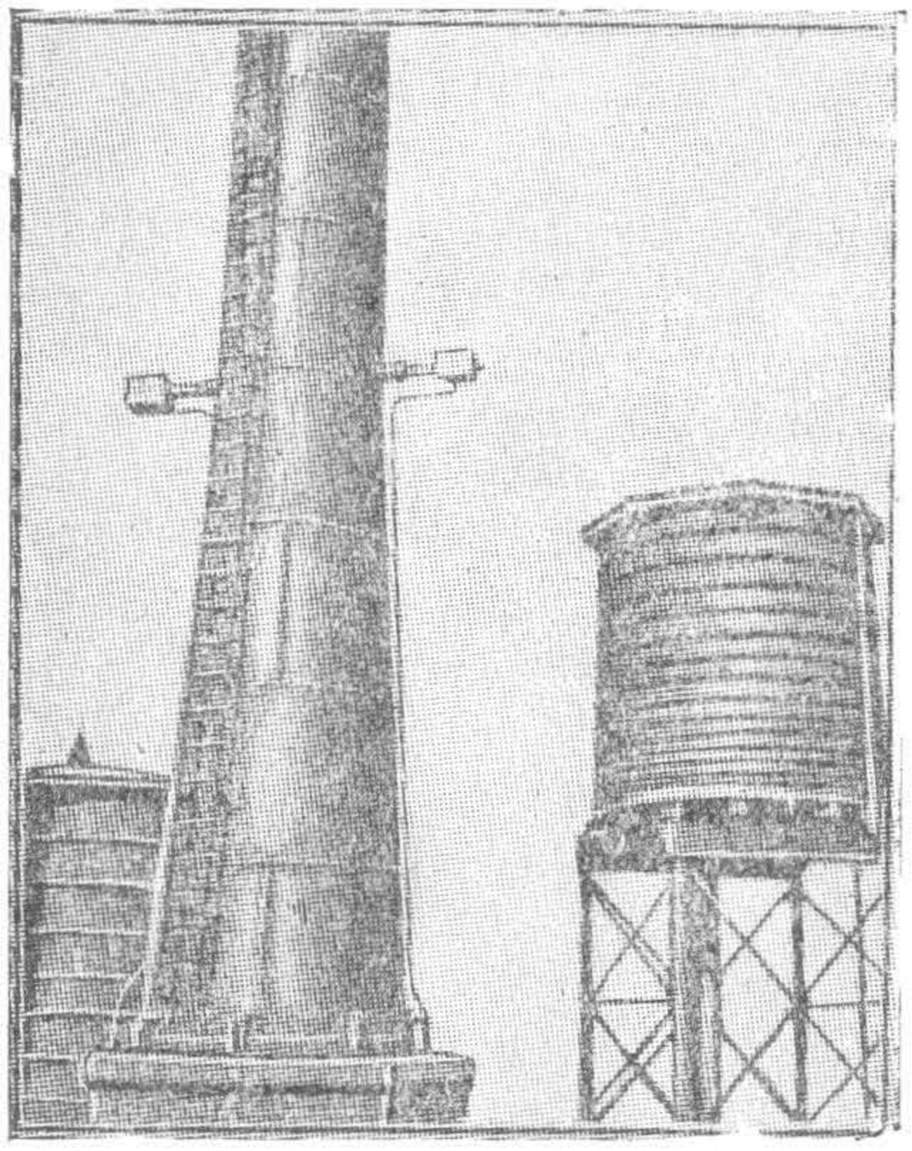
Фиг. 106. Фотометрическая установка с открытым шаром Ульбрихта. Фотоэлемент и усилитель помещены справа от шара.

59. Индикатор и регистратор дыма. Регистратор дыма дает непрерывную запись плотности дыма в дымовых трубах тепловых электростанций. Раньше плотность дыма определялась визуально при помощи сравнения с произвольным стандартом. Результаты сильно зависели от фона, даваемого небом. Кроме того, способ оказывался совершенно непригодным ночью. Измерение плотности дыма важно потому, что прибор, регистрирующий содержание CO_2, не дает полного представления о процессе горения. Для получения максимального к. п. д. желательно всегда знать плотность дыма. Принцип действия регистратора дыма основан на изменении поглощения пучка света дымом, проходящим через трубу. Пучок света от осветительной лампы, расположенной по одну сторону трубы, направляется на фотоэлемент, расположенный по другую ее сторону. Изменяющийся фототок усиливается и воздействует на указательные и регистрирующие приборы.

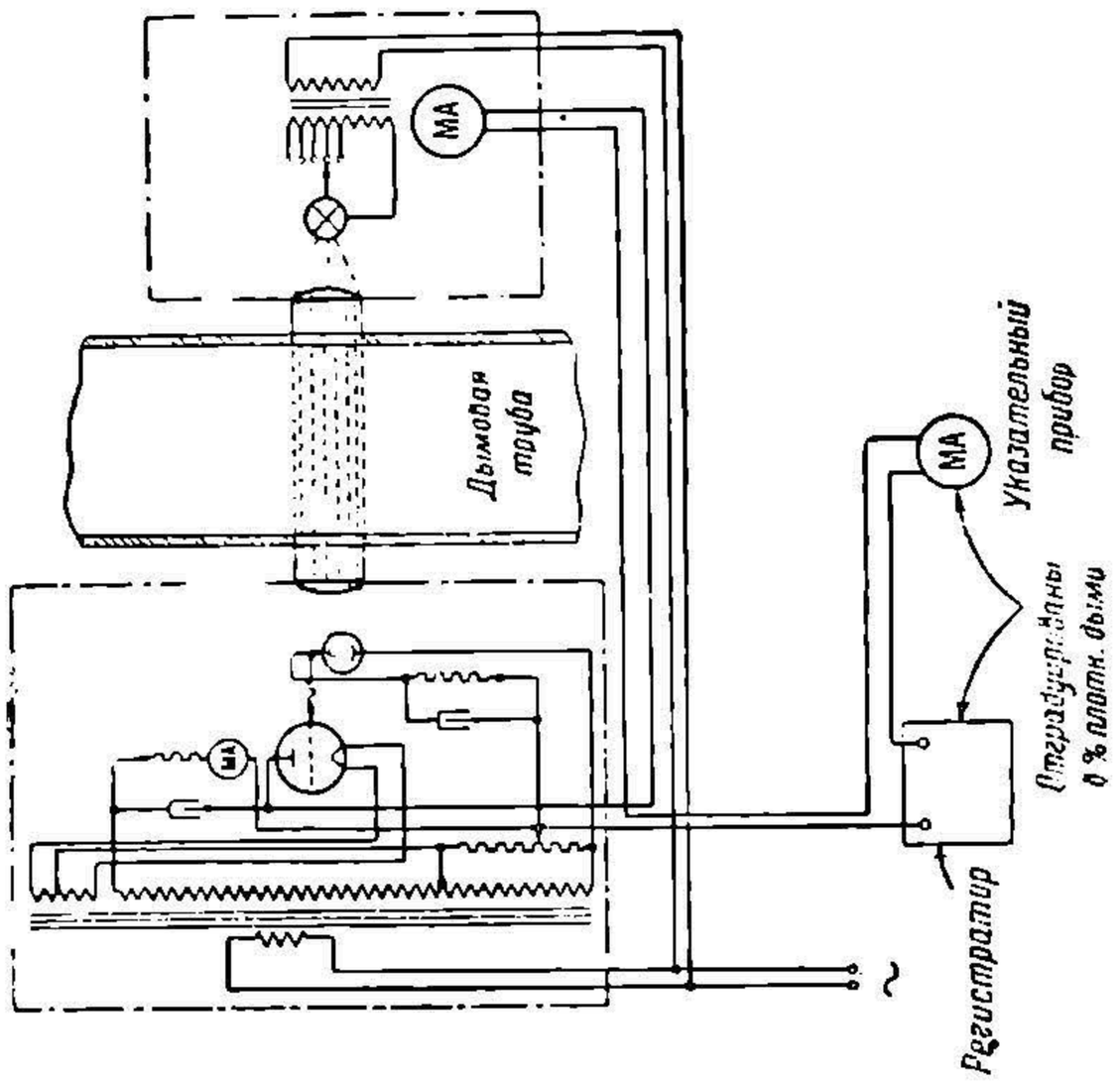
Приборы отградуированы в процентах плотности дыма или в градусах плотности дыма по шкале Рингельмана.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В схеме, приведенной на фиг. 108, усилительная лампа и фотоэлемент питаются переменным током. При увеличении интенсивности света ток на выходе усилительной лампы уменьшается. Частичная компенсация изменений напряжения источника тока достигается взаимнокомпенсирующим действием усилительной схемы и осветительной лампы. Интенсивность света осветительной лампы при падении напряжения в линии уменьшается; одновременно уменьшается и ток на выходе усилителя. Уменьшение тока на выходе усилителя происходит благодаря сравнительно низкому напряжению на сетке. Уменьшение напряжения в линии, влияющее на сеточное и анодное напряжения в одном и том же процентном отношении, оказывается, однако, более эффек-



Фиг. 107. Установка регистратора дыма.



Фиг. 108. Схема регистратора дыма.

тивным на аноде, чем на сетке, и поэтому анодный ток уменьшается. Фотоэлемент присоединен так, что он стремится увеличить анодный ток при уменьшении света. Благодаря этому изменение света компенсирует изменение напряжения на усилителе.

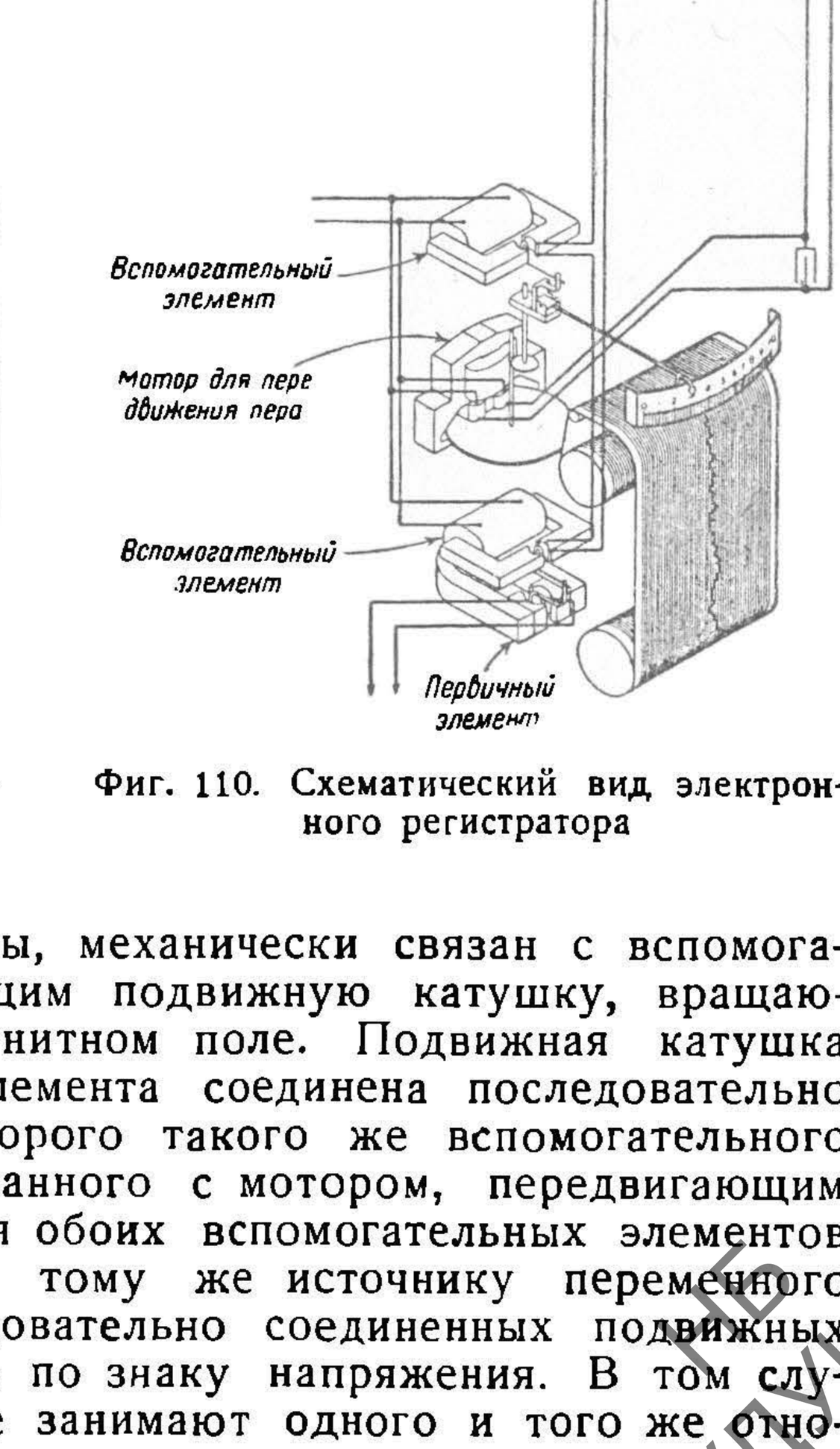
В анодную цепь последовательно включены указательные и регистрирующие приборы. Приборы имеют передвижной нуль, благодаря чему отсчет можно производить от нуля при изменении анодного тока от 1 до 5 mA.

60. Электронный регистратор. В большинстве современных регистраторов перо передвигается или непосредственно первичным элементом, аналогичным подвижной системе указательных приборов, или специальным мотором, включающимся при помощи реле. Эти приборы имеют ограниченную чувствительность и ограниченную скорость записи, так как они потребляют значительную мощность и имеют тяжелые подвижные системы.

Электронный регистратор исключает необходимость приведения в действие тяжелого механизма непосредственно измеряе-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

мой величиной, так как в нем энергия, необходимая для передвижения пера, дается усилителем. Регистратор состоит из следующих основных частей: во-первых, из первичного или измерительного элемента, которым может служить любой измерительный прибор, во-вторых, из вспомогательного элемента, прикрепленного к измерительному элементу, в-третьих, из вспомогательного ведущего элемента, связанного с пером, в-четвертых из мотора для передвижения пера и передвижения катушки регистрирующего вспомогательного элемента и, в-пятых, из усилителя, служащего для питания мотора. Все эти детали схематически изображены на фиг. 110. Первичный элемент, которым может быть любой электрический прибор или измерительный механизм и положение подвижной системы которого зави-



Фиг. 109. Электронный регистратор и усилитель.

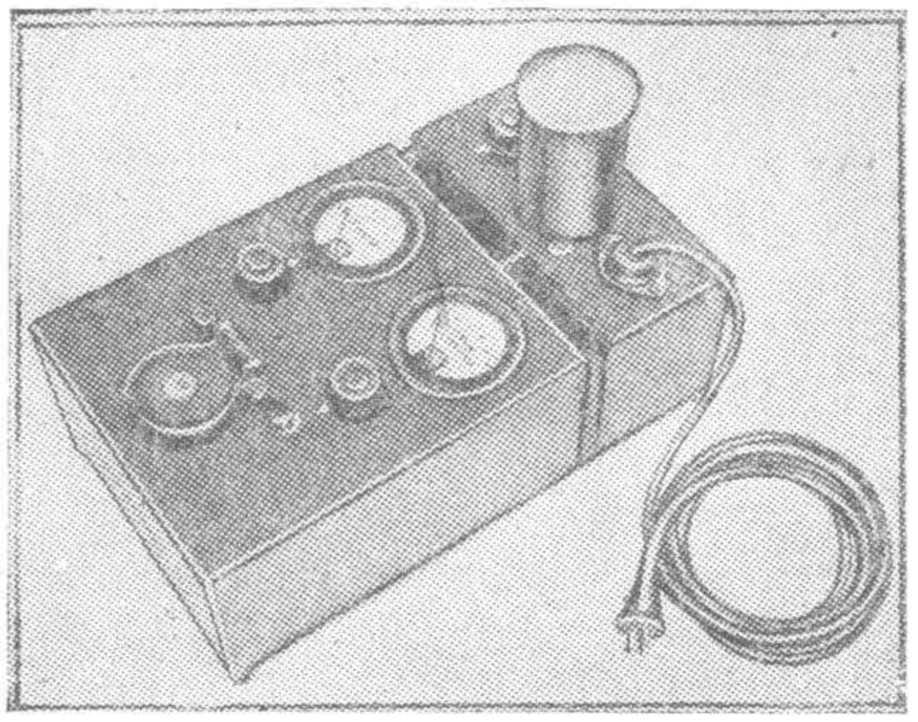
Фиг. 110. Схематический вид электронного регистратора

сит от измеряемой величины, механически связан с вспомогательным элементом, имеющим подвижную катушку, вращающуюся в переменном магнитном поле. Подвижная катушка этого вспомогательного элемента соединена последовательно с подвижной катушкой второго такого же вспомогательного элемента, механически связанного с мотором, передвигающим перо. Катушки возбуждения обоих вспомогательных элементов присоединены к одному и тому же источнику переменного тока и наводят в последовательно соединенных подвижных катушках противоположные по знаку напряжения. В том случае, когда эти катушки не занимают одного и того же отно-

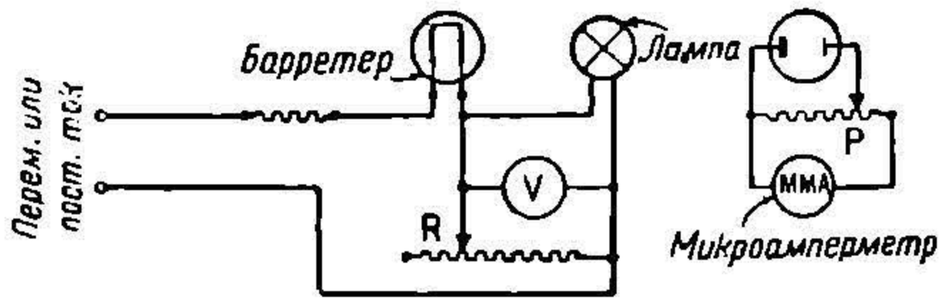
ГБ УДУНТ (ДІІТ)

сительного положения в магнитных полях, напряжения, индуктируемые в катушках, не равны друг другу, и разность между ними зависит от различия в положении обеих катушек. Разность напряжений равна около 50 mV на градус углового смещения катушки. Это результирующее напряжение подается на вход усилителя.

Мотор, служащий для передвижения пера, имеет две обмотки, одна из которых непрерывно питается от источника переменного, тока, а другая -- питается от усилителя. Ток на выходе усилителя меняется по величине и по направлению в зависимости от относительного положения обеих вспомогательных катушек. Так как величина тока на выходе пропорциональна относительному смещению обеих катушек, то мотор вращается со скоростью, пропорциональной величине этого смещения. Таким образом скорость движения пера оказывается пропорциональной изменению отклонения первичного элемента, вследствие чего устраняется необходимость применения средств, предупреждающих возникновение колебаний. Мотор передвигает перо в нужном направлении до тех пор, пока разность напряжений, наводимых в обеих вспомогательных катушках, не сделается равной нулю. Благодаря такому „нулевому“ методу точность показаний прибора не зависит от изменения параметров ламп усилителя. Точность показаний регистратора равна 2% от всей шкалы в любой точке шкалы. Время, необходимое для передвижения пера от нуля до полного отклонения, равно 1 сек. при перебеге, равном около 2%. При апериодическом успокоении время, необходимое для полного отклонения, равно 1,25 сек.



Фиг. 111. Прибор для измерения коэфициента прозрачности бумаги и других плоских материалов.

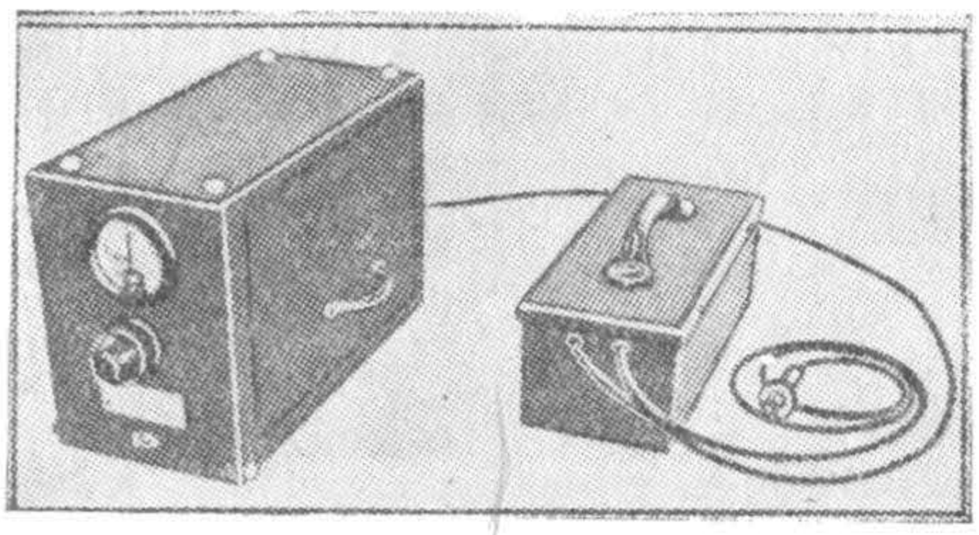


Фиг. 112. Схема прибора для измерения прозрачности.

61. Прибор для измерения прозрачности. Этот прибор применяется для измерения коэфициента прозрачности бумаги, стекла и всяких других материалов, имеющих плоскую форму. Коэфициентом прозрачности называется отношение количества света, проходящего через материал, к количеству света, падающему на поверхность этого материала от источника света. Схема прибора дана на фиг. 112. Ламповый реостат *R* служит для регулирования температуры нити лампы. Во время работы нить должна иметь такую температуру, которую она имела при градуировке прибора. После того как температура нити лампы установлена,

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

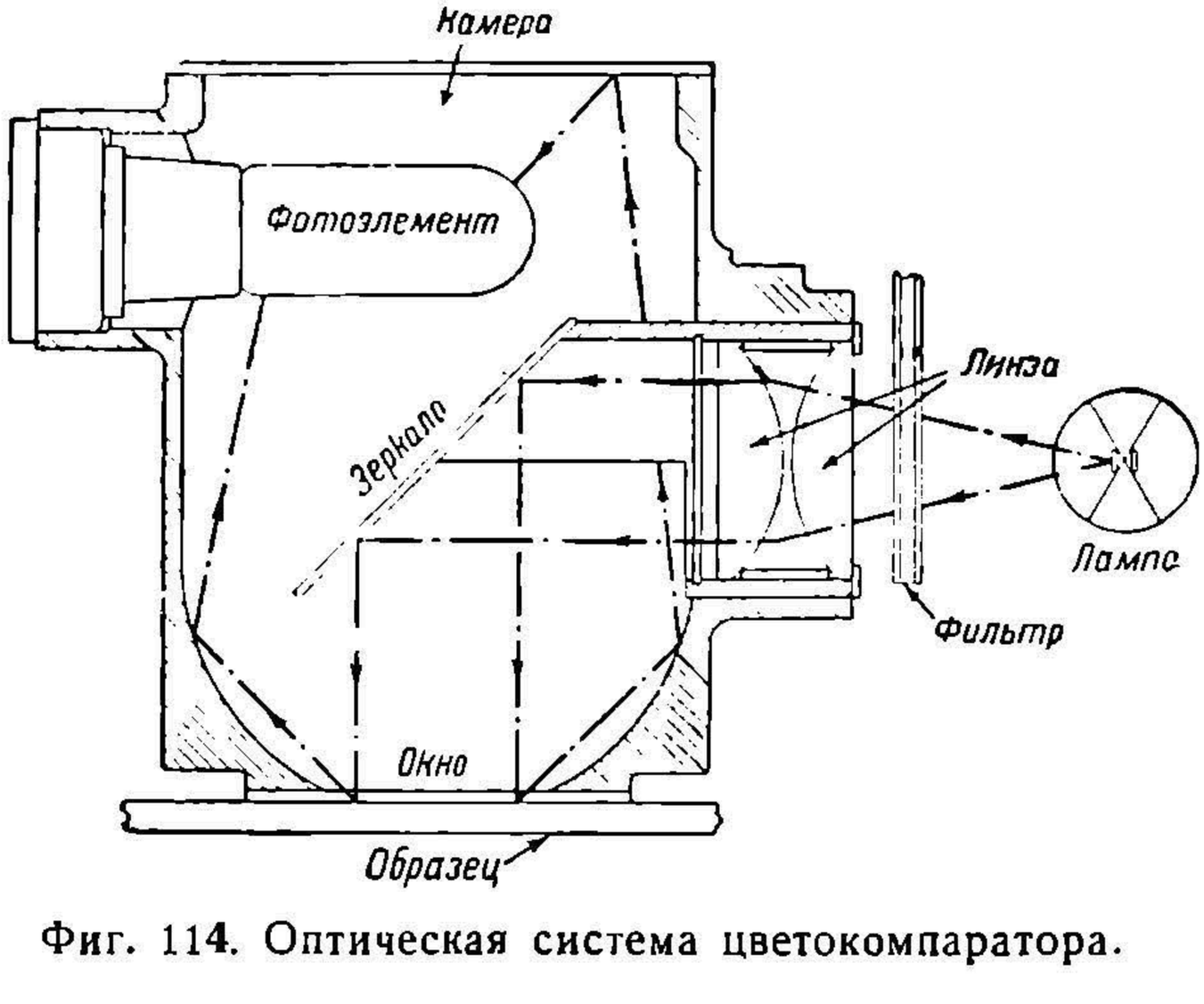
отклонение стрелки микроамперметра доводится до 100% при помощи потенциометра *P*. Затем между фотоксом и лампой помещается образец, и прибор дает коэфициент прозрачности в процентах. Барретер сохраняет точность показаний прибора даже при значительных изменениях напряжения в линии. Для повышения точности измерений в случае образцов, имеющих низкий коэфициент прозрачности, применяется специальный способ для увеличения показаний в 5 раз. Способ состоит в следующем:



Фиг. 113. Цветокомпаратор — прибор для сравнения цвета двух образцов.

Перед фотоксом помещается диафрагма, размеры которой регулируются до тех пор, пока микроамперметр при прежнем положении потенциометра *P* не даст отклонения, соответствующего 20%. Затем чувствительность регулируется таким образом, чтобы микроамперметр давал отсчет в 100% при 20% нормального количества падающего на него света, пропускаемого калиброванной диафрагмой. Затем диафрагма удаляется. Если теперь вставить образец, то 20% будут соответствовать 100% и масштаб шкалы увеличится в пять раз.

62. Цветокомпаратор. Хорошо известно, что два материала, которые кажутся совершенно одинаковыми по цвету при одном освещении, могут оказаться различными при другом виде освещения. Однако два образца, имеющие одинаковый цвет, будут одинаковы при любом освещении. Цветокомпаратор сравнивает образцы по содержанию в них трех основных цветов: синего, зеленого и красного.

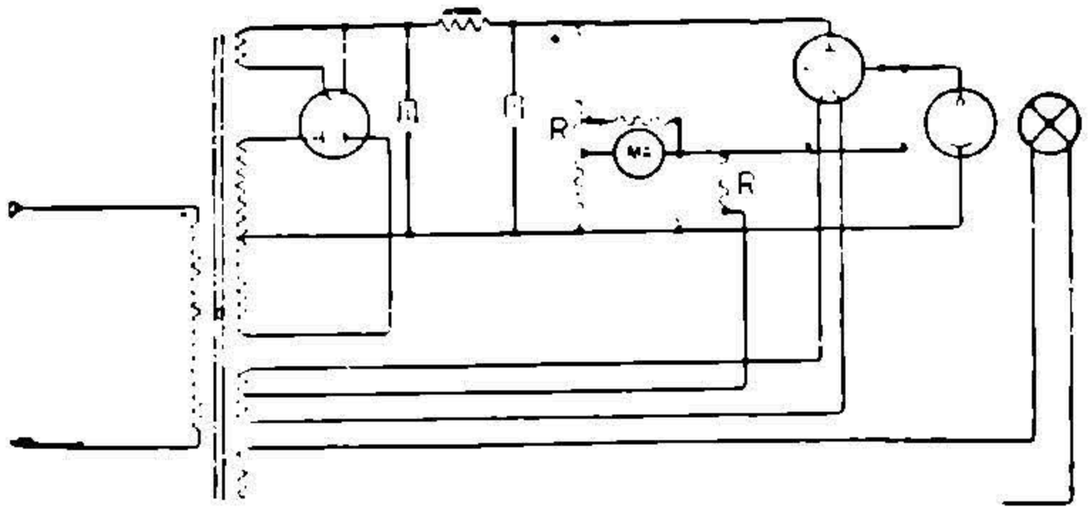


Фиг. 114. Оптическая система цветокомпаратора.

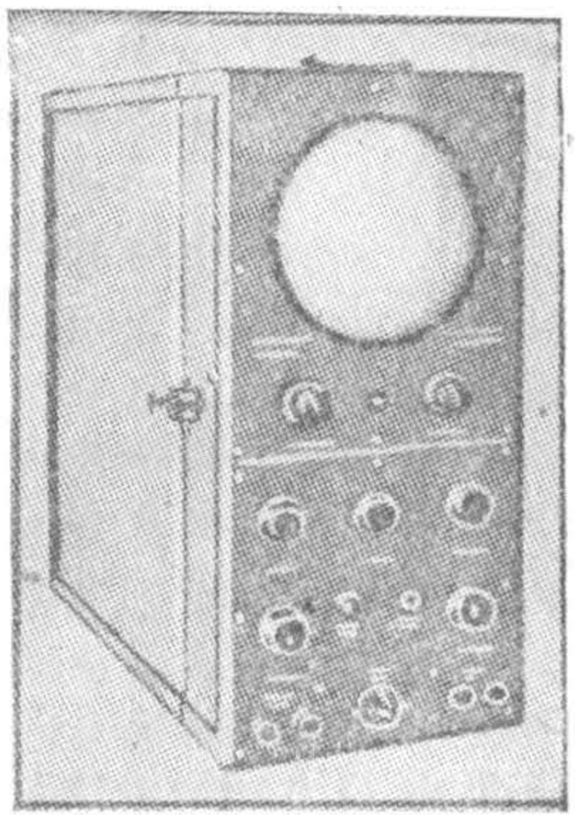
Оптическая система цветокомпаратора изображена на фиг. 114. Свет от лампы направляется через цветной фильтр и систему линз в камеру. Параллельный пучок света отражается зеркалом и падает на образец под прямым углом. Зеркало и фотоэлемент расположены так, что свет от лампы или от образца не может непосредственно попасть на фотоэлемент. Прежде чем достигнуть

НБ УДУНТ (ДІІТ)

фотоэлемента, весь свет отражается от белых стен камеры. Благодаря этому цветоанализатор позволяет сравнивать образцы, обладающие различной глянцевитостью, так как всякие отблески уничтожаются, и на фотоэлемент падает лишь рассеянный свет. Цветокомпаратор снабжен одним каскадом усиления, ток на выходе которого уменьшается при возрастании количества света, падающего на фотоэлемент (фиг. 115). Во время градуировки цветокомпаратора по цвету стандарта положение стрелки регулируется таким образом, чтобы она находилась в середине шкалы. Усилительная лампа имеет смещение, равное падению напряжения на сопротивлении R. Для того чтобы определить, имеют ли два образца одинаковый цвет, один из них выбирается в качестве стандарта и помещается перед отверстием камеры. Реостат R устанавливается таким образом, чтобы при синем фильтре миллиамперметр давал отклонение, равное 10. Затем стандарт удаляется и на его место ставится испытуемый образец. Если миллиамперметр дает отклонение, меньшее 9 или большее 11, то образцы неодинаковы. Такие же манипуляции производятся затем с зеленым и красным фильтрами. Если для всех трех фильтров прибор дает показания, заключающиеся между 9 и 11, а для стандарта соответствующие показания равны 10, то оба образца могут считаться совершенно одинаковыми по цвету. Всеми тремя фильтрами необходимо пользоваться даже в том случае, если кажется, что образец имеет цвет одного из фильтров, так как образец, кажущийся, скажем, красным, обычно отражает в значительной степени и другие цвета, хотя красный цвет среди них и преобладает. Цветокомпаратор не измеряет яркость окраски и не анализирует цвета образцов, а позволяет лишь ответить на вопрос, имеют ли два образца одинаковую окраску в такой мере, что разница между ними не сможет быть обнаружена человеческим глазом ни при каком освещении.



Фиг 115. Схема цветокомпаратора.

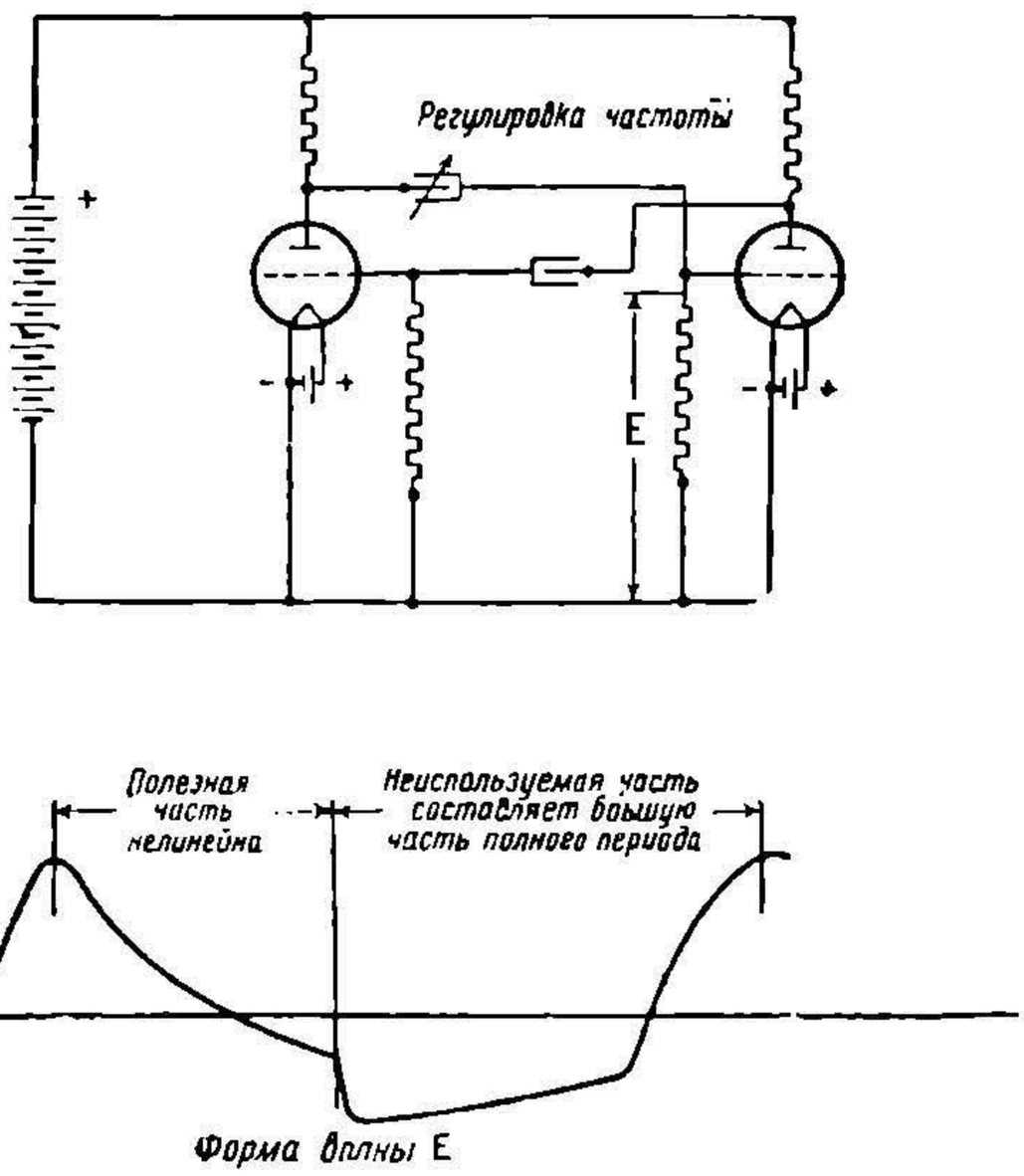


Фиг. 116 Катодный осциллоскоп.

63. Катодный осциллоскоп (катодный осциллограф). Катодный осциллоскоп представляет собой чисто электронный прибор, позволяющий получать видимое изображение неустановившихся периодически повторяющихся явлений. Осциллоскоп имеет почти ту же самую область применения, как и электро-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

магнитный (механический) осциллограф, но катодный осциллоскоп, снабженный катодной трубкой, может служить для изучения электрических явлений при радиочастотах, в то время как применение механического осциллографа ограничивается частотами порядка 10000 Hz. Пожалуй, наиболее существенные преимущества осциллоскопа заключаются в том, что даваемое им изображение может исследоваться одновременно несколькими наблюдателями, а также в том, что отклоняющие пластины катодной трубки потребляют очень незначительное количество энергии. Самым серьезным недостатком можно считать наличие только одного электронного пучка по сравнению с четырьмя или шестью шлейфами электромагнитного осциллографа. Это затрудняет одновременное изучение нескольких явлений. Однако, на экране можно получить две волны, воспользовавшись коммутатором, включающим при вращении то одну волну, то другую. Это оказывается возможным благодаря тому, что экран сохраняет изображение в течение некоторого времени после пробегания по нему электронного пучка.



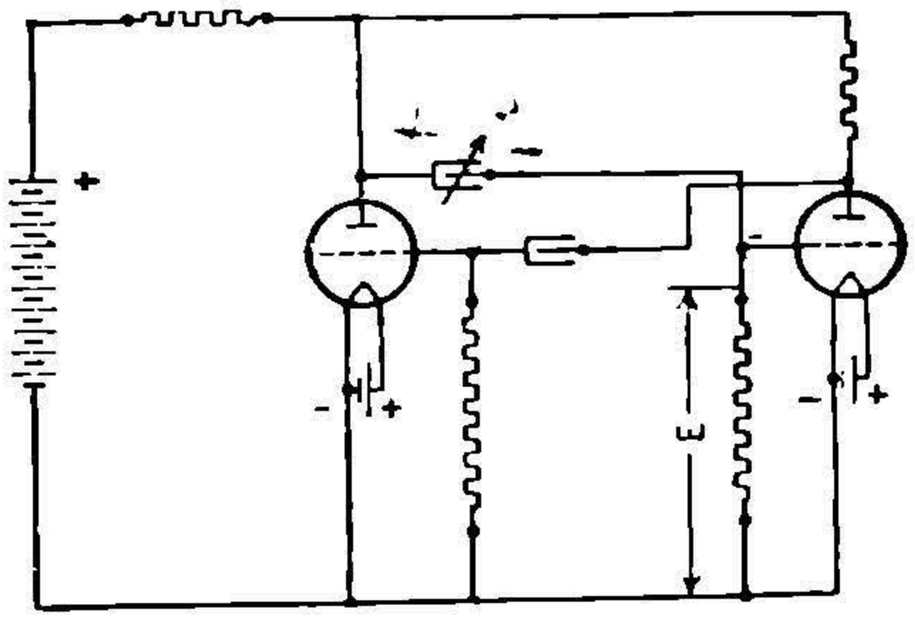
Фиг. 117. Обычная схема мультивибратора и форма волны его напряжения E.

Изучаемая волна напряжения, приложенная к пластинам или катушкам осциллоскопа, отклоняет электронный пучок в вертикальном направлении на расстояние, зависящее от величины сигнала в каждый данный момент времени. Чтобы видеть изменение сигнала во времени необходимо подавать к другой паре пластин или катушек напряжение, изменяющееся по линейному закону относительно времени, причем это напряжение должно очень быстро возвращаться от своего максимального к своему минимальному значению. Такого рода напряжение получается при помощи схемы, представляющей собой видоизменение схемы мультивибратора, описанной в § 38.

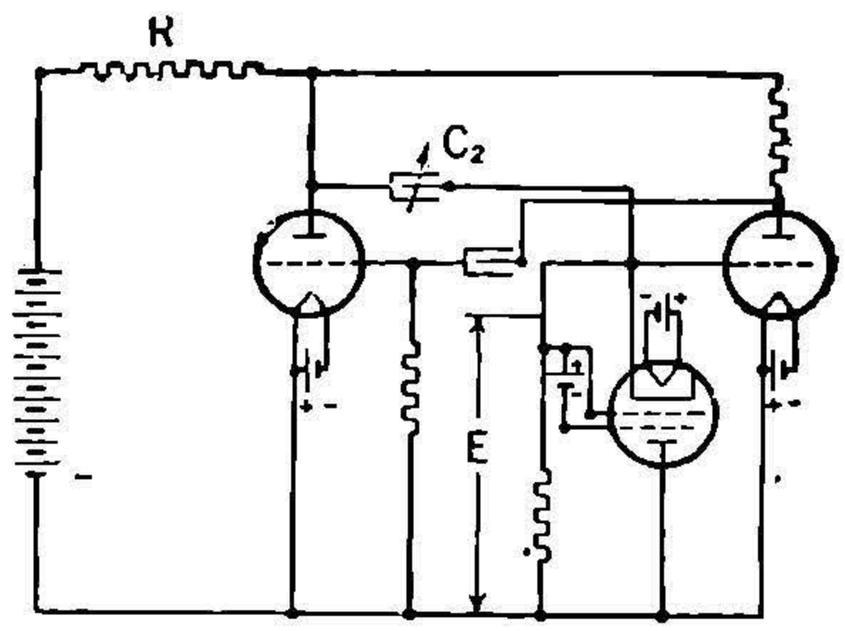
Стандартная схема мультивибратора, представленная на фиг. 117, имеет не линейную по времени форму волны и слишком большой промежуток времени, в течение которого напряжение возвращается от максимального к минимальному значению. Форму волны напряжения E можно изменить и сократить время скачка напряжения, изменив значения и способ соединения сопротивлений, включенных в анодную цепь (фиг. 118) мультивибратора, однако, таким способом нельзя еще достигнуть необходимой

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

линейности. Линейность полезной части кривой может быть получена в том случае, если вместо сеточного сопротивления воспользоваться лампой, работающей при токе насыщения (фиг. 119). В случае схемы, приведенной на фиг. 119, форма волны E линейна во всей полезной области, и напряжение делается готовым к новому линейному пробегу в короткий промежуток времени. Мультивибратор генерирует частоту, зависящую от постоянных схемы, и в особенности от значения C_2, которое можно изменять для получения частоты, удобной для изучения данного явления. Однако частота схемы не может быть сделана настолько близкой к частоте исследуемой волны, чтобы можно было избежать смещения волны вдоль экрана. Для устранения этого недостатка



Фиг. 118. Первое изменение схемы мультивибратора для осциллоскопа.



Фиг 119. Окончательная схема мультивибратора для осциллоскопа, дающая требуемую форму волны напряжения.

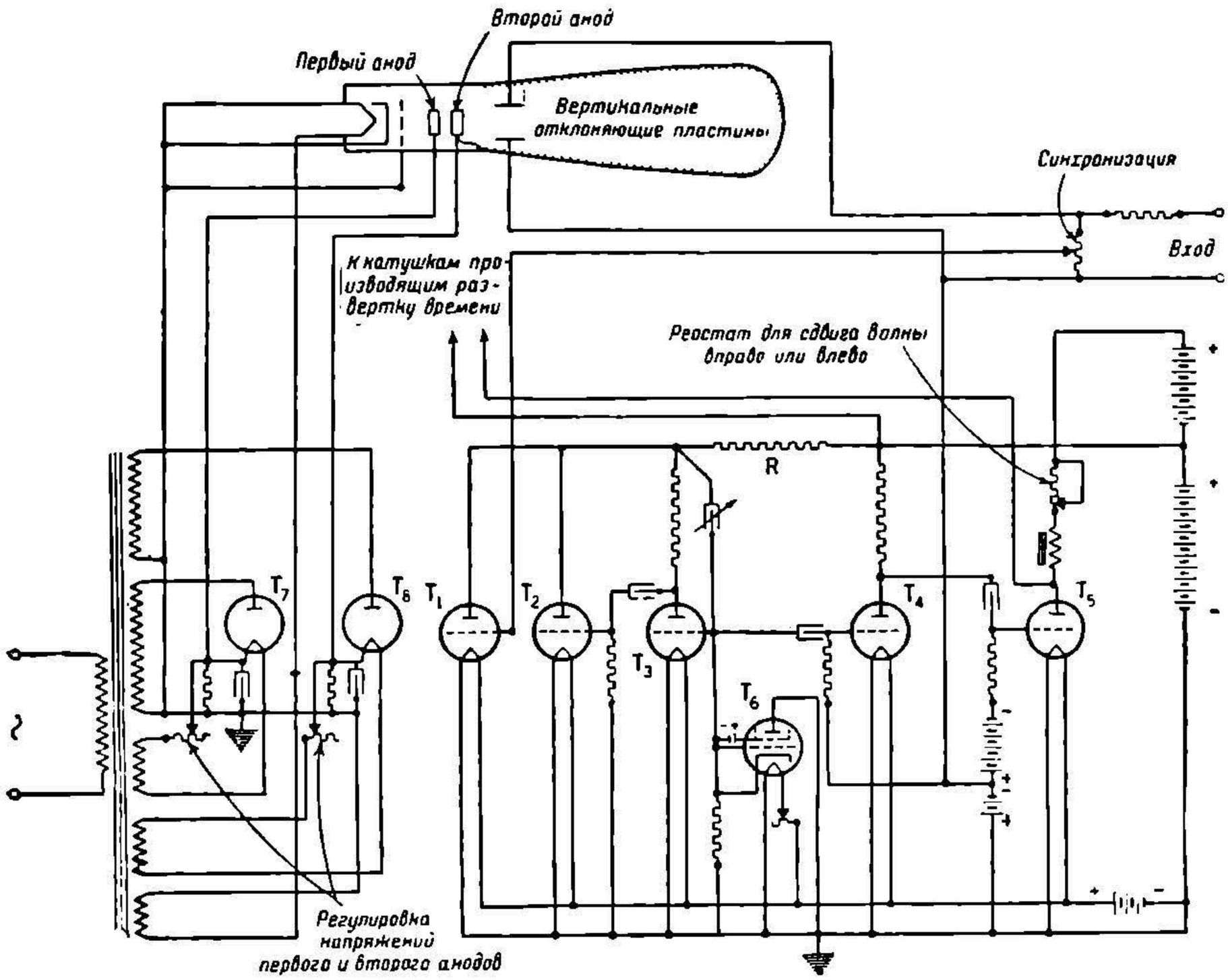
на сопротивление R подается некоторая незначительная часть входного сигнала. Благодаря этому схема начинает генерировать частоту, равную основной частоте сигнала (частоте основной гармоники сигнала). Часть напряжения сигнала включается на сетку усилительной лампы T_1 (фиг. 120), которая присоединена параллельно с генераторной лампой T_2. Усилительная лампа T_1, кроме того, препятствует обратной связи между колебательным контуром и входом катодной трубки.

Так как энергия, получаемая в колебательном контуре, незначительна, то она обычно усиливается. Усилитель с емкостной связью имеет два каскада усиления (лампы T_4 и T_5, фиг. 120).

На аноды электронно-лучевой трубки подается напряжение от 500 до 3 000 V. Это напряжение можно регулировать для получения наилучшей фокусировки пучка и, следовательно, для получения наиболее четкого изображения. Высокое напряжение получается при помощи однополупериодных кенотронов T_7 и T_8 с

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

вольфрамовыми катодами. Напряжение на выходе кенотронов может изменяться при помощи изменения тока накала, определяющего величину тока насыщения. На фиг. 120 приведена схема осциллоскопа, в котором используется катодная трубка электро-



Фиг. 120. Полная схема осциллоскопа с выпрямителем, разверткой времени, двухкаскадным усилителем и катодной трубкой.

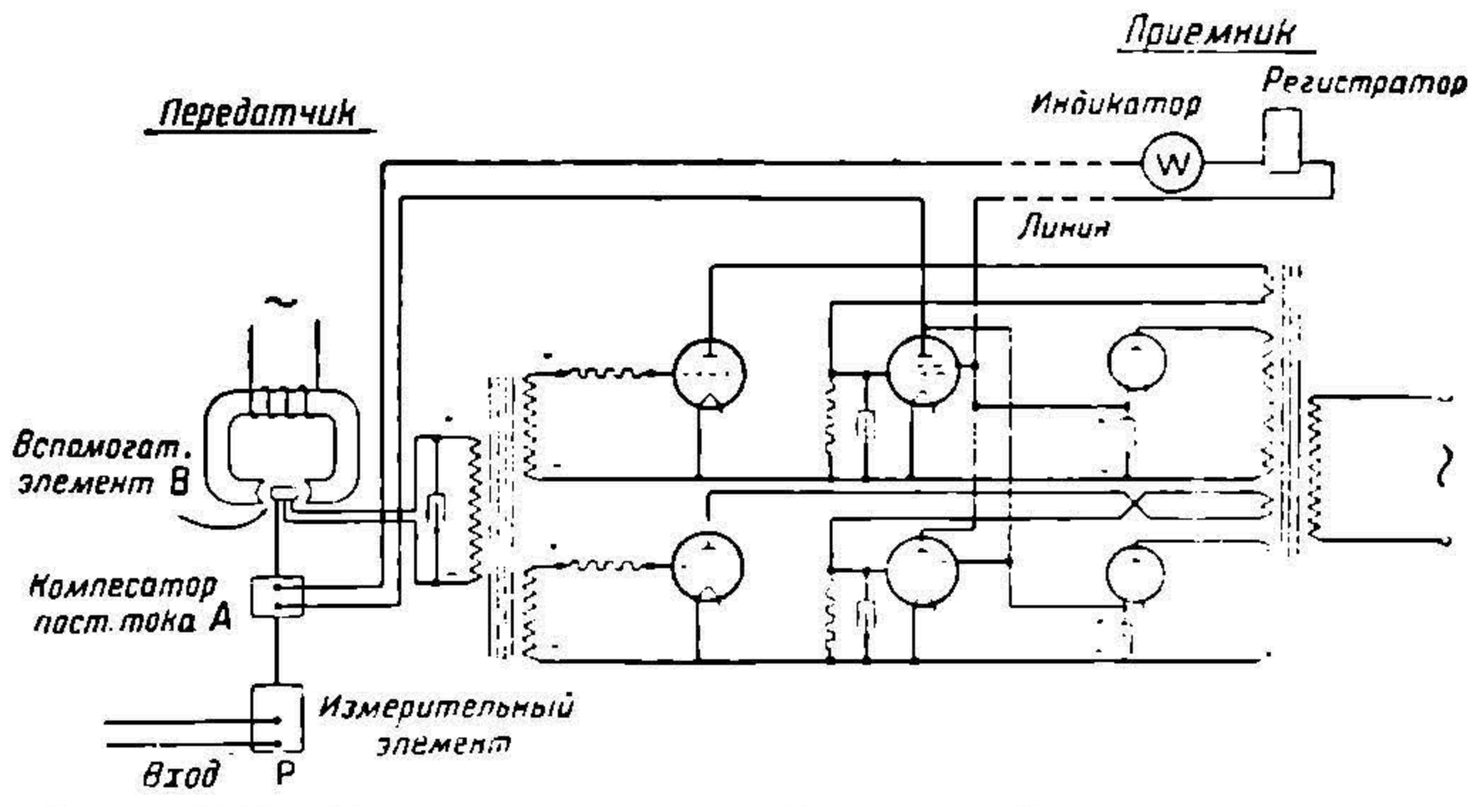
статического типа с магнитной разверткой по времени. Аналогичная схема применяется и для катодных трубок, в которых сигнал подается на отклоняющие магнитные катушки. Однако последние потребляют большее количество энергии, чем трубки электростатического типа.

64. Телеметрия. В больших энергосистемах электростанций, подстанций и линии передач иногда разбросаны на очень большой площади, наиболее отдаленные части системы иногда расположены на расстоянии от 80 до 160 km от диспетчера. Показания нагрузки в этих удаленных точках передаются диспетчеру при помощи систем телеизмерения. Имеется два основных типа систем телеизмерения: импульсные и токовые (current). Системы импульсного типа обычно применяются для передачи показаний на большие расстояния до 150 km, так как они не зависят от внешних помех и токов утечки, а также потому, что для передачи можно пользоваться любым каналом связи, даже если он включает в себя повторяющие пункты и, следовательно, не представляет собой цельного металлического проводника. Системы такого типа обладают тем преимуществом по сравнению с систе-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

мами импульсного типа, что они дают непрерывные и более быстрые показания.

В системах телеизмерения токового типа к приемникам передается небольшой по величине постоянный ток, пропорциональный измеряемой величине. Телеизмерительные приборы компенсационного типа состоят из нескольких приборов и электронных схем, служащих для получения гораздо более быстрых и точных показаний, чем это было возможно раньше, когда использовались механические телеизмерительные приборы токового типа. Передатчик состоит из двух основных частей (фиг. 121). Оси подвижных систем приборов, из которых состоит передатчик, расположены на одной вертикальной оси и механически связаны между собой. Первичным элементом *P* может служить амперметр, вольтметр, ваттметр или любой другой электрический или механический указательный прибор.



Фиг. 121. Схема электронной токовой системы телеизмерений.

Балансным элементом *A* является миллиамперметр с подвижной катушкой и постоянным магнитом. Вращающий момент элемента *A* направлен навстречу вращающему моменту первичного элемента *P*. Первичным и балансным элементами служат два обычных прибора без стрелок, в которых пружины заменены проводящими подводками. Для обнаружения отклонения первичного элемента *P* от положения равновесия и для регулировки тока в балансном элементе *A* при помощи усилителя с трансформаторной связью применяется маленькая вспомогательная катушка *B*, присоединенная к подвижной системе и движущаяся в переменном магнитном поле. Вспомогательная катушка *B* действует как индикатор изменений нагрузки и устраняет необходимость контактов, наличие которых характерно для более ранних типов телеизмерительных приборов. Вспомогательная катушка движется в воздушном промежутке неподвижного электромагнита. Во время ее движения в любую сторону от положения равновесия в ней наводится э. д. с., величина которой зависит от величины отклонения, а полярность — от направления отклонения. Вспомогательная катушка присоединяется к усилителю.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Выпрямленный выход усилителя соединяется последовательно с балансным элементом *A* линией и приемниками. Для того чтобы рамки в состоянии равновесия были неподвижны, вращающие моменты балансного и измерительного элементов должны быть равны. Следовательно, постоянный ток в балансном элементе линии и приемниках пропорционален измеряемой величине и может служить мерой ее величины. Это взаимодействие легче понять, если заметить, что система будет двигаться до тех пор, пока усиленный ток вспомогательной катушки *A* не сделается как раз достаточным для уравновешивания момента подвижной системы измерительного прибора.

Усилитель состоит из двух ветвей, которые присоединены к линии и приемникам навстречу друг другу, так что ток в линии равен разности тока на выходе обеих ветвей усилителя. Сетки первых каскадов обеих ветвей питаются от общего трансформатора, к первичной стороне которого присоединена вспомогательная катушка передатчика. Полярности обмоток обеих ветвей усилителя противоположны друг другу. Это означает, что увеличение тока в одной ветви соответствует уменьшению тока в другой ветви. Таким образом увеличение напряжения одной полярности нарушает равновесие на выходе усилителя, и балансный элемент передатчика получает возможность вновь уравновесить вращающий момент измерительного элемента.

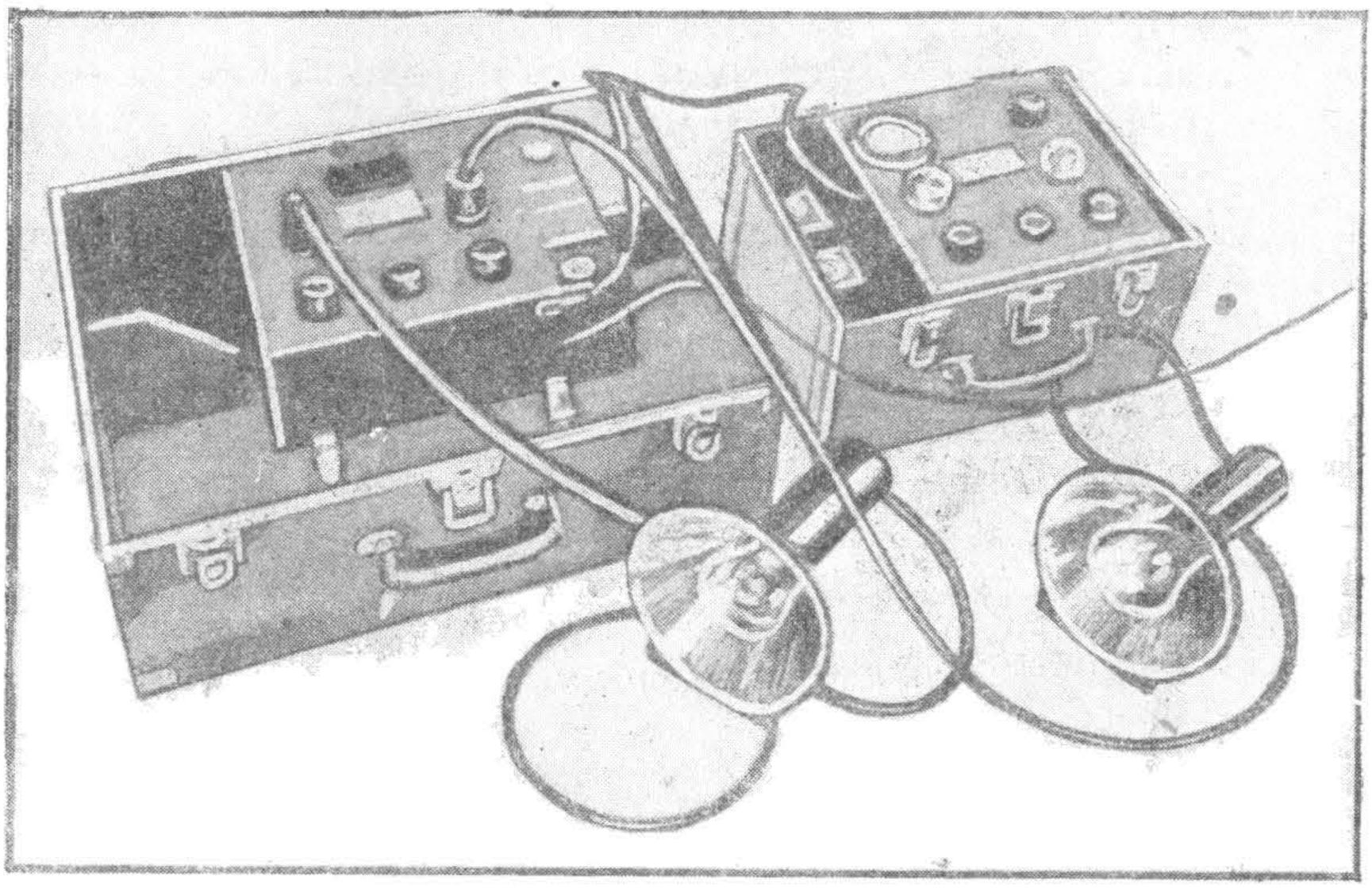
Коэфициент усиления и величина напряжения, наводимого в вспомогательной катушке, подобраны таким образом, чтобы подвижная система имела максимальное отклонение, равное всего лишь нескольким градусам. Так как шкала ваттметра в узких пределах практически равномерна, то суммирование показаний может быть достигнуто с высокой степенью точности при помощи параллельного соединения нескольких передатчиков. Быстрота показаний передатчика выше, чем быстрота показаний обычных технических приборов, так как отклонение подвижной системы составляет лишь небольшую часть от отклонения соответствующего указательного прибора. В случае применения в качестве приемника подходящего регистратора время отсчета показания приемника не превышает 1,25 сек., т. е. не превышает времени установки ваттметра, присоединенного непосредственно к схеме.

Точность телеизмерительного прибора зависит исключительно от градуировки передатчика и приемника. Точность приемника и передатчика имеет порядок 1%. Испытания показывают, что чувствительность прибора превышает чувствительность обычных технических приборов.

65. Стробоскопы. Простейшей формой стробоскопа может служить вольтова дуга или неоновая лампа, питаемая от того же источника переменного тока, что и механический прибор, движение которого изучается. Если механический прибор, например, мотор, вращается синхронно с частотой источника тока, то свет вспыхивает определенное число раз в течение каждого оборота. Так как механизм находится в определенном положении во время каждой вспышки, то он будет казаться неподвиж-

НВ УДУНТ (ДІІТ)

ным. Неоновую лампу можно также питать постоянным током прерывая этот ток при помощи коммутатора, вращаемого изучаемым механизмом. Самое серьезное возражение против устройств этого типа заключается в том, что импульс света имеет слишком большую продолжительность и изображения при высоких скоростях получаются нечеткими благодаря движению механизма в течение вспышки света. Стробоскоп должен давать короткие световые импульсы для того, чтобы механизм не успевал передвинуться во время вспышки на сколько-нибудь значительное расстояние. Ясность изображения имеет чрезвычайно большое значение при детальном изучении работы сложных механизмов на больших скоростях. Если необходимо обнаружи-



Фиг. 122. Стробоскоп для изучения быстрых механических явлений.

вать лишь различие в скоростях, наблюдая относительное движение механизма и импульсов света, то четкость изображения не так важна, и в этом случае можно применять стробоскопы более простых типов. Чтобы добиться четкости даже при очень больших скоростях, продолжительность вспышки должна быть исключительно короткой. О необходимой продолжительности вспышки можно судить хотя бы по следующему примеру:

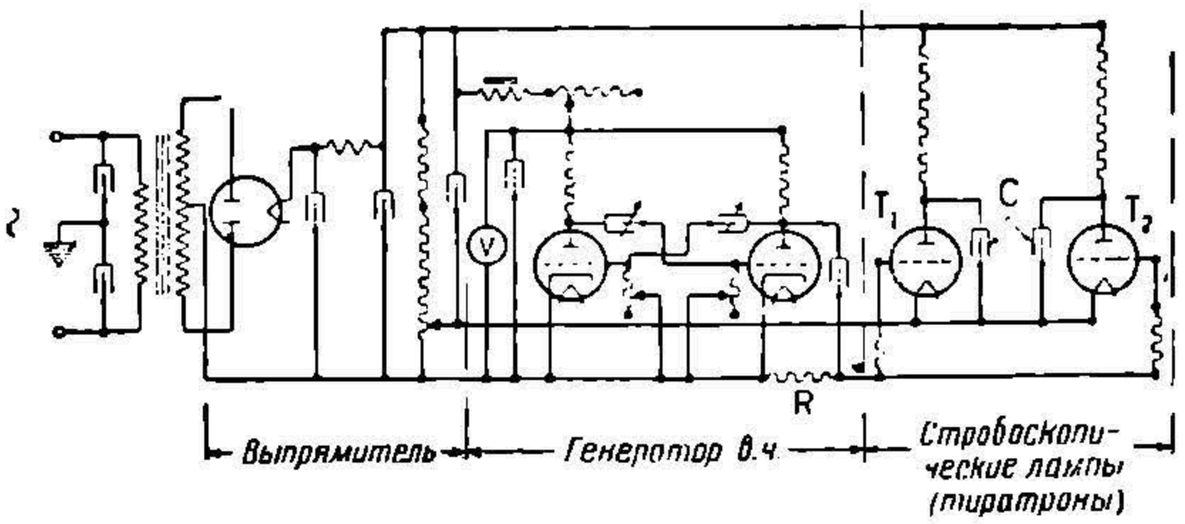
Паровая турбина Лаваля, имеющая радиус ротора, равный всего лишь 30 cm, и вращающаяся со скоростью 20 000 оборотов в минуту, передвигается приблизительно на 3 mm в течение одной миллионной секунды. Таким образом если вспышка света будет длиться одну микросекунду, то каждая точка изображения растянется на протяжении 3 mm. Взятый пример представляет собой предельный случай, но он дает хорошее представление о том, насколько краткими должны быть вспышки света, если нужно получить четкое изображение движущегося механизма. На фиг. 122 и 123 даны внешний вид и схема стробоскопа, ра-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

ботающего при вспышках света малой продолжительности. Стробоскоп состоит из неонового тиратрона, через который разряжается конденсатор. Момент разряда конденсатора определяется генератором электрических колебаний, воздействующим на сетки тиратронов T_1 и T_2.

Конденсаторы C заряжаются от источника постоянного тока после каждого разряда и разряжаются при каждом новом импульсе, получаемом от генератора. В качестве генератора электрических колебаний используется мультивибратор, описанный в § 38. Напряжение от мультивибратора подается на сопротивление R, включенное последовательно с сетками тиратронов. Волна напряжения мультивибратора имеет очень острый максимум, благодаря чему зажигание тиратрона происходит в точно определенный момент времени.

В некоторых случаях желательно поддерживать абсолютную синхронность между вспышками света и механическим движением. Это достигается при помощи того же прибора, снабженного движущимися контактами, для разрывания цепи тиратронов. Последний способ применим в тех случаях, когда скорости не настолько велики, чтобы контакты могли привести к значительным неточностям, и когда имеющаяся механическая мощность достаточна для приведения в действие контактов.



Фиг. 123. Схема переносного стробоскопа.

66. Стандартный стробоскопический прибор. Градуировка счетчиков электрической энергии до недавнего времени производилась при помощи визуального сравнения скоростей испытуемого и стандартного образцов, работающих при одной и той же нагрузке. Для этого производился счет числа оборотов диска испытуемого прибора и счет числа оборотов диска стандартного прибора в течение одного и того же промежутка времени. Этот метод дает достаточную точность, но он очень утомителен. Его особенно трудно применять на линии при проверке счетчиков у потребителей

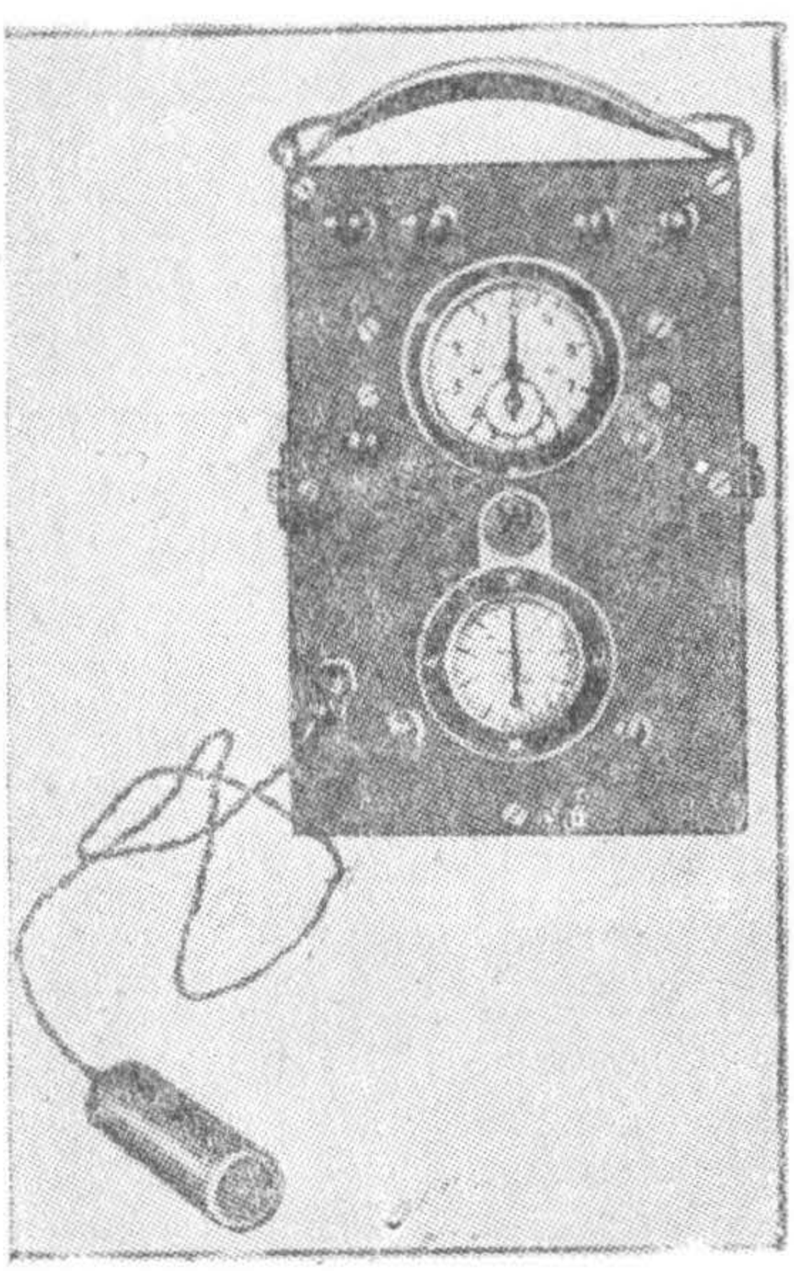
Стробоскопический метод позволяет производить точное и быстрое сравнение испытуемого образца со стандартом. Лабораторные стробоскопические испытания выполняются при помощи пучка света, прерываемого диском стандартного прибора, в котором сделаны прорези, и диском испытуемого прибора, в котором также сделаны прорези.

Когда скорость испытуемого прибора делается равной скорости стандарта, то его диск кажется неподвижным.

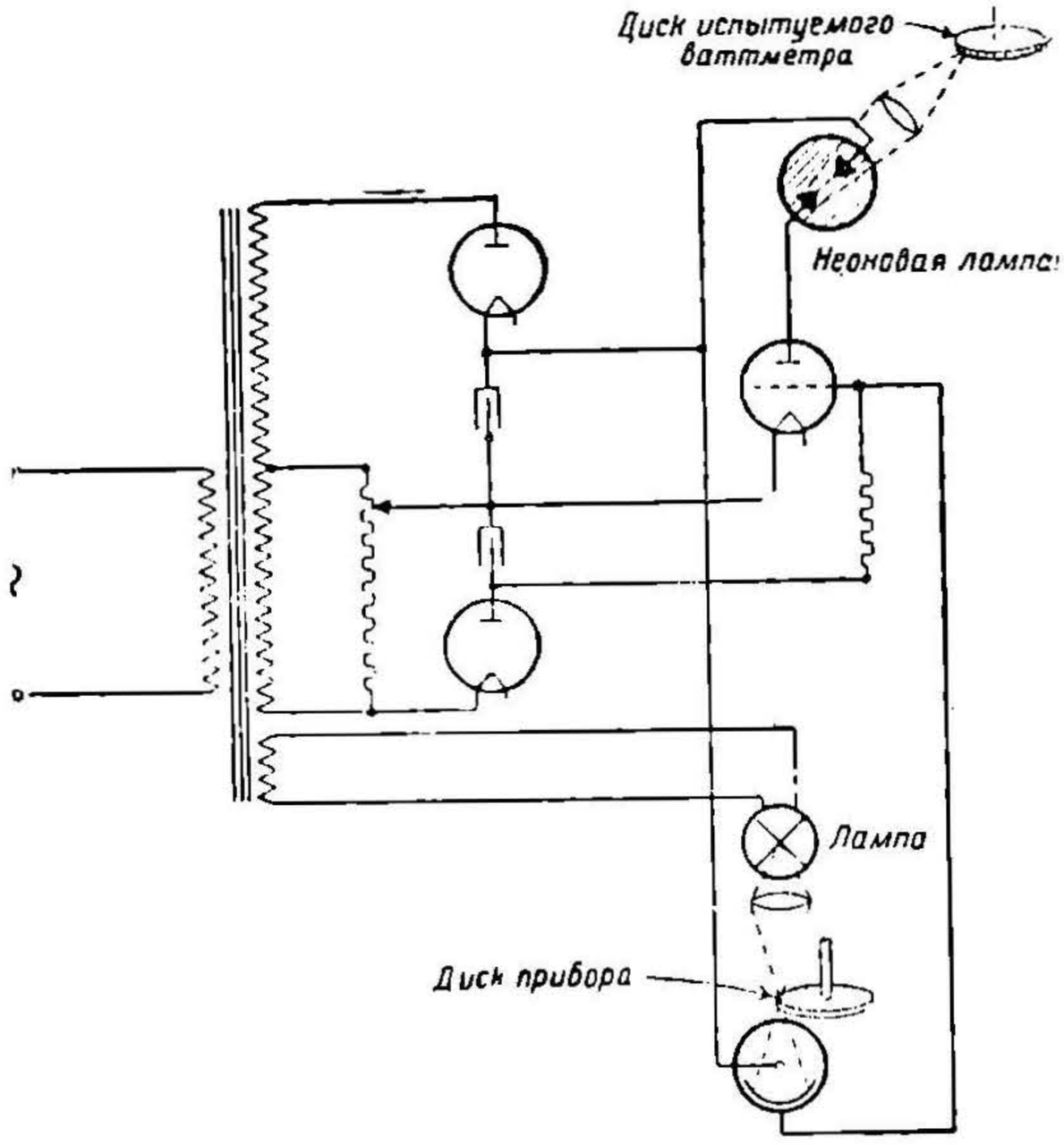
При испытании счетчиков на линии точная установка образца и стандарта для стробоскопического сравнения при помощи пре-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

рывания пучка света обоими дисками связана с большими затруднениями. Для того чтобы счетчики можно было испытывать стробоскопическими методами на линии, стандартный прибор снабжается фотоэлементом и усилителем. Диск с прорезями стандартного прибора прерывает пучок света, проектируемый на фотоэлемент, который присоединен к усилителю (фиг. 125). Усилитель воздействует на неоновую лампу, которая освещает диск испытуемого счетчика. Для градуировки испытуемого счетчика скорость вращения его диска регулируется до тех пор, пока он



Фиг. 124. Портативный стробоскопический измерительный прибор для градуировки ваттметров.



Фиг. 125. Схема портативного стробоскопического измерительного прибора для градуировки ваттметров.

не будет казаться неподвижным, т. е. пока его скорость вращения не сделается равной скорости вращения диска стандарта. Чтобы испытания были точными, стандартный прибор конструируется таким образом, чтобы скорость его диска могла изменяться без изменения его калибровки. Это достигается передвижением демпфирующих магнитов. Положение этих магнитов можно определить по шкале, установленной на панели стандартного прибора. Деления этой шкалы соответствуют ошибкам, выраженным в процентах. Если стробоскопический метод не может быть использован для испытаний, то стандартный прибор вместе с его шкалами и стрелками применяется обычным способом в качестве самостоятельной установки для испытаний и градуировки.

Литература

«Use of the Photoelectric Cell in Photometry», C. H. Sharp, Electronics, August, 1930, pp. 243—245.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

«Power Control by Means of Phototubes», Baker, Fitzgerald and Whitney, Electronics, May, 1931, pp. 632—633.
«Amplification of Very Low Direct Currents», Electronics, May, 1931, p. 634.
«A Grid-Glow Micrometer», R. W. Carson, Electronics, June, 1932.
«Electronic Timer for Very Short Intervals», H. W. Lord, Electronics, October, 1932, p. 309.
«A Multi-Range Vacuum Tube Voltmeter», Leonard Tulanskas, Electronics, July, 1930, pp. 170—171.
«An Electron Tube Wattmeter», Turner and McNamara, Proc. IRE, October, 1930.
«Quiet Electrical Machinery», J. A. Jackson, Gen. Elec. Rev., September, 1933.
«An Electrical Ear», K. A. Oplinger, Elec. Journal, August, 1931.
«New Radio-Frequency Phase Meter», R. R. Law, Rev. Sci. Instruments, October, 1933.
«Exact Compensation for Effect of A- and B-Battery Changes in D-c. Amplifier», Dearle and Matheson, Rev. Sci. Instruments, April, 1930.
«The Measurement of Peak Values of Alternating Currents and Voltages by Means of a Thyratron», Edward Hughes, J. Sci. Instr., June, 1933.
«Stroboscope Information», H. E. Edgerton, Electronics, July, 1932; see also Edgerton and Germeshausen, Rev. Sci. Instruments, October, 1932.
«Photoelectric Spectrophotometer», Instruments, February, 1930.
«Photoelectric Spectrophotometry», A. H. Taylor, J. Franklin Inst., Vol. 206, pp. 241—242, 1928.
«Application of Photocells to Colorimetry», Ives and Kingsbury, J. Optical Soc. Am., Vol., 21, pp. 541—663, September, 1931.
«Photoelectric Density Meter», F. C. Toy, J. Sci. Instruments, August, 1931.
«Recording Microphotometer», J. H. Lee, J. Sci. Instruments, September, 1931.
«A Linear Timing Axis for Cathode Ray Oscilloscopes», C. E. Haller, Rev. Sci. Instruments, July, 1933.
«Electron Tube Telemetering for Gas and Water Works», E. G. Watts, Electronics, February, 1935, p. 50.
«Noise Measurement Methods», Electronics, April, 1935, p. 110.
«Electron Tubes in Industry», Keith Henney, McGraw-Hill Book Co., Inc.

Глава IX

ВЫПРЯМИТЕЛИ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

С электронными приборами для выпрямления тока и преобразования частоты конкурируют электрические машины (мотор генераторы, вращающиеся преобразователи и преобразователи частоты). Электрические машины до недавнего времени применялись почти во всех без исключения случаях, если не считать специальных применений, как, например, зарядка аккумуляторов, получение токов высокой частоты или высокого напряжения и небольших постоянных токов в радиотехнике и т. д.

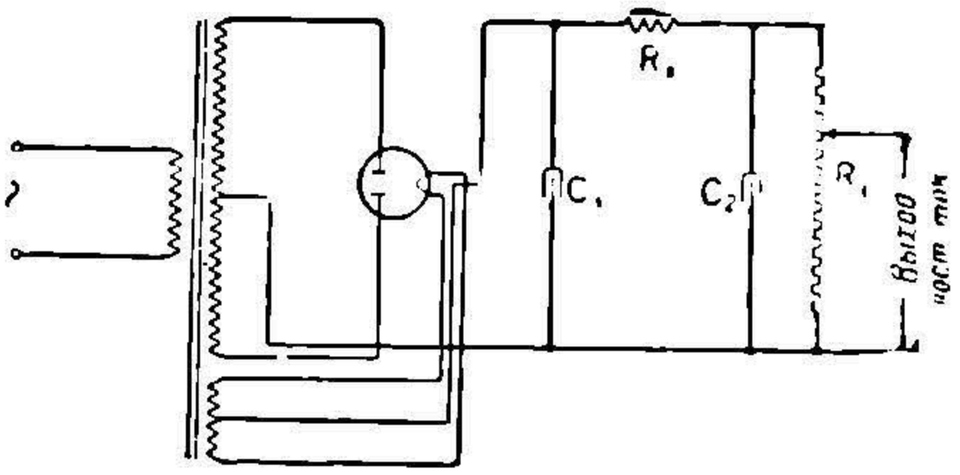
67. Маломощные выпрямители низкого напряжения. Этот тип выпрямителей находит себе широкое применение для зарядки аккумуляторов и как вспомогательный источник постоянного тока для электронной аппаратуры, работающей на переменном токе. Для зарядки аккумуляторов применяются ректигоны (см. § 21) и купроксные выпрямители. Преимущество ректигона заключается в том, что при низких напряжениях он имеет более высокий к. п. д., чем другие приборы, так как падение напряжения на нем в среднем не превышает 8 V, а для отдельных ламп может равняться всего лишь 5 V. Лампы изго-

УДУНТ (ДІІТ) НБ

товляются для однополупериодного и двухполупериодного выпрямления. Маломощные трехфазные выпрямители мало распространены.

Выпрямители, служащие в качестве вспомогательных источников постоянного тока, бывают самых различных типов.

При низких напряжениях и токах ниже 0,2 А обычно применяются двухполупериодные кенотроны и фильтры, служащие для сглаживания пульсаций выпрямленного тока.



Фиг. 126. Двухполупериодный выпрямитель.

На фиг. 126 дана схема двухполупериодного выпрямителя этого типа, снабженного фильтром. Обычно фильтр, показанный на фиг. 126, оказывается вполне достаточным для промышленных применений, но если пульсации тока должны быть очень малы, то вводятся добавочные дроссели и конденсаторы. Во многих случаях, не требующих строгого постоянства тока на выходе выпрямителя, ограничиваются конденсатором C_2 и сопротивлением R_1 без R_x и C_1. Во многих применениях вместо двухполупериодных кенотронов с успехом используются однополупериодные кенотроны, а для сглаживания напряжения применяется только конденсатор C_2.



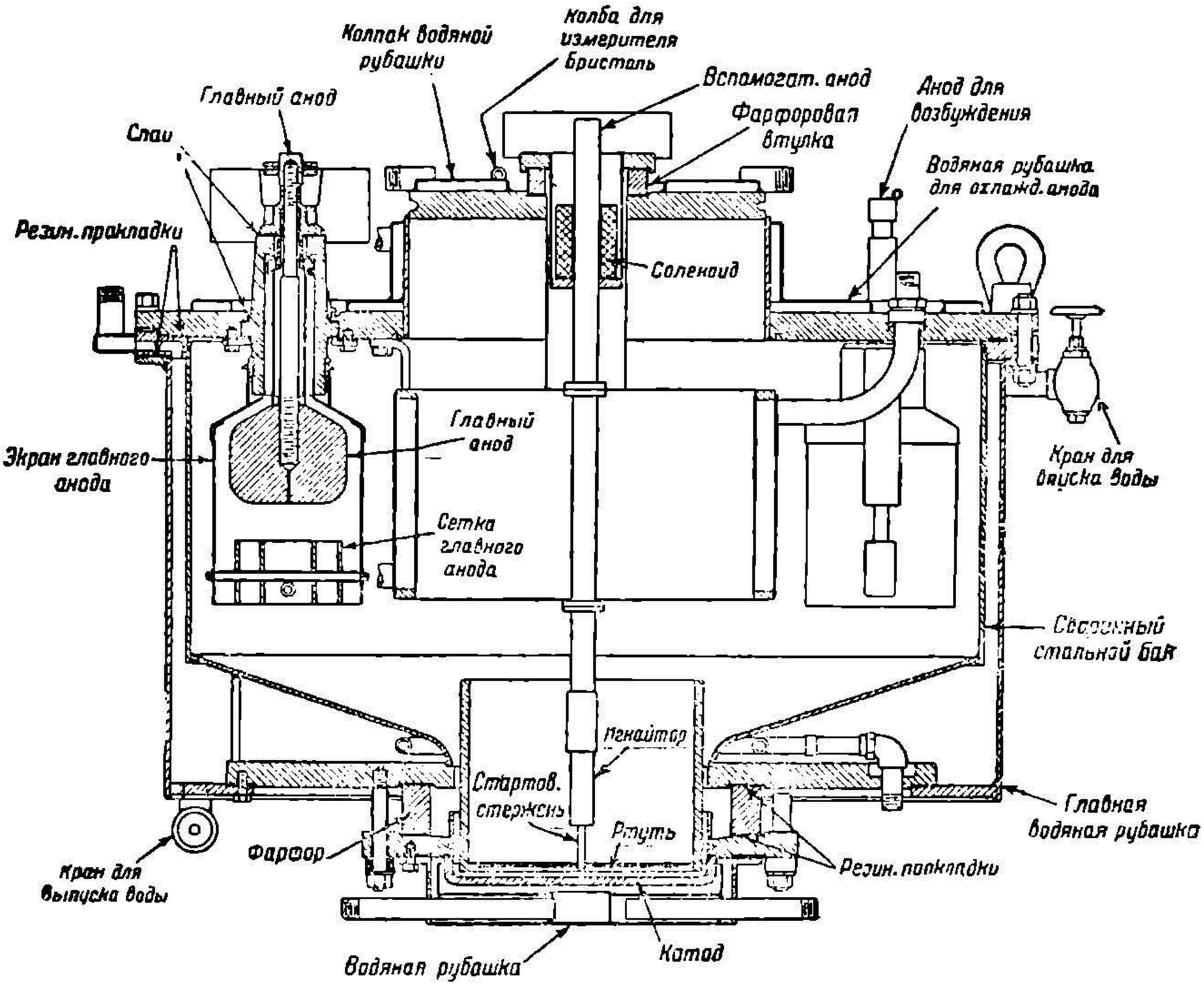
Фиг. 127. Секционированный ртутный выпрямитель. Четыре 750-kVA выпрямителя, соединенных параллельно.

В схеме на фиг. 126 кенотрон можно заменить газотроном. Но в этом случае конденсатор C_1 необходимо исключить или последовательно с ним включить сопротивление для ограничения амплитуды тока. Процесс выпрямления происходит так же, как и в случае высоковакуумной лампы. Если пульсации тока нежелательны, то в случае больших токов для упрощения схем фильтров применяются трехфазные или шестифазные выпрямители. Тогда сравнительно мало пульсирующий ток можно получить при помощи одного лишь дросселя.

68. Конструкция ртутных выпрямителей. Ртутные выпрямители изготовляются или в виде стеклянных колб или в виде стеклянных баков. Мы ограничимся рассмотрением конструкции только металлического выпрямителя, который обычно применяется для выпрямления больших токов. В США для токов выше 100 А стеклянные выпрямители применяются редко.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Выпрямитель (фиг. 128) состоит из стального бака, который почти воздухонепроницаем. Однако для создания высокой степени вакуума бак непрерывно откачивается насосом. На дне в специальной изолированной камере находится ртуть. Аноды пропущены сверху бака через изоляторы, которые не пропускают воздуха. Изоляция катода необходима потому, что если бы катод и резервуар находились при одном и том же потенциале, то это привело бы к образованию катодного пятна на стенке бака и дуга прожгла бы его стенку.



Фиг. 128. Разрез большого ртутного выпрямителя.

Аноды обычно бывают графитовыми, так как опыт показал, что они более удобны в эксплоатации, чем аноды из других материалов. Расположение каждого анода по отношению к катоду и другим анодам имеет большое значение. В большинстве выпрямителей между и вокруг анодов помещаются анодные рукава для уменьшения влияния анода, несущего ток, на другие аноды, которые в данный момент не проводят тока. Аноды должны проходить через стенки резервуара и в то же время быть изолированными от них и не нарушать вакуум. Было разработано несколько типов воздухонепроницаемых спаев анодов со стенками бака. Фирма Вестингауз применяет металлический анод, припаянный к платинированному фарфоровому изолятору, который в свою очередь припаян к фланцу или к верхней крышке выпрямителя. Другой вид спая представляет

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

собой смесь слюды и стекла, сплавляемой с примесью металла. Применяются также ртутные вводы.

Ртутный выпрямитель не проводит тока при любом знаке напряжения на аноде до тех пор, пока не зажжена дуга. В большинстве современных ртутных выпрямителей дуга зажигается вспомогательным электродом, который может подниматься и опускаться при помощи соленоида.

Цепь вспомогательного электрода замыкается при соприкосновении вспомогательного электрода с поверхностью ртути. При поднимании электрода между электродом и ртутью возникает дуга и образуется катодное пятно, необходимое для работы выпрямителя. Иногда катодное пятно в выпрямителях с несколькими анодами поддерживается основной нагрузкой. Если основная нагрузка может падать до значений, меньших 5 А, то для устойчивости дуги выпрямители снабжаются вспомогательными анодами, работающими при низком напряжении и служащими для сохранения катодного пятна.

При конструировании и во время эксплоатации ртутных выпрямителей очень большое значение имеет вопрос об охлаждении стального бака и анодов. Плохое охлаждение приводит к очень сильному повышению давления паров ртути в баке и к учащению явления обратного зажигания (см. § 70). Откачиваемая камера окружается водяной рубашкой, по которой циркулирует вода. Анодные спаи (вводы) охлаждаются или благодаря излучению тепла в воздух или при помощи водяного охлаждения. Сами аноды в большинстве случаев имеют воздушное охлаждение.

Анод обычно имеет более высокую температуру, чем бак и катод. Это препятствует конденсации ртути на аноде. Конденсация ртути на аноде увеличивает возможность обратного зажигания. Количество ртути, испаряющееся с катода, благодаря действию дуги при низких давлениях, существующих в баке, очень велико. Для ускорения процесса конденсации ртути и поддержания низкого давления в центре бака над катодом помещается конденсор, имеющий водяное охлаждение.

69. Вакуумная насосная система. Несмотря на все предосторожности, принимаемые для сохранения вакуума, выпрямитель нужно непрерывно откачивать для поддержания в нем достаточно низкого давления и удаления газов, мешающих правильной работе выпрямителя. Насосная система состоит из масляного насоса, который предварительно откачивает воздух из камеры, доводя давление в ней до форвакуума.

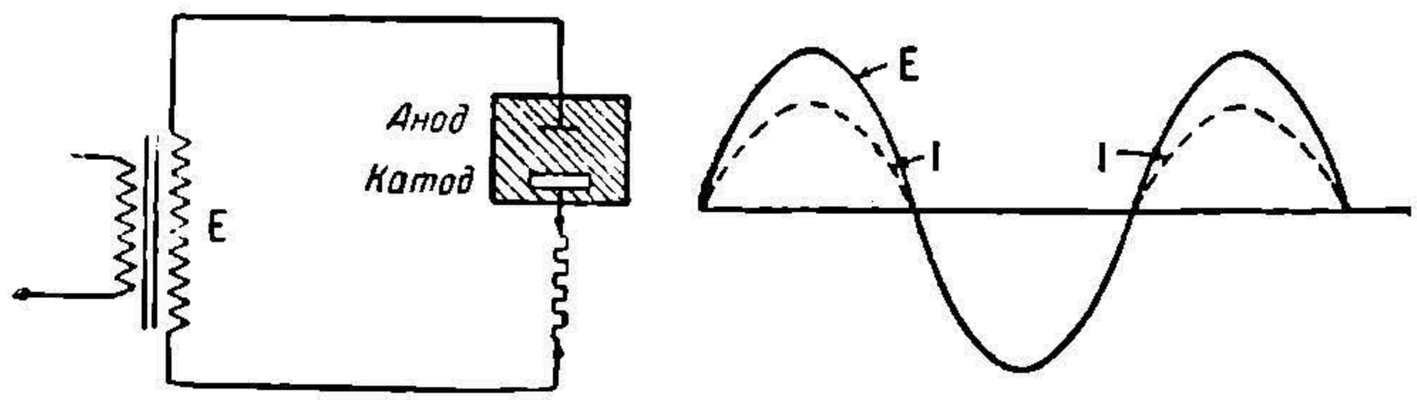
Благодаря этому создается разрежение, достаточное для работы ртутного диффузионного насоса. Этот насос откачивает газ из вакуумного корпуса выпрямителя, в котором образуется дуга, и гонит его в форвакуум, имеющий более высокое давление. Давление в вакуумном корпусе может быть доведено до доли микрона (микрон = 0,001 mm), в то время как давление в форвакууме не превышает нескольких миллиметров ртутного столба.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Форвакуумная камера снабжена ртутным манометром с контактами, включающими масляный насос только в том случае, если давление повышается на 50% выше того максимального давления, при котором может начать работать диффузионный насос. Когда масляный насос не работает, то атмосферное давление не допускается к форвакууму при помощи автоматического вентиля.

Между диффузионным насосом и вакуумным корпусом помещаются краны, которые в случае аварии насосной системы позволяют поддерживать вакуум в течение коротких промежутков времени.

Давление газа в вакуумном корпусе можно точно измерять при помощи вакуумного манометра. Известно несколько типов манометров. Один из них носит название манометра Мак-Леода.



Фиг. 129. Схема и форма волны однополупериодного ртутного выпрямителя с активной нагрузкой.

Измерение низких давлений при помощи этого манометра производится путем отсекания известного объема газа при неизвестном давлении и уменьшения этого объема газа давлением, оказываемым на него столбом ртути.

Разница в высоте между столбами ртути в двух плечах манометрической V-образной трубки, в одном из которых ртуть давит на отсеченный объем газа, отградуирована непосредственно в микронах давления.

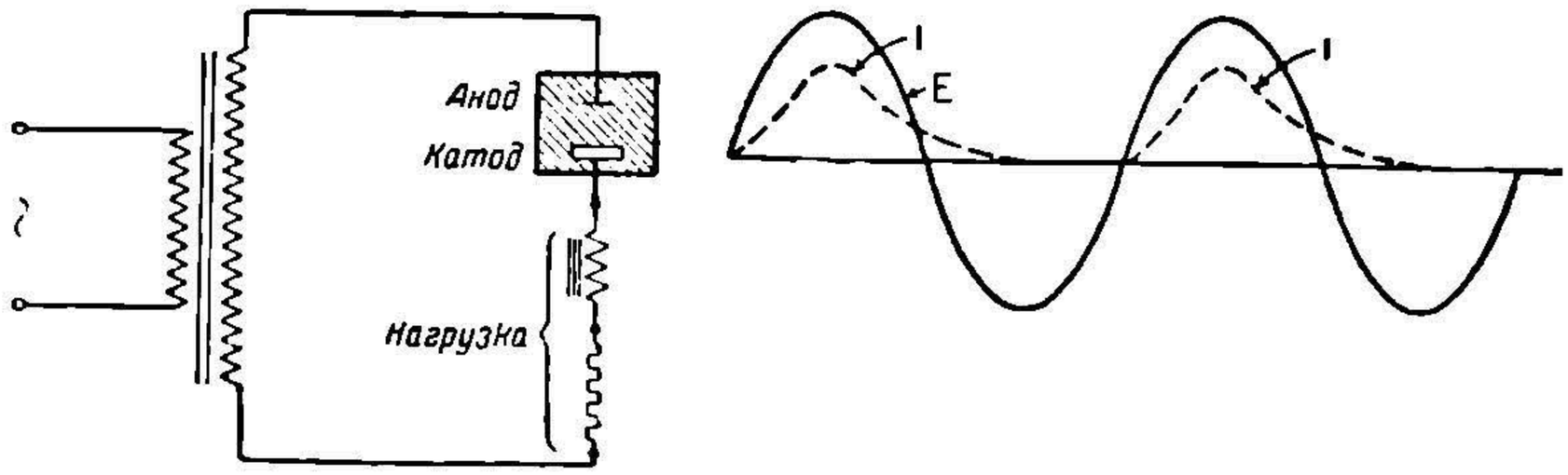
70. Форма волны напряжения и тока в цепи нагрузки выпрямителя. Форма волны тока и напряжения на выходе однополупериодного выпрямителя с сопротивлением в цепи нагрузки дана на фиг. 129. Кривые построены в предположении, что реактивное сопротивление трансформатора и падение напряжения на выпрямителе равны нулю.

Следует отметить, что ни одно из этих допущений не выполняется строго в действительности. В однополупериодном выпрямителе ток имеет синусоидальную форму, и его значение определяется сопротивлением нагрузки. Если в цепи нагрузки имеется индуктивное сопротивление (фиг. 130), то оно во все моменты времени препятствует изменениям тока, протекающего через выпрямитель. В случае высокоиндуктивной нагрузки сопротивление протеканию полупериодного тока настолько велико, что применение схемы на фиг. 130 делается нерациональным.

Двухполупериодный выпрямитель (фиг. 131) с активным сопротивлением в цепи нагрузки аналогичен однополупериодному выпрямителю, если не считать того, что он дает такую форму

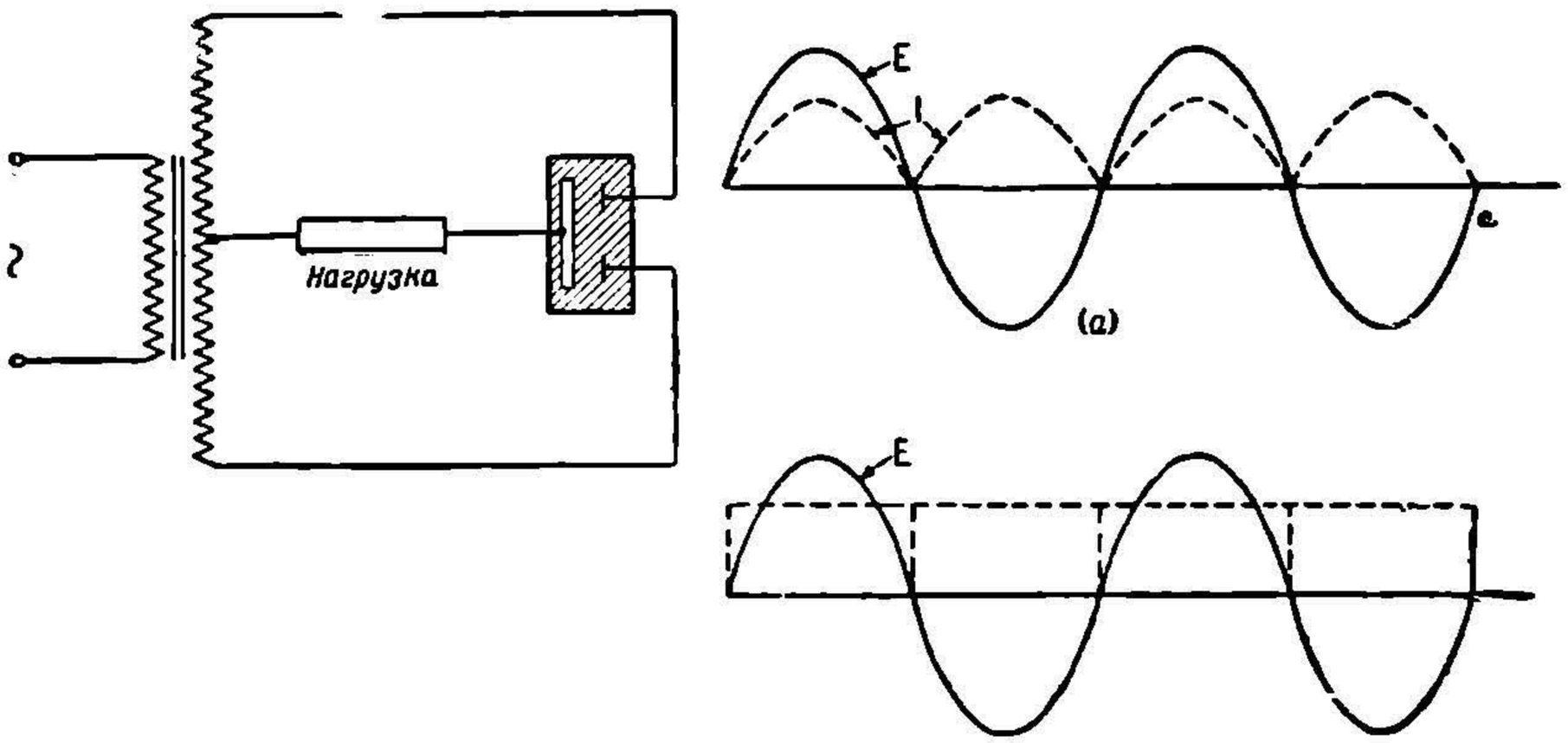
НБ УДУНТ (ДІІТ)

волны тока, в которой заполнены все пустые промежутки между соседними полуволнами. В случае выпрямителей с несколькими анодами обычно принято считать, что весь ток несет тот анод, который наиболее положителен, и что передача тока от одного анода к другому происходит мгновенно и в момент, когда непроводящий анод делается более положительным, чем анод, проводящий ток.



Фиг. 130. Схема и форма волны однополупериодного выпрямителя с индуктивной нагрузкой.

Если принять, что последовательно с активным сопротивлением в цепи нагрузки включено очень высокое индуктивное сопротивление (фиг. 131), то форма волны тока во время обоих



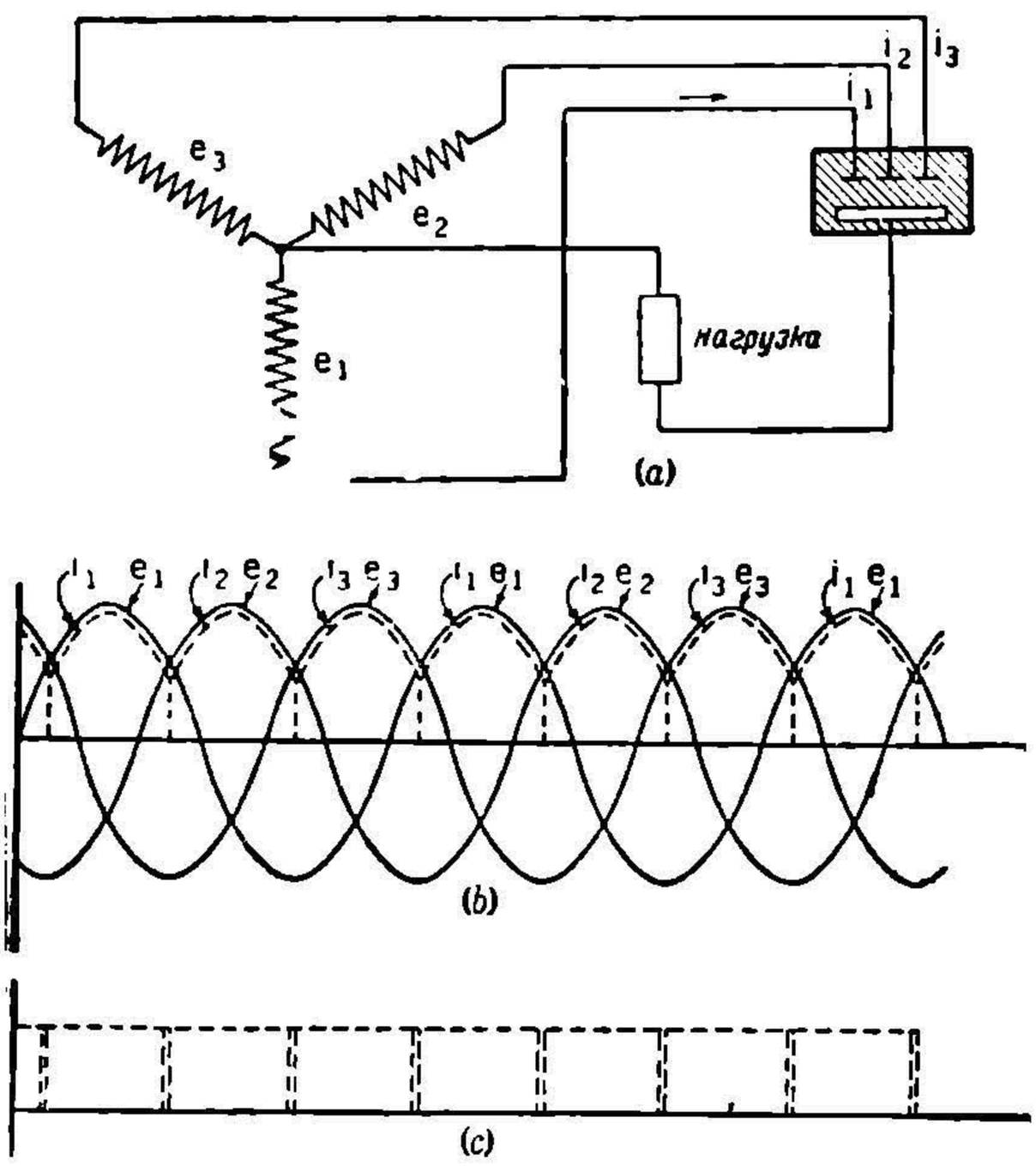
Фиг. 131. Схема и форма волны двухпериодного выпрямителя, *a* — с активной нагрузкой; *b* — с индуктивной нагрузкой.

полупериодов будет состоять из двух прямоугольников, прилегающих один к другому и, следовательно, образующих постоянный ток. Напряжение постоянно только на активной части сопротивления в цепи нагрузки, на индуктивной же части сопротивления оно равно разности между напряжением на активном сопротивлении и напряжением в линии. Напряжение на активном сопротивлении равно среднему значению волны переменного напряжения. Индуктивные сопротивления или дроссели вводятся в большинство схем выпрямителей для сглаживания формы волны тока.

НТБ УДУНТ (ДИТ)

Зарядка аккумуляторов иногда производится без помощи дросселей, так как некоторые трансформаторы сами по себе имеют очень высокое индуктивное сопротивление.

Для сглаживания волны тока и для того чтобы избежать применения дорогих дросселей, многие выпрямители имеют большое число анодов, питаемых от многофазного источника тока. Число анодов, питаемых при помощи специальных трансформаторов от трехфазной сети, может доходить до 24. Наиболее распространенными являются шестифазные и двойные трехфазные выпрямители. Форма волны тока и напряжения трехфазного выпрямителя с активной нагрузкой дана на фиг. 132.



Фиг. 132. Схема и форма волны трехфазного выпрямителя, *b* — с активной нагрузкой; *c* — с индуктивной нагрузкой.

Сравнивая напряжение на нагрузке в данном случае с соответствующим напряжением в случае однофазного двухполупериодного выпрямителя, легко заметить, что в первом случае пульсации тока и напряжения гораздо слабее, чем во втором случае.

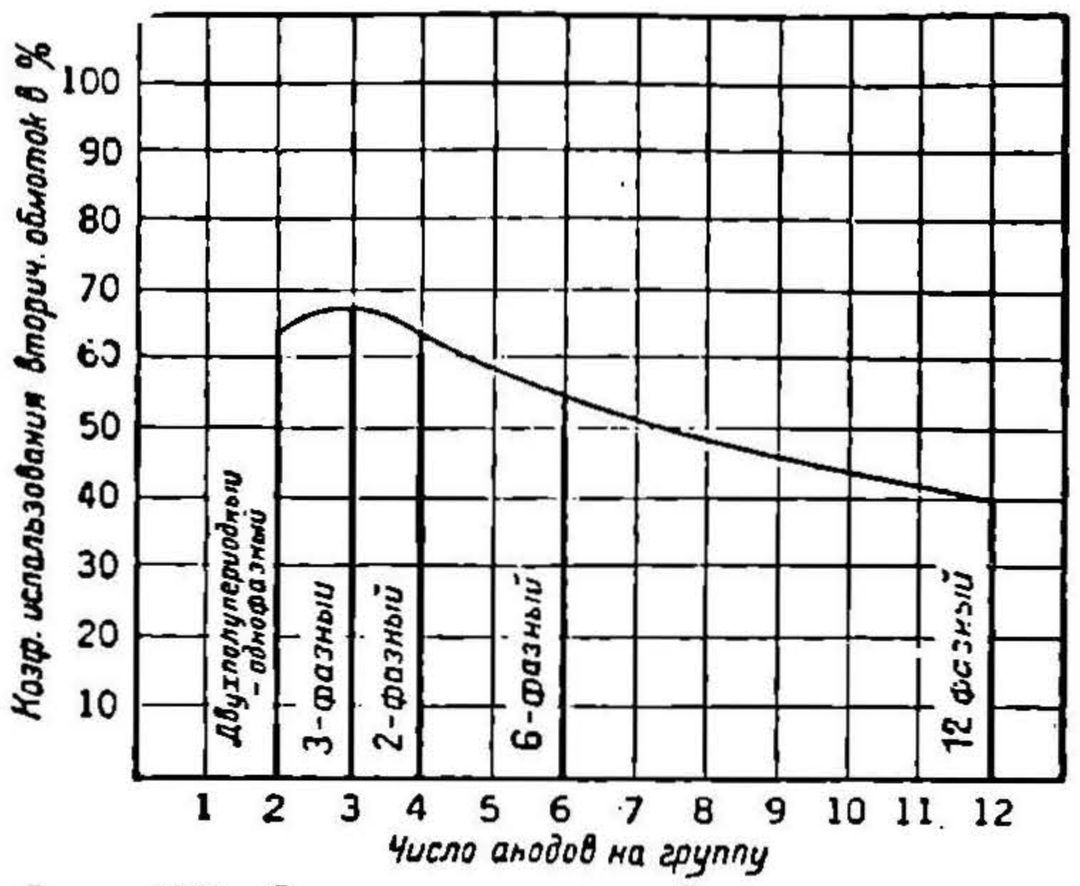
Индуктивное сопротивление дросселя, требуемое для сглаживания пульсаций переменного тока, в трехфазном выпрямителе гораздо меньше, чем в однофазном. Это происходит не только благодаря меньшей амплитуде пульсаций, но и благодаря тому, что частота пульсаций в трехфазном выпрямителе гораздо выше и полное сопротивление дросселя, имеющего коэфициент самоиндукции, равный нескольким генри, также соответственно выше.

Предел для числа анодов устанавливается некоторыми практическими соображениями, но в этом вопросе нет еще окончательно установившегося мнения, поэтому различные фирмы являются сторонниками различных схем от трехфазных до шестифазных и двойных трехфазных. Практический предел вытекает из стремления наилучшим образом использовать обмотки трансформатора и получить как можно более слабые пульсации. Трансформатор наиболее эффективно используется в том случае, когда выпрямитель имеет от двух до шести анодов. Для увеличения числа анодов и наилучшего использования обмоток трансформатора аноды соединяются в группы, питаемые от

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

самостоятельных вторичных обмоток (фиг. 133). Основные соотношения между напряжением трансформатора и выходным напряжением для различных схем приведены в таблице на фиг. 134.

Соотношения в таблице относятся к идеальным условиям, когда нагрузка представляет собой чисто активное сопротивление, что не имеет места на практике. Таблица дает общее представление о влиянии различных факторов.



Фиг. 133. Зависимость коэфициента использования вторичных обмоток трансформатора по напряжению от числа анодов.

Аноды выпрямителей часто выгодно соединять параллельно друг другу. Это производится при помощи уравновешивающей катушки, присоединяемой к анодам, причем средняя точка катушки присоединяется к трансформатору. Вследствие различий в величине падений напряжения и характеристик зажигания анодов выпрямители или аноды выпрямителей не могут самостоятельно удовлетворительно работать в параллель и распределять равномерно нагрузку.

Схема и форма волны	Время проводимости лампы	Ток нагрузки			Анодный ток			Амплитуда напряж. обратного зажигания
		Максим.	Средний	Ср. кв. знач.	Максим.	Средний	Ср. кв знач.	
Однофазный Однополупериод рис. 130	$\frac{1}{2}$ периода	3.14 J $1.41\frac{E_T}{R}$	J $0.45\frac{E_T}{R}$	1 57 J $0.707\frac{E_T}{R}$	3.14 J $1.41\frac{E_T}{R}$	J $0.45\frac{E_T}{R}$	1 57 J $0.707\frac{E_T}{R}$	3.14 JR 1 41 E_T
Однофазный Двухполупериод рис. 132	$\frac{1}{2}$ „	1 57 J $1.41\frac{E_T}{R}$	J $0.9\frac{E_T}{R}$	1 11 J $\frac{E_T}{R}$	1 57 J $1.41\frac{E_T}{R}$	0 5 J $0.45\frac{E_T}{R}$	0 792 J $0.707\frac{E_T}{R}$	3.14 JR 2.82 E_T
Трехфазный рис. 133	$\frac{1}{3}$ „	1.21 J $1.41\frac{E_T}{R}$	J $1.17\frac{E_T}{R}$	1 01 J $1.175\frac{E_T}{R}$	1.21 J. $1.41\frac{E_T}{R}$	0.33 J $0.386\frac{E_T}{R}$	0.578 J $0.676\frac{E_T}{R}$	2.10 JR 2 44 E_T
Двойной трехфазный рис. 136	$\frac{1}{3}$ „	1.053 J $1.23\frac{E_T}{R}$	J $1.17\frac{E_T}{R}$	1 02 J $1.175\frac{E_T}{R}$	0.52 J $0.61\frac{E_T}{R}$	0.166 J $0.196\frac{E_T}{R}$	0.289 J $0.338\frac{E_T}{R}$	2.16 JR 2.46 E_T
Шестифазный	$\frac{1}{6}$	1.049 J $1.41\frac{E_T}{R}$	$1.35\frac{E_T}{R}$	1 02 J $1.380\frac{E_T}{R}$	1.049 J $1.41\frac{E_T}{R}$	0.167 J $0.224\frac{E_T}{R}$	0.405 J $0.550\frac{E_T}{R}$	2 10 JR 2 82 E_T

Фиг. 134. Таблица основных соотношений между напряжением и током для различных выпрямительных схем с активной нагрузкой. Максимальное и среднее квадратичное значение тока нагрузки для всех случаев, за исключением однофазного однополупериодного выпрямителя, практически равно среднему току нагрузки для высокоиндуктивных нагрузок.

J — средний постоянный ток в цепи нагрузки, E_T — напряжение трансформатора по отношению к нейтрали, R — сопротивление нагрузки.

Выпрямительная схема, известная под названием двойной трехфазной схемы, соединяет в себе многие свойства трехфазной схемы (в особенности хорошее использование вторичных обмоток) с высокой степенью постоянства выхода, характерной для случая шести анодов.

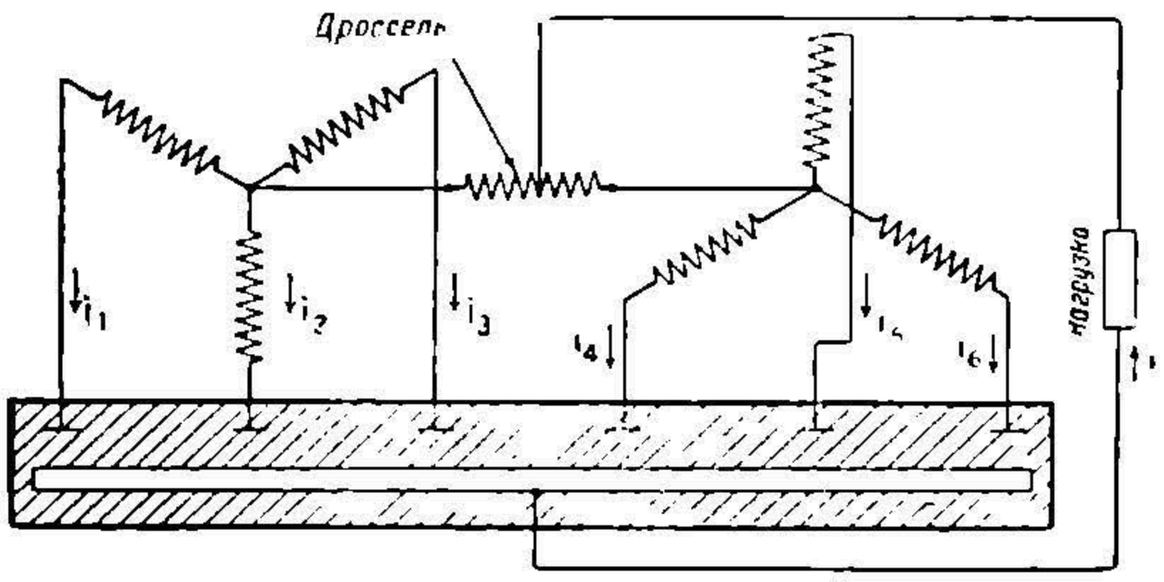
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Эта схема (фиг. 135) состоит из двух соединенных в звезду трехфазных выпрямителей, работающих в параллель. Обе трехфазных группы соединены так, что форма волны на выходе сходна с формой волны в случае шестифазного выпрямителя.

Для параллельной работы обоих соединенных в звезду групп трансформаторов применяется промежуточный трансформатор, к обоим крайним зажимам которого присоединяются нейтральные точки обеих групп, а к его средней точке — нагрузка.

Промежуточный трансформатор имеет небольшие размеры, так как постоянные токи, текущие в обеих его секциях, противоположны по направлению и не могут вызвать насыщения железа.

Другой распространенный способ обеспечения удовлетворительной параллельной работы выпрямителей состоит в правильном выборе соотношений между индуктивностями первичных обмоток и групп вторичных обмоток трансформатора, при котором группы анодов или выпрямителей удовлетворительно распределяют ток благодаря регулировочному действию самого трансформатора.



Фиг. 135. Двойная трехфазная схема.

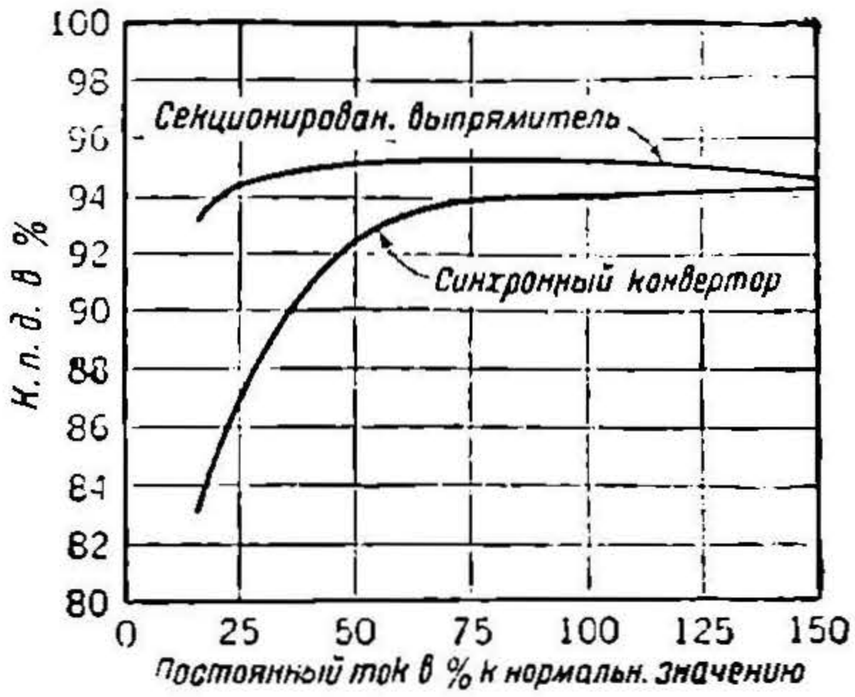
Ток на входе выпрямителя обычно имеет почти квадратную форму. Поэтому содержание гармоник очень велико. Основная гармоника слегка смещена по отношению к волне переменного напряжения благодаря коммутационной характеристике выпрямителя. Это смещение равно коэфициенту мощности, измеряемому специальным прибором. Гармоники тока, образующие остальную часть квадратной вершины волны, не имеют соответствующих гармоник напряжения и поэтому представляют собой безваттный ток.

Полная величина тока, нагревающего трансформатор, равна квадратному корню из суммы квадратов токов основной и высших гармоник. По этой причине при расчете трансформаторов гармоники должны учитываться. Полный коэфициент мощности для выпрямителей равен числу ватт, разделенному на произведение из напряжения в вольтах на ток в амперах, в который включены гармоники.

Одно из вредных явлений, с которым приходится бороться в выпрямителях, состоит в явлении обратного зажигания. Во время протекания этого явления анод действует как катод, представляя собой источник электронов. Очевидно, что при этом выпрямитель теряет свое основное свойство и начинает пропускать ток в обратном направлении через анод. Катоды и все аноды, которые имеют более положительный потенциал, чем анод, вызвавший обратное зажигание, направляют ток через вы-

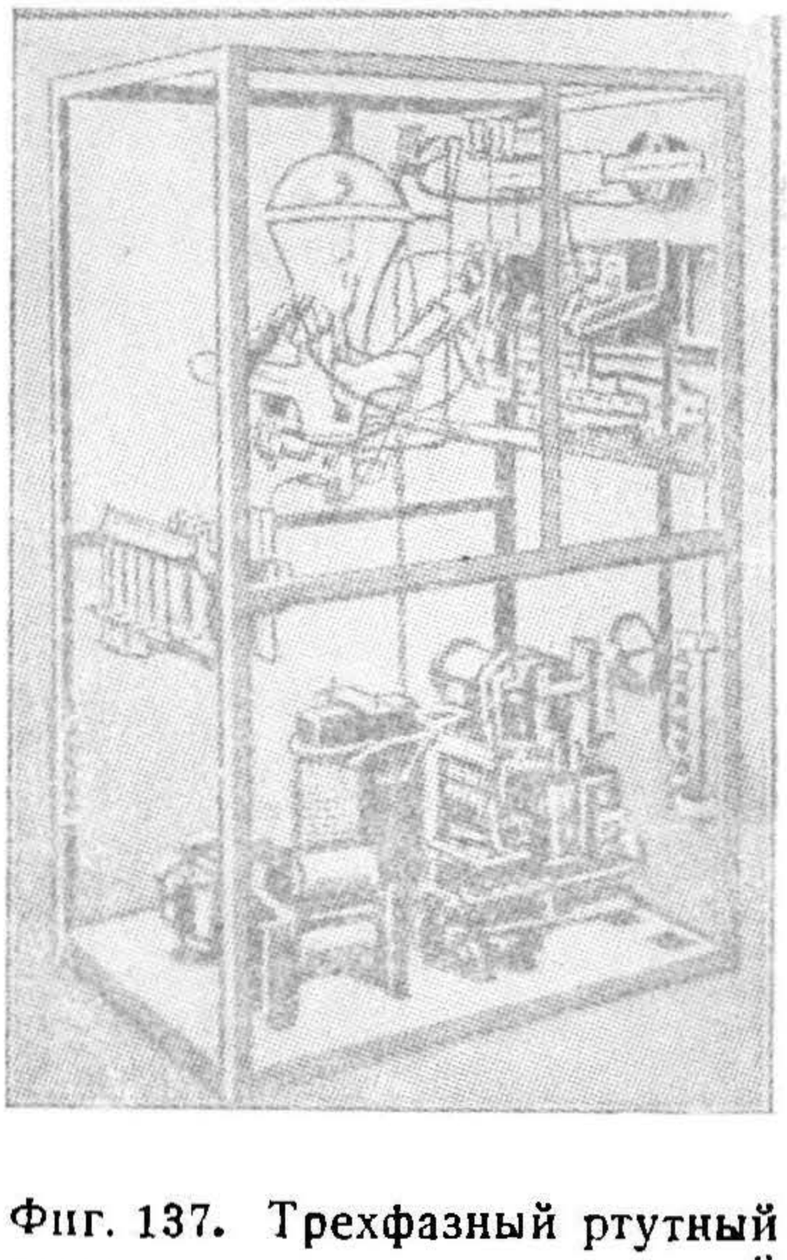
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

прямитель к этому аноду. Это приводит к короткому замыканию трансформатора через выпрямитель. Напряжение, при котором происходит обратное зажигание, не имеет строго определенного значения для каждого данного выпрямителя, но частота этого явления понижается до исчезающе малого значения при помощи ограничения величины напряжения, экранировкой анодов от капель конденсирующейся ртути, поддержанием почти совершенного вакуума и многими другими мерами.



Фиг. 136. Сравнение коэфициентов полезного действия 3 000 kW, 600-V синхронного конвертора и секционированного ртутного выпрямителя на ту же мощность и напряжение.

71. К. п. д. ртутных выпрямителей. К. п. д. ртутного выпрямителя зависит исключительно от напряжения, приложенного к схеме при данном токе. Это объясняется тем, что падение напряжения на дуге постоянно при данном значении тока и поэтому при увеличении напряжения увеличение мощности на выходе не сопровождается увеличением потерь в дуге. Падение напряжения на дуге, обычно близкое к 20 V, очень мало зависит от изменения тока в рабочих пределах. При вычислении общего к. п. д. необходимо учитывать потери в трансформаторе, в промежуточном трансформаторе, в баластном дросселе и в остальных вспомогательных частях схемы. На фиг. 136 дана кривая изменения к. п. д. выпрямителя в функции от нагрузки с учетом всех потерь при напряжении на выпрямителе, равном 600 V. Для сравнения на той же фигуре приведена кривая изменения к. п. д. для синхронного преобразователя.



Фиг. 137. Трехфазный ртутный выпрямитель с управляющей сеткой на 60 A, 220 V.

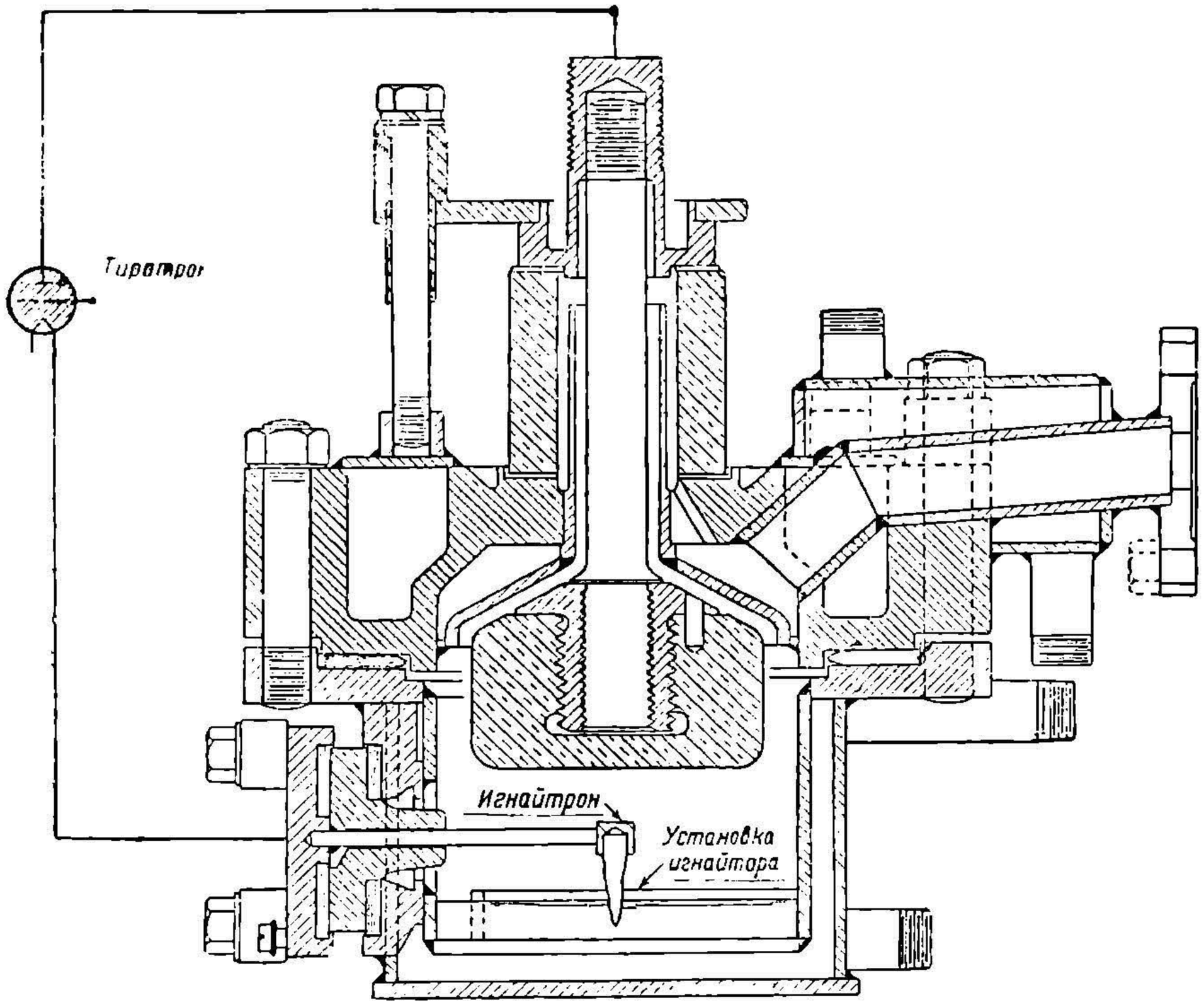
72. Применение игнайтрона в качестве выпрямителя. Игнайтронный выпрямитель имеет три преимущества по сравнению с обычным ртутным выпрямителем. Эти преимущества заключаются в легкости управления, в более высоком к. п. д. и в меньших размерах.

В ртутном выпрямителе аноды должны быть расположены на большом расстоянии от катода; он должен иметь деионизирующую сетку, анодные экраны и конденсатор для уменьшения возможности обратного зажигания. Игнайтронные выпрямители имеют один анод, находящийся в общем баке

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

с катодом и игнайтором. Так как в каждом баке имеется только один анод и игнайтор, то дуга полностью потухает в каждый момент прохождения тока через нуль и зажигается опять только тогда, когда анод опять должен пропускать ток. Отсутствие дуги в течение периода непроводимости сильно уменьшает возможность обратного зажигания. В результате необходимость в деонизирующей сетке и экранах отпадает.

Расположение анодов в отдельных небольших баках упрощает задачу охлаждения. Тот факт, что дуга зажигается вновь в на-



Фиг. 138. Разрез игнайтронного выпрямителя.

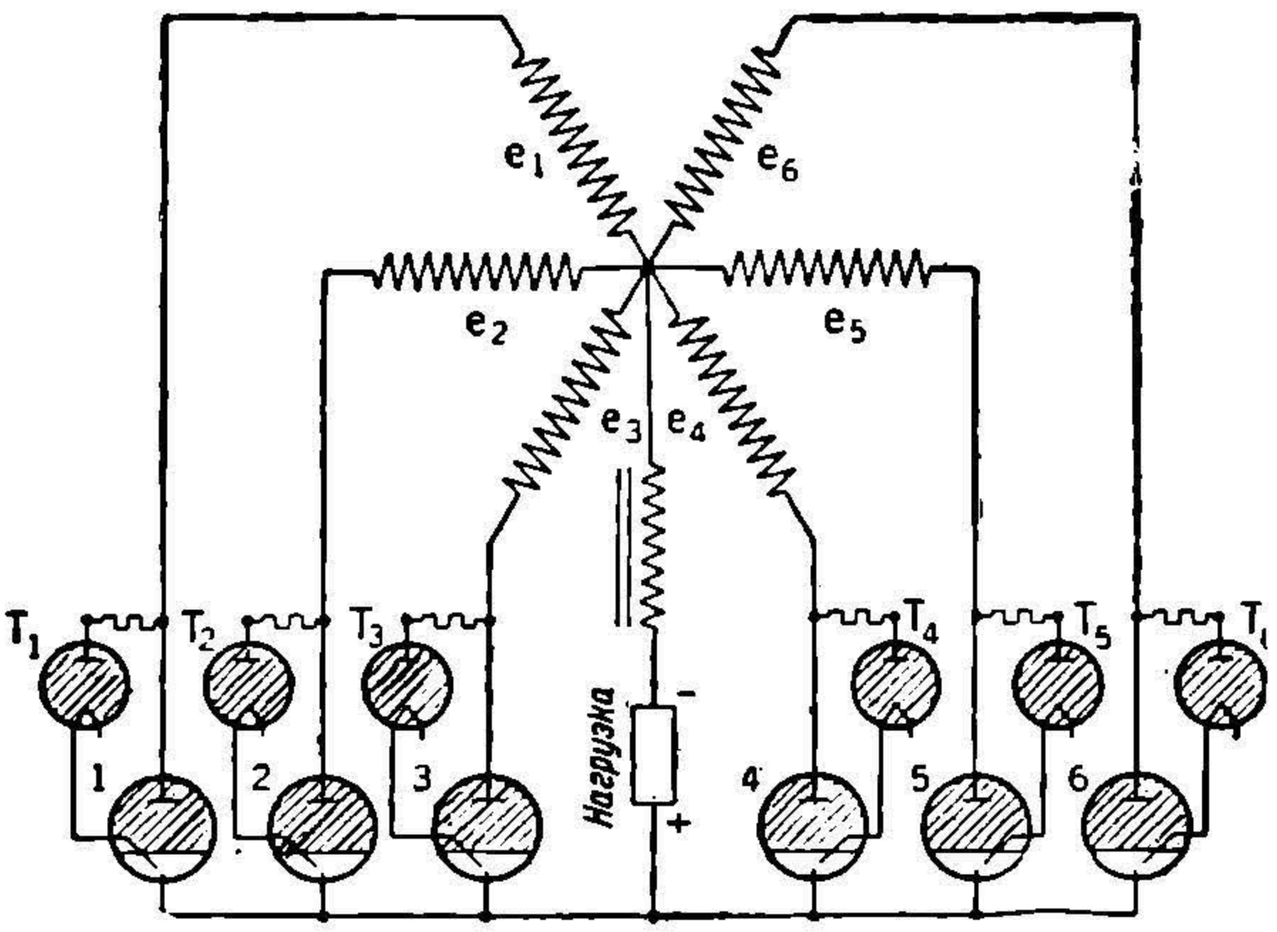
чале каждого периода проводимости, исключает необходимость изолирования ртути от стенок бака, так как промежуток времени, в течение которого дуга существует после каждого зажигания, недостаточен для того, чтобы она могла перекинуться от игнайтора, на котором она возникает, к стальному баку, в котором она могла бы прожечь отверстие.

Уменьшение возможности обратного зажигания приводит к сокращению стоимости изготовления. Отсутствие деионизирующей сетки и более короткий путь дуги уменьшают падение напряжения на дуге приблизительно до 12 V, что ведет к повышению к. п. д. Благодаря этому к. п. д. выпрямления мощности при низких напряжениях, порядка 250 V, равен или даже превы-

НЕВ УДУНТ (ДІІТ)

шает к. п. д. вращающихся преобразователей, работающих даже при более высоких напряжениях.

Игнайтронный выпрямитель применяется таким же способом, как и обычный ртутный выпрямитель, если не считать того, что для каждого анода требуется отдельный бак и что каждый бак имеет игнайтор, через который должен пропускаться ток каждый раз, когда требуется зажечь игнайтрон.

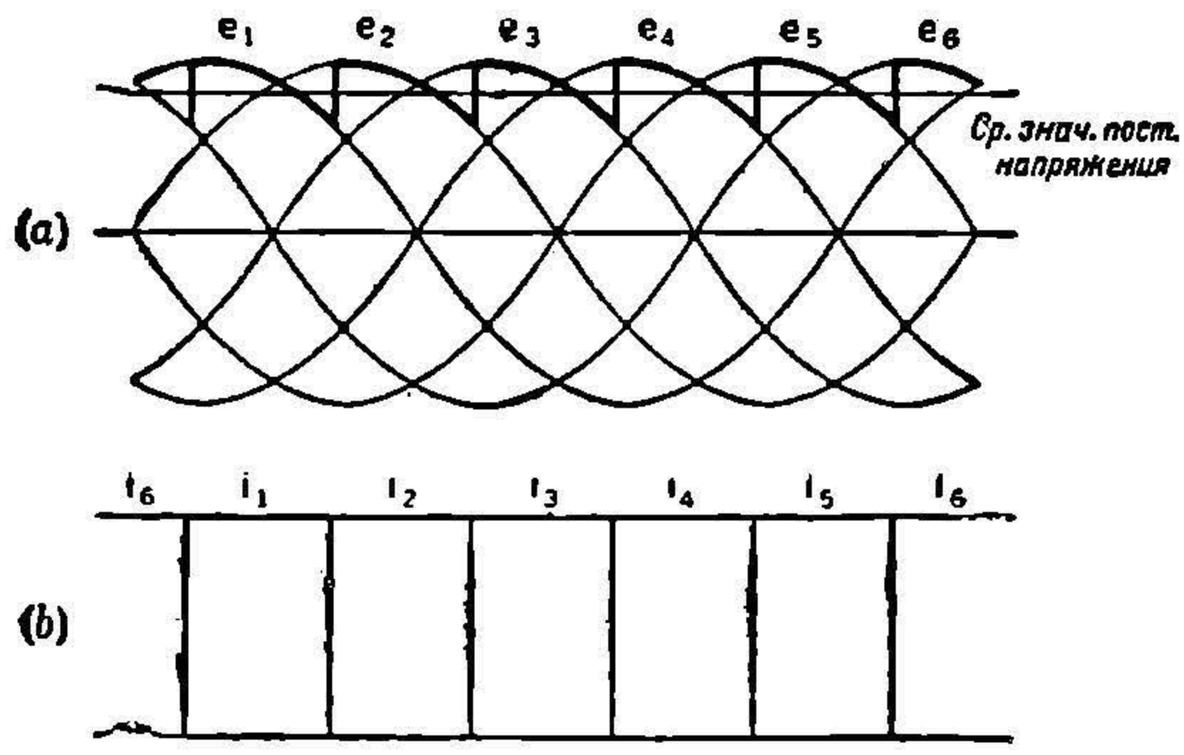


Фиг. 139. Схема шестифазного игнайтронного выпрямителя с зажиганием от тока нагрузки. Первичные обмотки трансформатора не показаны.

Зажигание производится током нагрузки, как описано в § 46. Если необходимо регулировать ток на выходе выпрямителя, то это достигается методом сдвига фазы напряжения сетки, управляющей зажиганием тиратрона.

На фиг. 139 изображена шестифазная схема выпрямления, в которой газотроны T_1 и т. д. включены между анодом и игнайтором каждого игнайтрона. Напряжения e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 и e_6 подаются соответственно к игнайтронам *1*, *2*, *3*, *4*, *5* и *6* (фиг. 140).

Коммутация тока от одного игнайтрона к другому (например, от игнайтрона *1* к игнайтрону *2*) не может наступить раньше того момента, в который e_2 сделается более положительным, чем e_1. В действительности коммутация тока происходит тогда, когда анод игнайтрона *2* делается приблизительно на 45 V более положительным, чем анод игнайтрона *1*. Это напряжение равно напряжению, при котором газотрон *2* зажигается и начинает пропускать ток, достаточный для зажигания игнайтрона *2*.



Фиг. 140. Напряжения и токи шестифазного игнайтронного выпрямителя.

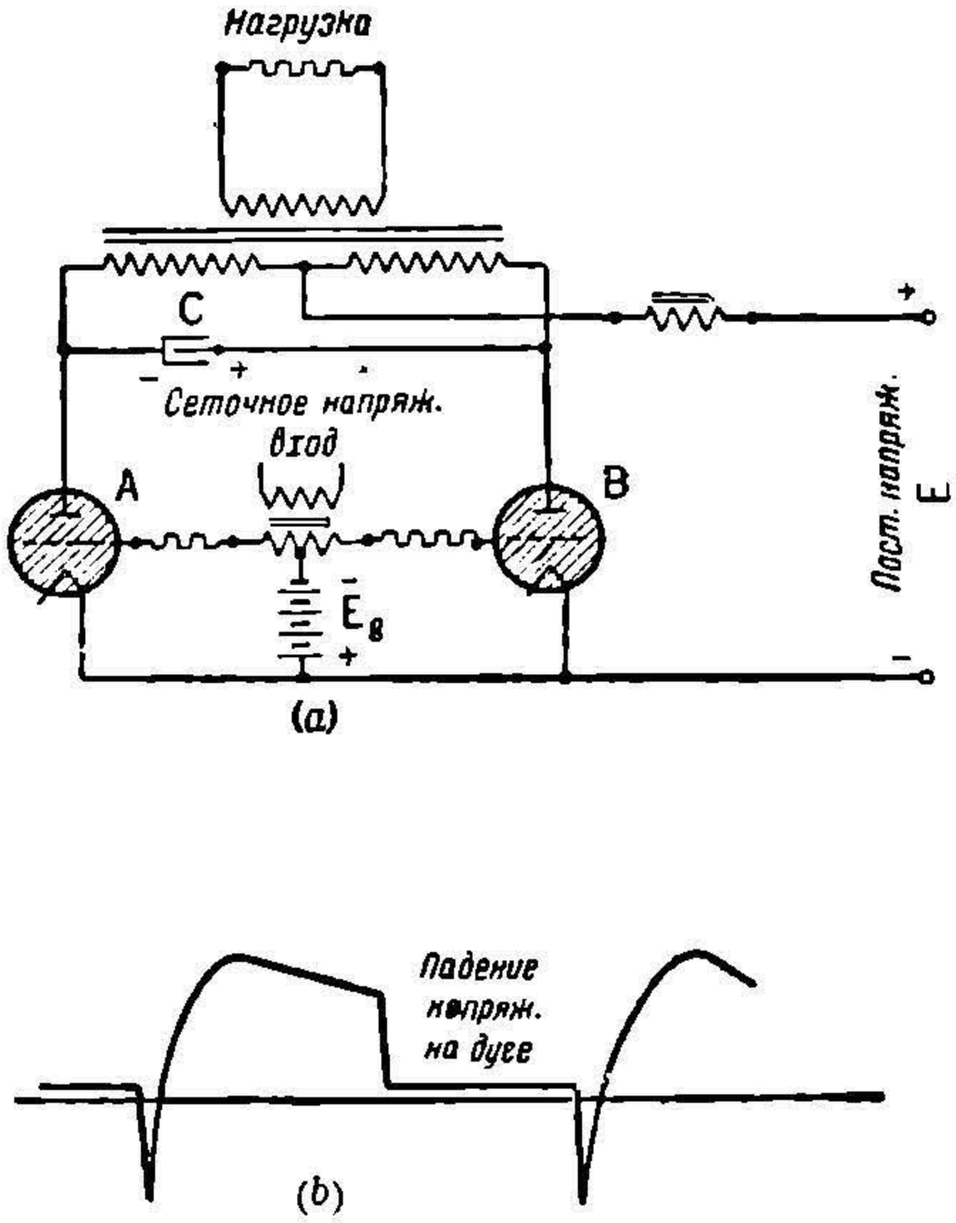
a — мгновенные напряжения и точки коммутации;
b — токи в анодах (при отсутствии индуктивности в трансформаторах).

Игнайтронный выпрямитель имеет такие же вспомогательные приспособления, как и ртутный выпрямитель. Игнайтроны имеют общую вакуумную систему для того, чтобы

НБ УДУНТ (ДІІТ)

их можно было откачивать одним общим насосом. Они имеют также общую систему охлаждения.

73. Инверторы. В настоящее время имеется много разработанных и испытанных в лабораториях схем инверторов для преобразования постоянного тока в переменный. В то время, когда писалась эта книга, основная трудность, стоящая на пути успешного развития и применения электронных инверторов, заключалась в том, чтобы уменьшить их первоначальную стоимость и стоимость замены ламп в случае применения стеклянных ламп. Повидимому, первым важным применением инверторов в промышленности будет получение токов высокой частоты для индукционных печей и для одновременного регулирования скорости нескольких моторов. Широкое применение инверторов для контроля отдельных моторов, вероятно, задержится до тех пор, пока стоимость инверторов не будет значительно снижена.



Фиг. 141. Инвертор параллельного типа.
a — схема; *b* — напряжение анод—катод.

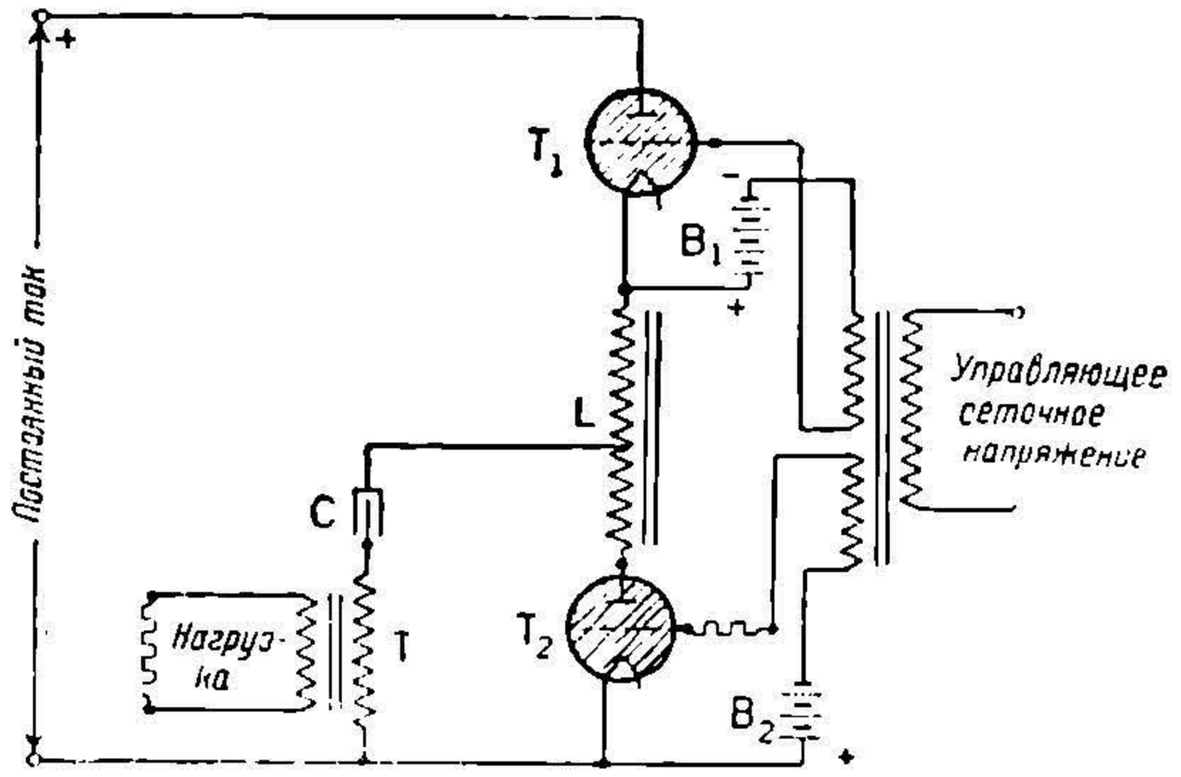
Большинство инверторов относится к схемам или последовательного или параллельного типа, требующих, по крайней мере, двух ламп. Одноламповые инверторы имеют мало значения для преобразования мощности. Схема тиратронного инвертора параллельного типа приведена на фиг. 141.

В этой схеме цепь сеток имеет самостоятельное питание. Сетки обоих тиратронов присоединены через батарею, дающую отрицательное смещение E_g к катодам. В случае приключения схемы к источнику постоянного тока тиратроны не проводят тока до тех пор, пока к сеточному трансформатору не приложено напряжение. В момент появления в сеточном трансформаторе импульса контролируемой частоты один из тиратронов, скажем, A, получивший промежуточный импульс, зажигается, а тиратрон B получает добавочное отрицательное смещение на сетку благодаря тому же импульсу. Пока тиратрон A пропускает ток, конденсатор C заряжается в указанном на фиг. 141 направлении до напряжения, равного приблизительно $2E$. Если теперь при помощи положительного сеточного импульса зажечь тиратрон B, то конденсатор C разрядится через оба тиратрона, уменьшит ток, текущий через тиратрон A, до нуля, и тиратрон A потухнет. В этот момент напряжение анод-катод тиратрона A равно напряжению на конденсаторе минус падение напряжения на тиратроне B. Так как левая обкладка нонденсатора отрицательна по

НБ УДУНТ (ДІТ)

отношению к правой обкладке, то анод тиратрона A сделается отрицательным по отношению к катоду. Пока тиратрон B проводит ток, конденсатор заряжается в обратном направлении. После зарядки конденсатора напряжение анод-катод тиратрона A увеличится от отрицательного до положительного значения (фиг. 141b). Чем меньше емкость конденсатора, тем более быстро происходит повышение напряжения анод-катод. Конденсатор для всех инверторов, работающих на статическую нагрузку, должен быть достаточно велик, чтобы давать коэфициент мощности, равный, по крайней мере, единице. Когда тиратрон A проводит ток, конденсатор разряжается в обратном направлении и заставляет потухнуть тиратрон B. Таким образом тиратроны A и B попеременно пропускают импульсы тока через обе части обмотки трансформатора. В результате во вторичной обмотке и в нагрузке, представляющей собой активное сопротивление, появляется переменный ток.

На фиг. 142 дана схема инвертора, включенного последовательно. Так же как и в описанном выше инверторе параллельного типа, сетки тиратронов T_1 и T_2 находятся при отрицательном напряжении относительно катодов благодаря наличию батареи B_1 и B_2. В случае зажигания тиратрона T_1 положительным импульсом сеточного напряжения ток потечет через одну половину L через конденсатор и первичную обмотку трансформатора T. Когда конденсатор C зарядится полностью, ток через T_1 прекратится.



Фиг. 142. Инвертор последовательного типа.

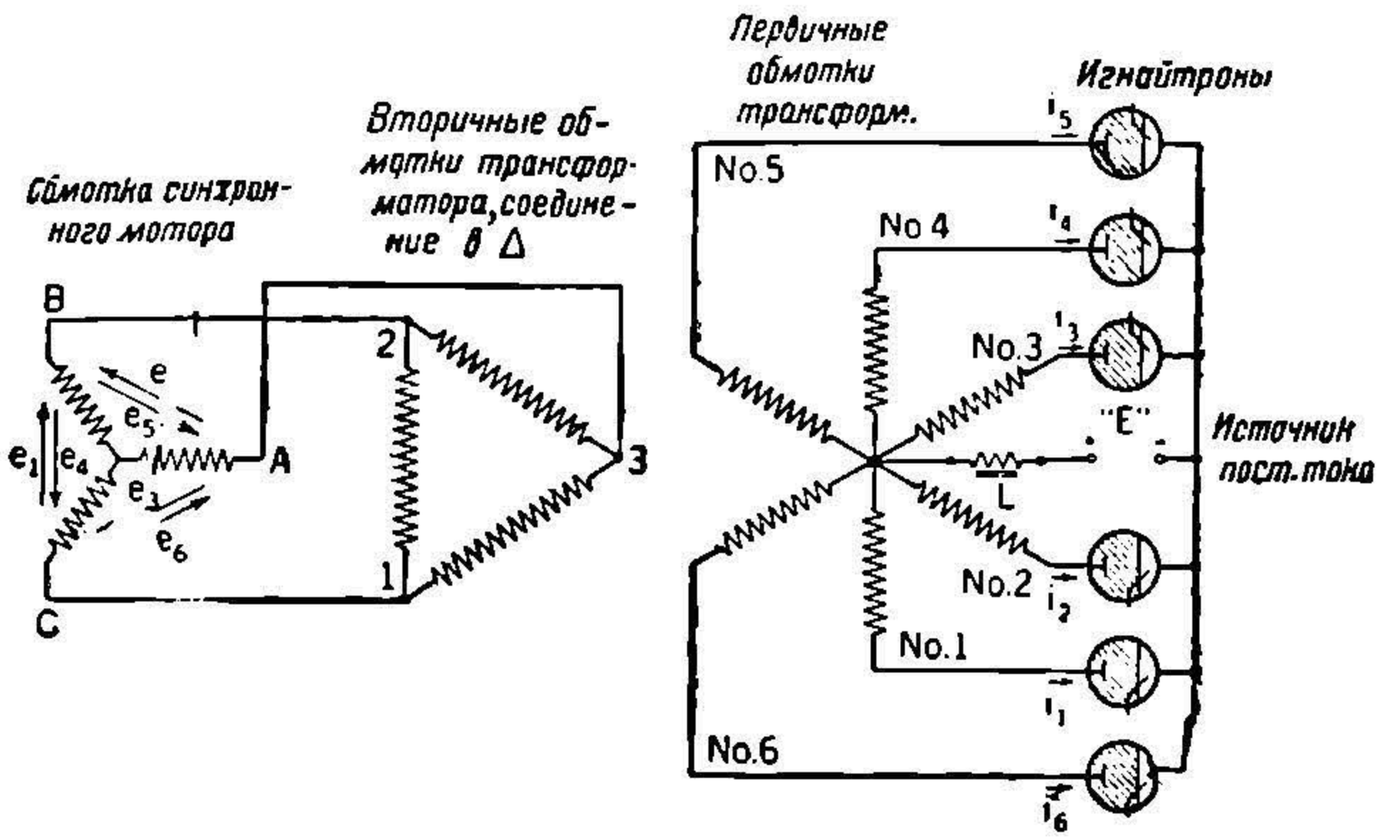
Если к сетке T_2 приложить импульс положительного напряжения, то конденсатор C разрядится через другую половину L, через тиратрон T_2 и трансформатор T.

Во время зарядки и разрядки конденсатора C ток в трансформаторе T будет течь в противоположных направлениях, и в цепи нагрузки появится переменный ток.

Процесс коммутации в простых инверторах параллельного и последовательного типа производится при помощи конденсатора. Это необходимо в том случае, когда инвертор работает на статическую нагрузку. Если инвертор служит для питания электрической машины, например, синхронного или асинхронного мотора, которые генерируют противо-э. д. с., то величина емкости может быть уменьшена до значения, при котором коэфициент мощности равняется единице. В схеме на фиг. 143 используются шесть игнайтронов, присоединенные к шестифазному трансформатору. Соединенные в треугольник вторичные обмотки трансформатора питают синхронный мотор, действующий при коэфи-

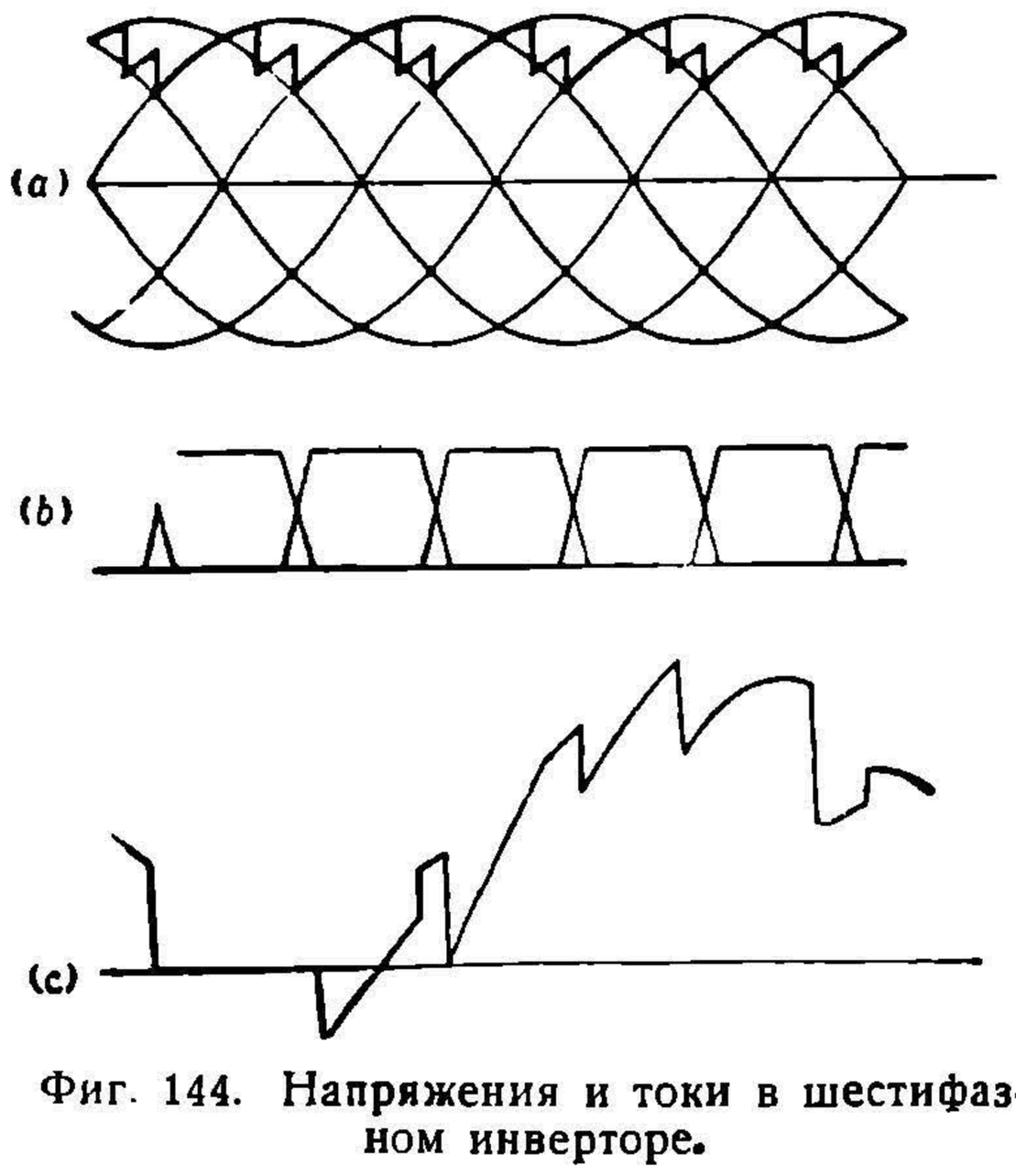
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

циенте мощности, равном единице. Пусть противо-э. д. с. машины равны e_1, e_2, e_3, а величины, обратные им по знаку, равны e_4, e_5 и e_6. На фиг. 144 даны кривые мгновенных значений этих напряжений в случае постоянного приложенного напряжения. При этом предполагается, что балластная индуктивность L, через которую протекает постоянный ток, на входе инвертора настолько велика, что ток на входе сохраняется постоянным. Предположим, что игнайтрон *1* проводит ток и игнайтрон *2* зажегся. Чтобы i_1 уменьшалось, а i_2 увеличивалось, необходимо, чтобы мгновенное значение e_1 превышало мгновенное значение e_2. Следовательно, зажигание игнайтрона *2* должно происходить раньше того момента, когда напряжение e_1 сделается равным e_2. Кроме того, процесс коммутации должен быть закончен до того, как e_1 сделается меньше чем e_2. Чем раньше происходит момент зажигания, тем меньше продолжительность процесса коммутации, но тем меньше и коэфициент мощности. Идеальным является такое положение, когда ток i_1 делается равным нулю непосредственно перед тем, как e_1 сделается равным e_2.



Фиг. 143. Шестифазный игнайтронный инвертор, присоединенный к синхронной трехфазной машине через трансформатор.

Процесс коммутации приводит к короткому замыканию между зажимами *1* и *2*. После завершения процесса коммутации i_1 становится равным нулю, а i_2 возрастает до значения, которое ток i_1 имел до коммутации. Ток через игнайтрон *2* остается при этом постоянном значении до тех пор, пока игнайтрон *3* не начнет проводить ток. Таким образом процесс продолжается дальше.



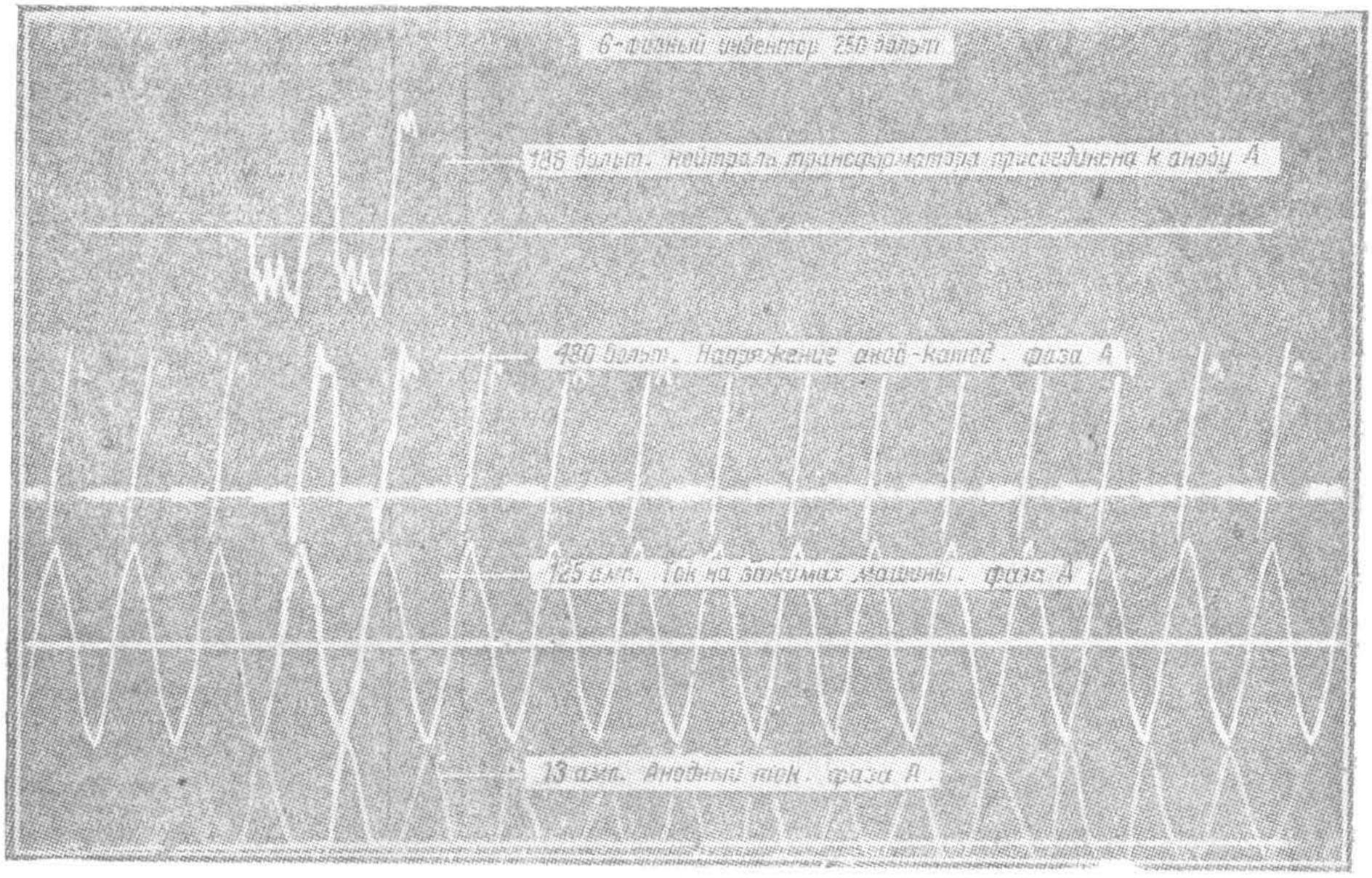
Фиг. 144. Напряжения и токи в шестифазном инверторе.

a — напряжение между нейтралью трансформатора и катодом игнайтронов; *b* — анодные токи; *c* — напряжение между анодом и катодом для игнайтрона *1*.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Игнайтроны могут управляться комбинированием методов управления, описанных в гл. V и VI. Тиратроны, применяемые для контроля игнайторов, лучше всего управляются при помощи пиковых трансформаторов, подающих положительные импульсы напряжения на сетки тиратронов. На фиг. 145 приведена осциллограмма, снятая для шестифазного инвертора, питающего синхронную машину.

Другой вид преобразования заключается в том, что переменный ток технических частот превращается в переменный ток более низких частот. Подобного рода приборы могут быть при-



Фиг. 145. Осциллограмма тока и напряжения шестифазного инвертора, работающего на синхронный мотор.

менены для приведения в действие таких устройств, как, например, вибрационные грохота. Вполне практично превращать непосредственно ток коммерческой частоты в ток более низкой частоты без выпрямления, которое необходимо при переходе к частотам, превышающим техническую частоту.

Для частот выше 15 Hz эти схемы еще не нашли широкого применения в значительной степени благодаря их высокой стоимости по сравнению с мотор-генераторными установками.

Литература

«The Single-Tube Thyratron Inverter», O. W. Livingston and H. E. Lord, Electronics, April, 1933, pp. 96—97.

H. J. Reich, Rev. Sci. Instruments, October, 1932; March, 1933; Elec. Eng., December, 1933.

P. H. Craig, Electronics, May, 1933, p. 639.

«The Parallel Type of Inverter», Elec. Eng., April, 1933.

Baker and Cornell, Electronics, October, 1931.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

«Discharge Tubes for Rectification, Inversion, and Frequency Changing» Elek. Masch., pp. 317—325, May 29, 1932.
«Technical Principles and Uses of the Grid-Controlled Rectifier and Static Frequency Changer», Dr. M. Schenkel, Siemens Rev., No. 4, Vol. VIII, 1932.
«Direct-Current Transformer Utilizing Thyratron Tubes», D. C. Prince, Gen. Elec. Rev., Vol. 31, pp. 347—350, July, 1928.
«A Study of the Thyratron Commutator Motor», C. H. Willis, Gen. Elec. Rev. February, 1933, p. 76.
«Harmonic Commutation for Thyratron Inverters and Rectifiers», C. H. Willis, Gen. Elec. Rev., December, 1932.
«The Use of Triode Rectifiers to Supply Constant Voltages», L. A. Richards, Rev. Sci. Instruments, September, 1933, p. 481.
«The Mercury Arc Rectifier Applied to A-C. Railway Electrification», O. K. Marti, AIEE Trans. Vol. 51, p. 659.
«Improvements in Mercury Arc Rectifiers», J. H. Cox AIEE Trans., Vol. 52, p. 1082.
«High Capacity Rectifier Efficiency Improved by Sectionalizing», A. L. Atherton, AIEE Trans., Vol. 51, pp. 511—517.
«Lackawanna Electrification», E. L. Moreland, AIEE Trans.Vol. 50, pp. 618—632.
«Mercury Arc Rectifiers and Circuits», Prince and Vodges, McGraw-Hill Book Co., Inc.
«Mercury Arc Power Rectifiers» Marti and Winograd, McGraw-Hill Book Co.
«Hot-Cathode Mercury-Vapor Rectifier Tubes», Steiner and Moser, Proc. IRE, January, 1930.
«Mercury Arc Rectifier Research», Hull and Brown, AIEE Trans., Vol. 50, pp. 744—756.
«Recent Developments in High Current Mercury Arc Rectifiers», Reid and Nerskind, AIEE Trans., Vol. 52, pp. 392—396.
«The Ignitron Type of Inverter», Wagner and Ludwig, Elec. Eng., October 1934, pp. 1384—1388.
«New Applications of Rectifiers for Voltage and Power Regulation, Regenaration, High Voltage Transmission and Frequency Conversion», Schenkel and Issendorf, Siemens-Zeitschrift, March 1931.
«The Thyratron Motor», Alexanderson and Mittag, Elec. Eng., November, 1934, pp. 1517—1523.
«Constant Current D-C. Transmission», Willis, Bedford and Elder, Elec. Eng., January, 1935, p. 102.

Глава X

КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ АППАРАТОВ

Процесс электросварки заключается в пропускании большого тока через свариваемую деталь и в ее нагревании благодаря потерям в веществе детали, и в особенности в месте соединения ее отдельных частей. Существует много различных видов электросварки: точечная, шовная, стыковая, рельефная, цепочечная, кольцевая, трубочная, шовная, сварка плавлением.

Качество сварки зависит от: силы тока, давления между свариваемыми частями, теплопроводности, состояния поверхности металла и продолжительности пропускания тока.

Сварочная аппаратура конструируется в зависимости от химического состава, размеров и формы свариваемых деталей. Способы применения и работа электросварочных аппаратов основаны на эмпирических данных, собранных в течение ряда лет. Качество сварки в значительной степени зависит от электрического сопротивления, контактного сопротивления между частями, теплопроводности и пластических свойств свариваемых веществ. Контактное сопротивление определяется давлением электродов.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Продолжительность времени пропускания тока и давление, приложенное к свариваемым частям, определяют количество тепла, выделяющееся в месте сварки.

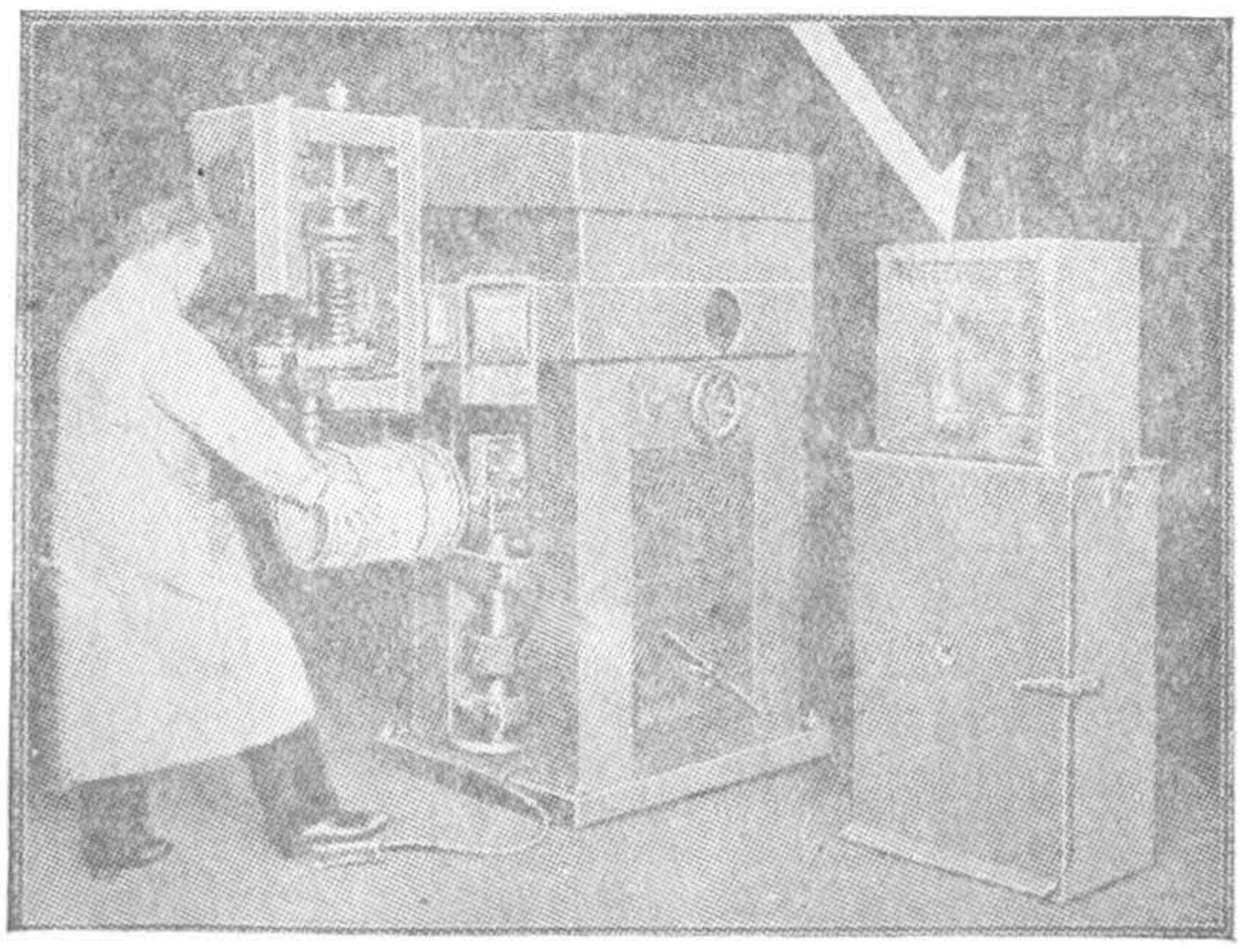
74. Аппараты для точечной сварки. Процесс точечной сварки и сварки точечным швом заключается в пропускании больших токов через свариваемые детали, сжатые друг с другом под большим давлением между электродами. Давление облегчает соединение деталей при достижении ими температуры размягчения металла. Ток включается после приложения давления и выключается до момента освобождения деталей от давления. Делается это для того, чтобы избежать распыления металла и обгорания электродов.

Основными частями электросварочного аппарата являются: сварочный трансформатор, электродные рукоятки, держатели электродов, электроды, переключатель между выводами трансформатора и контрольные приборы.

Трансформатор может иметь воздушное или водяное охлаждение и служить для понижения напряжения до низкого значения порядка 1—15 V в зависимости от вида применения.

Электродные рукоятки должны быть достаточно прочными, чтобы выдерживать высокие требуемые давления, которые могут доходить до 400 kg для деталей толщиной 1,5 mm и до еще более высоких значений для более массивных деталей. Электродные рукоятки, держатели электродов и электроды должны изготовляться из низкоомного материала, так как они должны пропускать большие токи с минимальными потерями.

Электроды обычно изготовляются из медного сплава, имеющего высокую механическую прочность и высокую электропроводность. Такие электроды не свариваются с деталями.



Фиг. 1 Аппарат для точечной сварки с игнайтронным реле времени.

Переключатель служит для изменения вторичного напряжения и тока сварки. Контроль может быть простым или сложным в зависимости от требуемой точности выдержки времени сварки.

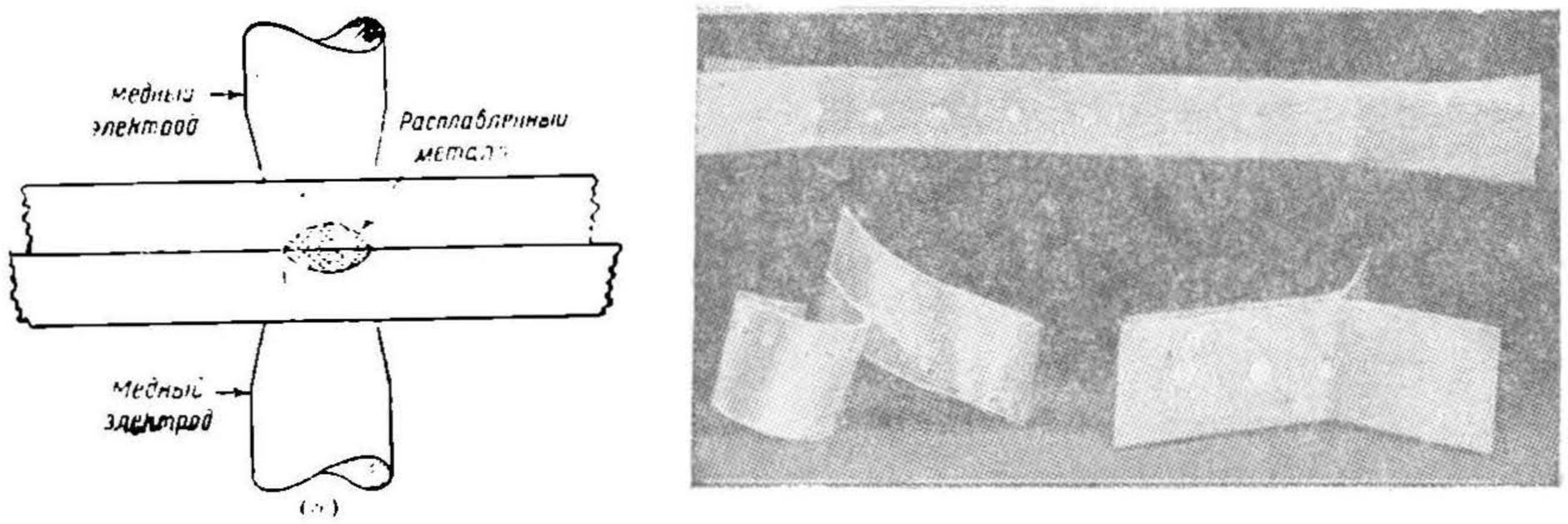
75. Контроль и выдержка времени при точечной сварке. Простейшая форма управления при ручной сварке заключается в ручном воздействии на электроды и токовый рубильник. Этот метоприменим только для некоторых легко свариваемых металлов. Полуавтоматический сварочный аппарат

НБ УДУНТ (ДІІТ)

автоматически выдерживает нужное время сварки, но требует от оператора нажатия контрольной педали при каждой новой сварке. Аппарат не производит процесс сварки автоматически. Полностью автоматизированный сварочный аппарат производит непрерывно сварку до тех пор, пока оператор не отпустит ножную педаль.

Работа аппарата может быть полностью механизирована. В этом случае электроды передвигаются мотором, а продолжительность протекания тока устанавливается кулачковым механизмом, приводимым в движение тем же мотором. Такой способ выдержки времени сварки имеет ограниченную точность, так как ток включается и выключается контактором, время срабатывания которого не имеет строго определенного значения. Кроме того, срок службы непрерывно работающего контактора невелик. Для более точного контроля во времени процесса сварки и для уменьшения эксплоатационных расходов и простоев были разработаны различные типы электронных реле времени.

76. Электронный контроль сварочного контактора. В этом случае электронный прибор определяет промежуток времени,



Фиг. 147.

a — распределение тока при точечной сварке, указывающее на место плавки металла при коротком импульсе тока; *b* — сваренные образцы. Наверху — алюминиевый образец толщиной 0,032 дм. Продолжительность сварочных импульсов в период ($^1/_{60}$ сек). Внизу слева — образец из нержавеющей стали толщиной 0,015 дм. Продолжительность сварочных импульсов — два периода. Внизу справа — алюминиевый образец толщиной 0,06 дм. Продолжительность сварочных импульсов два периода.

в течение которого сварочный контактор остается замкнутым после получения импульса от ножной педали или кулачкового механизма. Так как принцип работы этого прибора основан на применении магнитных реле и контакторов, время срабатывания которых может изменяться на 2 периода при частоте в 60 Hz, то его применение ограничено выдержками времени сварки не на много меньше чем 8—10 периодов. Такого рода прибор описан в § 91.

77. Электронный контроль сварочных аппаратов. Пневматические аппараты для точечной сварки имеют много преимуществ по сравнению с аппаратами, приводимыми в действие моторами. Главное их преимущество заключается в том, что они обеспечи-

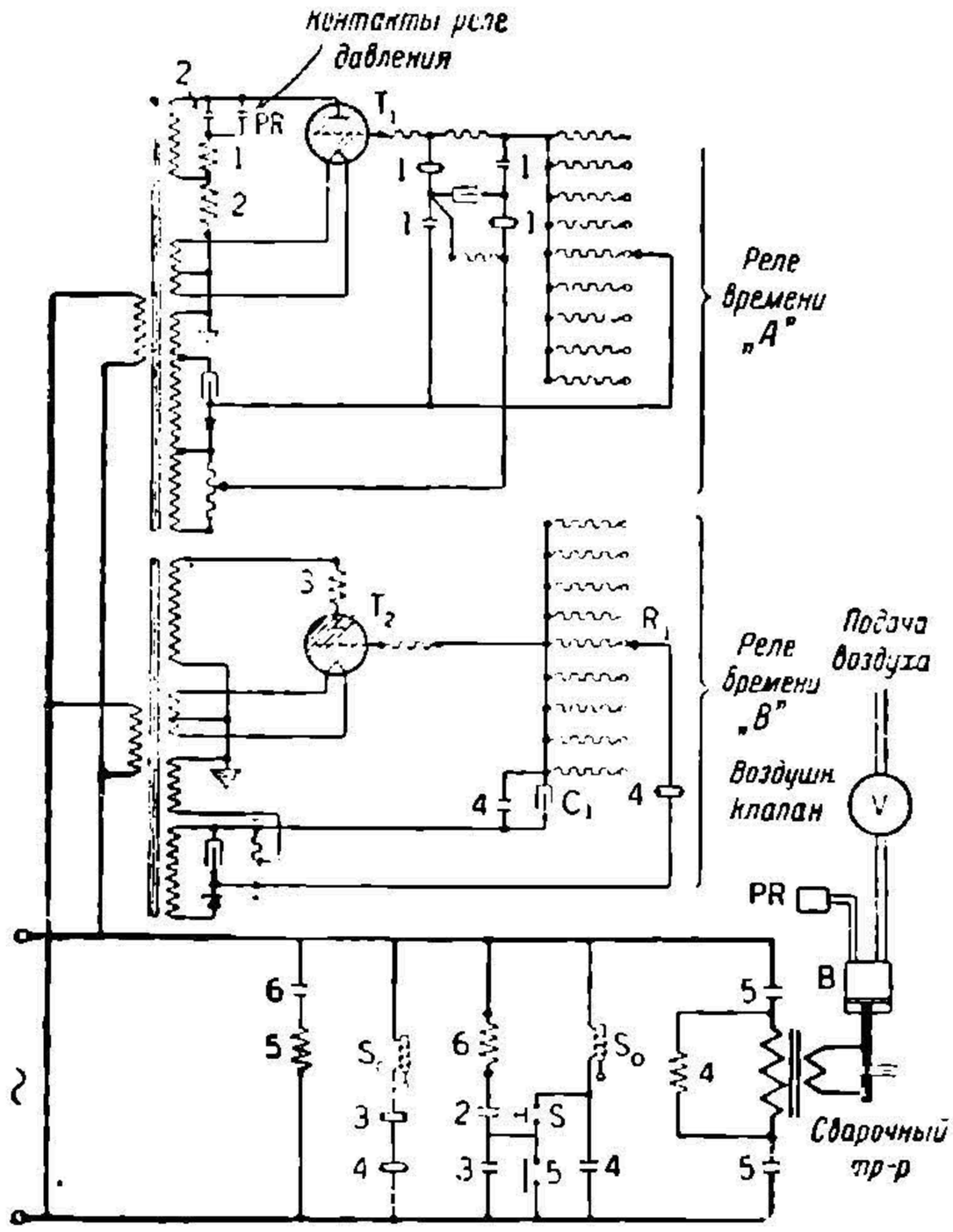
НБ УДУНТ (ДІІТ)

вают постоянство давления между электродами в течение всего процесса сварки.

Электроды прикрепляются к поршню, на который воздействует сжатый воздух. Для совершенного управления требуется не только точность в выдержке определенного промежутка времени протекания сварочного тока, но и в промежутке, в течение которого электроды должны быть открыты для того, чтобы рабочий успел передвинуть свариваемую деталь.

Если на одном и том же аппарате должна производиться сварка различного рода, то необходимо иметь возможность регулировать оба этих промежутка времени.

На фиг. 148 приведена схема аппарата, в котором предусмотрено управление продолжительностью обеих операций. Время сварки измеряется от момента достижения в цилиндре давлением предписанного значения, определяемого пневматическим реле. В конце сварочного периода электроды расходятся и начинается управление периодом, в течение которого ток выключен. Последний промежуток определяется вторым электронным реле времени. В конце этого промежутка воздушный клапан опять открывается, и последовательность действий повторяется. Схема *A* (фиг. 148) контролирует продолжительность времени, в течение которого сварочный контактор *5* включен, а схема *B* — продолжительность времени, в течение которого контактор *5* выключен и электроды разомкнуты.



Фиг. 148. Схема электронного реле времени для контроля сварочного аппарата.

Подробное описание работы схемы *A* дано в § 91. При нажатии педали *S* включается воздушный клапан, открывающий соленоид S_0. Включение производится при помощи контактов реле *3*, которые находятся в замкнутом положении, так как в нормальных условиях через реле течет ток тиратрона T_2. Как только давление в цилиндре *B* поднимется до заданного значения, реле *PR* срабатывает и заставляет сработать реле *1*, которое при помощи реле времени *A* включает одно за другим реле *2*, *6* и *5*. Когда реле времени *A* выключает реле *2*, реле *6* и *5* также выключаются и выключают сварочный агрегат. Во время периода выдержки времени реле *4* включено, благодаря чему

БНТУ УДУНТ (ДІІТ)

конденсатор C_1 разряжается и сетка тиратрона T_2 имеет высокий отрицательный потенциал. Это выключает реле *3*, контакты которого служат для включения воздушного клапана, замыкающего соленоид S_c, и выключения вспомогательной цепи, параллельной блокировочному выключателю *5*.

Кроме того, при замыкании реле *4* блокируется соленоид S_0, благодаря чему вся последовательность сварочных операций продолжает выполняться даже в том случае, если ножная педаль *S* отпущена.

После выключения сварочного аппарата в конце сварочного периода реле *4* выключается, и его задние контакты включают соленоид S_c, который воздействует на клапан *V*. Клапан *V* выпускает воздух из верхней части воздушного цилиндра *B* в атмосферу и давит на нижнюю часть поршня.

При размыкании реле *4* конденсатор C_1 начинает заряжаться через сопротивление R_1. Сетка тиратрона T_2 поддерживается отрицательной по отношению к катоду благодаря падению напряжения на R_1, которое создается зарядным током конденсатора C_1. Через промежуток времени, зависящий от постоянной времени R_1C_1, тиратрон T_2 зажигается и включает реле *3*. Если ножная педаль при этом все еще нажата, то цикл повторяется.

Период сварки устанавливается реле времени *A* таким образом, чтобы получать удовлетворительную сварку независимо от рабочей скорости.

Затем регулируется реле времени *B* с таким расчетом, чтобы рабочий как раз успевал передвинуть свариваемую деталь. Оба промежутка времени можно регулировать независимо друг от друга.

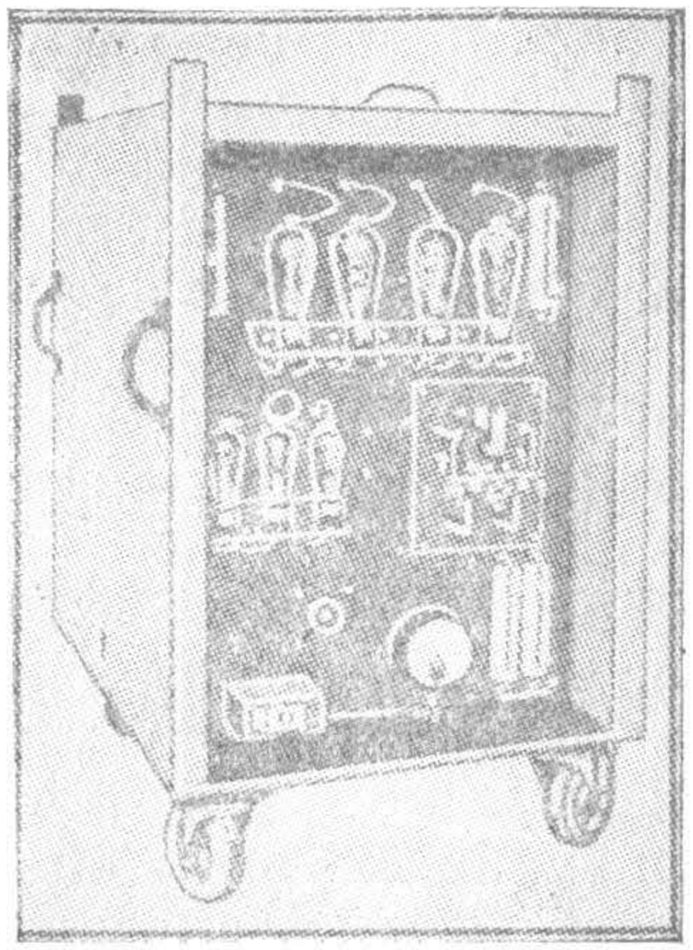
78. Игнайтронное реле времени для контроля точечной сварки. Точность в выдержке промежутков времени, достижимая при помощи контакторов, включаемых кулачковыми механизмами или даже электронными схемами, не достаточна для успешной сварки таких материалов, как алюминий и нержавеющая сталь. Давление и ток можно очень хорошо контролировать в соответствии с требованиями. Контроль времени удобнее всего производить электронными схемами, исключающими необходимость применения мощных контакторов и пропускающими ток в течение заранее заданного числа периодов.

Игнайтронное реле времени для сварки питает током первичную обмотку сварочного трансформатора непосредственно через игнайтроны, управляемые электронной схемой. Реле времени можно регулировать таким образом, чтобы оно пропускало ток в течение промежутков времени от одного до любого числа периодов. Переменный ток включается в момент прохождения через нуль в начале сварки и продолжает протекать до конца последнего полупериода.

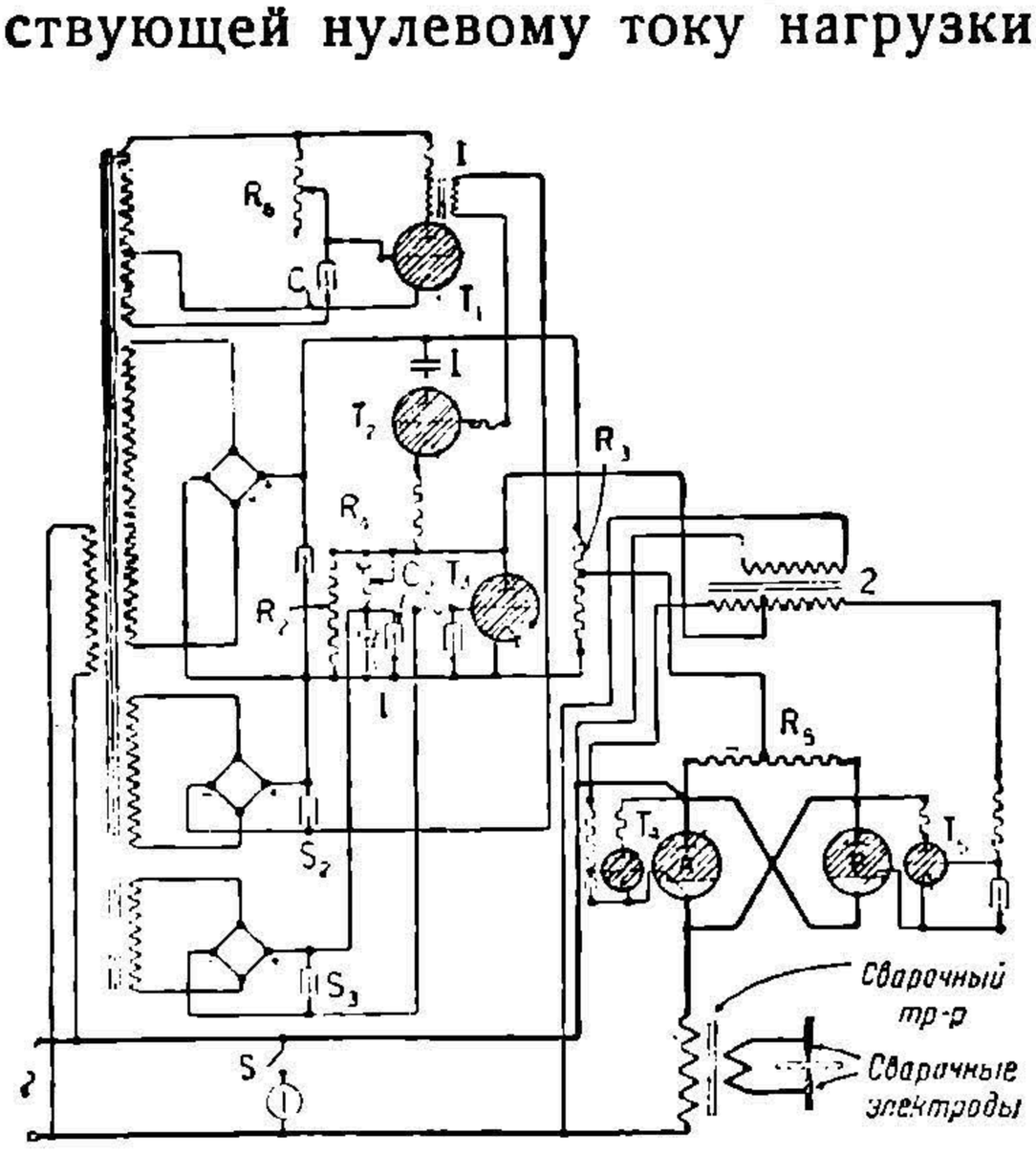
При регулировке времени учитывается коэфициент мощности сварочного аппарата для того, чтобы включение тока не могло вызвать вредных переходных процессов, которые могут произойти, если игнайтроны включены в неверной точке периода.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Схема игнайтронного реле времени для сварки дана на фиг. 150. Последовательность операций во времени завершается каждый раз после включения рубильника S, причем продолжительность периода сварки регулируется потенциометром R_4. Сварочный ток всегда начинается в заранее предписанной точке волны напряжения, определяемой коэфициентом мощности нагрузки независимо от момента включения рубильника. Тиратроны T_1, T_2 и T_3 служат для контроля времени. Тиратроны T_4 и T_5 управляют при помощи игнайторов зажиганием игнайтронов A и B. Тиратрон T_1 управляет началом сварочной операции. Он питается от того же источника переменного тока, что и сварочный аппарат или от синхронного с ним источника тока. Сдвиг фазы между переменными напряжениями сетки и катода регулируется относительно анодного напряжения при помощи конденсатора C_1 и переменного сопротивления R_6. Когда сетка становится положительной, тиратрон зажигается в заданной точке положительной полуволны анодного напряжения, соответствующей нулевому току нагрузки. При зажигании тиратрона T_1 во вторичной обмотке трансформатора *1* наводится импульс напряжения.



Фиг. 149. Игнайтронное реле времени для точечной сварки; игнайтроны металлические с насосной системой.



Фиг. 150. Схема игнайтронного реле времени для контроля точечной сварки.

После замыкания рубильника и при следующем импульсе напряжения, проходящем через трансформатор *1*, зажигается тиратрон T_2 и включает сварочный ток. До этого момента тиратрон T_2 был заперт отрицательным сеточным напряжением S_2. После зажигания T_2 положительное сеточное напряжение, получающееся благодаря падению напряжения на сопротивлении R_2, подается на сетки T_4 и T_5. При зажигании T_4 и T_5 зажигаются и игнайтроны (см. § 46). Сетки T_4 и T_5 имеют отрицательный потенциал благодаря падению напряжения на нижней половине потенциометра R_3, когда через R_2 не течет ток. После зажигания T_2 через сопротивление R_5 и трансформатор *2*

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

на сетки T_4 и T_5 попадает противоположное по знаку напряжение. Трансформатор *2* и сопротивление R_5 служат для уничтожения разности потенциалов между сетками T_4 и T_5, существующей благодаря способу соединения обоих тиратронов. Когда через сварочный трансформатор не течет ток, напряжение между катодом T_4 и катодом T_5 равняется полному напряжению в линии. Соединение трансформатора с потенциометром дает возможность запирать оба тиратрона одним и тем же постоянным напряжением даже в том случае, если между катодами приложено полное линейное напряжение. Когда ток через тиратрон и игнайтор достигает достаточной величины, игнайтрон принимает на себя нагрузку и закорачивает тиратрон.

Выключающий тиратрон T_3 имеет отрицательное смещение S_3 на сетке, когда контакты *1* замкнуты. После зажигания пускового тиратрона T_2 конденсатор C_2 начинает заряжаться через переменное сопротивление R_4. Через определенный промежуток времени, зависящий от C_2 и R_4, конденсатор C_2 приобретает достаточный заряд, чтобы преодолеть отрицательное смещение S_3 на сетке тиратрона T_3, и последний зажигается. Сопротивление R_2 оказывается закороченным через T_3 и напряжение на T_3 и R_2 делается равным падению напряжения дуги. Затем сеточное напряжение тиратронов T_4 и T_5 делается отрицательным, препятствуя вторичному зажиганию в течение последующего полупериода, и сварочный ток таким образом прекращается. Зажигание тиратрона T_3 должно происходить только в течение последнего полупериода сварочного тока, так как игнайтрон будет пропускать ток до следующего прохождения сварочного тока через нуль. Между периодами сварки необходимо выключать рубильник S и таким образом тушить тиратроны T_2 и T_3. Кроме того, между периодами сварки необходимо разряжать конденсатор C_2. Это достигается закорачиванием его задними контактами контрольного реле *1*.

79. Аппарат для шовной сварки. Основные части аппарата для шовной сварки аналогичны частям аппарата для точечной сварки, описаннным в § 74.

Главное различие заключается в том, что электроды в аппарате для шовной сварки имеют вид не стержней, к которым прикладывается давление, а колес, прокатываемых по противоположным сторонам свариваемого материала. Ток непрерывно включается и выключается с такой скоростью, чтобы сваренные места перекрывали друг друга, давая непрерывный шов. Если необходимо получать ряд отдельных сваренных мест, то частота включения и выключения тока понижается. Отношение времени, в течение которого ток включен, ко времени, в течение которого он выключен, зависит от рода свариваемых изделий. Абсолютное значение промежутков времени включения и выключения тока также должно устанавливаться в соответствии со свойствами свариваемого материала. Время включения колеблется между 1 и 8 периодами, а время выключения — между одним и таким чис-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

лом периодов, которое необходимо для получения заданного расстояния между сваренными местами.

Шовная сварка связана с большими механическими и электрическими трудностями, чем точечная сварка, так как к сварочным колесам требуется подводить токи до 40000 А при напряжении в несколько вольт. Ток подводится через подшипник, в котором вращается ось с укрепленным на ней сварочным колесом.

80. Контроль шовных сварочных аппаратов. В большинстве случаев ток, подводимый к аппарату для шовной сварки, необходимо все время прерывать, так как непрерывное течение тока может привести к перегреву свариваемых изделий во время процесса сварки. Если бы ток не прерывался, то через некоторое время количество тепла, идущее на сварку, делалось бы больше, чем в начале процесса сварки. Для некоторых материалов и для некоторых толщин можно увеличивать скорость подачи и производить сварку без прерывания переменного тока.

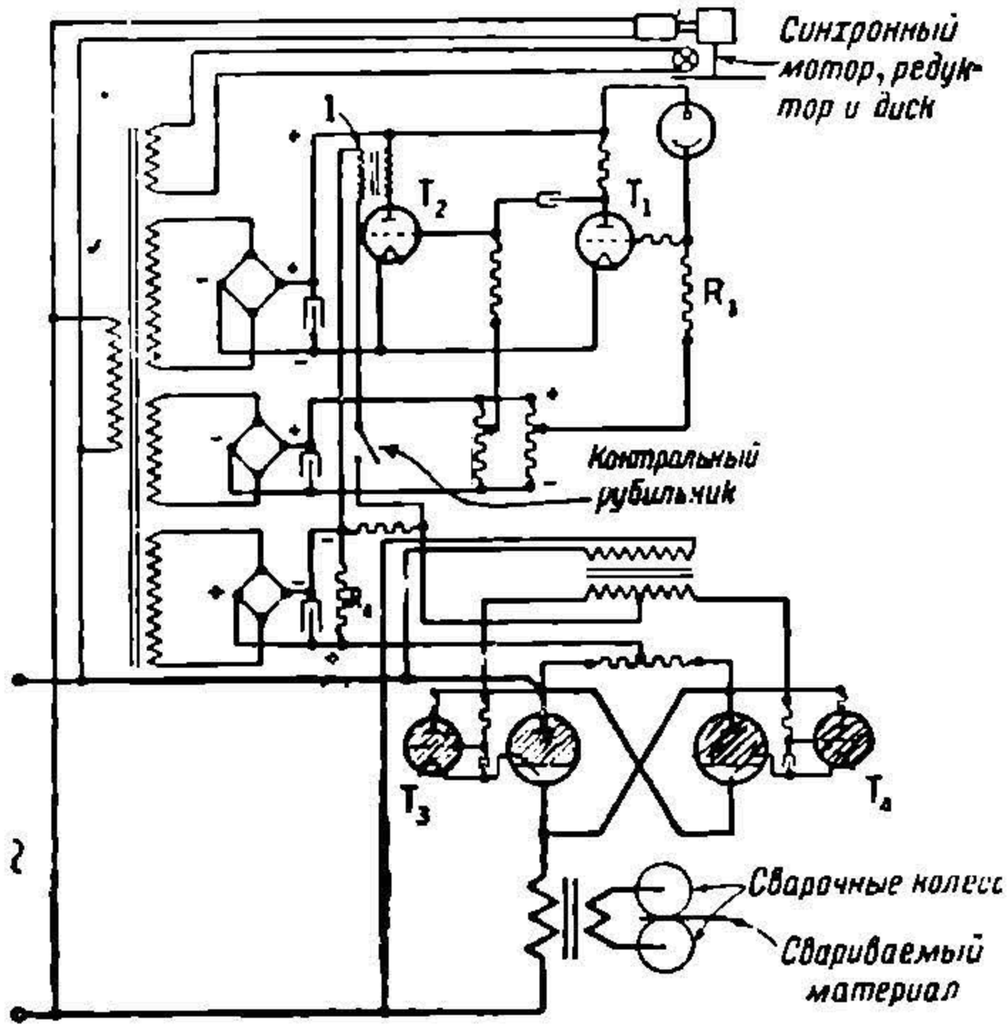
В тех случаях, когда требуется прерывание тока, оно обычно должно происходить настолько часто, что такие электромеханические приборы, как, например, контакторы очень быстро выбывают из строя. Если нагрузка не очень высока и коэфициент мощности строго постоянен, то в качестве прерывателя можно воспользоваться синхронным выключателем. Этот прибор замыкает и размыкает цепь в момент прохождения тока через нуль, дабы уменьшить возможность образования дуги на контактах до минимума. При больших токах и большой частоте прерывания тока наиболее надежный метод управления сварочным током состоит в применении электронных приборов.

81. Игнайтронное реле времени для шовной сварки. Принципы действия игнайтронных реле времени для шовной и для точечной сварки аналогичны, если не считать того, что в первом ток включается и выключается в соответствии с заранее заданной периодической последовательностью. Время включения и время выключения можно регулировать независимо друг от друга. Продолжительность периодов включения и выключения контролируется при помощи фотореле, состоящего из диска с прорезями, прерывающего при вращении пучок света, падающий на фотоэлемент.

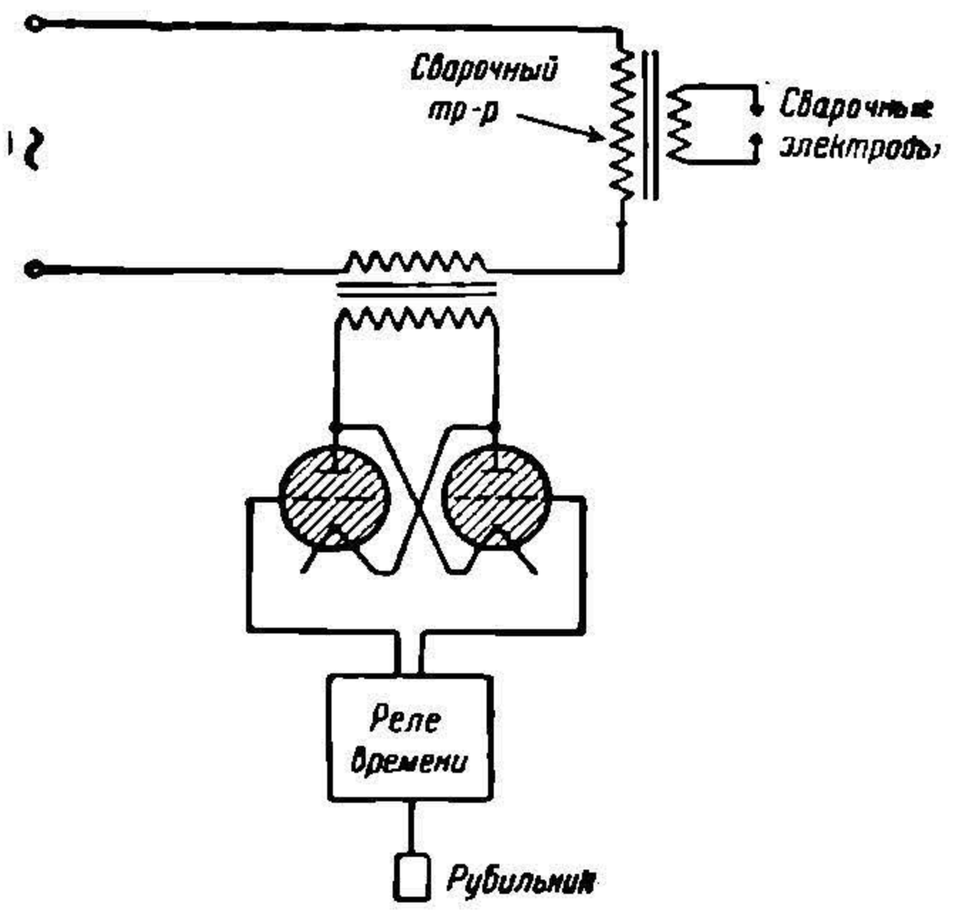
Синхронный мотор, вращающий диск, питается от источника сварочного тока. Число оборотов диска подбирается таким образом, чтобы в течение каждого полупериода мимо фотоэлемента проходила только одна прорезь. Если все прорези открыты, то импульсы света от лампы, установленной на противоположной стороне диска, попадают на фотоэлемент через одинаковые промежутки, равные одному полупериоду. Световые импульсы вызывают появление тока в сопротивлении R_1 (фиг. 151), которое включено последовательно с сеткой первой усилительной лампы T_1 двухкаскадного усилителя с емкостной связью. Импульс усиливается, и выходной трансформатор *1* подает положительное напряжение на сетки тиратронов T_3 и T_4. Сетки тиратронов

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

в нормальных условиях имеют отрицательный потенциал благодаря падению напряжения на R_4. Управление смещением тиратронов производится таким же способом, как и в реле времени для точечной сварки (см. § 78). Таким образом каждая открытая прорезь вызывает появление положительного импульса, который заставляет сварочный ток протекать в течение одного полупериода. Режим работы или отношение времени включения ко времени выключения можно изменять, закрывая большее или меньшее число прорезей, так как открытые прорези соответствуют наличию, а закрытые прорези—отсутствию сварочного тока.



Фиг. 151. Схема игнайтронного реле времени для контроля шовной сварки.



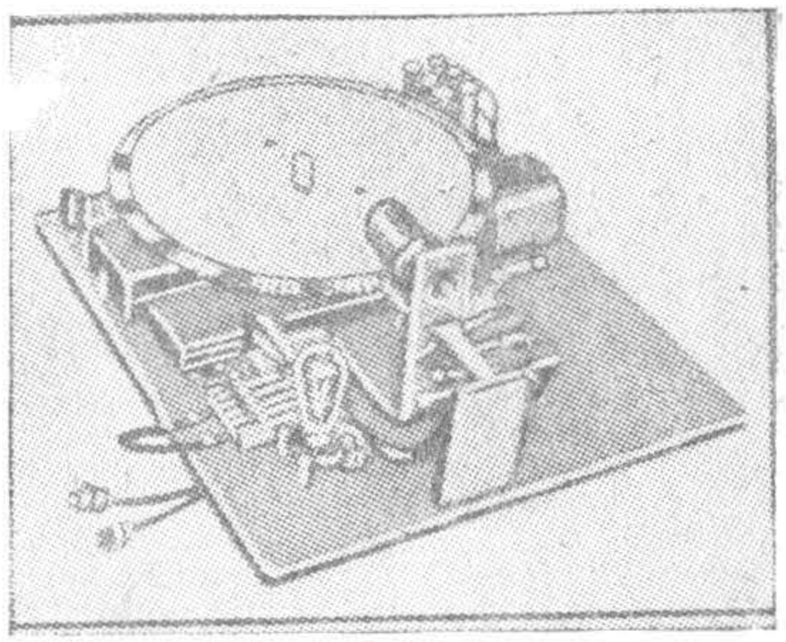
Фиг 152. Схема сварочного реле времени фирмы General Electric.

Продолжительность положительных сеточных импульсов можно изменять так, чтобы ток всегда возникал в нужной точке волны напряжения, соответствующей нулевому току. Это достигается совместным передвижением источника света и фотоэлемента относительно диска и сохранением параллельного направления светового пучка относительно центра диска. Таким способом можно изменять положение момента получения импульса сетками тиратронов относительно волны переменного напряжения, приложенного к тиратронам и игнайтронам.

Фирма Дженерал Электрик разработала реле времени для сварки с вспомогательным трансформатором, включенным последовательно со сварочным трансформатором (фиг. 152). Вторичная обмотка этого трансформатора присоединена непосредственно к ртутным тиратронам. Когда тиратроны не пропускают ток, вспомогательный трансформатор имеет высокое сопротивление, и через сварочный аппарат течет только ток намагничения. Когда тиратроны проводят ток, сопротивление вспомогательного трансформатора очень мало, и через сварочный трансформатор течет полный ток. Основное преимущество этой схемы заключается в том, что в ней можно пользоваться тиратронами, рассчитанными на более

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

низкие значения тока при данной нагрузке, выраженной в киловольтамперах, сконструировав вспомогательный трансформатор с высоким вторичным напряжением. Это свойство схемы имеет очень большое значение в случае применения тиратронов, для которых допустимо низкое значение отношения максимального к среднему току.



Фиг. 153. Фотоэлектрическое реле времени для контроля шовной сварки.

82. Основные характеристики игнайтронных реле времени. Игнайтроны характеризуются тремя основными величинами: средним током, средним квадратичным значением тока и максимальным допустимым током. Эти характеристики даются для каждого отдельного игнайтрона. Металлический игнайтрон на фиг. 32 рассчитан на средний ток в 200 А и на максимальный ток в 5 000 А. Среднее квадратичное значение тока для этого игнайтрона не указывается.

Указание среднего допустимого значения тока необходимо потому, что нагревание игнайтрона, исключая подводящие про-



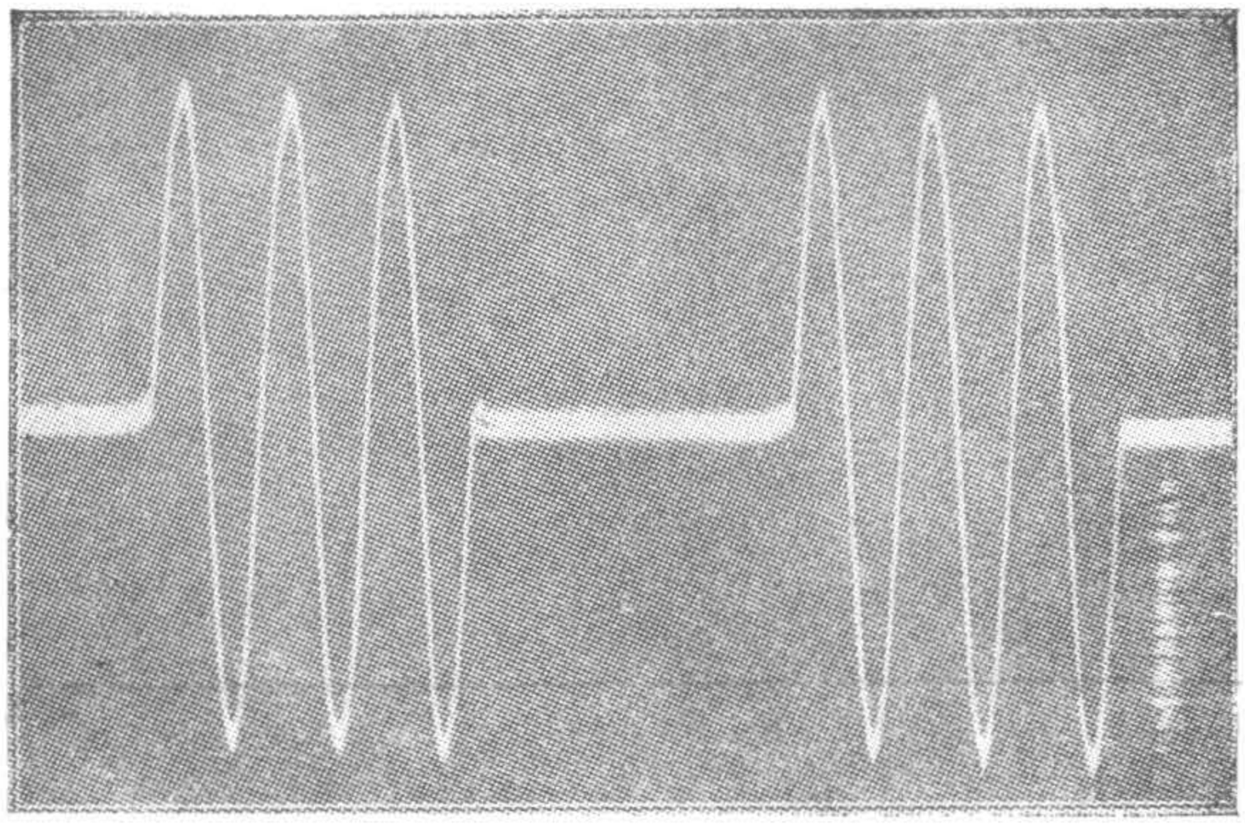
Фиг. 154. Сварочный аппарат и игнайтронное реле времени для шовной воздухонепроницаемой сварки рефрижераторов.

вода, прямо пропорционально току, так как падение напряжения на игнайтроне практически постоянно для всех значений тока в допустимых для него пределах. Максимальное значение тока устанавливает наибольшее допустимое значение тока для каждого режима работы. Знание допустимого среднего квадратичного

НТБ УГМНТ (ДИТ)

значения тока важно для того, чтобы предупредить возможность перегрева подводящих проводов.

Ток игнайтрона может быть вычислен при помощи приводимых ниже уравнений.



Фиг. 155. Осциллограмма сварочного тока в сварочном аппарате для шовной сварки, управляемом игнайтронным реле времени.

Максимальный ток

$$I_{max} = I_w \cdot \sqrt{2}. \tag{4}$$

Средний ток

$$I_a = I_w \frac{A}{2{,}2}. \tag{5}$$

Среднее квадратичное значение тока

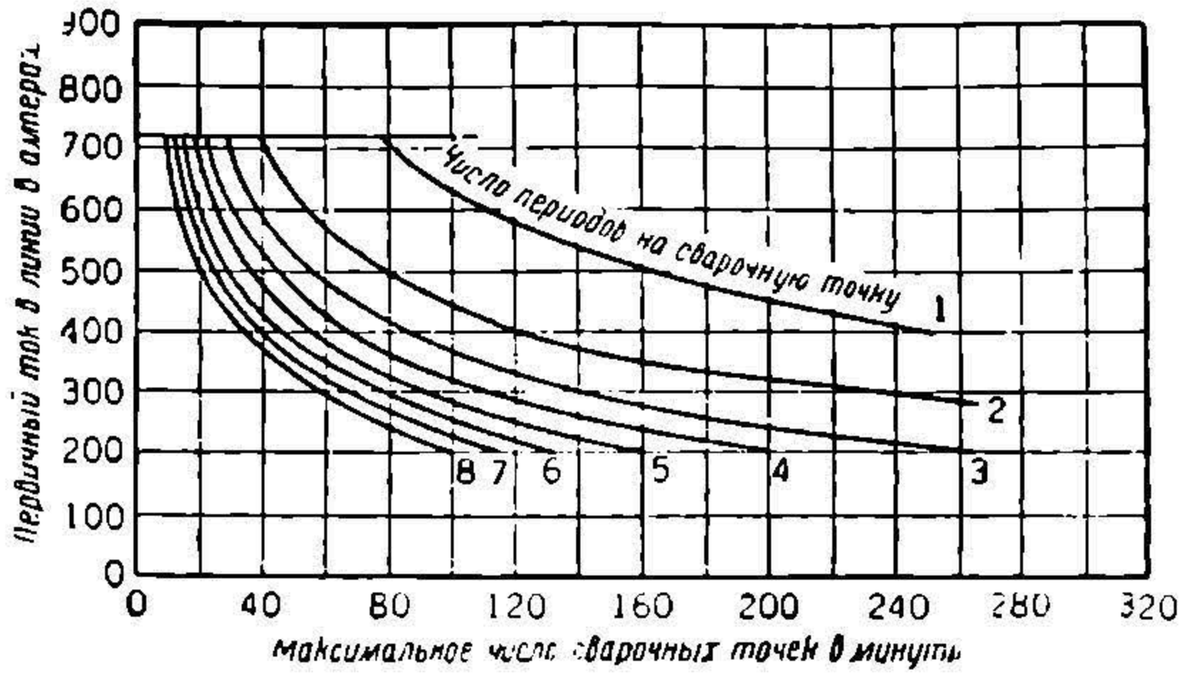
$$I_{rms} = \frac{I_w}{1{,}41} \cdot \sqrt{A}, \tag{6}$$

где I_{max} — максимальное значение тока в амперах;
I_w — среднее квадратичное значение тока, текущего непрерывно в первичной обмотке сварочного трансформатора;
I_a — средний ток, измеренный амперметром постоянного тока в цепи отдельного игнайтрона;
A — рабочий режим — время включения, деленное на время, необходимое для всей сварочной операции;
I_{rms} — среднее квадратичное значение тока, измеренное амперметром переменного тока в цепи отдельного игнайтрона.

На фиг. 156 даны кривые допустимых значений тока I_w в функции от числа точек сварки в минуту для различного числа периодов на каждую точку сварки. Если принять, что максимальное значение тока не ограничено, то легко видеть, что аппарат для точечной сварки, работающий с малой частотой, нуждается в очень маломощной лампе, так как его рабочий цикл мал.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Наоборот, шовный точечный аппарат работает с большой частотой. Поэтому его рабочий цикл значителен и для него необходимы гораздо более мощные электронные приборы, чем для точечной сварки, если даже токи I_w в обоих случаях одинаковы. Вследствие этого в реле времени для точечной сварки (фиг. 146), обычно работающих при низких значениях рабочего цикла, применяют стеклянные приборы, рассчитанные на средний ток, в четыре раза меньший, чем средний ток, допускаемый металлическими игнайтронами в реле времени для шовной сварки (фиг. 154). Преимущество игнайтронов заключается в том, что они обладают способностью выдерживать очень большие кратковременные импульсы тока. Поэтому игнайтроны идеально подходят для контроля сварки в тех случаях, когда мгновенные значения тока велики и периоды включения сварочного тока отделены значительными промежутками.



Фиг. 156. Кривые допустимого тока в функции от числа сварочных точек в минуту при различной продолжительности времени сварки (в периодах).

Литература

«Thyratron Control Equipment for High-Speed Resistance Welding Equipment» R. C. Griffith, Gen. El. Rev., September, 1930.

«Thyratron Control for Resistance Welding Machines», Samuel Martin, Jr., Welding, May and June, 1932.

«Thyratron Control of Welding in Tube Manufacture», H. W. Lord and O. W. Livingston, Electronics, July, 1933, pp. 186—187.

«A High Power Welding Rectifier», Silverman and Cox, Elec. Eng., October, 1934, pp. 1380—1383.

«A New Timer for Resistance Welding», R. N. Stoddard, Elec. Eng., October, 1934, p. 1366.

«Application of Electron Tubes in Industry», D. E. Chambers, Elec. Eng., January, 1935, p. 82.

Глава XI

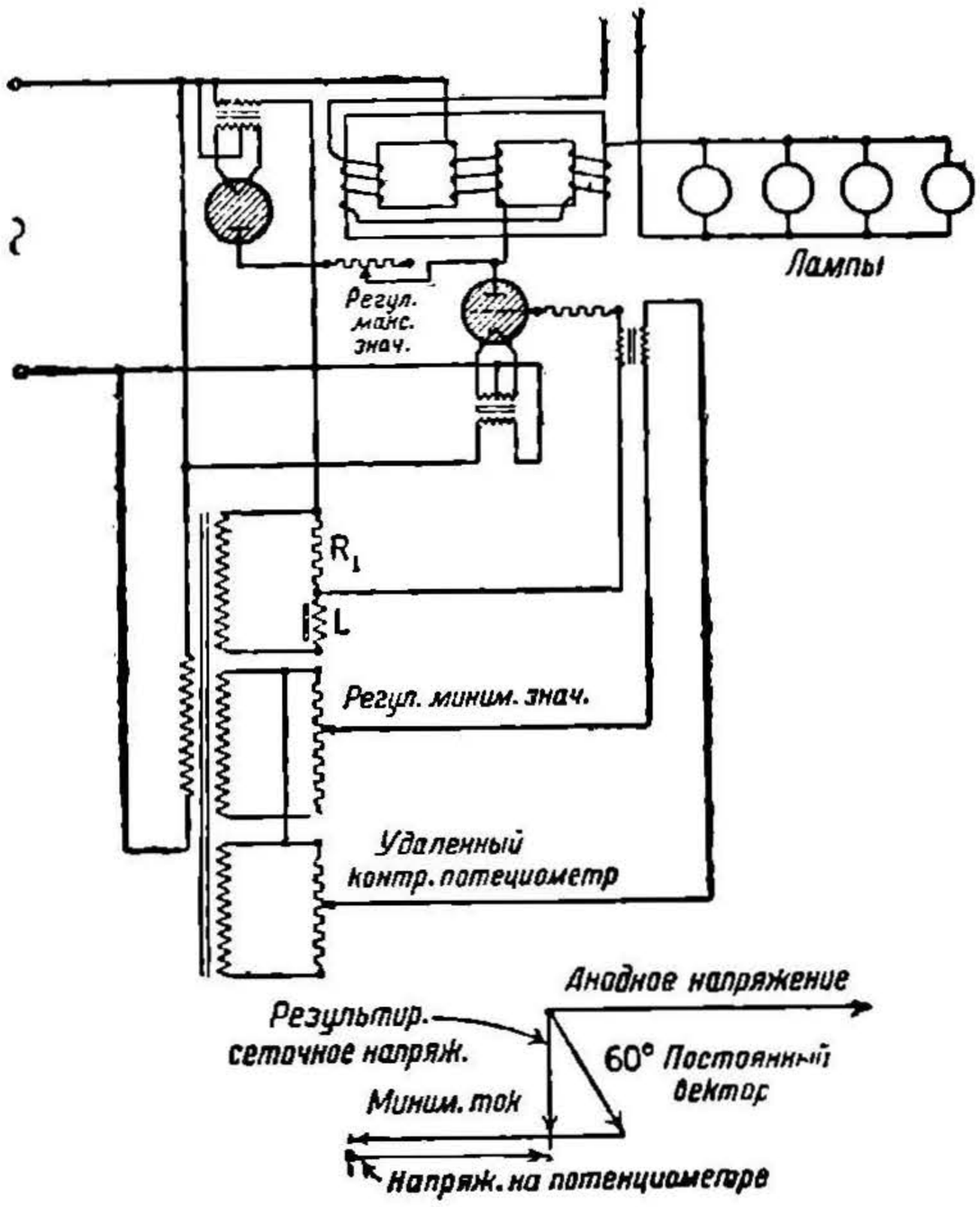
УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ В ТЕАТРАХ И ДВИЖУЩИМИСЯ РЕКЛАМАМИ

В прежних осветительных установках контроль освещения производился громоздким и неэффективным способом, заключающимся в изменении сопротивления, включенного последевательно с лампами. Позже появление дросселей с насыщенным железом дало возможность управлять освещением более удобным и выгодным способом. Для уменьшения интенсивности света согласно последнему способу необходимо лишь изменять силу постоянного тока, текущего через обмотку подмагничивания дросселя. Этот

НБ УДУНТ (ДІІТ)

метод позволил сильно уменьшить количество энергии, потребляемое реостатами. В результате оборудование сделалось более гибким и простым в обращении.

Появление различных газовых и ртутных тиратронов привело к дальнейшему усовершенствованию установок для контроля освещения театра. Тиратронами в настоящее время пользуются для изменения тока подмагничивания дросселей. Этот способ позволяет при помощи двух четырехамперных тиратронов управлять дросселем, служащим для контроля осветительной нагрузки мощностью до 30 kW.



Фиг. 157. Схема для управления освещением в театрах при помощи дросселя с насыщенным железом.

Небольшие размеры регулировочных потенциометров и возможность удаленного расположения дросселей от основных ламповых схем приводят к чрезвычайной компактности контрольного оборудования, которое может быть помещено на сцене или в оркестровой раковине театра.

Небольшое количество энергии, потребляемое приборами управления, и их компактность делают возможным осуществление целого ряда новых световых эффектов, которые в прежних условиях были нерентабельны. Так, например, одна из недавно законченных установок позволяет заранее подготавливать до 10 сцен. Во время представления переход от одних сцен к другим совершается при помощи приборов, которые медленно затемняют освещение при переходе от одной сцены к другой.

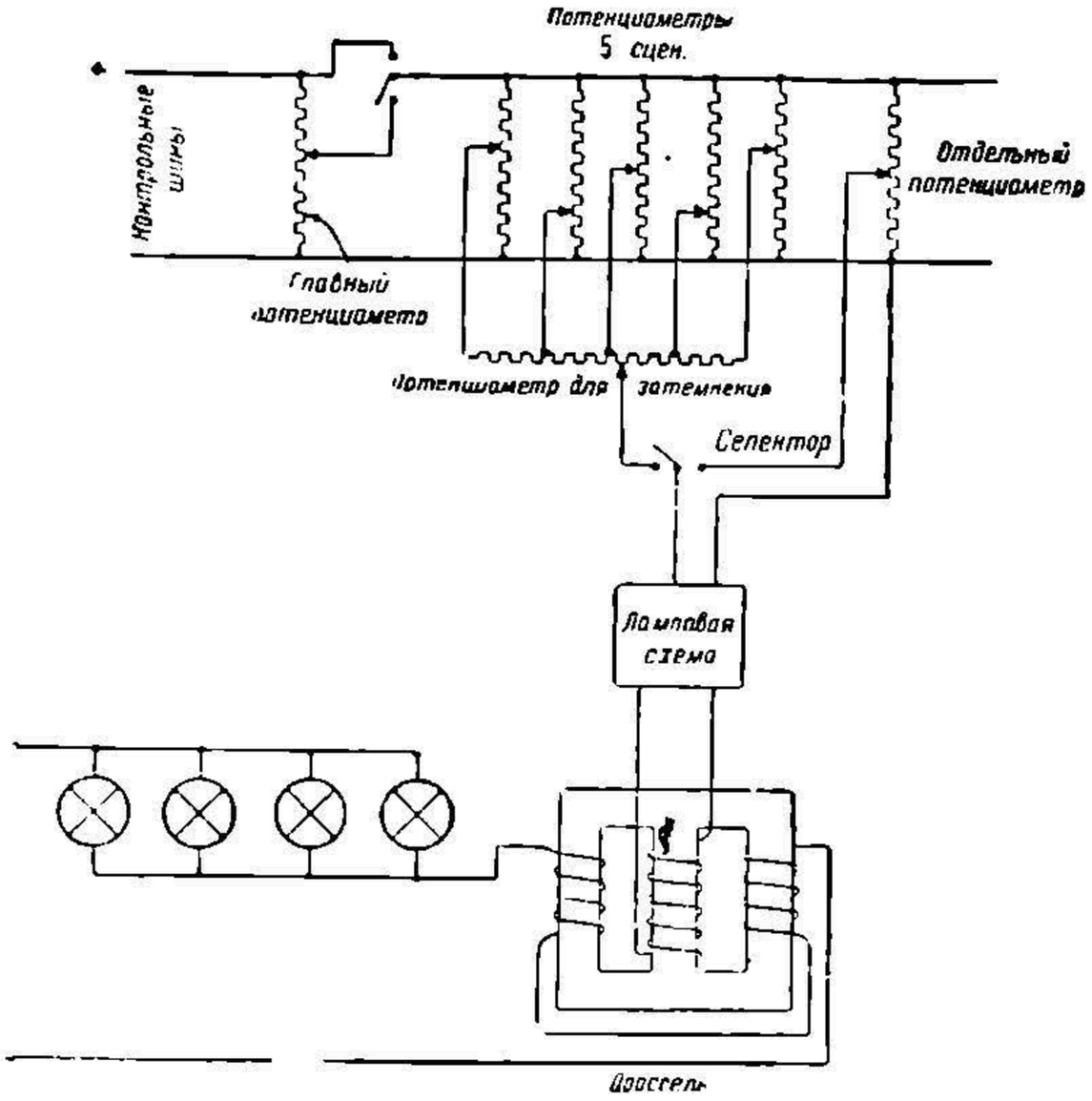
83. Тиратронный выпрямитель для контроля освещения в театрах. Схема для постепенного ослабления света группы ламп при помощи дросселя с насыщенным железом, применяемая в театрах, состоит из газотрона и тиратрона, соединенных таким образом, чтобы при помощи сдвига фазы сеточного напряжения тиратрона можно было управлять моментом зажигания в течение каждого периода переменного тока и, следовательно, постоянным током на выходе.

Ток тиратрона подается к обмотке постоянного тока дросселя, параллельно которой присоединен газотрон. После зажигания тиратрона ток не течет и через газотрон, но после того, как в конце положительного полупериода тиратрон гаснет, ток про-

ГБ УДУНТ (ДІІТ)

должает течь только через газотрон благодаря магнитной энергии, накопившейся в дросселе. Таким образом в обмотке постоянного тока ток течет непрерывно.

При помощи смещения фазы сеточного напряжения тиратрон (фиг. 157) можно заставить зажечься в любой точке положительной полуволны анодного напряжения. Как это ясно из векторной диаграммы, сдвиг по фазе вектора напряжения получается при помощи сопротивления R_1 и дросселя L, которые включены в цепь вторичной обмотки сеточного трансформатора. Так как на распределительной доске или контрольной панели желательно иметь низкое напряжение, то сеточный трансформатор повышает его до значения, наиболее подходящего для характеристик тиратрона. Для того чтобы все ламповые группы можно было бы питать одним и тем же напряжением и при одном и том же положении контрольного потенциометра, в схеме предусмотрена регулировка максимального и минимального значений напряжения.



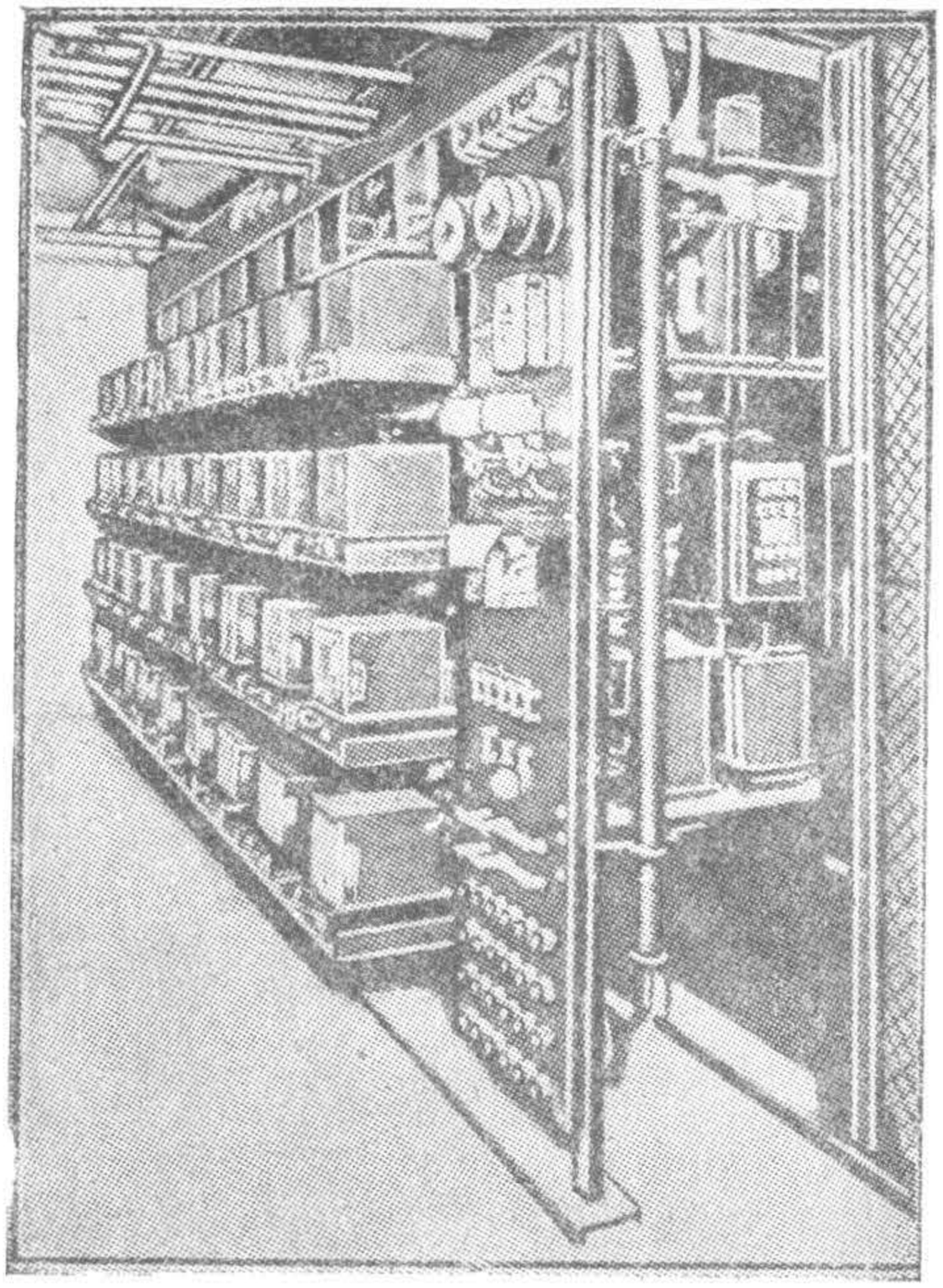
Фиг. 158. Потенциометрическая схема контроля освещения в театрах.

Регулировка минимального значения производится при помощи потенциометра, на который подается переменное напряжение, противоположное управляющему напряжению. Регулировка максимального значения производится при помощи переменного сопротивления, соединенного последовательно с газотроном. Повышение сопротивления в цепи газотрона увеличивает действующее значение сопротивления обмотки постоянного тока дросселя и тем уменьшает величину выпрямленного тока.

Настройка схемы осуществляется контрольным потенциометром. Простота этого потенциометра и способ присоединения к схеме делают возможным расположение дросселей и тиратронов на значительном расстоянии друг от друга. Они обычно помещаются под полом или в каком-нибудь другом месте, где свободное пространство не ценится так дорого, как на сцене. Контрольные потенциометры вместе с приборами, служащими для перехода от одной сцены к другой, главный потенциометр, выключатели и все остальные электрические контрольные приборы, необходимые для сцены, помещаются на общей распределительной доске.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Так как, с одной стороны, в театре приходится управлять большим числом электрических цепей, а с другой стороны, иметь очень большое число (порядка 100) отдельных контрольных установок для каждой сцены непрактично, то обычно принято пользоваться различными потенциометрами для каждого тиратрона в течение каждой картины, что делает возможным подготовлять освещение заранее для нескольких картин. Это производится специальным прибором для перехода от одной сцены к другой — фэдером, который представляет собой потенциометр с числом секций, равным числу картин, и с одним скользящим контактом. На фиг. 158 показан способ, позволяющий переходить при помощи передвижения контакта от потенциметра, установленного для одной картины, к потенциометру, предназначенному для другой картины.



Фиг. 159. Установка для контроля освещения в театрах.

Для того чтобы не перегружать потенциометров и не вызывать нежелательного небаланса напряжений, фэдер должен иметь гораздо более высокое сопротивление, чем потенциометры для отдельных картин. Фэдеры монтируются на обычном валу для простоты управления.

Часто бывает желательно ослаблять одновременно освещение нескольких групп ламп помимо фэдеров. Это производится главным потенциометром, который на фиг. 158 может управлять одной или несколькими группами ламп одновременно в соответствии с ходом представления. Благодаря своей гибкости данная схема позволяет получать настолько сложные и быстро меняющиеся световые эффекты, которые ранее были невозможны. Эта схема позволяет квалифицированному оператору производить световые эффекты, которые не отстают от усовершенствований в других отраслях сценичной техники.

84. Управление движущимися рекламами. Для управления движущимися рекламами применима та же основная схема, которая используется и для контроля освещения в театре. Освещение Букингэмского фонтана в Чикаго является примером такого применения. В этой установке на брызги воды проектируется непрерывно развертывающаяся цветная панорама. Период этой панорамы равен приблизительно 60 мин., после чего пано-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

рама снова повторяется. Движущиеся рекламы получаются при помощи передвигаемых моторами лент, которые замыкают контрольные потенциометры в различных точках и таким образом изменяют напряжение отдельных групп ламп. Форму очень легко можно изменять посредством нашивки на полосу из целлулоида (похожую на ленту кинофильма).

Лента сплетается из медных проволок или другого подходящего материала. Целлулоидная полоска прогоняется через машину так, чтобы медная лента соприкасалась с потенциометром.

Литература

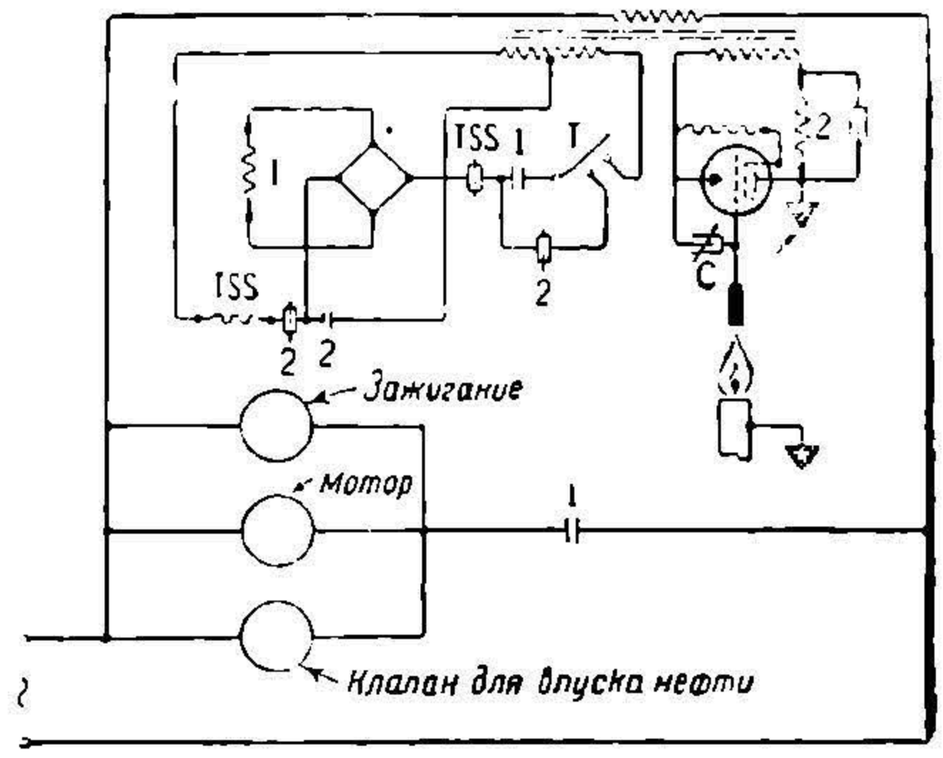
«Application of Electron Tubes in Industry», D. E. Chambers, Elec. Eng., January, 1935, p. 82.

Глава XII

РАЗЛИЧНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Большое число различных применений электронных приборов нельзя отнести ни к одной из трех групп, которые рассматриваются в других главах. Несколько наиболее интересных применений такого рода будет рассмотрено в этой главе.

85. Контроль нефтяных форсунок. Обычные системы контроля нефтяных форсунок снабжаются механическими и электрическими приборами, закрывающими форсунку в случае потухания пламени. Это препятствует зажиганию топлива в том случае, когда оно скапливается в топке в количестве, достаточном для того, чтобы произвести взрыв. Большинство таких приборов основано на тепловом принципе и поэтому обладает некоторой инерционностью.



Фиг. 160. Схема для контроля нефтяных форсунок.

Электронная система контроля основана на том, что ионизированный газ в пламени обладает некоторой электрической проводимостью. В отсутствии пламени сетка лампы тлеющего разряда с холодным катодом поддерживается при высоком отрицательном потенциале. Зажим, присоединенный к сетке, находится в пламени во время работы печи. Пламя обычно заземлено через печь. Анод лампы также заземлен. При возникновении пламени сетка соединяется с анодом через пламя, имеющее сопротивление, равное нескольким мегомам. В результате лампа зажигается и заставляет сработать реле. Полная схема контроля нефтяной форсунки приведена на фиг. 160. Она представляет собой одну из многих схем, применяемых для контроля форсунок различных типов. Схема работает следующим образом:

При замыкании комнатного термостата вследствие недостатка тепла реле *1* включается задними контактами реле *2* и тепловым

НБ УДУНТ (ДІІТ)

предохранительным выключателем. Как только реле *1* замкнется, вводятся в действие мотор, нефтяная форсунка и схема зажигания. В отсутствии пламени лампа тлеющего разряда не проводит ток благодаря отрицательному потенциалу на сетке, в цепи которой находится конденсатор *C*. При нормальных условиях при пуске пламя появляется быстро, благодаря проводимости газа сетка присоединится к земле и, следовательно, к аноду, что вызывает зажигание лампы и включение реле *2*. Реле *2* выключает ток в катушке реле *1* и отсоединяет тепловой предохранительный выключатель *TSS*. Кроме того, контакты реле *2*, включенные параллельно термостату, размыкаются, и вся схема оказывается в нормальном рабочем положении. Если пламя не появляется через нормальный промежуток времени, то реле *TSS* успевает нагреться и разомкнуть свои контакты, которые механически удерживаются в открытом положении. Это вызывает выключение реле *1*, которое отсоединяет мотор, зажигание и прекращает подачу нефти. Контакты *2*, шунтирующие контакт *1* и термостат, служат для проверки схемы с лампой тлеющего разряда. Если термостат указывает на недостаток тепла и реле *2* по какой-либо причине сработает, что может случиться при заземлении через сажу электрода, находящегося в пламени, то реле *1* не сможет включиться, так как контакты *1* и *2* будут разомкнуты.

86. Контроль движения поездов. Точное соблюдение расписания движения поездов часто становится очень трудным для машинистов из-за плохой видимости дорожных сигналов. Туман, непогода, дым от проходящих поездов — все это ухудшает видимость сигналов. Машинист не успевает рассмотреть сигнала и иногда неправильно его истолковывает. Для преодоления этой трудности компания Union Switch and Signal разработала непрерывную систему сигнализации. Благодаря этой системе машинист всегда видит сигнал, получает непрерывные сведения о состоянии пути впереди поезда и получает немедленный сигнал об изменении этого состояния независимо от обычных железнодорожных сигналов. Добавление автоматического тормоза к такой системе сигнализации не представляет никаких затруднений. В настоящее время сигнализацией указанной системы оборудовано около 11 500 km железнодорожных путей.

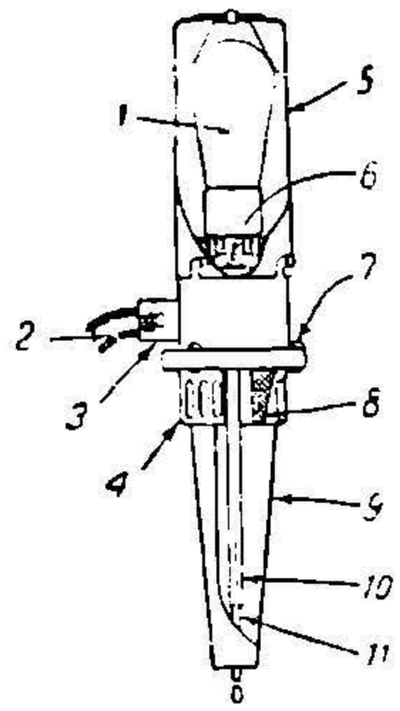
Оборудование, применяемое для кодовой непрерывной путевой системы сигнализации, может быть разделено на две части: оборудование, устанавливаемое вдоль пути, и оборудование, устанавливаемое на паровозе. Непрерывные показания в кабине паровоза даются током частотой в 100 Hz, подводимым к рельсам на выходном (exit) конце каждого блокировочного участка, и прерываемым определенное число раз в минуту в зависимости от состояния пути впереди поезда. Этот ток индуктирует напряжение в аппарате, установленном на паровозе, а другой аппарат, установленный также на паровозе, повторяет сигналы машинисту.

Механизм в путевой системе, служащий для прерывания 100-периодного тока и для подачи его к рельсам, называется

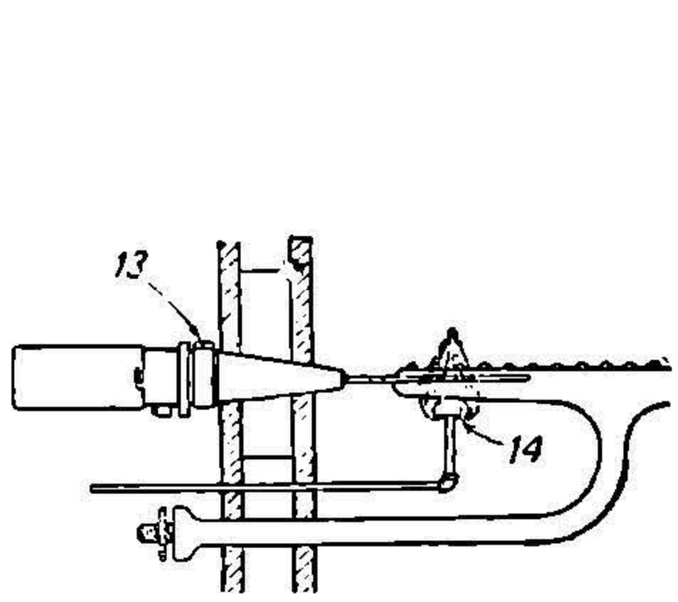
НБ УДУНТ (ДІІТ)

кодовым передатчиком. Он имеет несколько контактов, включаемых кулачковым механизмом.

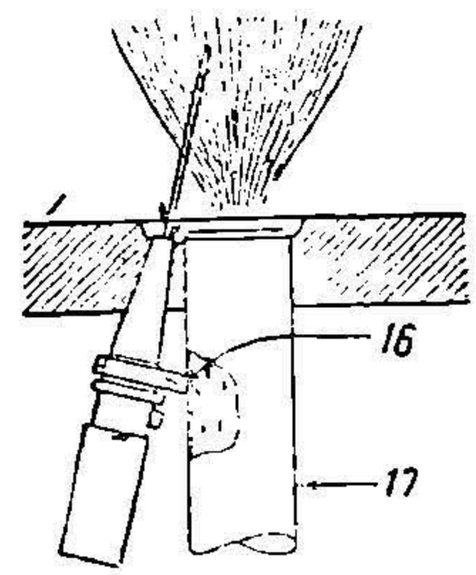
Железнодорожный путь присоединяется к источнику 100-периодного тока через один из этих контактов в зависимости от состояния пути впереди поезда. Во время работы кодового передатчика 100-периодный путевой ток прерывается с определенной частотой, называемой кодовой частотой.



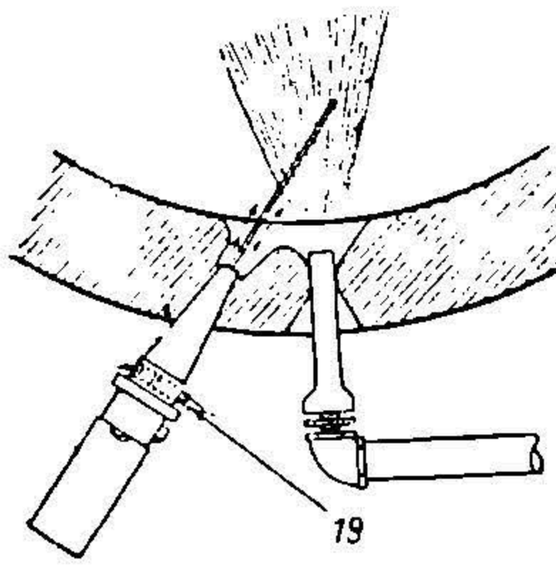
— 12 —



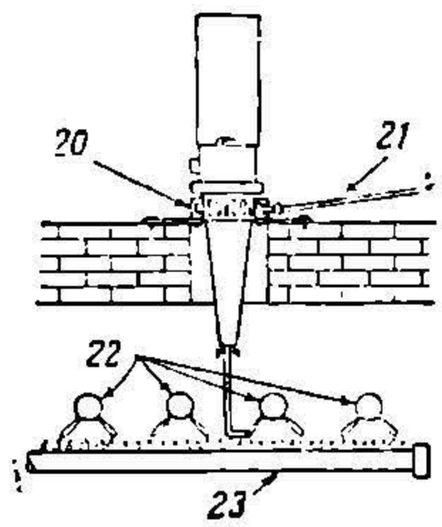
— 15 —



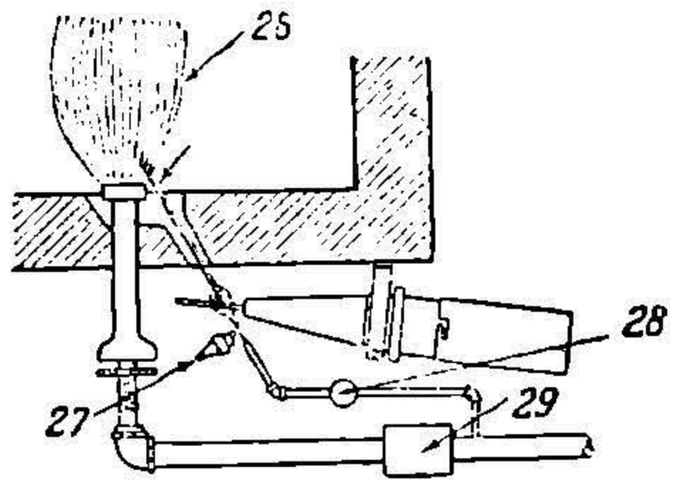
— 18 —



— 24 —



— 25 —



— 30 —

Фиг. 161. Различные применения прибора фирмы Миннеаполис-Хонейвелл для контроля горения форсунок.

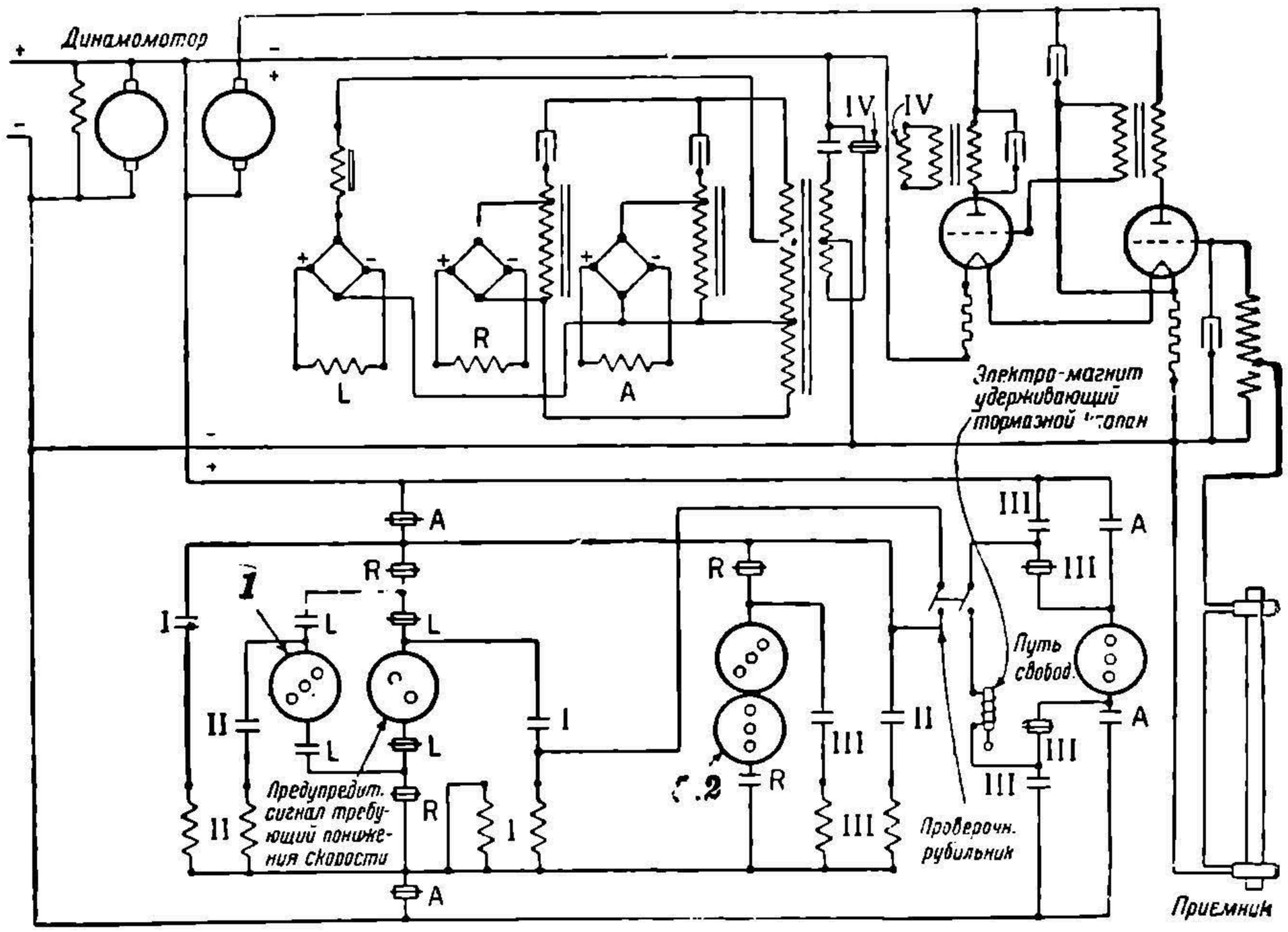
1 — электронная лампа; *2* — гибкие проводники; *3* — клемма; *4* — перфорированное кольцо, *5* — кожух; *6* — регулировка (под цоколем лампы); *7* — винты; *8* — фарфор; *9* — экранирующая трубка; *10* — трубка, поддерживающая электрод; *11* — электрод; *12* — общий вид прибора для контроля горения; *13* — отверстия для впуска воздуха, закрытые металлическими полосками; *14* — вспомогательная форсунка; *15* — контроль горения газовой горелки; *16* — воздушный дефлектор; *17* — всасывающая труба форсунки; *18* — контроль нефтяной форсунки высокого давления; *19* — *20* — фланец с нарезкой, повернутый так, чтобы впускать воздух; *21* — трубка воздуходувки; *22* — главные форсунки; *23* — вспомогательная форсунка; *24*–*25* — контроль горения газовых горелок; *26* — пламя форсунки; *27* — электрическое зажигание свечи; *28* — вспомогательный клапан; *29* — вентиль, закрывающийся электрически; *30* — контроль горения газовой горелки со вспомогательным вентилем и электрическим зажиганием.

Если путь свободен, то кодовая частота равна 180 Hz; по мере приближения к занятому участку кодовая частота изменяется на 120 и 80 Hz. Если блокировочный участок занят, то кодовый ток шунтируется впереди идущим поездом и не достигает заднего поезда, на котором вспыхивает предупредительный сигнал, требующий уменьшения скорости. Этот сигнал вспыхивает также в том случае, если течет 100-периодный путевой ток, но без кода.

НВ УДУНТ (ДІІТ)

На паровозе устанавливаются: приемник, усилитель, опознавательная и декодовая релейная группа и декодер (все в общем ящике), сигнальный и предупредительный свисток, умформер, дающий напряжение для фонарей, опознавательный ключ и главный рубильник.

Приемник служит для передачи контрольных сигналов от рельс к аппарату на паровозе. Он представляет собой стержень, собранный из листового железа. На стержне укреплены две катушки, соединенные таким образом, чтобы напряжения, наводимые в них нормальным 100-периодным путевым током, складывались. Обычно он устанавливается впереди паровоза. Если же-



Фиг. 162. Схема для контроля и включения тормоза и сигнализации на локомотиве.

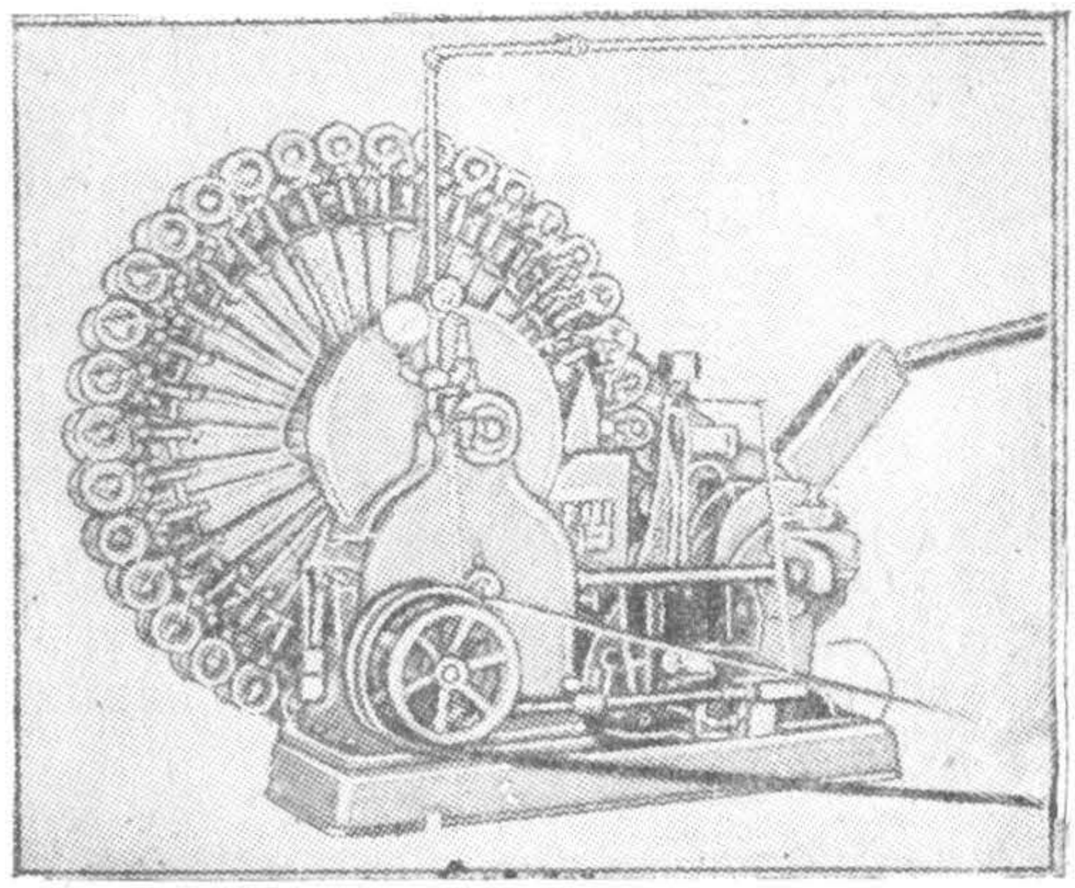
1 — второй сигнал о приближении к занятому участку; *2* — первый сигнал о приближении к занятому участку.

лательно, чтобы сигнализация производилась и при обратном ходе паровоза, то сзади последней пары колес тендера монтируется еще один приемник и перекидной рубильник, приводимый в действие рычагом перемены хода на паровозах или на электровозах. Ящик с оборудованием обычно устанавливается на стенке будки машиниста на локомотиве. Однако он может быть установлен и в любом другом месте. Для уничтожения действия вибраций ящик монтируется на платформе, поглощающей сотрясения. Из фиг. 162 видно, что напряжение, индуктируемое в катушках приемника, усиливается до значения, необходимого для надежной и безопасной работы электрической аппаратуры на паровозе. Усилитель имеет два каскада с трансформаторной связью

НБ УДУНТ (ДІІТ)

между ними. Усилитель содержит в себе фильтр, который пропускает лишь 100-периодную частоту и устраняет возможность срабатывания аппарата от других частот.

Выход усилителя подается через трансформатор к главному реле, которое работает при кодовой частоте, равной 80, 120 или 180 прерываний в минуту в зависимости от указанных выше условий. Контакты главного реле приключают и отключают напряжение в 32 V к первичной обмотке трансформатора декодового реле, наводя таким образом напряжение в его вторичной обмотке. Различные секции вторичной обмотки питают фильтры, настраиваемые так, чтобы реле *A* срабатывало только при 180 прерываниях в минуту. При замыкании реле *A* на паровозе зажигается сигнал „путь свободен“. Другие сигналы вводятся в действие главным реле при кодовых частотах, равных 80 или 120 прерываниям в минуту, причем на частоту указывает цвет сигнала.



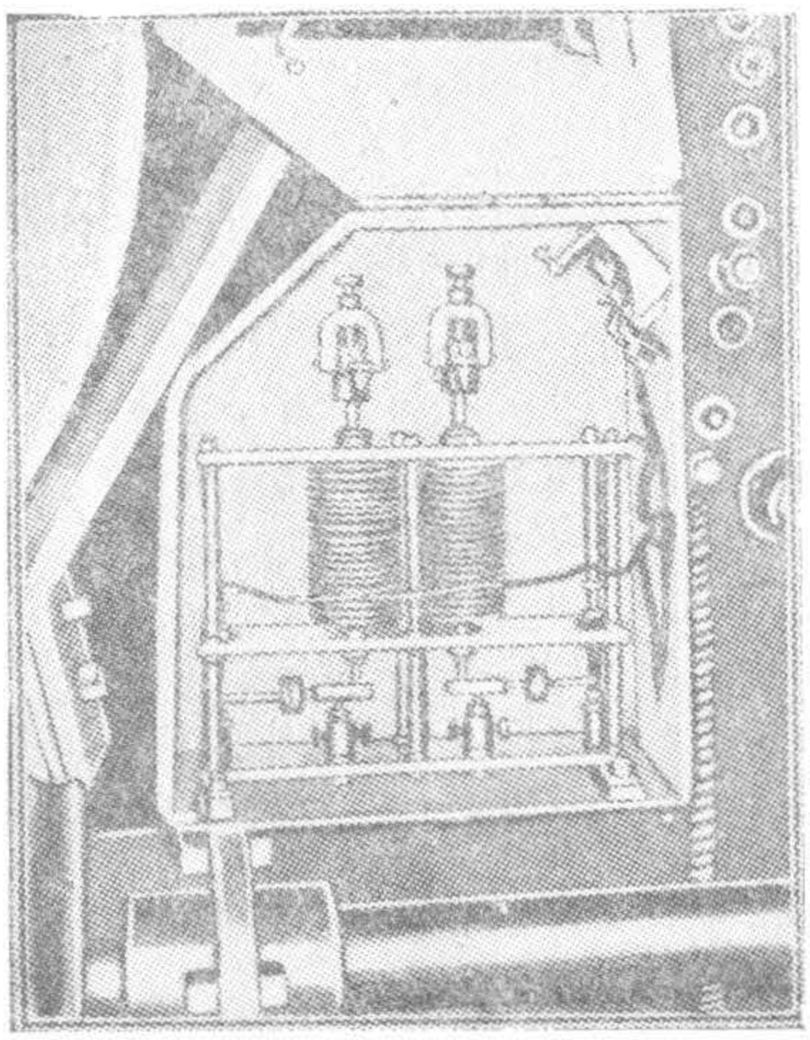
Фиг. 163. Машина для испытания жестяных банок, основанная на контактном принципе управления тиратронами, воздействующими на электромагнит.

Если поезд снабжен автоматическим тормозом, то при срабатывании любого реле из-за изменившихся условий на пути впереди поезда включается реле с выдержкой времени, равной 6 сек. Если машинист заметит эти изменившиеся условия, то торможения не произойдет. Выдержка соответствует времени, необходимому для того, чтобы воздух успел выйти через маленькое отверстие резервуара воздушного реле времени. Воздух выходит через маленький предупредительный свисток, служащий для привлечения внимания машиниста. Релейная система здесь не описывается более подробно из-за недостатка места.

87. Реостатные и контактные контрольные приборы. Во многих случаях контрольные приборы должны приводиться в действие ничтожными количествами механической или электрической энергии. Иногда импульс, получаемый при измерении, может быть использован для воздействия на сетку усилительной лампы или тиратрона. Даже такая чувствительная механическая система, как, например, указательный прибор, может замыкать контакты и изменять сеточное смещение тиратрона. Эти контакты могут быть очень малы, так как сеточный ток ничтожен. Тиратроном можно также воспользоваться для измерения толщин, регистрируя момент контакта между микрометрическим винтом и измеряемым предметом. Точность, получаемая таким способом, гораздо выше, чем точность, получаемая ручным способом даже

НБ УДУНТ (ДІІТ)

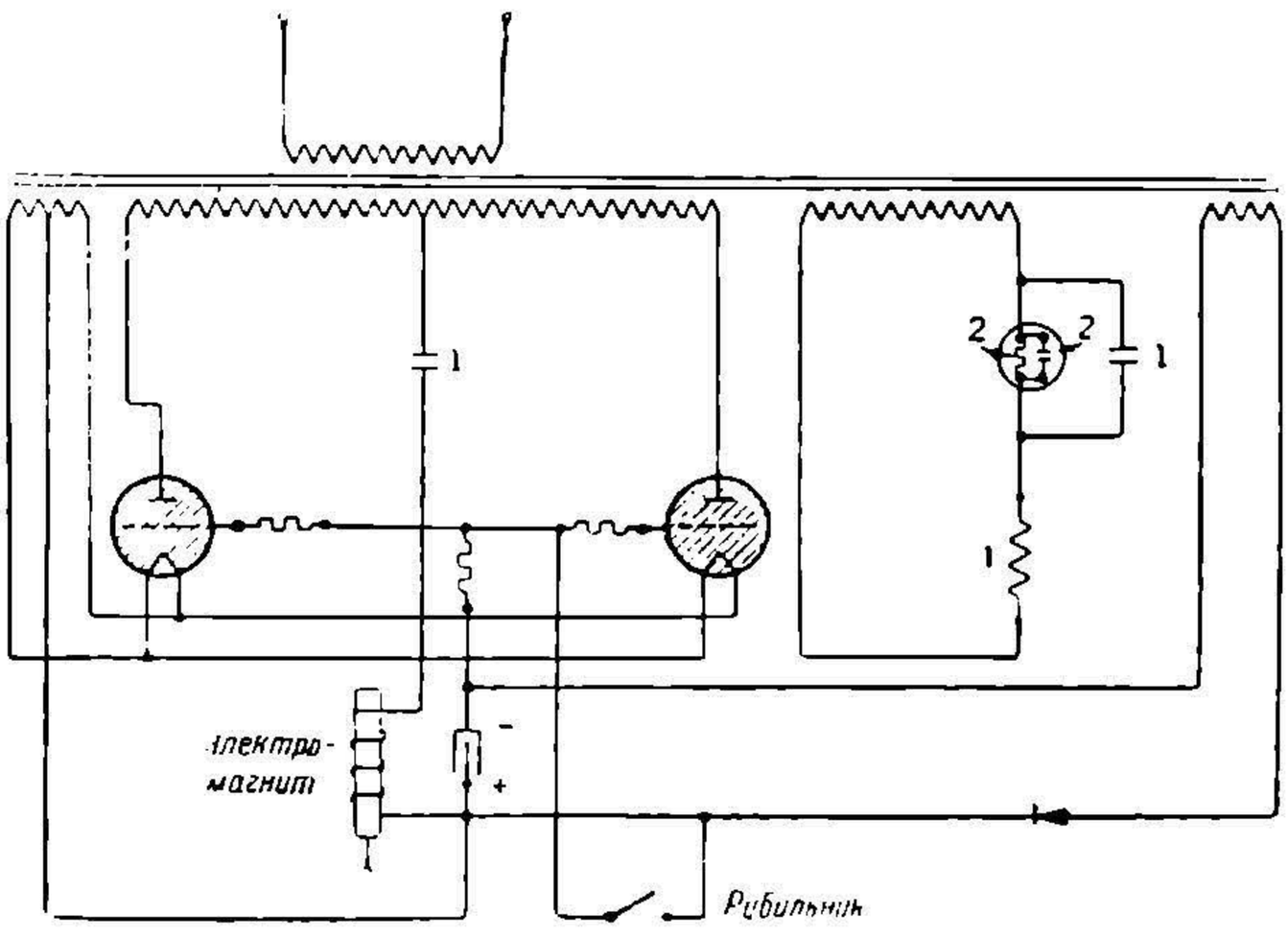
самым квалифицированным рабочим, так как в последнем случае соприкосновение можно почувствовать только после того, как микрометр окажет на материал заметное давление. Тиратронная схема более точна, так как для электрического контакта требуется давление, практически равное нулю.



Фиг. 164. Контактный прибор, применяемый на машине для испытания жестяных банок.

Одно из промышленных применений контактного контроля состоит в испытании воздухонепроницаемости жестяных коробок. Жестяные коробки подаются к машине, к ним прикладывается давление и через определенный промежуток времени проверяется, успело ли давление уменьшиться за протекший промежуток времени. Давление проверяется особым механизмом с мехами (фиг. 164), который воздействует на контакты. Передвижение этих контактов всего лишь на 0,25 *мм* должно вызывать срабатывание соленоида, выбрасывающего негодную деталь. Обычные реле не годятся для того, чтобы включать соленоид, так как они требуют некоторого времени для своего срабатывания. Машина должна иметь производительность в 300 коробок в минуту. Включение соленоида производится зажигающимся в момент контакта тиратроном без использования каких бы то ни было реле.

Схема, приведенная на фиг. 165, состоит из двух тиратронов, производящих двухполупериодное выпрямление. Когда контакты разомкнуты, сетки тиратронов находятся при отрицательном потенциале. При замыкании контактов на сетках появляется положительный потенциал, тиратроны зажигаются, и соленоид срабатывает.



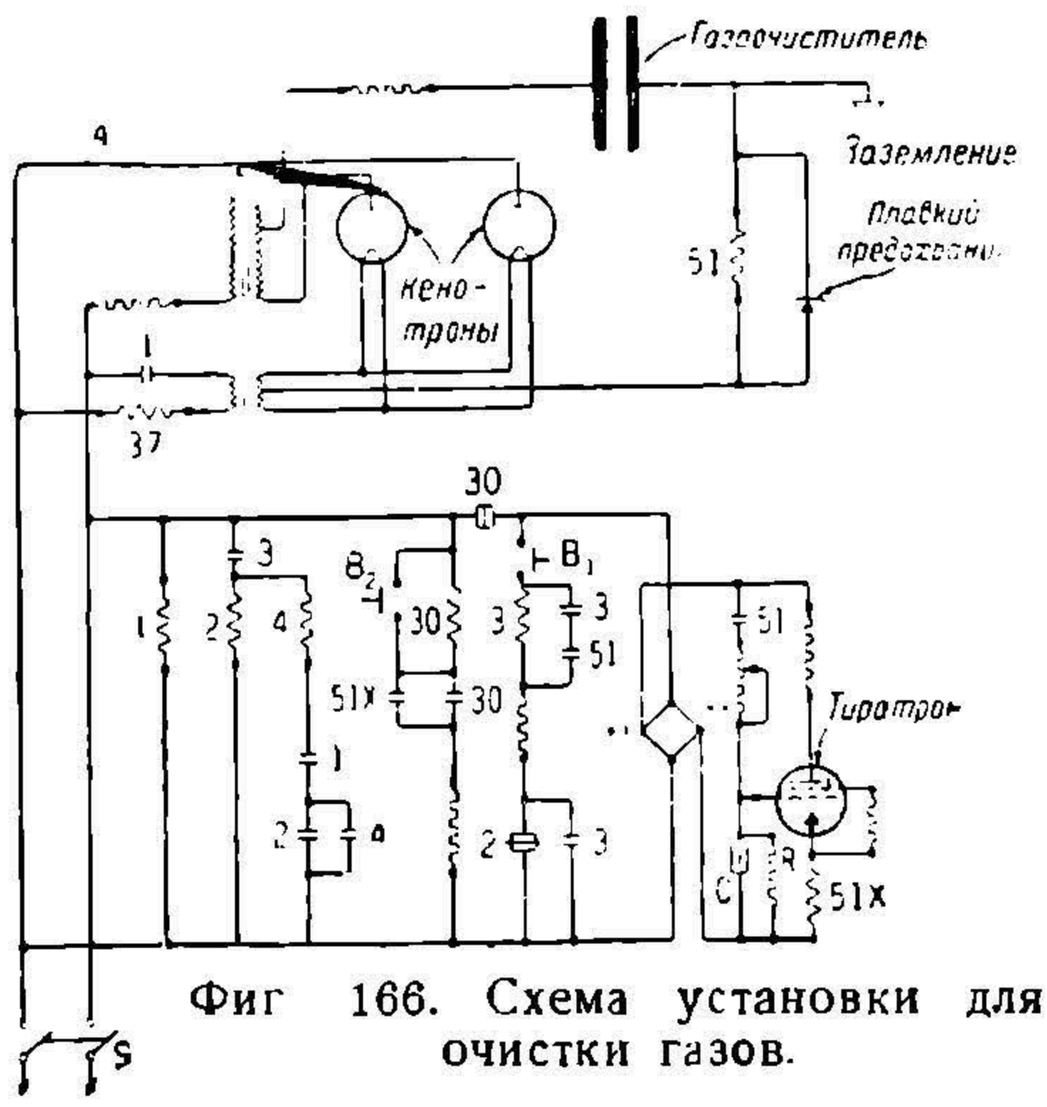
Фиг. 165. Схема тиратронного выпрямителя, применяемого для машины, производящей испытание жестяных банок.

Для контактного контроля можно воспользоваться любым из фотореле, описанных в § 48, заменив в них фотоэлементы кон-

НБ УДУНТ (ДІТ)

тактами. Другое преимущество применения электронных приборов для контактного контроля заключается в том, что сопротивление контактов или схемы может иметь порядок нескольких мегом и все же при надлежащем выборе схемы обеспечивается ее удовлетворительная работа. Реостатный контроль аналогичен контактному контролю, и во многих случаях оба метода комбинируются. Простой реостатный контроль основан на принципе изменения сопротивления. Переменное сопротивление включается вместо фотоэлементов в схемы, описанные в § 48.

88. Выпрямители для очистки газов. Выпрямительные лампы в настоящее время применяются в схемах для очистки газов при помощи высокого постоянного напряжения. Метод основан на удалении частиц пыли или влаги из воздуха или газов благодаря воздействию на них электростатического поля, приложенного между положительным и отрицательным электродами. Лампы более удобны, чем применявшиеся прежде механические выпрямители, так как они дают более совершенную форму волны, имеют более высокий коэфициент полезного действия и уменьшают эксплоатационные расходы.



Фиг 166. Схема установки для очистки газов.

1 — контактор, включающий накал кенотронов; *2* — реле времени в цепи питания анодов; *3* — главное реле, *4* — контактор, включающий питание анодов; *30* — самоблокирующее реле; *51*— защитное реле от короткого замыкания; *51X*— вспомогательное реле для реле *51*.

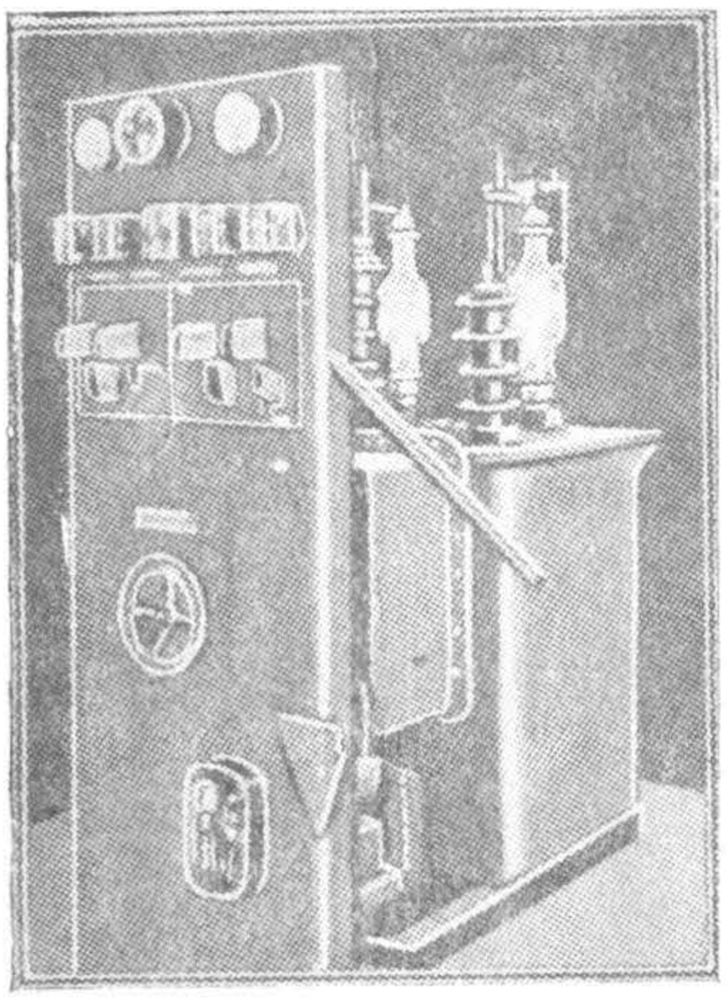
Схема для очистки газов приведена на фиг. 166. Для того чтобы привести ее в действие, нужно замкнуть рубильник и контакт *1*, дающий напряжение накала. Затем замыкается цепь главного реле *3* нажатием кнопки. При включении реле *3* вводится в действие реле времени *2*, которое через короткий промежуток времени замыкает свои контакты и включает анодный контактор *4*. Контактор *4* включает трансформатор, который дает анодное напряжение для кенотронов. Кенотроны выпрямляют ток, и схема продолжает работать до тех пор, пока она не будет выключена при помощи кнопки B_1 или при помощи одного из защитных реле *51* или *51X* и, которые предохраняют кенотроны от повреждений при перегрузке или коротком замыкании.

Схема для очистки газов совершенно не похожа на обычные схемы, применяемые в промышленных установках. Схема работает при напряжении, гораздо более высоком, чем напряжение обычных промышленных схем. Кроме того, она имеет значительное емкостное сопротивление и очень маленькое индуктивное сопротивление и подвержена частым коротким замыканиям. Ко-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

роткие замыкания получаются потому, что накопление осаждающихся частиц уменьшает изоляцию между электродами, вследствие чего корона переходит в искровой разряд. Другая частая причина коротких замыканий и перегрузок заключается в изменении свойств газа. Содержание кислоты и частиц пыли значительно влияет на диэлектрические свойства очищаемого газа. Поэтому изменения в содержании газа могут вызвать короткие замыкания.

Так как в некоторых случаях за схемой нельзя обеспечить постоянного надзора, то желательно, чтобы она не выходила из строя при каждой мгновенной перегрузке. В обычных условиях этого можно избежать при помощи максимального реле с временем выключения, обратно пропорциональным току перегрузки. Однако такой способ не может предохранить кенотронов, так как во время короткого замыкания ток превышает допустимое для кенотронов значение тока. Кенотрон имеет низкую теплоемкость, и поэтому ток короткого замыкания безопасно может протекать через него лишь в течение очень короткого промежутка времени. Поэтому защитное реле, время выключения которого обратно пропорционально току перегрузки, не подходит для данного случая. Кенотроны можно предохранить, заставив схему при коротком замыкании несколько раз автоматически переключаться. Один из методов дополнительной защиты состоит в том, что на низковольтной стороне выпрямительного трансформатора включается дроссель, ограничивающий ток короткого замыкания. В момент короткого замыкания почти все линейное напряжение оказывается приложенным к дросселю и лишь очень небольшая его часть — к первичной обмотке трансформатора.



Фиг. 167. Выпрямитель для очистки газов на 30 000 V. На фигуре видна часть контрольно - распределительной доски.

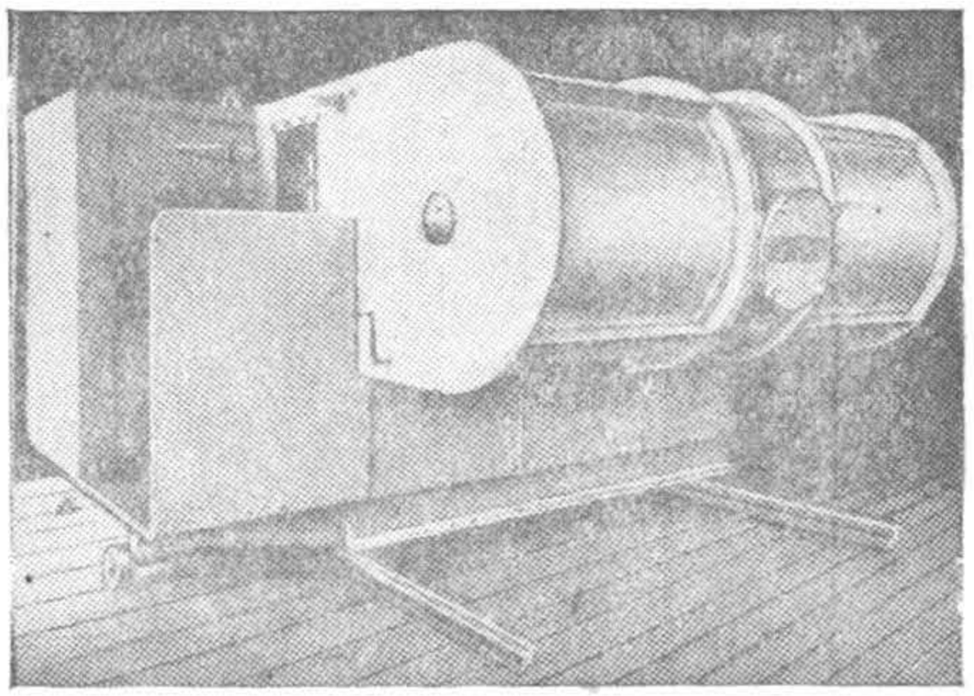
Мгновенное максимальное реле *51* обнаруживает короткое замыкание и выключает анодную цепь выпрямителя. Затем анодное напряжение включается и выключается определенное число раз, зависящее от настройки вспомогательного реле с лампой тлеющего разряда. Это реле состоит из лампы тлеющего разряда с холодным катодом, конденсатора, сопротивлений и реле *51X* и работает следующим образом:

Одна система контактов максимального реле *51* выключает главное реле *3*, в то время как другая система контактов в цепи сетки лампы тлеющего разряда включает схему, состоящую из емкости и сопротивления, причем на емкости *C* появляется определенное напряжение. Все это происходит очень быстро, так

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

как ток в катушке максимального реле немедленно исчезает благодаря выключению контактора *4* в цепи анода и реле оказывается в прежнем положении. Напряжение на емкости в это время недостаточно, чтобы вызвать зажигание лампы тлеющего разряда. Через короткий промежуток времени контактор в цепи анода снова включается, и если причины, вызвавшие короткое замыкание, еще не устранены, то процесс снова повторяется. Между тем заряд на конденсаторе увеличивается. Периодическое включение и выключение схемы продолжаются до тех пор, пока заряд на конденсаторе не достигнет значения, достаточного для зажигания лампы тлеющего разряда. При зажигании лампы тлеющего разряда включается реле *51X*, контакты которого включают самоблокирующееся реле *30*, которое при помощи одного из своих контактов сохраняет выключенной цепь главного реле *3*. Таким образом устройство не работает до тех пор, пока реле *30* не будет выключено нажатием от руки кнопки B_2. Если повторного срабатывания реле *51* не происходит, то конденсатор *C* медленно разряжается через большое сопротивление *R*.

89. Промышленные рентгеновские установки. В настоящее время рентгеновские аппараты довольно часто применяются в промышленности для исследования внутреннего строения наиболее ответственных деталей, для биологической обработки продуктов и для изменения физических или химических свойств материалов. Рентгеновское исследование заключается в проектировании пучка рентгеновских лучей, проходящих через исследуемый предмет, на фотопленку. Лучи, прошедшие через предмет, производят на пленке различные почернения. Этот метод исследования применяется в тех случаях, когда толщина и плотность материала не позволяют пользоваться визуальными наблюдениями на флюоресцирующем экране или когда необходимо получать снимки с исследуемых предметов.

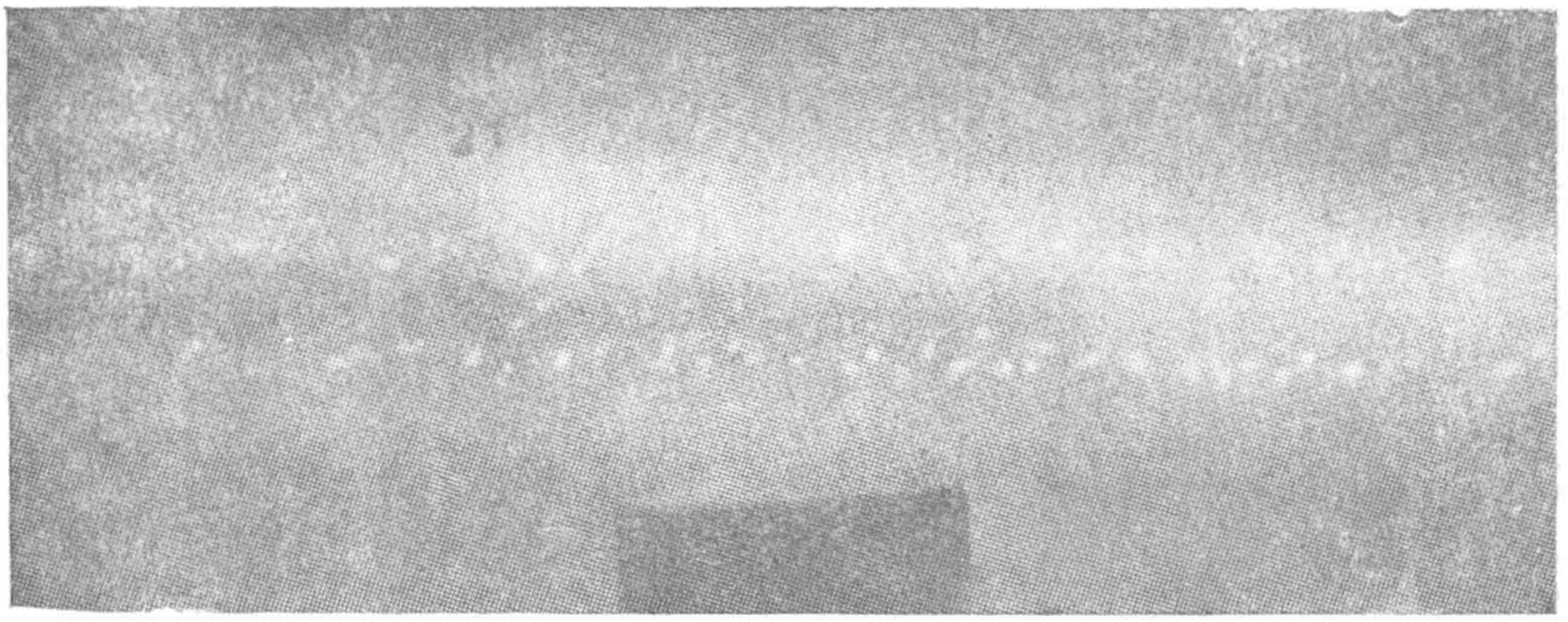


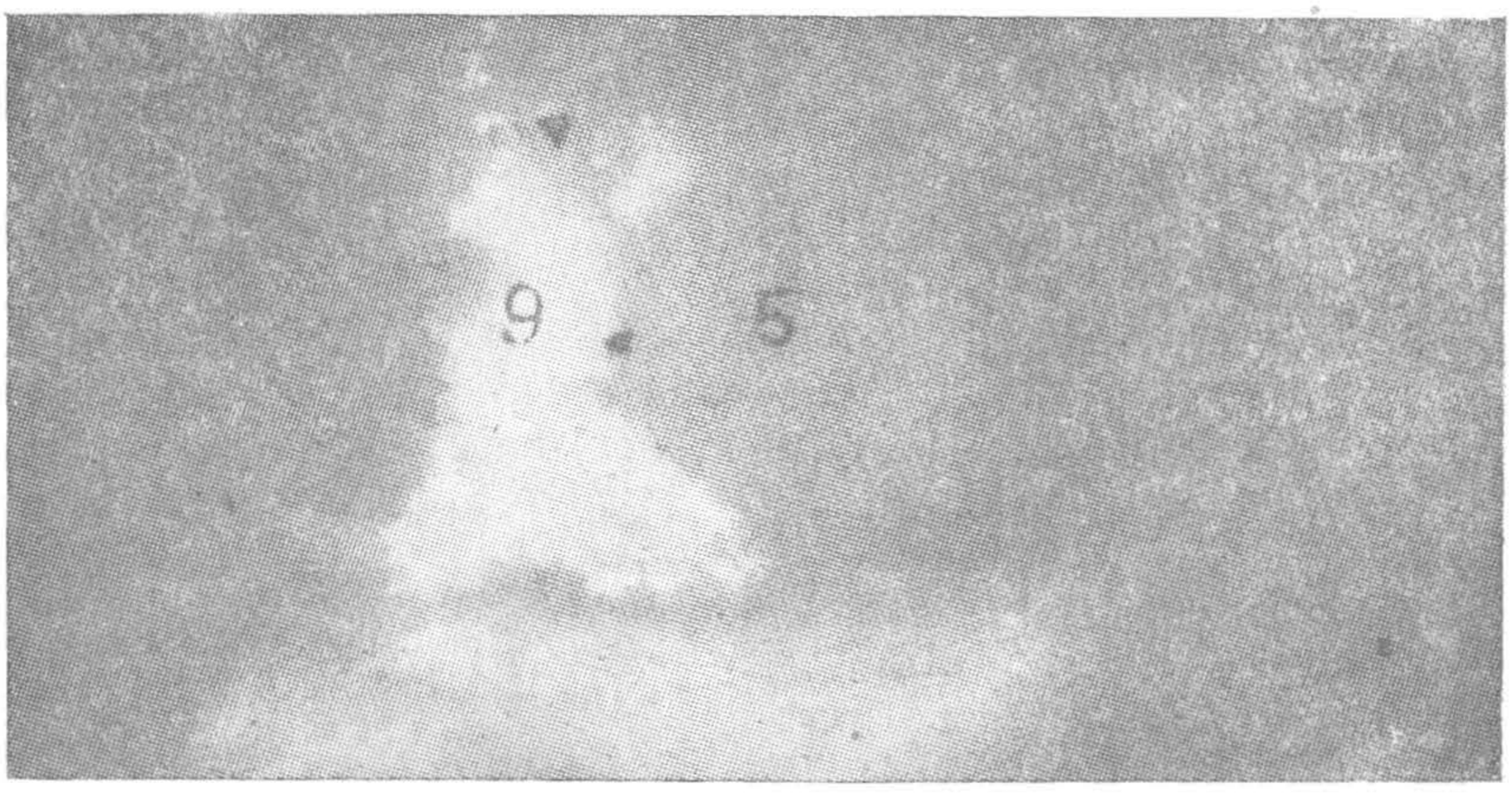
Фиг. 168. Промышленная установка для радиографии на 345 000 V; внешний вид.

Рентгеновская установка состоит из рентгеновской трубки (см. фиг. 23), высоковольтного выпрямителя, контрольных приборов и кассеты для пленки. Конструкция рентгеновской трубки в значительной степени зависит от применяемого напряжения. Рентгеновская трубка обычно монтируется в обитой свинцом камере для предохранения оператора от вредного действия рентгеновских лучей. Выпрямитель и контрольная аппаратура могут быть установлены где угодно. В распоряжении оператора имеется перископ для осмотра внутренности рентгеновской комнаты.

НТБ УДУНТ (ДИТ)

Внешний вид промышленной установки на 345 000 V показан на фиг. 168. Вся аппаратура смонтирована на снабженных фланцами колесах, поставленных на рельсах. Рентгеновская трубка установлена внутри большого свинцового барабана, показанного на переднем плане снимка. Барабан обит листами свинца толщиной около 12 mm и весит приблизительно 4,5 t. Трубка и барабан могут быть направлены под любым углом, несмотря на их размеры и вес.





Фиг. 169. Рентгеновские снимки, указывающие на:
a — пористость места сварки толщиной 7,5 cm; *b* — трещины в стальной отливке.

Исследуемый предмет, например, большой стальной бак, устанавливается на специальной вагонетке и подкатывается к рентгеновскому аппарату. Внутри бака сзади исследуемого места помещается пленка. Конец рентгеновской трубки направляется таким образом, чтобы рентгеновские лучи проходили через исследуемое место и попадали на пленку.

Для стальных изделий толщиной до 25 mm анодное напряжение трубки должно быть равно 140 kV. Для стальных изделий

НБ УДУНТ (ДІІТ)

толщиной 62 mm требуется 200 kV и при толщине 112 mm — 300 kV. Требуемая величина напряжения зависит от атомного веса исследуемого материала. На фиг. 169 изображены рентгеновские снимки, снятые на этой установке, которые показывают пористость места сварки толщиною 75 mm.

Часто бывает желательно производить рентгеновские снимки деталей, уже находящихся в эксплоатации, не разбирая машины и не перенося детали в лабораторию.

Снятие рентгеновских снимков с металлических частей значительной толщины сопряжено с большими трудностями из-за вторичного излучения. Последнее возникает благодаря столкновению рентгеновских лучей с атомами исследуемого вещества, вызывающих возбуждение атомов.

Вторичное излучение создает на пленке фон и может сильно испортить снимок, если не принять мер для его устранения. Один из методов уменьшения этого эффекта до минимума состоит в применении избирательных фильтров, помещаемых внутри кассеты. Фильтры изготовляются из различных материалов: из свинца, цинка или никеля, в зависимости от вида применения. Фильтры поглощают мягкое рассеянное излучение с большей длиной волны и пропускают основную часть первичного жесткого пучка с короткой длиной волны. Для предметов неправильной формы фильтры имеют большое значение.

Неправильные очертания предметов часто приводят к затруднениям, так как если предмет не защитить свинцом, то первичный пучок испытает настолько сильное рассеяние, что основное изображение получится очень слабым. Для устранения этого недостатка применяется несколько методов. Один из них заключается в том, что исследуемый предмет, имеющий неправильную форму, помещается в насыщенный раствор азотнокислого или уксуснокислого свинца. Применяется также изготовление свинцовой оболочки, в точности соответствующей по форме исследуемому предмету, или покрытие его свинцом.

Флюороскопия. Этот метод исследования состоит в визуальном рассмотрении изображения, производимого пучком рентгеновских лучей, прошедших через предмет и падающих на флюоресцирующий экран. Им можно пользоваться для исследования деталей в тех случаях, когда снимки не нужны и когда толщина и плотность деталей невелики.

Кристаллический анализ. Цель кристаллического анализа обычно заключается в получении сведений о строении специально приготовленных образцов. Образцами служат порошки, небольшие кусочки или проволоки. Поскольку размеры образцов малы, то рентгеновская трубка может работать при низком напряжении.

Для получения диффракционных картин рентгеновское излучение направляется очень узким пучком на образец. Прошедшие насквозь лучи попадают на пленку, расположенную на расстоянии 10—12 cm от образца. Получаемое изображение обычно имеет форму пятен или растянутых пятен. Отчасти это вызы-

НТБ УДУНТ (ДИТ)

вается искривлением пучка рентгеновских лучей, отклоняемых от своего первоначального направления кристаллами, обладающими известной массой. При изменении формы кристаллов соответствующим образом изменяется изгиб пучка. Таким образом оказывается возможным интерпретировать напряжения или искажения в любом соответствующим образом приготовленном образце металла. Этот метод анализа применяется для исследования стали, свойства которой существенным образом зависят от напряжений и натяжений. Зернистость, волокнистость и другие свойства металлов также могут быть изучены таким способом.

Биологические применения. Эта область применения является еще очень новой, и о ней имеется еще очень мало сведений. Были произведены удачные опыты по искусственному выращиванию бактерий и дрожжей. Вполне вероятно, что в недалеком будущем будут разработаны способы предохранения хлеба, фруктов, овощей, зерна и консервов от порчи.

Литература

«X-Rays-What Should We Know About Them?» Geo. L. Clark, Elec. Eng., January, 1935, p. 3.

Глава XIII

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕЛЕ

Электронные реле имеют несколько преимуществ по сравнению с электромагнитными реле. Основные из этих преимуществ следующие:

Незначительное потребление энергии. Отсутствие контактов или движущихся частей. Быстродействие. Легкость изменения схемы и регулировки.

Главные недостатки электронных реле заключается в ограниченной продолжительности жизни электронных ламп и в возможности неправильного срабатывания реле при выходе лампы из строя. Однако за последние годы техника изготовления электронных приборов шагнула далеко вперед. Поэтому можно с полным правом надеяться, что уже недалеко то время, когда характеристики ламп будут в точности отвечать требованиям конструктора.

90. Автоматические синхронизаторы. Электронный автоматический синхронизатор, установленный на станции Спрингдэйл в 1931 г., можно считать одним из первых применений электронных реле на центральных электрических станциях. Задача автоматического синхронизатора заключается в таком способе включения масляного выключателя, соединяющего два генератора или две электрических системы, при котором сдвиг фазы между напряжениями обеих систем в момент замыкания контактов выключателя равен нулю. Синхронизатор должен включать масляные выключатели только в том случае, если разность частот между обеими системами меньше заранее заданного значения, которое может колебаться в пределах от $^1/_5$ до $^1/_{20}$ периода в зависимости от характеристик системы.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Благодаря механической и электрической инерции масляного выключателя между моментом появления тока в катушке выключателя и моментом замыкания контактов проходит определенный промежуток времени от 0,2 до 0,6 сек. Для того чтобы контакты выключателя замыкались обязательно лишь в тот момент, когда сдвиг фаз равен нулю или, по принятому на центральных электрических станциях выражению, в тот момент, когда стрелка синхроноскопа находится на 12 час., смнхронизатор должен быть сконструирован таким образом, чтобы в его катушке ток появлялся на некоторый промежуток времени раньше, чем стрелка синхроноскопа достигнет 12 час. Это время опережения должно равняться времени, необходимому для срабатывания и замыкания контактов масляного выключателя. Так как угловое перемещение стрелки синхроноскопа пропорционально разности частот, то синхронизатор должен быть сконструирован таким образом, чтобы он срабатывал и включал масляный выключатель при опережающем угле сдвига фазы, пропорциональном разности частот между системами.

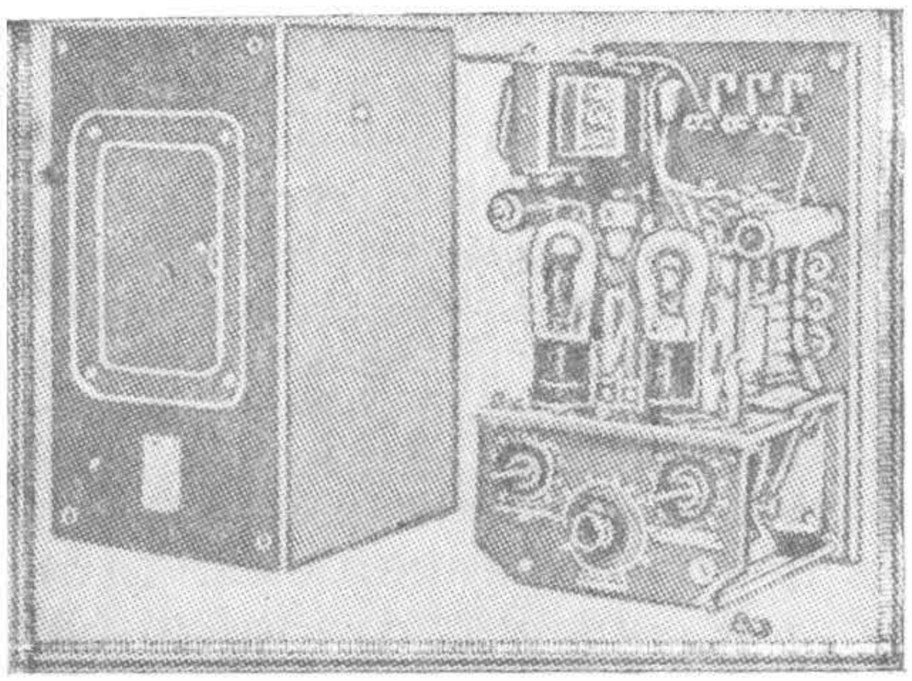
Это свойство пропорционального опережения является основным требованием, необходимым для успешной работы автоматического синхронизатора. Электромагнитные синхронизаторы, обладающие этим свойством, находятся в эксплоатации на различных станциях и подстанциях в течение ряда лет. Недостаток заключается в том, что для их срабатывания требуется приблизительно 50 VA. Возрастание числа применений делителей напряжения конденсаторного типа в связи с использованием бушингов привело к необходимости создания автоматического синхронизатора с настолько низким потреблением энергии, чтобы он мог срабатывать от количества энергии, подаваемого через конденсаторный бушинг. В этом состоит главная причина, послужившая стимулом для разработки электронного автоматического синхронизатора.

Электронный синхронизатор (фиг. 170) содержит два реле, управляемых электронными лампами. Характеристики включения реле даны на фиг. 171. Включающее реле (реле *III*) срабатывает и замыкает свои контакты в определенной фазе, опережающей момент синхронизма, причем характеристика включения этого реле не зависит от разности частот. Реле пропорционального опережения (реле *II*) замыкает свои контакты в точке, опережающей момент синхронизма на величину, пропорциональную разности частот. Блокировка между этими реле устроена таким образом, что третье реле, которое служит для подачи тока в замыкающую катушку масляного выключателя, включается только в том случае, если реле *III* срабатывает прежде реле пропорционального опережения. Схема, состоящая из обоих реле, имеет характеристику идеального синхронизатора. Точка *F* на фиг. 171, определяемая пересечением прямых *A* и *B*, соответствует выбранной и предельно допустимой разности частот, при которой еще может произойти включение. Если наклон прямой *A* изменить так, чтобы она совпала

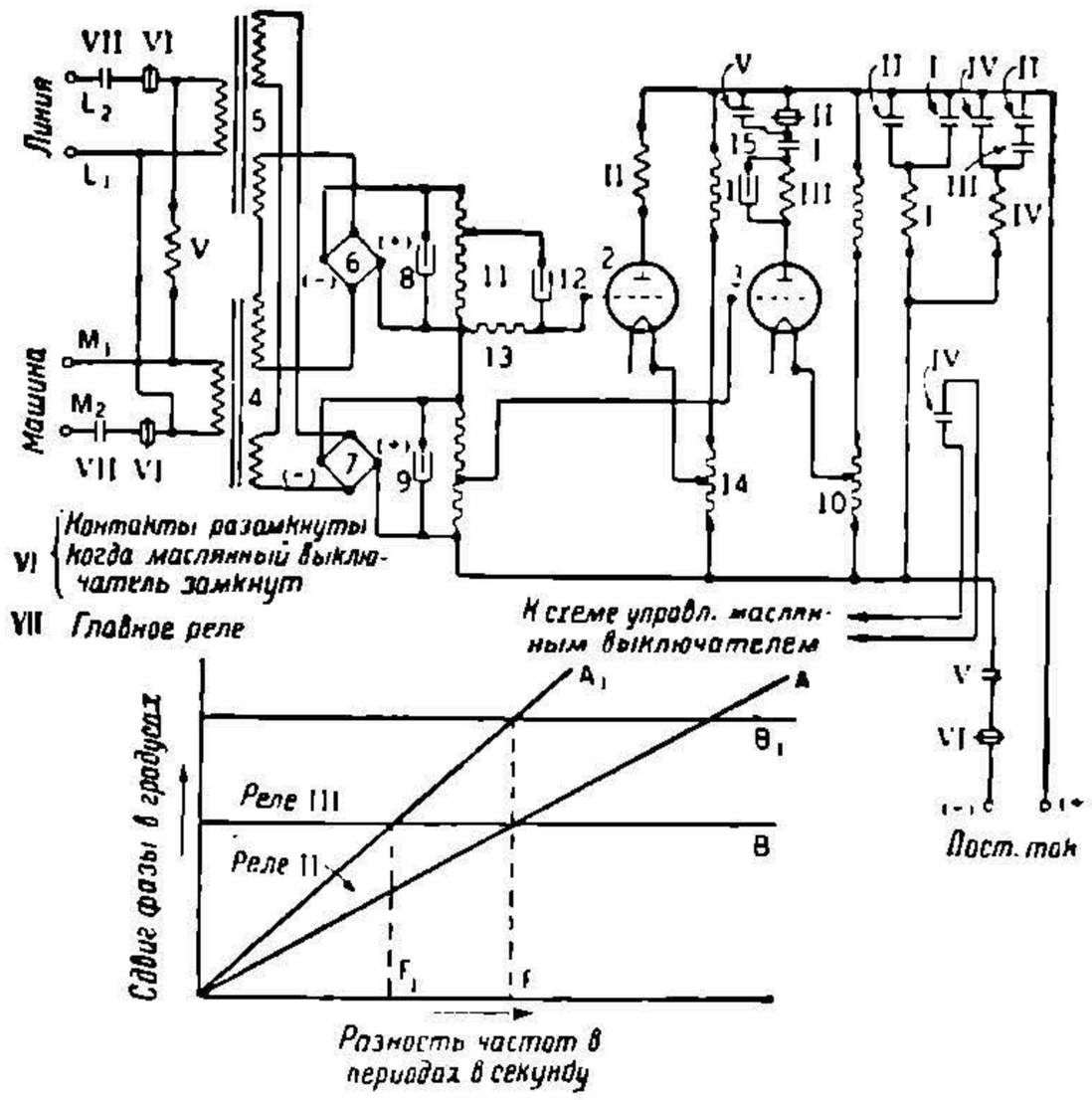
НБ УДУНТ (ДИТ)

с прямой A_1, то прибор будет срабатывать при большем времени опережения, соответствующем масляному выключателю с более продолжительным временем срабатывания, и предельно допустимая разность частот уменьшится с F до F_1. Чтобы возвратить разность частот к прежнему значению F, прямую B необходимо передвинуть в положение B_1 при помощи регулировки частотного реле *III*.

Автоматический синхронизатор присоединяется к трансформаторам напряжения обеих систем через промежуточные трансформаторы *4* и *5* (фиг. 171). Вторичные обмотки трансформаторов соединены навстречу друг другу и дают напряжение биения (нулевое напряжение при сдвиге фаз, равном нулю) на выпрямители *6* и *7*. Пульсации переменного тока



Фиг. 170. Электронный автоматический синхронизатор.



Фиг. 171. Схема и рабочая характеристика электронного синхронизатора.

Реле *II* — опережающее.
Реле *III* — включающее.

в выпрямленном напряжении сглаживаются конденсаторами *8* и *9*. Поэтому на выходе выпрямителя получается пульсирующее постоянное напряжение, изменяющееся от нуля до максимума и от максимума до нуля один раз в секунду на каждый период разности частот обеих систем.

Усилительная лампа *3* присоединена вместе с катушкой реле *III* к источнику постоянного тока напряжением в 250 V. Потенциометр *10* подает на сетку постоянное отрицательное смещение, которое можно регулировать, изменяя положение движка потенциометра. Кроме этого смещения к сетке прилагается отрицательное смещение, равное половине напряжения на выходе выпрямителя *7*. Это смещение имеет максимум, когда сдвиг фазы между напряжениями систем равен 180°. При уменьшении угла сдвига фазы отрицательное смещение на сетке лампы *3* уменьшается до тех пор, пока полное отрицательное смещение на сетке не будет достаточно низко для того, чтобы реле *III* могло сработать и замкнуть свои контакты. Срабатывание реле *III*

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

может происходить при любом требуемом угле сдвига фазы в пределах от 0 до 40°, регулировкой потенциометра *10*.

Реле *II* имеет характеристику пропорционального опережения благодаря совместному действию конденсатора *12*, сопротивления *13* и выпрямителя *6*. Как это было указано выше, постоянное напряжение на выходе выпрямителя *6* пульсирует с частотой, пропорциональной разности частот между обеими параллельно соединяемыми электрическими системами.

Если между обеими системами имеется определенная разность потенциалов и угол сдвига фазы уменьшается от 180° до 0, то напряжение на выходе выпрямителя *6* и напряжение на конденсаторе *12* убывают, но напряжение на конденсаторе *12* выше, чем напряжение выпрямителя на величину, зависящую от разности частот. Разрядный ток конденсатора создает на сопротивлении *13* падение напряжения, величина которого пропорциональна разности частот.

Падение напряжения на сопротивлении *13* используется для получения положительного смещения на сетке лампы *2*. Постоянное отрицательное смещение подается на сетку этой лампы при помощи потенциометра *14*, а переменное отрицательное смещение берется от выпрямителя *7*. Потенциометр *14* регулируется таким образом, чтобы получающееся отрицательное смещение было как раз достаточно для срабатывания реле *II* при нулевом сдвиге фазы, когда разность частот равна нулю. При любой определенной разности частот сетка лампы *2* имеет определенное положительное смещение, которое уменьшает полное отрицательное смещение на сетке. Поэтому реле *II* срабатывает при опережающем угле сдвига фазы, причем угол опережения пропорционален мгновенному значению разности частот.

После включения синхронизатора главным реле, установленным на автоматической станции, он действует следующим образом: при сдвиге фаз, равном нулю, реле пропорционального опережения *II* срабатывает, и его контакты включают реле *I*, которое также срабатывает и самоблокируется. Реле *1* служит для получения выдержки времени, соответствующей одному периоду скольжения. Это реле, таким образом, препятствует синхронизации до тех пор, пока конденсатор *12* не приобретает заряда, соответствующего мгновенному значению угла сдвига фазы и разности частот.

Если во время следующего биения, когда сдвиг фазы убывает от 180° до 0, разность частот больше заданной, то реле *II* сработает в точке, опережающей момент синхронизма, и замкнет свои контакты прежде чем будет включено реле *III*. Так как размыкающие контакты реле *II* соединены последовательно с катушкой реле *III*, то последнее не будет срабатывать до тех пор, пока реле *II* не выключится при угле сдвига фаз, равном нулю. Вследствие этого синхронизации не произойдет.

Если разность частот меньше, чем выбранная разность частот, то реле *III* сработает прежде реле *II* и, наконец, если

НБ УДУНТ (ДІІТ)

реле *II* сработает при правильном угле опережения, то сработает реле *IV*, так как контакты реле *III* благодаря конденсатору *15* остаются замкнутыми в течение достаточно долгого промежутка времени. Реле *IV* блокирует себя, включает масляный выключатель и завершает операцию параллельного включения.

После включения масляного выключателя автоматический синхронизатор отключается от схемы при помощи вспомогательного реле, которое замыкается контактами на валу масляного выключателя. Так как реле *IV* может сработать и включить масляный выключатель только в том случае, если включены оба реле *II* и *III*, то очевидно, что прибор перестанет действовать при выходе из строя одной из усилительных ламп *2* или *3*. Поэтому возможность неправильной синхронизации из-за перегорания ламп исключена.

Если синхронизатор применяется для включения масляного выключателя, который может иногда быть последним соединительным звеном в замкнутой системе, то между напряжениями на обеих сторонах масляного выключателя не будет скольжения, хотя угол сдвига фазы может и не равняться нулю. При этих условиях реле *I* и *II* замкнутся, но реле *III* не включится, так как размыкающие контакты реле *II* соединены последовательно с катушкой реле *III*. Для включения масляного выключателя реле времени *V* присоединено на сумму напряжений измерительных трансформаторов (при сдвиге фаз, равном нулю, напряжение на реле *V* равно сумме напряжения). Реле *V* срабатывает при сдвиге фаз в пределах до 30°. Замыкающие контакты этого реле шунтируют размыкающие контакты реле *II*. Выдержка времени реле *V* устанавливается таким образом, чтобы контакты реле не замыкались, если разность частот превышает 0,005 периода. Поэтому в обычных условиях реле *V* не оказывает никакого действия.

Электронный синхронизатор, описанный Силей[1], основан на принципе, аналогичном изложенному выше, за исключением того, что свойство пропорционального опережения достигается благодаря напряжению, наводимому во вторичной обмотке трансформатора, первичная обмотка которого присоединена к выпрямленному напряжению биения. Кроме того, в нем производится компенсация разности напряжений обоих синхронизируемых источников.

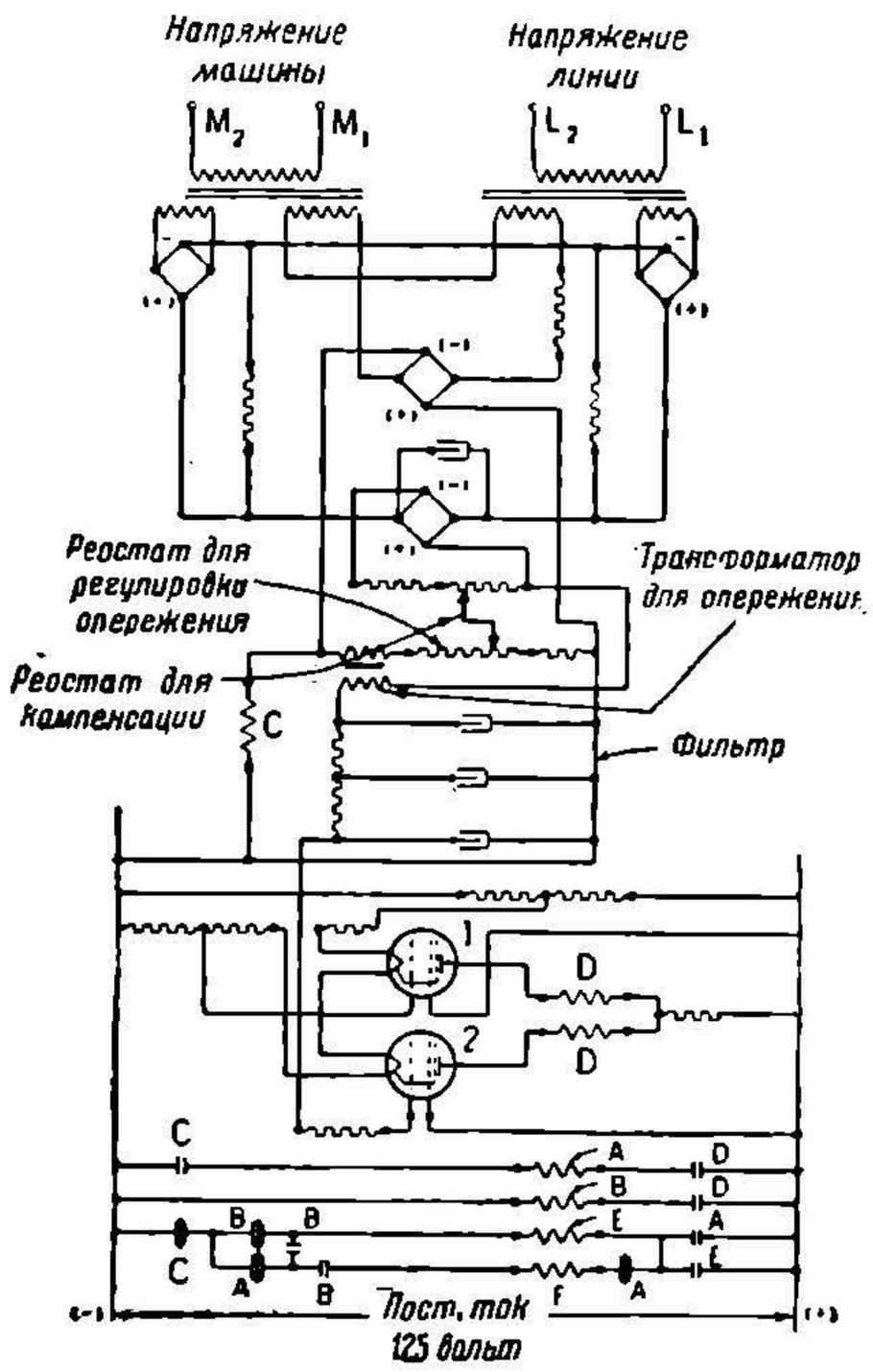
Схема соединений этого синхронизатора приведена на фиг. 172. Реле пропорционального опережения *D* представляет собой диференциальное реле, каждая обмотка которого питается анодным током усилительной лампы. Лампа *1* служит для компенсации изменений напряжения источника постоянного тока. Ток лампы *2* зависит от сдвига фазы между напряжением синхронизируемых систем и их разности частот. Реле минимального напряжения *C* питается выпрямленным и скомпенсированным напряжением. Поэтому контакты *C* замыкаются, когда сдвиг

[1] Electrical Engineering Vol. 53, N 6, стр. 960—968.

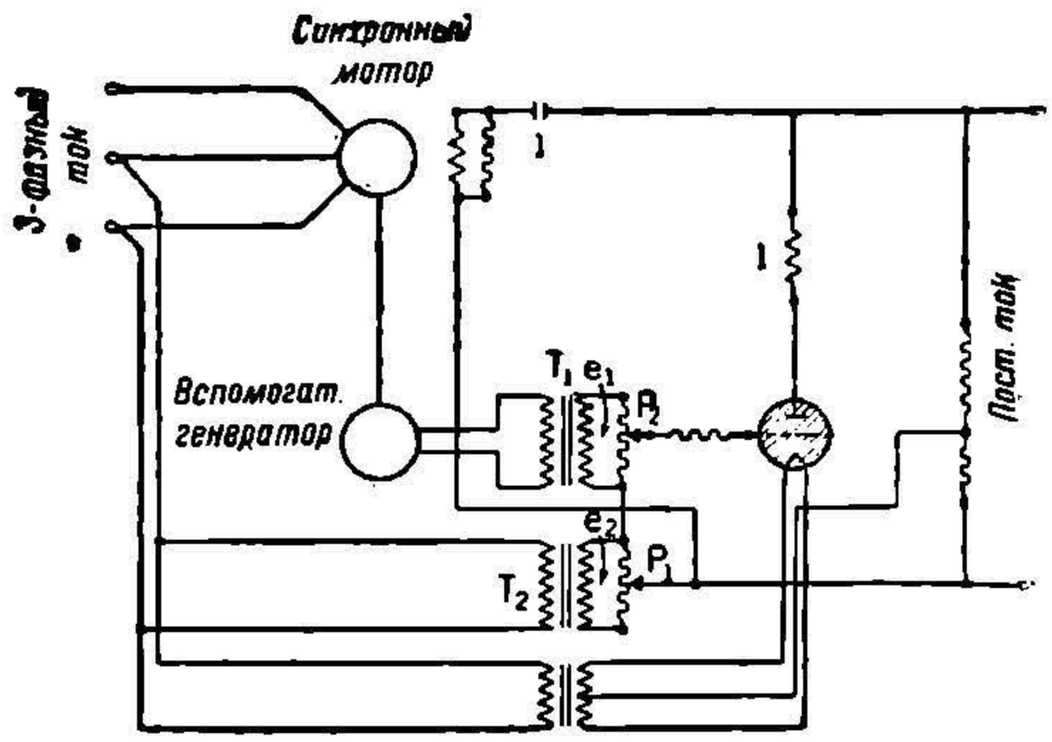
НБ УДУНТ (ДІІТ)

фазы между напряжениями обеих систем находится внутри определенных заданных пределов.

Во многих случаях синхронизатор не должен иметь такой высокой точности, которая необходима при синхронизации больших генераторов. Примером может служить синхронизация синхронных моторов с целью максимального вращающего момента и предельного тока во время периода синхронизации. Прибор, предназначенный для этой цели (фиг. 173), состоит из одного тиратрона, работающего при постоянном анодном напряжении. Постоянное отрицательное сеточное смещение поддерживается после начала операции синхронизирования. Это отрицательное сеточное смещение подается при помощи двух последовательно соединенных потенциометров P_1 и P_2, которые присоединены к различным источникам переменного тока. К оси синхронного мотора присоединен



Фиг. 172. Схема автоматического синхронизатора фирмы General Electric.



Фиг. 173. Схема синхронизатора для синхронных моторов.

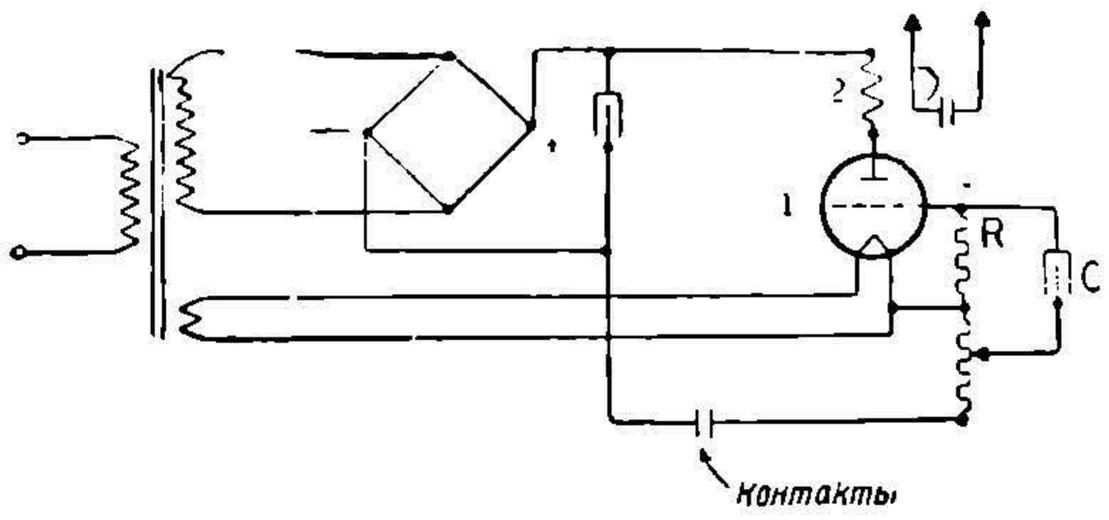
вспомогательный генератор переменного тока. Напряжение от этого генератора подается к пиковому трансформатору T_1, вторичная обмотка которого присоединена к потенциометру P_2. Второй пиковый трансформатор T_2 питается от линии и присоединен к потенциометру P_1. Потенциометры P_1 и P_2 отрегулировывают таким образом, чтобы на сетку подавались одинаковые напряжения с P_1 и с P_2. Когда скорость мотора близка к синхронной скорости, напряжения e_1 и e_2 отличаются по частоте на величину скольжения. Однако в некоторый момент пиковые напряжения e_1 и e_2 могут находиться в фазе. В этот момент должно быть приложено напряжение возбуждения замыканием реле *1*. Это достигается такой регулировкой P_1 и P_2, при которой тиратрон при одновременном появлении пиковых напряжений во вторичных обмотках T_1

ГБ УДУНТ (ДІІТ)

и T_2 приобретает как раз достаточное для зажигания положительное сеточное напряжение. Точность зажигания тиратрона, включающего реле *1* и обмотки возбуждения, определяется остротой пиков напряжения. Легко можно достигнуть точности порядка 5 электрических градусов.

Этот прибор может быть также использован для синхронизации двух моторов при определенном их угловом положении друг относительно друга. Это бывает часто желательно в тех случаях, когда два мотора, присоединенные к одному и тому же источнику, имеют такую пульсирующую нагрузку, как, например, воздушный компрессор. Этим способом можно сделать так, чтобы толчки компрессоров происходили в различные моменты времени, благодаря чему возможная пиковая мощность будет сильно уменьшена. Вспомогательный генератор присоединяется к каждому мотору. Сперва синхронизируется с линией один из моторов. Затем синхронизируется второй при помощи напряжений, подаваемых от двух вспомогательных генераторов к трансформаторам T_1 и T_2 (фиг. 173).

91. Реле времени. Электронные реле времени широко применяются в самых разнообразных схемах. Преимущества электронных реле времени по сравнению с механическими и электромагнитными реле заключаются в точности, широком рабочем диапазоне, легкости регулировки и минимуме эксплоатационных расходов.



Фиг. 174. Простое электронное реле времени.

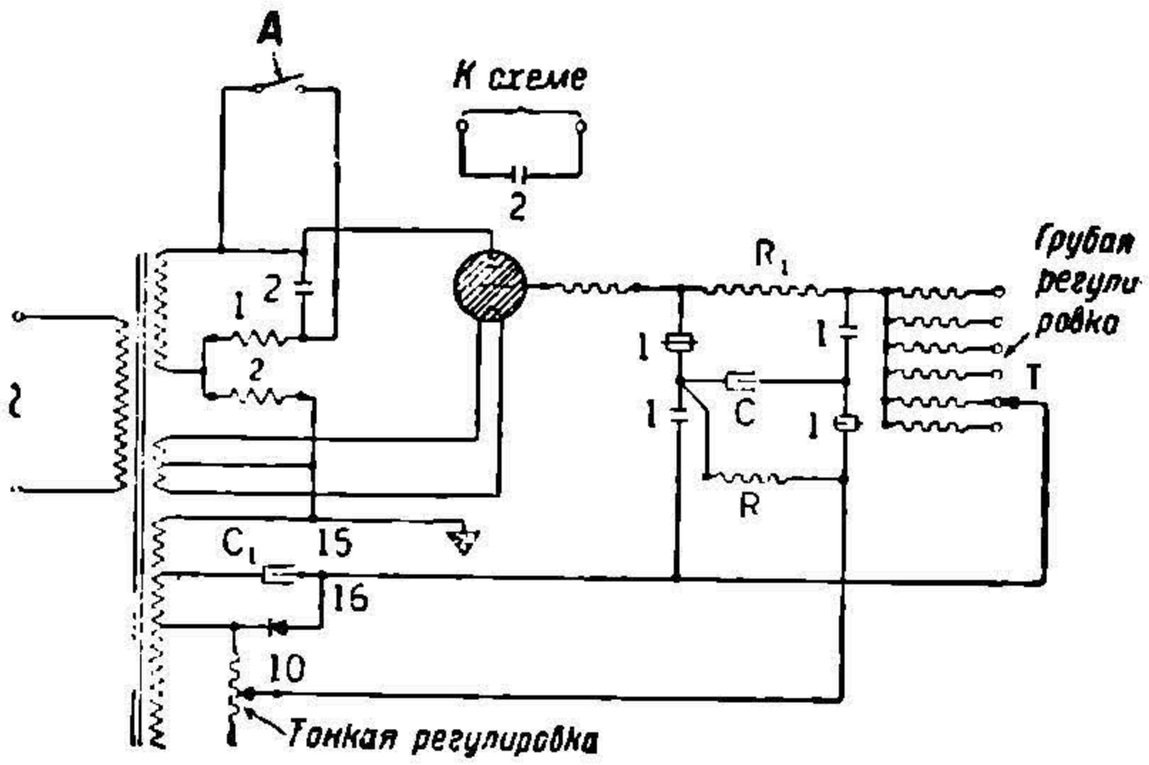
В электронных схемах, в которых обычно имеется источник постоянного тока, можно с успехом пользоваться реле времени, показанным на фиг. 174. Реле состоит из усилительной лампы *1*, соединенной последовательно с реле *2*. В цепь сетки включены конденсатор и сопротивление таким образом, что изменение анодного тока, т. е. тока в реле, зависит от зарядки конденсатора C, определяемой постоянной времени RC конденсатора C и сопротивления R. Введение этого реле времени в электронные схемы обходится очень недорого. Благодаря легкости регулировки выдержки времени реле очень удобно для многих промышленных применений.

Электронное реле времени, схема которого приведена на фиг. 175, первоначально было разрабатано для контроля электронной точечной сварки. Однако благодаря своей надежности, простоте и легкости регулировки реле нашло себе широкую область применения в промышленных установках, работа которых должна происходить в соответствии с определенными промежутками времени. Реле может оставаться замкнутым в течение определенного времени, которое может регулироваться от $^1/_{10}$ до 40 сек. Выдержка времени практически не зависит от колебаний напряжения в линии.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Выдержка времени электронного реле зависит от времени разрядки конденсатора C через сопротивление. Напряжение конденсатора подается на сетку тиратрона, который включает контактор. Когда реле времени не работает, тиратрон не проводит тока благодаря переменному напряжению 15—10, которое заряжает сеточный конденсатор C через нормально замкнутые контакты реле *1*, причем сетка и катод лампы действуют как выпрямитель. Конденсатор в цепи сетки заряжается до максимального значения волны переменного напряжения. При выключении источника тока конденсатор разряжается через шунтирующие его нормально замкнутые контакты реле *1* и сопротивление R.

При замыкании рубильника A включается реле *1*, которое изменяет полярность напряжения на конденсаторе C по отношению к сетке P на обратное, отсоединяет разрядное сопротивление R и присоединяет через переключатель T параллельно конденсатору сопротивление, соответствующее необходимой выдержке времени. В то же самое время в цепь сетки включается высокоомное сопротивление R_1, препятствующее параллельному разряду конденсатора через сетку, что могло бы привести к изменению требуемой выдержки времени. Благодаря изменению полярности конденсатора при помощи реле сеточное напряжение делается положительным, тиратрон зажигается и включает реле *2*.



Фиг. 175. Схема электронного реле времени.

В цепь сетки теперь оказывается включенным и конденсатор C_1, дающий напряжение такой полярности, чтобы сетка сделалась отрицательной после того, как конденсатор C в цепи сетки разрядится до заданного значения. Конденсатор C постепенно разряжается через сопротивление и в конце выдержки времени напряжение на C становится настолько низким, что сеточное напряжение опять становится отрицательным, тиратрон потухает, и реле *2* выключается.

Реле *2* при включении блокирует реле *1*. Эта блокировка такова, что продолжительность выдержки времени не зависит от времени, в течение которого рубильник A замкнут, реле будет продолжать работать, даже если рубильник A выключить. Если же рубильник A находится во включенном положении неопределенно долго, то реле выключится и будет оставаться в этом положении, пока рубильник A не будет разомкнут и опять замкнут для того, чтобы конденсатор C в цепи сетки приобрел новый заряд.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

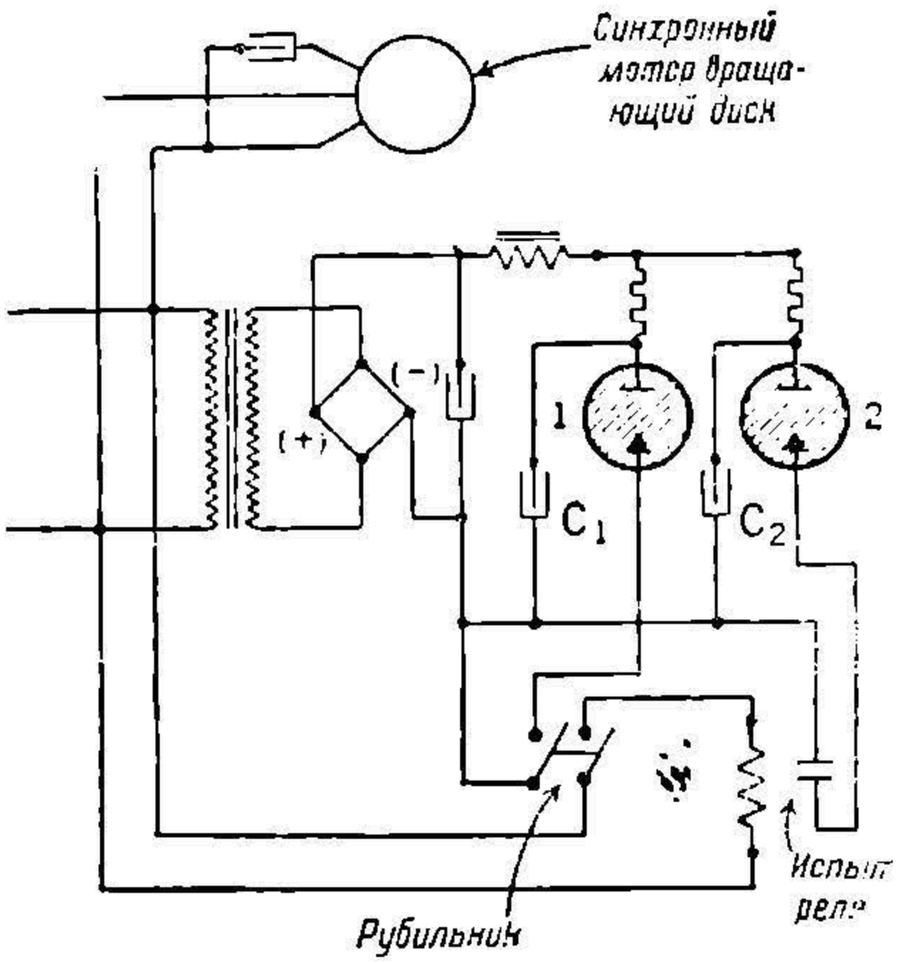
Регулировка выдержки времени производится переключателем T, служащим для выбора подходящего разрядного сопротивления, а также изменением положения движка потенциометра *10*. Переключатель производит ступенчатую регулировку, а потенциометр — плавную регулировку.

Особенности этого реле времени заключаются в том, что:

а) Точная регулировка не зависит от медленного изменения высокоомных сопротивлений (с вытекающей отсюда трудностью сохранения неизменными регулировки и градуировки), но зависит от изменения зарядного напряжения конденсатора.

в) Высокое сеточное напряжение, необходимое для точности работы, вне зависимости от небольших изменений параметров лампы, получается благодаря использованию выпрямительных свойств цепи сетка — катод самой лампы.

92. Прибор для измерения коротких промежутков времени. Приборы, содержащие механические части, не позволяют производить точных измерений коротких промежутков времени до $^1/_{100}$ сек. из-за инерции этих механических частей. По этой причине был разработан электронный измерительный прибор для лабораторного изучения временных характеристик реле и других устройств. Этот прибор (фиг. 176) состоит из двух ламп тлеющего разряда и синхронного мотора, вращающего диск. Диск имеет два ряда равноотстоящих друг от друга цифр (перенумерованных от 1 до 20) и вращается со скоростью 1 800 оборотов в минуту или со скоростью $^1/_2$ оборота за период [1], откуда следует, что расстояние между цифрами соответствует $^1/_{10}$ периода. Оба ряда цифр движутся мимо кожуха, содержащего лампу тлеющего разряда. В каждом из кожухов вырезано отверстие.



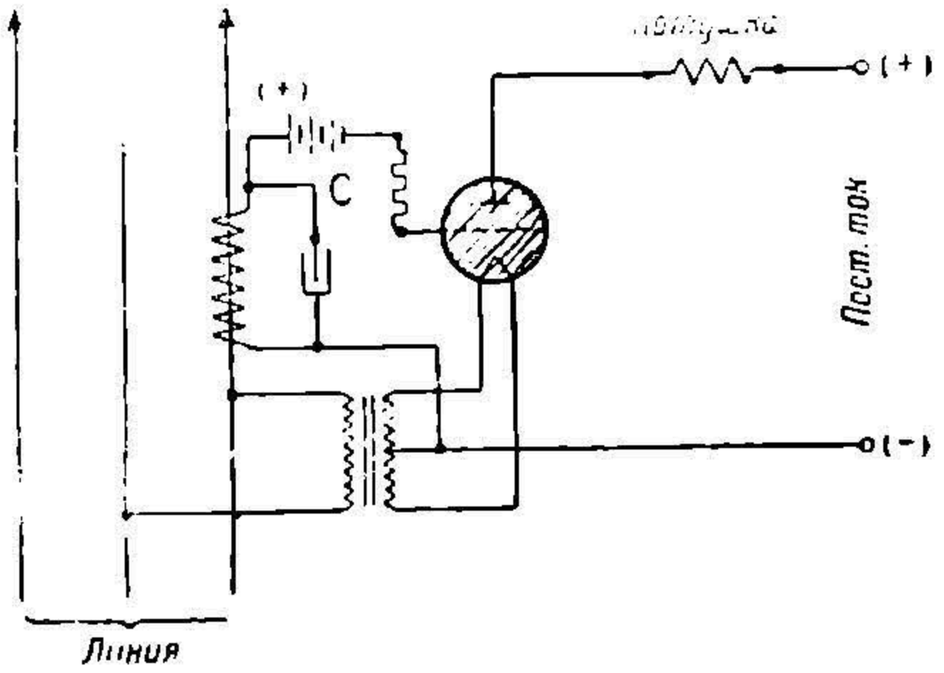
Фиг. 176. Схема прибора для измерения коротких промежутков времени.

Для того чтобы произвести измерение какого-нибудь промежутка времени, необходимо замкнуть цепь лампы *1* в начале этого промежутка. Лампа мгновенно зажигается и мгновенно разряжает конденсатор C_1. Лампа *1* освещает число, которое в этот момент находится напротив верхнего отверстия прибора. В конце измеряемого промежутка времени испытываемое реле замыкает своими контактами цепь лампы *2*. Лампа *2* вспыхивает, и напротив нижнего отверстия прибора появляется цифра. Разность чисел, отсчитанных в верхнем и нижнем отверстиях, представляет собой точную меру промежутка времени.

[1] При частоте переменного тока, равной 60 Hz.

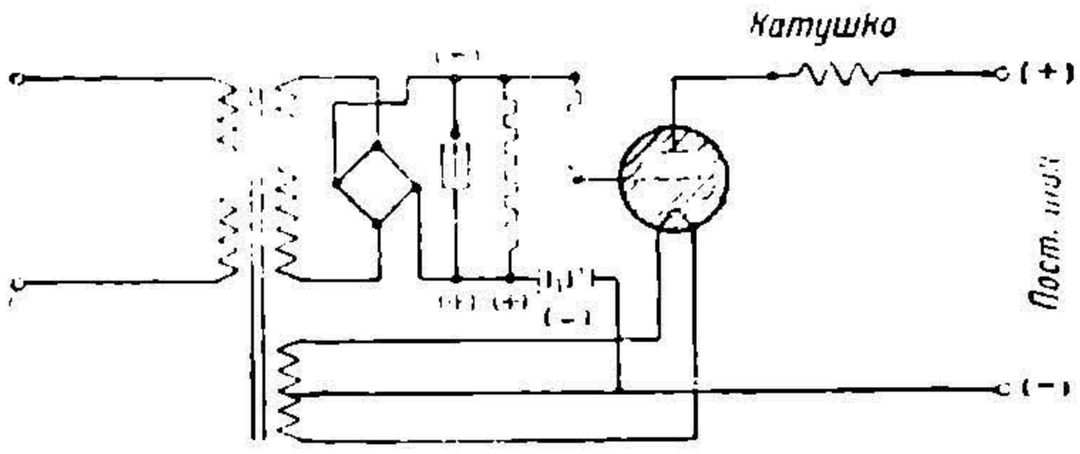
НБ УДУНТ (ДІІТ)

93. Реле защиты. В этом параграфе дается описание нескольких экспериментальных реле защиты для центральных электрических станций, рассмотренных д-ром R. Widerое [1]. На фиг. 177 дана схема простого максимального реле. Тиратрон срабатывает, если амплитуда переменного напряжения, получаемого от токового трансформатора, превышает отрицательное сеточное смещение батареи *C*. Схема сильно упрощена и служит лишь для пояснения принципа действия. На практике батарея и источник постоянного напряжения заменяются выпрямителями.

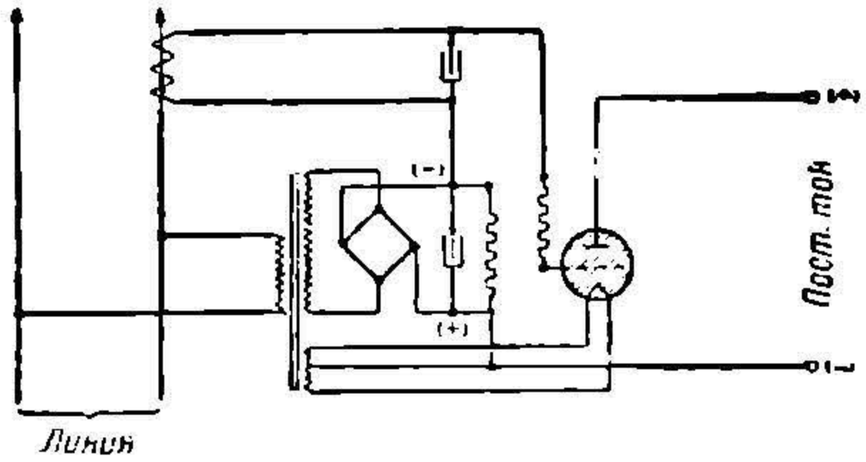


Фиг. 177. Мгновенное максимальное реле.

На фиг. 178 изображено минимальное реле напряжения. В нем батарея присоединена таким образом, что при уменьшении контрольного напряжения сетка тиратрона становится более положительной. Для того чтобы тиратрон не зажигался при отрицательном переменном напряжении, напряжение, подаваемое на сетку, необходимо выпрямлять и фильтровать. Реле, приведенные на фиг. 177 и 178, указывают максимальное значение



Фиг. 178. Минимальное реле напряжения.



Фиг. 179. Минимальное импедансное реле.

тока или напряжения, а не среднее квадратичное значение, что обычно имеет место в случае электромагнитных реле. Это свойство является недостатком реле в тех случаях, когда изменяется форма волны, так как при этом отношение максимального значения к среднему квадратичному значению не остается постоянным.

На фиг. 179 дана схема импедансного реле. Это реле представляет собой соединение схем, представленных на фиг. 177 и 178 и срабатывает, если отношение тока и напряжения падает ниже заданного значения.

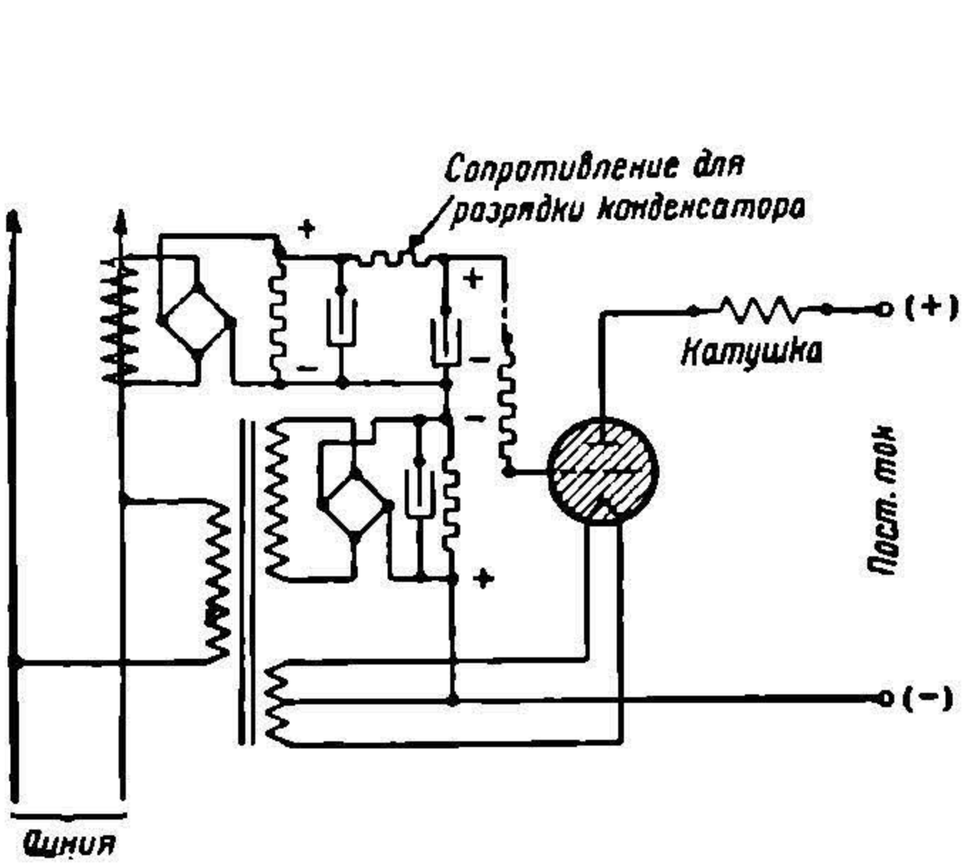
Электронные приборы идеально подходят для применения в дистанционных реле (фиг. 180). Это реле отличается от реле на фиг. 179 тем, что напряжение на выходе трансформатора выпрямляется. Получающееся постоянное напряжение подается к конденсатору, который задерживает действие тока перегрузки.

[1] Electrical Engineering Vol. 53, стр. 1347—1353.

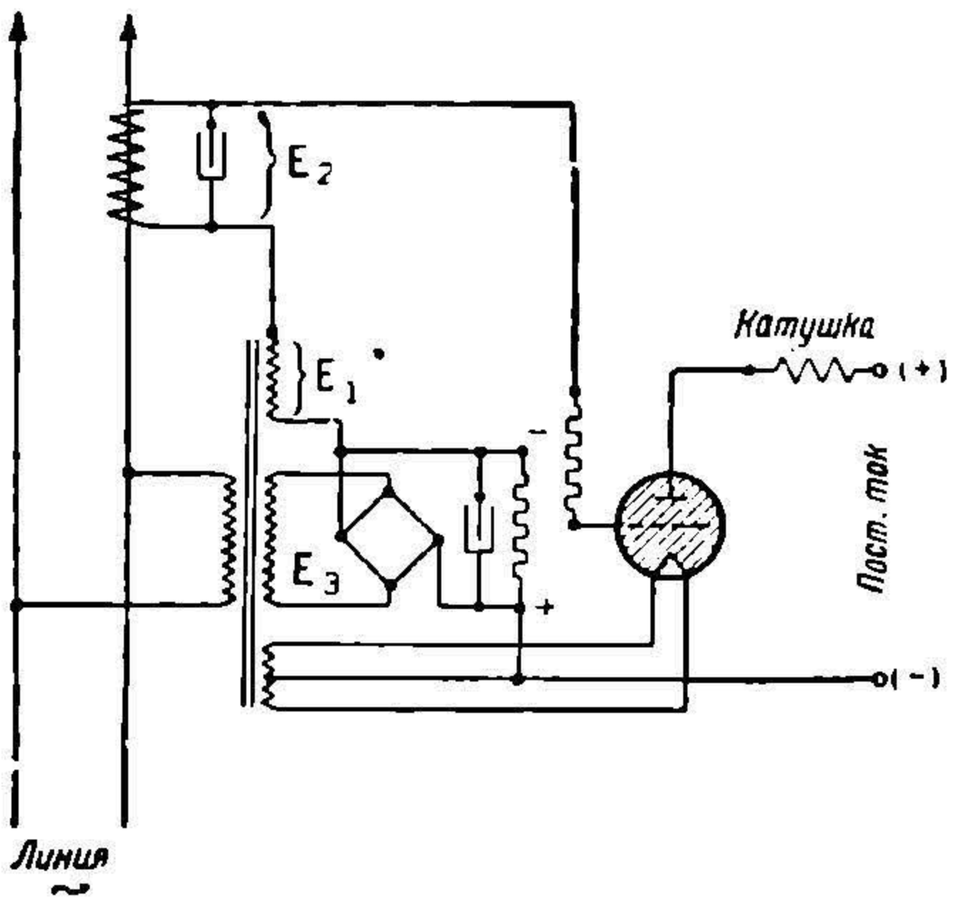
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Запаздывание этого реле пропорционально импеданцу цепи нагрузки, и реле обладает свойствами обычного дистанционного реле.

Использовав изменения в сдвиге фазы между двумя переменными напряжениями, можно составить схему электронного реле, имеющего свойство направленности действия (фиг. 181). В этой



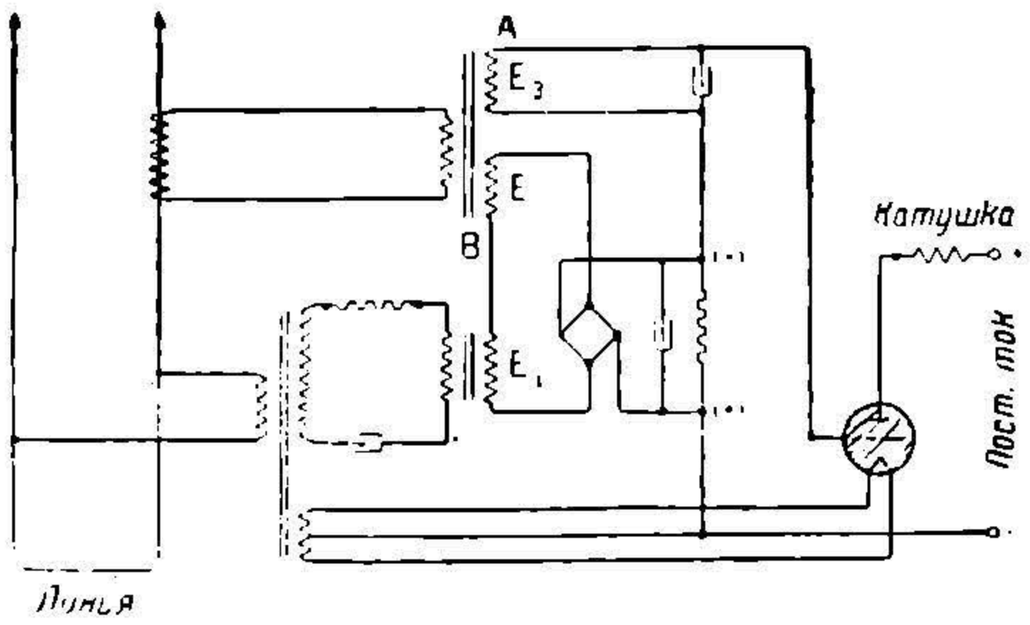
Фиг. 180. Дистанционное реле.



Фиг. 181. Реле мощности направленного действия.

схеме переменные напряжения E_1 и E_2 складываются и уравновешиваются выпрямленным переменным напряжением E_3. Если переменные напряжения E_1 и E_2 складываются, то тиратрон зажигается и реле срабатывает. Если ток меняет направление, то переменные напряжения вычитаются и реле не срабатывает.

На фиг. 182 показано реактанцное реле. Напряжение E_1 смещено практически на 90° при помощи настроенной схемы для смещения фазы. Это напряжение складывается с напряжением E_2 одной из вторичных обмоток трансформатора тока. Затем сумма обоих напряжений выпрямляется. Выпрямленное напряжение уравновешивается напряженнем E_3 трансформатора тока. Реле срабатывает, если реактанц цепи нагрузки меньше значения, определяемого разностью $A-B$, где A и B — числа витков вторичных обмоток трансформатора тока.

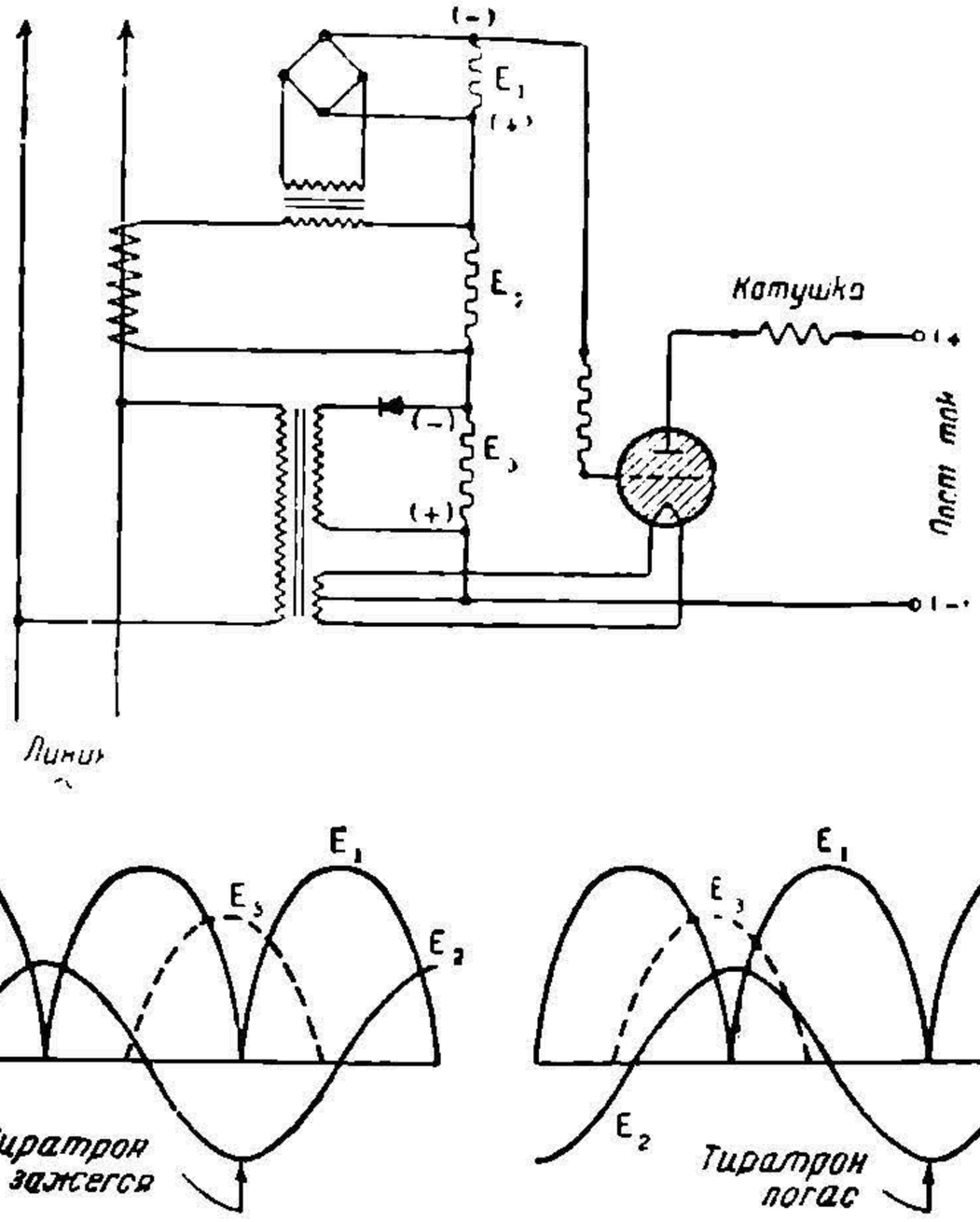


Фиг. 182. Минимальное реактанцное реле.

Переходные электрические процессы, вызываемые процессами включения или грозовыми разрядами, могут попасть на сетки тиратронов и вызвать неправильное срабатывание. Для уменьшения действия переходных процессов между сеткой и катодом тиратрона помещается конденсатор. Для описанных нами выше

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

электронных реле введение такого конденсатора не представляет собою серьезного недостатка, так как создаваемое им запаздывание мало по сравнению с полным временем срабатывания реле. Для быстродействующих реле с временем срабатывания, меньшим одного периода, запаздывание, вводимое конденсатором, может быть нежелательным. В таких случаях применяется схема, приведенная на фиг. 183. Принцип действия этой схемы заключается в том, что к сетке тиратрона прикладывается блокирующее напряжение, благодаря чему на сетке всегда имеется



Фиг. 183. Быстродействующее реле направленного действия.

большое отрицательное смещение, если не считать очень короткого промежутка времени, в течение которого происходит срабатывание реле.

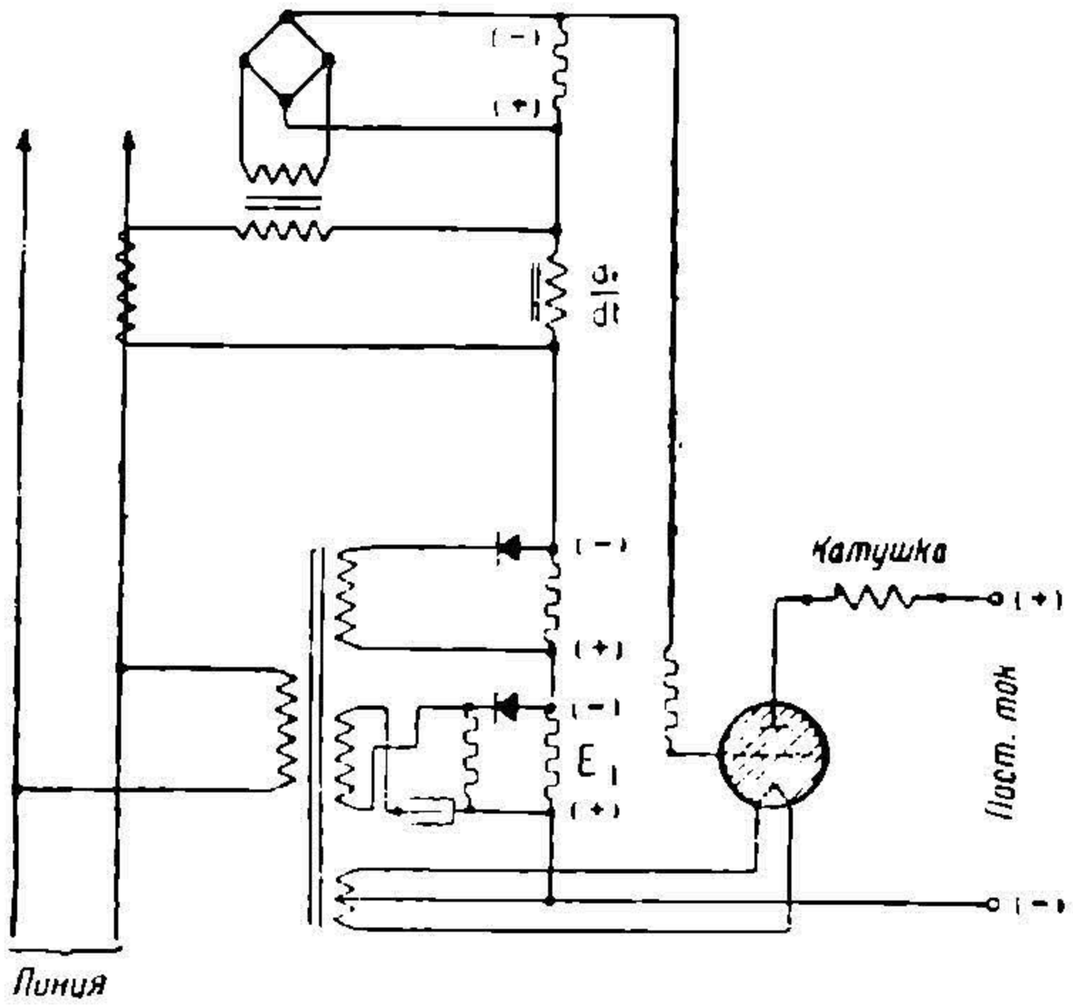
Подходящее блокирующее напряжение, быстро уменьшающееся до нуля и затем быстро увеличивающееся, может быть получено при помощи выпрямленного переменного напряжения и сопротивления, величина которого зависит от приложенного к нему напряжения.

Момент равенства нулю блокирующего напряжения относительно волны переменного напряжения можно регулировать схемой для смещения фазы. Блокирующее напряжение и ток нагрузки на фиг. 183 смещены друг относительно друга на 90°. Поэтому реле может сработать только в течение того короткого промежутка времени, когда ток имеет свое максимальное значение.

Напряжение E_3 берется от однополупериодного выпрямителя. Реле будет работать как направленное реле и срабатывать, если

НБ УДУНТ (ДІІТ)

направление тока изменится на обратное. Несмотря на то, что такого рода блокировочная схема уменьшает возможность неправильного срабатывания от непродолжительных импульсов напряжения, появляющихся при переходных процессах, оно все же не устраняет ее полностью, так как всегда имеется некоторая вероятность, что импульс появится в тот момент, когда блокирующее напряжение равно нулю.



Фиг. 184. Быетродействующее минимальное реактанцное реле направленного действия.

На фиг. 184 дана схема быстродействующего минимального реактансного реле с блокировкой. Блокирующее напряжение равно нулю до тех пор, пока ток равен нулю. Напряжение $\frac{di}{dt}$, создаваемое током, проходящим через обмотку ненасыщенного дросселя, направлено навстречу блокирующему напряжению. Напряжение, приложенное к сетке лампы, пропорционально индуктивности цепи нагрузки, так как в момент равенства нулю блокирующего напряжения ток равен нулю. Поэтому реле чувствительно к реактанцу цепи нагрузки.

Реле срабатывает, если реактанц цепи нагрузки падает ниже определенного значения.

Этому реактанцному реле также можно придать направленность действия, если в цепь сетки ввести добавочное напряжение E_1 (фиг. 184). Это напряжение обычно настолько сдвинуто по фазе, что в нормальных условиях оно не может повлиять на измерение реактанца в том случае, когда ток течет в нужном направлении.

Если ток меняет знак, то добавочное напряжение препятствует выключению реле.

Литература

«Vacuum Tube Delay Circuits», M. W. Muehter, Electronics, December, 1933, pp. 336—337.

«An Electronic Voltage Relay», J. W. Graff, Electronics, March, 1934, pp. 80—81.

«An Electronic Phase-Failure Relay», C. Stransbury and G. C. Brown, Electronics, February, 1933, pp. 46—47.

«A Slow Acting Vacuum Tube Relay», D. Pollack, Electronics, October, 1930, pp. 342—343.

«Thermionic Delay Relays for Cathode Protection», Miles and Morack, Electronics, April, 1935, p. 124.

«A Carrier Current Relay Installation», Browne and Vest, Elec.Eng., January 1935, p. 109.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

«Electronic Timer for Very Short Intervals», H. W. Lord, Electronics, October, 1932.
«The Principle of Condenser Discharge Applied to Central Station Control Problems», F. H. Gulliksen, AIEE Trans., Vol. 52, pp. 232—239.
«An Electron Tube Time-Delay Relay», G. C. Holloway, Electronics, 1933, p. 220.
«Eine selbstättige Synchroniesierungseinrichtung mit gasgefüllten, gittergesteuerten Entladungsrohren», Vitaly Grosse, Elektrotechnische Zeitschrift, 1934, Heft 31, SS. 761—763.

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Глава XIV

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

Первые автоматические регуляторы были механическими, как, например, регуляторы паровых машин и водяных турбин. Они были вытеснены более мощными гидравлическими регуляторами, которые давали более стабильное регулирование. Однако универсальное применение автоматические регуляторы не получали до тех пор, пока не были разработаны регуляторы электромагнитного типа. Последнюю ступень в развитии регуляторов представляют собой электронные регуляторы, появление которых сильно расширило возможности применения регуляторов, особенно в области производственных процессов.

94. Элементы конструкции автоматических регуляторов. Первые электромагнитные регуляторы были применены для регулирования напряжения генераторов. Несмотря на то, что каждый регулятор может быть использован для контроля любой величины или производственного процесса, практически всякий регулятор, по существу, является регулятором напряжения, поскольку его измерительный элемент почти всегда приводится в действие напряжением, и регулятор стремится поддерживать это напряжение постоянным. При попытке освоить новую область применения, в которой регулируемая величина не является электрическим напряжением и поэтому не может быть непосредственно приложена к измерительному элементу, прежде всего необходимо разрешить задачу: каким образом можно превратить регулируемую величину в электрическую величину. Следующая задача заключается в том, чтобы выбрать подходящий тип (электромагнитного или электронного) регулятора, наилучшим образом удовлетворяющий требованиям к нему, которые вытекают из специфических особенностей рассматриваемой области применения.

Регуляторы разделяются на два, существенным образом отличающихся друг от друга, типа: на статические и астатические регуляторы. Наилучшим примером регулятора статического типа является хорошо известный реостатный регулятор напряжения генератора. До тех пор пока регулируемое напряжение остается в узкой зоне, определяемой чувствительностью регулятора, ток

НТБ УДУНТ (ДИТ)

возбуждения генератора остается неизменным. При изменении нагрузки и, следовательно, напряжения генератора регулятор воздействует на реостат, включенный в цепь обмотки возбуждения генератора до тех пор, пока напряжение не вернется опять к своему нормальному значению. В случае статического регулятора работа схемы может быть сделана устойчивой или при помощи увеличения зоны нечувствительности регулятора или при помощи понижения скорости его корректирующего действия. В этих случаях отпадает необходимость в специальных средствах, препятствующих возникновению колебаний.

Наиболее характерным регулятором астатического типа является вибрационный регулятор Тиррилля. Благодаря ему ток возбуждения непрерывно изменяется, принимая значение то несколько меньшее, то несколько большее среднего значения тока, необходимого для получения нужной величины регулируемого напряжения. Вследствие электрической инерции обмоток возбудителя и генератора и большого количества вибраций регулирующего реле напряжение остается практически постоянным. Следует подчеркнуть, что в случаях применения астатического регулятора регулируемая величина не остается постоянной, а непрерывно изменяется, становясь то несколько больше, то несколько меньше среднего значения. Однако частота колебаний настолько высока и их амплитуда настолько низка, что для всех практических целей регулируемое напряжение может рассматриваться как постоянное. В каждом регуляторе астатического типа для получения устойчивой работы должны быть предусмотрены средства, препятствующие возникновению вредных колебаний.

При конструировании и применении регуляторов необходимо принимать во внимание большое количество различных факторов, как, например, требуемую чувствительность, быстродействие, область регулирования и характеристику регулируемого объекта. Фактором, требующим наибольшего внимания, является вопрос о выборе надлежащих средств для получения стабильного регулирования. При экспериментировании с регуляторами различных типов часто наблюдались такие условия, при которых регуляторы астатического типа как будто бы были устойчивы и без помощи специальных противоколебательных средств. Однако при тщательном анализе их работы неизменно оказывалось, что регулируемая величина колебалась со слишком большой частотой, которую не могли обнаружить обычные технические приборы, или что регулятор имел падающую характеристику, которая стабилизировала его работу, или что регулятор включал в себя противоколебательные средства, о наличии которых не знал даже сам конструктор регулятора.

Приведем цитату из F. H. Aschbaugh:

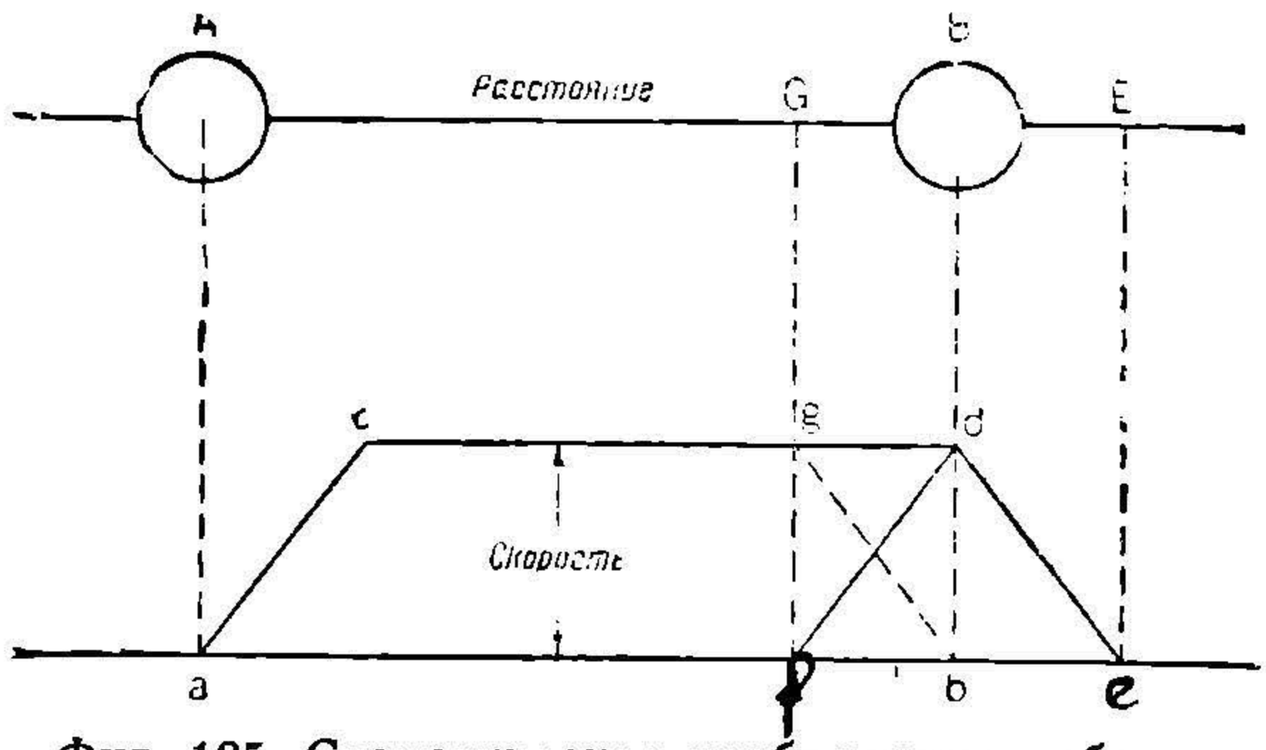
„Основная задача противоколебательных средств заключается в том, чтобы удалить восстанавливающую силу до момента достижения нормального или устойчивого состояния и тем самым учесть инерцию механического или электрического объекта. Смысл этой задачи можно представить себе из рассмотрения

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

сил, необходимых для передвижения тела из начального положения A в конечное положение B (фиг. 185).

Пусть ординаты кривой *acde* соответствуют скорости, а абсциссы — времени. Для простоты предположим, что расстояния можно изображать проекциями точек диаграммы скорости непосредственно на диаграмму расстояний AB. Приложение ускоряющей силы приведет к непрерывному возрастанию скорости по прямой *ac* на диаграмме скоростей.

В точке *c* внешняя ускоряющая сила равна силе сопротивления и тело движется вдоль линии *cd* с равномерной скоростью. Если в точке *d* внешнюю силу удалить, то очевидно, что тело, не имея возможности остановиться мгновенно, будет замедлять свое движение по прямой *de*.



Фиг. 185. Схематическое изображение работы регулятора.

Предположим, что после того как тело приходит в состояние покоя, на него сразу начинает действовать сила, стремящаяся возвратить его в точку *b*. Тело тогда начнет ускоренно двигаться вдоль линии *ed*. После того как тело достигнет точки *d*, прекратим опять действие внешней силы. Тело тогда начнет замедлять свое движение по линии *df*. В точке *f* сила опять переменит свой знак, и тело начнет двигаться по направлению к точке *e*. В результате возникнут колебания, т. е. тело будет непрерывно двигаться то назад, то вперед между точками *e* и *f*, не имея возможности когда-либо остановиться в точке *b*. Единственный способ заставить подобное устройство действовать надлежащим образом заключается в том, чтобы ввести область или зону нечувствительности, в пределах которой регулируемая величина может изменяться, не приводя в действие корректирующих сил и сделать движение настолько медленным, чтобы амплитуда колебаний *ef* не выходила бы из пределов зоны нечувствительности.

Известный каждому центробежный регулятор представляет собой типичный пример для иллюстрации высказанных соображений. Вертикальное перемещение вращающихся шаров изменяет положение заслонки, открывающей систему масляных реле. Перемещение заслонок снова устанавливает систему масляных реле, прежде чем скорость сделается нормальной, на величину, пропорциональную скорости перемещения заслонок. Таким образом ускоряющая сила удаляется до момента восстановления скорости и тем самым учитывается влияние инерции. В этом случае точкой, в которой прекращается действие силы, является точка G, и замедление тела происходит вдоль линии *gb* (фиг. 185)[*].

РГВ УДУНТ (ДІІТ)

Сравнение электронных регулирующих устройств с другими типами регуляторов указывает на несколько таких свойств электронных регуляторов, благодаря которым их применение в ряде случаев является чрезвычайно желательным. Наиболее существенной чертой электронных регулирующих устройств является их высокая чувствительность, которая может быть получена без помощи тщательно сбалансированных движущихся частей. Для придания необходимого затухания и противоколебательных свойств большинство электромагнитных регуляторов снабжается успокоителями, или демпферами, прикрепленными к очень точно уравновешенной системе рычагов. Очевидно, что в этих демпферах всегда имеется некоторое трение. В некоторых случаях, если за демпферами не обеспечен надлежащий уход, это трение может достигнуть такой величины, при которой оно будет уменьшать чувствительность регулятора. В электронных регулирующих устройствах уничтожение колебаний осуществляется при помощи схем, состоящих из емкости и сопротивления, действующих как бесфрикционный успокоитель, не требующий за собой ухода. Отсутствие механической инерции делает электронные приборы идеально подходящими для тех применений, когда они во время работы могут оказаться в наклонном положении. Одним из возможных примеров может служить применение регуляторов напряжения в кораблях. В то время как в случае электромагнитных регуляторов сильная качка может привести к значительным изменениям регулируемого напряжения, в случае электронных регуляторов она не сможет оказать никакого влияния на регулируемую величину.

В случае некоторых промышленных применений силы (механические и электрические), которые должны управлять действием регуляторов, могут быть настолько незначительными, что непосредственное использование электромагнитных регуляторов не может обеспечить требуемой чувствительности благодаря сравнительно большому количеству энергии, требуемому для приведения их в действие. Поэтому в тех случаях, когда регулятор должен приводиться в действие очень малыми силами, соответствующими ничтожной мощности, электронные устройства приобретают очень большое значение. Напомним, для большей ясности, что электронной усилительной лампой можно управлять мощностью в один микроватт и меньше. В некоторых случаях не допускается ни механическое, ни электрическое соединение регулируемой величины с регулятором. В такого рода применениях регулирование часто может быть осуществлено при помощи светового пучка, фотоэлемента и вспомогательного усилительного устройства.

Преимущество электронных регуляторов, не содержащих вспомогательного релейного оборудования, заключается в незначительном уходе, который необходим для поддержания их в надлежащем порядке во время эксплоатации. Они не имеют движущихся частей и контактов, которые нужно смазывать и чистить для удаления нагара, как это имеет место в электромагнитных

НБ УДУНТ (ДІТ)

регуляторах. Единственный уход, который требует правильно сконструированный электронный регулятор, заключается в замене ламп в конце их срока службы, причем эта операция требует буквально нескольких секунд. Другим свойством электронных регуляторов, очень ценным для некоторых применений, является их бесшумность. В связи с этим необходимо также упомянуть о том, что многие типы электронных устройств не создают радиопомех в противоположность регуляторам вибрационного типа. Проблеме радиопомех, создаваемых регулирующими устройствами постоянного тока, теперь уделяется серьезное внимание, и можно не сомневаться в том, что в недалеком будущем придется столкнуться с такими случаями, когда вопрос о наличии или отсутствии радиопомех будет иметь решающее значение.

Благодаря малому количеству энергии, требующемуся для управления электронными приборами, ручное управление ими может производиться маленькими потенциометрами около 4 см диаметром. Это делает возможным конструирование очень компактных миниатюрных контрольных панелей, предназначенных для управления различными производственными процессами. В случае нужды вся схема управления может быть собрана в переносном ящике, снабженном штепсельной вилкой для его присоединения к линии в различных точках.

Для получения правильного представления о преимуществах электромагнитных и электронных регуляторов необходимо рассмотреть еще два свойства последних. Первое из них заключается в кажущейся хрупкости электронных ламп, а второе — в необходимости заменять время от времени старые электронные лампы новыми. Опыт с различными видами электронных приборов показывает, что возможность их поломки при более или менее бережном к ним отношении очень мала. Срок службы при нормальном токе колеблется между 5000 и 10000 рабочих часов для тиратронов и между 5000 и 15000 рабочих часов для вакуумных ламп [1]. Если же лампа работает при токе ниже нормального, то ее срок службы значительно возрастает. Выше уже упоминалось о том, что замена лампы может быть произведена в течение нескольких секунд. Поэтому с точки зрения непрерывности действия это обстоятельство не является серьезным недостатком.

Решая вопрос о том, следует ли в каком-нибудь частном случае применить электронный или электромагнитный регулятор, следует учитывать годовую экономию, получаемую в результате улучшения процесса регулирования в случае применения электронного регулятора; при исчислении же расходов, идущих на замену ламп, необходимо учитывать уменьшение других эксплоатационных расходов. Во многих промышленных установках стоимость замены ламп ничтожна по сравнению с даваемыми ими преиму-

[1] Цифры, приведенные в тексте, относятся к американским лампам. Срок службы изготовляемых у нас ламп значительно короче.

Прим. перевод.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ществами, заключающимися в конечном счете в более высокой однородности производимого продукта и уменьшении брака.

95. Элементы конструкции электронных регуляторов. Выше уже упоминалось о том, что все процессы регулирования практически могут быть сведены к процессу регулирования напряжения. Поэтому очень существенно хорошо понять и продумать различные схемы, которые могут быть использованы при конструировании регуляторов напряжения. Всякий астатический или вибрационный регулятор представляет собой соединение трех основных элементов. Задача конструктора заключается в том, чтобы выбрать наиболее подходящую схему для каждого из этих основных элементов и соединить их таким образом, чтобы получить наилучшие характеристики для всего устройства в целом.

Этими тремя основными элементами являются:

Измеритель напряжения.
Схема для уничтожения колебаний.
Усилительная и силовая схемы.

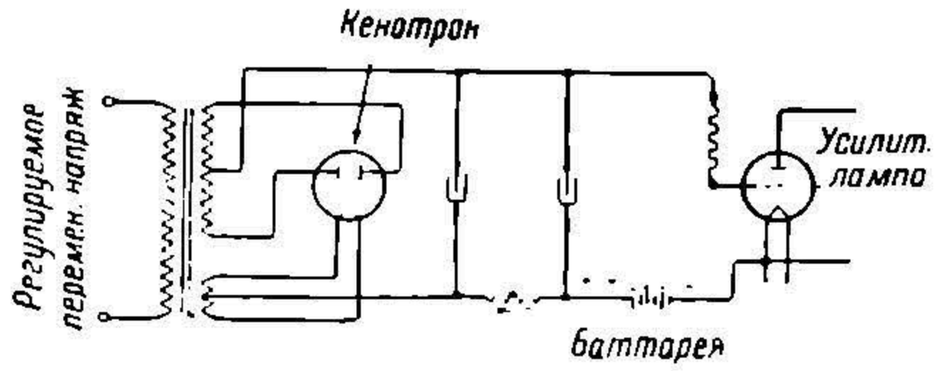
96. Измерители напряжения. Задача измерителя напряжения заключается в том, чтобы униполярное изменение входного или регулируемого напряжения приводило к изменению полярности выходного напряжения. Если напряжение на входе изменяется от 109 до 111 V, то на выходе желательно получить, например, изменение от —1 V до +1 V. Таким способом вместо простого указания на изменение регулируемого напряжения можно получить указание на отклонение регулируемого напряжения от требуемого значения. Очевидно, что в случае применения такого рода диференциальной схемы напряжение на выходе индикатора может быть легко усилено и чувствительность регулятора напряжения значительно повышена.

Измерительные схемы для переменного напряжения. На фиг. 186—192 показаны семь различных измерительных схем на переменном токе, применяемых в различных схемах регуляторов. На фиг. 186 используется вакуумная выпрямительная лампа обычного типа, в которой ток на выходе пропорционален анодному напряжению и не зависит от напряжения накала. Постоянное выпрямленное напряжение фильтруется и напряжение на выходе фильтра соединяется навстречу батарее или какому-нибудь другому источнику постоянного напряжения. Разность между напряжением батареи и выпрямленным напряжением подается в сетку первого каскада усиления регулятора напряжения. Эта схема применялась в различных типах электронных регуляторов. Однако она имеет некоторые недостатки, на которые особенно нужно обратить внимание, если регулятор должен иметь чувствительность не менее 0,5%. Основной недостаток этой схемы заключается в том, что постоянное напряжение на выходе выпрямителя пропорционально среднему, а не среднему квадратичному значению переменного напряжения.

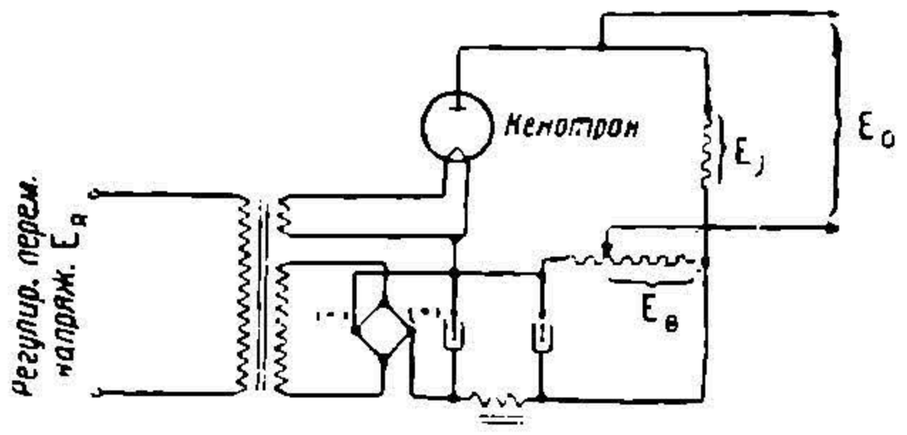
Форма волны современных трехфазных генераторов остается в достаточной мере постоянной до тех пор, пока существует сим-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

метричная нагрузка. Однако она может значительно изменяться, если генераторы работают на несимметричную нагрузку и если изменяются нагрузка и коэфициент мощности. Особенно плохую форму волны можно часто наблюдать в случае однофазных генераторов мощностью до нескольких сотен киловольтампер. Например, было проверено, что в одном случае для 50 kVA генератора тринадцатая гармоника составляла 25% при нормальной нагрузке генератора и коэфициенте мощности, равном единице, в то время как при холостом ходе процентное содержание гармоник не превышало 7%. В таких случаях измерительная схема, показанная на фиг. 186, не всегда применима, поскольку изменение формы волны может привести к ошибке в регулируемом напряжении до 1% и выше. При помощи правильного расчета схемы фильтра всегда возможно уменьшить ошибку, связанную с формой волны. Часто очень полезным оказывается



Фиг. 186. Измерительная схема для переменного напряжения, основанная на применении выпрямителя с ненасыщенным железом.



Фиг. 187. Измерительная схема для переменного напряжения, основанная на применении выпрямителя с насыщенным железом.

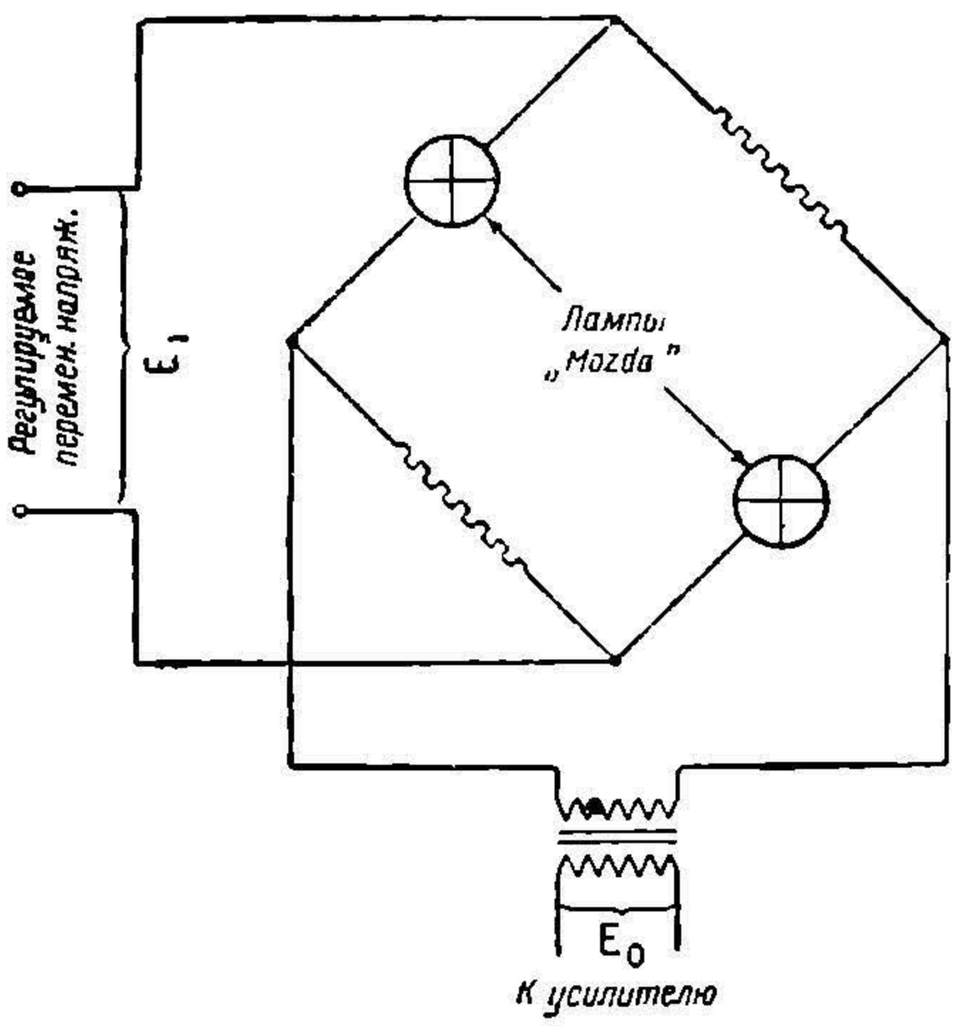
сопротивление на входной стороне фильтра. Этим способом можно достигнуть чувствительности регулятора 0,5%. Если же требуется гораздо большая чувствительность, то измерительная схема, показанная на фиг. 186, не применяется.

Если регулируется трехфазное напряжение, то можно воспользоваться либо трехфазным выпрямителем, либо обычной выпрямительной лампой, питаемой согласно схеме, показанной на фиг. 193. Схема фиг. 186 может следить за сравнительно быстрыми изменениями напряжения, так как фильтр не создает сколько-нибудь заметного запаздывания. При необходимости это запаздывание может быть еще более уменьшено и способность следования регулятора соответствующим образом повышена. Это достигается при помощи трехфазного выпрямителя, так как частота пульсаций переменного тока в этом случае будет равна 360 вместо 120 в случае однофазного выпрямителя (при частоте сети 60 Hz). Благодаря более высокой частоте постоянная времени фильтра может быть уменьшена без вреда для его работы и способность следования регулятора, таким образом, повышена.

В измерительной схеме, показанной на фиг. 187, используется выпрямительная лампа с вольфрамовым катодом. Эта выпрямительная лампа работает выше точки насыщения, благодаря чему анодный ток практически не зависит от анодного напряжения, а

НБ УДУНТ (ДІІТ)

зависит только от температуры катода, которая в свою очередь является функцией эффективного значения напряжения. Поэтому выпрямитель дает показание, пропорциональное эффективному значению регулируемого напряжения. Эта схема вводит небольшую погрешность на форму волны, так как напряжение на выходе E_0 зависит от E_B и от напряжения E_T, которое пропорционально анодному току лампы. Так как напряжение E_B получается при помощи купроксного выпрямителя, то оно зависит от формы волны. Однако погрешность в регулируемом напряжении E_R составляет только одну шестую часть от погрешности в значении E_B; это имеет место благодаря усилительному действию выпрямительной лампы, которое характеризуется крутизной кривой зависимости анодного тока от напряжения накала. Измерительная схема на фиг. 187 может регулировать с точностью до 0,2% в зависимости от характеристики формы волны. Если требуется чрезвычайно высокая чувствительность, то E_B можно заменить сухой батареей или каким-либо другим источником постоянного напряжения. Описанная схема имеет много видоизменений, которые применяются в зависимости от особых требований, предъявляемых к характеристике измерительной схемы. Если удалить фильтр, то напряжение на выходе E_0 будет состоять из постоянного напряжения, на которое будет накладываться переменное напряжение с частотой 120 Hz. Можно также применять полупериодный купроксный выпрямитель или даже совсем им не пользоваться и подавать на выпрямительную лампу переменное напряжение.



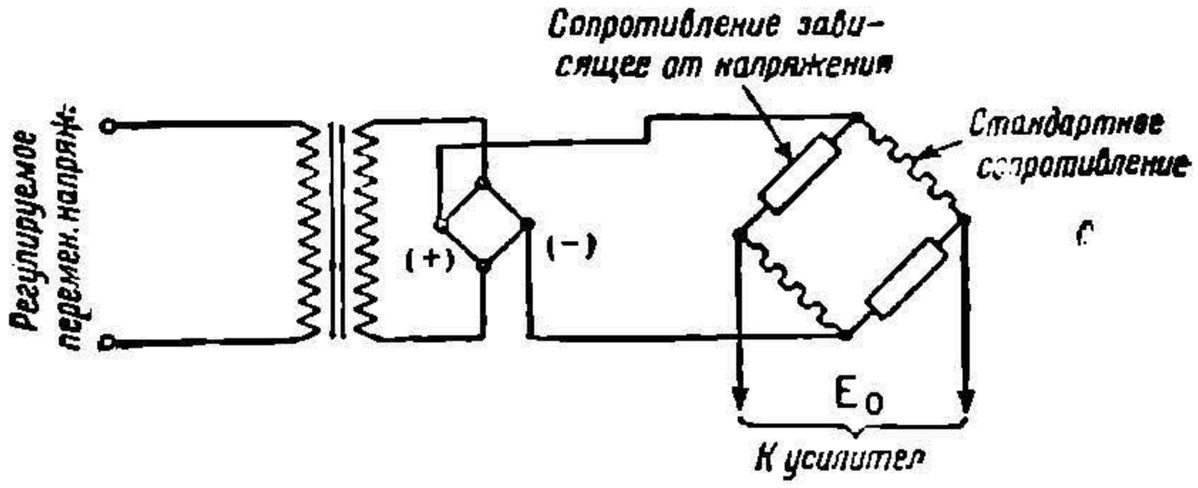
Фиг. 188. Измерительная схема для переменного напряжения, состоящая из ламп „Mazda" и сопротивлений, соединенных в мостик Витстона.

Схема на фиг. 188 использует зависимость сопротивления от температуры ламп Mazda. Мостик состоит из двух ламп Mazda и двух сопротивлений из медно-никелевого сплава. При увеличении напряжения E_1 падение напряжения на лампе Mazda увеличивается сильнее, чем падение напряжения на сопротивлении и равновесие мостика нарушается. Если пренебречь второй гармоникой, создаваемой запаздыванием в нитях ламп, то напряжение на выходе мостика равно нулю при определенном напряжении E_1. Если напряжение на входе уменьшается, то E_0 увеличивается и находится в фазе с E_1. При увеличении E_1, E_0 сдвинуто по фазе на 180° относительно E_1. Изменение соотношения между E_0 и E_1 по величине и по фазе может быть использовано для управления регулятором напряжения. Благодаря тепловой инерции

НБ УДУНТ (ДІІТ)

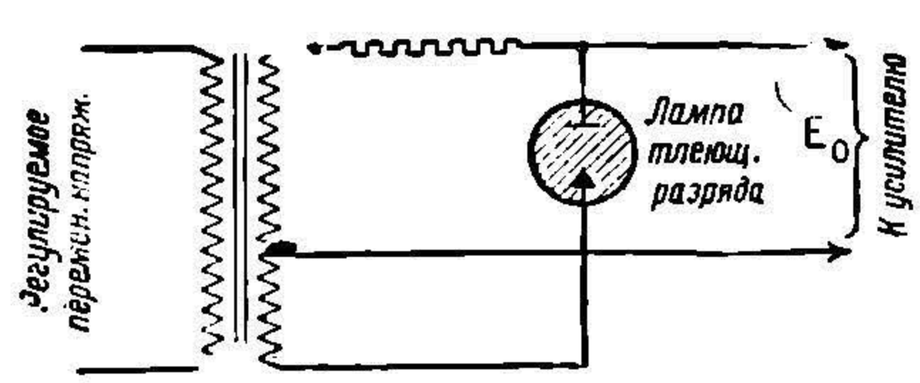
ламп Mazda эта индикаторная схема мало пригодна для астатических регуляторов, но вполне применима для регуляторов статического типа.

В схеме на фиг. 189, отличающейся от схемы на фиг. 188 только тем, что к мостику прикладывается выпрямленное напряжение, используются специальные сопротивления, обладающие свойством изменять свое сопротивление при изменении напряжения.

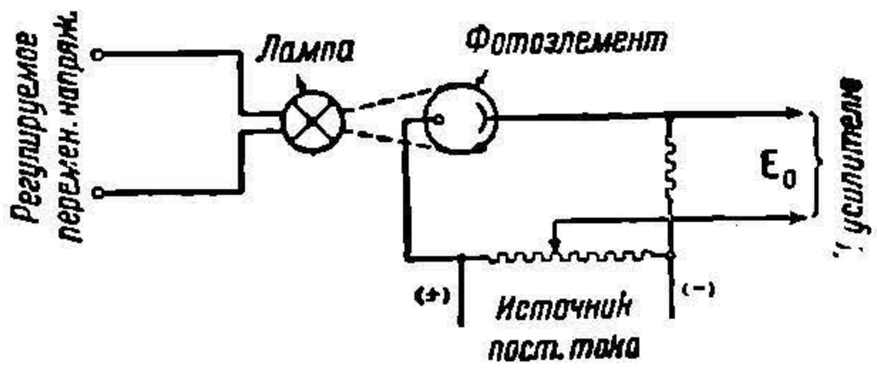


Фиг. 189. Измерительная схема для переменного напряжения, основанная на применении сопротивлений, зависящих от напряжения.

На фиг. 190 показана схема, использующая в качестве измерителя напряжения лампу тлеющего разряда. Схемы подобного рода с различными типами двухэлектронных ламп тлеющего

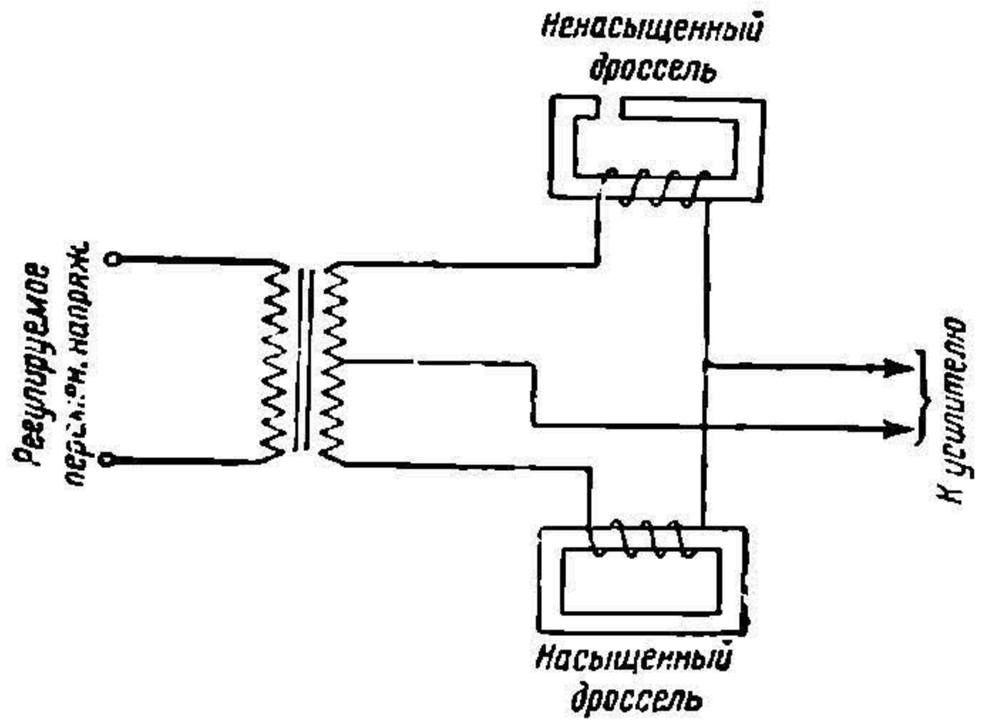


Фиг. 190. Измерительная схема для переменного напряжения с лампой тлеющего разряда.



Фиг. 191. Измерительная схема для переменного напряжения с фотоэлементом.

разряда и ламп тлеющего разряда с управляющей сеткой применялись во многих случаях. Однако схема оказалась не вполне подходящей для целей регулирования, прежде всего потому, что лампа тлеющего разряда в схеме регулятора зажигается при пиковом значении волны напряжения и, следовательно, стремится поддерживать постоянным максимальное значение напряжения, а не эффективное значение. Кроме того, при работе со схемой были испытаны трудности, связанные с некоторым разбросом точек, при которых происходит зажигание лампы. По этой причине чувствительность регулятора, основанного на применении схемы фиг. 190, не может быть достаточно удовлетворительной.

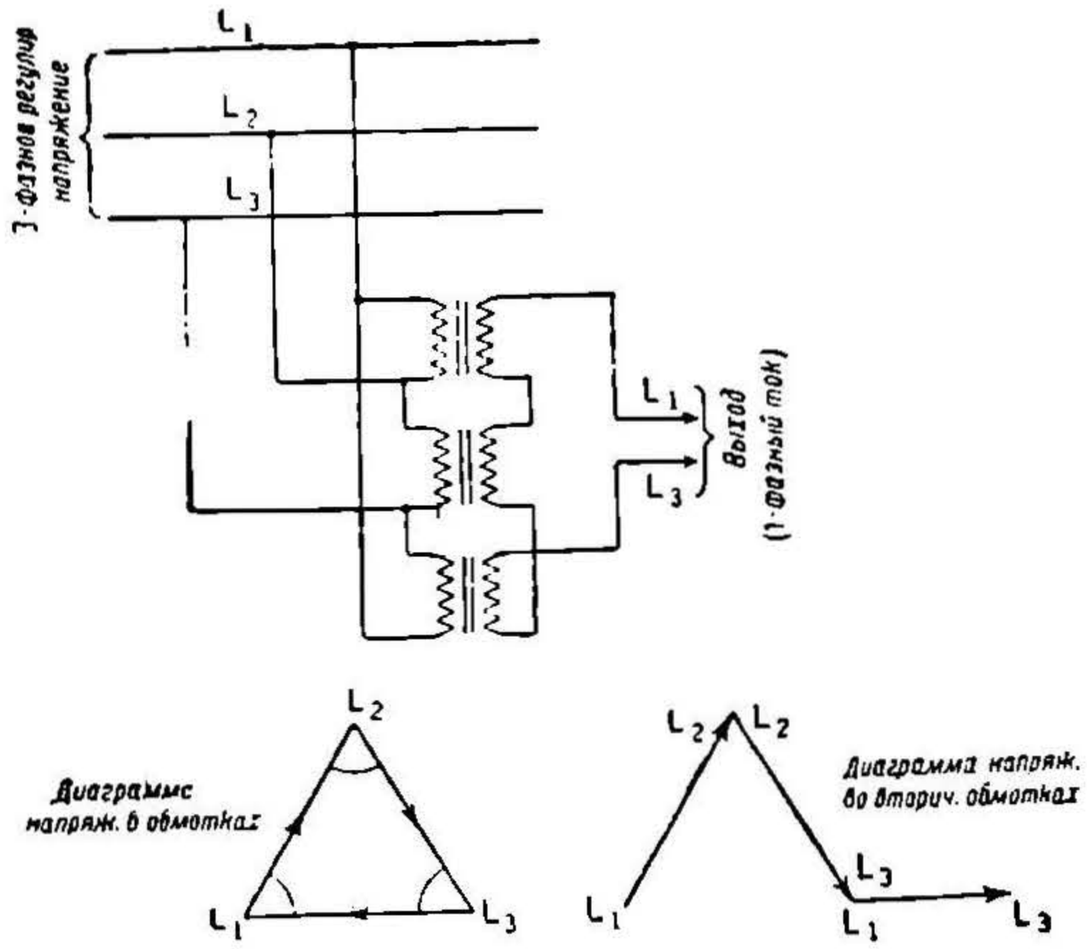


Фиг. 192. Измерительная схема для переменного напряжения с насыщенным и ненасыщенным дросселем.

В некоторых случаях в качестве индикаторов напряжения используются фотоэлектрические схемы, которые обладают тем

НБ УДУНТ (ДИТ)

преимуществом, что они указывают среднее квадратичное значение регулируемого напряжения. Одна из такого рода схем показана на фиг. 191. Однако эта схема обладает тем недостатком, что благодаря большой тепловой инерции нити лампы она нуждается для стабилизации работы регулятора в мощных средствах, уничтожающих возникновение колебаний.

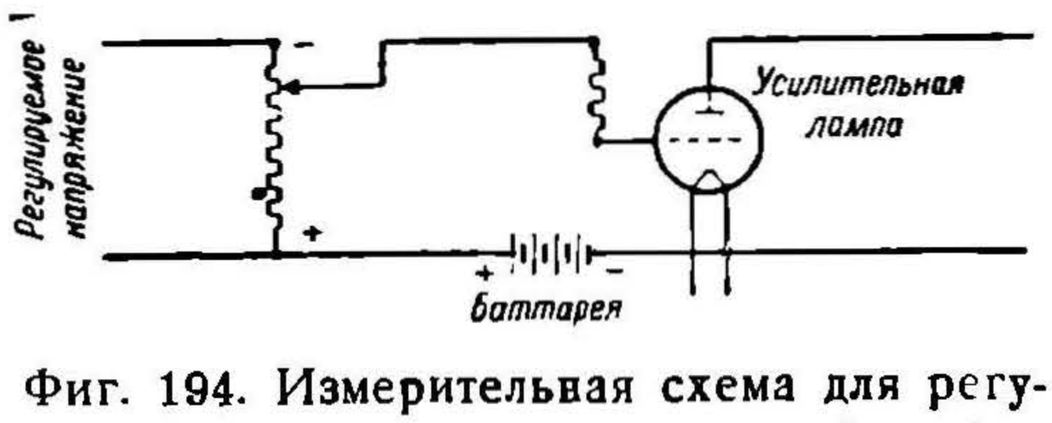


Фиг. 193. Способ регулирования трехфазного напряжения при помощи трансформатора. Вторичное напряжение

$$L_1L_3 = \frac{1}{2}(L_1L_2) = \frac{1}{2}(L_2L_3).$$

Для указания отклонения напряжения от своего нормального значения было предложено и испытано большое количество электромагнитных схем. Принцип действия всех этих схем заключается в использовании трансформатора или катушки самоиндукции с насыщенным железом, соединенного последовательно с ненасыщенным дросселем (фиг. 192). При помощи этих схем можно получить контроль, основанный на изменении величины напряжения на выходе, на сдвиге фазы этого напряжения или на комбинации обоих указанных изменений. Основное возражение против применения схемы фиг. 192 состоит в необходимости компенсировать изменения частоты, благодаря чему эта схема и не получила практического применения.

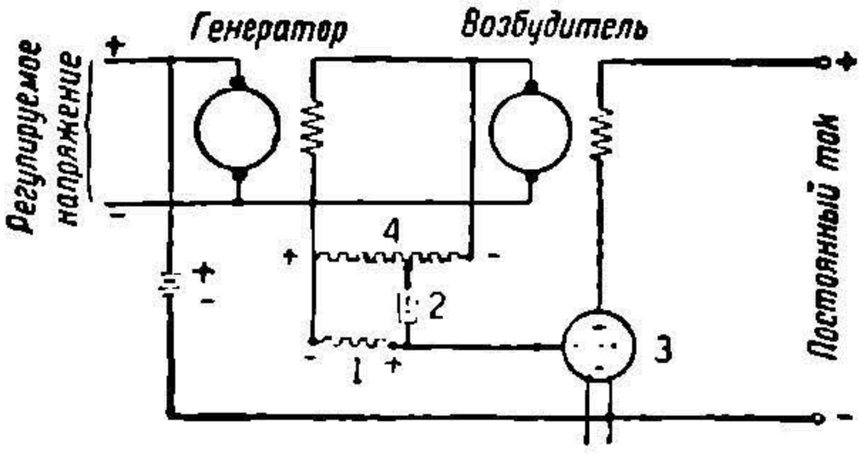
Измерительные схемы для постоянного напряжения. Простейшая измерительная схема для указания отклонения постоянного напряжения от требуемого значения состоит из сухой батареи, соединенной навстречу регулируемому напряжению, и усилительной лампы, на сетку которой подается разность обоих напряжений (фиг. 194). Если, как это имеет место во всех промышленных применениях, применение сухой батареи нежелательно, то можно воспользоваться одной из схем для переменного напряжения, введя в нее предварительно некоторые изменения. Например, можно применить схему фиг. 187, если подавать регулируемое напряжение на сопротивление, соединенное последовательно с катодом выпрямительной лампы. Мостовые схемы, приведенные на фиг. 188 и 189, так же как и фотоэлектрическая схема (фиг. 191), применимы для регулирования постоянного напряжения без всяких изменений.



Фиг. 194. Измерительная схема для регулятора напряжения постоянного тока.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

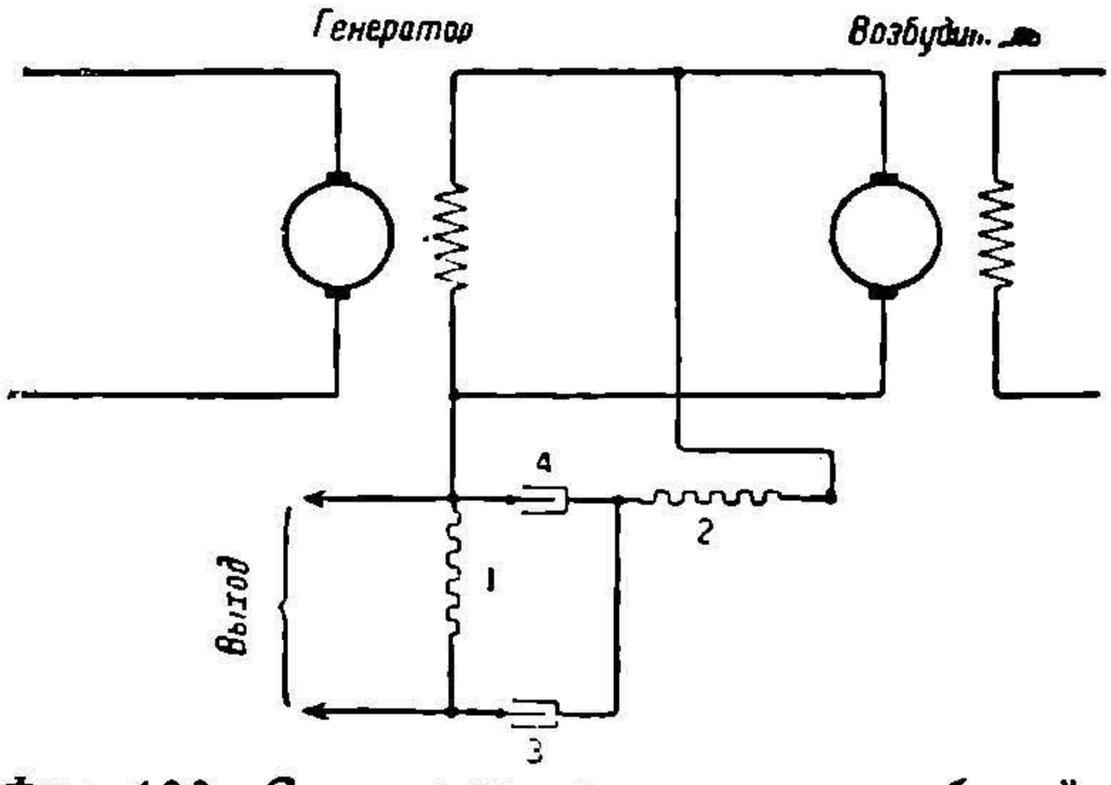
97. Схемы для уничтожения колебаний. В электронных регуляторах напряжения используется несколько различных типов схем для уничтожения колебаний. Схемы, представленные на фиг. 195—197, можно назвать прямыми противоколебательными схемами, так как в них сила, стремящаяся уничтожить колебания, зависит от скорости изменения напряжения якоря возбудителя или тока возбуждения генератора. Остальные схемы, показанные на фиг. 198—200, можно назвать косвенными противоколебательными схемами, поскольку их действие не зависит от быстроты корректирования напряжения, а является функцией первоначального отклонения регулируемого напряжения от нормального значения.



Фиг. 195. Схема для устранения колебаний мгновенного действия.

Наиболее распространенная схема для уничтожения колебаний приведена на фиг. 195. Она состоит из цепи конденсатора и сопротивления, присоединенных параллельно к якорю возбудителя. Принцип действия противоколебательной схемы заключается в следующем:

Когда напряжение якоря возбудителя уменьшается, в результате увеличения регулируемого напряжения падение напряжения на сопротивлении приобретает направление, показанное на реостате *1*, и делает при этом смещение на сетке лампы *3* более положительным. Это положительное смещение уравновешивает первоначальное отрицательное смещение, вызванное начальным увеличением регулируемого напряжения, и, таким образом, стремится стабилизировать работу схемы. Величина силы, стремящейся уничтожить колебания, пропорциональна скорости изменения напряжения якоря возбудителя. Поэтому она равна нулю до тех пор, пока напряжение якоря возбудителя не изменяется и, следовательно, противоколебательная схема не стремится уменьшить первоначальную скорость изменения тока возбуждения. Величина противоколебательного действия может регулироваться при помощи потенциометра *4*, показанного на фиг. 195.

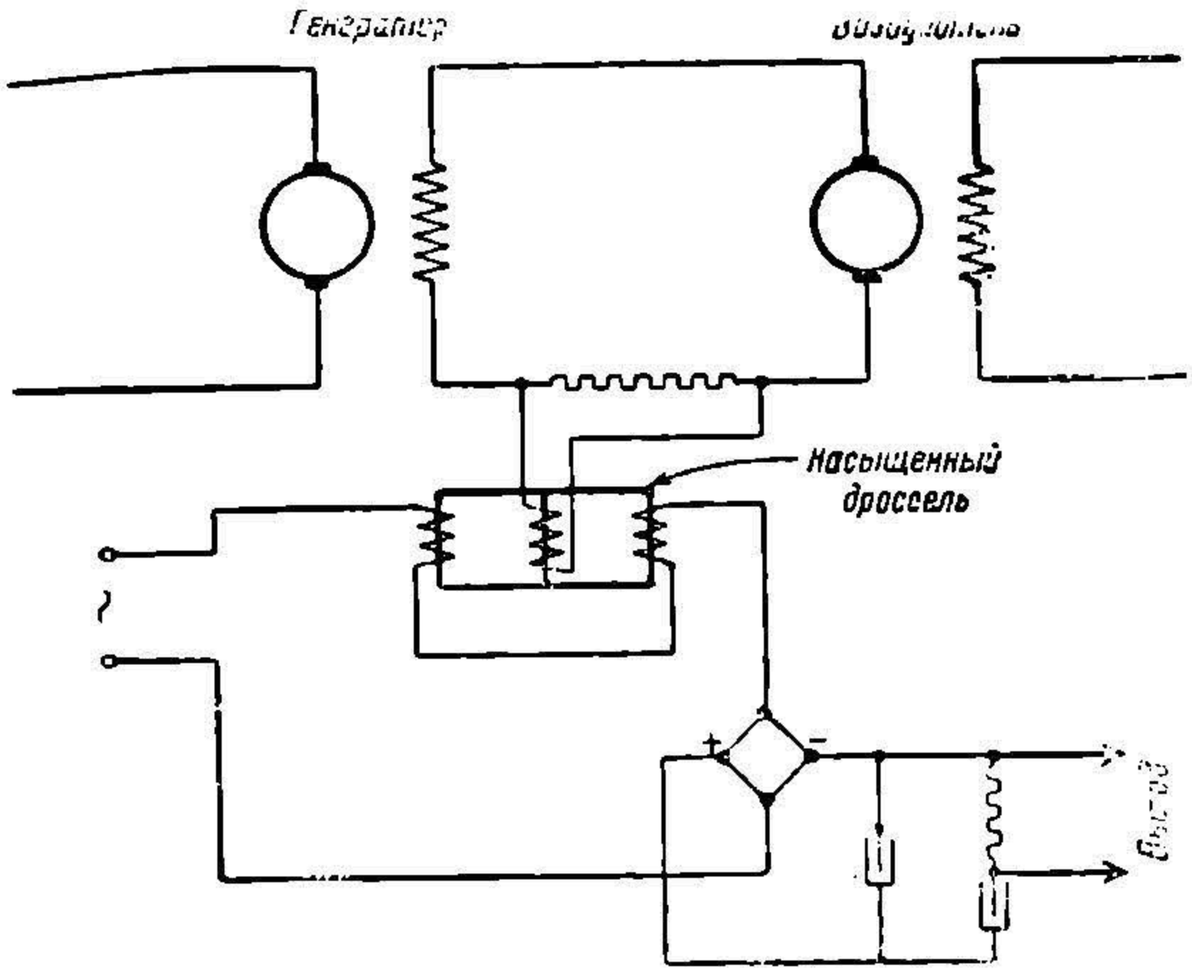


Фиг. 196. Схема для устранения колебаний с запаздыванием.

На фиг. 196 показана схема, представляющая собой видоизменение схемы фиг. 195. Действие этой противоколебательной схемы, состоящей из сопротивления *1* и конденсатора *3*, сходно с действием описанной выше схемы. Разница заключается лишь в том,

РБ УДУНТ (ДІІТ)

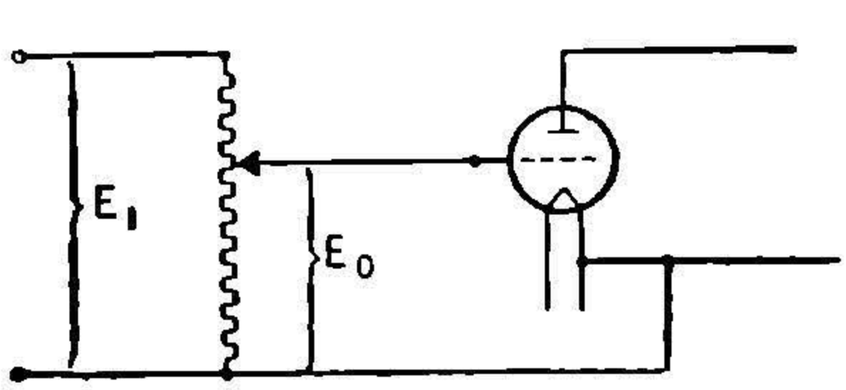
что эта схема присоединяется к якорю возбудителя не непосредственно, а через конденсатор *4*, который заряжается или разряжается через сопротивление *2*. В случае первой схемы (фиг. 195) противоколебательное действие начинается немедленно и сразу же приобретает свое максимальное значение для данного внезапного изменения напряжения якоря возбудителя, в случае же второй схемы (фиг. 196) противоколебательное действие вначале равно нулю и затем возрастает постепенно. Такое, несколько запаздывающее, противоколебательное действие оказывается весьма желательным в некоторых случаях, особенно когда требуется, чтобы регулятор реагировал чрезвычайно быстро на изменения регулируемого напряжения.



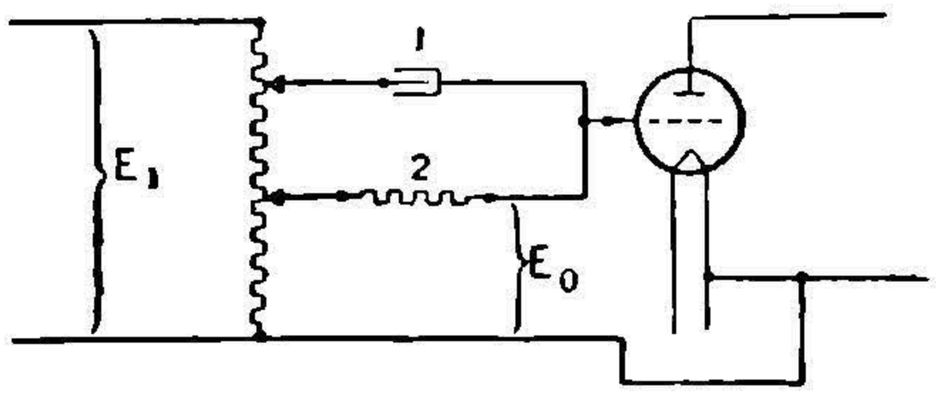
Фиг. 197. Схема для устранения колебаний, зависящая от тока возбуждения генератора.

Схема, показанная на фиг. 197, имеет большое значение для тех применений, когда индуктивность обмотки возбуждения генератора велика. В этой схеме противоколебательное действие является функцией скорости изменения тока возбуждения генератора, а не напряжения якоря возбудителя.

Работа этой схемы зависит от характеристик насыщенной катушки с железом и двухполупериодного выпрямителя. Обмотка постоянного тока насыщенного дросселя присоединена параллельно сопротивлению, которое включено в цепь обмотки возбуждения генератора. При увеличении тока возбуждения генератора дроссель становится более насыщенным и падение напряжения переменного тока на дросселе уменьшается; так как купрок ный выпрямитель соединен последовательно с дросселем, то при увеличении тока возбуждения генератора падение напряжения на выпрямителе возрастает. Выпрямленное напряжение



Фиг. 198. Схема соединений для пропорционального усиления.

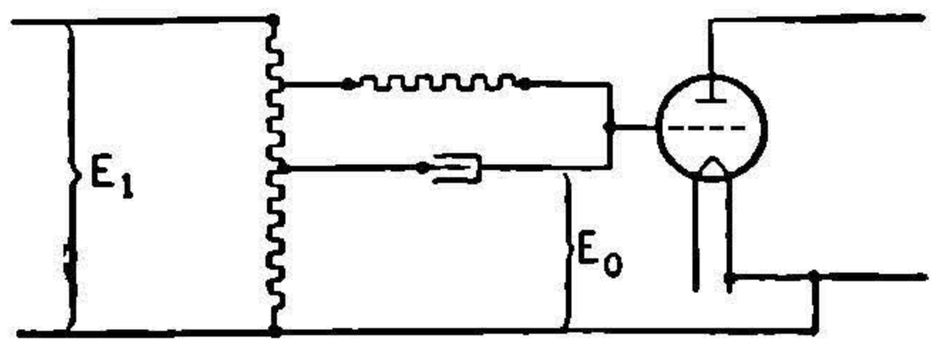


Фиг. 199. Схема соединений, оказывающая форсирующее действие на регулятор.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

фильтруется и подается к противоколебательной схеме, показанной на фиг. 195 или 196.

Схемы на фиг. 198—200 могут быть использованы для присоединения измерительных схем к первой усилительной лампе. На фиг. 198 показан непосредственный способ соединения, когда сеточное напряжение E_0 усилительной лампы пропорционально напряжению E_1. Эта схема не обладает противоколебательной характеристикой. Действие емкости *1* и сопротивления *2* (фиг. 199) заключается в том, что при внезапном изменении E_1 напряжение E_0 начинает изменяться быстрее, чем E_1. Это мгновенное форсирующее действие стабилизирует работу регулятора, поэтому можно считать, что схема в некоторой степени обладает противоколебательными свойствами.



Фиг. 200. Схема соединений для демпфирования регулятора.

В случае схемы, показанной на фиг. 200, емкость и сопротивление применяются для ограничения регулирующего действия таким же образом, как успокоитель или демпфер в электромагнитном регуляторе.

Глава XV

РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

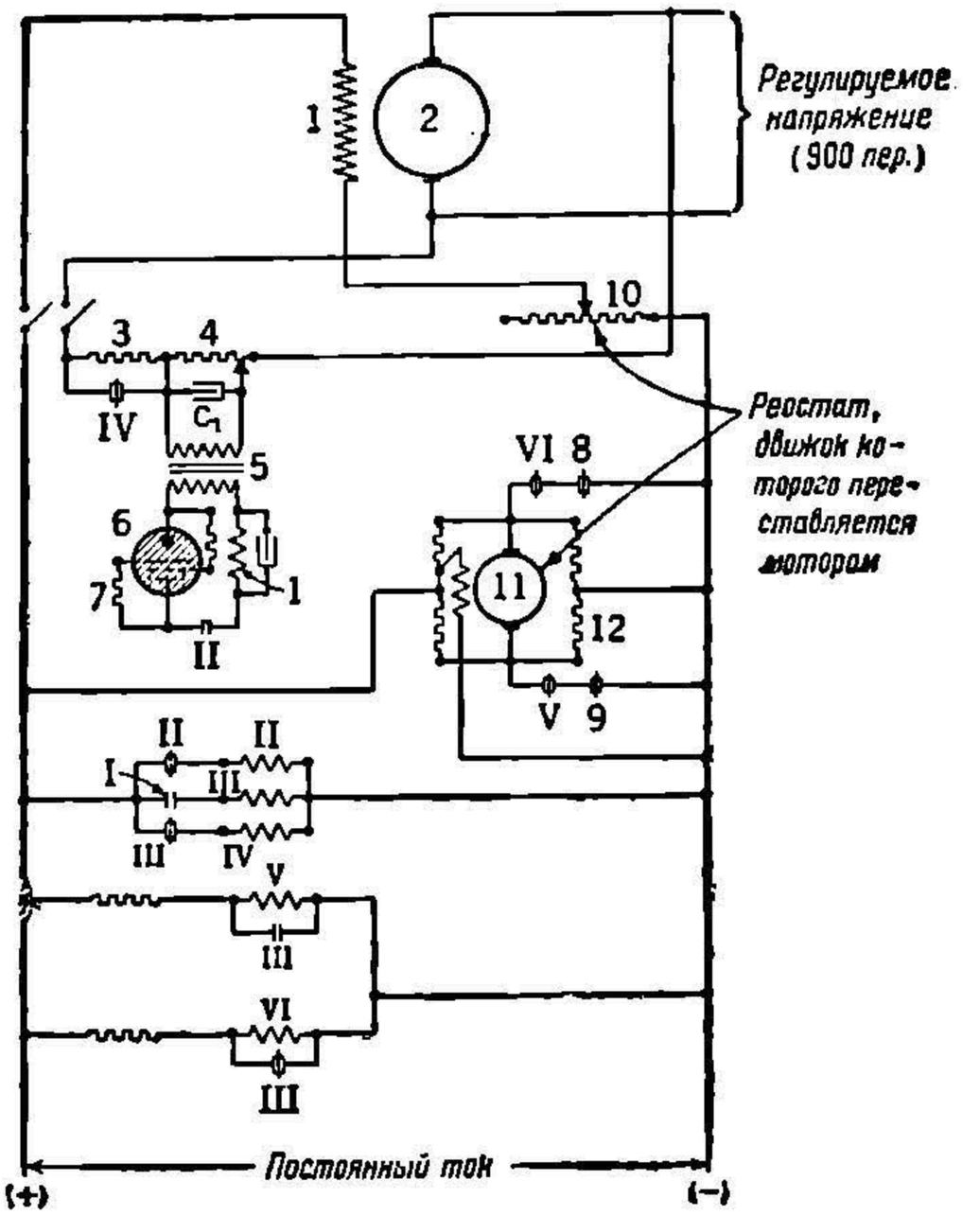
98. Регуляторы напряжения переменного тока. Развитие электронных регуляторов напряжения промышленного типа для генераторов переменного тока началось с 1925 г., т. е. со времени появления ламп тлеющего разряда с управляющей сеткой (тиратронов). До этого времени производились опыты с регуляторами напряжения, основанными на применении вакуумных ламп, однако так как последние способны пропускать только очень небольшие токи, то промышленное использование электронных регуляторов тогда считалось еще преждевременным. Усовершенствование лампы тлеющего разряда, обладающей способностью пропускать сравнительно большие токи, изменило картину развития электронных регуляторов напряжения, послужив причиной для появления большого количества как экспериментальных, так и промышленных типов такого рода регуляторов.

Первые электронные регуляторы напряжения были разработаны для применений, в которых требовалась чрезвычайно высокая чувствительность и способность следить за очень быстрыми изменениями регулируемой величины. Стимулом для разработки этих регуляторов послужило то обстоятельство, что характеристики электромагнитных регуляторов напряжения не удовлетворяли указанным требованиям. Благодаря чрезвычайно высокой чувствительности, равной 0,1%, первые электронные регуляторы были сложны и довольно дороги. Однако их качества и надеж-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

ность оказались настолько удовлетворительными, что вскоре они получили более широкое распространение на центральных электрических станциях и заводах.

99. Реостатный регулятор напряжения с лампой тлеющего разряда Регулятор реостатного типа, показаный на фиг. 201, применяется для регулирования генератора частотой 900 пер/сек и мощностью на выходе, равной всего лишь 200 W. Очевидно, что применение электромагнитного регулятора напряжения в этом случае исключено, так как он потреблял бы значительную часть мощности, производимой генератором.



Фиг. 201. Схема электронного регулятора напряжения реостатного типа.

Лампа тлеющего разряда с холодным катодом присоединяется последовательно с катушкой реле *1* к вторичной обмотке трансформатора *5*, который имеет сердечник Hypernik для уменьшения потерь в железе. Первичная обмотка повышающего трансформатора *5* присоединяется через потенциометр *4* к зажимам генератора, напряжение которого регулируется. Конденсатор C_1 присоединяется параллельно с первичной обмоткой трансформатора, для того чтобы получить единый коэфициент мощности в индикаторной схеме напряжения регулятора. Лампа тлеющего разряда пропускает ток через реле *1* в том случае, если пиковое значение переменного напряжения на лампе превышает потенциал зажигания и если анод в этот момент положителен по отношению к катоду. Потенциал зажигания, или критическое напряжение, определяется величиной сопротивления *7* в цепи сетки.

Если лампа тлеющего разряда питается от низкочастотного источника напряжения, то ток лампы прерывается каждый раз, когда анодное напряжение проходит через нуль. Следовательно, делая напряжение, приложенное к лампе, то несколько выше, то несколько ниже критической точки, можно заставить реле *1* то замыкать, то размыкать свои контакты. Если лампа тлеющего разряда присоединена к источнику более высокой частоты, скажем, 900 Hz, как в рассматриваемом случае, то газ, находящийся в лампе, не будет успевать деионизироваться между положительными полупериодами. Для того чтобы прервать ток, в этом случае необходимо уменьшить приложенное переменное напряжение до значения, почти равного падению напряжения на лампе во время горения дуги в ней.

НБ УДУНТ (ДІТ)

Для успешного применения лампы в качестве измерителя напряжения при частоте в 900 Hz необходимо, чтобы переменное напряжение мгновенно отключалось и газ в лампе успевал деионизироваться. Это производится при помощи реле *II*, контакты которого включены в цепь лампы. Эти контакты непрерывно вибрируют, так как катушка реле *II* непрерывно то замыкается, то размыкается при помощи соединенной последовательно с нею вспомогательной пары контактов.

При замыкании контактов реле *I* срабатывает реле *III*. Реле *III* имеет три пары контактов, из которых две пары размыкаются, а одна — замыкается при срабатывании реле. Размыкающиеся контакты и одна пара замыкающихся контактов закорачивают обмотки индуктивных реле времени *V* и *VI*. Если напряжение генератора слишком высоко или слишком низко, то реле *III* соответственно остается включенным или выключенным. Если этот промежуток времени превышает 0,5 сек. — выдержку времени реле *V* и *VI*, то последние срабатывают. При этом половина сопротивления *12* замыкается накоротко и изменяет полярность на якоре мотора *11*. В результате мотор изменяет сопротивление реостата *10*, соединенного последовательно с обмоткой возбуждения генератора *1* до тех пор, пока напряжение генератора не примет своего нормального значения. Реле *II* и *III* имеют короткозамкнутые кольца и поэтому медленно отпускают. Время, в течение которого контакты *II*, соединенные последовательно с катушкой *1*, замкнуты, на много превышает время, в течение которого они разомкнуты. Поэтому реле *III* остается замкнутым, если напряжение на лампе выше нормального, даже если контакты реле *I* разомкнутся благодаря размыканию контактов *II*.

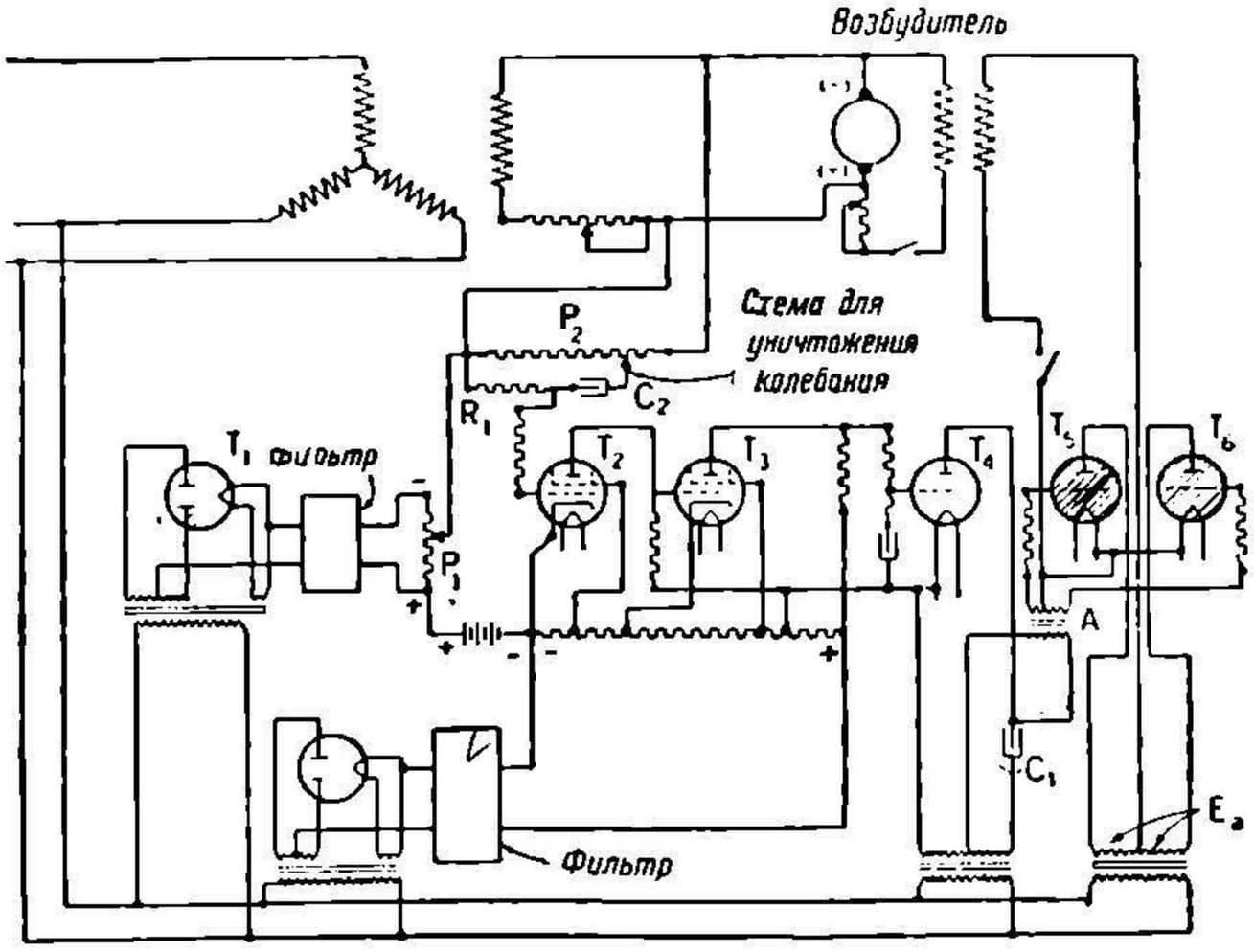
Чтобы предупредить возможность перебега движка реостата, передвигаемого мотором, благодаря большой чувствительности тлеющего рязряда, необходимо наличие средств, препятствующих возникновению колебаний. Третья пара контактов *III* реле *III* соединена последовательно с катушкой *IV*. При размыкании контактов реле *IV* последовательно с потенциометром *4*, служащим для регулировки напряжения, вводится сопротивление *3*. Введение этого сопротивления в цепь уменьшает напряжение на потенциометре. Благодаря этому реле *I* выключается. Сопротивление вводит определенную область нечувствительности для того, чтобы корректирование напряжения производилось только в том случае, если напряжение генератора выйдет из предписанных для него пределов.

100. Астатические электронные регуляторы напряжения. На фиг. 202 и 203 показаны две схемы весьма чувствительных регуляторов.

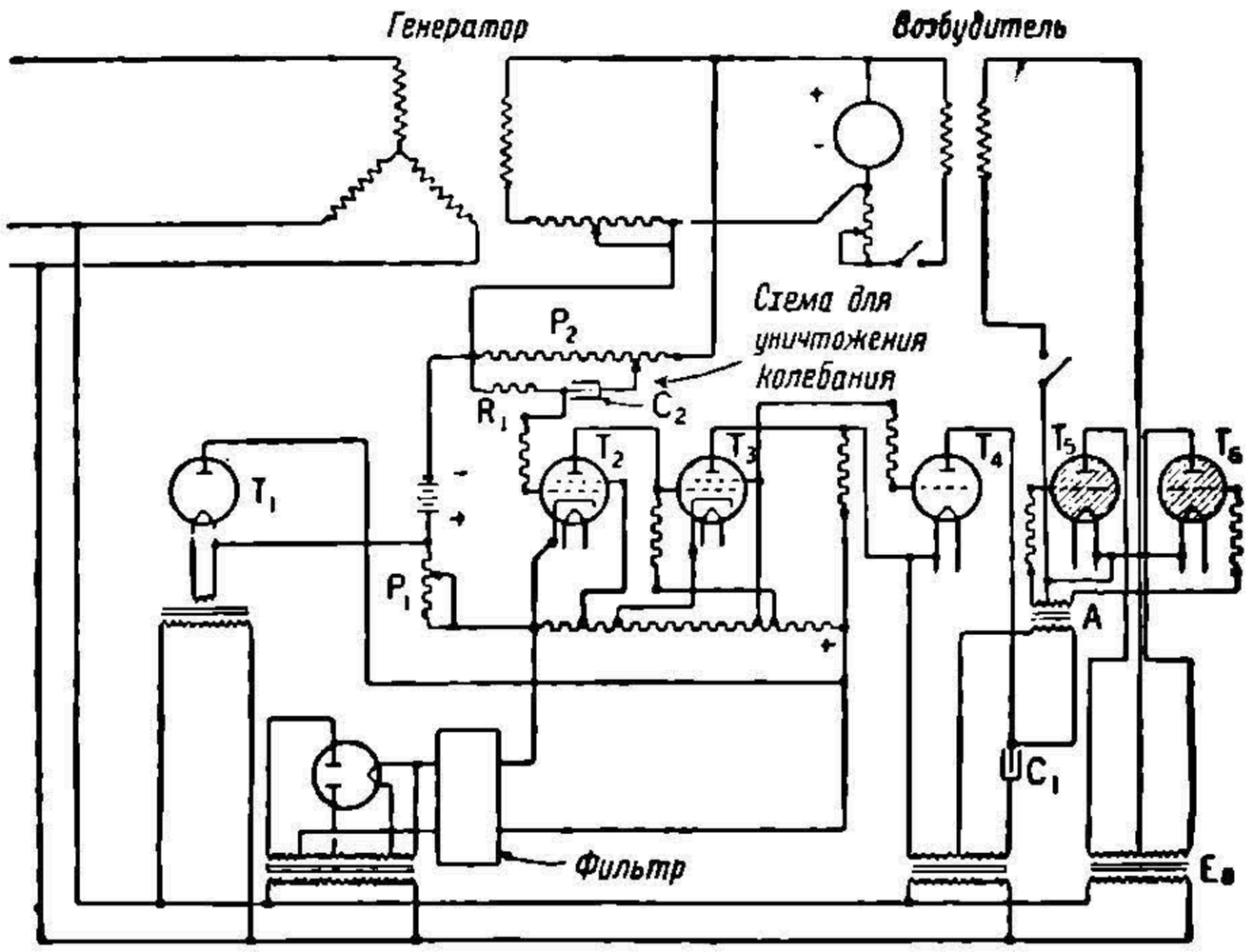
Эти схемы аналогичны друг другу, если не считать лампы, служащей измерителем напряжения, и способа ее соединения. В регуляторе типа АТ, представленном на фиг. 202, измерителем напряжения служит выпрямительная лампа RO-587, а в регуляторе типа АТ-1 на фиг. 203 измерителем напряжения служит выпрямительная лампа RO-585.

НБ УДУНТ (ДИТ)

Основное различие между обеими измерительными схемами состоит в том, что лампа RO-587, работающая ниже точки насыщения, дает показание, пропорциональное среднему значению переменного напряжения, между тем как лампа RO-585, работающая выше точки насыщения, указывает эффективное (среднее квадратичное) значение переменного напряжения. Схема с RO-587 немного лучше схемы с RO-585 в том отношении, что лампа RO-585, в которой элементом, реагирующим на изменения напряжения, является катод, который вводит некоторую тепловую энергию. Поэтому схему с RO-587, не зависящую от изменений температуры катода, нужно применять в тех случаях, когда форма волны напряжения генератора остается приблизительно постоянной при изменениях нагрузки, т. е. когда отношение между средним и средним квадратичным значениями напряжения не испытывает изменений, превышающих заданную чувствительность регулятора. Если форма волны напряжения генератора изменяется, как, например, в том случае, когда трехфазный генератор работает на однофазную нагрузку, то необходимо применять схему с RO-585, которая производит регулирование в соответствии со средним квадратичным значением напряжения.



Фиг. 202. Схема электронного регулятора напряжения. Измерительным элементом служит кенотрон, работающий вне области насыщения.



Фиг. 203. Схема электронного регулятора напряжения. Измерительным элементом служит кенотрон, работающий при насыщении.

Рассматривая фиг. 202, мы видим, что напряжение генератора подается через лампу T_1 и фильтр к потенциометру P_1. На-

НЕ УДЧНТ (ДІІТ)

встречу напряжению, снимаемому с потенциометра P_1, включается 90-вольтовая сухая батарея. Получающаяся при этом разность потенциалов подается через сопротивление R_1, служащее для уничтожения качаний при регулировании к катоду и управляющей сетке экранированной усилительной лампы T_2 таким образом, что отрицательное напряжение на управляющей сетке оказывается равным приблизительно 2 V. Разность между регулируемым напряжением, подаваемым с потенциометра P_1, и напряжением батареи усиливается при помощи ламп T_2 и T_3. Напряжение на выходе лампы T_3 используется для управления лампой T_4, играющей роль переменного сопротивления, соединенного последовательно с конденсатором C_1 и служащего для смещения фазы. При изменении анодного тока лампы T_4 изменяется угол сдвига фазы первичного напряжения, приложенного к трансформатору A, по отношению к вторичному напряжению трансформатора E_a. Увеличивая анодный ток лампы T_4, можно изменять сдвиг фазы сеточного напряжения, даваемого трансформатором A, от 160 до 70° в сторону отстаивания по отношению к анодному напряжению E_a. Благодаря этому тиратроны T_5 и T_6, присоединенные к одной из обмоток возбуждения возбудителя, зажигаются ранее в течение периода и, таким образом, увеличивают средний ток, протекающий через обмотку возбудителя.

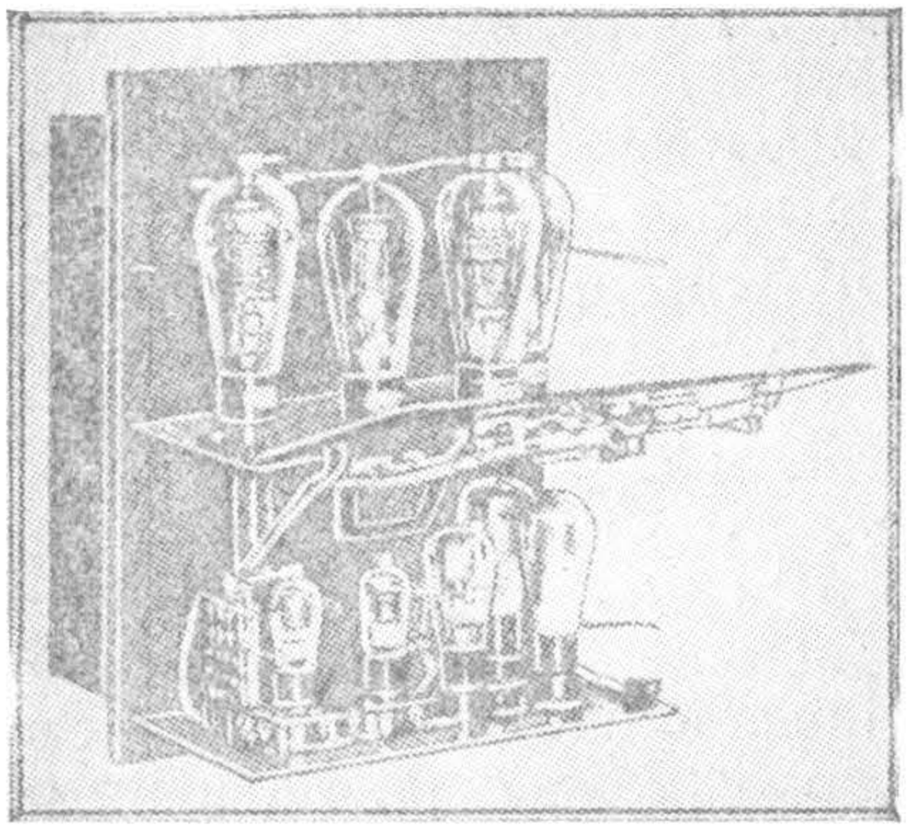
Вредные колебания уничтожаются благодаря действию изменений напряжения якоря возбудителя на противоколебательную схему, состоящую из потенциометра P_2, сопротивления R_1 и конденсатора C_2. Когда напряжение якоря возбудителя постоянно, падение напряжения на R_1 равно нулю. Если же из-за регулирующего действия регулятора напряжение якоря возбудителя изменяется, то конденсатор C_2 начинает заряжаться или разряжаться. Получающийся при этом ток создает падение напряжения на сопротивлении R_1, направленное навстречу напряжению небаланса в цепи сетки лампы T_2, вызвавшей корректирующее действие регулятора.

Если предположить, что при увеличении нагрузки напряжение генератора падает, то сеточное напряжение лампы T_2 делается менее отрицательным и ток через лампы T_5 и T_6, а следовательно, и ток возбуждения возбудителя увеличиваются, что заставляет напряжение генератора вернуться к нормальному значению. Как только напряжение якоря возбудителя увеличится, на сопротивлении R_1 появляется падение напряжения, стремящееся сделать сетку лампы T_2 более отрицательной, благодаря чему ток возбуждения возбудителя, который в этот момент имеет значение, значительно большее, чем это предписывается новыми условиями нагрузки генератора, начинает уменьшаться еще до возвращения регулируемого напряжения к своему нормальному значению. Это забегающее вперед действие схемы необходимо для получения устойчивости и быстродействия регулятора.

Электронный регулятор АТ-1 (фиг. 203), работает на том же общем принципе, что и регулятор, показанный на фиг. 202. При

НБ УДУНТ (ДІІТ)

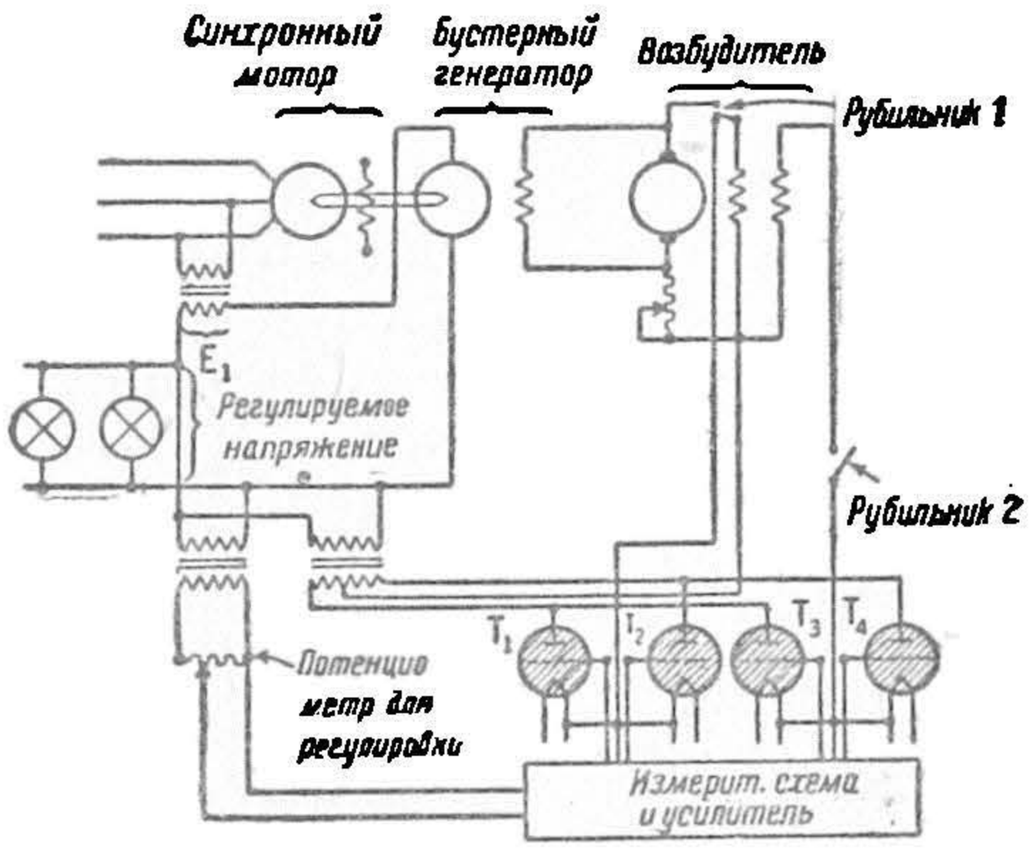
увеличении регулируемого напряжения ток через лампу RO-585, обозначенную на фигуре через T_1 возрастает, а отрицательное смещение на сетке лампы T_2 убывает. Так как схема соединений между катодом и сеткой лампы T_4 на фиг. 203 перевернута по сравнению с фиг. 202, то при увеличении регулируемого напряжения ток возбуждения возбудителя уменьшается. Для соблюдения правильной полярности в падении напряжения на сопротивлении в противоколебательной схеме концы проводов, соединяющих потенциометр P_2 и якорь возбудителя, также переменены местами.



Фиг. 204. Электронный регулятор напряжения для генераторов переменного тока.

Из фиг. 204 видно, что электронный регулятор напряжения имеет всего четыре тиратрона, между тем как на фиг. 202 и 203 для простоты изображено только по два тиратрона. Для того чтобы использовать все четыре тиратрона, обмотка возбуждения возбудителя разделяется на две обмотки, из которых каждая соединяется последовательно с одной из пар ламп (фиг. 205, на которой дана схема соединений электронного регулятора, применяемая для регулирования напряжения на выходе синхронного бустера).

Устройство запускается при помощи замыкания рубильника *1*, когорый включает одну из обмоток возбуждения возбудителя на зажимы якоря возбудителя. Когда напряжение генератора достигает приблизительно нормального значения, к электронному регулятору подается переменное напряжение для прогревания катодов ламп. Приблизительно через 1 мин. включается рубильник *2* (фиг. 205), и сопротивление реостата в обмотке возбуждения возбудителя увеличивается до тех пор, пока лампы T_3 и T_4 не будут брать на себя полагающуюся им часть тока возбуждения возбудителя. Затем рубильник *1* перебрасывается из положения, соответствующего самовозбуждению, в положение, соответствующее независимому возбуждению, и таким образом оказываются введенными в действие все



Фиг. 205. Схема соединений электронного регулятора напряжения для синхронного бустера.

РВ УДУНТ (ДІІТ)

четыре лампы регулятора. Наконец, при помощи потенциометра P_1 (фиг. 202 и 203) или при помощи регулировочного потенциометра (фиг. 205) устанавливается величина регулируемого напряжения.

Схема регулирования бустера, представленная на фиг. 205, имеет значительный интерес благодаря большому количеству переменных, влияющих на регулируемое напряжение в такого рода схеме. Так как в этом случае наиболее существенное требование, предъявляемое к регулятору, заключалось в том, чтобы он обладал большой скоростью регулирования, то, повидимому, успешно разрешить поставленную задачу мог только регулятор электронного типа. Бустерный генератор мощностью 30 kW вращается синхронным мотором. Мотор питается от линии, имеющей напряжение 220 V и частоту 60 периодов, причем напряжение в линии изменяется в пределах 10%. Так как описываемая схема применяется для испытания продолжительности жизни ламп, то регулируемое напряжение необходимо поддерживать при 126 V с точностью $+0{,}1\%$ при колебаниях нагрузки бустерного генератора от 0 до 2500 A и E_1 от 114 до 120 V. Благодаря тому что положение ротора синхронного мотора без нагрузки и при полной нагрузке изменяется относительно напряжения в линии на 25° и благодаря такому же изменению фазы напряжения бустера, необходимо отрегулировать положение якоря бустера так, чтобы без нагрузки напряжение бустера опережало на 25° напряжение в линии. Если этого не сделать, то при полной нагрузке бустера его напряжение будет отставать от напряжения в линии на 25° Чтобы поддерживать регулируемое напряжение постоянным, регулятор должен быстро корректировать не только изменения напряжения и тока в линии, но также и изменения положения ротора бустера относительно напряжения в линии.

Наблюдения за работой регулятора *AT*, который применяется в установке для испытания продолжительности жизни ламп, производились в течение периода от 10 ноября 1933 г. до 18 декабря 1933 г. Установка, предназначенная для форсированного [1] испытания ламп, запускается каждое утро в 8 ч. 15 м. при полной нагрузке и непрерывно работает до 4 час. дня, когда все лампы уже успеют перегореть. Во время этого периода времени и нагрузка генератора постепенно падает, по мере того как лампы перегорают. В приведенной ниже таблице даны резуль-

---

[1] Под форсированным испытанием ламп здесь понимается их испытание при напряжении, несколько большем нормального, так как испытание при обычном напряжении занимает слишком много времени. В результате тщательных экспериментальных исследований были найдены коэфициенты, позволяющие переводить продолжительность жизни ламп при повышенном напряжении в продолжительность жизни при нормальном напряжении. Этим способом удается испытывать лампы, рассчитанные на 1 000 рабочих часов, в течение 5 час. Очевидно, насколько важно при такого рода испытаниях постоянство напряжения. Действительно, изменение напряжения при испытании в течение всего лишь одной минуты эквивалентно изменению напряжения в течение 200 мин. при нормальных условиях. *Прим. перевод.*

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

таты показаний напряжения, отсчитываемых через каждые 15 мин. от 8 ч. 15 м. утра до 4 час. дня. В первом столбце приводится число дней, в течение которых напряжение за период от 8 ч. 15 м. утра до 4 час. дня не выходило из пределов определенной зоны. Во втором столбце приведены те же данные для промежутка времени от 10 час. утра до 4 час. дня. Второй столбец дает лучшие результаты из-за того, что на них уже не сказывается время, необходимое для прогревания регулятора до постоянной температуры после его пуска.

Из второго столбца таблицы мы видим, что погрешность регулятора в течение 24 из 34 рабочих дней была не больше $\pm 0{,}08\%$, что в течение 30 дней погрешность была не больше 0,125% и что ни в один из рабочих дней погрешность не превосходила 0,2%.

Регулируемое напряжение Заданная область + погрешность в %	Дни, в течение которых регулируемое напряжение не выходило из пределов заданной области изменения	
	от 8 ч. 40 м. утра до 4 час. дня	от 10 час. утра до 4 час. дня
0,05	7	17
0,08	17	24
0,125	21	30
0,2	28	34
0,25	33	—
0,33	34	—

На фиг. 206 показан электронный регулятор напряжения, описанный Гарманом[1]. Измерительная схема этого регулятора состоит из трех купроксных выпрямителей и тиритового мостика. Для того чтобы регулировать трехфазное напряжение, напряжения всех трех фаз генератора выпрямляются и затем складываются, в результате чего получается постоянное напряжение, пропорциональное среднему значению переменных фазовых напряжений. Постоянное напряжение подается с купроксов на тиритовый мостик; благодаря применению купроксных выпрямителей в измерительной схеме напряжение на тиритовом мостике является функцией от среднего, а не среднего квадратичного значения переменного напряжения, и следовательно, регулятор имеет погрешность, зависящую от формы волны.

Напряжение на выходе мостика используется для управления двух соединенных параллельно усилительных ламп. Усилительные лампы управляют током тиратронов, которые дают часть возбуждения в обмотку возбудителя. Примененный метод сеточного управления током тиратронов аналогичен тому, который был показан на фиг. 72. Неизменное переменное напряжение, отстающее от анодного напряжения на 90—120°, в зависимости

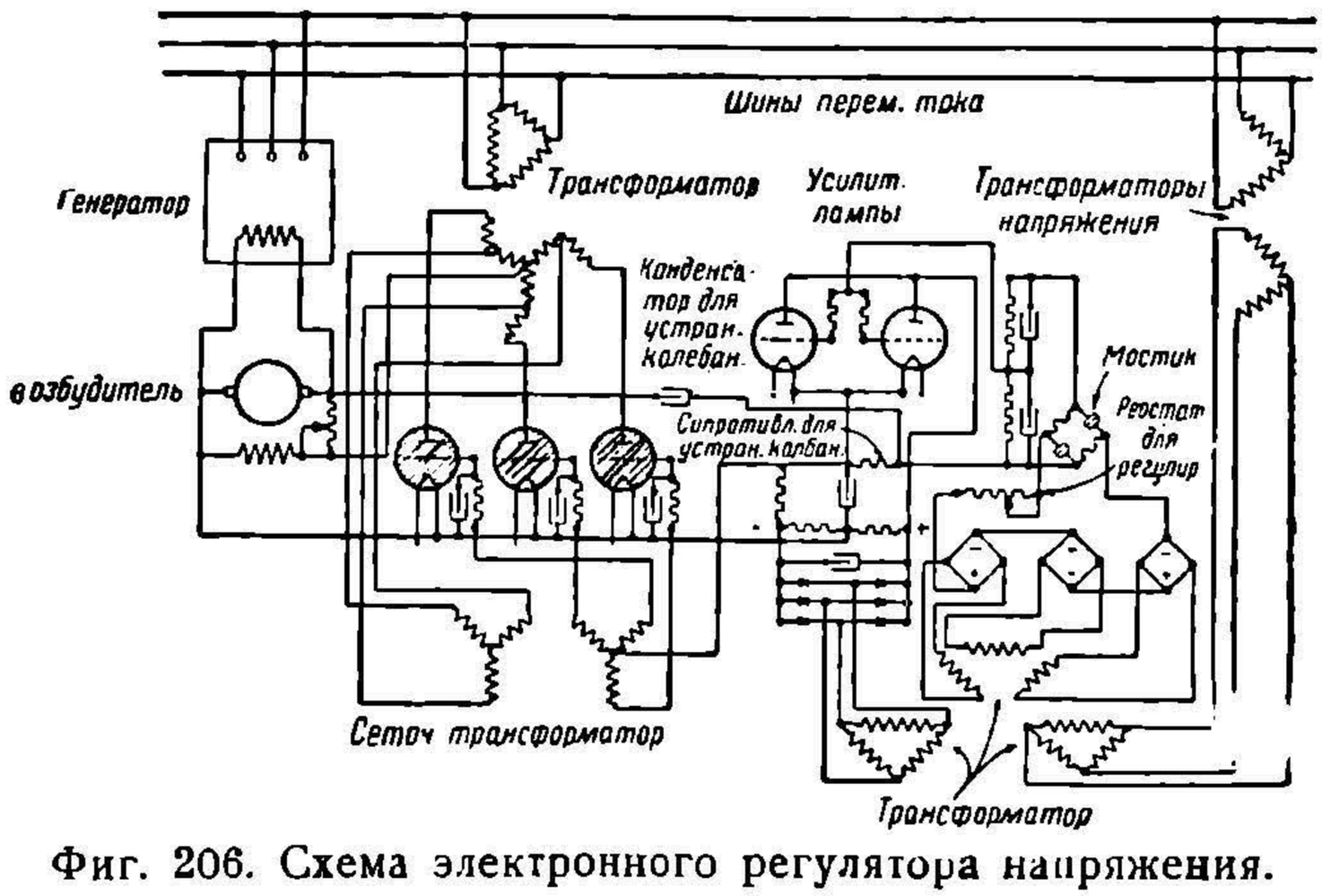
[1] Electr. Eng., Vol. 53, стр. 1530.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

от применяемой системы выпрямления налагается на постоянное напряжение от усилительных ламп. Изменяя это постоянное напряжение, можно осуществить управление током тиратрона методом „сдвига фазы“ и непрерывно увеличивать ток возбуждения от нуля до максимума.

Для стабилизации регулятора применяется противоколебательная схема, состоящая из емкости и сопротивления, к которым приложено напряжение якоря возбудителя. Стабилизации регулятора содействуют также и конденсаторы и сопротивления в цепи сетки усилительных ламп.

Этот регулятор, который был установлен на синхронном компенсаторе мощностью 15 000 VA, поддерживает напряжение по-



Фиг. 206. Схема электронного регулятора напряжения.

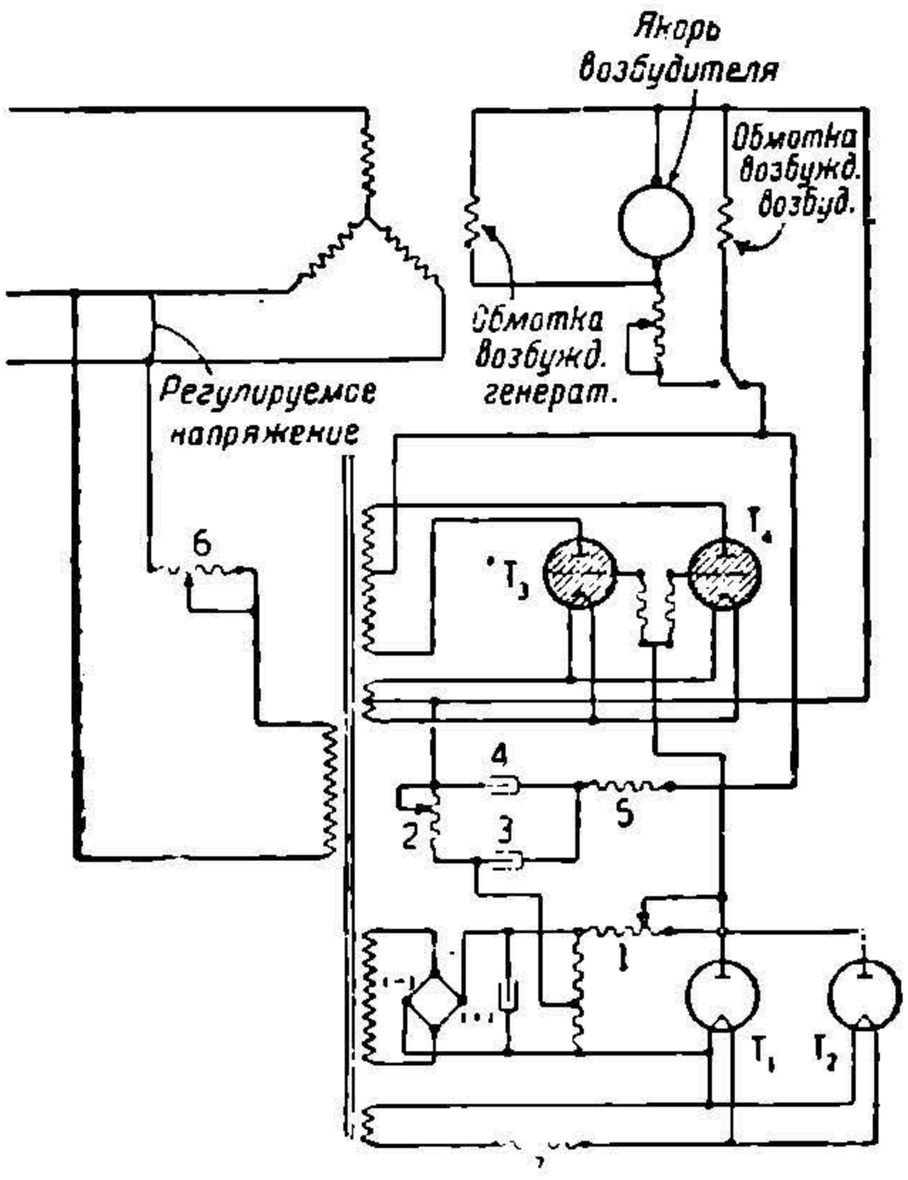
стоянным с точностью $\pm 1\%$. Такая точность считается удовлетворительной для большинства центральных электрических станций.

Простой регулятор с чувствительностью $\pm 0{,}5\%$ показан на фиг. 207. Он использует измерительную схему и схему для устранения колебаний, представленные соответственно на фиг. 187 и 196. Принцип действия этого регулятора легче всего понять, предположив, что напряжение генератора увеличилось. При увеличении напряжения генератора увеличивается напряжение ламп накала T_1 и T_2 на фиг. 207, вследствие чего увеличивается их анодный ток и падение напряжения на сопротивлении *1*. Благодаря этому увеличению падения напряжения сетки тиратронов T_3 и T_4 делаются более отрицательными, анодный ток ламп и, следовательно, ток возбуждения возбудителя уменьшаются, и напряжение генератора возвращается к нормальному значению. Демпфирование колебаний происходит при помощи сопротивления *2*, которое включено в цепь управляющей сетки последовательно с измерительной схемой. Конденсатор *3* также служит для демпфирования, а конденсатор *4* и сопротивление *5* образуют противоколебательную схему, работающую с известным запаздыванием.

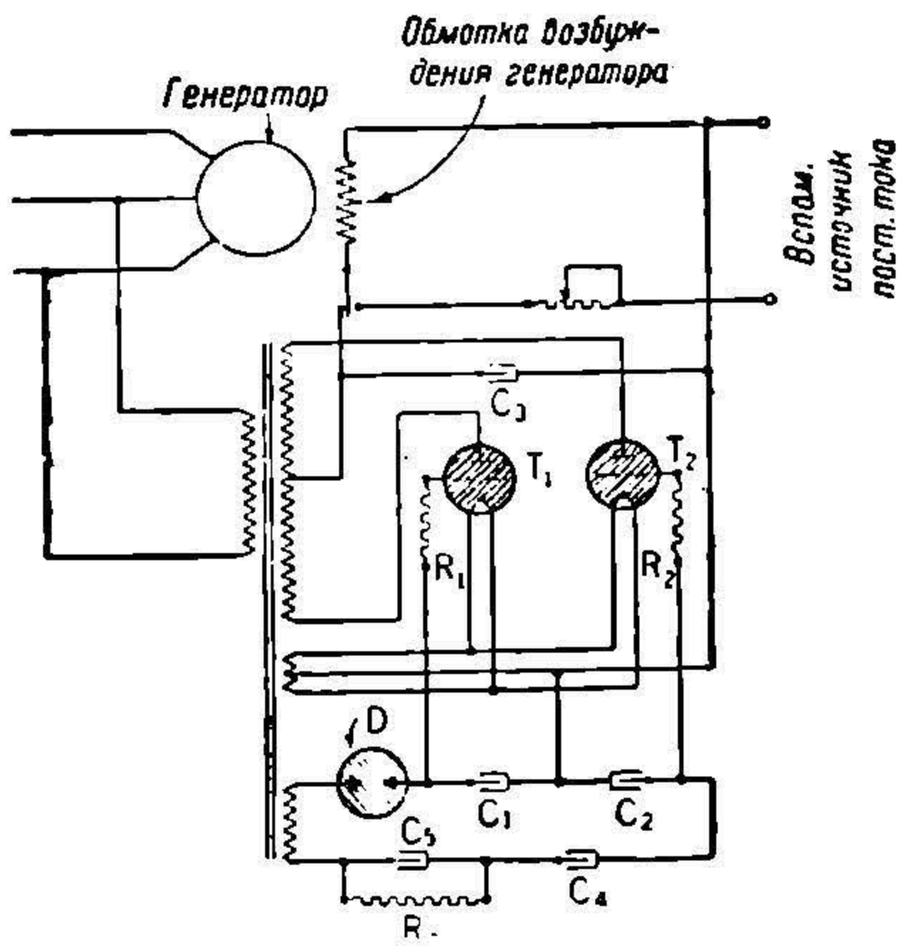
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Демпфирующее напряжение берется от напряжения возбуждения возбудителя, а не от напряжения якоря возбудителя, как это показано на фиг. 196. Такое соединение удобно в том случае, когда измерительный элемент сам представляет собой усилитель и когда поэтому величина демпфирующего напряжения мала по сравнению с управляющим сеточным напряжением.

Компенсирующее сопротивление *6* соединено последовательно с силовым трансформатором. При увеличении этого сопротивления регулятор приобретает гиперкомпаундную характеристику, т. е. при возрастающей нагрузке напряжение возрастает. Сопротивление 7 соединено последовательно с катодами ламп T_1 и T_2, соединенными параллельно. Это сопротивление служит для того,



Фиг. 207. Простой электронный регулятор напряжения для генераторов переменного тока.



Фиг. 208. Электронный регулятор напряжения для генераторов переменного тока с лампой тлеющего разряда.

чтобы напряжение накала одной из ламп в случае выхода из строя другой увеличилось и чтобы, таким образом, напряжение сохранило свое нормальное значение. Для приведения регулятора в действие возбудитель переводится на режим самовозбуждения, и напряжение генератора доводится до нормального значения от руки. Через 15—20 сек., когда катоды тиратронов успеют накалиться, обмотка возбуждения переводится с ручного на автоматическое регулирование.

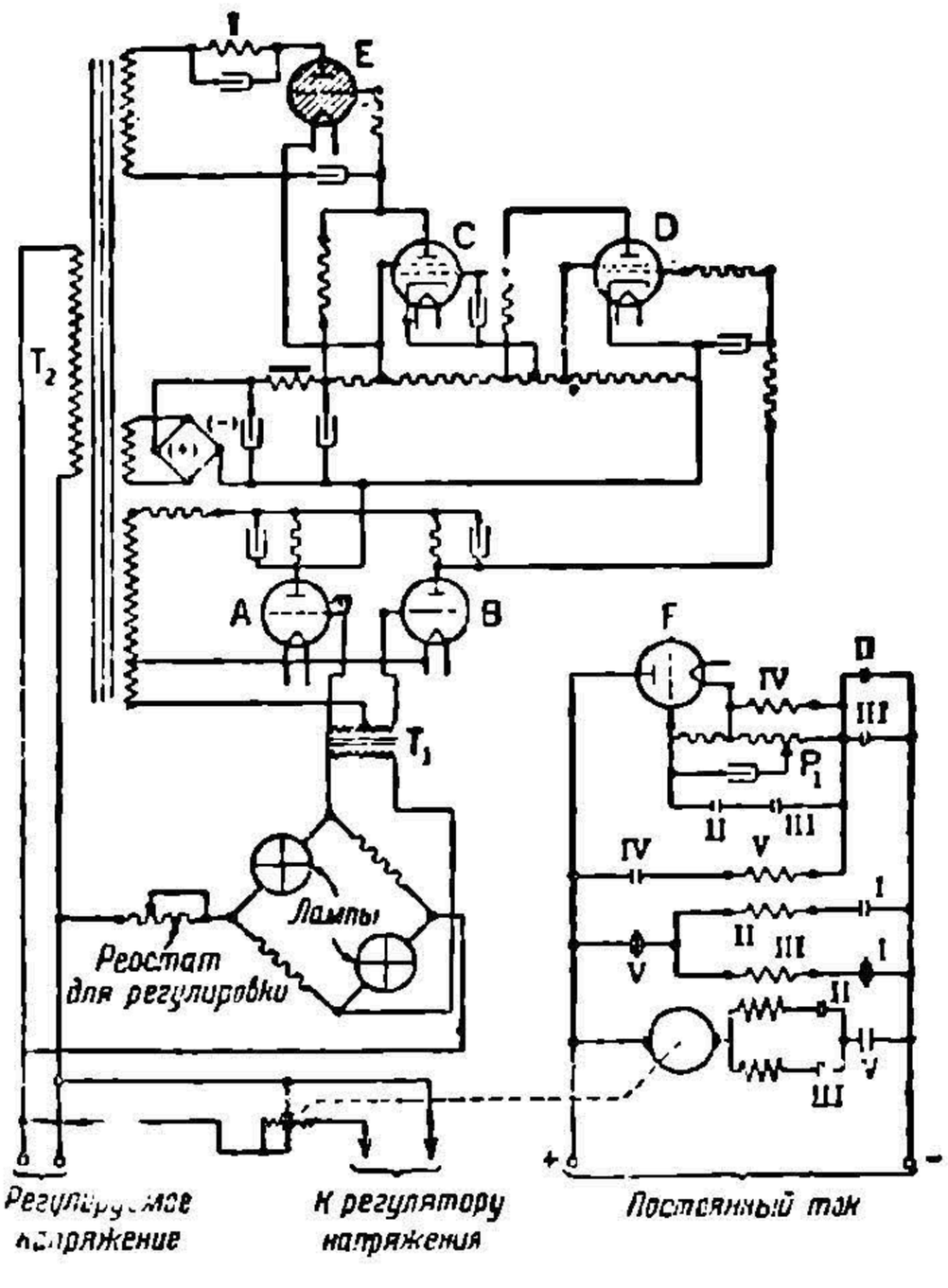
В регуляторе напряжения Доджа и Виллиса[1] в качестве нуль-индикатора используется неоновая лампа. В § 96 мы указываем, что такого рода регулятор в некоторых случаях неприменим, так как он поддерживает постоянным амплитуду напряжения, а не его среднее квадратичное значение, но в тех случаях, когда форма волны напряжения постоянна, этот регулятор может

[1] AIEE Trans., Vol. 50, pp. 1466—1468.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

быть использован с успехом. Схема регулятора приведена на фиг. 208. Неоновая лампа D включена в цепь сеток двух тиратронов T_1 и T'_2, которые контролируют ток возбуждения генератора. Этот контроль осуществляется разрядом конденсатора C_1 через сопротивление R_1 и конденсатора C_2 через сопротивление R_2. Заряд конденсатора происходит через неоновую лампу в том случае, если амплитуда регулируемого напряжения превышает потенциал зажигания лампы. Схема не имеет специальных демпфирующих средств, если не считать конденсатора C_5 и сопротивления R_3, создающих переходный режим в цепи неоновой лампы так, чтобы постоянная времени C_5R_3 равнялась постоянной времени обмотки возбуждения. Авторы сообщают, что этот регулятор применялся для регулирования напряжения генератора на 5 kVA, что и объясняет отсутствие специальных демпфирующих средств. Если была бы сделана попытка использовать этот регулятор для генератора с большой мощностью, то указанные демпфирующие средства едва ли оказались бы достаточными.

101. Устройство для температурной компенсации регулятора. В тех случаях применения регуляторов, когда требуется необычайно высокая точность порядка 0,1%, необходимо производить компенсацию погрешности, вызываемой изменением температуры трансформатора и элементов регулятора во время их прогревания. Для этой цели была разработана электронная схема, представленная на фиг. 209. Схема соединений такова, что нуль-индикатор, состоящий из двух ламп Mazda и двух сопротивлений, присоединен непосредственно к шинам генератора без промежуточных трансформаторов, могущих ввести температурную погрешность.



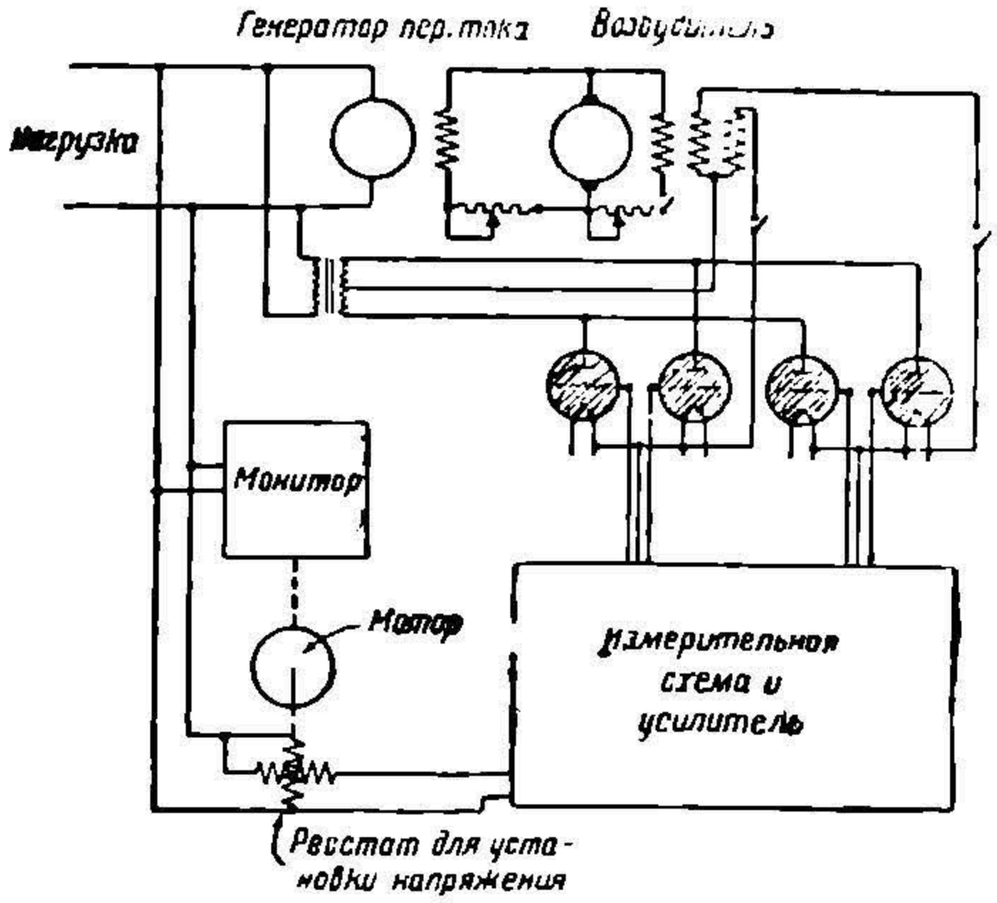
Фиг. 209. Схема электронного монитора.

Когда регулируемое напряжение имеет нормальное значение, напряжение на сеточном трансформаторе T_1, присоединенном к мостику, равно нулю. Когда регулируемое напряжение отклоняется от нормального значения, на сеточном трансформаторе появляется напряжение. Это напряжение находится или в фазе с регулируемым напряжением или сдвинуто относительно него на 180° в зависимости от того, будет ли регулируемое напряжение выше или ниже нормального значения.

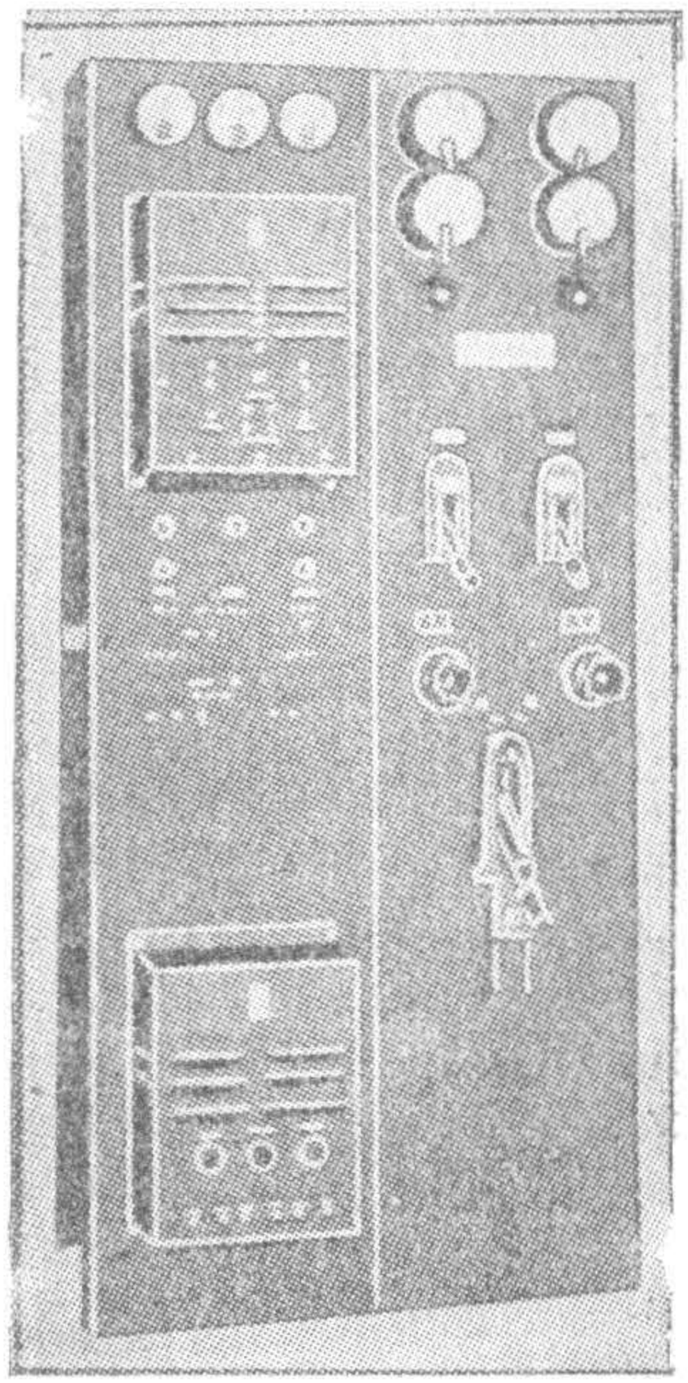
НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Принцип действия мостика заключается в том, что сопротивление ламп Mazda увеличивается при увеличении напряжения на лампе, между тем как сопротивления, соединенные последовательно с лампами, практически не изменяются при повышении приложенного напряжения.

Вторичная обмотка сеточного трансформатора T_1 присоединена к сеткам двух усилительных ламп A и B, питаемых от главного трансформатора T_2, таким образом, что при увеличении регулируемого напряжения ток через лампу B увеличивается, а через лампу A уменьшается. Лампы A и B вместе с их анодными сопротивлениями образуют мостик Витстона. Выходные зажимы этого мостика присоединяются к цепи сетки усилительной лампы D, которая управляет при помощи усилительной лампы C, тиратроном E. Последовательно с тиратроном E включено реле *1*. При увеличении регулируемого напряжения работа схемы происходит следующим образом:



Фиг. 210. Схема электронного монитора и регулятора напряжения.



Фиг. 211. Контрольная панель для управления оборудованием, изображенным на фиг. 210.

Ток через лампу B увеличивается. Это вызывает увеличение отрицательного смещения на управляющей сетке лампы D, в результате чего ее анодный ток уменьшается. Уменьшение анодного тока вызывает уменьшение отрицательного смещения на управляющей сетке лампы C. Благодаря этому анодный ток лампы C увеличивается и вызывает увеличение отрицательного смещения на сетке тиратрона E. В результате ток через тиратрон прерывается, и реле I выключается. При уменьшении регулируемого напряжения порядок действий изменяется, тиратрон E зажигается и заставляет сработать реле I.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Когда напряжение имеет нормальное значение, то реле *I* попеременно замыкается и размыкается и включает то реле *II*, то реле *III*. В том случае, если регулируемое напряжение остается слишком низким или слишком высоким в течение определенного промежутка времени от 1 до 24 сек., в зависимости от положения движка на потенциометр P_1, срабатывает реле *IV*. Если напряжение выше нормального, то реле *I* выключается, а реле *III* включается. При этом замыкающие контакты реле *III* включают реле времени, состоящее из усилительной лампы *F*, реле *IV*, потенциометра P_1 и емкости (и схемы для разряда конденсатора). Одновременно контакты реле *III* замыкают цепь управления мотора, который воздействует на устройство, служащее для переградуировки регулируемого напряжения (фиг. 210).

Через определенный промежуток времени, зависящий от положения движка потенциометра P_1, ток через лампу *F* достигает значения, достаточного для срабатывания реле *IV*. При этом „замыкающие“ контакты реле *IV* включают реле *V*, которое также находится в цепи управления мотором. Мотор запускается, увеличивает напряжение на измерительной схеме регулятора и, таким образом, уменьшает регулируемое напряжение. При срабатывании реле *V* его „размыкающие“ контакты выключают реле *III*, которое, однако, благодаря своей инерционности остается замкнутым в течение приблизительно от $^1/_2$ до 1 сек. При размыкании реле *III* мотор останавливается. Если регулируемое напряжение, попрежнему, еще выше нормального, то последовательность действия реле повторяется и мотор продолжает работать в течение промежутков времени от $^1/_2$ до 1 сек. с интервалами между ними, определяемыми положением движка на потенциометре P_1.

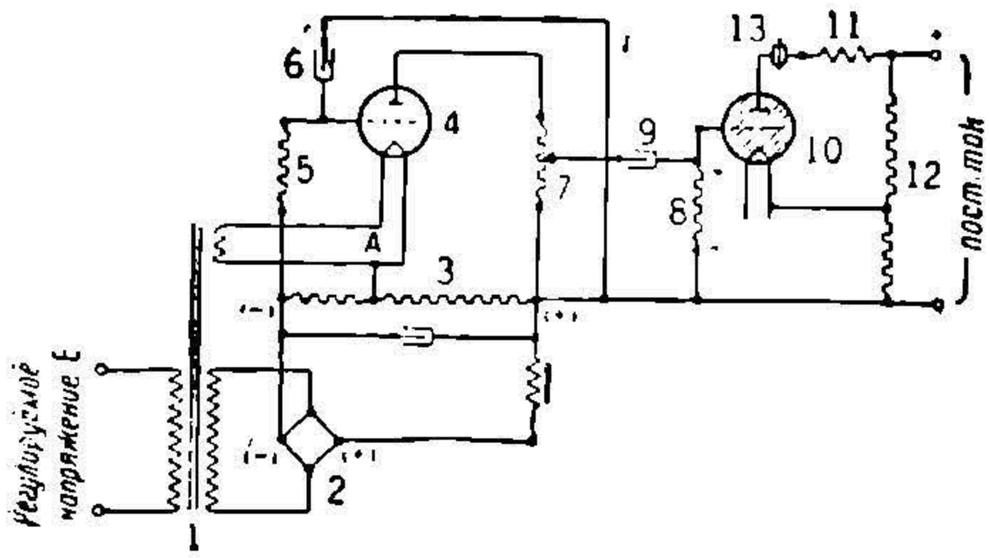
102. Импульсное реле для ударного возбуждения. Принцип действия реостатных регуляторов напряжения для ударного возбуждения заключается в том, что при внезапном падении регулируемого напряжения возбуждение форсируется при помощи шунтирования всего сопротивления, соединенного последовательно с обмоткой возбуждения. Схема для ударного возбуждения должна иметь минимальное запаздывание. Кроме того, желательно, чтобы она не была связана с основным регулятором, для того чтобы ее можно было настраивать, не влияя на настройку основного регулятора.

Различные имеющиеся на рынке типы электромагнитных реостатных регуляторов напряжения для ударного возбуждения снабжены добавочной парой контактов, которые замыкаются, если регулируемое напряжение падает, скажем, на 5% ниже своего нормального значения. Промежуток времени между падением регулируемого напряжения и замыканием контактов схемы ударного возбуждения зависит от положения подвижного элемента регулятора в момент изменения напряжения. Этот промежуток времени увеличивается, если элемент регулятора находится в „нижнем“ положении, т. е. если регулируемое

НБ УДУНТ (ДІІТ)

напряжение немного больше нормального значения в момент падения напряжения. Благодаря применению схемы ударного возбуждения электронного типа работа регулирующего устройства не зависит от условий изменения напряжения до момента изменения нагрузки, а зависит только от величины падения напряжения.

Схема импульсного реле приведена на фиг. 212. Трансформатор *1* присоединен к источнику регулируемого напряжения и питает двухполупериодный выпрямитель *2*. Поэтому постоянное напряжение на сопротивлении *3* пропорционально регулируемому напряжению. Усилительная лампа *4* присоединена к сопротивлению *3* таким образом, что ее анодный ток не изменяется при медленном изменении регулируемого напряжения. Это достигается таким выбором точки *A* на сопротивлении *3*, при котором всякое изменение анодного напряжения лампы практически нейтрализуется пропорциональным изменением сеточного напряжения. Сопротивление *5* и емкость *6* присоединены к сетке лампы *4* так, что при уменьшении регулируемого напряжения сетка лампы *4* делается более отрицательной и, следовательно, падение напряжения на сопротивлении *7* уменьшается благодаря уменьшению анодного тока лампы *4*. При уменьшении падения напряжения на сопротивлении *7* на сопротивлении *8* благодаря разряду конденсатора *9* появляется разность потенциалов. Полярность этой разности потенциалов показана на фигуре. Сеточное напряжение тиратрона *10* становится более положительным и заставляет тиратрон зажечься. При этом через катушку шунтирующего контактора *11* начинает течь ток. Контактор *11* остается замкнутым до тех пор, пока контакты *13* максимального реле, соединенного последовательно с обмоткой возбуждения, не выключает цепь постоянного анодного напряжения тиратрона *10*. Анодное напряжение, равное 250 V, снимается с имеющихся на станции шин и может изменяться при помощи потенциометра *12*.



Фиг. 212. Импульсное реле. Реле *11* выключается при внезапном уменьшении напряжения *E*.

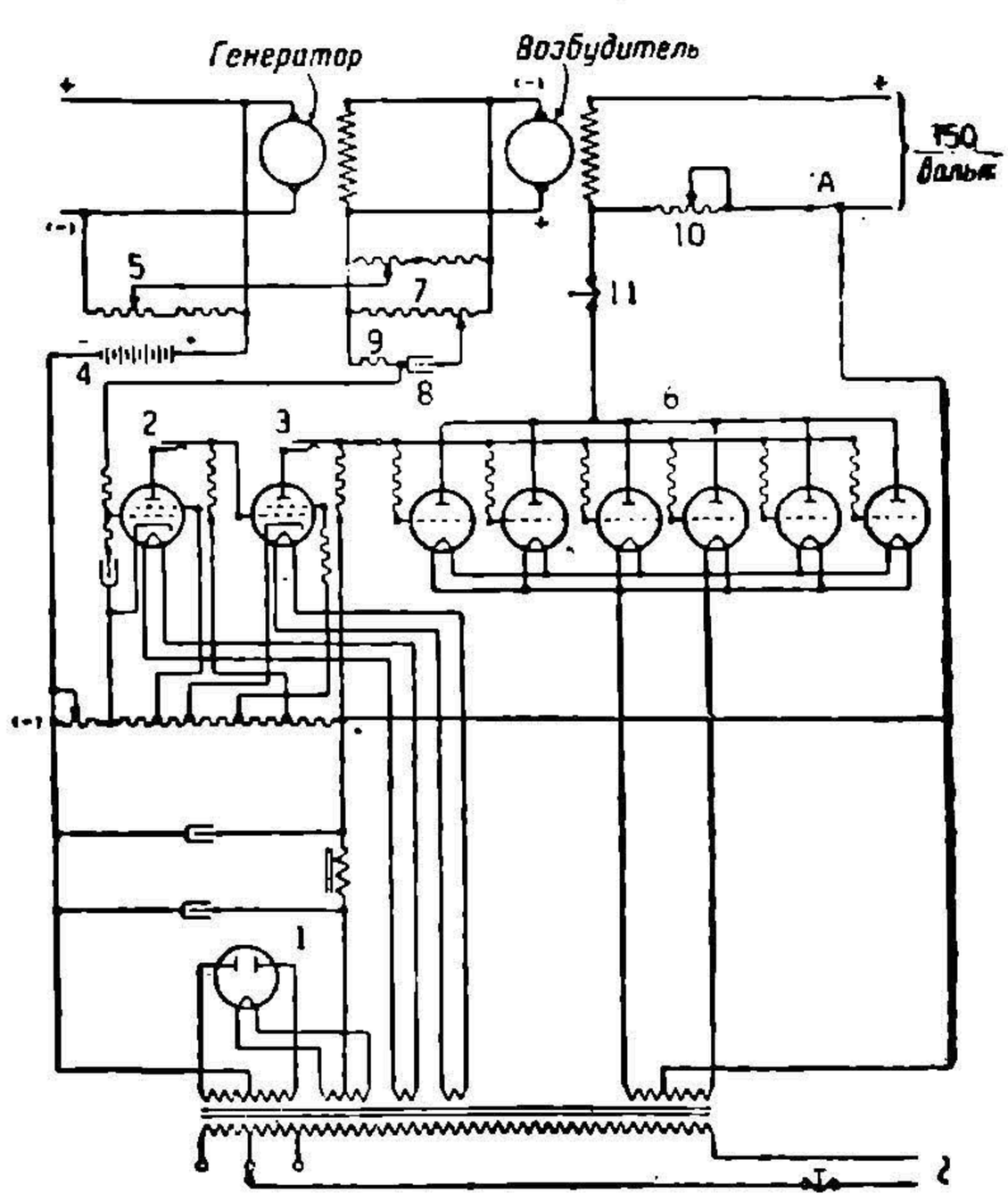
Качество работы подобного рода устройств выгодно отличается от электромагнитных схем для ударного возбуждения. Работа схем не зависит от поведения напряжения непосредственно перед его изменением.

103. Регулятор напряжения генератора постоянного тока. В настоящее время еще не имеется промышленных электронных регуляторов напряжения машин постоянного тока, работающих целиком на постоянном токе. До сих пор для регулирования напряжения генератора постоянного тока при помощи электронного регулятора всегда необходимо было располагать вспо-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

могательным источником переменного тока. В большинстве установок переменный ток имеется, однако обычно не желательно ставить регулирование в зависимость от какого-либо вспомогательного источника, если только генератор постоянного тока не приводится в движение от того же самого вспомогательного источника при помощи мотора переменного тока. Эта зависимость от источника переменного тока, повидимому, будет задерживать широкое распространение электронных регуляторов напряжения машин постоянного тока, до тех пор пока не будут разработаны новые типы электронных ламп.

Поэтому электронные регуляторы генераторов постоянного тока применяются пока лишь в тех случаях, когда обычные электромагнитные регуляторы напряжения оказываются почему-либо неудовлетворительными. Это обычно имеет место в тех случаях, когда повышение чувствительности и скорости регулирования более важно, чем добавочные расходы на электронный регулятор. Это положение повлияло на развитие электронных регуляторов постоянного тока, и поэтому до сих пор еще никто не делал попыток разработать электронный регулятор, который мог бы конкурировать в цене с электромагнитными регуляторами.



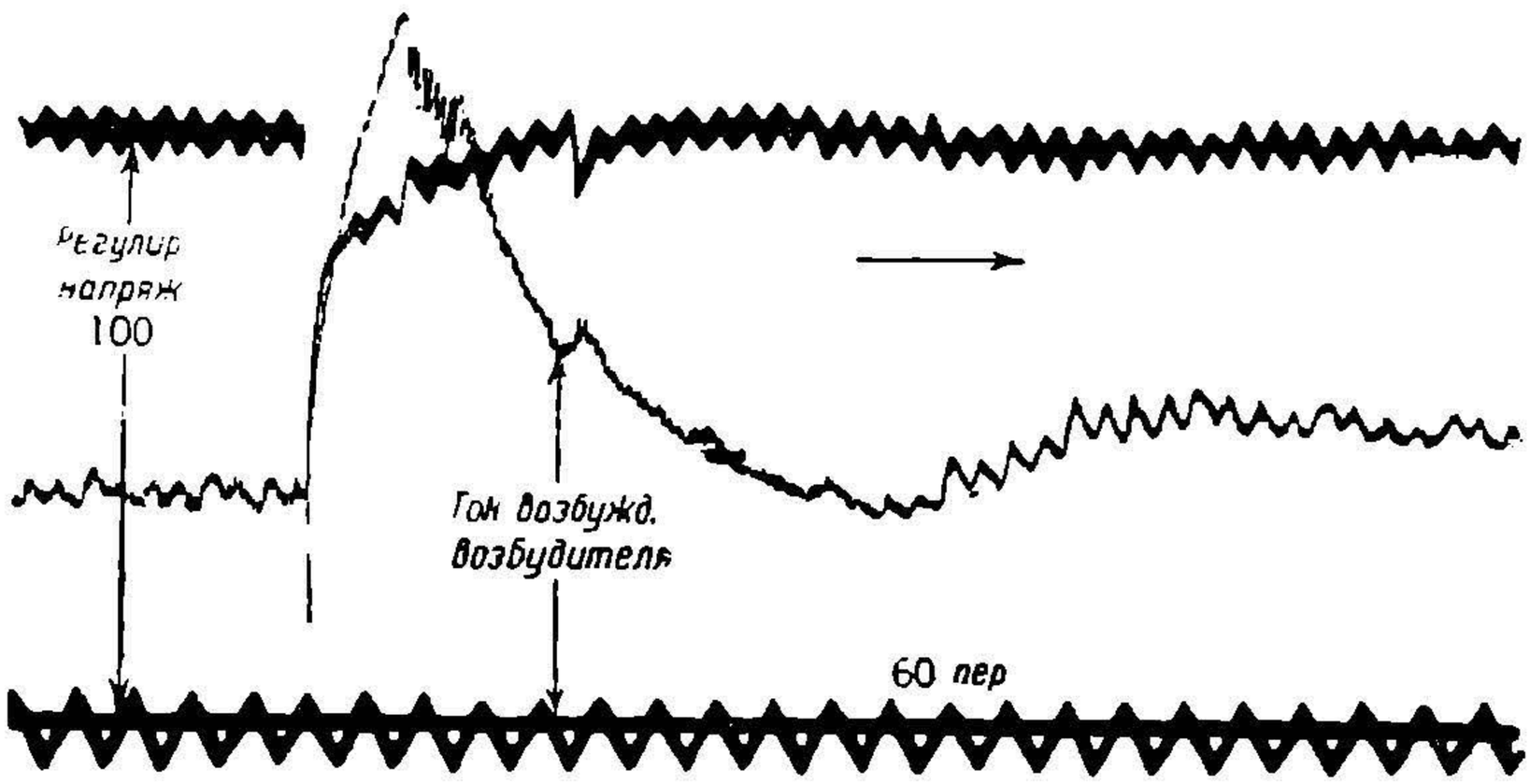
Фиг. 213. Схема электронного регулятора напряжения для генераторов постоянного тока.

Электронный регулятор, схема которого показана на фиг. 213, был разработан для получения гораздо более высокой чувствительности и скорости регулирования, чем могут дать электромагнитные регуляторы. Этот регулятор может быть использован для контроля либо возбуждения возбудителя, либо возбуждения генератора. Чтобы избежать пульсаций переменного тока в напряжении якоря генератора вместо тиратронов, питаемых от источника переменного тока, как это имеет место в регуляторах напряжения генераторов переменного тока, применяются вакуумные лампы, питаемые от вспомогательного источника постоянного тока.

Регулируемое напряжение, снимаемое с потенциометра *5*, присоединяется навстречу постоянному напряжению батареи *4*, и разность потенциалов подается на сетку экранированной усилительной лампы *2*. Регулятор во время своей работы стремится

НБ УДУНТ (ДІІТ)

поддерживать эту разность потенциалов постоянной и равной 2 V. Всякое отклонение разности потенциалов от этого значения усиливается лампой *3* и мощными лампами *6*. Поэтому ничтожное изменение регулируемого напряжения вызывает значительное изменение тока в обмотке возбуждения возбудителя, которая соединена последовательно с лампами *6* к источнику постоянного тока напряжением в 350 V. Для устранения вредных колебаний потенциометр *7*, присоединенный к зажимам якоря возбудителя, зашунтирован сопротивлением *9* и соединенным последовательно с ним конденсатором *8*. Когда при отключении нагрузки от генератора напряжение якоря возбудителя в результате действия регулятора начинает уменьшаться,



Фиг. 214. Осциллограмма, характеризующая быстродействие регулятора, изображенного на фиг. 213.

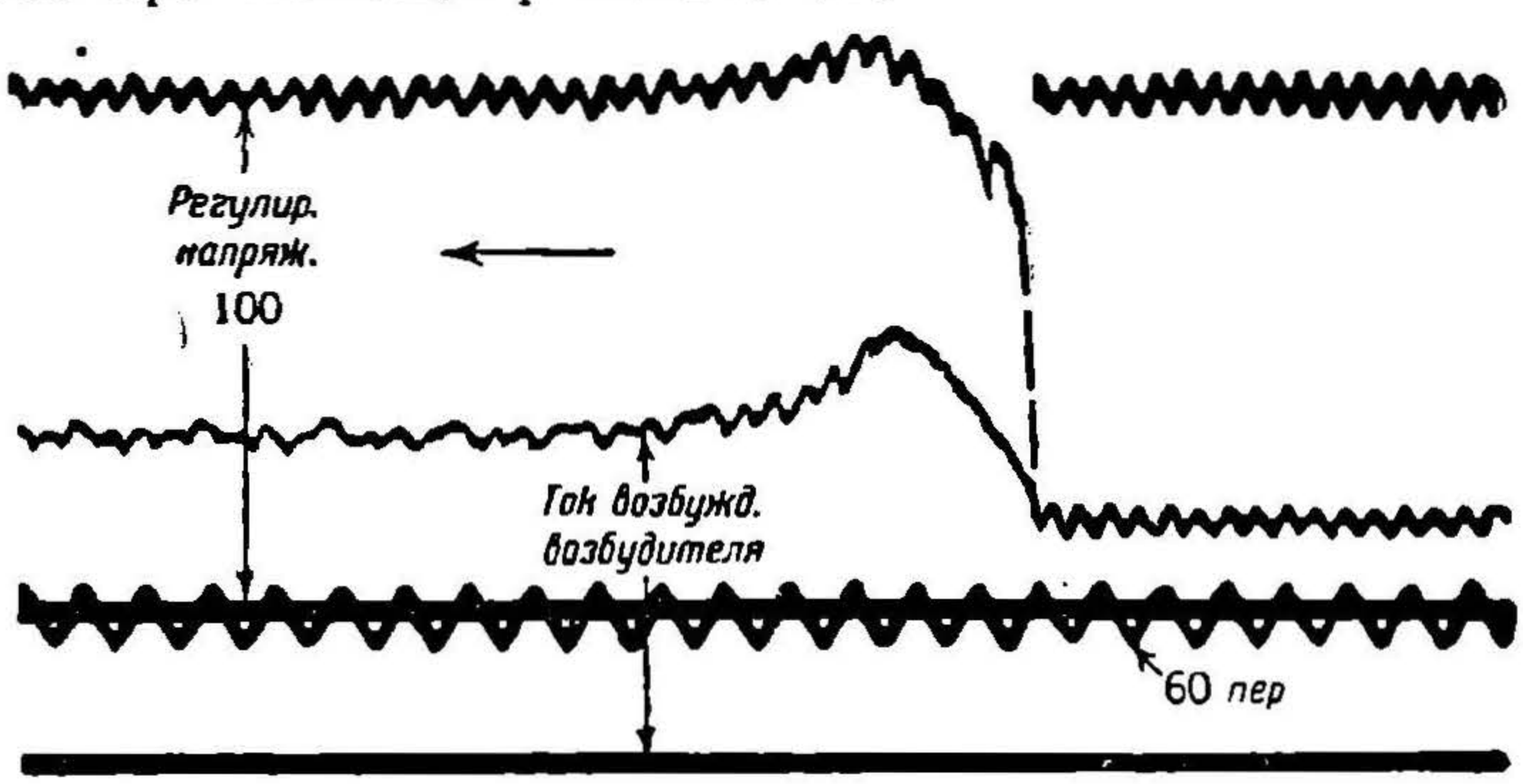
конденсатор *8* разряжается через сопротивление *9*. Получающееся таким образом падение напряжения направлено навстречу первоначальному изменению напряжения на сетке лампы *2*, вызванному увеличением регулируемого напряжения, и поэтому стабилизирует работу регулятора.

Чувствительность этого электронного регулятора заключена в пределах $\pm 0{,}1$ V. Регулятор возвращает регулируемое напряжение к нормальному значению, как это видно из осциллограммы на фиг. 215, через 2—5 периодов, если нет возбудителя и лампы *6* соединены непосредственно с обмоткой возбуждения генератора. Во время проводившихся испытаний нагрузка шунтового генератора мощностью 5 kW увеличивалась от нуля до нормального значения. На фиг. 214 дана осциллограмма для таких же условий нагрузки, однако в этом случае генератор возбуждался при помощи $^1/_2$-киловаттного шунтового возбудителя. Скорость следования или быстрота регулирования регулятора наглядно иллюстрируется при помощи фиг. 215, которая показывает, что регулятор стремится корректировать изменения регулируемого напряжения, вызываемые пульсациями от коммутатора, которые в этом специальном испытываемом генераторе были весьма заметными. Действие демпфирующей схемы

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

показано на фиг. 214. Из этой фигуры видно, что ток возбуждения возбудителя начал уменьшаться еще до того, как регулируемое напряжение достигло нормального значения.

Как это ясно из фиг. 213, реостат возбуждения *10* для ручного управления соединен таким образом, что при замыкании рубильника *A* он оказывается соединенным параллельно с лампами *6*. Для того чтобы перейти от автоматического к ручному регулированию, нужно ввести реостат *10* и замкнуть рубильник *A*. Сопротивление реостата постепенно уменьшается до тех пор, пока регулируемое напряжение не будет на 0,5 V выше нормального, при этом ток через лампы *6* будет равен нулю. Затем выключается рубильник *11*, и ручное регулирование производится при помощи реостата *10*.



Фиг. 215. Осциллограмма, характеризующая быстродействие регулятора, изображенного на фиг. 213, без возбудителя.

Область регулирования для ламп *6* в начале срока службы в пределах от 0,15 до 1,2 А. Однако в конце срока службы эмиссия катода уменьшается. По этой причине регулятор проектируется из расчета, что максимальный ток на выходе ламп не будет превышать 0,9 А, что дает область регулирования, равную 0,75 А. Если максимальный ток возбуждения возбудителя превышает 0,9 А, то ключ *A* не нужен. Тогда реостат *10* соединяется параллельно с лампами *6* и рассчитывается на разность между током возбуждения возбудителя в отсутствии нагрузки и минимальным током ламп, равным 0,15 А. При помощи такого рода схемы электронный регулятор может применяться для регулирования возбудителей мощностью приблизительно до 20 kW.

Преимущества электронных регуляторов по сравнению с электромагнитными заключаются в их высокой чувствительности и быстродействии. Кроме того, они выгодны благодаря простоте обращения, несложности ухода, отсутствию радиопомех и возможности работы на борту корабля при сильной качке.

Литература

«Precision Regulator for Alternating Voltage», H. M. Stoller and J. R. Power, AIEE Journal, Vol. 48, No. 2, p. 110, 1929.

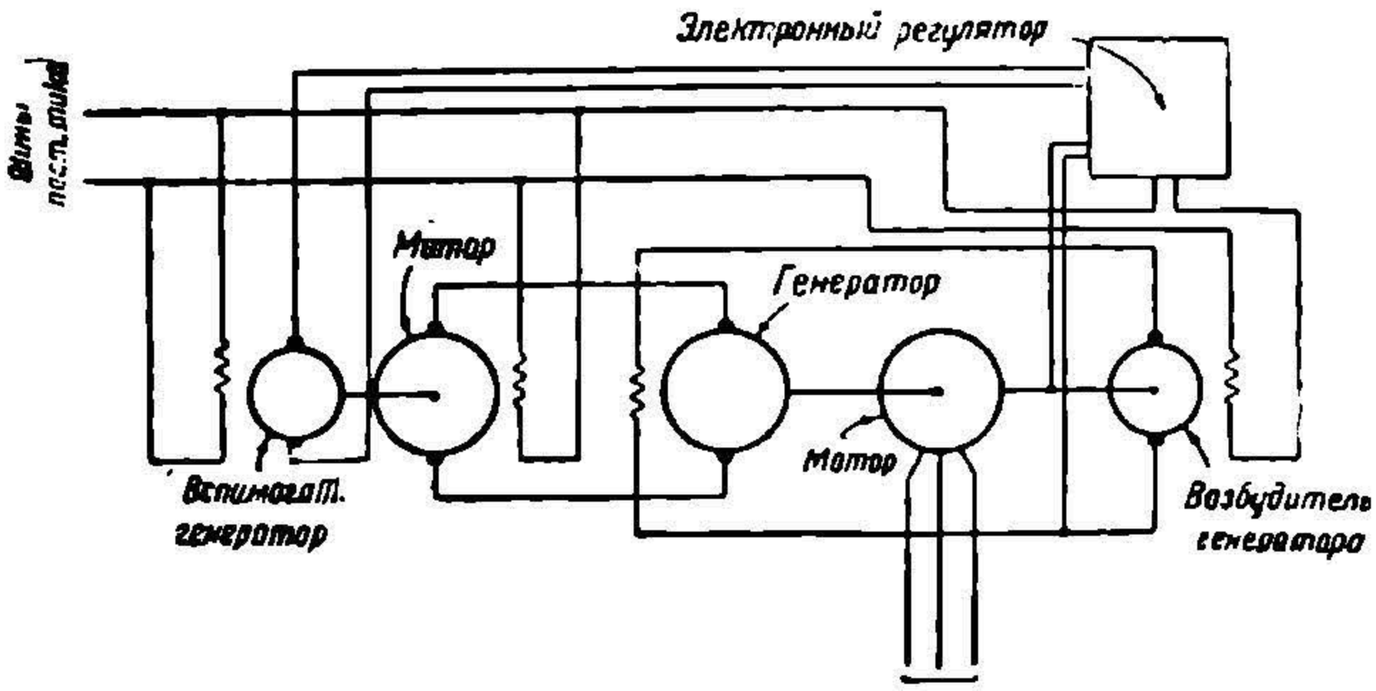
НБ УДУНТ (ДІІТ)

«Electron-Tube Voltage Control for Photometry», F. E. Kilpatrick and Carl P. Bernhardt, Electronics, November, 1934.
«Recent Developments in Electronics Devices for Industrial Control», F. H. Gulliksen, AIEE Trans., Vol. 52, pp. 585—594.
«Electronic Regulator for A-C. Generators», F. H. Gulliksen, AIEE Trans., Vol. 53, pp. 877—881.
«A Vacuum Tube Voltage Regulator for Alternators», L. C. Verman and L. A. Richards, Rev. Sci. Instruments, October, 1930, p. 581.
«A Vacuum Tube Voltage Regulator for Large Power Units», L. C. Verman and H. J. Reich, Proc. IRE Vol. 17, p. 2075, 1929.
«Thermionic Vacuum Tubes and Their Applications», R. W. King, Bell Sys. Tech. Journal, Vol. 2, pp. 96—98, 1928.
«Radio Telephony», E. B. Craft and E. H. Colpitts, AIEE, Trans., Vol. 38, p. 330.
«Thyratron Voltage Regulators», Philip Sporn and G. G. Langdon, Elec. World, Vol. 105, May 11, 1935, pp. 28—30.

Глава XVI

РЕГУЛЯТОРЫ СКОРОСТИ

104. Регуляторы для одномоторных приводов. Одномоторные приводы могут быть разделены на два типа: приводы с постоянной скоростью и приводы с переменной скоростью. С точки зрения регулирования скорости интерес представляют только приводы последнего типа, так как в тех случаях, когда скорость должна оставаться все время постоянной, необходимость регулирующих устройств устраняется применением синхронного мотора. Для приводов с переменной скоростью в тех случаях, когда необходимо точное регулирование, уже давно принято пользоваться исключительно моторами постоянного тока. Однако недавние опыты с электронными преобразователями частоты, питающими моторы переменного тока, показывают, что в недалеком будущем на рынке появятся промышленные образцы регуляторов скорости переменного тока.



Фиг. 216. Схема соединений одномоторного привода с электронным регулятором скорости.

В регуляторах скорости постоянного тока вспомогательный генератор постоянного тока (тахо-динамо) обычно соединяется при помощи зубчатой передачи с мотором скорость которого должна регулироваться, и напряжение этого вспомогательного генератора поддерживается постоянным при помощи регулятора напряжения. Типичный пример такого рода регулирования дает одномоторный привод бумажной машины (фиг. 216).

Требования, предъявляемые к этому приводу, заключаются в том, чтобы число оборотов мотора можно было изменять в определенных пределах и чтобы, после того как числу оборо-

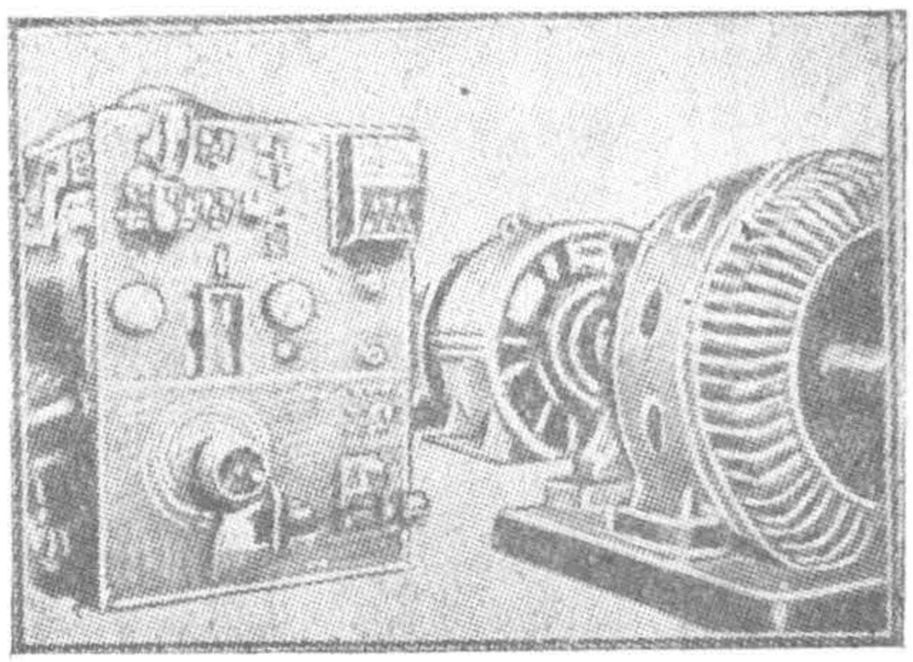
НБ УДУНТ (ДІІТ)

тов мотора придано надлежащее для данной операции значение, оно сохранялось постоянным независимо от изменений нагрузки.

Для регулирования напряжения тахо-динамо применяется электронный регулятор напряжения типа, показанного на фиг. 213. При уменьшении числа оборотов мотора и, следовательно, напряжения тахо-динамо ток через обмотку возбуждения возбудителя увеличивается (фиг. 216). Благодаря этому напряжение генератора и, следовательно, число оборотов мотора возрастают.

Таким способом число оборотов мотора может регулироваться в пределах отношения 12:1. Преимущества электронных регуляторов скорости по сравнению с электромагнитными регуляторами, имеющими тенденцию к колебаниям при минимальной скорости, если скорость регулируется в пределах отношения 12:1, заключаются в более высокой чувствительности, быстродействии (способности следования) и большей устойчивости.

Чувствительность электронного регулятора скорости по отношению к напряжению тахо-динамо равна $\pm 0{,}2\%$. Поэтому число оборотов мотора может колебаться в пределах $\pm 0{,}2\%$ плюс изменение напряжения возбуждения тахо-динамо при постоянной скорости.



Фиг. 217. Общий вид оборудования, показанного на фиг. 216.

Применяя тахо-динамо с насыщенной магнитной цепью, можно достигнуть постоянства его напряжения даже при изменении напряжения возбуждения в пределах 15%. Таким образом общая точность регулирования привода может быть сделана равной $\pm 0{,}5\%$ или выше.

105. Регулятор многомоторного привода. Во многих процессах число оборотов одного мотора должно находиться в определенном отношении к скорости предыдущего или последующего мотора. В некоторых случаях требуется, чтобы все моторы вращались практически синхронно друг с другом и чтобы в то же время их число оборотов можно было изменять в широких пределах, как, например, в случае секционированных приводов бумажных машин, непрерывных прокатных станов, машин для гальванизации и многих других применений. В различных установках уже в течение долгого времени находятся в эксплоатации многочисленные типы работающих вполне удовлетворительно механических и электромагнитных регуляторов. Однако эти регуляторы механически сложны и требуют наблюдения высококвалифицированных электриков.

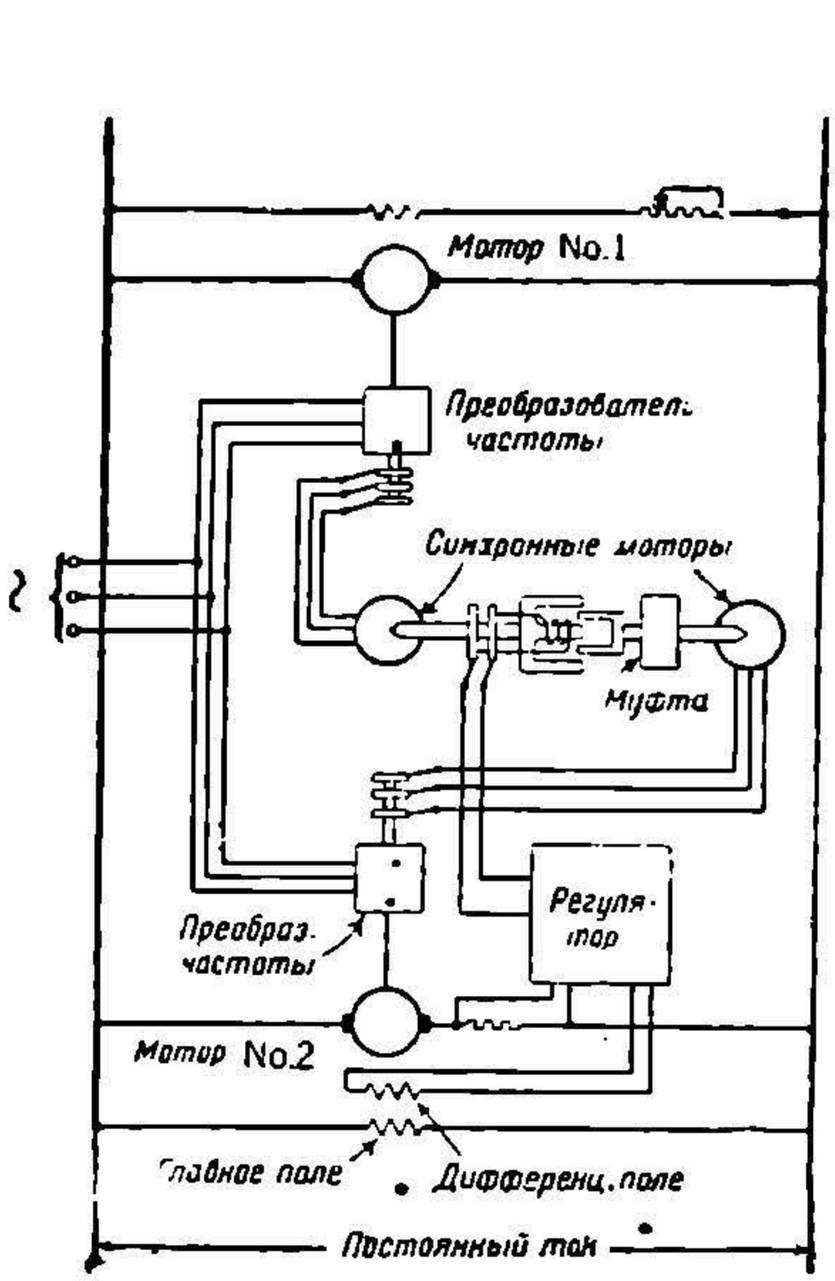
Уже давно стало очевидным, что электронные устройства идеально подходят для того типа контроля, когда высокая скорость регулирования и отсутствие вредных колебаний имеют первостепенное значение. Экспериментальный регулятор элек-

ПБ УДУНТ (ДІІТ)

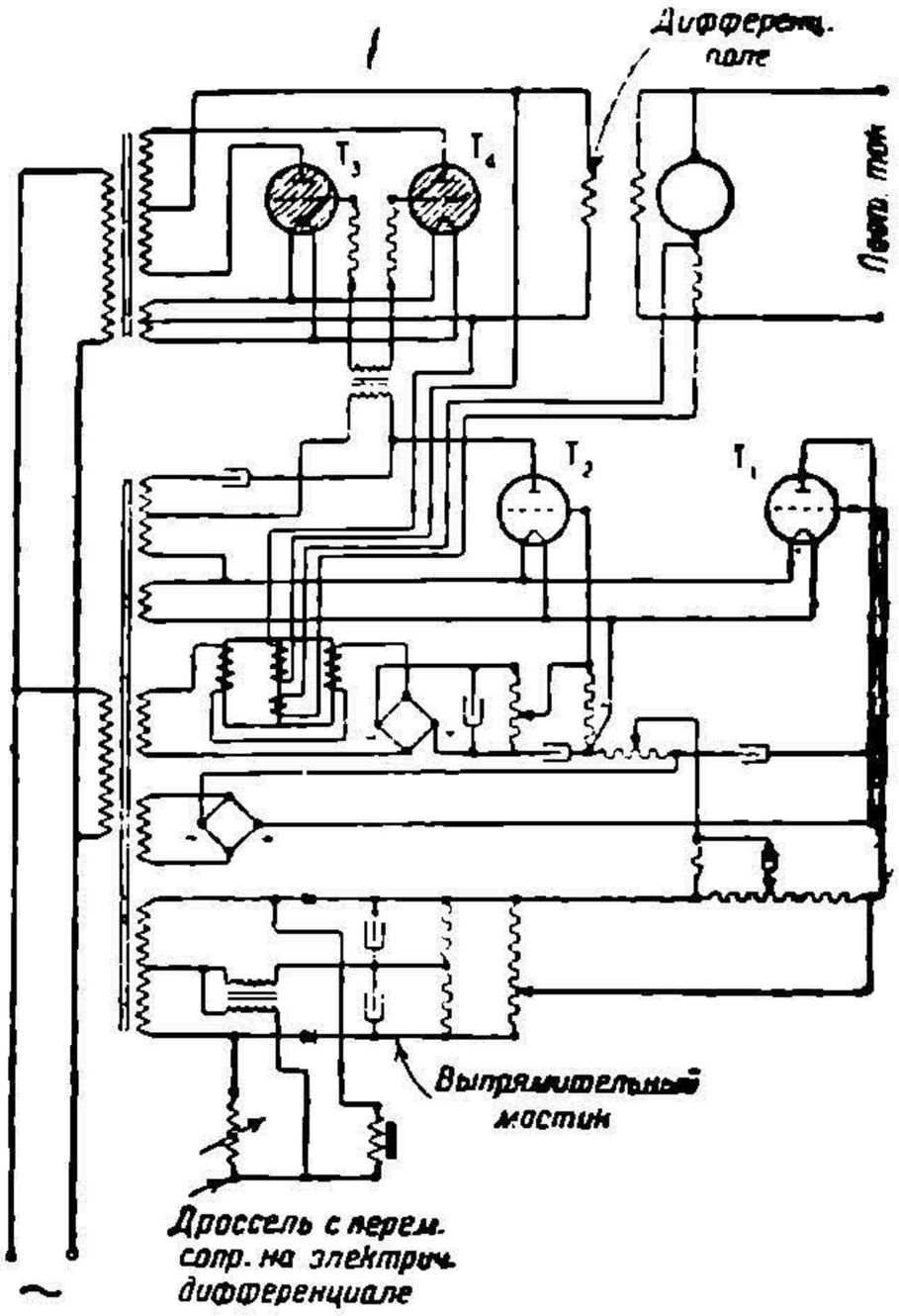
тронного типа был показан на Чикагской мировой выставке в 1933 г.

Схема соединений дана на фиг. 218. Якори двух моторов питаются от шин постоянного тока, причем число оборотов мотора *№ 1* можно регулировать от руки, изменяя ток возбуждения.

Задача электронного регулятора заключается в том. чтобы поддерживать синхронность вращения моторов *№ 1* и *2*. Так как



Фиг. 218. Схема электронного регулятора скорости для многомоторного привода.



Фиг. 219. Схема электронного регулятора скорости для многомоторного привода.

моторы *№ 1* и *2* могут быть расположены на расстоянии 30—40 m друг от друга, то между осями обоих моторов не всегда можно установить механический диференциал. В этих случаях необходимо пользоваться электрическим способом передачи или „электрическим валом“. Этот электрический вал состоит из двух преобразователей частоты или фазорегуляторов, питаемых от источника переменного тока частотой 60 Hz и двух синхронных моторов, присоединенных к вторичной стороне преобразователей частоты.

Таким образом угловое смещение валов обоих синхронных моторов пропорционально угловому смещению между валами главных моторов. Оба синхронных мотора приводят в движение две половины электрического диференциала, который присоединен к мостовой схеме, как это показано на фиг. 219. Обе половины этого электрического диференциала вращаются с одинаковой скоростью, причем конструкция его такова, что он допускает

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

некоторое определенное максимальное угловое смещение между обеими своими частями.

Электрический диференциал, по существу, представляет собой реактивную катушку с переменным воздушным промежутком, реактивное сопротивление которой изменяется при изменении относительного положения обеих магнитных цепей. Между синхронным мотором *№ 2* и диференциалом включена фрикционная муфта. Если воздушный промежуток достигает своего максимального или минимального значения, то фрикционная муфта начинает скользить и таким образом препятствует выпадению из синхронизма обоих моторов.

Электрический диференциал управляет электронным регулятором, который питает постоянным током одну из обмоток возбуждения мотора *№ 2* таким образом, что его ток возбуждения уменьшается, если скорость этого мотора слишком мала.

Электронный регулятор скорости, показанный на фиг. 219, имеет два тиратрона T_3 и T_4, в анодную цепь которых включена шунтовая обмотка возбуждения мотора *№ 2*. Ток тиратронов регулируется при помощи усилительной лампы T_2, включенной в обычную схему фазового смещения и при помощи лампы T_1, цепь сетки которой присоединена к индуктивному выпрямительному мостику Витстона. Этот выпрямительный мостик управляется электрическим диференциалом, состоящим из реактивной катушки с переменным воздушным промежутком. Так как относительное положение обеих половин этой реактивной катушки зависит от относительного положения валов обоих моторов, то всякое изменение скорости мотора *№ 1* вызывает изменение реактивного сопротивления электрического диференциала и вследствие этого нарушает равновесие мостика Витстона. Ток небаланса при помощи ламп T_1 и T_2 изменяет анодный ток тиратронов T_3 и T_4 и, следовательно, изменяет ток возбуждения мотора *№ 2* до тех пор, пока числа оборотов обоих моторов не сделаются снова одинаковыми.

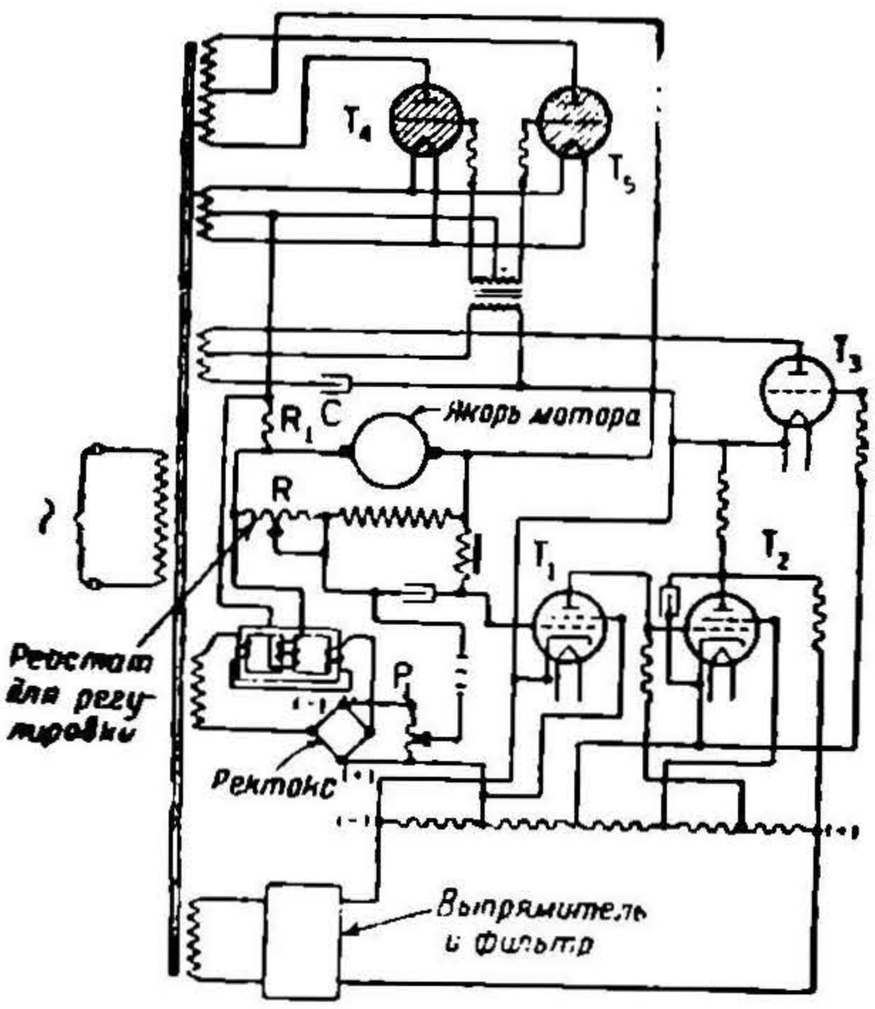
Для стабильности работы регулятор снабжен средствами, препятствующими возникновению вредных колебаний. Применяемая для этой цели схема состоит из емкости и сопротивления, которые присоединяются к цепи сетки лампы T_1, для того чтобы ограничить скорость следования регулятора областью, необходимой для обеспечения его устойчивости. Кроме того, вредные колебания демпфируются благодаря действию тока возбуждения и тока якоря мотора на катушку с насыщенным железом, которая присоединена через выпрямитель к схеме емкость — сопротивление в цепи сетки лампы.

106. Выпрямитель для регулирования скорости. В тех случаях, когда необходимо производить регулирование числа оборотов моторов постоянного тока в широких пределах, обычный метод состоит в применении агрегата, состоящего из мотора и генератора, и в изменении напряжения генератора. Если только конструкции мотора и генератора не согласованы тщательно друг с другом, то поддерживать число оборотов мотора постоянным

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

при меняющейся нагрузке при любом значении скорости очень затруднительно. Это в особенности относится к моторам малой мощности. Для получения постоянства скорости вращения такого рода моторов при любом числе оборотов в широких пределах изменения оборотов необходимо применять регулятор скорости, регулирующий напряжение генератора и косвенно число оборотов мотора. Регулирующие устройства такого типа сложны, и стоимость всей установки, состоящей из мотора, генератора, таходинамо и регулятора скорости, очень высока по сравнению со стоимостью мотора.

Электронная схема управления мотором, показанная на фиг. 220, может поддерживать постоянство выпрямленного напряжения, полученного от источника однофазного переменного тока при любом значении между 100 и 550 V. При изменении нагрузки мотора от нуля до максимума и при колебаниях напряжения переменного тока в обычных пределах напряжение постоянного тока сохраняется при заданном значении с точностью $\pm 0{,}5\%$. Максимальный постоянный ток нагрузки равен 10 A при любом значении постоянного напряжения. Регулятор имеет гиперкомпаундную характеристику, он увеличивает напряжение при увеличении нагрузки. Эта схема может быть отрегулирована таким образом, чтобы число оборотов мотора при изменении нагрузки от нуля до максимума поддерживалось постоянным с точностью 1% при любом значении в области изменения числа оборотов, соответствующей отношению 5:1. Таким образом электронный регулятор можно сравнивать с мотор-генераторной установкой, снабженной регулятором напряжения, причем преимущества первого заключаются в более высокой скорости регулирования и в большей гибкости настройки. Напряжение постоянного тока подается к якорю и обмотке возбуждения мотора (фиг. 220) при помощи двух тиратронов T_4 и T_5. Постоянный ток на выходе ламп имеет пульсации переменного тока, значительно сглаженные реактивным сопротивлением якоря и обмотки возбуждения. Угол сдвига фазы между сеточным и анодным напряжением тиратронов T_4 и T_5 может изменяться (при помощи цепи фазового смещения, состоящей из усилительной лампы T_3 и емкости C) таким образом, чтобы точка на волне анодного напряжения, при которой они зажигаются, перемещалась. Этим способом анодный ток тиратронов можно изменять от нуля до максимума. Анодный ток лампы T_3, а следовательно, сдвиг фазы между сеточным и



Фиг. 220. Схема регулирования напряжения выпрямителя для питания моторов.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

анодным напряжениями тиратронов изменяются при помощи двухкаскадного усилителя на сопротивлениях с экранированными лампами T_1 и T_2. Этот усилитель имеет очень большой коэфициент усиления. Поэтому изменение сеточного напряжения лампы T_1 меньше 0,1 V вызывает сдвиг фазы, достаточный для изменения тока тиратронов от нуля до максимума.

Цепь из обмотки возбуждения мотора и реостата R присоединена параллельно к якорю мотора. Напряжение на обмотке возбуждения мотора сглаживается при помощи фильтра, состоящего из дросселя и конденсатора. Это напряжение соединяется навстречу напряжению сухой батареи, и разность между ними подается на сетку лампы T_1. Эта разность при всех рабочих условиях поддерживается постоянной при значении, приблизительно равном 2,5 V. Поэтому, если не рассматривать действия компаундирования схемы, то ток возбуждения мотора всегда сохраняется при постоянном значении и, следовательно, напряжение на якоре мотора поддерживается при постоянном значении, равном сумме падений напряжения в цепи возбуждения и на реостате. Чтобы увеличить напряжение на якоре мотора и его скорость, необходимо увеличить падение напряжения на реостате, увеличив его сопротивление. Во время этой операции падение напряжения в обмотке возбуждения остается постоянным благодаря действию регулятора.

Схема компаундирования состоит из насыщенного дросселя, соединенного последовательно с двухполупериодным выпрямителем. Обмотка постоянного тока дросселя шунтирована сопротивлением R_1, соединенным последовательно с якорем мотора. Полное сопротивление катушки с железом уменьшается при увеличении тока, протекающего через обмотку подмагничивания, и по этой причине постоянное напряжение на выходе выпрямителя, соединенного последовательно с обмотками переменного тока дросселя, увеличивается при увеличении нагрузки мотора. Сеточное напряжение на лампе T_1, которое берется от выпрямителя, может изменяться при помощи потенциометра P_1. Для того чтобы сеточное напряжение лампы T_1 сохранялось постоянным, должно увеличиться напряжение возбуждения и, следовательно, напряжение на якоре, при этом число оборотов мотора с увеличением нагрузки не изменится.

Регулятор снабжен различными реле, которые для простоты на фиг. 220 не показаны. Эти реле включают в себя:

1. Реле времени, препятствующее приложению анодного напряжения к тиратронам до того, как их катоды достигнут нормальной рабочей температуры.

2. Контактор в цепи якоря мотора, имеющий размыкающие контакты для динамического торможения.

3. Реле времени, замыкающее накоротко пусковой реостат через определенный промежуток времени после момента пуска мотора.

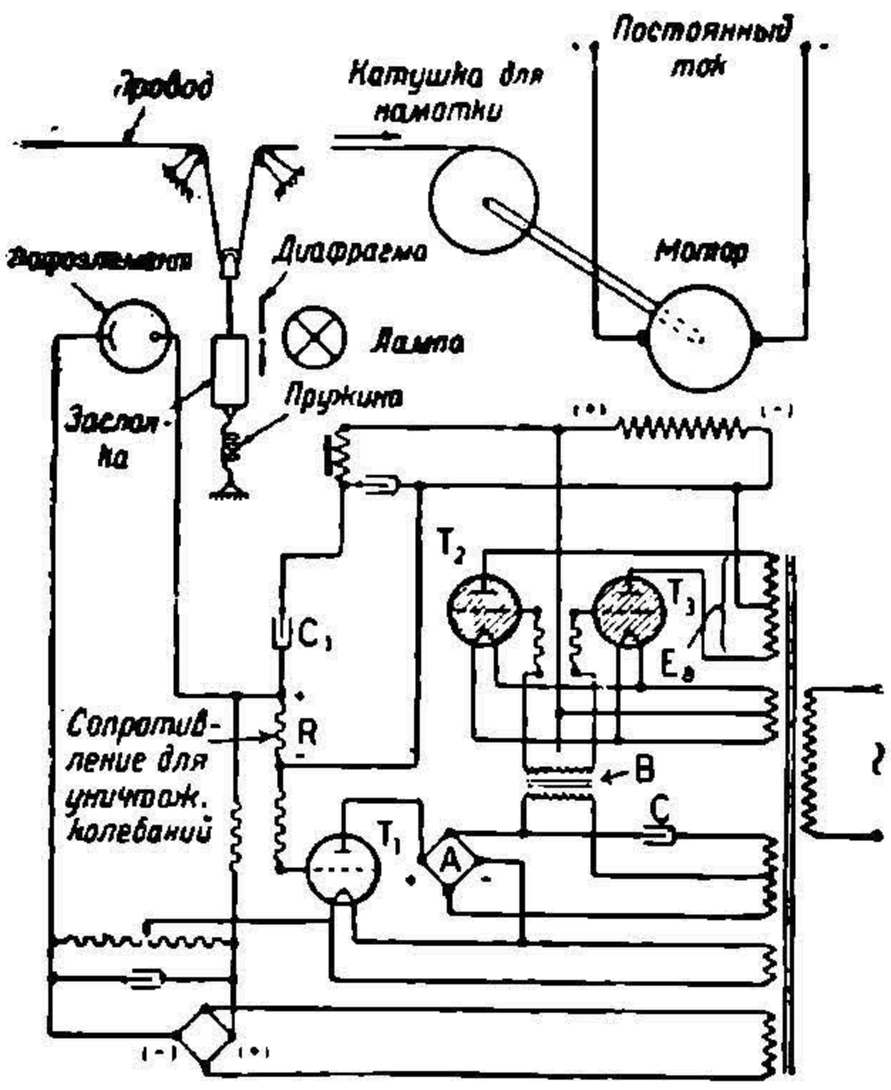
4. Контрольное реле для остановки и пуска.

5. Контрольное реле для точной установки.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

6. Максимально-мгновенное реле, соединенное последовательно с якорем мотора и предохраняющее тиратроны от перегрузки.

107. Регулятор натяжения в намоточной машине. На фиг. 221 показано фотоэлектрическое устройство для контроля натяжения проволоки, наматываемой на катушку. Якорь мотора, производящего намотку, питается от отдельного источника постоянного тока. Число оборотов мотора регулируется при помощи изменения его тока возбуждения. Натяжение проволоки определяется при помощи пружины, прикрепленной к ролику, по которому скользит проволока. При увеличении натяжения флажок пересекает луч света, падающий через диафрагму на фотоэлемент. Так как фототок при этом уменьшается, то сеточное напряжение усилительной лампы T_1 делается более положительным и ее анодный ток возрастает. Усилительная лампа присоединена к выпрямителю *A*. В § 43 указывалось, что сопротивление купроксного выпрямителя переменному току уменьшается при увеличении нагрузки постоянного тока. Выпрямитель соединен последовательно с конденсатором *C* для изменения угла сдвига фазы напряжения сеточного трансформатора *B*. Таким образом при уменьшении сопротивления выпрямителя переменному току сеточное напряжение тиратронов T_2 и T_3 смещается в сторону опережения по отношению к анодному напряжению E_a. Благодаря этому смещению сеточного напряжения анодный ток тиратронов увеличивается, и скорость мотора уменьшается. При уменьшении числа оборотов мотора натяжение проволоки уменьшается, и таким образом устройство стремится поддерживать натяжение проволоки при постоянном значении.



Фиг. 221. Схема регулятора натяжения при намотке.

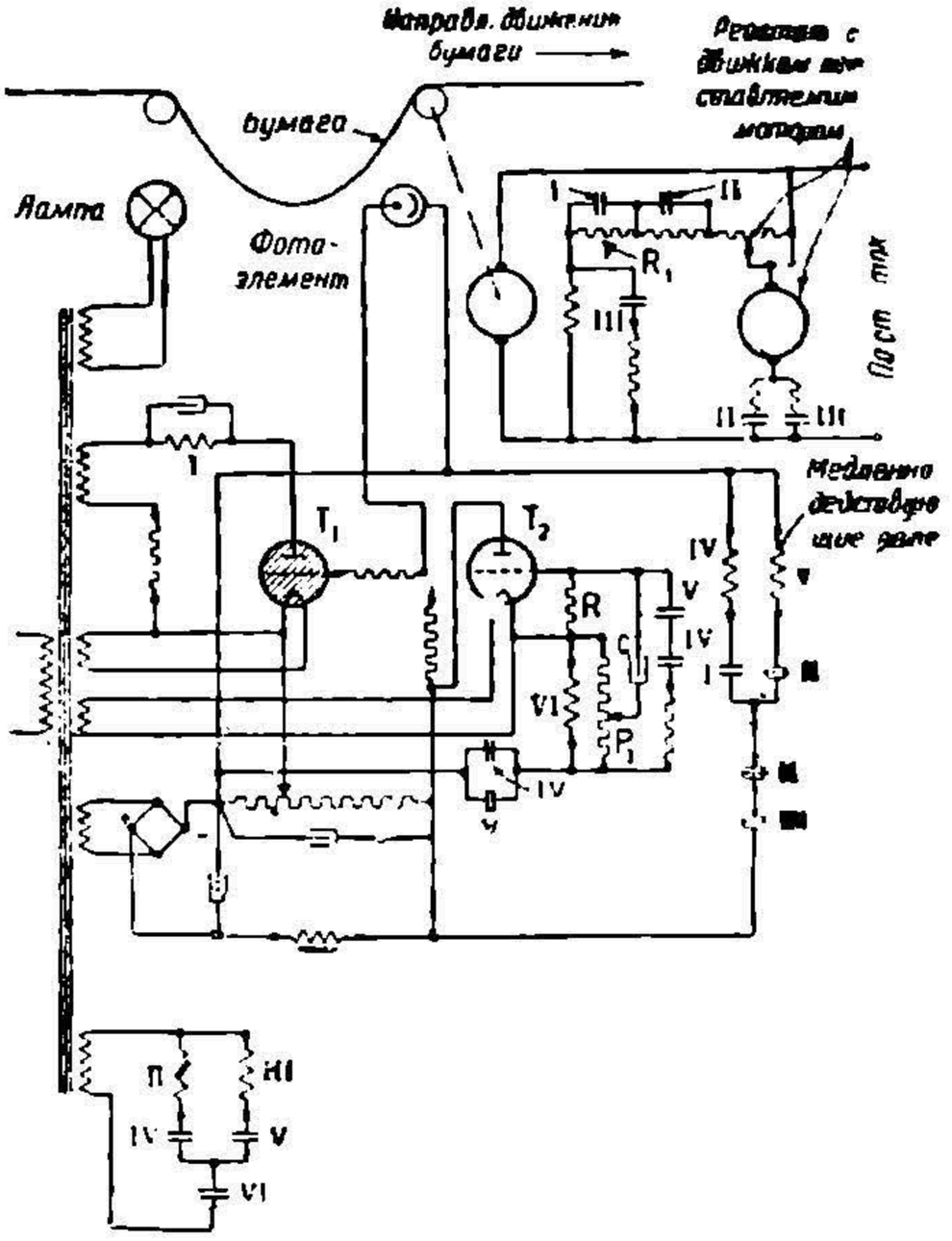
Для стабилизации работы и устранения вредных колебаний в цепь сетки лампы T_1 включены конденсатор C_1 и сопротивление *R*. Эта демпфирующая схема аналогична схеме, изображенной на фиг. 195. В тот момент, когда регулятор стремится уменьшить натяжение проволоки, на сопротивлении *R* благодаря этой демпфирующей схеме появляется падение напряжения, полярность которого указана на фиг. 221.

Для этой же цели применялись различные другие схемы. Вместо фотоэлемента, воздействующего на усилитель, можно применить реактивную катушку с переменной индуктивностью в форме соленоида, присоединенную к мостику Витстона для управления сеточным напряжением усилительной лампы или работающую в схеме сдвига фазы (фиг. 61) для непосредственного управления

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

сеточным напряжением тиратронов. В последнем случае трудно ввести средства, препятствующие возникновению колебаний, что создает необходимость ограничить область регулирования регулятора. Это можно сделать, питая обмотку возбуждения мотора, соединенную последовательно с сопротивлением, от источника постоянного тока и изменяя падение напряжения на сопротивлении при помощи тиратронов.

108. Реостатный регулятор скорости движения бумаги. Регулятор скорости, показанный на фиг. 222, интересен тем, что его конструкция обладает свойствами, которые могут быть использованы в целом ряде применений. Этот регулятор первоначально был разработан для регулирования числа оборотов мотора, подающего бумагу от бумажной машины в сушильную камеру. Мотор сушильной камеры работает при достаточно постоянной скорости, и задача заключается в том, чтобы поддерживать определенную петлю в движущейся бумаге между бумажной машиной и сушильной камерой. Для этой цели фотоэлемент и источник света расположены так, что при уменьшении числа оборотов мотора бумажной машины длина петли бумаги уменьшается, и фотоэлемент освещается.



Фиг. 222. Схема реостатного регулятора скорости движения бумаги.

Фотоэлемент (фиг. 222) присоединен к цепи сетки тиратрона T_1. При отсутствии света на фотоэлементе сетка тиратрона T_1 делается более положительной. Поэтому, если петля бумаги слишком длинна, то тиратрон зажигается и заставляет сработать реле *I*. При нормальных условиях, когда петля бумаги имеет нужную длину, фотоэлемент попеременно то освещается, то затемняется, и реле *I* соответственно то размыкается, то замыкается. При этом реле *IV* и *V*, которые обладают способностью мгновенно срабатывать и медленно выключаться, остаются включенными, и несмотря на то, что цепь замкнута через усилительную лампу T_2 и реле *VI*, последнее не срабатывает, так как к сетке лампы T_2 через контакты *IV* и *V* подается отрицательное напряжение, и анодный ток через лампу поэтому имеет низкое значение. Задержка в размыкании реле *IV* и *V* равна приблизительно 0,5 сек., и если реле *I* остается в одном и том же положении в течение промежутка времени, превышающего 0,5 сек., то одно из реле *IV* или *V* выключается и снимает отрицательное напряжение с

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

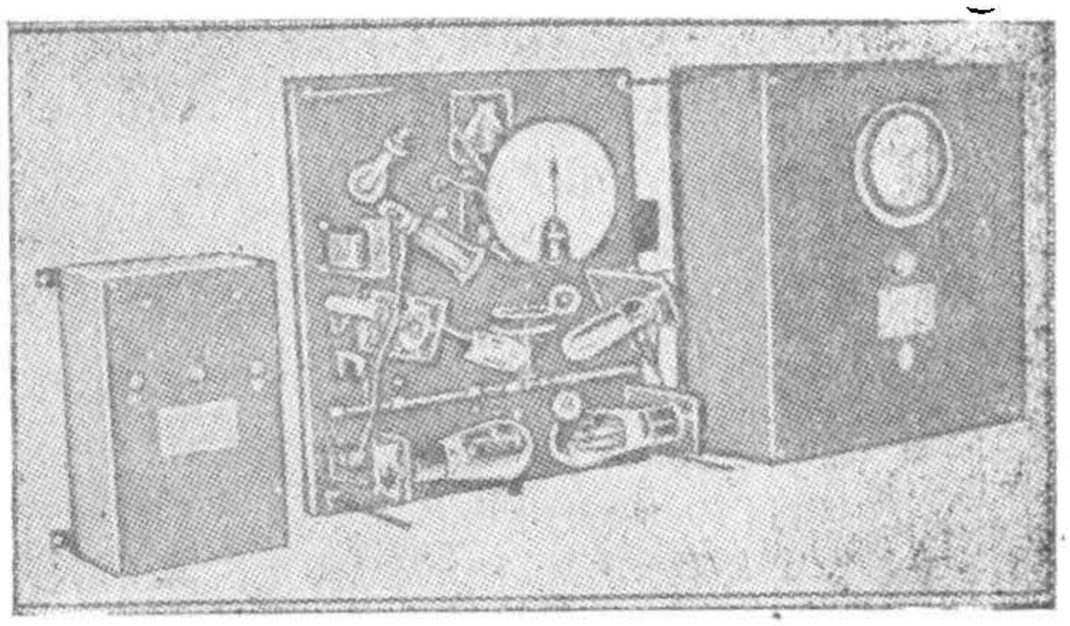
сетки лампы T_2. Тогда конденсатор C начинает разряжаться через сеточное сопротивление R и через определенный промежуток времени, зависящий от положения движка потенциометра P_1, сеточное напряжение становится таким, при котором через лампу T_2 протекает ток, достаточный для срабатывания реле *VI*. Как только сработает реле *VI*, срабатывают реле *II* и *III*. Но так как размыкающие контакты этих реле соединены последовательно с *IV* и *V*, то реле *II* и *III* остаются замкнутыми в течение только 0,5 сек., т. е. в течение времени, достаточного для выключения реле *IV* и *V* По этой причине при замыкании реле *I* реле *II* замыкается на 0,5 сек. через определенный промежуток времени, скажем, через 10 сек., после замыкания реле *I*. Если реле *I* остается замкнутым, то реле *II* приблизительно через 6 сек. дает второй импульс. Последующие импульсы повторяются в той же последовательности. Эта переменная выдержка времени, очень желательная для регулятора, получается при помощи действия контактов *IV* и *V*, которые подают к сетке лампы T_2 отрицательный потенциал. Если последовательность операций во времени повторяется, не вызывая при этом замыкания обоих контактов *IV* и *V*, то отрицательный заряд на конденсаторе C становится мал и выдержка времени действия лампы T_2 получается только благодаря увеличению падения напряжения на потенциометре P_1.

Принцип контроля числа оборотов мотора при помощи этого устройства заключается в комбинации вибрационного и реостатного регулятора. Мгновенное корректирование скорости в пределах приблизительно 1% достигается путем шунтирования контактами реле *I* сопротивления R_1, соединенного последовательно с обмоткой возбуждения мотора. Если петля бумаги остается в одном и том же положении в течение промежутка времени от 5 до 20 сек., то реле *II* или *III* остается замкнутым в течение 0,5 сек. и увеличивает или уменьшает ток возбуждения мотора приблизительно на 5÷10%. Одновременно при помощи тех же реле сопротивление в цепи возбуждения изменяется специальным моторчиком, и ток возбуждения мотора получает постоянную поправку, соответствующую новой средней скорости.

109. Регуляторы частоты. На рынке имеется большое число различных типов электромагнитных регуляторов, имеюших вполне удовлетворительные характеристики. Практически все регуляторы частоты являются регуляторами реостатного типа, и часто задача регулятора частоты сводится лишь к переградуировке регулятора скорости для поддержания средней частоты в узких пределах. Регуляторы частоты в большинстве случаев применяются на центральных электрических станциях для регулирования паровых и гидравлических турбин. В области промышленности регуляторы частоты могут применяться для регулирования мотор-генераторных установок, но примеров их использования для такого рода целей насчитывается сравнительно немного. Ограниченное применение в этой области объясняет, почему не было сделано серьезных попыток разработать регулятор частоты аста-

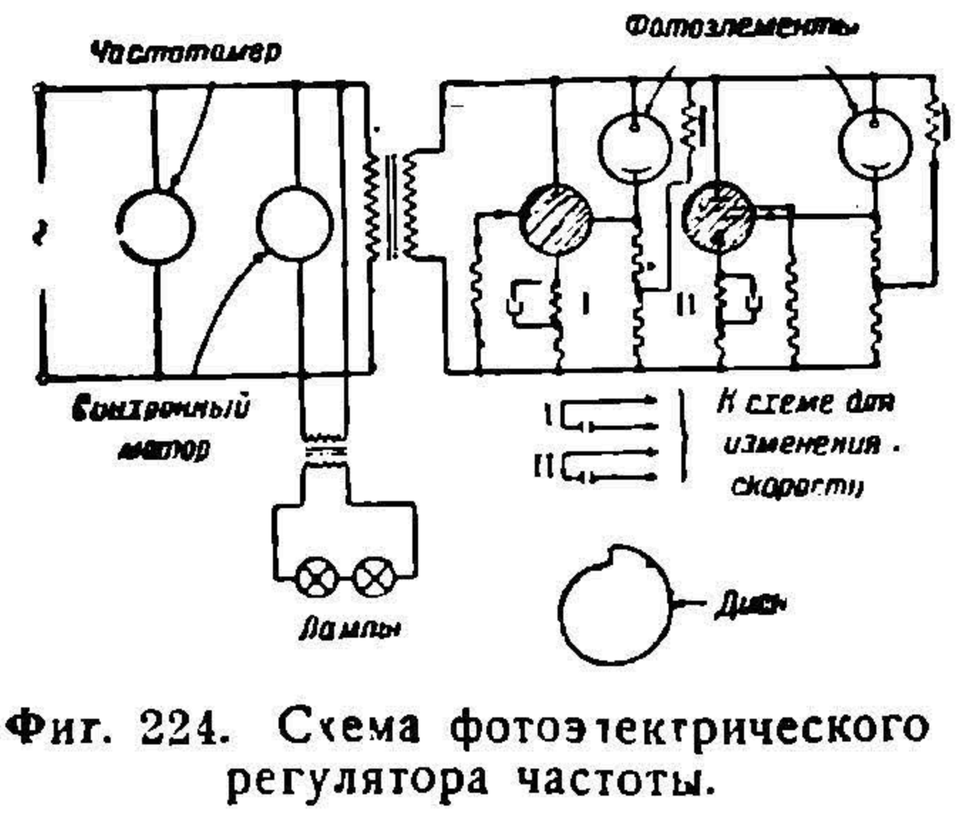
НБ УДУНТ (ДІІТ)

тического типа. Так как в настоящее время имеется необходимость только в регуляторах реостатного или статического типа, то электронным регуляторам частоты уделялось мало внимания. Но опыты с электронными регуляторами частоты производились во многих лабораториях. Имеется также много патентов, выданных на различные электронные способы регулирования частоты. В большинстве регуляторов частоты используются настроенные частотные контуры в различных комбинациях с электронными лампами.



Фиг. 223. Фотоэлектрический регулятор частоты.

На фиг. 223 изображен фотоэлектрический регулятор частоты, нашедший кое-какие применения. Этот прибор не является чисто электронным, поскольку наряду с фотоэлектрической схемой в нем применяется электромагнитный указательный прибор. Данный регулятор может быть использован не только для контроля частоты, поэтому его описание может представить собой значительный интерес, тем более, что он отличается некоторыми оригинальными конструктивными особенностями. Схема этого регулятора частоты приведена на фиг. 224. В качестве измерительного прибора используется прибор с резонансной схемой электродинамического типа. На оси подвижного элемента укреплено маленькое зеркальце. На зеркальце падают два пучка света и, отражаясь от него, попадают на два фотоэлемента. Когда стрелка прибора находится в центральном положении, то свет на фотоэлементы не падает. Однако при малейшем движении стрелки один из фотоэлементов освещается и заставляет зажечься тиратрон. Одновременно через промежуточное реле, находящееся в анодной цепи тиратрона, включается реле, управляющее мотором, служащим для изменения скорости. Вредные колебания в этом регуляторе уничтожаются при помощи вращающегося диска, который пересекает пучки света. Этот диск, показанный на фиг. 230, делает один оборот в 2 сек. Благодаря ему время освещения фотоэлемента может быть сделано пропорциональным отклонению прибора. Поэтому время воздействия на регулятор скорости приблизительно пропорционально ошибке в регулируемой частоте.



Фиг. 224. Схема фотоэлектрического регулятора частоты.

НЕБ УДУНТ (ДІІТ)

Литература

«Precise Speed Control for D-C. Machines», R. H. Frazier, J. Eisler and W. P. Frantz, Elec. Eng., Vol. 54, pp. 307—312.

Глава XVII

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ СКОРОСТИ ПОДАЧИ

Фотоэлектрический регулятор скорости подачи можно определить как устройство, служащее для согласования во времени периодических фотоэлектрических импульсов с определенными действиями, производимыми какой-нибудь электрической схемой или механическим приспособлением. Общая задача таких устройств заключается в регулировке скорости подачи бумаги или другого материала к вращающемуся или падающему резцу, который должен разрезать бумагу в точках, расположенных определенным образом по отношению к буквам или знакам, предварительно напечатанным на бумаге.

Регуляторы скорости подачи отличаются от описанных нами выше фотореле тем, что продолжительность воздействующего импульса чрезвычайно мала, доходя до $\frac{1}{5\,000}$ сек. и ниже. Это обстоятельство должно быть предусмотрено при составлении схемы. Очевидно, что фотореле, схема которого приведена на фиг. 82, не может быть использовано в тех случаях, когда продолжительность импульса меньше, чем время, необходимое для срабатывания реле, равное около $^1/_{10}$ сек. В случае чрезвычайно коротких фотоэлектрических импульсов необходимо располагать самоблокирующейся или мгновенно срабатывающей схемой, остающейся в замкнутом положении после прекращения действия импульса. Успешная работа этого вида схем обеспечивается применением тиратронов, работающих при постоянном анодном напряжении. Тиратрон срабатывает, если его сеточное напряжение сделается хотя бы на один момент более положительным, чем критическое значение, и продолжает проводить ток до тех пор, пока не будет разомкнута анодная цепь даже в том случае, если сетка опять приобретает высокий отрицательный потенциал. Фотоэлемент может управлять движением бумаги при помощи точек, напечатанных на бумаге и расположенных на определенном расстоянии от других имеющихся на бумаге надписей или знаков.

Для синхронизации движений резца и бумаги было разработано много различных механических приборов. В большинстве машин резец действует с постоянной скоростью, а скорость бумаги изменяется. Существует два радикально отличающихся друг от друга метода подачи бумаги: прерывистый и непрерывный. В случае прерывистой подачи бумага передвигается в течение некоторой части рабочего цикла и остается неподвижной в течение остальной его части, необходимой для разрезания бумаги. Положение бумаги (по отношению к резцу в момент резки) зависит от скорости подачи бумаги и времени, в течение которого бумага

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

движется. Положение бумаги можно контролировать, регулируя продолжительность действия механизма, подающего бумагу. Так как в течение части рабочего цикла бумага остается неподвижной, то вместо вращающегося резца можно пользоваться падающим резцом. Механизмы, служащие для прерывистой подачи бумаги, имеют тот недостаток, что во время каждого рабочего цикла бумага должна ускоряться от состояния покоя до максимальной скорости и затем опять замедляться до полной остановки. Это означает, что максимальная скорость бумаги в несколько раз превышает среднюю скорость. Это изменение скорости приводит к ошибкам в положении бумаги, так как скольжение, вызываемое трением, имеющим разные значения при различных скоростях, также не остается постоянным. Поэтому механизмы для прерывистой подачи обычно находят себе применение в установках, работающих при малых скоростях. В случае высоких скоростей (больше 30 m в минуту) применяются механизмы для непрерывной подачи бумаги.

В установках с непрерывной подачей бумаги используются два различных метода подачи. При одном методе бумага подается несколько быстрее чем нужно, благодаря чему знаки на бумаге стремятся опередить резец. Если знаки успевают передвинуться слишком далеко, то положение бумаги корректируется при помощи механизма, временно замедляющего ее движение. При этом методе контроля знаки то отстают несколько назад, то забегают немного вперед относительно правильного положения.

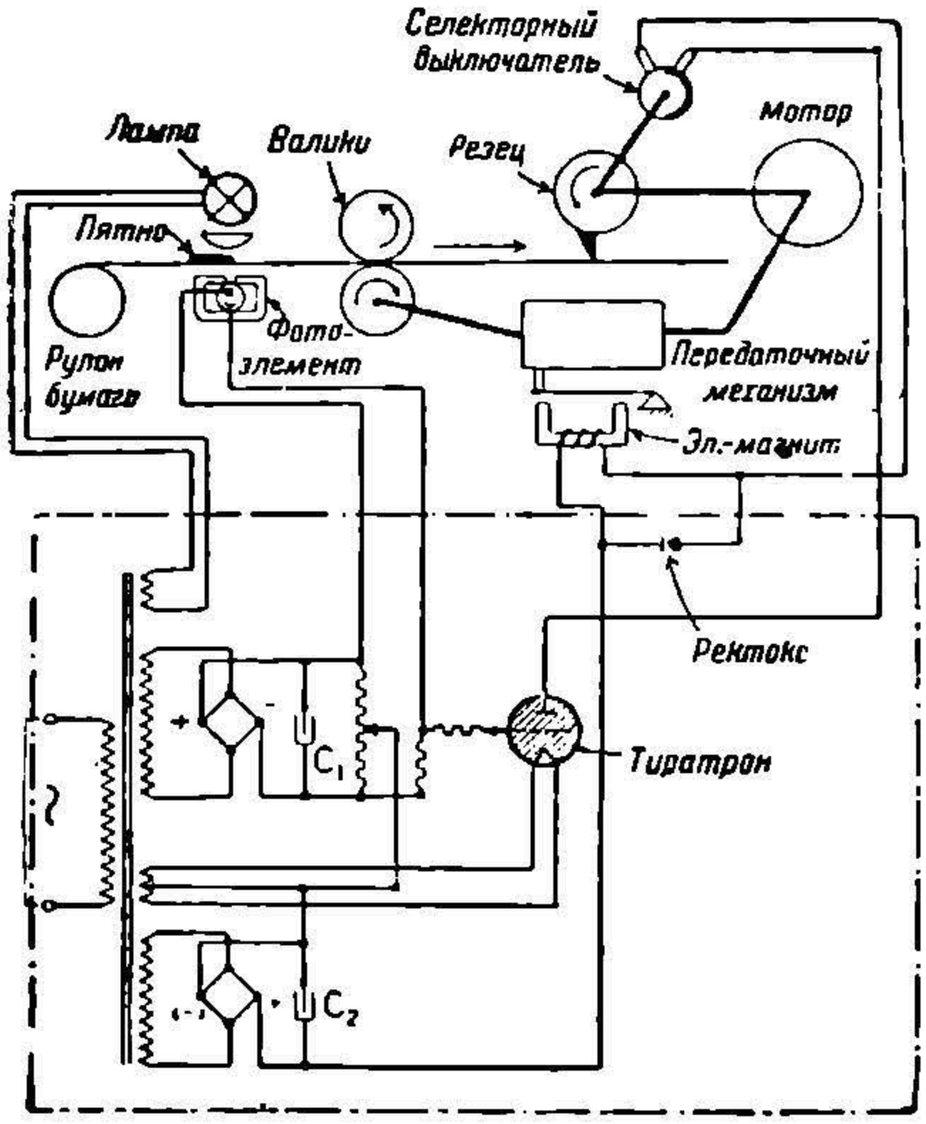
Если корректирующие действия малы и происходят часто, то амплитуда такого рода колебаний может быть уменьшена до значения, при котором бумага почти всегда будет находиться в нужном положении.

При другом методе контроля регулирование скорости подачи производится в двух направлениях. В случае этого метода скорость питающих валков регулируется при помощи привода и механического диференциала таким образом, чтобы знаки, нанесенные на бумаге, всегда двигались синхронно с резцом. Корректирующее действие не производится до тех пор, пока бумага находится в правильном положении относительно резца. Если бумага выходит из синхронизма, то благодаря наличию регулятора механический диференциал начинает изменять скорость движения бумаги в том или другом направлении до тех пор, пока знаки не окажутся опять в нужном положении. Этот метод регулирования скорости подачи может использоваться при наивысших скоростях и особенно удобен для упаковочных машин, часто работающих при скоростях порядка 120—150 m в минуту.

110. Регуляторы скорости подачи в одном направлении. Простейший самоблокирующийся автомат для регулирования скорости подачи приведен на фиг. 225. Автомат состоит из тиратрона, управляемого фотоэлементом. Переменные напряжения от двух обмоток трансформатора выпрямляются, и пульсации переменного тока в выпрямленном напряжении сглаживаются при помощи конденсаторов C_1 и C_2. Таким образом на сетку и анод

НБ УДУНТ (ДІІТ)

тиратрона в то время, когда он не проводит тока, подается постоянное напряжение. Фотоэлемент может быть присоединен так, как это показано на фиг. 225, причем в этом случае тиратрон зажигается, если количество света, падающее на фотоэлемент, увеличивается. Однако фотоэлемент можно присоединить и так, чтобы тиратрон зажигался при уменьшении количества света, падающего на фотоэлемент. Сеточный ток тиратронов обычно значительно выше, чем сеточный ток усилительных ламп. По этой причине в цепь сетки включается не очень большое сопротивление и применяется газонаполненный фотоэлемент. Принцип действия автомата для регулирования скорости подачи аналогичен принципу действия реле, схема которого приведена на фиг. 47. Схема настраивается таким образом, чтобы при нормальном освещении тиратрон не зажигался. Если освещенность начинает отклоняться от нормального значения, то тиратрон зажигается и заставляет сработать соленоид или реле, причем зажигание тиратрона происходит либо при возрастании освещенности либо при ее убывании, в зависимости от способа присоединения к схеме фотоэлемента. Тиратрон проводит ток до тех пор, пока анодная цепь не будет разорвана селекторным выключателем или каким-либо иным способом.



Фиг. 225. Самоблокирующийся регулятор скорости подачи. Пятно на бумаге и положение селекторного ключа соответствуют моменту непосредственно перед зажиганием тиратрона. Схема соединений фотоэлемента рассчитана на пятна более прозрачные, чем бумага, например, водяные знаки.

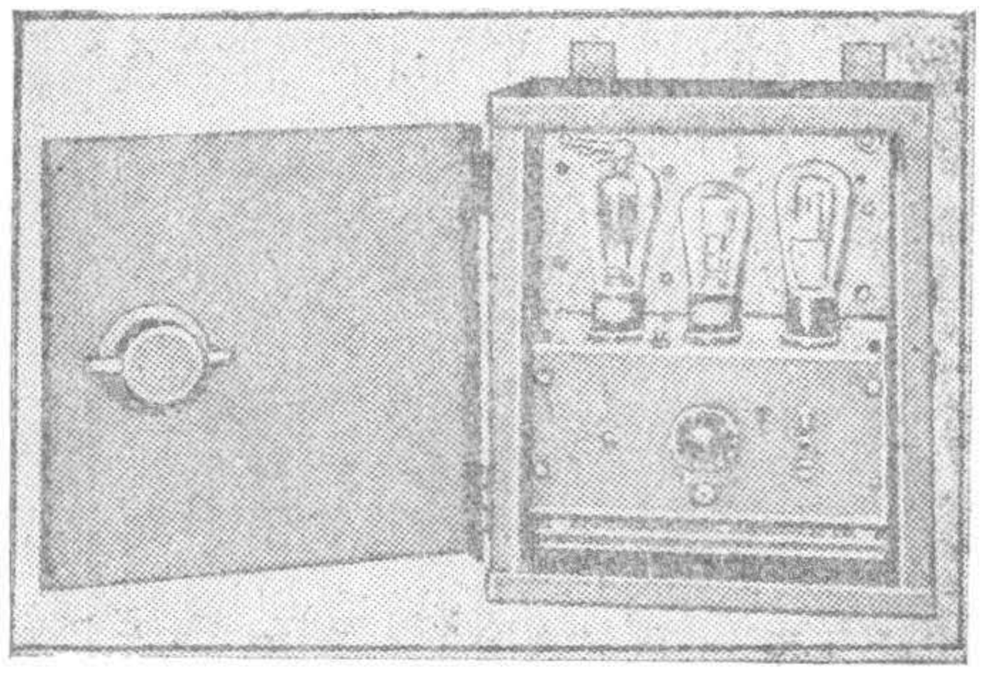
Этот автомат нашел себе широкое применение в промышленности не только для регулирования скорости подачи, но и для осмотра, сортировки и других операций контроля, требующих для своего завершения слишком коротких промежутков времени, чтобы можно было воспользоваться обычными фотореле переменного тока.

В тех случаях, когда регулятор скорости подачи применяется для резки, на бумагу или какой-либо другой материал наносится пятно, край которого фотоэлектрически синхронизуется с селекторным выключателем (фиг. 225). Селекторный выключатель механически соединен с вращающимся резцом, поэтому селекторный выключатель определяет положение резца. В нормальных условиях бумага подается с несколько большей, чем нужно скоростью, благодаря чему пятно, нанесенное на бумагу, в конце концов пересекает пучок света в тот момент, когда селекторный выключатель только начинает замыкаться. В результате тират-

НБ УДУНТ (ДІТ)

рон зажигается и включает электромагнит. Электромагнит остается включенным до тех пор пока цепь селекторного выключателя не будет прервана, и в течение всего этого времени уменьшает скорость подачи бумаги. Уменьшение скорости подачи производится передаточным механизмом, фрикционной муфтой или каким-нибудь другим механическим приспособлением, способным уменьшить скорость вращения валков, подащих бумаюгу к резцу. После того как скорость бумаги уменьшится, пятна на бумаге начнут отставать от резца до того момента, когда пятно на бумаге пересечет пучок света и цепь селекторного выключателя будет разорвана. Тиратрон потухнет, бумага начнет ускоряться, и цикл повторится снова. Очевидно, что данный регулятор всегда стремится изменить положение бумаги и не имеет „нейтральной зоны".

О чувствительности этого регулятора можно судить по тому, что изменение освещенности фотоэлемента пятном на бумаге на 20% оказывается достаточной для удовлетворительной работы регулятора. Это относится к свету, проходящему от источника света через движущийся материал. Регулятор особенно удобен для контроля прозрачных сортов бумаги и других материалов.



Фиг. 226. Регулятор скорости подачи с усилительной лампой.

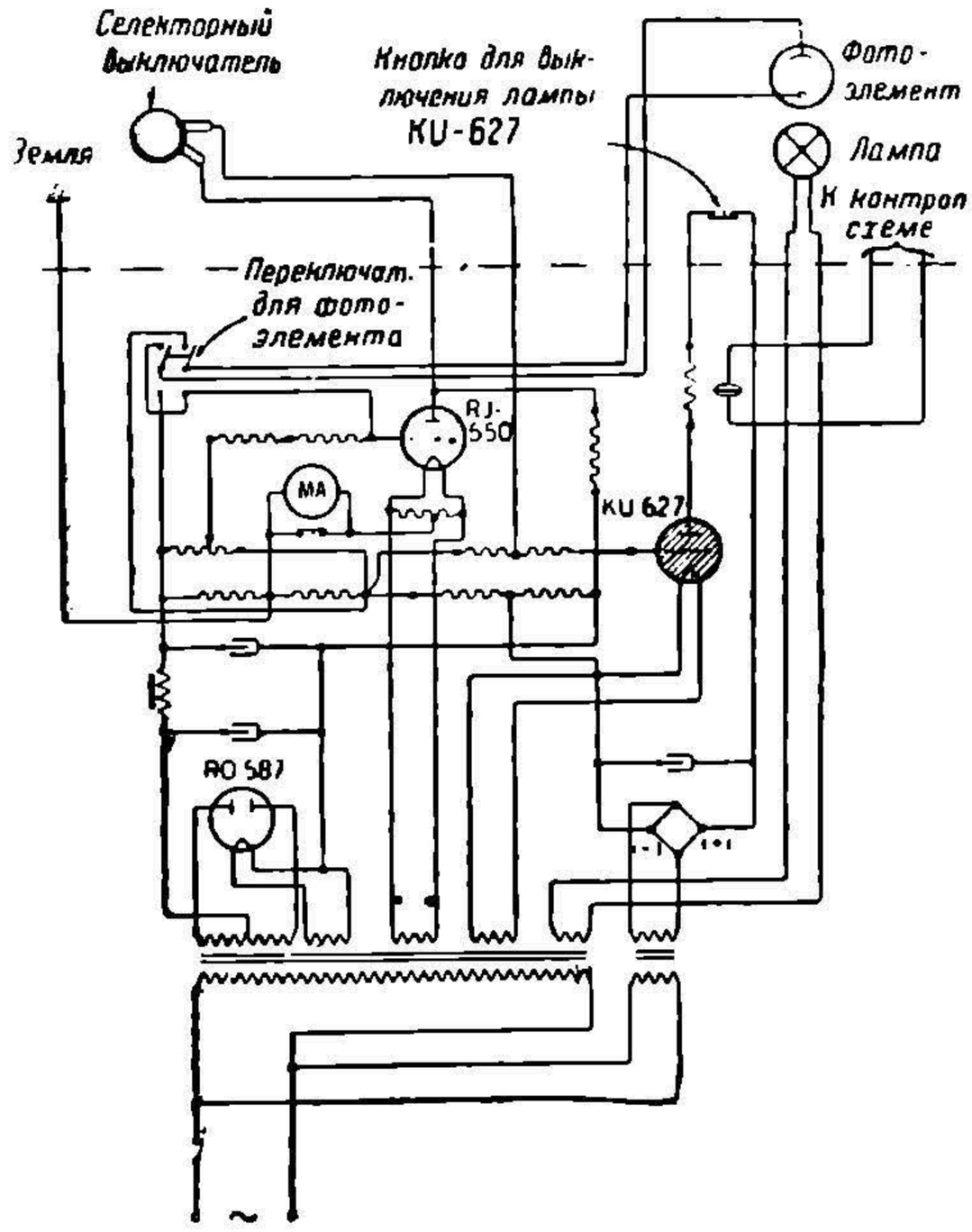
Если прозрачность бумаги меньше 40%, то работа от источника света, расположенного напротив фотоэлемента по другую сторону бумаги, становится затруднительной, так как в этом случае напечатать пятно, которое имело бы коэфициент прозрачности, на 20% отличающийся от коэфициента прозрачности бумаги, не так-то легко. Поэтому в применениях этого рода часто бывает удобнее пользоваться светом, отражаемым от бумаги и пятна. Регулятор, представленный на фиг. 225, в большинстве случаев имеет недостаточную чувствительность для работы от отраженного света. Вследствие этого было разработано более чувствительное устройство, общий вид и схема которого приведены на фиг. 226 и 227.

Этот более чувствительный регулятор снабжен дополнительной усилительной лампой, позволяющей работать от отраженного света, попадающего на фотоэлемент. Кроме того, благодаря применению усилительной лампы селекторный выключатель можно ввести в цепь сетки тиратрона (фиг. 227), что исключает необходимость применения селекторных выключателей, обладающих достаточной мощностью на контактах для разрыва анодного тока тиратрона.

Как это видно из фиг. 227, переключатель в цепи фотоэлемента служит для того, чтобы схема могла работать либо при

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

уменьшении, либо при увеличении интенсивности пучка света, падающего на фотоэлемент. Увеличения интенсивности можно достигнуть при помощи светлого пятна, а уменьшения — при помощи темного пятна. Во время движения бумаги сеточное смещение усилительной лампы становится более положительным в тот момент, когда пятно на бумаге пересекает пучок света. Увеличение отрицательного смещения вызывает уменьшение анодного тока усилительной лампы. Если этот ток падает ниже определенного значения, то смещение на сетке тиратрона (при условии, что селекторный выключатель замкнут) делается меньше критического значения и тиратрон зажигается.



Фиг. 227. Схема самоблокирующегося регулятора скорости подачи с усилительной лампой.

Описанный регулятор применяется для контроля различных процессов в тех случаях, когда контроль должен производиться в чрезвычайно короткий промежуток времени.

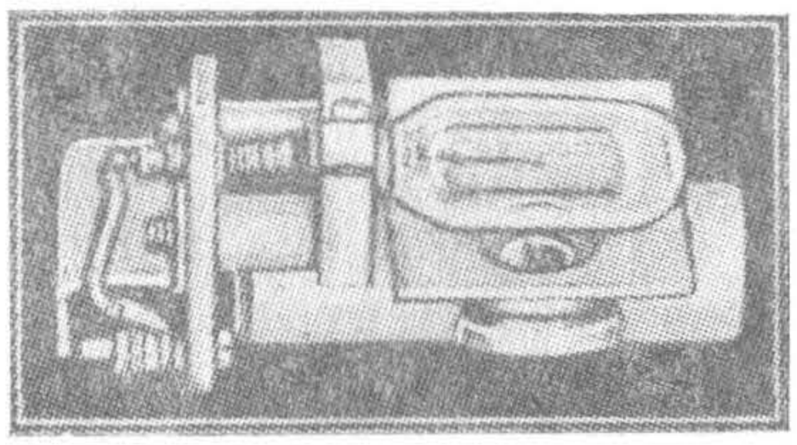
Селекторный выключатель применяется для того, чтобы фотоэлектрическое устройство могло работать только тогда, когда проверяемый материал неподвижен. Одно из применений этого устройства заключается в управлении машиной для наклейки ярлычков на пузырьки с лаком, применяемым для полировки ногтей. Пузырьки непрерывно подаются к машине со скоростью одного пузырька в секунду. Для каждого оттенка лака имеются соответствующие ярлычки определенного типа, доставляемые из типографии в пачках по 1000 шт. в каждой.

Несмотря на то, что ярлычки сортируются в типографии с большой тщательностью, все же иногда в пачках попадаются ярлычки других сортов. Это, конечно, крайне нежелательно, и изучение проблемы показало, что более экономично сортировать ярлычки на машине, которая их наклеивает на пузырьки, чем производить эту операцию в типографии. Устройство, внешний вид которого изображен на фиг. 226, применяется для этой цели вместе с специально сконструированным сканирующим приспособлением, состоящим из смонтированных вместе фотоэлемента и лампы (фиг. 228) для работы от отраженного света.

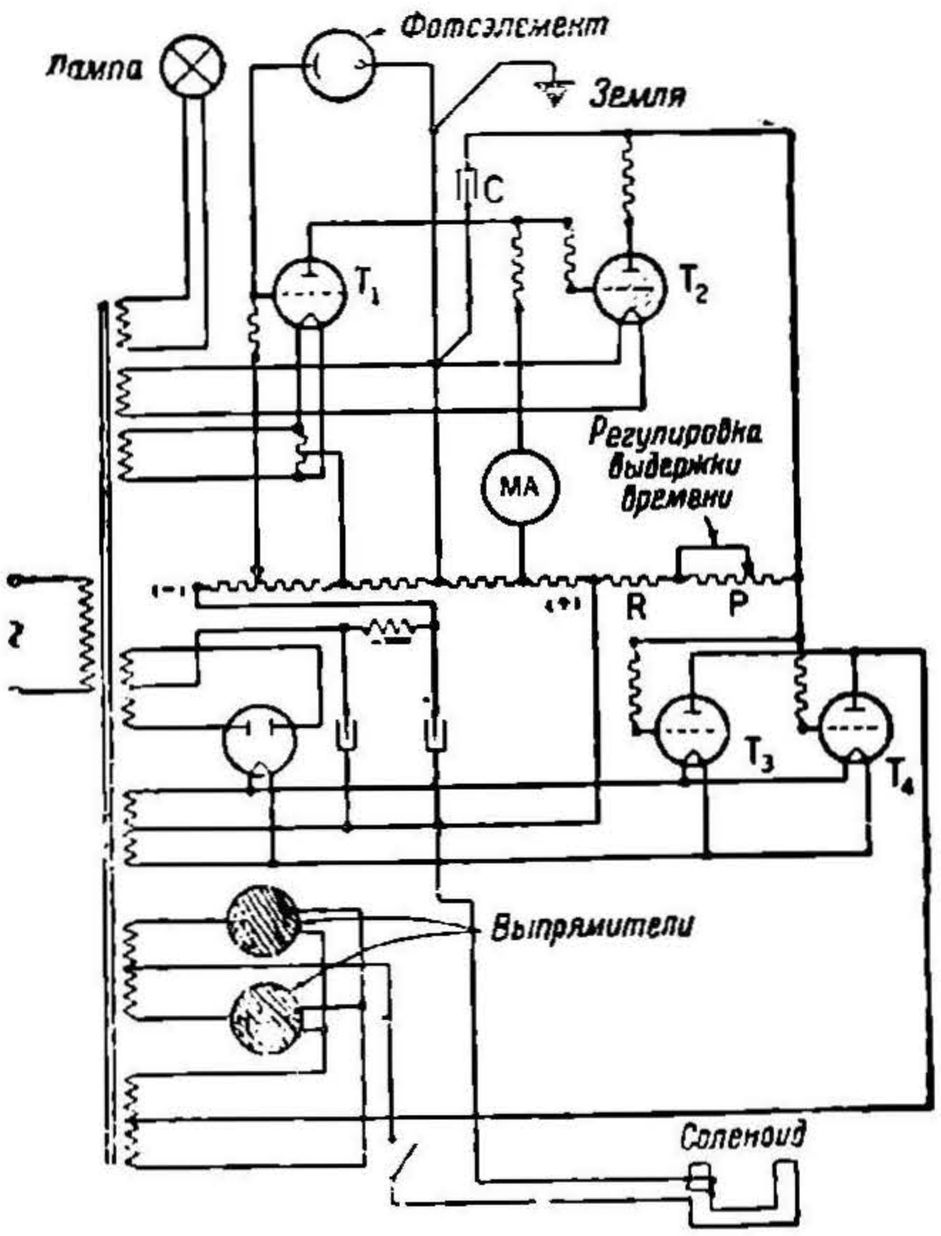
Во время процесса наклейки пузырьки подаются конвейером, движущимся толчками, и проходят мимо пачки ярлычков, которая

НБ УДУНТ (ДІІТ)

движется горизонтально по направлению к пузырьку в то время, когда он неподвижен. Пузырек предварительно покрывается в нужном месте клеем. Поэтому, когда магазин с ярлычками проходит мимо пузырька, то ярлычок вытаскивается из магазина и приклеивается к пузырьку. После того как магазин с ярлычками отодвинулся от пузырька, магазин остается неподвижным в течение 0,3 сек., пока готовый пузырек не будет заменен новым. Во время этих 0,3 сек. к магазину придвигается фотоэлектрическое сканирующее устройство, показанное на фиг. 228, служащее для проверки ярлычка, который должен быть приклеен к следующему пузырьку. Сбоку ярлычка напечатано черное пятно. Положение этого пятна различно для каждого из восьми сортов ярлычков, соответствующих восьми различным оттенкам лака. После того как фотоэлектрическое сканирующее устройство окажется в нужном для проверки ярлычка положении, на черное пятно, если в магазине находится правильный ярлычок, упадет пучок света, и автомат не сработает, так как свет от черного пятна не отразится на фотоэлемент. Если ярлычок перевернут или если в магазине находится ярлычок другого сорта, то световой пучок упадет на белую часть ярлычка и часть света отразится на фотоэлемент. В результате фотоэлектрический автомат сработает и дает сигнал рабочему, который осмотрит пузырьки и снимет пузырек с неправильно наклеенным ярлычком.



Фиг. 228. Фотоэлектрическое сканирующее устройство.



Фиг. 229. Схема регулятора скорости подачи с выдержкой времени.

На фиг. 229 показан фотоэлектрический автомат, который прерывает на определенный промежуток времени после мгновенного уменьшения количества света, падающего на фотоэлемент, постоянный ток, протекающий через электромагнит или соленоид.

Этот автомат особенно удобен для прерывистой подачи бумаги, когда пятно, нанесенное на бумагу, должно разъединять привод и питающие валки и останавливать бумагу в нужном месте для ее резки. Отличительная черта этого автомата заключается в том, что он не нуждается в механических прерывателях тока. Выключение катушки элек-

НБ УДУНТ (ДІТ)

тромагнита и выдержка времени производятся чисто электронным способом. Благодаря отсутствию механических частей автомат характеризуется быстродействием, соединенным с надежностью и долговечностью.

Как это видно из фиг. 229, фотоэлемент воздействует на сеточное напряжение усилительной лампы T_1 таким образом, что при уменьшении интенсивности света, падающего на фотоэлемент, сеточное напряжение лампы T_1 делается более отрицательным. Поэтому в тот момент, когда темное пятно на бумаге прерывает проходящий через нее или отражаемый ею пучок света, падающий на фотоэлемент, анодный ток лампы T_1 уменьшается. Лампа T_1 управляет сеточным напряжением тиратрона T_2, причем тиратрон зажигается, если анодный ток лампы уменьшается.

Напряжение, снимаемое с потенциометра P и сопротивления R, соединенных последовательно с тиратроном T_2, подается на сетки мощных усилительных ламп T_3 и T_4.

До зажигания тиратрона T_2 напряжение на R и P равно нулю, и анодный ток ламп T_3 и T_4, а следовательно, и ток в электромагните имеют максимум. Когда тиратрон T_2 зажигается, шунтирующий его конденсатор C разряжается до тех пор, пока напряжение на нем не сделается равным около 15 V, т. е. падению напряжения на дуге тиратрона. В этот момент разрядный ток прерывается, и конденсатор C начинает заряжаться через R и P. В момент зажигания тиратрона T_2 к сеткам ламп T_3 и T_4 прикладывается высокое отрицательное смещение, и ток в электромагните делается равным нулю. По мере зарядки конденсатора напряжение на сетках ламп T_3 и T_4 делается менее отрицательным, и через определенный промежуток времени, зависящий от настройки потенциометра P, ток в электромагните опять достигнет максимального значения.

111. Фотоэлектрические регуляторы для контроля подачи в двух направлениях. Фотоэлектрические регуляторы для контроля подачи в двух направлениях впервые были применены для упаковочных машин (bag machine), работающих при сравнительно небольшой скорости, равной 30—60 m в минуту. На белой бумаге, подаваемой к машине, предварительно наносятся черные или темносиние пятна. Во многих случаях фотоэлектрические регуляторы должны приводиться в действие не только черными или темносиними пятнами, но и пятнами любого из тех цветов, которые могут встретиться на практике.

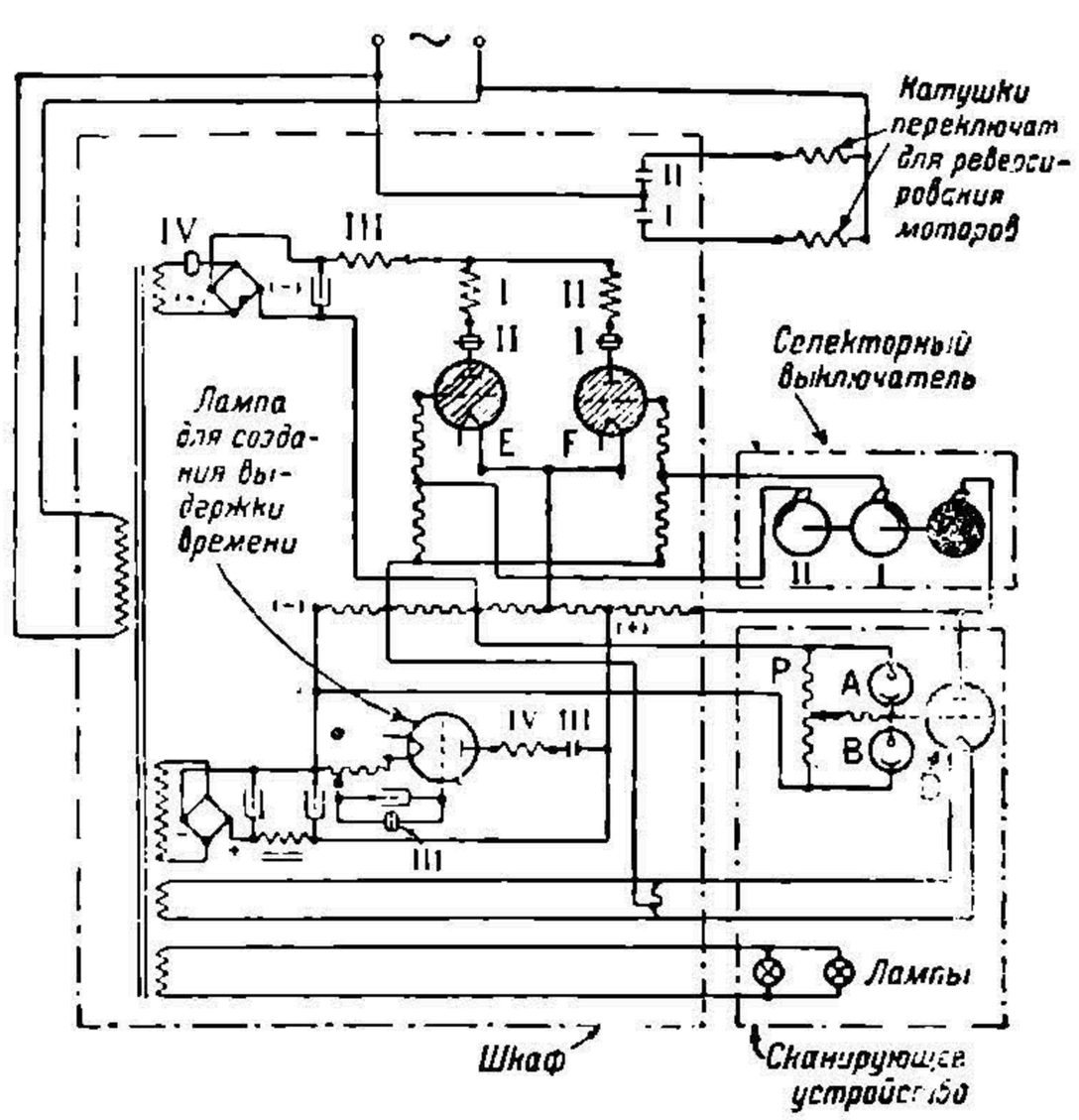
Регуляторы должны работать при скоростях до 300 m в минуту и не зависеть от колебаний напряжения в линии.

Основное условие для успешной работы фотоэлектрического регулятора для контроля скорости подачи в двух направлениях заключается в том, чтобы регулировалась не скорость бумаги, а „положение“ отпечатанного знака по отношению к резцу. „Контроль положения“ обычно осуществляется при помощи механического диференциала, включенного между питающими валками и резцом. Воздействуя на неподвижную часть этого механического диференциала, можно временно увеличивать или умень-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

шать скорость вращения валков и, таким образом, изменять положение знаков относительно резца. Скорость бумаги в случае применения этой схемы остается постоянной до тех пор, пока фотоэлектрическое устройство не подаст сигнала о том, что знаки начали смещаться по отношению к своему нормальному положению. Как только это случится, механический диференциал начнет ускорять или замедлять бумагу в зависимости от того, опережает или отстает резец от требуемого положения

Многие машины для резки бумаги снабжаются передачей между резцом и питающими валками, позволяющей изменять скорость вращения последних. Эти устройства для изменения скорости обычно действуют вполне удовлетворительно при ручном способе контроля, но оказываются неподходящими для автоматического контроля резки бумаги, так как они приводят к значительным колебаниям скорости. Если контроль положения знаков производится при помощи механического диференциала, то корректируется лишь некоторая часть ошибки в скорости движения бумаги, определяемая передаточным числом диференциала.



Фиг. 230. Схема компенсационного регулятора для контроля скорости подачи в двух направлениях.

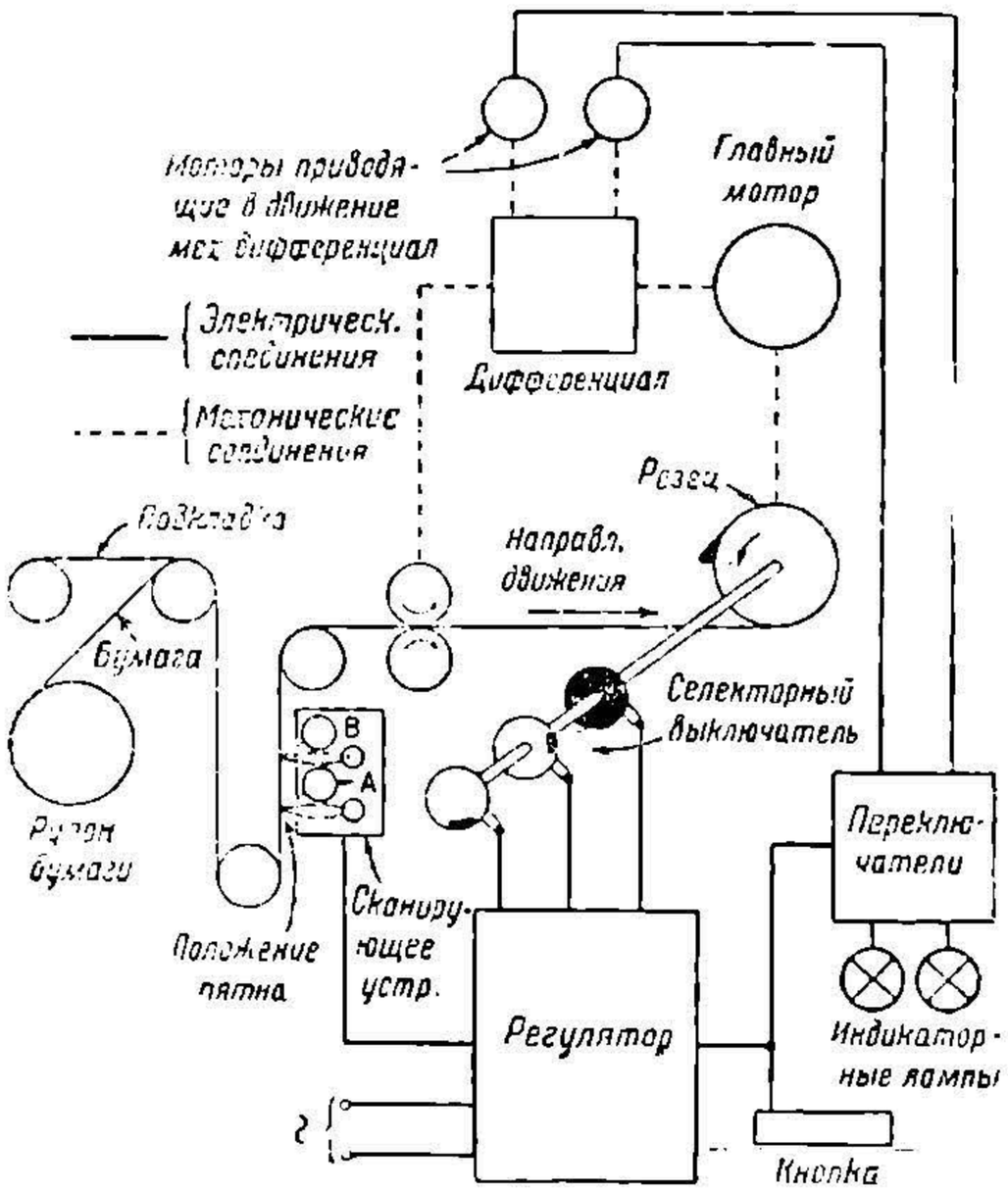
Если колебания скорости бумаги превышают эту корректирующую часть благодаря изменению скольжения между питающими валками и бумагой, то, для того чтобы сохранять скорость внутри контролируемых пределов, необходимо изменять либо натяжение бумаги, либо отношение скорости вращающегося резца и скорости питающих валков. Если остановиться на контроле отношения скоростей при помощи переменной скоростной передачи, то в том случае, когда скольжение и натяжение приблизительно постоянны, удобно управлять этой передачей ручным способом.

Если же благодаря изменяющемуся скольжению отношение скоростей должно изменяться очень часто, то контроль скорости гораздо более удобно производить при помощи фотоэлектрического устройства, одновременно воздействующего на механический диференциал и изменяющего отношение скоростей.

Схема фотоэлектрического регулятора для контроля скорости подачи в двух направлениях приведена на фиг. 230. Каждый раз, когда черное пятно пересекает пучок света, отражаемый на фотоэлемент *A*, количество света, падающее на фотоэлемент, уменьшается. Это вызывает уменьшение фототока. Количество света,

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

падающего на фотоэлемент B, сохраняется постоянным. Изменения фототока усиливаются лампой D, и напряжение на выходе этой лампы подается на сетку одного из тиратронов E или F при помощи селекторного выключателя, связанного с резцом. Если знаки на бумаге находятся в правильном положении по отношению к резцу, то в момент перерыва пучка света селекторный выключатель находится в положении, показанном на фиг. 236, и так как обе цепи, включаемые селектором, разомкнуты, то никакого регулирующего действия не производится. Если знаки запаздывают по отношению к резцу, то при прерывании пучка света пятном селектор замыкает цепь, соединенную с сеткой тиратрона F, и тиратрон F зажигается. Тиратрон F замыкает переключатель, включающий мотор, который приводит в движение механический дифференциал, связанный с приводом валков (фиг. 231). Во время работы мотора скорость бумаги повышается, и пятно и знаки на бумаге ускоряются по отношению к резцу. Если пятно и знаки передвинутся больше, чем нужно, по отношению к резцу, то зажжется тиратрон E и заставит механический диференциал временно уменьшить скорость бумаги и, таким образом, передвинуть назад пятно и знаки по отношению к резцу.



Фиг. 231. Схема регулятора для контроля скорости подачи в двух направлениях.

Фотоэлектрические регуляторы скорости подачи, схема которых дана на фиг. 227, сильно зависят от колебаний напряжения и изменений цвета и отделки бумаги, так как ток на выходе усилительной лампы всецело зависит от абсолютного значения освещенности фотоэлемента, а не только от различия в коэфициентах отражения самой бумаги и напечатанного на ней пятна.

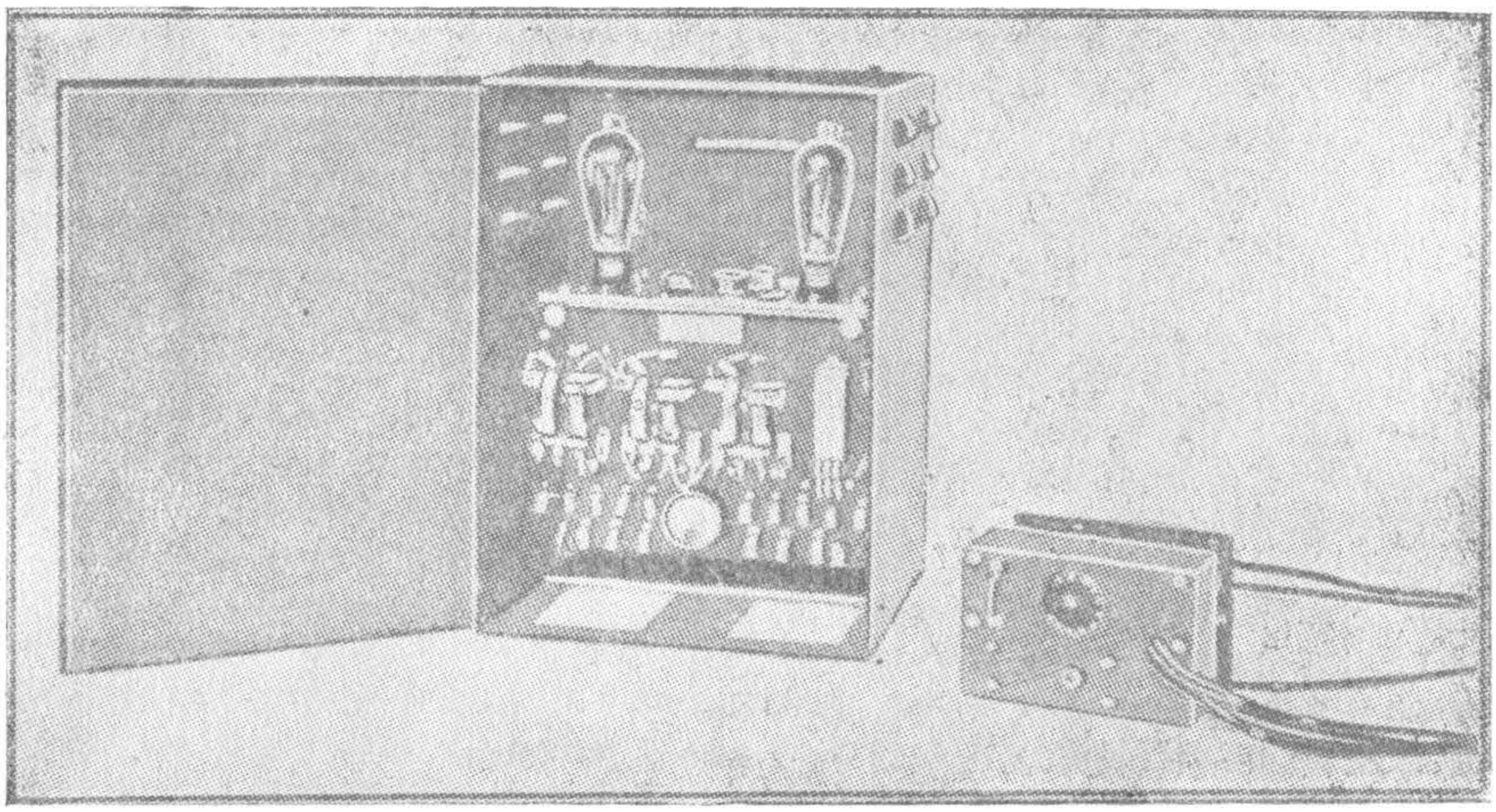
Фотоэлектрический компенсатор регулятора скорости подачи состоит из двух фотоэлементов A и B, двух ламп, оптической системы, усилительной лампы D и потенциометра P для регулировки сеточного смещения (фиг. 230 и 231). При уменьшении переменного напряжения в линии освещенность бумаги уменьшается.

В случае одного фотоэлемента получающийся при этом эффект аналогичен тому, как если бы пучок света был прерван пятном, находящимся на бумаге. В случае применения двух фотоэлементов количество света, падающее на оба фотоэлемента, уменьшается на одну и ту же величину, и мостиковая схема, содержа-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

щая фотоэлементы, остается уравновешанной, благодаря чему ток на выходе усилительной лампы *D* остается практически постоянным. Эти же рассуждения применимы и к тому случаю, когда изменяется цвет или отделка бумаги.

На фиг. 231 изображено положение пятна в тот момент, когда на него падает пучок света, отражающийся на фотоэлемент *A* (фиг. 230 и 231). Уменьшение количества света, падающего на этот фотоэлемент, вызывает уменьшение анодного тока усилительной лампы. При дальнейшем движении бумаги пятно уменьшает количество света, отражаемое на фотоэлемент *B*, но так как это приводит к увеличению анодного тока усилительной лампы, то очевидно, что фотоэлемент не вызывает никакого кор-



Фиг. 232. Регулятор для контроля скорости подачи в двух направлениях (слева) с компенсационным сканирующим устройством (справа).

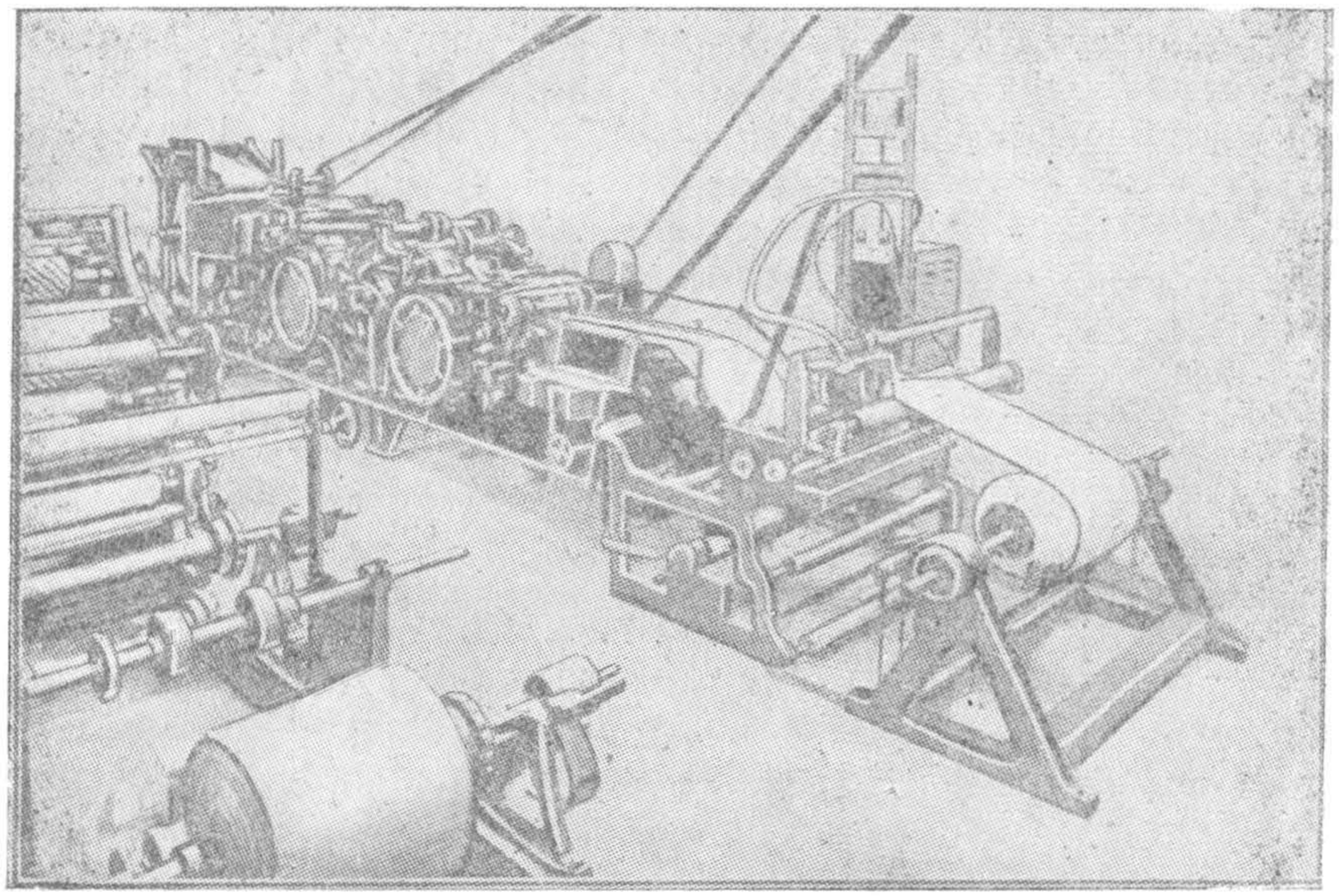
ректирующего действия, а служит лишь компенсатором. Благодаря этому компенсирующему действию фотоэлектрическое устройство, отрегулированное на белую бумагу, не теряет регулировки и в случае замены белой бумаги коричневой. Несмотря на то, что время, необходимое для настройки одного фотоэлектрического регулятора скорости подачи, не превышает нескольких минут, все же желательно, чтобы внимание рабочего, следящего за работой машины, часто не отвлекалось необходимостью настраивать электронный регулятор.

Вследствие компенсирующего действия схемы, состоящей из двух фотоэлементов, и вследствие того, что усилительная лампа смонтирована вблизи от фотоэлементов, устройство не имеет запаздывания, вызываемого емкостью длинных подводящих проводов, идущих к фотоэлементам. Поэтому регулятор может регулировать движение бумаги в случае светлоголубых, светлозеленых или темнокрасных пятен при скоростях до 150 m в минуту, а в случае темных пятен — при скоростях до 300 m в се-

РБ УДУНТ (ДІІТ)

кунду. Так как ширина пятна в направлении движения бумаги не превышает 4 mm, то продолжительность светового импульса при скорости бумаги, равной 300 m в минуту, равна 0,0008 сек.

Опыт эксплоатации фотоэлектрических регуляторов скорости подачи на различных типах машин показывает, что они способствуют значительному уменьшению брака (wastage). Принимая, что средний процент брака при ручном управлении равен 8%,



Фиг. 233. Регулятор скорости подачи (см. фиг. 232), установленый на Potdevin.

будет вполне реальным считать, что автоматическое регулирование снижает брак до 4%. Кроме того, особенно в старых типах машин, фотоэлектрические регуляторы позволяют увеличить рабочую скорость машины, благодаря чему помимо уменьшения брака достигается еще и увеличение производительности.

Поэтому для большинства применений фотоэлектрические регуляторы скорости подачи экономически себя полностью оправдывают.

Литература

«Application of Electron Tubes in Industry», D. E. Chambers, Elec. Eng., Vol. 54, pp. 82—92.

«Industrial Electronic Control Applications», F. H. Gulliksen and R. N. Stoddard, Elec. Eng., Vol. 54, pp. 40—49.

«Photoelectric Control on Packaging Machines», E. Lovell Smith, Electronics, November, 1933.

«Photoelectric Control in the Printing Arts», Electronics, November, 1932, pp. 334—335.

«How Photo-Electric Controls are Applied», Product Engineering, Vol. 4, pp. 345—347, 380—382, 1933.

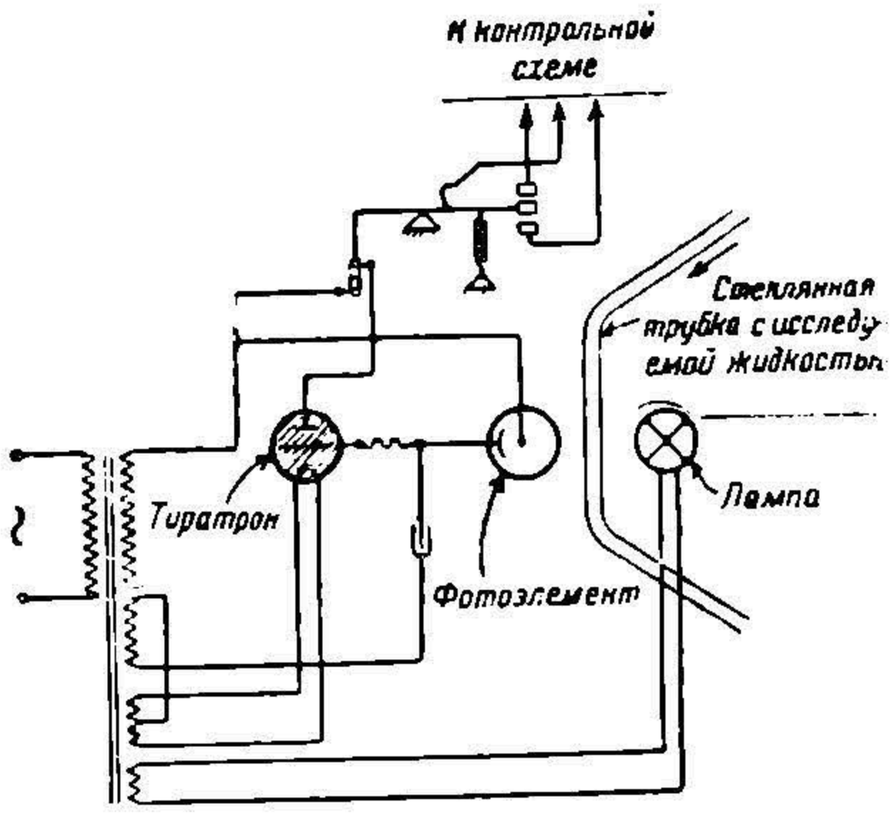
НБ УДУНТ (ДІІТ)

Глава XVIII

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ

Различные отрасли химической промышленности открывают чрезвычайно широкие возможности для использования фотоэлементов. Фотоэлемент обладает двумя свойствами, которые особенно необходимы для контроля большинства химических процессов, а именно: свойством быстро производить анализ и свойством быстро воздействовать на ход процесса. Изменения в степени обесцвечивания растительного масла, поступающего из фильтрирующего пресса, в мутности воды, в коэфициенте преломления продуктов перегонки нефти, в оптическом вращении плоскости поляризации сахарного раствора и в других оптических свойствах, используемых в настоящее время в повседневном анализе и контроле процессов, могут быть измерены фотоэлектрическим путем в производственных условиях. Будучи невесомым и бесфрикционным, пучок света, кроме того, не ржавеет и не растворяется.

112. Цветометрические регуляторы. Для контроля процессов было предложено несколько различных цветометрических схем. Можно пользоваться тремя основными схемами. Простейшая из них состоит из фотоэлемента, источника света и усилителя, управляющего балансным реле (фиг. 234). Одна пара контактов реле замыкается, если цвет исследуемого материала слишком темен, а другая пара контактов замыкается, если цвет материала слишком светел. Эта схема чрезвычайно проста, но не очень точна, так как ее показания зависят от изменения напряжения в линии и изменения параметров фотоэлемента и усилительной лампы.



Фиг. 234. Схема простого регулятора концентрации.

При конструировании оборудования для контроля процессов в зависимости от цвета значительное внимание должно быть уделено вопросу надежности при любых рабочих условиях. Причина этого заключается в том, что в этой области применения работа регулятора не может быть проверена простыми указательными или регистрирующими приборами, если настройка регулятора изменится во время работы, то это может привести к порче значительных количеств обрабатываемого материала, прежде чем ошибка будет замечена. Поэтому таким образом основное требование, предъявляемое к регулятору процессов, заключается в том, чтобы для его градуировки не требовалось никаких дополнительных приборов. Это требование может быть удовлетворено при помощи компенсационных схем, в которых цвет обрабатываемого материала сравнивается с цветом стандарт-

НТБ УГНТ (ДИТ)

ного образца. Следующее по важности условие для успешной работы регулятора состоит в том, чтобы он не зависел от колебаний напряжения источника тока.

На фиг. 235 показана схема, предложенная Альфрэндом [1], удовлетворяющая указанным основным требованиям. Схема была разработана для регулирования содержания водородных ионов в флотационной жидкости при помощи изменения скорости конвейера, подающего известь, и поддерживания постоянства этой скорости в промежутках между корректирующими импульсами, получаемыми от фотоэлементов. Механическое оборудование, служащее для опробования фильтрации, а также вопросы, касающиеся указательных приборов и расположения фотоэлемента, нами не затрагиваются, так как все это зависит от рода применения.

Схема, изображенная на фиг. 241, требует лишь очень незначительных изменений, для того чтобы ее можно было применять для воздействия на электромагниты или моторы, передвигающие клапаны или посредством реостатов, приводимых в движение моторами или другими устройствами, применяемыми для процессного регулирования твердых тел, жидкостей и газов.

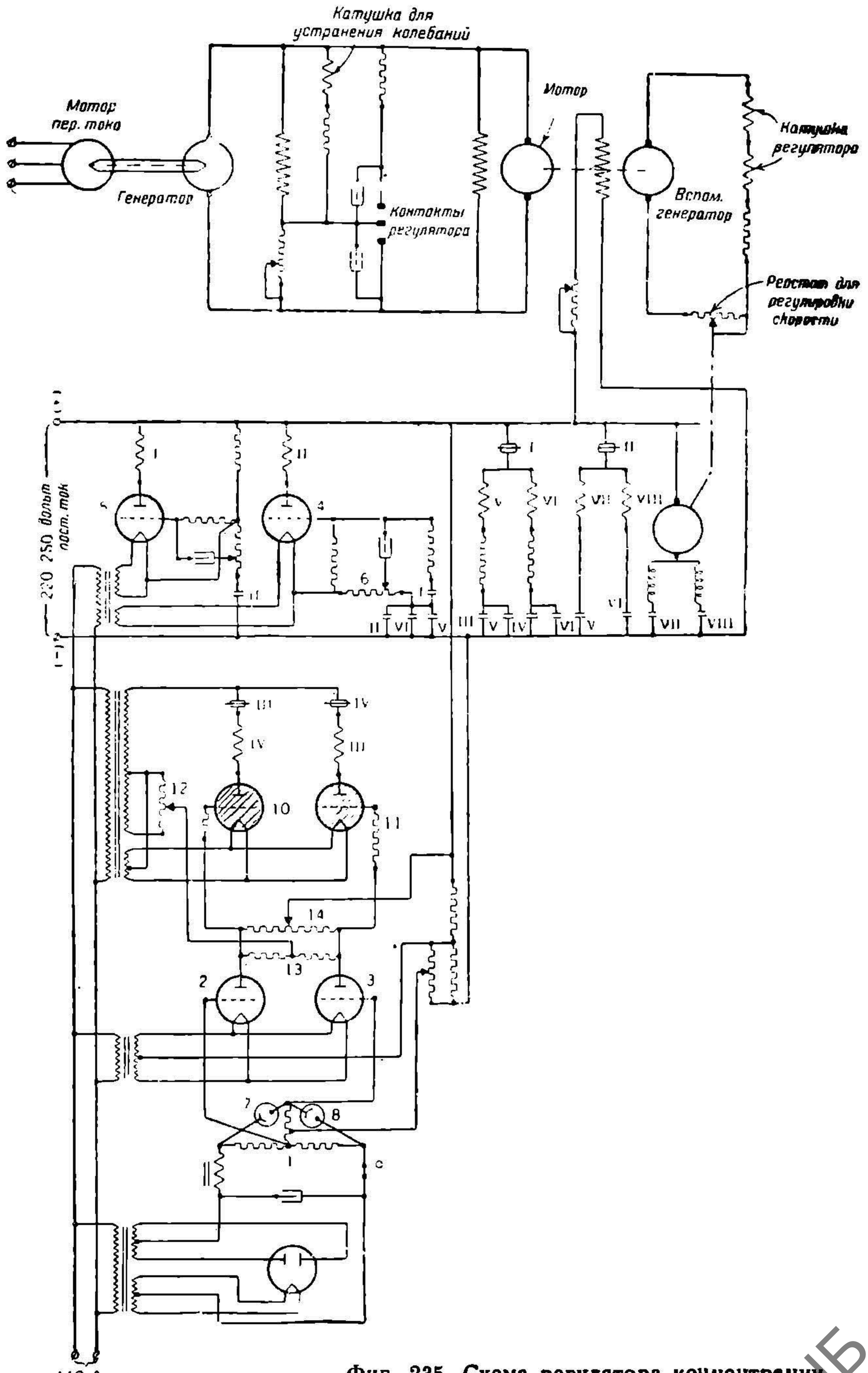
Вкратце принцип действия заключается в следующем:

Два фотоэлемента включены в два плеча мостика Витстона, питаемого постоянным током от выпрямителя. Два остальных плеча мостика состоят из потенциометра *7*. Оба фотоэлемента освещаются одним и тем же источником света, не показанным на фигуре. Перед одним из фотоэлементов помещается в стеклянной трубке образец, имеющий стандартную окраску, а мимо другого фотоэлемента через такую же стеклянную трубку пропускается исследуемая жидкость. Ясно, что изменения интенсивности света, вызванные колебаниями напряжения в линии, не могут оказать никакого эффекта на равновесие мостика. Если щелочность жидкости изменяется, то мостик выходит из равновесия и напряжение на сетке лампы *2* делается отличным от напряжения на сетке лампы *3*. В результате этого небаланса сетка одного из тиратронов *10* или *11* становится более отрицательной, а сетка другого — менее отрицательной. Благодаря уменьшению отрицательного смещения тиратрон срабатывает и включает, скажем, реле *III*, которое замыкает свои контакты.

После срабатывания реле *III* включается реле *V*, которое блокируется, и на лампу *4*, представляющую собой вместе с реле *II* реле времени, подается напряжение. Промежуток времени между моментами включения реле *V* и реле *II* может регулироваться в пределах до одной минуты в зависимости от настройки потенциометра *6*. Реле *V* включает реле *VII*, а реле *VII* включает мотор. Мотор передвигает движок реостата и изменяет число оборотов мотора, приводящего в движение конвейер. Реле *VII* остается замкнутым до тех пор, пока не включится реле *II*, так как размыкающие контакты реле *II* соединены последователь-

[1] AIEE Trans., Vol. 52, pp. 512—515

НБ УДУНТ (ДІІТ)

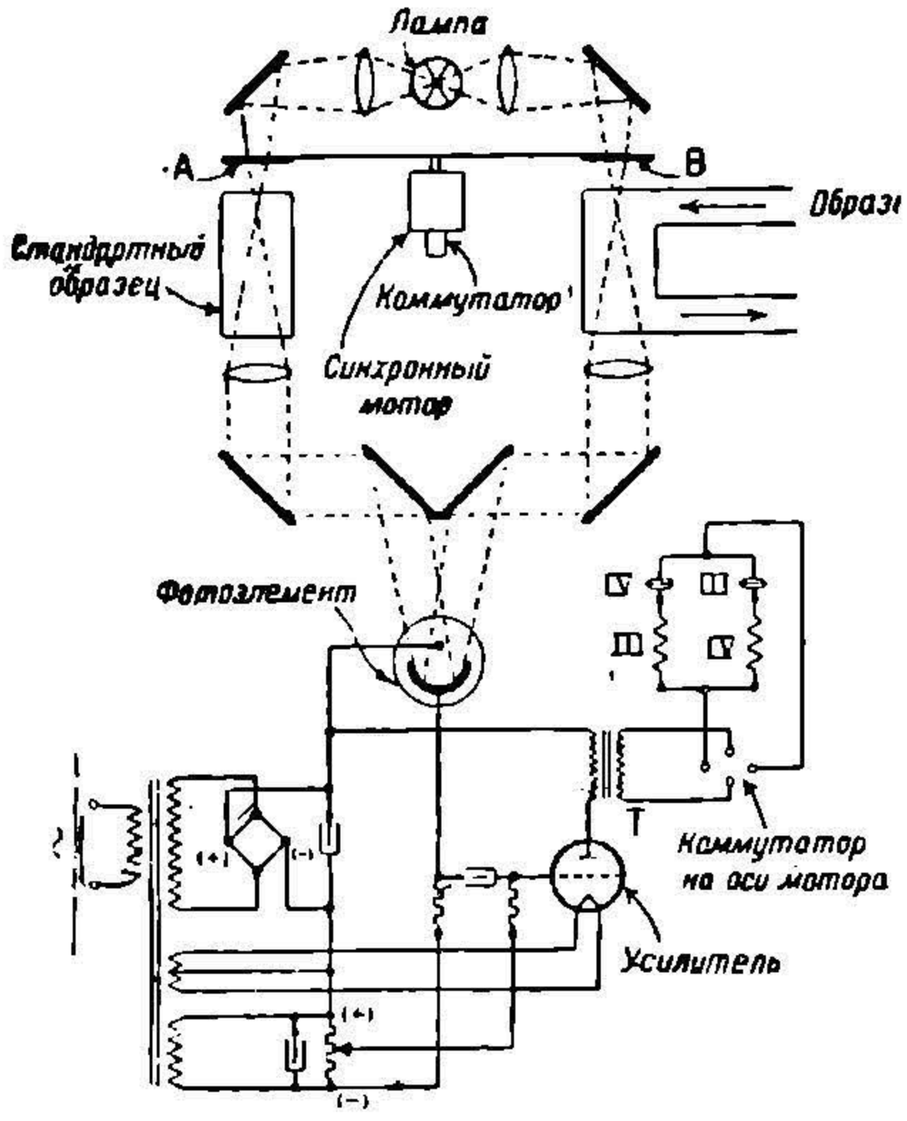


Фиг. 235. Схема регулятора концентрации.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

но с катушкой реле *VII*. Во время этого промежутка времени скорость мотора изменяется.

После того как первая поправка произведена, необходимо, чтобы каждая последующая поправка производилась уже после того, как фотоэлементы почувствуют эффект первой поправки. По этой причине схема снабжена вторым реле времени, дающим выдержку времени до 5 мин. Это второе реле времени включено в схему таким образом, что в течение выдержки времени движок реостата остается неподвижным. Реле времени состоит из реле *I*, лампы *5* и вспомогательных деталей. Реле вводится в действие при включении реле *II*. После срабатывания реле *I* реле *V* выключается, и устройство оказывается готовым для выполнения следующей поправки.



Фиг. 236. Цветометрический регулятор, основанный на нулевом методе.

Если перед фотоэлементом *8* располагается стандартный образец, то переградуировка регулятора производится либо заменой одного стандартного образца другим, либо изменением положения движка потенциометра *1*. При градуировке выключается рубильник *9* и к сопротивлению *13* присоединяется вольтметр с большим входным сопротивлением. Затем потенциометр *14* регулируется до тех пор, пока показание вольтметра не сделается равным нулю. Чувствительность регулятора можно изменять при помощи потенциометра *12*, служащего для изменения отрицательного смещения, подаваемого на сетки тиратронов.

Если нельзя полагаться на то, что мотор, приводящий в движение конвейер, сможет поддерживать скорость, указываемую регулятором, то в схему необходимо ввести регулятор скорости, управляемый электронным регулятором (фиг. 235).

На фиг. 236 дана схема с фотоэлементом, основанная на нулевом методе. Этой схемой можно пользоваться вместо компенсационной схемы, приведенной на фиг. 235. Для цветометрического регулятора можно воспользоваться как схемой, изображенной на фиг. 235, так и схемой, изображенной на фиг. 236, присоединив к последней при помощи реле *III* и *IV* верхнюю часть схемы на фиг 235, состоящую из двух реле времени и регулятора скорости.

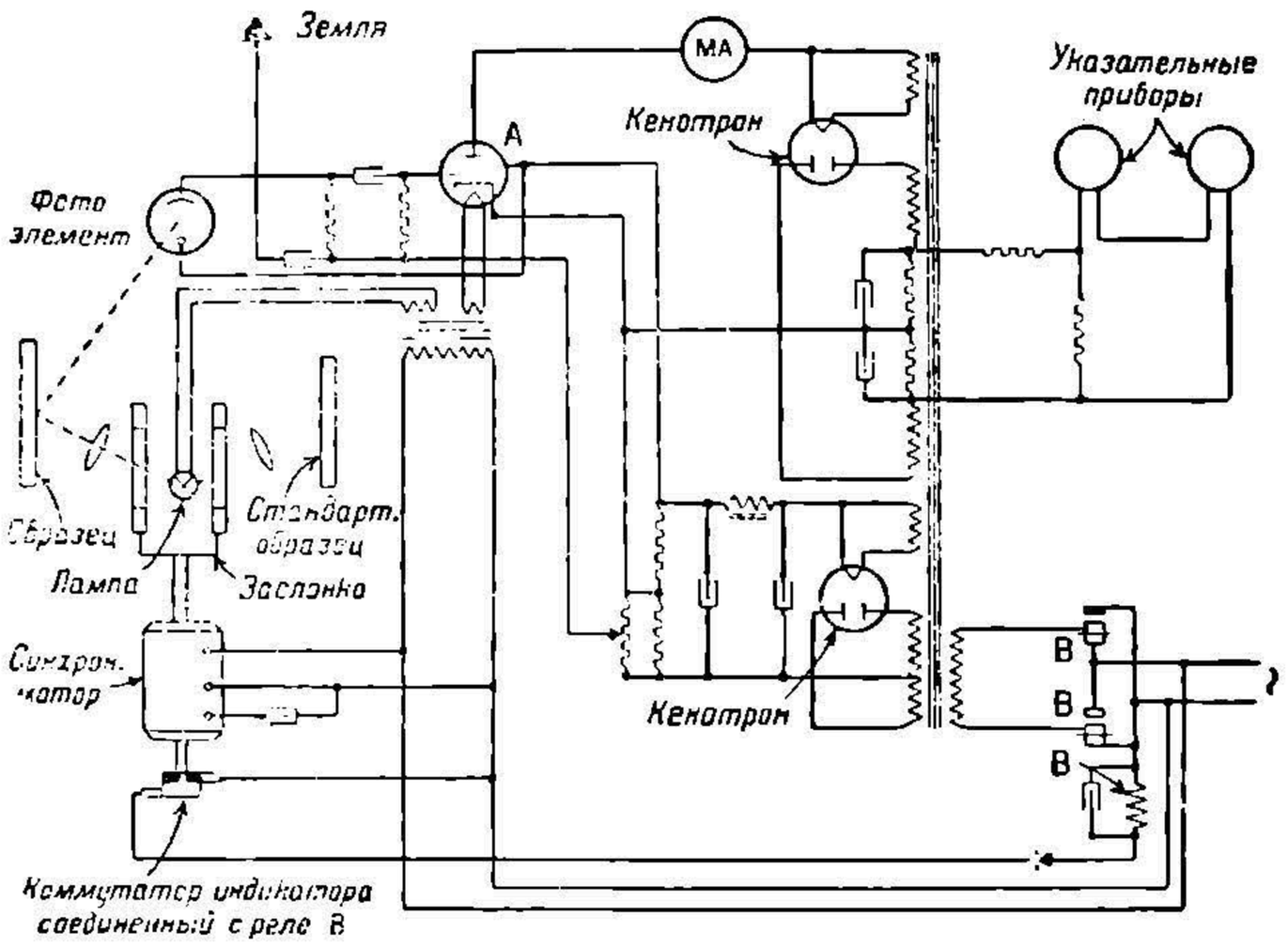
Регулятор, основанный на нулевом методе, работает по следующему принципу:

Свет от одного и того же источника света при помощи системы зеркал и линз разделяется на два пучка, падающих на один и тот же фотоэлемент таким образом, что один пучок

НБ УДУНТ (ДІІТ)

проходит через образец, имеющий стандартную окраску, а другой пучок проходит через исследуемую жидкость. На пути обоих пучков вращается диафрагма, снабженная отверстием. Диафрагма непрерывно прерывает свет, проходящий через обе жидкости. Сумма площадей световых пучков, пропускаемых отверстиями *A* и *B*, всегда постоянна, так как открытие отверстия *A* изменяется от нуля до 100%, в то время как открытие отверстия *B* изменяется от 100% до нуля.

Если обе жидкости обладают одинаковым коэфициентом поглощения света, то освещенность фотоэлемента не изменяется при вращении диафрагмы, и поэтому анодный ток усилительной лампы остается постоянным. Если через первичную обмотку трансформатора *T* течет постоянный ток, то во вторичной обмотке напряжение отсутствует и реле *III* и *IV* выключены.



Фиг. 237. Схема цветометрического индикатора.

Если коэфициент поглощения света испытуемой жидкости отличается немного от коэфициента поглощения света стандартной жидкости, то освещенность фотоэлемента изменяется при вращении диафрагмы, и анодный ток усилительной лампы превращается в пульсирующий постоянный ток. В том случае, когда через первичную обмотку трансформатора *T* течет пульсирующий постоянный ток, в его вторичной обмотке появляется переменный ток, направление и величина которого определяются разностью в коэфициентах поглощения света обеими жидкостями. Этот переменный ток выпрямляется коммутатором, смонтированным на оси мотора, вращающего диафрагму. В результате получающийся таким образом постоянный ток оказывается пропорциональным отклонению коэфициента поглощения света испытуемой жидкости от заданного значения. Реле *III* срабатывает при определенном значении тока одного направления, а реле *IV* срабатывает при том же значении тока противоположного направления. После срабатывания одного из реле происходит та же самая последовательность действий, которая имеет место в случае схемы на фиг. 235 после включения одного из реле *III* или *IV* благодаря зажиганию тиратронов.

Так как схема на фиг. 236 основана на нулевом методе и работает на принципе выделения постоянной составляющей анодного тока усилительной лампы, то регулятор не чувствителен

НБ УДУНТ (ДІІТ)

к колебаниям напряжения в линии и не зависит от изменений температуры или изменений чувствительности ламп в их рабочей области.

Другая схема цветометрического регулятора, основанная на нулевом методе, представлена на фиг. 237. Стандартный образец помещается по одну сторону источника света, а исследуемый материал непрерывно пропускается по другую сторону источника света. Как это ясно из фиг. 237, световой пучок в течение каждого периода переменного напряжения при помощи заслонки, вращаемой синхронным мотором, направляется попеременно то на стандарт, то на исследуемый материал и затем отражается на фотоэлемент. Если цвет материала совпадает с цветом стандарта, то фотоэлемент получает одинаковые импульсы света втечение каждого полупериода волны напряжения и указательный прибор, включенный в анодную цепь экранированной лампы *A*, дает отсчет, равный нулю. Если цвета различны, то фотоэлемент освещается неодинаково в течение обоих полупериодов и указательный прибор отклоняется в ту или в другую сторону в зависимости от того, имеет ли исследуемый материал более темную или более светлую, чем нужно, окраску. В случае применения схемы для контроля электрохимических процессов пучок света пропускается через жидкость.

Литература

«Electronic Oscillators for Industrial Process Control», H. Olken, Electronics, October, 1931.

«Electronic Tubes in Chemistry», H. M. Partridge, Electronics, July, 1930.

«Valve-Voltmeter for Measurements of Hydrogen-Ion Concentration», A. S. McFarlane, J. Sci. Instruments, Vol. 10, pp. 142—147, May, 1933.

Глава XIX

РЕГУЛЯТОРЫ ТЕМПЕРАТУРЫ

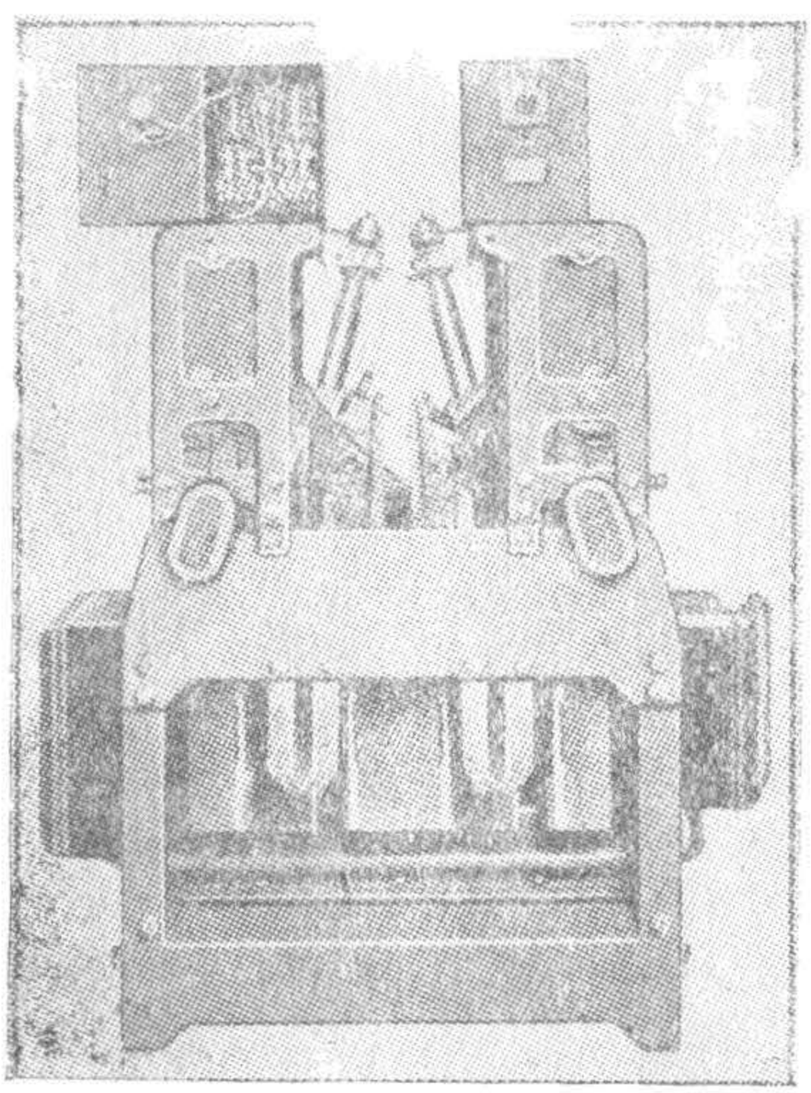
Характерная черта индикаторов и регуляторов температуры заключается в том, что для целей контроля в них можно располагать лишь очень незначительными количествами энергии. Благодаря этому имеющиеся сейчас на рынке механические и электромагнитные регуляторы температуры представляют собой очень нежные приборы, использующие сложные механические или электрические способы усиления энергии на входе до величины, достаточной для приведения в действие температурных контрольных реле. Вследствие теплового запаздывания, обусловливаемого темплоемкостью различных материалов, температура которых подвержена контролю, процесс регулирования температуры протекает медленно по сравнению, например, с процессами регулирования напряжения или скорости. Поэтому проблема стабилизации работы регулятора или устранения колебаний сравнительно проста, и основная трудность в конструировании регуляторов температуры состоит в том, чтобы получить устойчивый и чувствительный измерительный элемент, показания которого

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

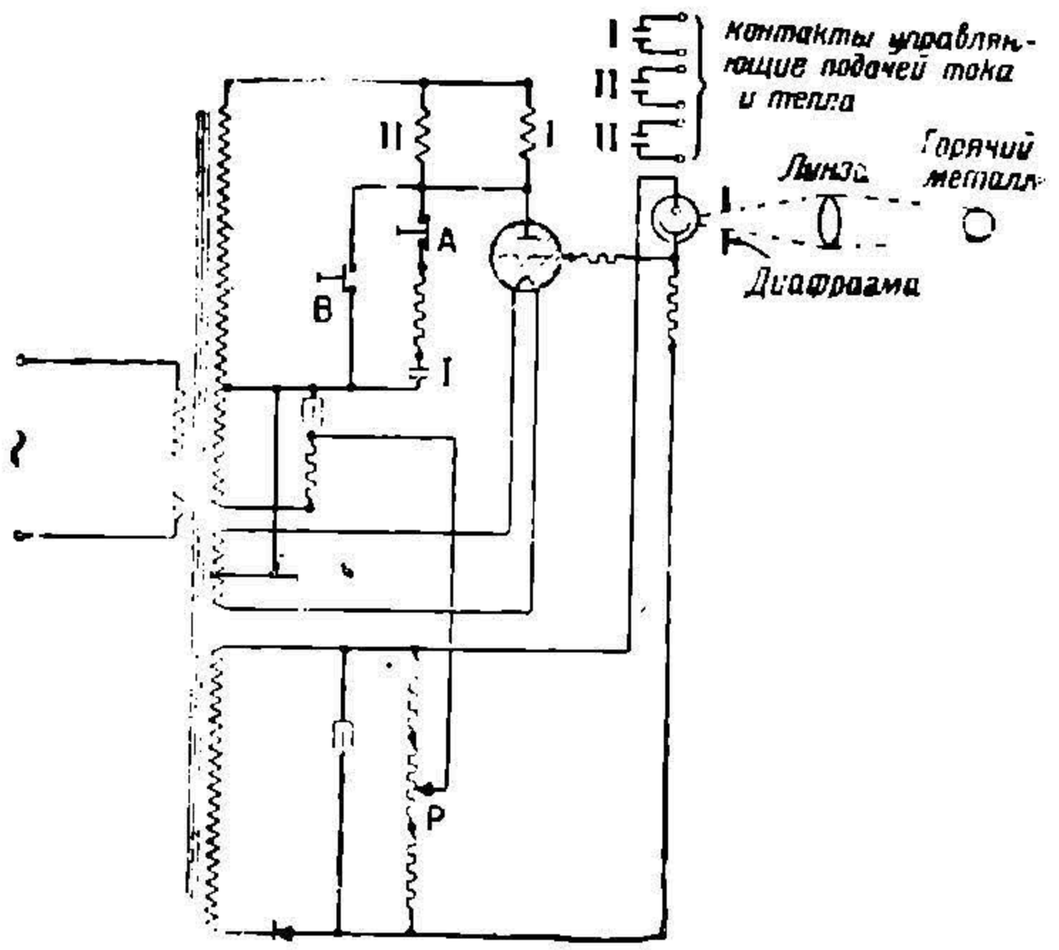
можно усиливать до величины, достаточной для управления подачей тепла.

Электронные регуляторы температуры можно разделить на три общих класса. Первый включает в себя применения, в которых измерительным элементом служит фотоэлемент; второй использует для усиления электронные лампы, а третий основан на зависимости потенциала зажигания тиратронов от температуры.

113. Фотоэлектрические регуляторы температуры. Фотоэлектрические измерительные элементы бывают двух существенно различных типов. Один основан на пирометрическом принципе; в другом используются в качестве вспомогательного средства изменения освещенности фотоэлемента, в зависимости от которой производится контроль температуры. Фотоэлектрические температурные регуляторы пирометрического типа применяются для контроля температуры печей. Они могут регулировать температуру выше 1 500° F. Простой регулятор, основанный на этом принципе, изображен на фиг. 238 и 239. Регулятор применяется для выключения тока нагревания и удаления нагреваемого материала после достижения им требуемой температуры.



Фиг. 238. Нагревательная печь с фотоэлектрическим регулятором температуры.



Фиг. 239. Схема фотоэлектрического ограничительного температурного выключателя.

Основная фотоэлектрическая схема аналогична схеме, приведенной на фиг. 82, но к ней добавлена блокирующая схема, благодаря которой после повышения температуры материала и срабатывания тиратрона происходит срабатывание контакторов *I* и *II* и одна пара контактов замыкает тиратрон через кнопку *A*. Затем контакторы блокируются и главные контакты замыкают цепь вспомогательных контакторов, служащих для выключения тока и выбрасывания материала. После того как в печь положена деталь, нажимается кнопка *A*, и деталь нач-

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

нает нагреваться. Если по какой-либо причине необходимо остановить процесс нагревания до его завершения, то нажимается кнопка *B*, расположенная впереди устройства, после чего происходит такая же последовательность действий, которая имеет место при достижении требуемой температуры.

Требуемая рабочая температура регулируется потенциометром *P*, задающим отрицательное смещение на сетку тиратрона. Первоначальная установка потенциометра производится либо экспериментально, либо при помощи оптического пирометра, играющего роль стандарта. После того как регулятор настроен, он работает в течение долгого времени, подвергаясь лишь иногда проверке правильности действия. Потенциометр служит только для тонкой регулировки, и так как размеры материала и рабочая температура могут иметь самые различные значения, то для покрытия всей области изменения необходима грубая регулировка. Она производится диафрагмами, помещаемыми между линзой и фотоэлементом.

Некоторые из этих диафрагм могут заменяться одна другой для увеличения или уменьшения количества света, падающего на фотоэлемент при данной температуре и размерах материала.

Нагреваемый материал излучает большое количество тепла. Поэтому фотоэлемент нельзя располагать вблизи от горячего металла. Для собирания достаточного количества света от материала и для фокусировки его на фотоэлементе используются линзы.

Если требуется регулирование температуры печи, то контроль производится при помощи реле, изменяющего величину тока, потребляемого печью внутри заданных пределов. Для устранения колебаний, вызываемых тепловым запаздыванием печи, можно составить схему таким образом, чтобы измерительная схема отвечала на несколько более высокое значение температуры, как только замкнется контрольное реле, увеличивающее величину тока или количество топлива, подаваемого к печи. В этом случае часто может быть также желательным пользоваться реле времени, соединив их в схему, подобную изображенной на фиг. 235.

Другой вид контроля, применяемый в случае небольших электрических печей, для которых значительные потери не играют большой роли, состоит из тиратрона, управляющего током в дросселе с насыщенным железом при помощи схемы, аналогичной приведенной на фиг. 157, в которой, однако, потенциометр для управления на расстоянии заменен схемой для измерения температуры. При такого рода контроле поправка в величине тока, питающего печи, может быть сделана пропорциональной отклонению температуры от нормального значения, что позволяет устранить сколько-нибудь значительные колебания. Фотоэлектрические схемы очень удобно приводить в действие индикаторами температуры, работающими на принципе расширения. Расширяющийся материал (твердый или жидкий) располагается так, чтобы он пересекал пучок света, падающий на фотоэлемент.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

114. Усиление напряжения небаланса мостиков и тока термопар. Электронные лампы могут быть использованы для усиления сигналов, получающихся на выходе индикаторов температуры, основанных на принципе изменения сопротивления или термоэлектрическом принципе. В первом случае переменное сопротивление включается в одно из плеч мостика Витстона и получается схема, сходная с фиг. 209. Во втором случае задача усиления более сложна, так как на выходе термопары получается постоянное напряжение, равное всего лишь нескольким милливольтам. Усилители постоянного тока с высоким коэфициентом усиления не очень устойчивы (см. § 33). Лучшие результаты можно получить, воспользовавшись усилителем с емкостной связью. Напряжение термопары можно модулировать при помощи непрерывно вибрирующего микрофона, изменяющего сопротивление, включенное последовательно с термопарой.

115. Тиратронный регулятор температуры. В § 28 указывалось, что характеристика зажигания тиратрона зависит от температуры паров ртути. Это обстоятельство было использовано для контроля температуры масляной ванны, в которую был погружен тиратрон. Регулятор этого типа дешев и имеет чувствительность в пределах нескольких градусов. Область, в которой может регулироваться температура при помощи такого рода регуляторов, ограничивается от 25—90° С.

Литература

«Photocell Control of Temperature for Filament Coating Ovens», W. P. Koechel, Electronics, May, 1932.

«Precision Photoelectric Recorder», C. W. LaPierre, Gen. Elec. Rev., Vol. 35, July, 1932, p. 403.

«Photoelectric Control of Resistance Type Metal Heaters», Evans and Vedder Elec. Eng., Vol. 54, June, 1935, pp. 645—650.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоматические регуляторы 151
Автоматический синхронизатор 138
Автоматическое взвешивание 69
— регулирование искусственного освещения 72
— управление дверьми на лифте 71
Аноды выпрямителей, соединение 103
— ртутного выпрямителя 98
Аппарат для точечной сварки 113
— — шовной сварки 118
Астатические регуляторы 151
— электронные регуляторы напряжения 165

Биологические применения рентгеновских лучей 138
Быстродействующее реле 149

Вакуумная насосная система ртутных выпрямителей 99
Вакуумные лампы для усиления мощности 20
— — — — напряжения 20
— — с управляющей сеткой 17
— приборы 15
Вибрационный регулятор Тирриля 152
Воздухонепроницаемость жестяных коробок, испытание 132
Волны напряжения и тока в цепи нагрузки выпрямителя 100
Время деионизации тиратронов 30
— ионизации тиратронов 30
Выпрямители низкого напряжения 96
Выпрямитель для регулирования скорости 183
Высоковакуумные электронные приборы 9
Выходная мощность 102

Газонаполненные приборы 9
Газосветные трубки 33
Газотрон 25
Градуировка счетчиков электрической энергии 94
Генераторы 34

Давление в ртутном выпрямителе 99
Дверные автоматы 78
Двойная трехфазная схема 103
Двухполупериодный выпрямитель 97
Дистанционное реле 148
Дроссели в цепях ртутных выпрямителей 102

Игнайтор 32
— схемы зажигания током нагрузки 56
Игнайтрон 32
Игнайтронная схема с вспомогательным источником зажигания 58
Игнайтронное реле времени для контроля точечной сварки 116
— — — — шовной сварки 119
Игнайтронный выпрямитель 105
Измерение коротких промежутков времени 146
— освещенности 81
— прозрачности 85
Измерительные схемы на переменном токе для регуляторов 156
— — — постоянном токе для регуляторов 160
Импульсное реле для ударного возбуждения 175
Импульсные схемы телеметрии 90
Инверторы 108
Ионизационный манометр 21
Ионизация в газонаполненном фотоэлементе 11
Исследование материалов при помощи рентгеновских лучей 136
Источник света 66
— — для фотоэлектрических измерений 10
— — — фотоэлемента 61

Катод фотоэлемента 9
Катодная трубка 21
Катодное пятно 26
Катодный осциллоскоп 87
Катоды вакуумных приборов 16
— газонаполненных приборов 23
Качество сварки 112
Кенотроны 16
Кодовая частота 129
Кодовый передатчик 129
Коммутация в инверторах 109
Конструкция электронных регуляторов 156

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Контактные контрольные приборы 131
Контроль движения поездов 128
— нефтяных форсунок 127
— точечной сварки 113
— шовных сварочных аппаратов 119
Косвенные противоколебательные схемы 161
Коэфициент газового усиления газонаполненного фотоэлемента 11
К. п. д. ртутного выпрямителя 105
— тиратрона 28
Коэфициент прозрачности 85
— усиления электронной лампы 19
Кристаллический анализ 137
Крутизна характеристики вакуумных ламп 20

Лампы тлеющего разряда с холодным катодом 31
Линзы 67

Максимальные реле 147
Манометр Мак-Леода 100
Машины для наклейки ярлычков на пузырьки с лаком, управление 194
Минимальное импеданцное реле 147
— реактанцное реле 148
— реле напряжений 147
Многокаскадные усилители 36, 37, 38
Модуляция 41
Мостиковые схемы 48
Мультивибратор 41, 88

Напряжение насыщения вакуумного фотоэлемента 11

Обратное зажигание в ртутных выпрямителях 104
Одноламповые инверторы 108
Определение скорости движения снарядов 44
Оптические системы 67
Осциллограф 22
Очистка газов 133

Пентод 39
Потенциометрическая схема контроля освещения в театрах 125
Приборы электронные 9
Применение фотореле 68
Прямые противоколебательные схемы 161

Реактанцное реле 148
Регистратор дыма 82
Регулятор напряжения в намоточной машине 186
— — генератора постоянного тока 176
— — Доджа и Виллиса 172
Регулятор скорости многомоторного привода 181
Регулятор скорости одномоторных приводов 180
— температуры 206
Регуляторы дневного освещения 75
— концентрации 201
— напряжения переменного тока 163
— скорости подачи 191
— частоты 188
— электронные 151
Ректигон 24, 25
Реле времени 144
— для контроля освещения 73
— защиты 147
— мощности 148
Релейная схема управления током тиратрона 47
Рентгеновские аппараты 135
— трубки 23
Реостатные контрольные приборы 131
Реостатный регулятор напряжения с лампой тлеющего разряда 164
— — скорости движения бумаги 187
Ртутные выпрямители 26, 97
— катоды 25
— тиратроны с жидким катодом 32

Сварочная аппаратура 112
Сварочное реле времени фирмы General Electric 120
Световая защита 61
Сглаживание пульсаций переменного тока в выпрямителе 102
Селеновые фотоэлементы 13
Сетка 17
Сеточный ток в вакуумных лампах 18
Синхронизация синхронных моторов 143
Сортировка деталей 79
Спектральная чувствительность селенового фотоэлемента 14
— — фотоэлемента с внешним фотоэфектом 12.
— — — с запирающим слоем 15
Срок службы фотоэлемента 12
Стандартный стробоскопический прибор 94
Статические регуляторы 151
Стробоскоп 92
Счет деталей, движущихся по конвейеру 69

Телеметрия 90
Темновой ток 11, 13
Температурная компенсация регулятора 173
Тиратронный выпрямитель для контроля освещения в театре 124
— инвертор 108
— регулятор температуры 209
Тиратроны 27, 30
— импульсные схемы управления при помощи сдвига фазы 51

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Тиратроны многофазные схемы управлени я 52
— схемы управления на переменном токе 44
— — — — постоянном токе 42
— — — при помощи сдвига фазы 48
— — — релейного типа 47
Тлеющий разряд в фотоэлементе, условия возникновения 11
Токовые системы телеметрии 90
Точечная сварка 113
Трехэлектродная лампа, как генератор электрических колебаний 39

Ударное возбуждение 175
Управление анодным током при помощи сетки 35
— движущимися рекламами 126
— лифтом 71
— освещением в театрах 124
— ртутными выпрямителями 51, 52
— током тиратрона 46
Усилители 34
— с многоэлектродными лампами 38

Фильтры для схем с тиратронами 43
Флюороскопия 137
Фотокс 15
Фотометрирование ламп 81
Фотореле 60
— на лифтах 70
— применение 68
Фотоэлектрические регуляторы температуры 207
Фотоэлектрический регулятор скорости подачи 190
— — частоты 189
Фотоэлементы с внешним фотоэффектом 9
— — запирающим слоем 15
— — тлеющим разрядом 12

Характеристика зажигания тиратронов 29
Характеристика катодной трубки 22
— кенотрона 17
Характеристики вакуумных ламп с сеткой 18
— ламп тлеющего разряда с холодным катодом 31
— селенового фотоэлемента 14
— фотоэлементов 10
— с тлеющим разрядом 13

Цветокомпаратор 86
Цветометрические регуляторы 201
Центробежный регулятор 153

Чувствительность фотоэлементов 10

Шовная сварка 118

Экранирование элементов схемы с тиратроном 43
Экранированная лампа 38
Электрический вал 182
— диференциал 183
Электродные рукоятки 113
Электромагнитные регуляторы 151
Электрометрическая лампа 20
Электронная аппаратура, преимущества 59
Электронное реле 138, 144
— — времени для контроля сварочного аппарата 115
Электронно-лучевые приборы 21
Электронные приборы 9
— регуляторы 151
— — схемы для уничт ожения колебаний 161
Электронный контроль сварочного контактора 114
— монитор 173
— регистратор 83
— регулятор напряжения 167
— — — Гармана 170
— синхронизатор 139
Электросварка 112

3797

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

Цена 3 р. 25 к., пер. 75 к.

ЭЭ-55-5-2

Сканували Петренко О.А.
Покровська Т.В.

НБ
УДУНТ
(ДІТ)