

СССР — МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Доцент Е. А. МИХАЙЛЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ
МОЩНЫХ ДУГОГАСЯЩИХ УСТРОЙСТВ
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Специальность № 435 — «Электрификация
и электроснабжение железнодорожного
транспорта»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск

1969

НТБ
ДНУЖТ

На правах рукописи

Доцент Е. А. МИХАЙЛЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ
МОЩНЫХ ДУГОГАСЯЩИХ УСТРОЙСТВ
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Специальность № 435 — «Электрификация
и электроснабжение железнодорожного
транспорта»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор **Киселев А. П.**

Кандидат технических наук, ст. научный сотрудник **Радченко В. Д.**

Ведущее предприятие — завод «Уралэлектротяжмаш».

Автореферат разослан «16» 17 VI 1969 г.

Защита диссертации состоится 17 VI 1969 года
на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров
железнодорожного транспорта, г. Днепропетровск, 10, Универсальная, 2,
ДИИТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета, доцент **Б. М. Климковский.**

НТБ
ДНУЖТ

Огромные масштабы электрификации железных дорог в нашей стране, обусловленные высокими темпами развития социалистической экономики, вызывают необходимость поисков решения многих сложных электротехнических задач, касающихся усовершенствования электрической тяги.

С первых дней внедрения на наших дорогах электрической тяги возникла проблема разработки конструкции выключателей постоянного тока 4 кв, удовлетворяющих требованиям быстродействия, чувствительности и надежности.

В 30-е годы отечественная электротехническая промышленность не могла обеспечить такими выключателями первые электрифицированные участки. Поэтому на этих участках, электрифицированных по системе постоянного тока 3,3 кв, были применены выключатели различных зарубежных фирм (Броун-Бовери, Фогт и Гефнер, Коженель и др.). Эти выключатели не удовлетворяли условиям работы электрической тяги по разрывной мощности, а также в отношении необходимого быстродействия.

Поэтому на наших заводах в те же годы были начаты исследования и разработка выключателей на 3,3 кв постоянного тока: для тяговых подстанций — на заводе «Электросила» и для электровозов — на заводе «Динамо».

Большой вклад в разработку новых конструкций быстродействующих выключателей внес А. И. Голубев, под чьим руководством и разработана серия выключателей типа ВАБ на различные токи и напряжения. Этими выключателями оборудованы тяговые подстанции постоянного тока, построенные до 1955 г. Так как в тот период электрическая тяга вводилась на небольших и не особенно грузонапряженных участках, то мощность тяговых подстанций ограничивалась 2—3 выпрямительными агрегатами мощностью около 2000 квт каждый при питании подстанций от обособленных энергосистем.

Электрификация тяги по системе постоянного тока стала вводиться на наиболее грузонапряженных участках большой протяженности, т. е. на целых направлениях, как например, Москва—Урал—Сибирь, Москва—Донбасс и др.

Значительно возросли мощности тяговых подстанций, а их питание стало осуществляться от мощных объединенных энергосистем.

В связи с этим возросла мощность короткого замыкания на шинах переменного тока тяговых подстанций и соответственно выросли токи короткого замыкания на стороне постоянного тока 3,3 кв.

Разрывная мощность новых быстродействующих выключателей типа АБ, в принципе не отличающихся от типа ВАБ, оказалась недостаточной для таких мощных подстанций.

Для повышения разрывной мощности на фидерах этих тяговых подстанций стали устанавливаться по два последовательно включенных выключателя АБ с камерами новой конструкции лабиринтно-щелевого типа, разработанных научными сотрудниками ЦНИИ МПС И. И. Рыковым и В. Д. Радченко. Это мероприятие способствовало значительному уменьшению числа случаев неразрыва дуги с повреждением выключателей и их камер. Однако надежная работа данных выключателей в настоящее время уже не обеспечивается. В ряде случаев при неблагоприятных стечениях обстоятельств, при которых установившийся ток короткого замыкания достигает 30 ка и более, эксплуатируемые в настоящее время вдвоенные быстродействующие выключатели не всегда обеспечивают гашение дуги. Это приводит к авариям и перерывам питания тяги.

Неуклонный рост грузооборота и пассажирских перевозок на сети наших железных дорог и особенно на электрифицированных дорогах обуславливает необходимость повышения установленной мощности тяговых подстанций и тем самым повышения разрывной мощности быстродействующих выключателей, применяемых на них. Отставание в этом отношении влечет за собой повышение аварийности в системе электропитания и нарушение бесперебойности движения поездов.

Аналогичное положение имеет место и на электровозах постоянного тока. Применяемые на них быстродействующие выключатели типа БВП так же в ряде случаев не обеспечивают разрыв цепи при возникновении короткого замыкания на электровозах, особенно при нахождении их вблизи тяговых подстанций.

В Советском Союзе система электрической тяги на постоянном токе в 1969 г. используется на железных дорогах протяженностью 18 тыс. км (58% электрифицированных дорог), причем большинство из них являются весьма грузонапряженными.

Исходя из вышеизложенного, актуальность проблемы создания более мощного и более надежного быстродействующего выключателя весьма очевидна.

Повышение разрывной мощности и номинального тока быстродействующих выключателей возможно путем комплексного усовершенствования их конструкции с целью дальнейшего повышения скорости расхождения контактов, уменьшения собственного времени выключателей, усиления магнитного дутья и разработки новых способов гашения возникающей при отключениях электрической дуги.

Вопросы разработки более совершенной конструкции мощного быстродействующего выключателя не входили в круг исследований автора. Этим вопросам посвящены исследования, выполняемые на заводе Уралэлектротяжмаш.

Ниже кратко освещаются проведенные автором исследования, касающиеся только гашения дуги в быстродействующих выключателях постоянного тока.

Нашими учеными и промышленностью в настоящее время созданы выключатели переменного тока, которые достаточно надежно выполняют свои функции при всех напряжениях, принятых в энергосистемах. Однако принципы дугогашения переменного тока нельзя просто использовать для создания мощных дугогасящих устройств постоянного тока высокого напряжения.

Проблема гашения дуги постоянного тока при напряжении 3—4 кв и при установившихся токах короткого замыкания 30 ка и выше является весьма сложной и ее решение представляет большие трудности.

У выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью быстродействующих выключателей постоянного тока для гашения дуги при разрыве цепи используются различные средства увеличения сопротивления этой дуги: ее удлинение, дробление, наведение в ней противоздс и др. Для реализации этих способов выключатели снабжаются дугогасящими камерами той или иной конструкции. Как отмечено выше, такие камеры имеют ограниченную разрывную мощность и не удовлетворяют современным требованиям.

Исследования автора на протяжении последних 10 лет были сосредоточены на проблеме разработки мощного дугогасящего устройства постоянного тока. Без решения этой проблемы невозможно создание быстродействующего выключателя 4 кв, разрывная мощность которого была бы достаточна при всех возможных эксплуатационных условиях питания электрической тяги на постоянном токе. Эти исследования дали положительные результаты, кратко освещаемые ниже.

Глава I. Пути повышения разрывной мощности быстродействующих выключателей

Токоограничивающая способность выключателя постоянного тока определяется собственным временем выключателя (его быстродействием) и свойствами его дугогасящего устройства.

В тех случаях, когда ток уставки выключателя постоянного тока значительно меньше установившегося тока короткого замыкания цепи, решающее значение для отключаемой цепи и для надежной работы самого выключателя имеет быстродействие выключателя. Благодаря быстродействию в таких случаях разрываемый выключателем ток может быть на много меньшим установившегося тока короткого замыкания. Чем больше собственное время выключателя, тем больший ток должно разрывать дугогасящее устройство при отключении цепи.

В тех же случаях, когда ток уставки весьма значителен и приближается к значению установившегося тока короткого замыкания, малое собственное время выключателя не может привести к значительному снижению отключаемого тока.

У современных мощных быстродействующих выключателей собственное время достигает 5 мсек и может быть снижено дорогой ценой путем комбинирования многих конструктивных и технических способов.

При дальнейшем уменьшении собственного времени и увеличении тока уставки мощность выключателя целиком зависит от дугогасящего устройства, которое должно быть способным разрывать дугу при токах не менее тока уставки выключателя.

Таким образом, создание мощного быстродействующего выключателя целиком зависит от решения проблемы создания нового мощного дугогасящего устройства.

На основе теории дуги и анализа известных опособов дугогашения автором в основу разрабатываемых дугогасящих устройств для быстродействующих выключателей постоянного тока было принято два принципа: ввод в цепь активного сопротивления для ограничения тока и облегчения гашения дуги и принцип дугогасящей решетки, предложенный Доливо-Добровольским.

Включение в цепь во время дугогашения в применяемых дугогасящих камерах активного сопротивления в виде рогов из материала, обладающего большим удельным сопротивлением, оказалось неразрешимой задачей. Это объясняется тем, что существующие реостатные высокоомные сплавы для этого непригодны. На металлокерамике и силитах дуга не возбуждается, на графите катодный конец дуги не перемещается, а ферросилиций, обладающий удельным сопротивлением до 800 ом/см^3 , очень хрупок, имеет отрицательный температурный коэффициент и сильно выгорает при движении по нему дуги.

Дугогасящие решетки при низком напряжении, как показал проф. Брон О. Б., позволяют разрывать токи 45 ка и выше, но при высоком напряжении дуга такую решетку не заполняет, останавливается у краев пластин решетки и разрушает дугогасящее устройство.

В результате предварительного анализа и исследования автором было предложено оригинальное дугогасящее устройство. Это устройство представляет дугогасящую решетку, выполненную не из прямых плоских металлических пластин, как предлагалось другими авторами ранее, а из U-образных скобок, выполненных из фехралевой ленты. Эта дугогасящая решетка составляется из скобок так, что в пакете последние размещаются выпуклой частью в одну сторону, а концами — в другую на некотором расстоянии одна скобка от другой. Концы скобок закрепляются в прорезях гребенчатой огнеупорной планки. Все скобки пакета зажимаются между асбоцементными стенками. Со стороны выпуклых частей скобок дуга может заходить в промежутки между скобками. Дугогасящая камера составляется из двух таких пакетов, обращенных друг к другу выпуклыми частями скобок или же выпуклыми частями скобок к рогу.

Дуга, переходя с контактов выключателя, с помощью магнитного дутья выключателя, попадает в промежуток между двумя пакетами из U-образных скобок или между рогом посредине и двумя пакетами. Дальнейшее ее перемещение

обеспечивается своим собственным магнитным полем. При перемещении вдоль канала между пакетами дуга заходит в промежутки между соседними скобками и тем самым раздробляется на много коротких дуг, горящих между скобками. Благодаря этому короткие дуги, чередующиеся со скобками, вводят в цепь сопротивление всех скобок.

Совместным действием падения напряжения во всех коротких дугах и падения напряжения в активном сопротивлении скобок решетки ток снижается до нуля и дуга гаснет.

В работе дан анализ процесса проникновения дуги в такую решетку. Для того, чтобы дуга проникла в промежуток между U-образными скобками, необходимо, чтобы она огибала выпуклую часть скобки и чтобы на этом отрезке дуги падение напряжения было больше двух приэлектродных падений в дуге. Тогда огибающий отрезок дуги заместится выпуклой частью скобки, а дуга станет гореть между соседними скобками. Длина таких отрезков дуги примерно равна 0,7—1 см. Исходя из этого выбирается геометрия скобок.

Анализ, проведенный автором, показал, что остановка дуги у краев пластин обычной дугогасящей решетки и ее разрушение вызвано главным образом электродинамическими причинами, а не только причинами аэродинамическими, как это отмечалось в других работах.

Для облегчения проникновения дуги в промежутки между U-образными скобками и для выброса ионизированных газов в атмосферу необходимы выхлопные прорезы или отверстия в стенках, сжимающих решетку, против промежутков между соседними скобками.

Показана также необходимость применения ферромагнитного реостатного сплава для скобок (фехраль), так как в противном случае дуга в решетку не проникает.

Для суждения об эффективности разработанной дугогасящей решетки, обладающей собственным активным сопротивлением и собственным магнитным дутьем, в работе составлены и решены дифференциальные уравнения, описывающие изменение тока при отключении короткого замыкания таким устройством. От момента короткого замыкания $t = 0$ до момента образования дуги на контактах выключается t_1 , ток короткого замыкания, принимая $U = \text{const}$, как известно, изменяется по закону.

$$i_1 = \frac{U}{r} \left(1 - e^{-\frac{r}{L} t} \right) \quad (1)$$

После этого дуга заполняет дугогасящую решетку, число дуг увеличивается и вводится активное сопротивление скобок. Поэтому от момента образования дуги до полного заполнения решетки дугой ($t_1 \leq t \leq t_2$) ток в цепи определяется уравнением

$$L \frac{di}{dt} + [r + a(t - t_1)]i + B(t - t_1) = U$$

где $a = \frac{R}{t_2 - t_1}$

$$B = \frac{A n}{t_2 - t_1}$$

R — сопротивление всех скобок,
 $t_2 - t_1$ — время заполнения решетки дугой, равное от 2 до 8 мсек.,

A — падение напряжения в одной короткой дуге,
 n — число коротких дуг в решетке.

Уравнение составлено, исходя из предположения, что дуга заполняет решетку с постоянной скоростью. Как показали эксперименты, это предположение корректно.

Решение приведенного уравнения после его преобразования в «уравнение с переменными коэффициентами и правой частью» дает приближенное значение тока для интервала $t_1 \leq t < t_2$

$$i_2 \cong e^{-\frac{a}{2L}(t - t_1)^2 - \frac{r}{L}(t - t_1)} \left[\frac{U}{r} \left(1 - e^{-\frac{r}{L}t_1} \right) + \sum_{i=1}^{i=8} a_i (t - t_1) \right] \quad (2)$$

где $a = \frac{R}{t_2 - t_1}$

$$a_1 = \frac{U}{L}$$

$$a_3 = \frac{Ua}{6L^2} - \frac{Br}{3L^3}$$

$$B = \frac{An}{t_2 - t_1}$$

$$a_2 = \frac{Ur}{2L^2} - \frac{B}{2L}$$

$$a_4 = \frac{Uar}{8L^3} - \frac{Ba}{8L^2}$$

НТБ
ДНУЖТ

$$a_5 = \frac{U}{10L} \left(\frac{a}{2L} \right)^2 - \frac{B\alpha r}{10L^3} \quad a_6 = \left(\frac{a}{2L} \right)^2 \left(\frac{U\alpha r}{12L^2} - \frac{B}{12L} \right)$$

$$a_7 = \frac{U}{42L} \left(\frac{a}{2L} \right)^3 - \frac{B\alpha r}{14L^2} \left(\frac{a}{2L} \right)^2 \quad a_8 = \left(\frac{a}{2L} \right)^3 \left(\frac{U}{48L^2} - \frac{B}{336L} \right)$$

От момента заполнения дугой всей дугогасящей решетки и до момента снижения тока до нуля, т. е. для $t > t_2$ ток и цепи описывается дифференциальным уравнением:

$$L \frac{di}{dt} + (R + r)i = U$$

Его решение

$$i_3 = \frac{U - An}{R + r} + \left[i_2(t_2) - \frac{U - An}{R + r} \right] e^{-\frac{R + r}{L}(t - t_2)} \quad (3)$$

где $i_2(t_2)$ — значение тока в момент t_2 , полученное по формуле (2).

Расчеты, выполненные по приведенным выше формулам, для различных вариантов разработанных дугогасящих устройств, показали высокую точность при сравнении с экспериментальными осциллограммами тока.

Кроме этого было определено напряжение в дугогасящем устройстве (на контактах выключателя) во время дугогашения. Для первого периода дугогашения ($t_1 < t < t_2$) напряжение на контактах выключателя равно

$$u_1 = i_2 a(t - t_1) + B(t - t_1) \quad (i_2 a - B)(t - t_1) \quad (4)$$

где i_2 — ток по формуле (2)

и для второго периода дугогашения ($t > t_2$)

$$u_2 = i_3 R + An \quad (5)$$

где i_3 — ток по формуле (3).

Расчеты напряжения на контактах по формулам (4) и (5) позволяют выбрать значение R — сопротивления всех скобок дугогасящей решетки, при котором перенапряжение не превышает $2U$ ном., допускаемое ГОСТом на выключатели.

Глава II. Исследование явлений, возникающих в разработанном дугогасящем устройстве

Детальный анализ предложенного способа дугогашения доказал, что дугогасящее устройство обладает мощным собственным магнитным дутьем. Это дутье может обеспечить быстрое втягивание дуги во все промежутки между скобками дугогасящей решетки и дробление дуги на много коротких дуг, чередующихся с резисторами в виде U-образных скобок из фехрала. Кроме того, этот способ позволяет обеспечить очень высокую ограничивающую способность дугогасящего устройства.

Однако, экспериментальные исследования при напряжении 4 кв показали, что необходимы специальные конструктивные мероприятия, без которых камера дугой не заполняется, дуга оплавляет или разрушает скобки решетки, а также замыкается за пределами камеры. Без этих мероприятий даже при усиленном магнитном дутье дуга не движется вверх и не проникает в промежутки между скобками решетки.

Исследование причин остановки дуги на входе в дугогасящую решетку потребовало проведения большого количества опытов. В результате этих исследований было установлено, что дуга не входила в решетку, так как между контактами выключателя и в нижних частях решетки возникали повторные зажигания дуги.

Благодаря очень сильному внутреннему магнитному дутью в решетке, составленной из U-образных скобок, напряжение в камере (на контактах выключателя) очень быстро нарастает, что приводит к пробоем ионизированных газов в зоне контактов или внизу дугогасящей решетки. В результате возникает вторая дуга, горящая ниже и параллельно первой дуге. Верхняя дуга, в которой падение напряжения больше, чем в нижней, гаснет, а новая нижняя дуга, поднимаясь в устройстве вверх, снова вызывает повторное зажигание дуги внизу камеры и по этим причинам такой процесс протекает многократно. В результате повторных зажиганий дуга как бы стоит на месте, камера дугой не заполняется и цепь не отключается. Усиление магнитного дутья только облегчало возникновение повторных зажиганий дуги. Без устранения этого недостатка предложенный автором способ дугогашения при разрыве цепи постоянного тока 4 кв использовать невозможно.

Изучение и устранение причин повторных зажиганий дуги в дугогасящем устройстве, дуговых замыканий за пределами камеры и оплавления деталей решетки, могло проводиться

только комплексно ввиду их взаимной зависимости. Этим, а также сложностью и малой изученностью физических и электродинамических процессов при гашении дуги объясняется выбор экспериментального метода исследования, потребовавшего большого количества сложных, опасных и трудоемких опытов.

Экспериментальные исследования проводились как на макетах при пониженном напряжении, так и на различных конструкциях дугогасящих камер при напряжении до 4200 в и токах до 12000а, с индуктивностью в цепи до 5 мгн. Эти эксперименты проводились на тяговой подстанции ДИИТа.

Регистрация быстропротекающих процессов при гашении дуги проводилась путем осциллографирования тока, напряжения и времени, фотографирования дугогасящих устройств при каждом коротком замыкании за все время дугогашения, а также путем фотографирования процесса со скоростью 500—1000 снимков за секунду специальной фотокамерой, разработанной и изготовленной автором.

Кроме того, после каждого опыта отключения короткого замыкания дугогасящее устройство раскрывалось и по следам дуги или характеру повреждения анализировалась работоспособность стдельных элементов или мест дугогасящего устройства.

Подробным анализом результатов каждого опыта, полученных с помощью этих средств регистрации, раскрывались причины явлений и намечались новые изменения в конструкции.

Таким, весьма трудоемким способом, отработывалось экспериментально новое дугогасящее устройство, без чего плодотворная идея сочетания принципа дугогасящей решетки с автоматическим вводом в цепь активного сопротивления не могла быть претворена в работоспособную конструкцию.

Глава III. Разработка и исследование средств, обеспечивающих работоспособность предложенного автором дугогасящего устройства

Для работоспособности дугогасящего устройства, основанного на принципе дугогасящей решетки с автоматическим вводом в цепь активного сопротивления, устроенного так, как это описано выше, необходимо принять меры, исключающие повторные зажигания дуги.

Повторные зажигания дуги в дугогасящих устройствах постоянного тока высокого напряжения до сих пор исследо-

ваны недостаточно. В литературе об этом явлении встречаются лишь краткие упоминания без достаточных рекомендаций по их предупреждению.

Как известно, после прохода дуги вверх в нижней части камеры остается пламя т. е. ионизированный газ, электрическая прочность которого значительно ниже прочности нейтрального воздуха. Если скорость деионизации пламени отстает от скорости нарастания напряжения, то это приводит к дуговому пробою ионизированной среды.

Для ускорения восстановления электрической прочности пространства в дугогасящем устройстве, где перемещалась дуга и где скорость восстановления напряжения велика, а расстояние между разнопотенциальными электродами мало, автором были исследованы различные способы удаления пламени из камеры в атмосферу, уменьшение объема пламени за счет уменьшения объема движущихся дуг, деионизация пламени в щелях между соседними сторонами U-образных скобок дугогасящей решетки, а также путем ввода в пламя паров цинка, который испарялся дугой из латунных рогов дугогасящего устройства и др.

Среди перечисленных способов особо эффективным устройством, удаляющим пламя из камеры в атмосферу и пропускающим пламя назад в сторону контактов, являются разработанные и примененные нами впервые в практике дугогашения двухсторонние сквозные жалюзийные решетки, сложенные своими фронтами в одной плоскости так, что перья (ребра) решеток образуют елочку.

Благодаря жалюзийным решеткам и выхлопным щелям, а также сближению скобок между собой и применению латунных рогов, удалось устранить повторные зажигания дуги при скорости нарастания напряжения на ней, достигающей до $4 \cdot 10^6$ в/сек и токах до 12000а.

В отличие от общепринятых в настоящее время дугогасящих устройств, которые стараются уплотнить и закупорить, предложенное дугогасящее устройство должно быть максимально открыто и иметь выхлопные щели в каждой промежулке между U-образными скобками, а горловина должна быть прикрыта сквозными жалюзийными решетками. Благодаря этому давление газов в устройстве и звуковой эффект при отключении удается сильно снизить.

Ликвидацией повторных зажиганий дуги и общим снижением объема пламени удалось одновременно ликвидировать и дуговые замыкания за пределами дугогасящего устройства.

В таких устройствах скорость движения дуги доходит до 300 м/сек., благодаря чему оплавление элементов дугогасящей решетки не наблюдается, если дуга не успевает дойти до концов U-образных скобок ранее окончания дугогашения.

Указанные жалюзийные решетки были исследованы автором на основе законов газовой динамики сверхзвуковых скоростей, путем продувки их сжатым воздухом, фотографированием в момент сгорания в них плавких вставок, а также в дугогасящих камерах при отключении коротких замыканий с токами более 11000 а и напряжении до 4700 в.

С целью предупреждения оплавления дугой концов скобок решетки было рассмотрено теоретически и проверено экспериментально несколько способов, которые могли бы снизить скорость движения дуг вдоль сторон U-образных скобок. Оказалось, что снизить эту скорость до допустимого значения и не допускать остановку дуг у концов скобок без специальных мер не удастся, так как собственное магнитное поле дугогасящей решетки слишком велико.

Установлено, что для устранения оплавления концов скобок необходимо увеличить их длину, чтобы дуга погасла не доходя до концов.

Общий средний нагрев фехралевых скобок дугогасящей решетки за одно отключение, как показали расчеты и эксперименты, не превышает 100°C.

Глава IV. Результаты экспериментальной проверки дугогасящего устройства и рекомендации по конструированию дугогасящих устройств для быстродействующих выключателей различного назначения

В процессе разработки мощного дугогасящего устройства к быстродействующим выключателям автором выполнено и всесторонне исследовано большое число вариантов таких устройств, для применения при разрыве больших или меньших токов в тех или иных конкретных условиях.

Характерными особенностями, свойственными разработанному дугогасящему устройству, являются следующие: с момента образования дуги на контактах, как показывают осциллограммы, ток резко уменьшается и дуга гаснет за 8—20 мсек в зависимости от индуктивности цепи. Напряжение на дуге возрастает до максимума за 2—8 мсек в зависимости от конструкции каналов для дуги. Максимальное пе-

ренапряжение бывает в начале, а не в конце дугогашения, чем и обусловлена большая ограничивающая способность устройства.

Время заполнения дугой всего дугогасящего устройства зависит только от конструктивного выполнения каналов между рогами камеры и между пакетами из U-образных скобок и составляет от 2 до 8 мсек.

Сравнение расчетного тока при отключении короткого замыкания разработанным устройством с осциллограммой дает очень хорошее совпадение, если расчет вести не по напряжению холостого хода выпрямителя, а по усредненному напряжению. Это свидетельствует о корректности предложенных формул. По этим формулам можно проанализировать дугогасящее устройство до его изготовления и без экспериментальной проверки, что для других дугогасящих устройств до последнего времени не удавалось.

Ограничивающая способность разработанных дугогасящих устройств, испытанных на выключателях ВАБ-42-6000/30 с реле РДШ такова, что максимальный ток на осциллограммах равен току уставки (при скорости нарастания тока около $500 \times 10^3 \text{ а/сек}$), что доказывает высокие качества как дугогасящего устройства, так и нового выключателя ВАБ-42-6000/30 завода Уралэлектротяжмаш, изготавливаемого на номинальный ток 6000 а, ток уставки до 9000 а и номинальное напряжение 4000 в.

Выключатель должен разрывать цепь с минимальным током, равным 5% номинального тока. Разработанное дугогасящее устройство надежно гасит дугу при малых токах (ниже 300—500 а), но время дугогашения повышается и составляет 20—25 мсек.

В работе приводятся рекомендуемые автором варианты конструкций дугогасящих устройств, предназначенных для быстродействующих выключателей, рассчитанных на различные номинальные токи (9000, 6000, 4000 а и меньше), а также приводятся исходные данные и порядок расчета дугогасящих устройств.

Основные результаты исследования

1. Доказана целесообразность и техническая возможность применения принципа дугогасящей решетки (в виде дугогасящего устройства, в котором решетка обладает активным сопротивлением и собственным магнитным дутьем) для создания мощных дугогасящих устройств к быстродействующим выключателям при напряжении 4 кв.

2. Предложены формулы, позволяющие вести расчеты при разработке конструкции указанного дугогасящего устройства и дающие возможность анализировать дугогашение до изготовления камер, что ранее не удавалось.

3. Дана методика расчета перенапряжений, возникающих при отключениях коротких замыканий и указаны пути ограничения этих перенапряжений в допустимых пределах.

4. Даны конструктивные решения, позволяющие достигать максимального перенапряжения вначале, а не в конце дугогашения, при скорости нарастания перенапряжения до $4 \cdot 10^6$ в/сек., что не достигалось в других камерах. В последний момент разрыва цепи с индуктивностью до 10 мгн перенапряжения не возникают.

5. Показана очень высокая эффективность предложенного дугогасящего устройства. Время дугогашения устройством при токе до 10 ка составляет около 10 мсек при индуктивности 5 мгн и около 20 мсек при 10 мгн. С момента образования дуги на контактах выключателя ток при отключениях коротких замыканий возрастает не более чем на 1000а.

6. Раскрыт механизм проникновения дуги в разработанную дугогасящую решетку и объяснены причины остановки дуги перед обычной дугогасящей решеткой при высоком напряжении.

7. Впервые исследованы и применены различные способы предупреждения повторных зажиганий дуги в дугогасящем устройстве. Особенно эффективными мероприятиями в этом отношении оказались сквозные двухсторонние жалюзийные решетки и ребристые планки, пропускающие дугу и пламя только в одном направлении, а также узкие выхлопные щели, сближение соседних скобок между собой и ввод в дугу и в пламя паров цинка, выделяемых из латуных рогов движущейся по ним дугой. Эти решения могут быть использованы не только для быстродействующих выключателей, а и в дугогасящих устройствах других аппаратов.

8. Одновременно с повторными зажиганиями те же мероприятия позволяют устранить дуговые перекрытия вне камеры, несмотря на интенсивный выброс пламени из камеры.

9. Разработано и проверено несколько вариантов дугогасящих устройств для отключения токов до 10 ка при напряжении 4 кв и индуктивности до 10 мгн.

10. Установлена и проверена возможность создания дугогасящих устройств в объемном исполнении со значительно меньшими габаритами и более устойчивых в термическом

отношении, чем плоские дугогасящие устройства, для разрыва токов более 10 ка при 4 кв и индуктивности 10 мгн.

11. Получена реальная возможность создания дугогасящих устройств к быстродействующим выключателям 6 кв и выше для разрабатываемой в СССР системы электрической тяги повышенного напряжения постоянного тока.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах

1. МИХАЙЛЕНКО Е. А. Пути повышения отключающей способности быстродействующих выключателей постоянного тока. Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, вып. 58, Транспорт, М., 1966.
2. МИХАЙЛЕНКО Е. А. Экспериментальное исследование дугогасящей решетки с собственным магнитным дутьем и активным сопротивлением. Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, вып. 66, Транспорт, М., 1966.
3. МИХАЙЛЕНКО Е. А. Устройство для гашения дуги в электрических выключателях. Официальный бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР, № 9, 1967 (авторское свидетельство № 194904, 1967).

Исследования освещены также в 3 отчетах, представленных автором заводу «Уралэлектротяжмаш» и Главному управлению электрификации и энергетического хозяйства МПС.

Результаты исследований автора были доложены на Всесоюзной научно-технической конференции по усовершенствованию устройств электрической тяги в Омске в 1967 году, а также на заводе «Уралэлектротяжмаш» в 1969 г., в Главном управлении электрификации и энергетического хозяйства МПС в 1968 и 1969 годах, и в службе электрификации Свердловской железной дороги в 1968 г.

На основе исследований автора завод «Уралэлектротяжмаш» по заданию ЦЭ МПС в текущем году изготавливает партию опытных быстродействующих выключателей на номинальный ток 6000 а и напряжение 4 кв с дугогасящими устройствами, принципы которых изложены в диссертации.

НТБ
ДНУЖТ

Сканировала Юнаковская В. В.

БТ 14008. Подписано к печати 12 мая 1969 года.
Бумага 60x84^{1/16}. Объем 1,12 печ. л. Заказ № 4671. Тираж 200.

Городская типография № 3 областного управления по печати.
Днепропетровск-2, ул. Фрунзе, 6