

621.38  
**Библиотека  
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

**А. А. Фингер**

**Ртутные  
выпрямители**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»**

621-31  
99-59

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 149

А. А. ФИНГЕР

457891

РТУТНЫЕ  
ВЫПРЯМИТЕЛИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА

1964

ЛЕНИНГРАД

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В.,  
Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. Н., Смирнов А. Д.,  
Устинов П. И.

УДК 621.314.65

Ф 59

*В брошюре изложен принцип действия ртутных выпрямителей, приведены схемы выпрямления и даны основные соотношения, имеющие место при работе этих схем. Рассмотрены конструкции современных ртутных выпрямителей, даны их классификация и параметры.*

*Брошюра предназначена для широкого круга электромонтеров, бригадиров и мастеров, занятых монтажом и эксплуатацией установок со ртутными выпрямителями.*

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Принцип действия вентиля . . . . .	6
2. Типы ртутных вентиляей . . . . .	9
3. Вспомогательные устройства . . . . .	11
4. Обратные зажигания . . . . .	18
5. Конструкция ртутных выпрямителей . . . . .	21
6. Схемы выпрямления . . . . .	36
7. Основные соотношения электрических величин в выпрямительных схемах . . . . .	46
8. Элементы ртутно-преобразовательных агрегатов . . . . .	50
Приложения . . . . .	56
Литература . . . . .	65

*Фингер Александр Абрамович. Ртутные выпрямители,*

М.—Л., издательство «Энергия», 1964. 64 с. с черт. (Биб-ка электромонтера  
Вып. 149)

Тематический план 1964 г., № 209

Редактор *И. П. Шумиловская*

Техн. редактор *В. Н. Малькова*

Сдано в набор 17/IX 1964 г.

Подписано к печати 4/XI 1964 г.

T-14899

Бумага 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>

3,28 печ. л.,

3,38 уч.-изд. л.

Тираж 20500 экз.

Цена 12 коп.

Заказ 1548

Московская типография № 10 Главполиграфпрома  
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.  
Шлюзовая наб., 10.

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

В решениях XXII съезда КПСС особо отмечено, что коммунистическая партия рассматривает комплексную автоматизацию и механизацию производственных процессов и установок как основное средство технического прогресса, без которого невозможен дальнейший рост производительности труда. С каждым днем увеличивается число действующих автоматизированных установок, в которых неотъемлемыми элементами являются статические преобразователи — ртутные вентили.

Важнейшими преимуществами ртутных вентилях по сравнению с вращающимися преобразователями являются: более высокий к. п. д., практическая безынерционность в работе, меньшие размеры и вес, а следовательно, и отсутствие специальных фундаментов, меньшая стоимость, отсутствие вращающихся частей, сравнительная простота конструкции и легкость обслуживания.

Наиболее широко ртутные вентили применяются для преобразования переменного тока в постоянный, так как на современном этапе развития энергетики и электромашиностроения практически вся электроэнергия в СССР и за рубежом вырабатывается в виде трехфазного переменного тока и только около 20—25% электроэнергии потребляется в виде постоянного тока.

Постоянный ток применяется для электрифицированного транспорта (железные дороги, метрополитен, трамвай, троллейбус, электровозная откатка в шахтах и карьерах), для питания промышленных установок (мощные краны, станки и механизмы), для электролиза и для регулируемого электропривода прокатных станов и шахтных подъемников.

В брошюре описаны ртутные выпрямители. Об их использовании даны общие сведения, так как схемам управления со ртутными выпрямителями, их наладке, формовке и эксплуатации будут посвящены другие брошюры в «Библиотеке электромонтера».

---

---

---

### **Пояснение терминов, встречающихся в тексте**

**Ртутный вентиль** — прибор, пропускающий ток в одном направлении — к катоду, заполненному жидкой ртутью, с одним или несколькими главными анодами и со вспомогательными электродами, предназначенными для зажигания, поддержания дуги и управления моментом зажигания рабочих анодов, и имеющий общий вакуумный корпус.

**Ртутный преобразователь** — комплект из одного или нескольких ртутных вентилях, объединенных в конструктивное целое, с системой охлаждения, а также с приборами и аппаратами для работы преобразователя.

**Преобразовательный агрегат** — комплект оборудования из ртутного преобразователя, преобразовательного трансформатора, укомплектованного в случае необходимости уравнительным реактором, анодными делителями и утроителем частоты, катодным и анодными быстродействующими выключателями или сеточной защитой.

**Анодный делитель** — электромагнитное устройство для равномерного распределения тока между одновременно работающими анодами, присоединенными к одной фазе вентильной обмотки трансформатора.

**Уравнительный реактор** — электромагнитное устройство для уравнивания мгновенных значений двух (или более) смежных сдвинутых по фазе напряжений с целью увеличения числа одновременно работающих анодов.

**Сглаживающий реактор** — электромагнитное устройство, предназначенное для сглаживания пульсирующего тока преобразователя.

**Утроитель частоты** — электромагнитное устройство, подмагничивающее током тройной частоты уравнительный реактор.

**Максимальное обратное напряжение вентиля**  $U_{\text{обр. макс}}$  — допустимое мгновенное значение обратного напряжения между анодом и катодом, определяемое конструкцией вентиля.

**Номинальный ток вентиля  $I_a$**  — среднее арифметическое значение тока анода за один период для одноанодного вентиля или сумма среднеарифметических значений тока анодов за один период для многоанодных вентиляей.

**Номинальное напряжение преобразователя или преобразовательного агрегата  $U_a$**  — среднее значение напряжения, указанное на щитке преобразователя, измеренное между положительным и отрицательным его полюсами при номинальном токе преобразователя, угле регулирования, равном нулю, и номинальном напряжении питающей сети.

**Напряжение холостого хода преобразовательного агрегата  $U_{a0}$**  — среднее значение напряжения между положительным и отрицательным полюсами преобразовательного агрегата, без учета падения напряжения в дуге и без учета пика холостого хода в схемах с уравнительным реактором.

**Номинальный ток преобразователя и преобразовательного агрегата  $I_a$**  — среднее значение тока, указываемое на щитке, который должен длительно давать преобразователь при номинальном напряжении. Номинальный ток преобразовательного агрегата равен номинальному току преобразователя или сумме токов преобразователей, входящих в состав агрегата.

**Номинальная мощность преобразователя (или преобразовательного агрегата)  $P_a$**  — произведение номинального тока преобразователя (преобразовательного агрегата) на его номинальное напряжение.

**Номинальный первичный ток преобразовательного трансформатора** — действующее значение линейного тока сети, потребляемого преобразовательным трансформатором при номинальной нагрузке преобразователя.

**Типовая мощность преобразовательного трансформатора** — мощность эквивалентного ему по размерам силового трансформатора, предусмотренного по ГОСТ 401-41.

**Угол регулирования  $\alpha$**  — угол в электрических градусах, измеренный от момента естественного зажигания очередного анода до момента его фактического зажигания в выпрямительном режиме преобразователя.

**Угол коммутации  $\gamma$**  — угол в электрических градусах, определяющий время перехода тока с анода, окончившего работу, на анод, вступающий в работу.

---

## 1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ВЕНТИЛЯ

Действие ртутного вентиля основано на том, что в ионизированном газе при низком давлении достаточно приложить к аноду незначительное положительное по отношению к катоду напряжение, чтобы на анод шел электронный ток. Источником первоначальных электронов является катодное пятно, поддерживаемое вспомогательной дугой на ртутном катоде. Достаточно вблизи анода незначительной ионизации газа, чтобы при появлении положительного напряжения на аноде на нем зажглась дуга. В своем продвижении к аноду электроны ионизируют газ и при горении дуги будут поддерживать необходимую степень ионизации.

Из всех видов газового разряда наиболее полно условиям ртутного вентиля отвечает дуговой разряд при ртутном катоде. Дуга самостоятельного разряда, являющаяся проводником тока внутри вентиля, горит в парах ртути, заполняющих его внутренний объем. В вентиле предварительно создается высокий вакуум путем удаления из вентиля и внутренних деталей его, а также электродов, воздуха и других газов (формовка вентиля и обезгаживание, т. е. освобождение вентиля от газовых включений).

Использование ртути в катоде делает вентиль почти неизнашиваемым, так как испаряющаяся с катода ртуть в процессе эксплуатации конденсируется на охлаждаемых водой или воздухом стенках корпуса вентиля и стекает обратно в катод.

Дуговой разряд в ртутном вентиле (рис. 1) обладает тем свойством, что разность потенциалов между анодом  $A$  и катодом  $K$  остается почти неизменной (порядка 18—25 в) независимо от выпрямленного тока. Эта разность потенциалов устанавливается во время дугового разряда и называется падением напряжения в дуге  $\Delta U_d$ . Когда напряжение, приложенное к аноду и катоду, будет меньше  $\Delta U_d$ , электрический разряд прекратится.

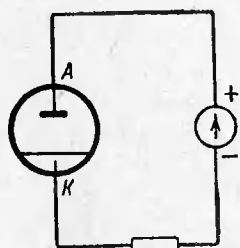


Рис. 1. Схема работы вентиля.

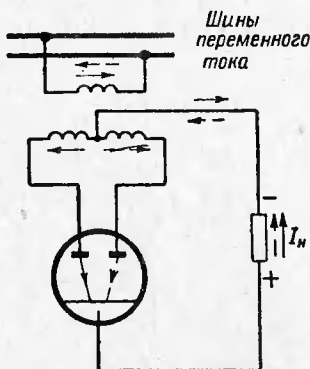


Рис. 2. Схема однофазного выпрямления.

Если к вентилю приложить напряжение обратной полярности, когда анод отрицателен, а катод положителен, дугового разряда не будет, потому что при нормальном состоянии графитового анода на нем не возникает катодного пятна и он не обладает способностью эмиттировать (отдавать) электроны.

Указанные свойства ртутного вентиля и используются для того, чтобы выпрямлять ток. На рис. 2 дана схема выпрямления однофазного тока двумя анодами. При синусоидальном напряжении тока в первичной обмотке трансформатора аноды будут становиться положительными в разные моменты времени. В течение той половины периода, когда анод 1 положителен, ток проходит от анода к катоду во внешней цепи и обратно к нулевой точке трансформатора в направлении, указанном сплошной стрелкой. В течение той половины периода, когда положителен анод 2, ток проходит от этого анода к катоду по внешней цепи, как показано пунктирной стрелкой. Таким образом, по цепи нагрузки ток прохо-

дит в одном направлении в течение обоих полупериодов.

Если несколько анодов имеют положительный потенциал, то ток будет протекать по аноду, имеющему наиболее высокий потенциал. Например, в трехфазном вентиле или в комплекте из одноанодных вентилях напряжения анодов достигают наибольшего положительного потенциала поочередно; по этой причине они будут проводить ток в определенной последовательности, так что каждый из них будет работать в течение одной трети периода (если пренебречь периодом коммутации, т. е.

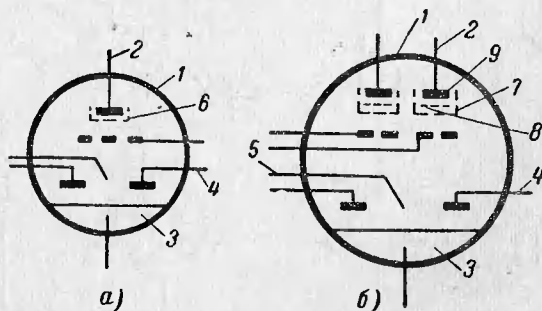


Рис. 3. Конструктивные схемы ртутных вентиляей.

*a* — одноанодный; *b* — многоанодный; 1 — корпус; 2 — ввод главного анода; 3 — катод; 4 — анод возбуждения; 5 — анод зажигания; 6 — сетка; 7 — манжета; 8 — фильтр; 9 — анодная головка.

временем, в течение которого происходит переход тока с анода, окончившего работу, на анод, вступающий в работу). Переход дуги с одного анода на другой при отсутствии сеточного управления соответствует точкам пересечения положительных частей синусоиды, являющимся точками естественного зажигания вентиляей.

Снабжая ртутные вентиляи управляющими сетками (§ 3), устанавливаемыми между анодом и фильтром, можно задержать момент зажигания или перехода дуги с одного анода на другой, на любой угол зажигания (регулирования)  $\alpha$ . С помощью управляющих сеток имеется возможность регулировать величину выпрямленного напряжения и тока теоретически в диапазоне от 100% до нуля (на практике этот диапазон меньше и зависит от условий работы выпрямителя).

На рис. 3 приведены конструктивные схемы одноанодного и многоанодного ртутных вентиляей.

Ртутные вентили обеспечивают прохождение больших токов при относительно малом падении напряжения в дуге и поэтому являются весьма экономичным и сравнительно долговечным типом ионного прибора, находящим широкое применение при преобразованиях тока.

## 2. ТИПЫ РТУТНЫХ ВЕНТИЛЕЙ

Ртутные выпрямители, представляющие комплект из одного или нескольких вентиляей, включенных по определенной схеме выпрямления, разделяются на следующие типы: 1) многоанодные стеклянные экситроны (с постоянно горящей дугой возбуждения); 2) одно- и многоанодные металлические экситроны; 3) стеклянные, стекляннo-металлические и металлические игнитроны с периодической (синхронной) системой зажигания.

Стеклянные и стекляннo-металлические двух- и треханодные ртутные выпрямители применяются для выпрямления относительно небольших токов при сравнительно низком напряжении. Наиболее мощные выпрямители этого типа рассчитаны на максимальный выпрямленный ток 250 а и максимальное выпрямленное напряжение 500 в. Металлические ртутные выпрямители в основном применяются в промышленных установках большой и средней мощности, а также на тяговых подстанциях постоянного тока и электровозах однофазного тока.

Кроме системы зажигания и материала, из которого изготавливается корпус вентиля, вентили характеризуются системой поддержания вакуума и системой охлаждения.

По методу поддержания вакуума вентили делятся на: 1) откачные разборные; 2) откачные неразборные; 3) запаянные (безнасосные). Первые снабжаются постоянно действующей насосной установкой, у вторых насосная установка откачивает накопившиеся в них газы только после длительного периода их работы (периодическая откачка), а третий, наиболее совершенный метод поддержания вакуума совсем не нуждается в насосной установке, поскольку вентили выполняются герметическими.

Для поддержания требуемой оптимальной температуры катода и вакуумного корпуса, от которой зависит нормальная плотность ртутных паров в вентиле, наиболее широко применяются водяная и воздушная системы охлаждения.

В буквенных обозначениях типовых наименований вентиляей учитываются перечисленные выше классификационные признаки. В соответствии с ГОСТ 2329-62 на «Агрегаты преобразовательные с ртутными металлическими вентилями», типы многоанодных вентиляей должны обозначаться буквами РМ (ртутный металлический общего назначения) или РМУ (ртутный металлический управляемый). После этих букв в скобках указывается число анодов, затем через тире номинальный ток вентиля в амперах и прописная буква, характеризующая модель вентиля. Например, РМ(3)-300А — треханодный (3) вентиль общего назначения (РМ) на номинальный ток 300 а, модели А; РМУ(6)-500В — шестианодный (6) вентиль для электропривода (РМУ) на номинальный ток 500 а, модели В.

Типы одноанодных вентиляей обозначаются буквами, характеризующими способ зажигания: И — игнитрон, Э — экситрон. При водяном охлаждении добавляют вторую букву В (вода). К обозначению откачных и безнасосных (с периодической откачкой) вентиляей добавляют соответствующую букву Н (насосные) или П (периодическая откачка). Кроме того, у вентиляей для электропривода после всех указанных букв добавляют букву У (управляемый). Номинальный ток вентиля в амперах проставляют через тире, максимальное обратное напряжение в киловольтах — через знак дроби. Затем проставляют прописную букву, характеризующую модель. Например, И-250/2,5А — одноанодный запаянный игнитрон общего назначения, с воздушным охлаждением, на номинальный ток 250 а и максимальное обратное напряжение 2,5 кв, модели А; ЭВПУ-500/2,5В — экситрон с водяным охлаждением, безнасосный (с периодической откачкой), для электропривода, на номинальный ток 500 а и максимальное обратное напряжение 2,5 кв, модели В.

Одноанодные вентили по сравнению с многоанодными имеют некоторые преимущества: 1) меньшее падение напряжения в дуге и большая устойчивость при перегрузках из-за меньшего расстояния между анодом и ка-

годом; 2) отсутствие влияния дуг расположенных рядом горящих анодов на неработающие аноды, чем снижается вероятность обратных зажигания и облегчается сеточное управление; 3) упрощение изготовления вентилях вследствие небольших размеров; 4) упрощение эксплуатации и ремонта выпрямителей, так как при неисправности производится переборка и формовка только вышедших из строя вентилях; 5) уменьшение габарита и веса выпрямителей.

Однако одноанодные выпрямители в диапазоне токов примерно до 1 000 *a* уступают многоанодным в том отношении, что они требуют более сложной системы зажигания и возбуждения, вакуумной системы и системы охлаждения, в связи с чем у них несколько больший расход электроэнергии на эти вспомогательные устройства. Необходимо учитывать, что многоанодные вентили (экситроны) на токи до 1 000 *a* проще в изготовлении.

### 3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

#### Системы зажигания вентилях

Для первоначального образования на ртути катодного пятна, способствующего возникновению при положительном аноде самостоятельного дугового разряда между электродами, необходима система зажигания.

Зажигание состоит в образовании в вентиле кратковременной вспомогательной дуги на поверхности ртути с тем, чтобы катодное пятно этой дуги привело к развиту главной дуги или дуги возбуждения.

У ртутных вентилях отечественного производства, применяемых в промышленности и на электрифицированном транспорте, зажигание производится посредством брызгал, щелевых и полупроводниковых зажигающих.

Брызгало струйно-ртутной системы зажигания (рис. 4) состоит из прикрепленного к доннице катода 1, сопла 3 с осевым каналом, помещаемым в расточке сердечника 4, который пружиной 2 прижимается кверху. Все устройство помещается в вакуумной трубе, заполненной ртутью и приваренной к доннице катода. На трубку надета катушка электромагнита, по которой во время зажигания проходит импульс тока, и сердечник, быстро

Опускаясь вниз и вытесняя ртуть из трубки и канала, создает кратковременную ртутную струю, доходящую до расположенного над ртутным катодом анода зажигания. Этой струей замыкается, а затем размыкается цепь с током, состоящая из анода зажигания и катода. При разрыве цепи возникает дуга и сопутствующее ей катодное

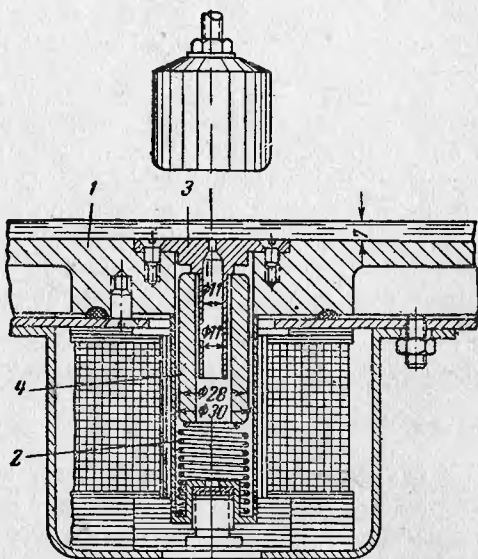


Рис. 4. Струйно-ртутная система зажигания.

пятно на ртути, поддерживаемое затем дугой возбуждения.

Щелевой зажигатель (рис. 5) устанавливается в специальную выточку на нижней части донницы катода 1 и уплотняется с помощью резинового кольца 2 и зажимной втулки 3. Ввод зажигателя 4 в катод осуществляется изолированно через втулку 5 внутрь керамической трубки 6, припаянной к этой втулке с помощью тонкого слоя эмали. Электрическое соединение с ртутью катода осуществляется через узкую щель в стенке керамической трубки, заполненной ртутью. Искра зажигания возникает при прохождении тока зажигания от ввода зажигателя к катоду благодаря разрыву ртутного мостика в узкой щели керамики за счет

электродинамических усилий и теплового эффекта тока. Необходимый для разрыва ртутного мостика ток получается от вторичной обмотки трансформатора зажигания, установленного на катоде.

Полупроводниковый зажигатель (рис. 6) изготавливается из материала, который химически не всту-

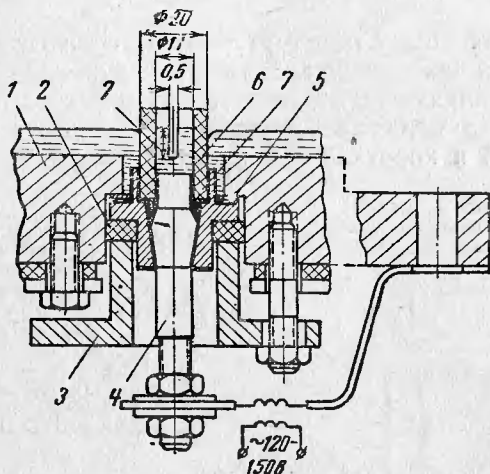


Рис. 5. Схема щелевого зажигателя.

пает в соединение со ртутью, не смачивается ею и термически устойчив к действию дуги.

В момент зажигания через зажигатель 1 протекает ток  $I$  от молибденового стержня 2 к ртути. Во время протекания тока в нижней части мениска ртути, имеющего выпуклую форму, вследствие несмачивания полупроводника возникает потеря напряжения  $U$ , возрастающая по мере увеличения тока. При токе 10—12 а разность потенциалов в зазоре между ртутью и полупроводником в нижней части мениска создает значительную напряженность электрического поля, под действием которой возникает эмиссия электронов с поверхности ртути, что приводит к появлению искр между

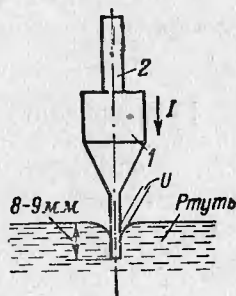


Рис. 6. Полупроводниковый зажигатель.

зажигателем и ртутью и к возникновению катодного пятна, необходимого для зажигания дуги возбуждения или главной дуги.

### Управляющие сетки<sup>1</sup>

Управляющие сетки у ртутных вентилях служат для облегчения зажигания анодов и регулирования выпрямленного напряжения. Сетки также могут быть использованы для быстросействующей защиты от обратных зажигания и коротких замыканий.

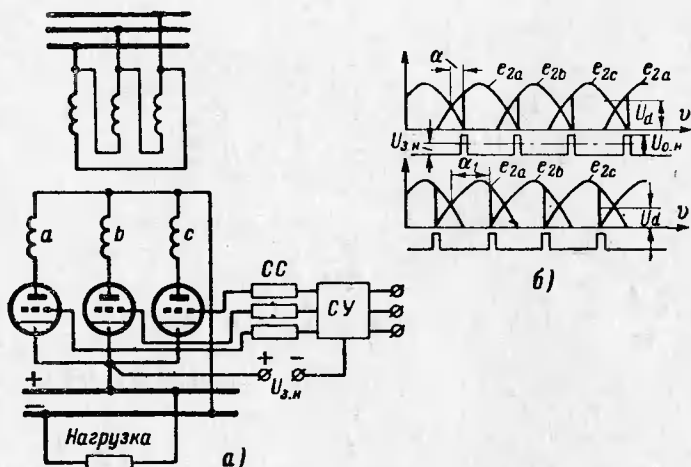


Рис. 7. Сеточное управление ртутным выпрямителем.  
 а — схема; б — диаграммы напряжений при разных углах регулирования ( $\alpha_1 > \alpha$ ).

Регулирование выпрямленного напряжения  $U_d$  с помощью управляющих сеток (рис. 7) достигается задержкой перехода дуги с анода на анод по сравнению с моментом естественного зажигания. Для этой цели на сетку в непроводящий период должно быть подано запи-

<sup>1</sup> Системы сеточного управления ртутными выпрямителями и их узлы подробно описаны в книге Шипилло В. П., Системы сеточного управления ртутными выпрямителями для автоматических электроприводов, Госэнергоиздат, 1961, а также в [Л. 3].

рающее напряжение  $U_{з.н.}$ , чтобы задержать зажигание анода. Для зажигания анода в нужный момент на сетку подается напряжение зажигания  $U_{о.н}$  (отпирающее напряжение).

### Поддержание вакуума

Надежная работа разборных вентилях зависит от степени разрежения в них воздуха и других газов. Однако достичь и сохранить необходимый вакуум в вентилях при самой тщательной сборке удастся только при условии постоянной откачки газов. Для этой цели на выпря-

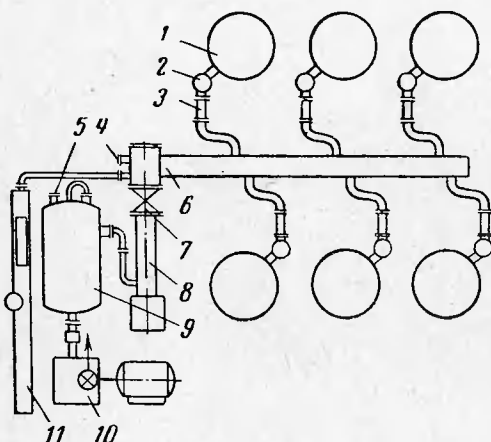


Рис. 8. Схема вакуумной системы выпрямителя.

мителе монтируется система откачки. Предварительное разрежение создается форвакуумным насосом, а конечное — создается и поддерживается ртутным насосом.

Во время эксплуатации выпрямителя ртутный насос работает непрерывно, откачивая натекающие и выделяющиеся газы в форвакуумный бак. Форвакуумный насос включается периодически на короткие периоды времени, предупреждая повышение давления в форвакуумном баке, при котором не может работать ртутный насос.

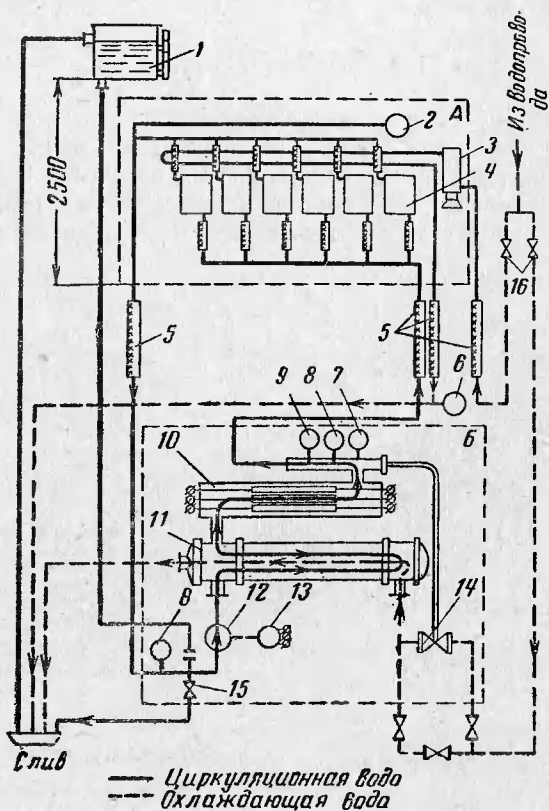


Рис. 9. Принципиальная схема замкнутого циркуляционного охлаждения выпрямителей.

А — ртутный выпрямитель; Б — теплообменник;

1 — расширительный бачок; 2 — электроконтактный манометр; 3 — ртутный насос; 4 — ртутный вентиль; 5 — изолирующие резиновые шланги; 6 — струйное реле ртутного насоса; 7 — манометр; 8 — сигнализатор температуры; 9 — струйное реле выпрямителя; 10 — электроподогреватель; 11 — корпус теплообменника; 12 — водяной насос; 13 — электродвигатель; 14 — терморегулятор; 15 — спускной кран; 16 — запорный кран.

На рис. 8 показана схема вакуумной системы выпрямителя с шестью вентилями. Каждый вентиль 1 присоединяется к общей вакуумной трубе 6 через свой вакуумный кран 2 и гибкую соединительную трубку 3. На торце трубы 6 имеются два патрубка: один из них 4 служит для присоединения вакуумного реле, второй — для ртутного вакуумметра 11. Форвакуумное и вакуумное реле предназначены для автоматического контроля и регулирования давления в вакуумной системе выпрямителя<sup>1</sup>. Ртутный диффузионный насос 8 присоединен к вакуумной трубе через общий вакуумный кран 7. Между ртутным 8 и форвакуумным 10 насосами расположен форвакуумный бак 9, к патрубку 5 которого можно присоединить форвакуумное реле.

### Поддержание температурного режима

Одним из главных условий нормальной работы ртутного выпрямителя является его температурный режим.

На рис. 9 показана схема циркуляционного охлаждения выпрямителей, в которой дистиллированная вода непрерывно циркулирует по замкнутому каналу, включающему водяные рубашки вентилялей.

Движение воды по замкнутому каналу осуществляется посредством водяного насоса 12 с электродвигателем 13. Из насоса вода поступает в теплообменник 11, пройдя который, через шланги 5 распределяется по водяным рубашкам вентилялей 4. По трубам теплообменника в обратном направлении пропускается холодная вода из водопровода, которая охлаждает дистиллированную воду. Если последнюю надо не охлаждать, а подогревать, то посредством вентилялей она направляется через электроподогреватель 10.

Регулирование интенсивности охлаждения в теплообменнике осуществляется терморегулятором 14, действующим в зависимости от температуры воды.

---

<sup>1</sup> Аппаратура контроля и регулирования режима ртутных выпрямителей большой мощности подробно описана в книжке Дидука Ю. И., Кутьина А. И., Опыт эксплуатации аппаратуры режимной автоматики ртутных выпрямителей («Библиотека электромонтера», вып. 119), «Энергия», 1964.

#### 4. ОБРАТНЫЕ ЗАЖИГАНИЯ

Сущность обратного зажигания состоит в том, что на аноде, ставшем отрицательным относительно катода, возникает катодное пятно. В этом случае анод становится источником электронов, которые направляются к другому аноду, имеющему в данный момент положительный по отношению к первому потенциал, и к катоду, в случае если клапан работает параллельно с другими. Возникновение обратного зажигания сопровождается прохождением через выпрямитель тока обратного направления.

Электрическая дуга возникает между «больным» и исправными анодами, что приводит к короткому замыканию фаз вторичной обмотки трансформатора и к короткому замыканию параллельно работающих выпрямителей.

Решающее влияние на возможность возникновения обратных зажиганий имеет состояние поверхности анода. Присутствие в какой-либо точке на поверхности анодной головки загрязнений или вкраплений веществ, содержащих щелочные или щелочноземельные элементы (пыль, наждак, следы пота, осколки фарфора или стекла, частицы извести или мела), значительно повышает вероятность обратных зажиганий.

На поверхности анода также опасны копоть с плохой электропроводностью и теплопроводностью и оксидные пленки, образовавшиеся окислением напыленных частиц. Наличие на аноде изоляционных пленок (пленок окиси) опасно тем, что поверхность пленки в непроводящий период заряжается ионами и между этой пленкой и отрицательным анодом может произойти искровой разряд. Вот почему анодная головка изготавливается из химически чистого графита, а при сборке или переборке выпрямителя необходимо соблюдать «вакуумную гигиену».

Увеличение обратного тока в непроводящий период также может вызвать обратное зажигание, которое возникает, если концентрация ионов у поверхности анода чрезмерно велика хотя бы в отдельных точках и если велика энергия бомбардирующих поверхность анода ионов.

Концентрация ионов тем больше, чем больше прямой ток на анод и чем больше плотность газа. Энергия ионов

тем больше, чем больше обратное напряжение. Особенно напряженным является момент погасания анода, когда концентрация ионов велика, а на аноде появляется скачок обратного напряжения. В этот момент поток ионов с большой энергией устремляется на погасший анод, и, бомбардируя его, может вызвать на нем зажигание катодного пятна — обратное зажигание.

Высокая плотность ртутных паров у анода может быть вызвана высокой температурой катода, испарением с разогретого анода капель ртутного конденсата, возникших на нем, когда он был холодным. Поэтому конструкция анода должна быть такой, чтобы на его тыльной части не могла конденсироваться ртуть в виде капель. Во время работы вентиля анод нагревается дугой до температуры  $600\text{--}700^\circ\text{C}$  и охлаждается в основном за счет теплового излучения.

Одной из эффективных мер борьбы с возрастанием обратного тока в выпрямителях является экранирование анодной головки манжетой, деионизационной решеткой-фильтром и сеткой. Действие манжеты, фильтра и сетки основано на том, что в проводящий период они заряжаются электронами до отрицательного потенциала, а в непроводящий период принимают ионы на себя. На их поверхностях происходит деионизация. Обратный ток уменьшается, так как на анод попадает уже только часть ионов.

С увеличением длины манжеты, уменьшением ее радиуса и величины отверстий фильтра и увеличением высоты фильтра обратный ток уменьшается; но так как при узких и длинных манжетах зажигание анода резко ухудшается, падение напряжения в дуге увеличивается и возрастает возможность обрыва дуги во время работы, то на практике выпрямители снабжаются короткими манжетами.

Слишком малая плотность ртутных паров вызывает увеличение падения напряжения в дуге в местах ее сужений и может привести к разрыву дуги и перенапряжениям на входящих в цепь индуктивностях и, как следствие, к обратному зажиганию. Повышенное давление газов загрязняет и окисляет поверхность анодов и этим увеличивает вероятность обратных зажиганий. На корпусе или на манжете в местах загрязнений возникает вторичное катодное пятно. Тогда дуга горит на корпус

или манжету и продолжает свой путь на анод со второго или третьего катодного пятна. В местах образования новых катодных пятен происходят перегрев и бурное выделение газа, способствующие возникновению обратного зажигания. При переборках следы каскадного горения дуги обнаруживаются на манжетах и корпусе в виде «елочек».

Если выпрямитель работает при напряжении, сниженном с помощью сеток, то в момент погасания анода на нем резко возрастает отрицательное напряжение относительно катода и энергия ионов, бомбардирующих анод, возрастает до большой величины, могущей в отдельных случаях вызвать катодное пятно на аноде.

Кроме указанных причин, возможно возникновение обратных зажиганий в результате попадания на анод ртутных капель, уносимых с катода уходящими от него струями ртутного пара. Проходя через ионную оболочку, возникающую у анода в начале непроводящей части периода, ртутные капли заряжаются положительно и при приближении к поверхности отрицательного анода создают на участке сближения электрическое поле, способное вызвать эмиссию электронов из анода.

Надежность работы выпрямителя зависит в основном от соблюдения режимов: температурного, нагрузочного и вакуумного. Перегрев выпрямителя, главным образом катода, вызывает увеличение плотности паров ртути, ведет к увеличению обратного тока на анод в непроводящую часть периода и увеличивает падение напряжения в дуге.

При перегрузках на выпрямителе в момент погасания очередного анода на него идет повышенный ионный ток в связи с увеличенной концентрацией ионов у анода после распада горевшей дуги. Кроме того, увеличивается и доля ионного тока на этот анод от дуги работающего анода.

Ухудшение вакуума выпрямителя (увеличение давления остаточных газов воздуха, паров воды или масла, повышенное натекание) повышает суммарное давление в выпрямителе, затрудняет зажигание анодов и увеличивает падение напряжения в дуге. Кроме того, при продолжительной работе с плохим вакуумом посторонние газы загрязняют выпрямитель и ведут к образованию копоти и окиси на анодах.

## 5. КОНСТРУКЦИЯ РТУТНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Для сравнительно небольших установок находят применение многоанодные стеклянные выпрямители (экситроны) и одноанодные металлические выпрямители (игнитроны). У стеклянных экситронов, изготавливаемых на низкие и средние напряжения, в качестве номинального принято напряжение  $U_{дн}=250$  в, а у металлических экситронов разборного типа принято  $U_{дн}=600$  в. Для одного и того же выпрямителя при напряжениях, меньших 600 в, величина допускаемого выпрямленного тока сохраняется такой же, как и при 600 в. При более высоких напряжениях допускаемый ток несколько уменьшается, так как он ограничивается возникновением в вентиле обратных зажигания. Экситронам и игнитронам присуще основное преимущество приборов с жидким катодом — высокая перегрузочная способность.

### Ртутные выпрямители ЭВНУ (АРМНВ) <sup>1</sup>

Ртутные выпрямители ЭВНУ-500×6 и ЭВНУ-500×12 состоят из шести конструктивно обособленных вентилях с постоянно горящей во время работы дугой возбуждения.

Корпус вентиля, показанный в разрезе на рис. 10, представляет собой стальной цилиндр, герметически закрытый снизу донницей катода, а сверху крышкой с анодом. Снаружи корпус закрыт цилиндрической стальной рубашкой. Вода для охлаждения проходит между стенкой корпуса и рубашкой по спиральным каналам.

Главный анод состоит из графитовой анодной головки 8, навинчиваемой на стальной стержень 2 и закрепляемой на нем посредством упорного кольца 5. К стержню ниже радиатора приваривается фланец, а между фланцем и верхней крышкой вакуумного корпуса помещается анодный изолятор 1, изолирующий анод от корпуса. Фланец соединяется с крышкой шестью металлическими шпильками, изолированными от фланца изоляционными трубками и закрываемыми сверху фарфоровыми стаканами.

<sup>1</sup> Обозначение по ГОСТ 2329-62, в скобках — прежнее типовое обозначение.

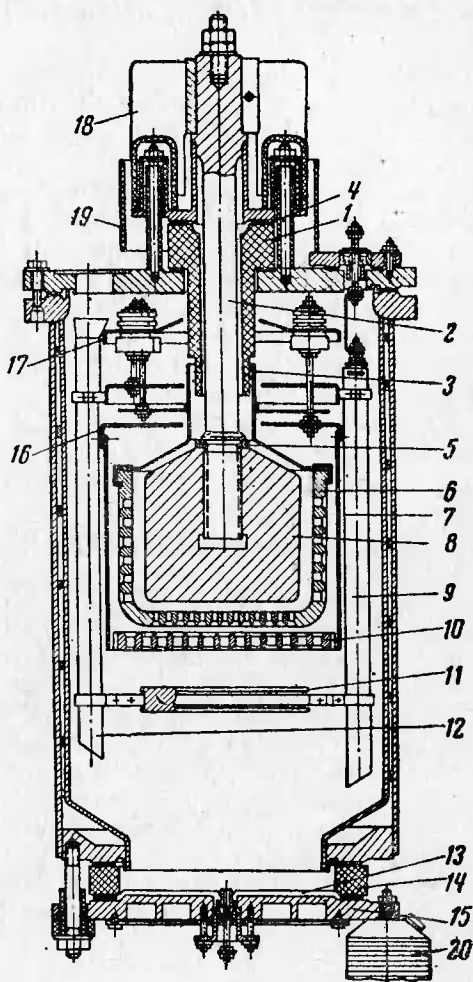


Рис. 10. Разрез ртутного вентиля ЭВНУ.

1 — анодный изолятор; 2 — стальной стержень; 3 — коронка внутренней сетки; 4 — резиновое уплотнение; 5 — упорное кольцо; 6 — внутренняя графитовая сетка; 7 — манжета наружной сетки; 8 — анодная головка; 9 — манжета анодов возбуждения; 10 — наружная сетка; 11 — отражатель; 12 — воронка для ртути; 13 — ртуть; 14 — катодный изолятор; 15 — донница катода; 16 — крышка; 17 — тепловой экран; 18 — радиатор; 19 — экран; 20 — трансформатор зажигания.

Анодная головка охватывается одной внутренней чашеобразной графитовой сеткой *б* с цилиндрическими отверстиями и иногда второй наружной плоской сеткой *10*, расположенной ниже. Сетки изолированы от анода и друг от друга. Их коронки *з* соединены с вводами, расположенными на крышке вентиля.

В корпусе вентиля находятся два анода возбуждения и графитовый отражатель (экран) *11*, который предохраняет анод и сетки от потока ртутных паров и брызг ртути с катода, а также служит для защиты ртути катода от нагрева теплом, излучаемым анодной головкой. Катод вентиля состоит из металлической донницы *15*, в которую вмонтирован щелевой зажигатель. От корпуса катод изолирован посредством изолятора *14*. К доннице также прикреплен трансформатор щелевого зажигания *20*.

Донница охлаждается снизу водой по кольцевому каналу между ней и водяной рубашкой и крепится вместе с изолятором к нижнему фланцу корпуса посредством изолирующих шпилек и втулок. Чтобы ртуть при движении с цилиндра в донницу не стекала по изоляторам и не создавала проводящего мостика, нижний фланец корпуса имеет бортик, который, кроме того, предохраняет изолятор от загрязнения частицами, попадающими из дугового пространства.

Каждый вентиль изолируется от рамы и один от другого. Изоляция от рамы осуществляется посредством гетинаксовых шайб.

Кроме того, рама вентиля также изолируется посредством изоляторов от земли.

Каждый из шести ртутных вентилях монтируется вместе с системой охлаждения и системой откачки на общей раме (рис. 11). Для повышения надежности работы выпрямителя и увеличения устойчивости работы возбуждения вентиля устанавливаются на раму изолированно при помощи гетинаксовых шайб, бакелизированных шпилек, гетинаксовой планки и установочной шпильки. Вентиль присоединяется к общей вакуумной трубе *з* вакуумным калачом *1*, изготовляемым из бесшовной стальной трубы. Для изоляции вентиля от последней вакуумный кран его устанавливается на изоляторе. Вакуумный кран имеет водяную рубашку, омываемую проточной водой. Вакуумные уплотнения для калачей сальникового

типа обеспечивают полную взаимозаменяемость вентиляй.

Зажигание и возбуждение ртутного вентиля. В экситронах катодное пятно первоначально возникает в момент разрыва контакта анода зажига-

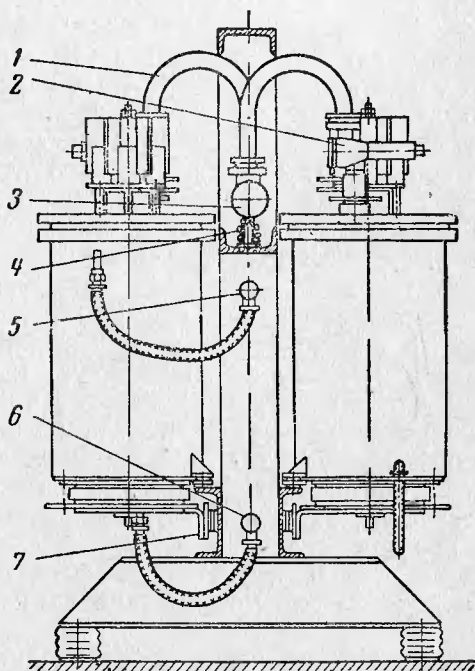


Рис. 11. Установка вентиля на раме.

1 — вакуумный калач; 2 — вакуумный кран;  
3 — вакуумная труба; 4 — провода вторичной  
коммутации; 5 — отводящая водяная труба;  
6 — подводящая водяная труба; 7 — катодные  
шины.

ния с ртутью катода при прохождении через них тока. Возникшее катодное пятно поддерживается в последующем непрерывно работающими анодами возбуждения.

У многоанодных металлических ртутных вентиляй применяется устройство с иглой зажигания 7 (рис. 12), погружаемой в ртуть действием катушки зажигания 6 при включении трансформатора зажигания и возбужде-

ния. Игла при касании ею поверхности ртути шунтирует катушку зажигания и силой пружины 9 оттягивается, образуя между острием иглы и катодом начальную дугу зажигания, после чего устанавливается дуга возбуждения.

Система сеточного управления. Схема сеточного управления для 6- и 12-фазного выпрямления приведена на рис. 13 (схема с пик-генератором). Пик-генератор (т. е. комплект насыщающихся трансформато-

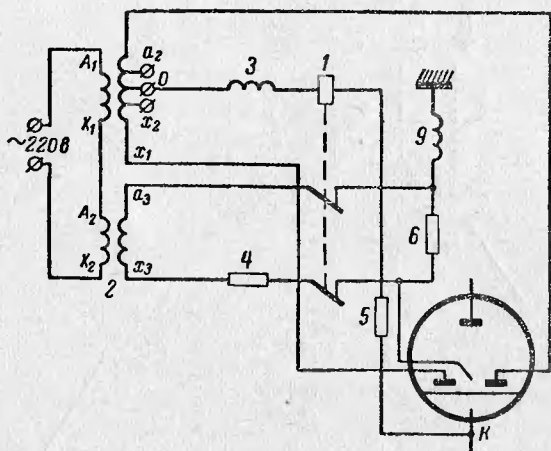


Рис. 12. Схема зажигания и возбуждения многоанодного вентиля.

1 — контактор; 2 — трансформатор возбуждения; 3 — дроссель; 4 — сопротивление; 5 — сопротивление возбуждения; 6 — катушка зажигания; 7 — игла зажигания; 8 — аноды возбуждения; 9 — пружина.

ров) состоит из шести однофазных пик-трансформаторов (импульсных трансформаторов) с общим быстронасыщающимся сердечником с двумя первичными обмотками (основной и дополнительной), присоединенными к разным фазам питающей сети. Пик-трансформаторы присоединяются к сети через ненасыщенные дроссели. Соотношение магнитодвижущих сил (м. д. с.) основной и дополнительной обмоток рассчитано так, что результирующие м. д. с. в сердечниках пик-трансформаторов сдвинуты между собой на  $30^\circ$ .

На каждом сердечнике размещены по две вторичные обмотки; начала всех 12 вторичных обмоток соединены

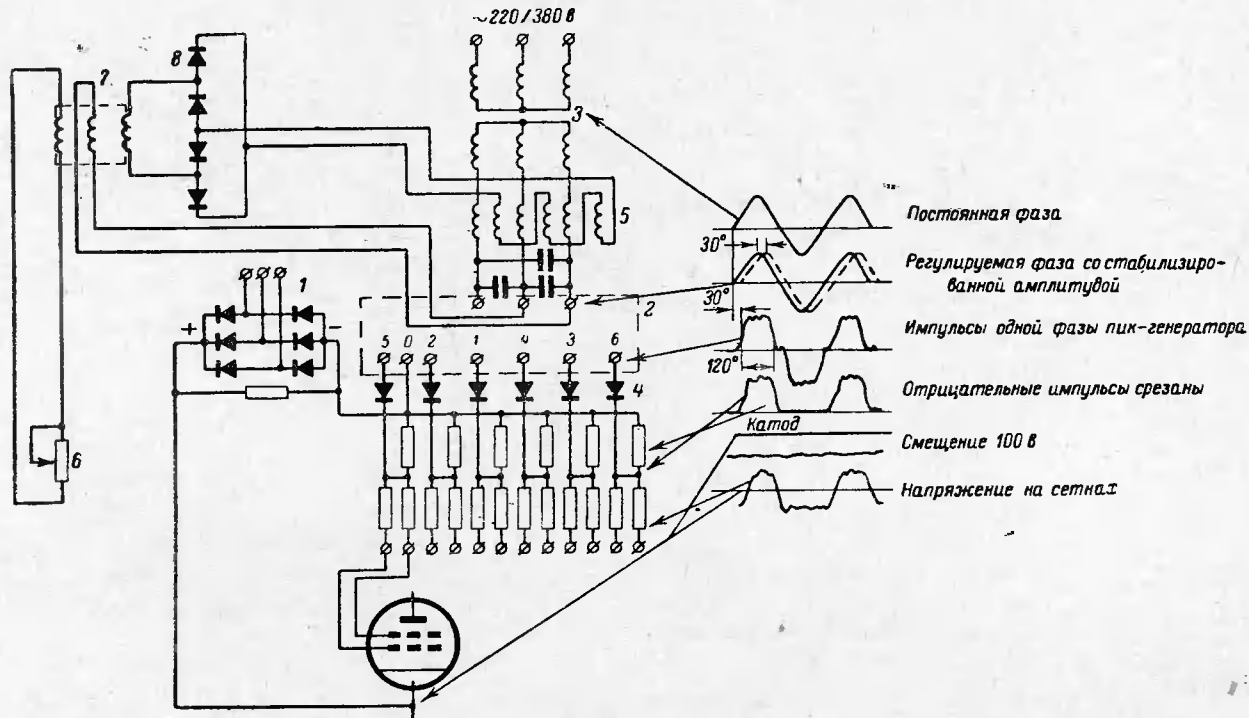


Рис. 13. Схема сеточного управления.

1 — полупроводниковый выпрямитель смещения; 2 — пик-генератор; 3 — сеточный трансформатор; 4 — выпрямители для среза отрицательного сеточного напряжения; 5 — дроссели с подмагничиванием; 6 — сеточный реостат; 7 — трансформатор, подающий регулируемое напряжение к 8; 8 — выпрямители для питания обмоток подмагничивания дросселей.

вместе. В момент перехода результирующей м. д. с. через нуль во вторичных обмотках возникает импульс напряжения; импульсы напряжения сдвинуты между собой, как и результирующие м. д. с., на  $30^\circ$  и, следовательно, пригодны для питания сеток при 12-фазном выпрямлении.

В схеме «две обратные звезды с уравнительным реактором» соединяются последовательно две вторичные обмотки разных пик-трансформаторов, генерирующих смежные по фазе пики напряжений. Таким образом, каждая фаза вторичной обмотки в течение каждого полупериода дает импульс двойной продолжительности; всего в течение периода питающего напряжения пик-генератор посылает шесть таких импульсов, симметрично сдвинутых между собой на  $60^\circ$ .

Для изменения фазы сеточного напряжения использовано подмагничивание постоянным током ненасыщенного дросселя 5, что позволяет осуществлять регулирование напряжения в ограниченных пределах.

### Ртутные выпрямители ЭВУ (РМВ)

Ртутный выпрямитель ЭВУ-250×6 смонтирован в двух шкафах, в одном из которых установлено шесть ртутных вентилях ЭВУ-250/2 и шесть трансформаторов зажигания, а в другом — аппаратура сеточного регулирования и собственных нужд ртутного выпрямителя.

Ртутный вентиль ЭВУ-250/2 (рис. 14) состоит из цилиндрического корпуса 3 с приваренной к нему водяной рубашкой 14. Примененный комбинированный анодный стержень состоит из трубки, которая несет на себе механическую нагрузку анода и заключенного в трубку медного токоведущего стержня 1. На анодный стержень навинчена анодная графитовая головка 4, окруженная экранами, к которым крепятся графитовые сетки 5. Между катодом и сетками находятся конусный отражатель 7 и деионизационный фильтр 6.

Катод представляет собой металлическую чашу 13, эмалированную внутри для изоляции ртутного катода 10 от корпуса. Токпроводящий катодный ввод 11 изолирован и уплотнен стеклом. Для улучшения условий съема тока со стержня к нему прикреплен диск, на котором кварцевое кольцо 12 защищает эмаль боковых стенок

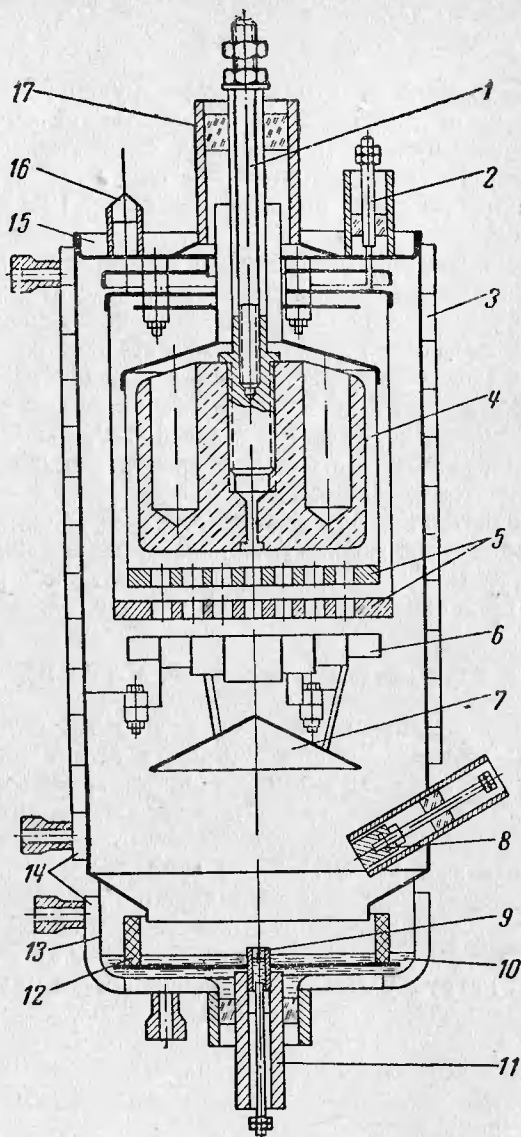


Рис. 14. Разрез ртутного вентиля  
ЭВУ-250/2.

1 — токоведущий стержень; 2 — ввод сетки; 3 — корпус; 4 — графитовая головка; 5 — сетки; 6 — фильтр; 7 — отражатель конусный; 8 — анод возбуждения; 9 — зажигатель; 10 — катод; 11 — катодный ввод; 12 — кварцевое кольцо; 13 — чаша; 14 — водяная рубашка; 15 — крышка; 16 — откачная трубка; 17 — ввод анода.

катодной чаши от паров и брызг ртути при горении катодного пятна.

Зажигание и возбуждение ртутного выпрямителя. Зажигание вентиля происходит от трансформаторов зажигания  $1ТЗ—6ТЗ$ , вторичные обмотки которых имеют низкое напряжение (6—7 в) и рассчитаны на кратковременное протекание тока значительной величины (рис. 15). Эти обмотки подключены к катоду и зажигающему вентилям. При включении автомата  $A$  напряжение сети переменного тока подается на трансформаторы  $1ТЗ—6ТЗ$ , при этом через отверстие в керамическом цилиндре зажигающего проходит ток значительной величины (500—600 а), так как сопротивление цепи зажигающего — катод очень мало. Ток, протекающий через ртуть, находящуюся в отверстии зажигающего, нагревает ее до полного испарения. Цепь тока разрывается, а образующаяся при этом искра дает начало зажиганию вентиля. Контактors  $1КВ—6КВ$  отключают цепь зажигания после появления дуги возбуждения.

В нуль вторичной обмотки трансформатора возбуждения  $ТВ$  включена токовая обмотка контактора возбуждения  $1КВ—6КВ$ . При прохождении тока возбуждения через токовую обмотку контактора последний своими размыкающими контактами отключает первичную обмотку трансформатора  $1ТЗ—6ТЗ$ . При обрыве дуги возбуждения зажигание автоматически повторяется, так как при этом отключаются контакторы  $1КВ—6КВ$ , которые своими размыкающими контактами  $1КВ—6КВ$  обеспечивают питание трансформаторов зажигания  $1ТЗ—6ТЗ$ .

Система сеточного управления ртутного выпрямителя. Для управления ртутными выпрямителями ЭВУ-250×6 применяется ряд систем сеточного управления. Ниже дано описание схемы (рис. 16), поясняющий принцип работы системы сеточного управления с однополупериодными магнитными усилителями, управляемыми постоянным током. На сетки вентиля подается отрицательное запирающее напряжение  $U_{з.п.}$ . Отпирающий импульс напряжения  $U_{о.п.}$  снимается с сопротивления нагрузки  $СН$  однополупериодного усилителя. Изменением насыщения усилителя меняется момент подачи положительного импульса на сетку вентиля, т. е. регулируется выпрямленное напряжение.

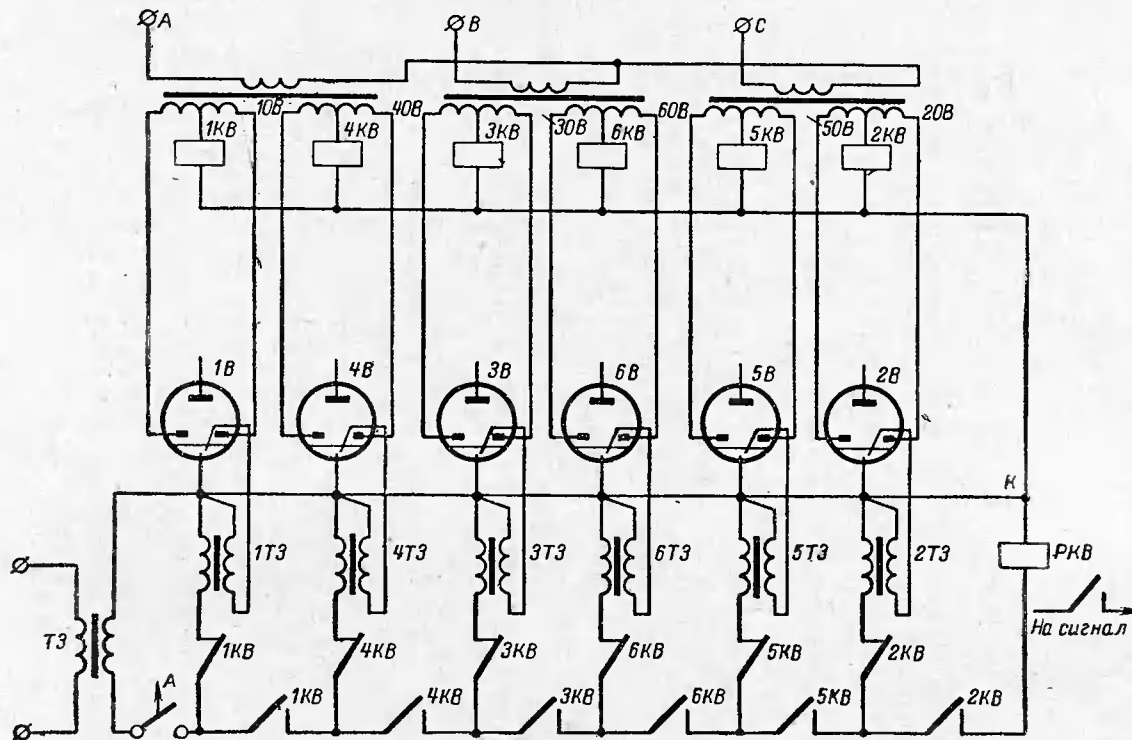


Рис. 15. Схема зажигания и возбуждения одноанодных ртутных выпрямителей.

*T3* — общий трансформатор зажигания; *TB* — трансформатор возбуждения; *1T3÷6T3* — трансформаторы зажигания отдельных вентилях; *1KB÷6KB* — контакторы возбуждения; *1B÷6B* — вентили выпрямителя; *PKB* — реле контроля возбуждения; *A* — автомат.

Однополупериодный усилитель состоит из дросселя насыщения  $ДН$ , имеющего рабочую обмотку  $ОР$  и обмотки управления  $ОУ$ , вентиля  $ВР$  и сопротивления нагрузки  $СН$ . Сердечник дросселя выполнен из материала, имеющего петлю гистерезиса, близкую к прямоугольной. Цепь рабочей обмотки питается от сети переменного тока (от вторичной обмотки трансформатора  $ТС$ ).

Ток нагрузки в рабочей цепи может протекать только во время положительного полупериода вследствие наличия в цепи вентиля  $ВР$ . Продолжительность протекания тока нагрузки определяется магнитным состоянием сердечника дросселя  $ДН$ . Пока дроссель не насыщен, в нем происходит изменение потока и напряженность сети почти полностью уравновешивается э. д. с. самоиндукции рабочей обмотки дросселя; поэтому в рабочей цепи протекает незначительный ток намагничивания (порядка нескольких миллиампер).

В момент насыщения сердечника поток его почти перестает расти и исчезает э. д. с. самоиндукции. Ток нагрузки мгновенно возрастает до величины, определяемой напряжением трансформатора и сопротивлением нагрузки. Этот ток превосходит примерно в 100—200 раз ток намагничивания дросселя, который протекал до насыщения дросселя. Напряжение на сопротивлении нагрузки, пропорциональное току нагрузки, может быть представлено как часть синусоиды с крутым передним фронтом. Это напряжение подается на сетки выпрямителей, и тем самым они отпираются (подразумевается, что на сетку подано запирающее отрицательное напряжение).

Регулируя с помощью обмотки управления, которая получает питание от сети постоянного тока, момент насыщения дросселя, можно регулировать тем самым

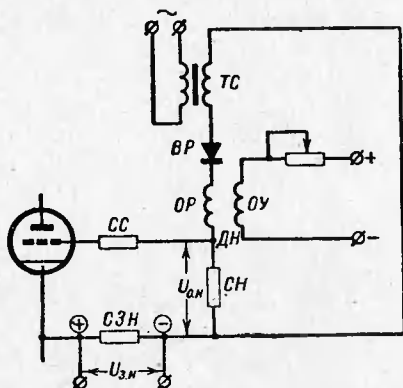


Рис. 16. Система сеточного управления с однополупериодными магнитными усилителями.

момент подачи положительного импульса на сетки ртутных выпрямителей (т. е. угол запаздывания зажигания).

### Ртутные выпрямители РМУ (РМ)

Ртутный вентиль РМУ(3)-200 состоит из металлического корпуса, в верхнюю часть которого вварена выпуклая крышка, на которой размещены три изолированных друг от друга ввода главных анодов, три ввода анодов возбуждения, три ввода сетки управления, а также трубка для откачки.

Анодный стержень выполнен из стали, на него навинчена графитовая головка, окруженная экраном, к которому крепится графитовая сетка. Между катодом и сеткой находится деионизационный фильтр.

В вентиле применяется щелевой зажигатель (рис. 5), встроенный в полый катодный стержень. Система сеточного управления вентилями РМУ принципиально не отличается от подобной в вентилях ЭВУ-250×6.

Для поддержания заданного режима вентилями РМУ применена система принудительного воздушного охлаждения. Вентиль крепится на основании, внутри которого установлен электродвигатель с вентилятором. Катод и зажигатель вентиля выведены за основание, а сам вентиль охвачен кожухом, который служит для направления охлаждающего воздуха между ребрами, наваренными на корпус и катод.

### Ртутные выпрямители ИВН (АИНВ)

Выпрямители серии ИВН состоят из одноанодных игнитронных вентиляей, смонтированных вместе с общей вакуумной системой, системой охлаждения, приборами для контроля и автоматизации на одной раме.

Катодное пятно в игнитронных вентилях зажигается в начале каждого проводящего периода специальным полупроводниковым зажигателем (игнайтером) путем подачи на него зажигающих импульсов тока.

Зажигание дуги на главный анод при наличии управляющей сетки и регулирование выпрямленного напряжения изменением фазы зажигания осуществляются либо самим игнайтером, если на сетку предварительно подан положительный потенциал, либо управляющей

сеткой при предварительном зажигании игнайтером дуги на вспомогательный анод. Глубокое регулирование выпрямленного напряжения вентилями ИВН осуществляется только изменением фазы зажигания игнайтера.

**Возбуждение.** Поддержание катодного пятна вспомогательным анодом необходимо на случай затрудненного зажигания главной дуги, заметного опережения зажиганием момента естественного открытия вентиля и для предотвращения перехода в режим работы одной звезды. Вспомогательные аноды питаются синусоидальным напряжением через ограничительные сопротивления от шестифазного изолировочного трансформатора.

**Зажигание.** Схемы зажигания для шести- и двенадцативентильных выпрямителей выполняются из трех однотипных ячеек и представляют собой однокаскадную электромагнитную схему, вырабатывающую импульсы тока большой крутизны, для зажигания катодного пятна в вентилях, имеющих противоположные фазы.

Для игнитронных вентилях применяется однокаскадная схема зажигания (рис. 17). От каждой фазы трехфазного трансформатора (на рисунке условно не показан) осуществляется зажигание двух вентилях взаимно-противоположных фаз. Здесь через линейный дроссель *1* заряжается конденсатор *2*. В конце полупериода входного напряжения, когда напряжение на конденсаторе достигает большого значения (порядка 1 000 в), происходит насыщение дросселя *3*. Индуктивное сопротивление его резко падает, и значительная часть напряжения конденсатора оказывается приложенной к игнайтеру *8*. Возникает импульс тока с амплитудой 30—40 а через игнайтер, что обеспечивает четкое зажигание катодного пятна.

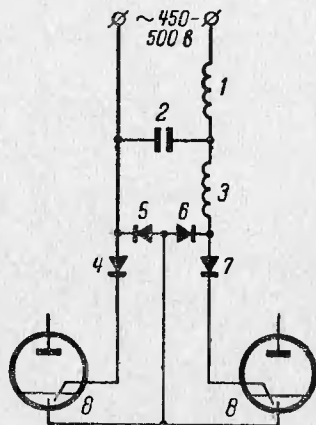


Рис. 17. Схема зажигания игнитронных вентилях.

*1* — линейный дроссель; *2* — конденсатор; *3* — дроссель насыщения; *4—7* — полупроводниковые выпрямители; *8* — игнайтер.

После разряда конденсатора дроссель насыщения переходит в ненасыщенное состояние, и индуктивное сопротивление его становится снова большим. Это позволяет конденсатору в следующий полупериод зарядиться с обратной полярностью. После заряда конденсатора и насыщения дросселя  $\mathcal{Z}$  вновь происходит разряд, но уже через ignайтер другого вентиля, находящегося в противофазе.

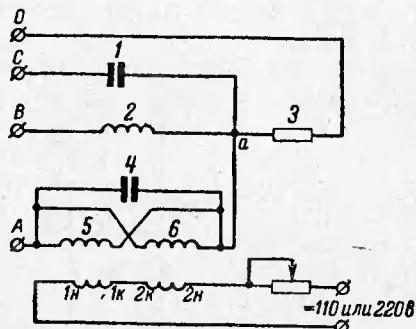


Рис. 18. Принципиальная схема ячейки статического фазорегулятора.

1 — конденсатор постоянной емкости; 2 — линейная индуктивность; 3 — нагрузка; 4 — шунтирующий конденсатор; 5, 6 — управляемые дроссели насыщения; 7 — реостат; 1н—1к, 2н—2к — обмотки управления.

Поочередный разряд конденсатора через ignайтеры вентиля обеспечивается специальной схемой соединения полупроводниковых выпрямителей, составленной так, что при одной полярности ток может проходить по выпрямителям 4 и 6, а при другой — по выпрямителям 5 и 7.

Сеточное регулирование. Ртутные выпрямители ИВН-500×6 и ИВН-500×12 применяются в

установках, обычно не требующих регулирования выпрямленного напряжения, и поэтому в шкафу управления ШРВ-62-1 для ИВН-500×6 нет аппаратуры сеточного регулирования. При необходимости регулирование напряжения осуществляется индукционным фазорегулятором путем изменения фазы питающего напряжения на входе схемы зажигания и управляющих сеток.

Статический фазорегулятор в шкафу ШРВ-58-III выпрямителя ИВН-500×12 состоит из трех однотипных схем-ячеек для каждой из трех фаз схемы зажигания.

Принципиальная схема ячейки одной фазы статического фазорегулятора приведена на рис. 18. Регулируемое по фазе напряжение возникает между общей точкой  $a$  звезды фазорегулятора и нулем сети собственных нужд (точка 0), куда и включается нагрузка  $\mathcal{Z}$  — одна фаза первичных обмоток трансформаторов зажигания и сеток.

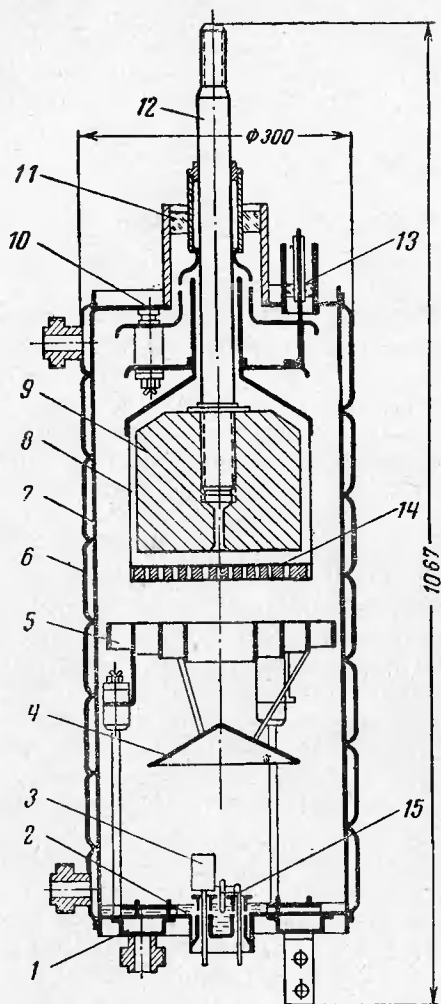


Рис. 19. Разрез ртутного вентиля ИВУ-500/2,5.

1 — водяная рубашка охлаждения катода; 2 — ртутный катод; 3 — подхватывающий анод; 4 — конусный отражатель; 5 — деионизационный фильтр; 6 — водяная рубашка; 7 — корпус; 8 — металлический экран; 9 — графитовая головка; 10 — крышка; 11 — ввод главного анода; 12 — металлический стержень; 13 — ввод сетки; 14 — сетка из графита; 15 — полупроводниковый зажигатель.

Регулирование фазы осуществляется изменением индуктивности дросселей насыщения путем подмагничивания их сердечников постоянным током. Дроссели каждой фазы состоят из двух управляемых дросселей насыщения 5 и 6, обмотки переменного тока которых соединены между собой параллельно и согласно, а обмотки управления последовательно и встречно в одном дросселе и последовательно во всех трех фазах.

### Ртутные выпрямители ИВУ (ИВС)

Игнитроны серии ИВУ являются металлическими запаянными вентилями с водяным охлаждением, управляющими сетками и специальной аппаратурой зажигания. Корпус игнитрона 7 (рис. 19) изготавливается из нержавеющей стали с целью предотвращения как коррозии, так и натекания в вакуумное пространство водорода, выделяемого из охлаждающей воды вследствие диффузии его через стенки.

Графитовый анод навинчивается на металлический стержень 12, являющийся выводом анода. Изоляцией анода от корпуса и одновременно средством для создания герметичности служит стекло, припаянное с одной стороны к металлу ввода и с другой стороны к металлу верхней крышки вакуумного корпуса. Графитовые сетки 14 поддерживаются манжетами, закрепленными на изоляторах. В нижнее основание вакуумного корпуса вварена труба, во фланец которой вмонтированы вводы двух или трех зажигателей 15 и подхватывающего анода 3.

Над ртутным катодом располагаются конусный отражатель 4, защищающий анод от попадания на него капель ртути, и деионизационный фильтр 5.

Корпус 7 с боковой стороны закрывается привариваемой к нему водяной рубашкой 6. Между водяной рубашкой и корпусом закрепляются прокладки для спиралеобразного движения воды. Для охлаждения катода служит кольцевая водяная рубашка 1, привариваемая к нижнему основанию.

### 6. СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

Основные соотношения, устанавливающие связь между величинами тока, напряжения и мощности в главных

цепях наиболее распространенных схем выпрямления, а также краткая сравнительная характеристика и рекомендуемые области их применения даны в табл. 1.

### Трехфазная схема

В трехфазной схеме (рис. 20) при протекании во вторичной обмотке трансформатора тока  $I_d$  в соответствующей первичной обмотке протекает ток  $\frac{2}{3} I_d$ , а в двух других обмотках в это время протекает ток  $\frac{1}{3} I_d$ . Диа-

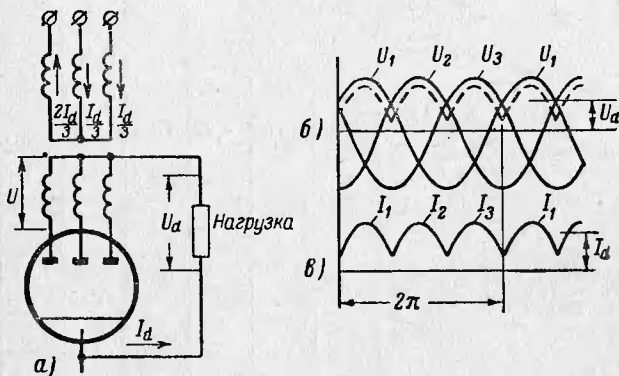


Рис. 20. Трехфазная схема.

*a* — схема соединений; *б* — диаграмма напряжений; *в* — диаграмма токов;  $U_1, U_2, U_3$  и  $I_1, I_2, I_3$  — напряжения и токи анодов 1, 2 и 3 соответственно.

граммы напряжений и токов представлены на рис. 20, б и в.

Данная схема в мощных установках находит весьма ограниченное применение из-за сильного искажения выпрямленного напряжения и тока, а также тока первичной сети.

### Шестифазная схема с выведенным нулем

При такой схеме (рис. 21) первичная обмотка трансформатора соединяется в треугольник, так как при соединении в звезду возникает поток вынужденного намагничивания. Этот поток, изменяющийся с трехкратной частотой, наводит в обмотках э. д. с., сильно увеличивающую падение напряжения во время работы преобразователя.

## Основные соотношения электрических величин

Соединение обмоток выпрямительного трансформатора	$\frac{U_{d0}}{b = U_2}$	$\frac{U_2}{U_d}$	$\frac{U_{обр. макс}}{U_d}$	$\frac{I_1}{I_d}$	$\frac{I_2}{I_d}$	$\frac{P_T}{P_d}$	$I_b$
1. Первичная — треугольник; вторичная — трехфазная звезда с выведенным нулем	1,17	0,855	2,1	0,472	0,58	1,345	$\frac{I_d}{\sqrt{3}}$
2. Первичная — треугольник; вторичная — шестифазная звезда с выведенным нулем	1,35	0,74	2,1	0,578	0,41	1,55	$\frac{I_d}{\sqrt{6}}$
3. Первичная — звезда или треугольник; вторичная — двой- ной зигзаг с выведенным нулем	1,35	0,74	2,1	0,817	0,41	1,42	$\frac{I_d}{\sqrt{6}}$
4. Первичная — звезда или треугольник; вторичная — две обратные звезды с уравнитель- ным реактором	1,17	0,855	2,1	0,408	0,29	1,26	$\frac{I_d}{2\sqrt{3}}$
5. Первичная — звезда или треугольник; вторичная — трех- фазная звезда или треугольник (трехфазная мостовая схема)	2,34	0,427	1,05	0,817	0,815	1,05	$\frac{I_d}{2\sqrt{3}}$

Таблица 1

## наиболее распространенных схем выпрямления

А	Достоинства	Недостатки	Рекомендуемая область применения
0,87	Простота	1. Значительные действующие значения анодных токов 2. Круто падающая внешняя характеристика 3. Сильное искажение первичного тока	Маломощные установки
1,23	1. Относительная простота 2. Круто падающая внешняя характеристика	1. Плохое использование трансформатора 2. Ухудшение коэффициента мощности по сравнению со схемой 4	Формовка
1,17	1. Относительная простота 2. Благоприятный характер внешней характеристики	1. Значительные действующие значения анодных токов 2. Худшее использование трансформаторов	Установки средней мощности
0,5	1. Малые действующие значения анодных токов 2. Благоприятный характер внешней характеристики 3. Хорошее использование трансформатора	1. Необходимость в дополнительном реакторе 2. Скачок выпрямленного напряжения при малых нагрузках	Установки большой мощности низкого и среднего напряжений
0,5	1. Малые обратные напряжения 2. Благоприятный характер внешней характеристики 3. Очень хорошее использование и простое исполнение трансформатора	1. Большие анодные токи 2. Возрастает общее падение напряжение в дуге 3. Необходимость двойного количества вентиляей 4. Невозможность использования выпрямителей с общим катодом	1. Установки повышенного или высокого напряжений 2. Питание устройств с полупроводниковыми вентилями, тиратронами и газотронами

На рис. 21, б и в показаны диаграммы напряжений и токов. Данная схема обеспечивает удовлетворительную форму кривой выпрямленного и первичного тока, но

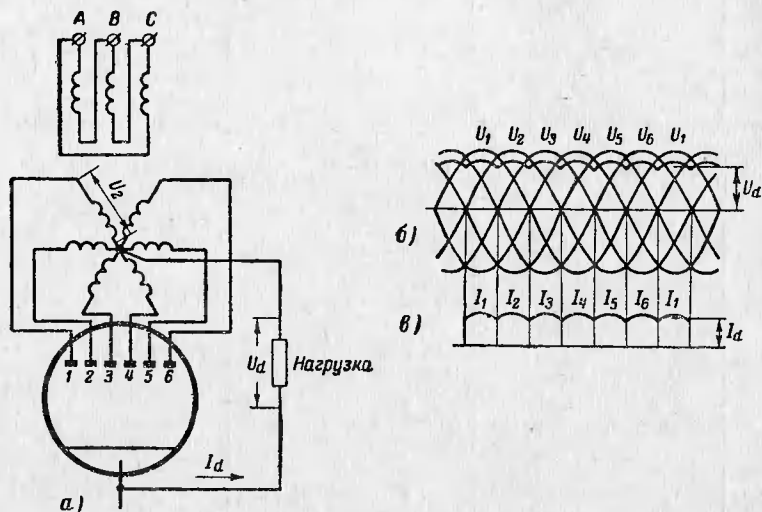


Рис. 21. Шестифазная схема.

а — схема соединений; б — диаграмма напряжений; в — диаграмма токов;  $U_1, U_2, \dots, U_6$  и  $I_1, I_2, \dots, I_6$  — напряжения и токи анодов 1, 2, ..., 6 соответственно.

обладает недостатками (значительное коммутационное падение напряжения и неудовлетворительное использование трансформатора), делающими ее непригодной для мощных преобразователей.

#### Схема «две обратные звезды с уравнительным реактором»

В этой схеме вторичная обмотка трансформатора состоит из двух обратных трехфазных звезд, сдвинутых на  $180^\circ$ , нулевые точки которых соединяются через уравнительный реактор, средняя точка которого является отрицательным полюсом выпрямленного напряжения. При таком соединении реактор действует как аппарат, выравнивающий мгновенные значения напряжений двух электрически смежных фаз разных звезд, заставляя их работать некоторое время одновременно. В результате каждый из анодов работает  $1/3$  периода (без учета угла перекрытия), хотя форма кривой выпрямленного напряже-

ния будет соответствовать шестифазному выпрямлению. Эта схема более выгодна, так как в выпрямлении тока постоянно участвует не менее двух фаз вторичной обмотки, что улучшает использование обмоток трансформатора. На рис. 22 показана схема соединений вторичных

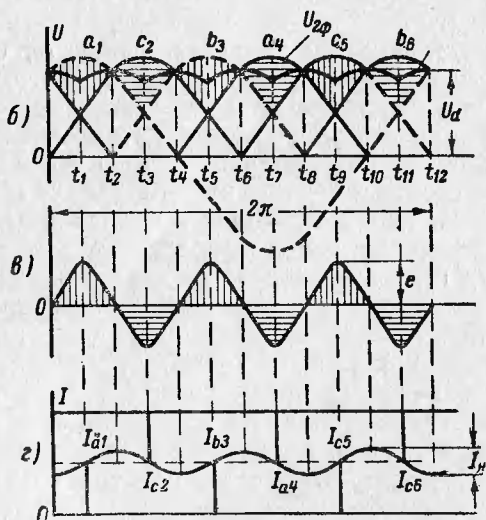
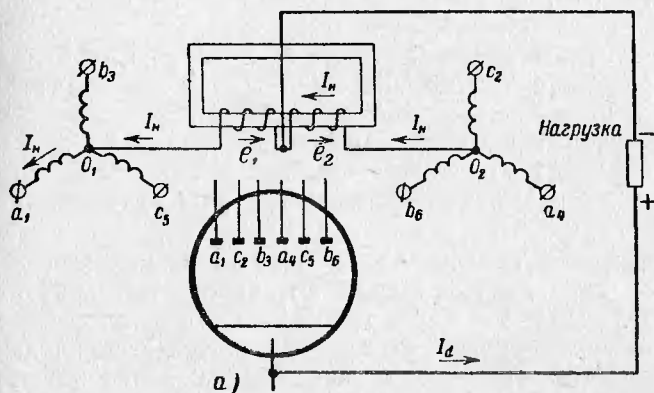


Рис. 22. Схема звезда—две обратные звезды с уравнительным реактором.

*a* — схема соединений; *б* — выпрямленное анодное напряжение; *в* — напряжение на уравнительном реакторе; *з* — анодные токи и токи намагничивания.

обмоток трансформатора и уравнивающего реактора и диаграммы фазных напряжений вторичных обмоток трансформатора.

Разность мгновенных значений напряжения двух смежных анодов, подключенных к четной ( $a_4, b_6, c_2$ ) и нечетной ( $a_1, b_3, c_5$ ) звездам, изображена в виде заштрихованных площадок, причем вертикальными штрихами отмечены интервалы  $0-t_2, t_4-t_6, t_8-t_{10}$ , когда мгновенные значения напряжений нечетных анодов превышают мгновенные значения напряжений четных анодов. Горизонтальной штриховкой отмечены интервалы  $t_2-t_4, t_6-t_8, t_{10}-t_{12}$ , когда мгновенные значения напряжений четных анодов превышают мгновенные значения напряжений нечетных анодов.

Эту разность мгновенных напряжений можно изобразить в виде кривой (рис. 22,б), имеющей тройную частоту, т. е. 150 гц. Через уравнивающий реактор это напряжение тройной частоты создает намагничивающий ток тройной частоты  $I_H$ , цепь прохождения которого (рис. 22,а) при горении дуги, например, на анодах  $a_1$  и  $c_2$  в интервале  $t_1-t_2$  будет от фазы  $a_1$  через дугу анода  $a_1$ , дугу анода  $c_2$ , обмотку трансформатора  $c_2$ , обе ветви уравнивающего реактора и в обмотку трансформатора фазы  $a_1$ . Ток  $I_H$  не попадает во внешнюю сеть. Направление тока внешней цепи  $I_{a1}$ , идущего от анода  $a_1$ , совпадает с направлением тока  $I_H$ , а тока  $I_{c2}$ , идущего от анода  $c_2$ , не совпадает. Поэтому в интервале  $t_1-t_2$  мгновенные значения тока, проходящего через анод  $a_1$ , больше тока, проходящего через анод  $c_2$ , на двойную величину тока  $I_H$  (рис. 22,в).

В других интервалах в зависимости от разности мгновенных напряжений на анодах направление тока  $I_H$  будет меняться, складываясь или вычитаясь с главным током анода. Ток  $I_H$  не превышает 1—2% величины выпрямленного тока, поэтому он практически не изменяет распределения тока по анодам и является чисто индуктивным. Этот ток, проходя через реактор, создает в его ветвях э. д. с.  $e$ , которую должна скомпенсировать разность мгновенных значений напряжений двух горящих анодов. Иначе говоря, напряжение на уравнительном реакторе будет противоположно разности напряжений соседних горящих анодов и будет иметь тройную частоту. Амплитудное значение э. д. с.  $e$  равняется половине

амплитудного значения напряжения  $U_{2ф}$ . Э. д. с.  $e$  уравнительного реактора будет равна сумме э. д. с.  $e_1$  и  $e_2$  в двух ветвях уравнительного реактора, причем э. д. с.  $e_1$  будет приложена навстречу напряжению фазы  $a_1$  и будет его понижать. Э. д. с.  $e_2$  будет приложена в том же направлении, что и напряжение в фазе  $c_2$ , и будет его повышать в интервале  $t_1-t_2$ . Поэтому напряжения анодов  $a_1$  и  $c_2$  выравняются, и среднее мгновенное значение напряжения будет равно полусумме их мгновенных значений.

В течение следующего интервала  $t_2-t_3$ , когда напряжение фазы  $c_2$  станет выше напряжения фазы  $a_1$ , возникающая в ветвях реактора э. д. с.  $e_2$  будет направлена ему навстречу и понизит напряжение фазы  $c_2$ ; наоборот, э. д. с.  $e_1$  будет одного направления с напряжением фазы  $a_1$  и повысит напряжение фазы  $a_1$ . В следующем интервале  $t_3-t_4$  напряжение, возникающее в ветвях реактора, будет понижать напряжение фазы  $c_2$  и повышать напряжение фазы  $b_3$ . В результате наложения напряжений, возникающих в ветвях реактора, зажигание будет происходить на  $30^\circ$  ранее и оканчиваться на  $30^\circ$  позднее. Каждый анод будет гореть  $120^\circ$ . Например, анод  $b_3$  будет гореть в интервале  $t_3-t_7$ , причем в интервале  $t_3-t_5$  с анодом  $c_2$ , а в интервале  $t_5-t_7$  — с анодом  $a_4$ . Выпрямленное напряжение  $U_d$  будет равно  $1,17U_{2ф}$ . Кривая напряжения  $U_d$  для этого режима работы выпрямителя изображена на рис. 22,б и имеет шестифазную пульсацию. Анодные токи внешней нагрузки, проходя через ветви уравнительного реактора, создают в нем встречные взаимнокомпенсирующиеся магнитные потоки.

Ток  $I_H$  вследствие вентильного действия дуги сможет протекать через реактор только в том случае, если ток нагрузки  $I_d$  будет равен  $1-2\%$  номинального, иначе говоря, достигнет критической величины.

Если тока нагрузки нет, намагничивающий ток также отсутствует и э. д. с.  $e_1$  и  $e_2$  в реакторе не возникают. Выравнивания напряжения анодов не происходит, и кривая напряжения  $U_d$ , имея также шестифазную пульсацию, проходит выше. Напряжение  $U_d$  в этом случае равно  $1,35U_{2ф}$ . Чтобы не иметь резкого увеличения выпрямленного напряжения при холостом ходе выпрямителя, уравнительный реактор питают током тройной частоты

от специальных утроителей частоты или, что менее экономично, на шинах постоянного тока держат включенным сопротивление (называемое балластным), не давая тем самым спадать току в выпрямителе до значения ниже критического. Для преобразовательных агрегатов на выпрямленное напряжение до 3300 в и ток от 500 а и выше рассмотренная схема получила широкое распространение.

### Схема «звезда — двойной зигзаг»

Для выпрямителей на 230, 245, 275 и 500 в могут быть изготовлены трансформаторы со схемой соединения обмоток звезда—двойной (шестифазный) зигзаг (рис. 23).

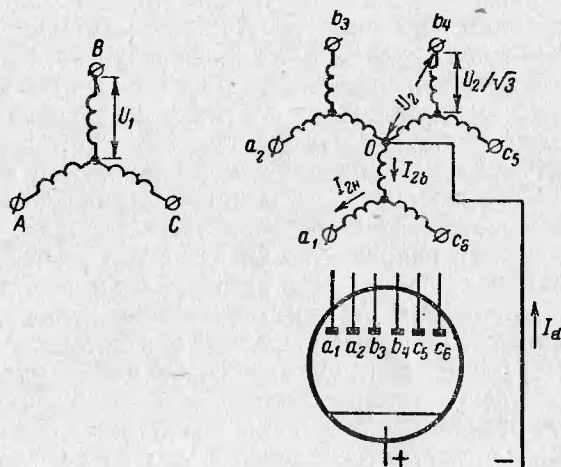


Рис. 23. Схема звезда — двойной зигзаг.

При такой схеме в сердечнике трансформатора имеется полная компенсация магнитных потоков, наводимых токами первичной и вторичной обмоток. При работе одного анода ток протекает по обмоткам, расположенным на двух сердечниках магнитопровода. Каждый анод работает одну шестую часть периода (без учета угла перекрытия). Пульсация выпрямленного напряжения будет

шестифазной. Ток в наружных ветвях вторичной обмотки равен

$$I_{2н} = \frac{I_d}{\sqrt{6}},$$

во внутренних ветвях

$$I_{2в} = \frac{I_d}{\sqrt{3}},$$

поэтому сечение внутренних ветвей вторичных обмоток трансформатора больше.

При этой схеме наклон внешней характеристики (§ 7) круче, чем в схеме две обратные звезды с уравнительным реактором, а максимальное значение анодного тока в два раза больше. Поэтому для выпрямителей, питаемых от трансформаторов со схемой вторичной обмотки двойной зигзаг, вносятся следующие эксплуатационные ограничения: 1) после пуска в течение первого часа нагрузка не должна превышать 50% номинальной; 2) для обеспечения номинальных нагрузок и перегрузок температура воды, входящей в выпрямитель, должна лежать в пределах 25—30° С.

Для мощных преобразовательных установок схема с двойным зигзагом не является наилучшей, так как использование трансформатора в этой схеме недостаточно, а токи в анодных цепях значительны, в связи с чем использование вентиля получается невысоким; кроме того, конструкция трансформатора получается несколько сложнее, чем для обычной шестифазной схемы.

### Трехфазная мостовая схема (схема Ларионова)

В этой схеме (рис. 24) к вторичным обмоткам трансформатора, работающим оба полупериода, присоединяется по одному вентилю катодной *K* и анодной *A* групп. В катодной группе работает вентиль с более высоким потенциалом, а в анодной — с более низким. Схема характерна тем, что ток всегда проходит последовательно через два анода.

В рассматриваемой схеме использование вентиля по току получается неблагоприятным, и поэтому для преобразовательных установок на значительные токи при средних и низких выпрямленных напряжениях эта схема не

находит широкого применения. Зато данная схема дает возможность хорошего использования вентиляей при более высоком выпрямленном напряжении. Хорошее же использование трансформатора объясняется тем, что ре-

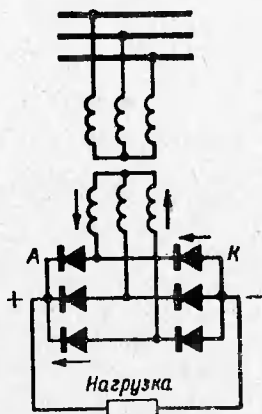


Рис. 24. Трехфазная мостовая схема.

жим его работы приближается к нормальному режиму обычного силового трансформатора. Таким образом, положительные качества делают трехфазную мостовую схему весьма ценной для мощных преобразовательных установок повышенного и высокого напряжения (3 300 в и выше).

## 7. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ СХЕМАХ

### Токи и напряжения

Действующее значение тока  $I_2$  вторичной обмотки трансформатора

$$I_2 = \frac{I_d}{p \sqrt{m}},$$

где  $I_d$  — среднее значение выпрямленного тока;

$m$  — число фаз выпрямления;

$p$  — количество одновременно работающих анодов.

Среднее значение тока вторичной обмотки трансформатора

$$I_{2\text{cp}} = \frac{I_d}{m\rho}.$$

Действующее значение первичного тока  $I_1$  зависит от схемы питания выпрямителей. Численные значения отношения  $\frac{I_1}{I_d}$  при коэффициенте трансформации, равном единице, для различных схем питания приведены в табл. 1.

Выпрямленное напряжение холостого хода, включая падение напряжения в дуге, при отсутствии сеточного регулирования для нулевых схем выпрямления определяется:

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}} U_2;$$

для мостовых схем выпрямления

$$U_{d0} = \frac{2\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}} U_2,$$

где  $U_2$  — фазное напряжение холостого хода вторичной обмотки трансформатора.

Выпрямленное напряжение холостого хода при сеточном регулировании напряжения выпрямителя определяется как

$$U_{d\alpha=0} = U_{d0} \cos \alpha.$$

В выпрямительном режиме  $U_d$  при нагрузке отличается от напряжения холостого хода вследствие падения напряжения в дуге  $\Delta U_a$  и потерь напряжения в результате процесса коммутации  $\Delta U_x$ :

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \Delta U_x - \Delta U_a.$$

## Номинальная и типовая мощности выпрямительных трансформаторов

Номинальная мощность трансформатора для ртутного выпрямителя

$$P_1 = \sqrt{3} I_1 U_1.$$

Типовая мощность трансформатора равна полусумме мощностей первичной и вторичной обмоток:

$$P_T = \frac{P_1 + P_2}{2}.$$

Мощность вторичной обмотки определяется выражением

$$P_2 = pm U_2 I_2 = \frac{\sqrt{m} U_{a0} I_a}{b}.$$

С увеличением числа фаз выпрямления типовая мощность трансформатора увеличивается, а конструкция усложняется. Поэтому трансформаторы для ртутных выпрямителей с числом фаз вторичной обмотки более шести обычно не изготавливаются.

### Коэффициент полезного действия

Коэффициент полезного действия выпрямителей определяется главным образом падением напряжения в дуге и потерями в питающем трансформаторе и в меньшей степени потребностями собственных нужд.

Коэффициент полезного действия ртутного выпрямителя без учета потерь мощности во вспомогательных элементах примерно равен отношению

$$\eta_{в} \approx \frac{U_a}{U_a + \Delta U_a}.$$

Так как  $\Delta U_a$  в выпрямителях остается величиной почти неизменной, то с повышением выпрямленного напряжения растет к. п. д. вентилей  $\eta_{в}$ , а с ним и полный к. п. д. выпрямителя  $\eta$ .

Общий к. п. д. выпрямителя

$$\eta = \frac{P_a}{P_a + \Delta U_a I_a + \Delta P_T + P_{с.п.}}$$

где  $\Delta U_a$  — падение напряжения в дуге;  
 $\Delta P_T$  — потери мощности в трансформаторе;  
 $P_{с.н}$  — мощность, расходуемая на собственные нужды выпрямителя.

### Внешняя характеристика выпрямительного агрегата (рис. 25)

Схема с уравнивающим реактором при холостом ходе выпрямителя работает как шестифазная. При появлении нагрузки выпрямленный ток, переходя с анодов четной звезды на аноды нечетной, изменяет направление потока в уравнительном реакторе. Индуктированная в обмотках последнего э. д. с., имеющая частоту 150 гц, выравнивает на некоторую часть периода напряжения смежных анодов, что приводит к расширению зоны одновременного горения смежных анодов и снижению среднего значения выпрямленного напряжения.

При нагрузке около 0,5—1% номинальной э. д. с., индуктированная в уравнительном реакторе, достаточна для выравнивания напряжения соседних фаз двух звезд. Благодаря действию реактора аноды загораются на 30° раньше, чем при шестифазном режиме, и прекращают работу на 30° позже. Таким образом, каждый анод работает в течение 120°, как в трехфазном выпрямителе, и постоянно работают по два анода от двух соседних фаз. Пульсации выпрямленного напряжения сохраняют шестифазный характер.

При нагрузке в 1% номинальной и выше ток нагрузки разветвляется по обеим ветвям уравнительного реактора не совсем равномерно (неравномерность около 1%), за счет чего продолжается намагничивание реактора током тройной частоты. Внешняя характеристика дает скачок напряжения на 15% при переходе к холостому ходу от нагрузки около 1%, но на рабочей части характери-

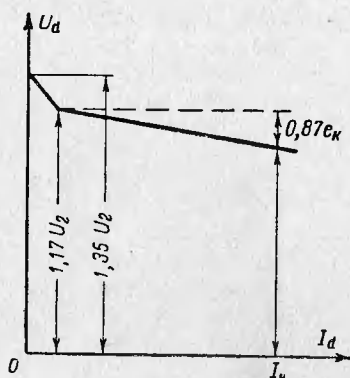


Рис. 25. Внешняя характеристика ртутного выпрямителя для схемы «две обратные звезды с уравнительным реактором».

стики падение напряжения невелико и составляет 4—6% (в зависимости от  $e_k$  трансформатора).

## 8. ЭЛЕМЕНТЫ РТУТНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Преобразовательные агрегаты состоят из преобразовательного трансформатора; одного или нескольких ртутных преобразователей; катодного и анодных быстродействующих выключателей обратного тока; быстродействующей защиты, при обратных зажиганиях блокирующей управляющей сетки для экситронов, сетки или зажигания для игнитронов в зависимости от конкретных требований установки; комплектов разрядников для защиты вентильных обмоток преобразовательных трансформаторов и выводов уравнительного реактора.

### Трансформаторы

Выпрямленное напряжение и внешняя характеристика выпрямителя в значительной степени определяются питающим трансформатором. От трансформатора зависят форма анодного тока и величина токов при коротких замыканиях и обратных зажиганиях и, следовательно, надежность работы выпрямителя.

Схема и конструкция главного трансформатора должны отвечать следующим основным условиям:

1. Вторичная обмотка должна давать симметричную шестифазную систему, так как только шестифазная система напряжений обеспечивает небольшую пульсацию и хороший коэффициент мощности.

2. При небольшом наклоне внешней характеристики на участке рабочего режима токи короткого замыкания должны быть минимальными.

3. В сердечнике трансформатора не должен появляться некомпенсированный, одинаково направленный во всех трех стержнях поток. Выпрямитель нагружает трансформатор несимметрично; фазы работают поочередно, поэтому простые схемы звезда—звезда для выпрямительных агрегатов неприемлемы.

4. Трансформатор должен быть механически достаточно прочным, чтобы выдерживать без остаточных деформаций механические усилия при аварийных токах.

Наиболее полно перечисленным условиям отвечают изготавливаемые для металлических ртутных выпрямителей трансформаторы со схемой соединения вторичной обмотки «две обратные звезды с уравнительным реактором».

Схемы соединения обмоток трансформаторов для питания ртутных выпрямителей показаны на рис. 26, а и б. Вторичная обмотка трансформатора состоит из двух трехфазных звезд, сдвинутых друг относительно друга

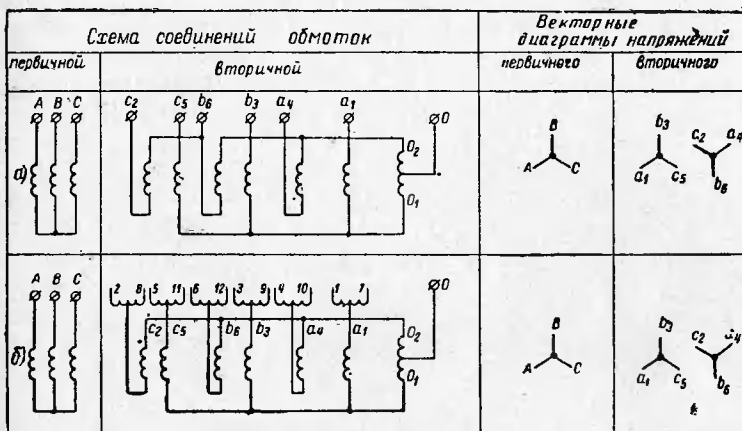


Рис. 26. Схемы соединения обмоток трансформаторов.

а — звезда — две обратные звезды с уравнительным реактором; б — то же, но с анодными делителями.

на  $180^\circ$ . Между нулевыми точками  $O_1$  и  $O_2$  этих звезд включен уравнительный реактор.

Для питания двух шестианодных выпрямителей или одного двенадцатианодного выпрямителя от одного трансформатора шесть выводов его присоединяются к двенадцати анодам выпрямителя с помощью анодных делителей. При этом каждые два анода, присоединенные к одной и той же фазе трансформатора, работают одновременно. Технические данные трансформаторов для ртутных выпрямителей приведены в приложении II.

## Быстродействующие анодные и катодные выключатели<sup>1</sup>

Анодные быстродействующие выключатели 6×ВАБ-10, 6×ВАБ-15 и 6×ВАБ-36 ограничивают сверхтоки при обратных зажиганиях, значительно сокращают длительность отключения и предназначаются для предохранения силового трансформатора и выпрямителя от динамических и термических разрушений.

Наличие анодных выключателей способствует также снижению количества обратных зажиганиях с течением времени, так как ограниченные по величине токи обратного зажигания малой длительности тренируют ртутный выпрямитель. Совершенно необходимо применение быстродействующих выключателей в схемах питания двух выпрямителей от одного трансформатора, когда пиковые значения токов при обратном зажигании особенно велики и могут достигать значений 80 000—100 000 *a*. Применение анодных выключателей в этих случаях обеспечивает уменьшение пика тока и в значительной степени сокращает продолжительность обратного зажигания, что уменьшает степень загрязнения выпрямителя.

Быстродействующие катодные и линейные автоматические выключатели предназначены для защиты выпрямителей в установках постоянного тока от недопустимых перегрузок и коротких замыканий. Технические данные быстродействующих выключателей приведены в приложении III.

### Уравнительный реактор

Уравнительный реактор представляет собой замкнутый магнитопровод, на котором расположены две одинаковые ветви обмотки (рис. 27), каждая из которых располагается на обоих сердечниках и переплетается с другой ветвью с целью уменьшения потоков рассеяния. Ток в каждой ветви реактора равняется половине выпрямленного тока, т. е.  $\frac{I_a}{2}$ .

---

<sup>1</sup> В «Библиотеке электромонтера» выпущены книги: Колузаев А. М., Ремонт и обслуживание быстродействующих выключателей ВАБ-2, Госэнергоиздат, 1962 (Вып. 75) и Гурвич В. Г., Колузаев А. М., Быстродействующие автоматические выключатели типа ВАБ-28, «Энергия», 1964 (Вып. 117).

Мощность реактора при отсутствии сеточного регулирования составляет не более 5—6% мощности выпрямителя. При сеточном регулировании реактор должен уравнивать напряжения большей величины. Поэтому мощность реактора в этом случае должна быть больше.

При нагрузке выпрямителя более 1—2% номинальной выпрямленный ток распределяется поровну по ветвям 1 и 2, а наведенные им в сердечнике реактора магнитные потоки направлены встречно и взаимно уравно-

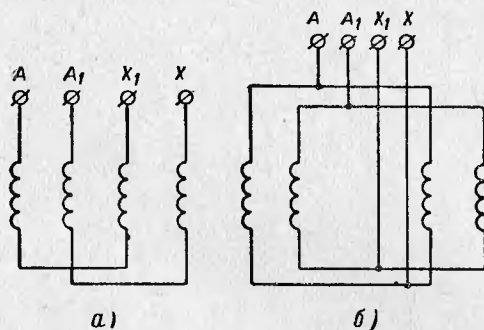


Рис. 27. Схема последовательного (а) и параллельного (б) соединения уравнивающего реактора.

вешены. Через обе ветви реактора, кроме того, протекает намагничивающий ток тройной частоты, который наводит в ветвях реактора э. д. с., выравнивающие напряжения на двух смежных анодах разных звезд.

При нагрузках менее 1—2% намагничивающий ток тройной частоты отсутствует, напряжения анодов смежных звезд не выравниваются, трансформатор работает в шестифазном режиме и выпрямленное напряжение возрастает на 15%. Чтобы не было этого скачка напряжения, к выводам реактора подключается утроитель частоты, питающий реактор током тройной частоты.

Обмотки реактора выполняются спиральными одноходовыми, дисковыми или двойными дисковыми. Выводы — А и X соединяются с нулями обеих звезд трансформатора внутри бака; А<sub>1</sub> и X<sub>1</sub> выводятся через изоляторы на крышку и, соединенные между собой, образуют минус системы выпрямленного тока.

## Анодный делитель

Анодный делитель представляет собой однофазный трансформатор с естественным воздушным охлаждением, с замкнутым сердечником.

Действие его заключается в том, что ток фазы, разветвляясь по двум одинаковым ветвям катушек, наводит в сердечниках встречные магнитные потоки (рис. 28).

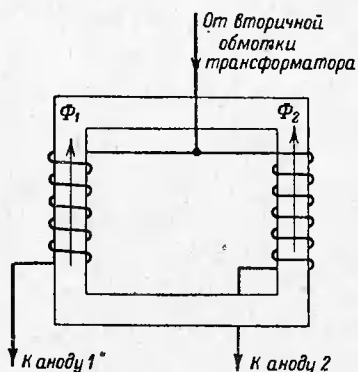


Рис. 28. Схема анодного делителя.

Если токи, текущие через два анода данной фазы, одинаковы, то суммарный магнитный поток в сердечнике делителя равен нулю. Если же через один из анодов, например анод 1 будет протекать больший ток, чем через анод 2, то соответственно возрастет магнитный поток  $\Phi_1$  и уменьшится магнитный поток  $\Phi_2$ . По сердечнику будет протекать результирующий магнитный поток  $\Phi_1 - \Phi_2$ , который наведет в ветви делителя анода 2 дополнительную э. д. с. и тем самым повысит его потенциал, а в ветви делителя анода 1 наведет э. д. с., которая понизит его потенциал. В результате выравнивания потенциалов анодов через них будут проходить одинаковые токи. Каждая катушка реактора рассчитывается на половину тока фазы вторичной обмотки трансформатора.

## Шкафы управления

В шкафах управления ртутными выпрямителями (ШРВ) монтируются вспомогательные изолировочные трансформаторы и аппаратура, необходимая для зажигания, питания вспомогательных анодов, управляющих сеток, нагревателя ртутного насоса, контроля зажигания дуги и статического регулирования фазы зажигания анодов.

В качестве примера на рис. 29 приведена схема соединений ртутного выпрямителя ЭВНУ-500/2,5×6 со шкафом ШРВ-49-IV.

Основные параметры и область применения шкафов управления ртутными выпрямителями приведены в приложении IV.

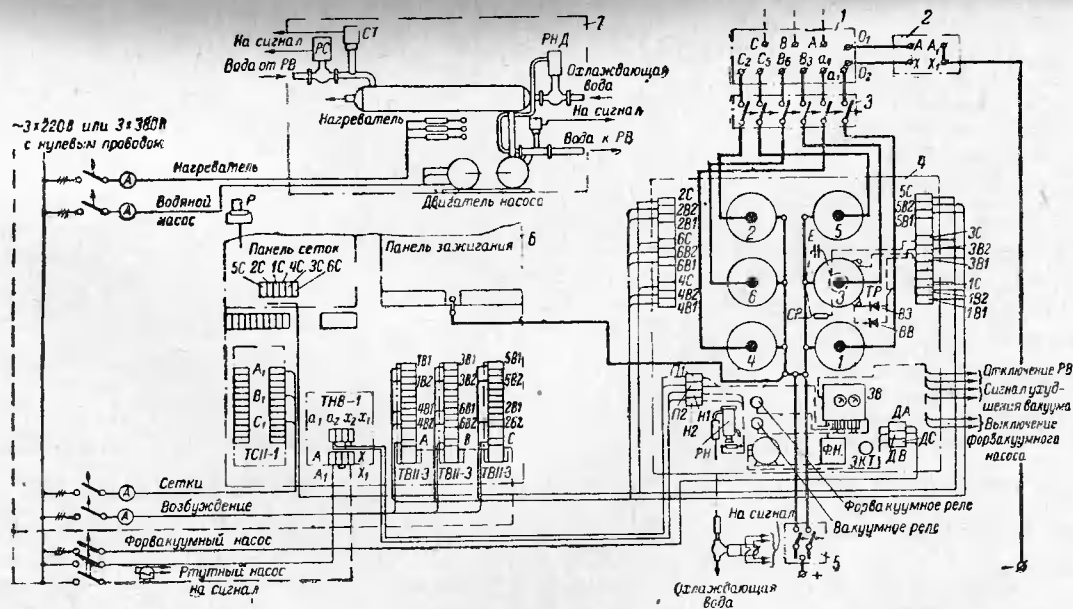


Рис. 29. Схема соединений ртутного выпрямителя ЭВНУ-500/2,5x6 со шкафом управления ШРВ-49-IV.

*РН* — ртутный насос; *ФН* — форвакуумный насос; *РС* — реле струйное; *СТ* — термосигнализатор; *РНД* — терморегулятор; *ЭКТ* — электроконтактный термометр; *ЭВ* — вакуумная установка *ЭВ* — ЦНИИ; *СР* — разрядное сопротивление «корпус — катод»; *ТР* — температурное реле; *РТ* — токовое реле; *ВВ* — полупроводниковый выпрямитель в цепи возбуждения; *ВЗ* — полупроводниковый выпрямитель в цепи зажигания; *Р* — реостат ручного регулирования выпрямленного напряжения;

*1* — главный трансформатор; *2* — уравнивательный реактор; *3* — выключатель анодный быстродействующий; *4* — ртутный выпрямитель; *5* — выключатель катодный быстродействующий; *6* — шкаф управления; *7* — теплообменник.

## Технические данные ртутных выпрямителей

Тип	Условная мощность, квт	Напряжение, в	Ток, а	Область применения
ИВН-500/2,5А×6А (АИНВ-500×6)	2 500	460, 600, 825	3 000, 2 500	} Для цветной металлургии, химии и электротранспорта
ИВН-500/2,5А×12А (АИНВ-500×12)	5 000	230, 600, 825	6 000, 5 000	
ИВН-250/5А×6Б (АИНВР-500×6)	2 500	1 650	1 200	} Для формовочно-резервных стендов
ИВН-500/2,5А×2А (АИНВ-500×2)	1 666	—	—	
ЭВНУ-500/2,5А×6А (АРМНВ-1000×6)	5 000	660, 825, 910	3 000, 2 500 2 250	Для электропривода
ЭВНУ-500/2,5Б×12А (АРМНВ-500×12Р)	10 000	600, 825	6 000, 5 000	Для компенсационных агрегатов в цветной металлургии, химии и электроприводе
ЭВНУ-500/2,5А×6Б-М(АРМНВ-1000×6М)	5 000	До 600	2 000	Для электропривода и ионного возбуждения мощных генераторов
2×ЭВН-500/5А×6А-П (2×АРМНВ-750×6-П)	2×5 000	3 300	3 000	} Для электрифицированных железных дорог
ЭВН-500/5А×9А-П (АРМНВ-850×9-П)	7 500	3 300	3 000	
ЭВНУ-250/5А×6А-М (АРМНВ-500×6МИ)	5 000	3 300	750	} Для формовочно-резервных стендов
ЭВНУ-500/2,5А×2А (АРМНВ-1000×2)	1 666	—	—	
ЭВНУ-500/2,5А×3А (АРМНВ-1000×3)	2 500	—	—	} Для возбуждения электрических машин регулируемого электропривода
РМУ (3)-200 (РМ-200)	120	600	200	
РМ (3)-300 (РМ-300 н/у)	82	275	300	Для питания контактных сетей подземной электровозной откатки

Тип	Условная мощность, квт	Напряжение, в	Ток, а	Область применения
РМУ (6)-500 (РМ-500ВС)	300	600	500	В основном для регулируемого электропривода
РМ (6)-500 (РМ-500ВС н/у)	300	600	500	Для питания контактных сетей городского электротранспорта и подземной электровозной откатки
ЭВУ-250/2×3 (РМВ-250×3)	600	825	750	Применяется для ионного возбуждения электрических машин и электроприводов
ЭВУ-250/2×6 (РМВ-250×6)	1 200	825	1 500	Для ионного возбуждения электрических машин, регулируемого электропривода, городского электротранспорта и цеховых сетей
ИВУ-300/5×6 (ИВС-300/5×6)	3 150	1 650	1 400	Для питания тяговых двигателей промышленных электровозов однофазного переменного тока
ИВУ-500/2×6 (ИВС-500/2×6)	2 800	825	2 500	Для питания регулируемого электропривода и электрифицированного транспорта
ИВС-200/10	4 000	3 300	1 200	} Для тяговых подстанций
ИВС-300/5×6	2 970	1 650	1 800	
ИВС-200/10×6	3 300	3 300	1 000	
ИВС-300/5×12	5 280	1 650	3 200	
ИВС-500/5×12 (с последовательным соединением)	4 125	1 650	2 500	
				Для электровозов переменного тока

## Технические данные трансформаторов для металлических ртутных выпрямителей

Тип	Выпрямленные		Номинальные первичные		Вес с маслом, <i>m</i>
	ток, <i>a</i>	напряжение, <i>b</i>	мощность, <i>квa</i>	напряжение*, <i>кв</i>	
Масляные со встроенными уравнительными реакторами					
ТМРУ-2600/10	3 000	460	1 620	6; (6,3); 10; (10,5)	10
	2 000	600	1 385		10,2
	1 800	825	1 700		10,3
ТМРУ-3500/35	3 000	600	2 080	{ 6; (6,3); 10; (10,5), 35 6; (6,3); 10; (10,5) (31,5); 35; 38,5 6; 10; 35	15,5
	2 500	825	2 360		15,8
	1 000	1 650	1 850		16
	500	3 300	1 850		16
	6 000	230	1 690		15,8
ТМРУ-6200/35	6 000	460	3 240	{ 6; (6,3); 10; (10,5); 8,55** 14; 35 6; (6,3); 10; (10,5) (31,5); 35; 38,5	24,7
	6 000	600	4 220		25,6
	5 000	825	4 780		25,9
	2 000	1 650	3 700		25,5
	1 000	3 300	3 700		25,5

\* Напряжение в скобках применять не рекомендуется.

\*\* Напряжения 8,55 и 14,25 *кв* — при питании от автотрансформатора АТМН-10000/10.

\*\*\* Питание от автотрансформатора АТМН-10000/35.

Тип	Выпрямленные		Номинальные первичные		Вес с маслом, т
	ток, а	напряжение, в	мощность, квв	напряженне*, кв	
ТМРУ-12800/10	2×5 000	850	9 552	14, 25**	36,9
ТМРК-12800/10	2×5 000	820	9 620	14, 25**	42
ТМРК-12800/35	2×5 000	825	9 550	36,75	47,6
		825	9 550	38,5***	47,6
		600	7 020	38,5	46,5
ТДРК-25600/10	4×5 000	850	2×9 800	11	82,4
ТМРУ-16000/10	3 000	3 300	11 100	6; 11	45
ТДРУ-16000/10	2×6 000	900	12 500	10	45,8
Масляные для питания выпрямителей по мостовой схеме					
ТМР-560/10М	500	245	165	10	3
ТМР-1000/10М	750	485	414	6	3,7
ТМР-1800/10М	{ 800 80	825	765	5; 6; 6,3; 10	6,15
		11 140	980		6,55
ТМР-3200/10М	250	10 400	2 880	10	15,1
ТМР-5600/35М	750	3 300	3 500	6,3; 10,5; 35; 38,5	21,7
ТМР-11000/10М	2×1 125	3 300	8 400	10,5	28,5
ТМР-11000/35М	2×750	3 300	5 600	35	26
То же по трехфазной нулевой схеме					
ТМР-560/10Н	{ 750 1 500	275	287	6; 10	3
		120	270		3,25
ТМР-750/10Н	{ 750 1 500	460	470	6; 10	4,4
		215	725		{ 6
ТМР-1200/10Н	750	750	846		
ТМР-1800/10Н	1 500	415			5, 2

Тип	Выпрямленные		Номинальные первичные		Вес с маслом, т
	ток, а	напряжение, в	мощность, кВа	напряжение*, кВ	
Масляные для электрифицированных железных дорог					
ТМРГ-11000/110	2×1 125	3 300	8 450	110	46
То же с регулированием напряжения под нагрузкой					
ТМРН-15000/10	2×1 125	3 000—4 000	10 150	10,5	37
То же со встроенным уравнивающим реактором					
ТДРУНГ-20000/110	3 000	3 500—3 700	12 750	110	57,75
С заполнением негорючей жидкостью					
ТНР-420/0,5П	2×150	500	101	0,38	1,9
ТНР-750/10	1 500	275	488	6	4,6
ТНР-750/10Н×2	2×650	275	495		6; 10
ТНР-750/10Н	750	460	462	6	
ТНРУ-1200/10	1 500	230	425		
	2 000		565		

Тип	Выпрямленные		Номинальные первичные		Вес с маслом, т
	ток, а	напряженне, в	мощность, квa	напряжение*, кв	

Сухие для питания выпрямителей по трехфазной нулевой схеме

ТСП-180/0,5	170	485/267	107/62	0,38	1,037****
	200	230	65	0,38/0,22	0,95****

Масляные с отдельным уравнительным реактором

ТМР-1800/10	1 000	675	770	6	6,23
ТМР-3200/35	6 000	300	2 204	35	15,2
	3 000	600	2 080	6	15
ТМР-3200/35П	2×1 300	825	1 700	6	15
	2×1 500	700	1 700	10	15,2
	2×1 500	630	1 530	6	14,8
ТМР-5600/35П	2×2 150	700	2 450	6	21,8
ТМР-5600/35	5 000	825	4 780	6; 10; 35	22,8
	4 600	910	4 780	10	22,5
	1 000/2 000	3 300/1 650	3 700	6; 35	22,8
ТМР-11000/10	5 500	910	5 730		26,8
	6 500	910	6 770	10	28,3
	7 000	825	6 600		28,4

## Технические данные быстродействующих автоматических выключателей

Наименование изделий	Тип	Напряжение, в	Ток, а	Область применения	
Выключатель анодный	6XBAБ-10	До 825	2 500	} Для защиты ртутных выпрямителей и других установок постоянного тока от обратных токов и коротких замыканий	
	6XBAБ-15	До 825	6 000		
	6XBAБ-36	До 825	6 000		
Выключатель катодный	BAБ-28-1500/30-K	3 300	1 500		
	BAБ-28-3000/30-K	3 300	3 000		
	BAБ-28-3000/15-K	1 650	3 000		
	BAБ-28-6000/15-K	825	6 000		
Выключатель линейный	BAБ-28-1500/30-Ф	3 300	1 500		} Для защиты ртутных выпрямителей и других установок постоянного тока от коротких замыканий и перегрузок
	BAБ-28-3000/30-Ф	3 300	3 000		
	BAБ-28-3000/15-Ф	1 500	3 000		
	BAБ-28-6000/15-Ф	825	6 000		
Выключатель катодный и линейный (модернизированный)	BAБ-20-1500/15-M	До 1 650	1 500		

Технические данные шкафов управления ртутными выпрямителями<sup>1</sup>

Тип	Мощность, потребляемая шкафом, ква	Тип ртутного выпрямителя
ШРВ-41-II	4,2	АРМНВ-1000×6; ЭВНУ-500/2,5А×6А
ШРВ-44-II-р	6	АРМНВ-1000×6М; ЭВНУ-500/2,5А×6Б-М
ШРВ-44-II-ф	2,6	АРМНВ-1000×2; ЭВНУ-500/2,5А×2А
ШРВ-46-II	3,5	АРМНВ-1000×3; ЭВНУ-500/2,5А×3А
ШРВ-47-II	6,4	Два АРМНВ-1000×6
ШРВ-49-V	4,4	АРМНВ-500×6МИ; ЭВНУ-250/5А×6А-М; ИВН-500/2,5А×12А
ШРВ-53-II	3,2	АИНВ-500×12 (с пусковой аппаратурой, аппаратурой защиты, автоматики и сигнализации)
ШРВ-58-III	4	АИНВ-500×12; ИВН-500/2,5А×12А
ШРВ-59-V	4	АИНВ-500×6; ИВН-500/2,5А×6А; ИВН-250/5А×6Б
ШРВ-62-I	3,3	АИНВ-500×2; ИВН-500/2,5А×2А
ШРВ-67	2	АРМНВ-850×9П; ЭВН-500/5А×9А-П
ШРВ-70	5,2	АРМНВ-500×12Р; ЭВНУ-500/2,5Б×12А
ШРВ-71	6	Два АРМНВ-750×6П;
ШРВ-74	7,2	Два ЭВН-500/5А×6А-П

<sup>1</sup> С аппаратурой для возбуждения, зажигания, сеточного управления и питания ртутных насосов. Ко всем выпрямителям на 1 650 и 3 300 в поставляются также разрядники типа РРВ-1.

## Технические данные теплообменников для ртутных выпрямителей

Тип	Выпрямленный ток, <i>a</i>	Расход охлаждающей воды при 25° С, м <sup>3</sup> /час	Мощность, кВт		Тип ртутного выпрямителя
			электродвигателя, насоса или вентилятора	подогревателя	
По системе вода — вода					
АТВ-1000	1 000	7	2,8	3,9	{ АРМНВ-1000×2, ЭВНУ-500/2,5А×2А АИНВ-500×2, ИВН-500/2,5А×2А
АТВК-3000	3 000	8	2,8	9,3	АИНВ-500×6, ИВН-500/2,5А×6А, ЭВН-500/5А×6А-П
АТВК-6000	6 000	14	2,8	10	{ АИНВ-500×12, АИНВР-500×12, ИВН-500/2,5А× ×12А, АРМНВ-500×12Р, ЭВНУ-500/2,5Б×12А
ТВ-20000	20 000	43	28	10	Один на четыре АИНВ-500×12, АРМНВ-500×12Р, ИВН-500/2,5А×12А или ЭВНУ-500/2,5Б×12А
По системе вода — воздух					
АТ-2000*	2 000	—	2,8	30	АИНВР-500×6 (на 1 650 в); ИВН-250/5А×6Б

\* С 1965 г. заменяются на АТ-2000В.

---

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. II, Госэнергоиздат, 1955.
  2. Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. III, Госэнергоиздат, 1956.
  3. Ривкин Г. А., Преобразовательные установки большой мощности, Госэнергоиздат, 1959.
  4. Крапивин В. К., Фалеев И. Н., Глух Е. М., Металлические ртутные выпрямители (Технический справочник), Госэнергоиздат, 1951.
  5. Проектирование электроустановок промышленных предприятий, ч. I, т. I, под ред. Большама Я. М., Грачева В. А., Самовера М. Л., Госэнергоиздат, 1963.
  6. Преобразовательная техника (Сб. статей по материалам научно-технического совещания), ЦИТИЭлектропром, 1960.
  7. ГОСТ 2329-62, Агрегаты преобразовательные с ртутными металлическими вентилями. Основные параметры и общие технические требования.
  8. Дидух Ю. И., Кутьин А. И., Опыт эксплуатации аппаратуры режимной автоматики ртутных выпрямителей (вып. 119, «Библиотека электромонтера»), «Энергия», 1964.
  9. Каминский Е. А., Звезда и треугольник («Библиотека электромонтера», вып. 44), Госэнергоиздат, 1961.
-

Цена 12 коп.

## БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

### ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- Бойченко В. И., Быков Б. Ф., Соединение алюминиевых проводников и присоединение их к выводам электрооборудования (Вып. 133)
- Каровский Г. А., Влияние среды на электрооборудование (Вып. 134)
- Бариев Н. В., Электропривод одноковшовых экскаваторов типа ЭКГ-4 и ЭКГ-4,6 (Вып. 135)
- Гуревич Г. И., Как паять (Вып. 136)
- Чернев К. К., Обслуживание трансформаторов (Вып. 137)
- Аберсон М. Л., Источники оперативного тока на подстанциях (Вып. 138)
- Урин В. Д., Наладка магнитных усилителей (Вып. 139)
- Рубо Л. Г., Маршак Е. Л., Монтаж обмоток электрических машин высокого напряжения (Вып. 140)
- Иевлев В. И., Карягин А. Г., Электромонтаж генераторов и трансформаторов на электростанциях (Вып. 141)
- Айзенберг Ю. Б., Что нужно знать о светильниках с люминесцентными лампами (Вып. 142)
- Алякритский И. П., Мандрыкин С. А., Сушка электрических машин и трансформаторов (Вып. 144)

**Черепенин П. Г.,** Монтаж асинхронных двигателей до 100 квт (Вып. 145)

- Беляева Е. Н., Как рассчитать ток короткого замыкания (Вып. 146)
- Юриков П. А., Средства защиты изоляции от атмосферных перенапряжений (Вентильные разрядники) (Вып. 147)
- Фугенфиоров М. И., Пускорегулирующая аппаратура для люминесцентных ламп (Вып. 148)

### ГОТОВЯТСЯ К ИЗДАНИЮ

- Белоцерковец В. В., Применение пропан-бутана в электро-монтажном производстве
- Дуткин Г. С., Монтаж проводов линий электропередачи на штыревых изоляторах
- Марголин Ш. М., Точная остановка электроприводов
- Марфин Н. И., Охрана линий электропередачи