



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Е.А. Панова
А.В. Варганова
А.В. Малафеев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2017

Рецензенты:

кандидат технических наук,
начальник цеха электрических сетей и подстанций
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»
Н.А. Николаев

доктор технических наук,
профессор кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»
А.С. Сарваров

Панова Е.А., Варганова А.В., Малафеев А.В.

Проектирование систем оперативного тока электрических станций и подстанций
[Электронный ресурс] : учебное пособие / Евгения Александровна Панова, Александра Владимировна Варганова, Алексей Вячеславович Малафеев ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,36 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9967-1016-4

Учебное пособие предназначено для изучения материала, необходимого для проектирования систем оперативного постоянного, переменного и выпрямленного тока электрических станций и подстанций. Пособие разработано для курсового и дипломного проектирования раздела «Оперативный ток». В учебном пособии приведен теоретический материал по системам оперативного тока, изучаемый в дисциплине «Электрические станции и подстанции».

Пособие предназначено для студентов для студентов направления 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение»

УДК 621.311 (075)

ISBN 978-5-9967-1016-4

© Панова Е.А., Варганова А.В., Малафеев А.В. 2017
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», 2017

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА	5
1.1. Общие сведения.....	5
1.2. Состав и характеристика нагрузки источников постоянного тока	5
1.3. Разновидности аккумуляторных батарей	12
1.4. Конструктивное исполнение аккумуляторной батареи.....	12
1.5. Принцип действия свинцово-кислотных аккумуляторов.....	21
1.6. Режимы работы аккумуляторных батарей.....	23
1.7. Формовка аккумуляторных батарей.....	25
1.8. Выбор аккумуляторных батарей.....	26
1.9. Выбор зарядных и подзарядных агрегатов.....	30
1.10. Схемы аккумуляторных установок	37
1.11. Схемы распределения оперативного тока	39
1.12. Токоведущие части аккумуляторных установок.....	42
1.13. Расчет токов короткого замыкания в системах оперативного постоянного тока.....	43
1.14. Выбор защитных аппаратов и параметров их срабатывания.....	51
1.15. Компоновка аккумуляторных помещений	54
1.16. Компоновка щита постоянного ток	61
2. ИСТОЧНИКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРЕМЕННОГО И ВЫПРЯМЛЕННОГО ТОКА	62
2.1 Общие сведения.....	62
2.2. Технические данные блоков питания.....	67
2.3. Схемы распределения оперативного переменного и выпрямленного тока.....	72
2.4. Выбор и проверка блоков питания	76
2.5. Выбор конденсаторов	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	81
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	82

ВВЕДЕНИЕ

Системы оперативного тока являются обязательной частью любых высоковольтных электроустановок и обеспечивают их нормальное функционирование в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах, являясь источниками питания для цепей управления, сигнализации, блокировок, релейной защиты и автоматики, аварийного освещения в электроустановках любого назначения, а также ряда ответственных механизмов малой мощности на электростанциях.

Проектирование системы оперативного тока является одним из завершающих этапов разработки проекта электрической части электростанции или подстанции и непосредственно предшествует проектированию релейной защиты и других цепей вторичной коммутации рассматриваемого объекта. Основным требованием к системе оперативного тока является надежность, которая обеспечивается соответствующими схемными решениями, в частности, предусматривается раздельное питание для цепей различного назначения (например, управления, центральной сигнализации и питания приводов выключателей), используются различные виды резервирования. В установках постоянного тока предпочтение отдается современным малообслуживаемым аккумуляторным батареям, в некоторых случаях – герметичным необслуживаемым элементам.

В целях лучшего усвоения материала учебное пособие поделено на две части, первая из которых посвящена системам оперативного постоянного тока и включает в себя характеристику нагрузки источников постоянного тока в различных режимах работы и справочную информацию о нагрузках аварийных маслососов, приводов выключателей и других электроприемниках; приводятся примеры графиков нагрузки постоянного тока. Даются подробные сведения о конструктивном исполнении и принципе действия аккумуляторных батарей, описываются возможные режимы их работы.

Рассмотрены методики выбора аккумуляторных батарей и количества основных и дополнительных элементов как на основе определения типового номера, так и с использованием разрядных таблиц; выбора зарядных и подзарядных агрегатов для аккумуляторов с классическим жидким электролитом и для аккумуляторов, произведенных по технологиям AGM и GEL. Приведены сведения об элементных коммутаторах и автоматических регуляторах напряжения, а также о зарядно-подзарядных агрегатах и зарядных мотор-генераторах.

Приведены схемы аккумуляторных установок с элементным коммутатором и без него, а также принципы построения схем распределения оперативного тока применительно к распределительным устройствам различного исполнения. Рассмотрены способы контроля изоляции в установках постоянного тока.

Как и в схемах первичных соединений, в схемах оперативного тока должны решаться вопросы выбора аппаратов и токоведущих частей. В пособии с этой целью изложена методика расчета токов короткого замыкания в системах оперативного постоянного тока, включая особенности, которые необходимо учитывать при питании от аккумуляторных батарей. Приведены также условия выбора и проверки предохранителей и автоматических выключателей, технические данные жесткой ошиновки аккумуляторных батарей.

Для разработки конструктивного исполнения закрытой части подстанции или помещения главного щита управления приведены возможные варианты компоновки аккумуляторных помещений и их конструктивные особенности.

Во второй части пособия рассмотрены вопросы, связанные с разработкой систем оперативного переменного и выпрямленного тока. Приведена классификация источников питания, схемы их внутренних соединений, схемы подключения, технические данные блоков питания и блоков конденсаторов. Рассмотрены варианты схем распределения оперативного тока. Приведены методики выбора конденсаторов и блоков питания.

1. СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1. Общие сведения

Оперативный ток служит для питания вторичных устройств, к которым относятся оперативные цепи защиты, автоматики и телемеханики, аппаратуры дистанционного управления, аварийная и предупредительная сигнализация. При нарушениях нормальной работы электростанции или подстанции оперативный ток в некоторых случаях используется также для аварийного освещения и для электроснабжения особо ответственных механизмов собственных нужд.

От источников оперативного тока требуется повышенная надежность, поэтому их мощность должна быть достаточной для надежного действия вторичных устройств при самых тяжелых авариях, а напряжение должно отличаться высокой стабильностью. Эти же требования высокой надежности приводят к необходимости повышенного резервирования источников оперативного тока и их распределительных сетей.

Самым надежным источником питания оперативных цепей считаются аккумуляторные батареи. Большим преимуществом их является независимость от внешних условий, что позволяет обеспечивать работу вторичных устройств даже при полном исчезновении напряжения в основной сети станции (подстанции). Другим немаловажным достоинством этого источника является способность выдерживать значительные кратковременные перегрузки, необходимость в которых возникает при наложении на нормальный режим аккумулятора толковых токов включения приводов выключателей.

Крупным недостатком аккумуляторных батарей является большая стоимость как самих аккумуляторных батарей, так и сети оперативного тока, которая при централизованном распределении получается сложной и разветвленной. Аккумуляторные батареи требуют отдельного, специально оборудованного помещения, изолированного от других служебных и производственных помещений и снабженного приточно-вытяжной вентиляцией. Кроме того, необходима квалификация обслуживающего персонала.

1.2. Состав и характеристика нагрузки источников постоянного тока

При нормальной работе электростанции сеть постоянного тока питается через преобразователь. Батарея заряжена и потребляет лишь небольшой ток для компенсации саморазряда. При нарушении нормального режима (исчезновении напряжения переменного тока в системе собственных нужд) преобразователь отключается и нагрузку принимает на себя батарея.

Расчетную длительность аварийного режима для всех приемников постоянного тока электростанций, связанных с системой, принимают равной 0,5 ч; для станций, не связанных с системой, – 1 ч.

Основную нагрузку установки постоянного тока на тепловой электростанции составляют следующие приемники:

- 1) аппараты устройств дистанционного управления, сигнализации, блокировки, релейной защиты и автоматики;
- 2) приводы выключателей, автоматов, контакторов;
- 3) аварийное освещение;
- 4) электродвигатели аварийных маслонасосов в системах смазки агрегатов;
- 5) электродвигатели аварийных насосов в системах уплотнения вала генератора;
- 6) электродвигатели аварийных маслонасосов в системах регулирования турбин (только для турбин, имеющих автономную систему регулирования с приводом аварийных маслонасосов двигателями постоянного тока);
- 7) преобразовательный агрегат для аварийного питания устройств связи.

Классификация токов нагрузки в зависимости от режима приведена в табл. 1.1.

Токи нагрузки установки постоянного тока

Характер нагрузки	В нормальном режиме	В аварийном режиме	
		переходном	установившемся
Постоянная	Токи аппаратов устройств управления, блокировки, сигнализации, релейной защиты и автоматики		
Кратковременная	Токи включения и отключения приводов выключателей и автоматов. Токи аппаратов устройств управления, блокировки, сигнализации, релейной защиты и автоматики		
	—	Пусковые токи электродвигателей	—
Временная	—	Токи аварийного освещения	Токи электродвигателей и аварийного освещения

В табл. 1.1 постоянная нагрузка соответствует току, потребляемому с шин постоянного тока в нормальном режиме и неизменному в течение всего аварийного режима, временная нагрузка характеризует работу установки в установившемся аварийном режиме, кратковременная нагрузка характеризуется потребляемым током в переходном аварийном режиме.

Некоторые справочные данные о нагрузках, учитываемых при выборе аккумуляторных батарей, приведены в табл. 1.2, 1.3, 1.4. Постоянная нагрузка, нагрузка аварийного освещения и преобразовательного агрегата определяются при проектировании конкретного объекта. Постоянная нагрузка оценивается по потреблению аппаратуры главного или блочного щита и других щитовых устройств, а также по мощности постоянно включенных ламп аварийного освещения. Значением постоянной нагрузки определяется мощность подзарядного агрегата. Поскольку постоянные нагрузки невелики и практически не влияют на выбор батареи, допустимо ориентировочно принимать на одну батарею при проведении расчетов следующие значения:

- для ТЭС с поперечными связями – 20 А;
- для ТЭС с блоками 150–200 МВт (одна батарея на два блока) – 40 А;
- для ТЭС с блоками 300 МВт (одна батарея на два блока) – 40 А;
- для ТЭС с блоками 300–800 МВт (одна батарея на блок) – 25–35 А;
- для ТЭС и крупных подстанций – 25 А.

Характер изменения нагрузки аккумуляторной батареи в процессе работы следующий (для электростанций различной мощности).

На ТЭС мощностью до 200 МВт с поперечными связями в тепловой части устанавливается одна батарея, при мощности более 200 МВт – две аккумуляторные батареи одинаковой емкости. После исчезновения переменного тока через время, обусловленное действием АВР, включается резервный трансформатор собственных нужд (СН), поэтому на батарею накладывается толчковая нагрузка тока I_3 (рис. 1.1), потребляемого электромагнитным приводом выключателя (условно принято, что от АВР включаются два выключателя ВМП-10 и один МГ-10) [2].

Таблица 1.2

Основные технические характеристики аварийных маслососов и приводных электродвигателей для турбин и генераторов 50–800 МВт

Тип турбины, генератора	Тип и технические характеристики		Ток длительного режима, А	Пусковой ток, А
	насоса	двигателя ($U_{ном}=220$ В)		
Маслососы системы смазки				
К-50-90; К-100-90; К-160-130; К-200-130; ПТ-60; Р-50-130; Т-100-130	4НДВ $Q=108$ м ³ /ч	П-62 $P_{ном}=14$ кВт	73	184
К-200-240 ХТЗ	5НДВ $Q=180$ м ³ /ч	П-81 $P_{ном}=32$ кВт	155	530
К-300-240 ЛМЗ К-500-240	12-КМ-20А $Q=300$ м ³ /ч	П-82-В3 $P_{ном}=42$ кВт	140	540
Насос системы регулирования				
К-300-240 ЛМЗ	НВР-35-12	П-72 $P_{ном}=42$ кВт	200	540
Маслососы систем уплотнения вала генератора				
ТВФ-60-2; ТВФ-100-2; ТВФ-120-2	ЭМН-10	П-42 $P_{ном}=8$ кВт	40	130
ТВВ-165-2; ТВВ-200-2; ТВВ-320-2; ТВВ-800-2	3МСМ-10×8	П-62 $P_{ном}=25$ кВт	120	300
ТВВ-500-2	ЧМСМ-10×6	П-72 $P_{ном}=42$ кВт	200	540
ТГВ-165-2; ТГВ-200-2; ТГВ-300-2; ТГВ-500-2	ЧМК-7×2	П-51 $P_{ном}=11$ кВт	50	150

Таблица 1.3

Технические характеристики электромагнитных приводов выключателей

Тип выключателя	Тип привода	Потребляемый ток привода ($U_{ном}=220$ В)	
		при включении	при отключении
1	2	3	4
ВМГ-10, ВМП-10, ВМП-10К	ПЭ-11	58	1,25
ВМП-10У	ПЭ-11У	58	1,25
ВМП-10Э, ВМПЭ-10	ПЭВ-11	100	2,5

Окончание табл. 1.3

1	2	3	4
ВЭМ-6	ПЭ-22	250	2,5
ВЭМ-10П	ПЭГ-7	80	1,25
МГГ-10-45	ПЭ-21	148	2,5
МГГ-10-63К	ПЭ-21А	250	2,5
МГ-10, МГ-20	ПС-31	155	2,5
С-35М-10	ШПЭ-12	101	2,5
С-35-50	ШПЭ-38	244	5
МКП-35	ШПЭ-31	124	5
У-35	ШПЭ-36	232	2,5
ВМК-35	ПЭ-31Н	166	5
МКП-110М	ШПЭ-33	244	5
У-110-40	ШПЭ-44	480	2,5
У-110-50	ШПЭ-46	450	10
	ШПВ-46П (на полюс)	5	10
У-220-40	ШПЭ-46 (на полюс)	450	10
У-220-25	ШПЭ-44П (на полюс)	240	5
	ШПВ-45П (на полюс)	5	5

Таблица 1.4

Технические характеристики электромагнитов управления воздушных выключателей

Тип выключателя	Потребляемый ток электромагнита управления, А, на полюс	
	в форсированном режиме	в установившемся режиме
ВВБм-10, ВВШ-10, ВВБ-220, ВВД-220Б, ВВ-330В, ВВ-500Б	12	4,5
ВВБ-330Б, ВВБк-330, ВВД-330Б, ВВБ-500, ВВБ-750	20	5
ВНВ-220, ВНВ-330Б, ВНВ-500	13,5	4,5

Технические характеристики электромагнитов управления воздушных выключателей

Тип выключателя	Потребляемый ток электромагнита управления, А, на полюс	
	в форсированном режиме	в установившемся режиме
ВВБм-10, ВВШ-10, ВВБ-220, ВВД-220Б, ВВ-330В, ВВ-500Б	12	4,5
ВВБ-330Б, ВВБк-330, ВВД-330Б, ВВБ-500, ВВБ-750	20	5
ВНВ-220, ВНВ-330Б, ВНВ-500	13,5	4,5

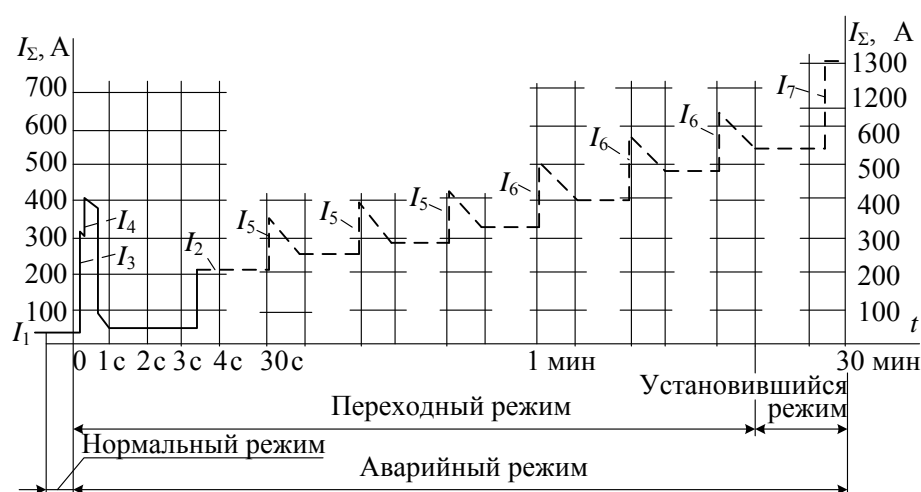


Рис. 1.1. Расчетный график нагрузки постоянного тока ТЭС с поперечными связями

В этот же момент включается резервный преобразовательный агрегат оперативной связи, потребляющий ток I_4 , через 3–5 с включается аварийное освещение (ток I_2). Если питание СН не восстановлено, то через несколько секунд начинают включаться маслонасосы уплотнений, а затем маслонасосы смазки, создающие толчки тока I_5 и I_6 .

От одной батареи могут питаться потребители трех агрегатов (3×60 МВт или 2×60 МВт+1×100 МВт). Не следует допускать совпадения пусковых режимов всех маслонасосов.

Период резкопеременной нагрузки является переходным режимом. Установившийся режим наступает, когда будут включены все потребители. По окончании аварийного режима (30 мин) может быть толчковая нагрузка (ток I_7) от выключателя в главной схеме. На графике условно принято включение выключателя У-220, имеющего наибольший ток потребления привода (ШПЭ-46).

На станциях с блочными схемами для каждого двух блоков, обслуживаемых одним блочным щитом, предусматривается, как правило, одна аккумуляторная батарея. Для блоков мощностью 300 МВт и выше допускается установка отдельной батареи на каждый блок.

Для определения максимальных суммарных толковых токов на батарею анализируются возможные неблагоприятные наложения аварийных нагрузок блоков.

На рис. 1.2 показан в качестве примера график нагрузки аккумуляторной батареи для двух блоков 150–200 МВт.

Полное совпадение толковых токов обоих блоков может иметь место только при син-

хронной потере напряжения в системе СН. Такая возможность в расчетах не рассматривается как маловероятная, в частности, не принимается в расчет совпадение пусковых токов маслонасосов разных блоков или токов включения выключателей при работе АВР разных блоков. Нагрузка I_3 состоит из толковых токов выключателей, включаемых АВР (в данном случае двух ВМПЭ-10 и одного ВВБ-220 или У-220 со стороны высшего напряжения ТСН). По окончании аварийного режима на графике показан ток I_7 включения выключателя типа У-220, т.к. учет малых токов электромагнитов воздушных выключателей при наличии приводов с большими токами включения не обязателен. Ток I_4 преобразовательного агрегата оперативной связи учитывается только при расчете режима работы первой аккумуляторной батареи станции.

Для станций с блоками мощностью 300 МВт и выше характерны значительные толковые нагрузки в сети постоянного тока, т.к. ввиду отсутствия на валу турбины главного масляного насоса при исчезновении переменного тока на батарею практически одновременно накладываются нагрузки приводов выключателей, электродвигателей маслонасосов смазки, регулирования (для турбин ЛМЗ), агрегата оперативной связи. Все генераторы мощностью 300 МВт и выше снабжаются демпферным баком, который обеспечивает необходимое давление масла в системе уплотнения в течение более 5 мин без включения насосов постоянного тока. Обычно маслонасосы уплотнения включаются примерно через 15 с, что нужно учитывать в расчетах.

График нагрузки аккумуляторной батареи ТЭС с блоками 300 МВт ХТЗ приведен на рис. 1.3.

При одновременном отключении от сети двух блоков, обслуживаемых одной батареей, из-за внешних повреждений, например, при КЗ на шинах высшего напряжения, возможно действие технологических защит (одновременное закрытие стопорных клапанов турбин) и действие АВР. При этом практически одновременно включаются маслонасосы первой очереди обоих блоков от уставки I реле давления. Маслонасосы второй очереди включаются мгновенно только при невключенных маслонасосах первой очереди, в противном случае они включаются от уставки II реле давления с выдержкой времени 2,5 с. Таким образом, расчетным током для проверки батареи двух блоков 300 МВт ХТЗ по толковому току является совмещенный толчок от пусковых токов двух маслонасосов смазки и токов включения выключателей, участвующих в АВР (в данном случае четыре выключателя со стороны 6 кВ и один со стороны высшего напряжения ТСН).

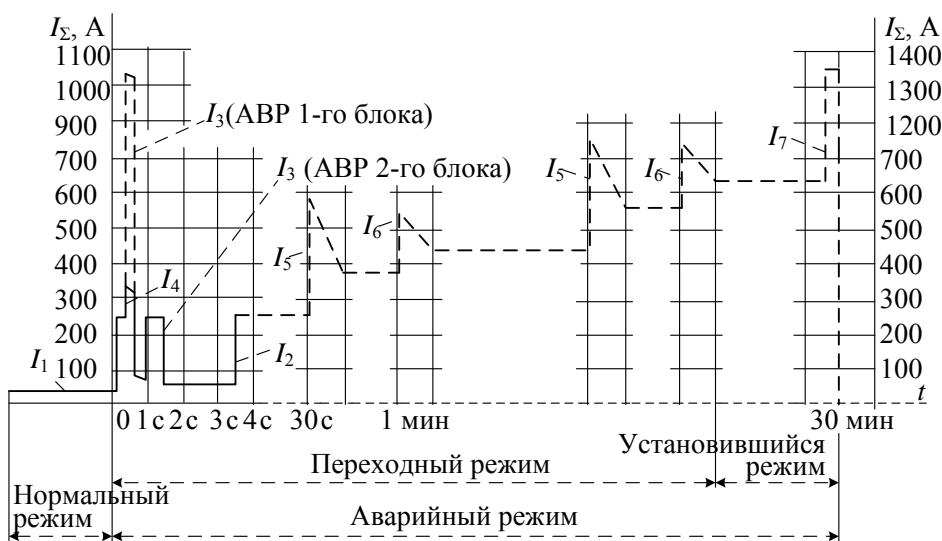


Рис. 1.2. Расчетный график нагрузки постоянного тока ТЭС с блоками 150-200 МВт (одна батарея на два блока)

Анализ графиков нагрузки батареи в переходном аварийном режиме показывает, что имеет место не менее двух моментов времени, характеризующихся значительными толчковыми нагрузками. В качестве примеров можно привести первый момент работы выключателей при АВР или момент неблагоприятного наложения рабочих и пусковых токов двигателей аварийных маслонасосов. Каждый из этих моментов должен проверяться с учетом допустимых уровней напряжения на зажимах соответствующих приемников (см. табл. 1.5).

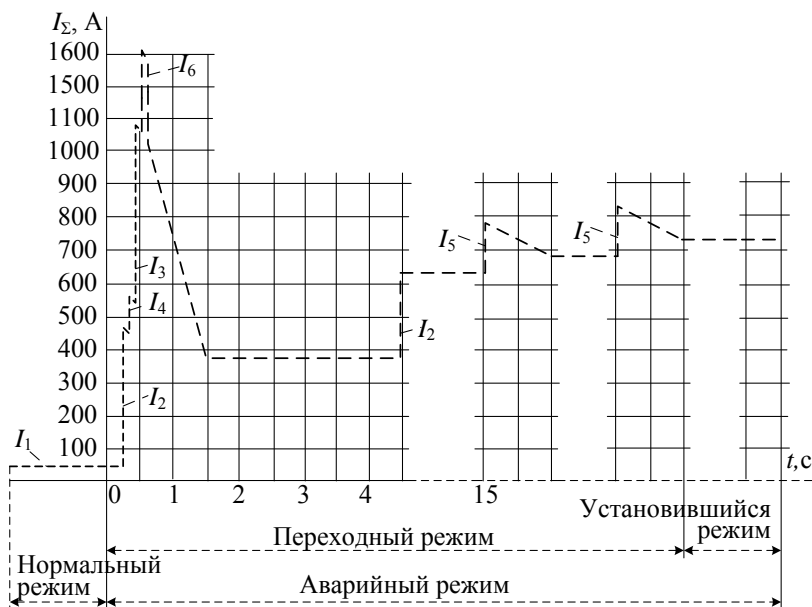


Рис. 1.3. Расчетный график нагрузки постоянного тока ТЭС с блоками 300 МВт (одна батарея на два блока)

Таблица 1.5

Допустимые отклонения напряжения от номинального значения 220 В, %

Приемники	Нормальный режим	Переходный аварийный режим	Установившийся аварийный режим
Устройства управления, блокировки, сигнализации, РЗиА	±5	+15 ÷ -20	±10
Приводы масляных выключателей:			
– при токах включения до 50 кА		+10 ÷ -20	
– при токах включения более 50 кА		+10 ÷ -15	
– при отключении		±20	
Электромагниты управления воздушных выключателей		+20 ÷ -35	
Аварийное освещение	±5	Без особых ограничений	+10 ÷ -5
Электродвигатели аварийных масляных насосов в системах смазки, уплотнения вала генератора и регулирования турбин	–	+15 ÷ -25	+10 ÷ -5

1.3. Разновидности аккумуляторных батарей

Согласно классификации МЭК, стационарные свинцово-кислотные аккумуляторы подразделяются на открытые и закрытые [3]:

– аккумулятор открытого типа – аккумулятор, в котором газы, выделяющиеся в процессе заряда, могут свободно выходить наружу. Такие аккумуляторы допускают доливку электролита;

– аккумулятор закрытого типа – аккумулятор, который закрыт в обычных условиях, но имеет устройство, позволяющее выделяться газу, когда внутреннее давление превышает определенное значение. Обычно доливка электролита в такой аккумулятор невозможна.

В действующем стандарте ГОСТ 26881-86 даются несколько иные определения:

– аккумуляторы открытого исполнения – ремонтпригодные аккумуляторы, выпускаемые в виде комплекта деталей (электропроводные пластины, баки, сепараторы);

– аккумуляторы закрытого исполнения – аккумуляторы с несъемными крышками (неремонтпригодные).

В отечественной технической литературе аккумуляторы закрытого типа (по МЭК) часто называют герметизированными, в англоязычной литературе для этих аккумуляторов принят термин Valve Regulated Lead Acid (VRLA) – свинцово-кислотные с регулирующим клапаном. Клапан открывается при повышении давления внутри корпуса до 100–200 мбар.

По типу положительных электродов аккумуляторы подразделяются на следующие разновидности:

1) аккумуляторы с поверхностными электродами (электродами Плантэ); технология производства таких аккумуляторов по международной классификации обозначается GroE;

2) аккумуляторы с плоскими намазными электродами – технология OP;

3) аккумуляторы с решетчатыми намазными электродами – технология OGi; элементы с положительными пластинами на основе медной решетки обозначаются OCSM;

4) аккумуляторы с панцирными (трубчатыми) электродами – технология OPzS.

Технология изготовления отрицательных электродов мало влияет на характеристики аккумуляторов и обычно соответствует технологии OP или OGi.

По типу электролита аккумуляторы подразделяются на следующие виды:

1) аккумуляторы с жидким электролитом (классическим электролитом);

2) аккумуляторы с загущенным желеобразным (гелевым) электролитом, технология GEL;

3) аккумуляторы с абсорбированным электролитом – технология AGM.

Технология GroE предусматривает формовку электродов путем многократных циклов заряда-разряда, в результате чего поверхность электродов становится пористой. В технологиях OP и OGi нанесение на плоский или решетчатый электрод предварительно измельченного свинца (свинцовой пасты) позволяет отказаться от формовки, т.к. пастированный электрод изначально обладает необходимой пористостью.

1.4. Конструктивное исполнение аккумуляторной батареи

1.4.1. Общая характеристика

На электрических станциях и подстанциях находят применение как свинцово-кислотные, так и железоникелевые щелочные аккумуляторы, однако технические характеристики кислотных лучше, чем щелочных. Начальное напряжение разряда свинцово-кислотных аккумуляторов составляет 2,1–2,2 В вместо 1,2–1,3 В у щелочных; разрядная характеристика $U_{\text{разр}}(\tau)$ у свинцовых более пологая; их КПД выше, чем у щелочных аккумуляторов. Щелочные железоникелевые аккумуляторы имеют меньший допустимый диапазон изменения

напряжения элементов в режиме разряда. Кратность допустимой толчковой нагрузки у них меньше, чем у кислотных аккумуляторов.

В силу сказанного, несмотря на большой срок службы, меньший саморазряд, большую стойкость при коротких замыканиях, отсутствие выделения вредных паров, железоникелевые аккумуляторы находят на электрических станциях и подстанциях менее широкое применение, чем свинцовые.

1.4.2. Аккумуляторы типа С (СК)

В эксплуатации в настоящее время находится достаточно большое количество открытых свинцово-кислотных аккумуляторов с поверхностными положительными и коробчатыми отрицательными пластинами типа С (СК). Они отличаются устойчивостью параметров и большим сроком службы. Их положительным качеством является сравнительно малая чувствительность к низким температурам (потеря емкости до уровня 70% от номинальной наступает при температуре электролита минус 20°C). Недостатками таких аккумуляторов являются большая масса и габариты, а также необходимость установки в специальных помещениях [15].

Положительная пластина представляет собой полосу чистого свинца (рис. 1.4). Ее фактическая поверхность в 7–9 раз больше кажущейся за счет различных видов обработки (штамповка и др.). Это связано с тем, что в электрохимических реакциях принимает участие преимущественно поверхностный слой, состоящий из двуокиси свинца PbO_2 . Это соединение образует активную массу пластины и образуется в процессе формирования. Поскольку толщина активного слоя практически неизменна, его объем можно считать пропорциональным площади поверхности.

Положительные поверхностные пластины для аккумуляторов СК используются трех типов: И-1, И-2 и И-4. Пластины типа И-2 в 2 раза больше И-1 по размерам и по емкости. Пластина И-4 в 2 раза больше пластины И-2.

Отрицательные пластины поверхностного типа, у которых активная масса состоит из губчатого свинца, не применяются, поскольку он, в отличие от двуокиси свинца положительных пластин, плохо срачивается с основой отрицательной пластины и быстро теряет пористость. Поэтому в качестве отрицательных пластин применяют коробчатые пластины, в которых активная масса из окислов свинца и свинцового порошка вмазывается в ячейки решетки.

Чтобы активная масса не выпадала из ячеек, пластина с обеих сторон закрывается листами перфорированного свинца.

Отрицательные пластины делятся на средние и боковые и так же, как и положительные, выпускаются трех типов – И-1, И-2 и И-4. Боковые отрицательные пластины имеют активную массу только с одной рабочей стороны и обозначаются $\frac{1}{2}$ И-1, $\frac{1}{2}$ И-2, $\frac{1}{2}$ И-4.

Для предотвращения соприкосновения пластин разной полярности предусматривается установка между пластинами сепараторов. Сепаратор должен обладать достаточной пористостью и кислотоустойчивостью.

В стационарных аккумуляторах С и СК для этого применяются листы обработанной однослойной ольховой фанеры (шпона). Для того, чтобы создать и фиксировать определенные объемы электролита у пластин, фанера вкладывается в дистанционные палочки, разрезанные вдоль, причем таким образом, чтобы волокна ее древесины были направлены горизонтально. Древесина фанерных сепараторов под действием электролита выделяет вещества, способствующие сохранению работоспособности отрицательных пластин.

На конечной стадии разряда аккумуляторов при напряжении выше 2,4 В на элемент большая часть зарядного тока расходуется на электролиз воды электролита. Из электролита

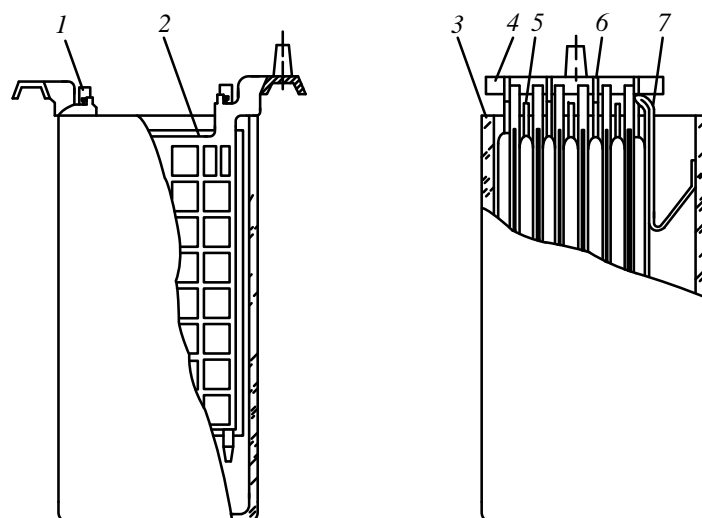


Рис. 1.4. Свинцово-кислотный аккумулятор в стеклянном сосуде с деревянной сепарацией
 1 – палочка; 2 – сепаратор; 3 – стеклянный сосуд; 4 – соединительная полоса;
 5 – положительная пластина; 6 – отрицательная пластина; 7 – пружина

бурно выделяются пузырьки газа, уносящие пары электролита. Аккумуляторное помещение заполняется сернокислотным туманом, что недопустимо по санитарным условиям и вредно для оборудования.

Самым простым способом уменьшения выноса электролита пузырьками газа является закрытие аккумуляторов покровными стеклами. Электролит, увлекаемый пузырьками газа, оседает на нижней стороне стекол и стекает обратно в сосуд. Покровные стекла нарезаются из оконного стекла толщиной 2 мм. Размер покровных стекол выбирается таким, чтобы между краями стекла и стенками сосуда был зазор 5–7 мм. В противном случае электролит, собирающийся на стекле, будет стекать на стеллажи.

Аккумуляторы типа С (стационарные) предназначены для разрядов длительностью от 3 до 10 ч и более. Аккумуляторы типа СК (стационарные для коротких режимов разряда) допускают разряд в течение 1–2 ч. При более длительных разрядах аккумуляторы СК имеют характеристики, подобные характеристикам аккумуляторов С. Аккумуляторы СК отличаются только усиленными соединительными полосами, остальные детали (сосуды, пластины, сепарация) полностью идентичны. Аккумуляторы С и СК имеют 46 типовых исполнений емкостью от 18 до 6328 А·ч.

Аккумуляторы С(СК)–1 — С(СК)–5 собираются из пластин И-1 и могут иметь как открытое, так и закрытое исполнение. Установившееся напряжение заряженного аккумулятора С (СК) при разомкнутой цепи должно быть не ниже 2,05 В. Номинальные емкости этих аккумуляторов кратны емкости аккумулятора с одной положительной пластиной типа И-1, т.е. аккумулятора С(СК)–1. Зарядные и разрядные токи также кратны токам у аккумулятора С(СК)–1, их можно считать удельными характеристиками. По типовому номеру аккумулятора можно, зная данные С(СК)–1, определить емкость, число и размер пластин, зарядный и разрядный токи.

В электроустановках высокого напряжения аккумуляторы выше №36, как правило, не используются.

1.4.3. Устройство и характеристики аккумуляторов СН

Аккумуляторы типа СН (рис. 1.5) выпускаются только в закрытом исполнении, в стеклянных сосудах. Они уплотнены прокладками между крышкой и сосудом и битумной масти-

кой БР-20. Заливочные отверстия аккумуляторов снабжены вентиляционными пробками. Такая конструкция значительно уменьшает унос электролита при зарядах.

При определенных условиях эксплуатации (работа при постоянном подзаряде, заряд при напряжении не выше 2,3–2,35 В на элемент) такие аккумуляторы можно устанавливать вне аккумуляторных помещений. Аккумуляторы СН собираются из положительных и отрицательных намазных пластин. Эти пластины собраны в плотные блоки и подвешены в сосудах на специальных клиньях.

Для предупреждения коротких замыканий между пластинами прокладываются комбинированные сепараторы из стекловолокна, волнистого перфорированного винипласта и мипора. На кромки положительных пластин надеты винипластовые обкладки.

Непосредственно около положительных пластин для удержания их активной массы от оползаний и создания резервуара для электролита помещаются сепараторы из стекловолокна.

Запас электролита необходим, т.к. при разрядах короткими режимами максимальная емкость положительных пластин может быть использована только при достаточно высоких концентрациях кислоты.

Сепараторы из стекловолокна не предохраняют от образования на отрицательных пластинах древовидных наростов (дендритов), поэтому на сепаратор из стекловолокна накладываются тонкие сепараторы из винипласта и мипора. Гладкий сепаратор из мипора ограничивает объем электролита около отрицательной пластины. Тем не менее это не является недостатком, т.к. отрицательные пластины могут отдавать максимальные емкости при сравнительно низких концентрациях кислоты.

Тугая посадка блока пластины на клиньях также способствует предупреждению оползания активной массы. Названные особенности совместно с применением толстых пластин обуславливают их длительный срок службы.

Аккумуляторы СН выпускаются девяти типоразмеров: СН-1, СН-2, СН-3, СН-4, СН-5, СН-6, СН-8, СН-10 и СН-20. СН означает «аккумулятор стационарный с намазными пластинами», число – номер аккумулятора.

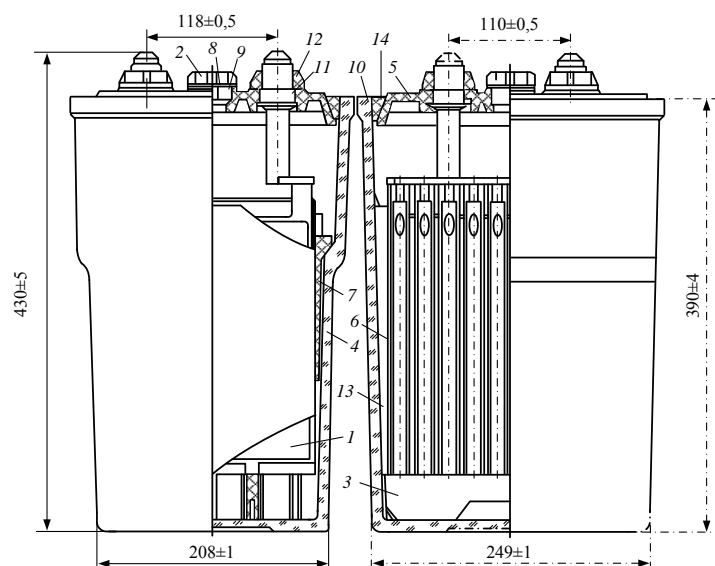


Рис. 1.5. Аккумулятор типа СН-10

- 1 – блок пластин; 2 – вентиляционная пробка; 3 – подставка; 4 – сосуд;
 5 – крышка; 6 – прокладка; 7 – колодка; 8 – уплотнительный резиновый диск;
 9, 11 – резиновое кольцо; 10 – уплотнительная прокладка; 12 – гайка; 13 – клин;
 14 – мастика

За условную единицу емкости берется емкость, равная 40 А·ч при 10-часовом режиме разряда. Такую емкость имеет аккумулятор СН-1. Емкость аккумуляторов других номеров равна 40 А·ч, умноженным на номер аккумулятора. Конструктивно в соответствии с четырьмя типами пластин аккумуляторы типа СН делятся на четыре группы: I группа (СН-1, СН-2, СН-3), II группа (СН-4, СН-5, СН-6), III группа (СН-8, СН-10), IV группа (СН-20).

Из-за плотной посадки блоков пластин объем электролита в зоне пластин невелик. Для компенсации расхода кислоты в зоне пластин при разряде сосуд над пластинами значительно расширен и имеет большую высоту. Уровень электролита над щитком достигает 60 мм (у аккумуляторов С и СК всего 15 мм). Запас электролита в верхней части сосуда позволяет поддерживать в зоне пластин нужную концентрацию кислоты в расчетных режимах разряда. Высокий уровень электролита над пластинами позволяет одновременно сократить количество доливок, не допуская оголения кромок пластин.

Паспортные электрические характеристики обеспечиваются при следующих условиях:

- удельный вес электролита в начале разряда $1,220 \pm 0,005$ при 25°C ;
- уровень электролита над щитком 55–60 мм;
- средняя температура электролита $25 \pm 2^\circ\text{C}$;
- конечное напряжение при 3–10-часовых разрядах 1,8 В, при более коротких 1,75 В.

Установившееся напряжение полностью заряженного аккумулятора при разомкнутой цепи должно быть не ниже 2,06 В. При понижении температуры электролита емкость аккумуляторов СН заметно снижается. При температуре электролита 5°C емкость, равная номинальной, не гарантируется.

Допустимый срок сухого хранения аккумуляторов типа СН до монтажа составляет не более 1 года.

В эксплуатации аккумуляторы СН не требуют столь частой доливки воды, снижаются требования к вентиляции помещений.

1.4.4. Устройство и характеристики панцирных аккумуляторов

Поверхностные пластины требуют для изготовления большое количество чистого свинца. При этом основа пластины, т.е. часть, не участвующая в электрохимических процессах, составляет преобладающую долю расхода свинца. Для устранения этого недостатка были разработаны стационарные аккумуляторы с панцирными положительными пластинами СП (СПК), здесь С – стационарный, П – панцирный, К – для разрядов короткими режимами. У таких аккумуляторов положительная панцирная пластина представляет собой свинцовую рамку, в которую впаяно большое количество свинцовых стержней с нанесенной на них активной массой (рис. 1.6). Чтобы активная масса не оползала при зарядах и разрядах, она заключена в эбонитовые или пластмассовые панцири (трубки) с узкими прорезями для доступа электролита. В качестве отрицательных пластин применяются коробчатые пластины.

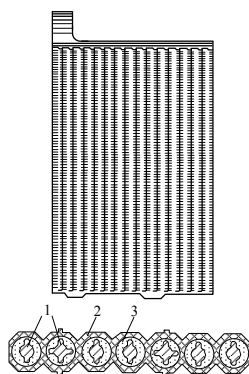


Рис. 1.6. Панцирная положительная пластина:

1 – свинцово-сурьмянистые стержни; 2 – эбонитовый панцирь; 3 – активная масса

По сравнению с аккумуляторами с поверхностными пластинами типа С (СК) аккумуляторы с панцирными положительными пластинами имеют более круто падающую разрядную характеристику. Поэтому при наложении на длительную нагрузку толчков тока (например, в конце ликвидации аварии на электростанции – при включении соленоидных приводов масляных выключателей) напряжение на аккумуляторной батарее может упасть до недопустимого значения, произойдет отказ во включении.

1.4.5. Устройство свинцово-кислотных аккумуляторов Classic производства Exide Technologies [8]

Аккумулятор состоит из положительного и отрицательного пакетов пластин, разделенных между собой микропористыми сепараторами (рис. 1.7). Пластины в каждом из пакетов соединены с общим токоотводом (мостом). К мосту приварен вывод (борн). Пакеты пластин установлены в корпус из прозрачного ударопрочного пластика САН. Крышка аккумулятора герметично соединена с корпусом, места вывода борнов также загерметизированы. Конструкция вывода и способ герметизации полюса зависит от типа аккумуляторной батареи и размера элемента или блока. В крышке имеется одно или несколько (в зависимости от емкости) отверстий, через которые удаляются продукты газообразования, заливается электролит, измеряется температура и плотность электролита.

Конструкция и герметизация выводов серий GroE и OCSM

Элементы типа GroE и OCSM оборудуются так называемым «запатентованным полюсом HAGEN», показанным на рис. 1.8. На прецизионно обработанный стержень борна (1) плотно устанавливается пластиковая втулка (2), опирающаяся через резиновое уплотнительное кольцо (3) на выступ борна (4). Сверху втулка зафиксирована горизонтальным упорным кольцом (5), при этом обеспечивается сдавливание резинового уплотнительного кольца, обеспечивающее требуемую герметизацию полюса. Такая конструкция препятствует проникновению электролита в зазор между втулкой и борном. Прозрачный материал пластиковой втулки позволяет визуально контролировать состояние вывода в процессе эксплуатации.

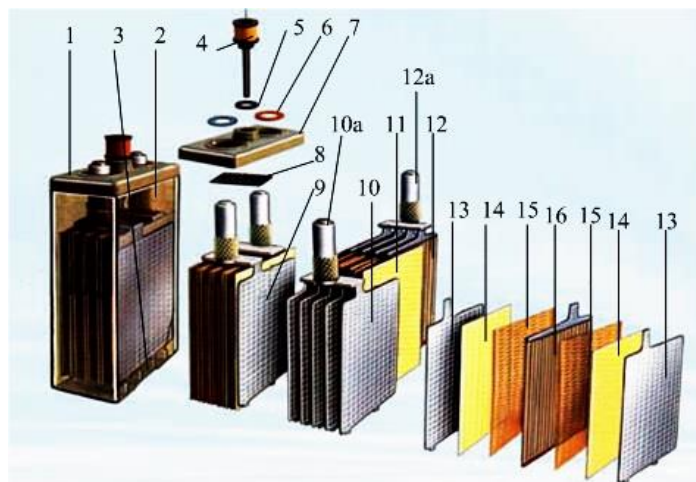


Рис. 1.7. Общее устройство аккумулятора Classic

1 – аккумулятор в сборе; 2 – корпус аккумулятора; 3 – придонная призма; 4 – керамическая фильтр-пробка; 5 – уплотнительное кольцо; 6 – цветное кольцо полюса (положительное – красное, отрицательное – синее); 7 – крышка элемента; 8 – защита сепараторов; 9 – пакет положительных и отрицательных пластин с сепараторами; 10 – пакет отрицательных пластин; 10а – отрицательный вывод; 11 – сепараторы; 12 – пакет положительных пластин; 12а – положительный вывод; 13 – отрицательная пластина; 14 – микропористый сепаратор

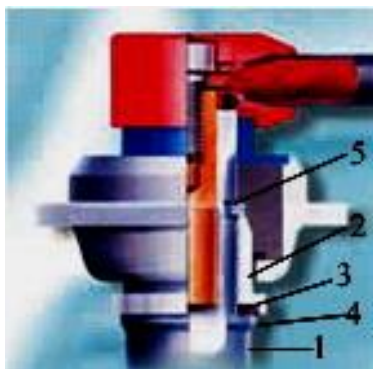


Рис. 1.8. Запатентованный полюс HAGEN

Конструкция и герметизация выводов серии OPzS

Батареи серии OPzS оснащаются выводом, называемым «запатентованный полюс Sonnenschein». Применение двойного уплотнительного кольца позволяет положительному полюсу несколько выдвигаться вверх в ходе эксплуатации, при этом элемент продолжает оставаться герметизированным для электролита и выделяемого газа. Соединение пластмассовой втулки и борна выполнено с помощью специального кислотоустойчивого компаунда, обладающего высокой адгезией к свинцу.

Особенности конструктивного исполнения аккумуляторов Classic GroE

Наименование GroE – сокращение от Grossoberflächeplatte – пластина с большой поверхностью. Пластина GroE имеет самую большую поверхность по сравнению с имеющимися типами пластин (примерно в 10 раз больше обычной пластины), что достигается специальной формовкой. Толщина – 10 мм, это самая толстая из пластин. В качестве отрицательных пластин используются намазные свинцовые пластины, с легированием сурьмой.

Корпуса элементов изготавливаются из прозрачного ударопрочного пластика – стирола акрилонитрила САН (Луран 378 Р). В качестве электролита используется разбавленная серная кислота плотностью 1,22 кг/л.

Аккумуляторы серии GroE выпускаются в диапазоне емкостей от 75 до 2600 А·ч. Их срок службы составляет 25 лет.

Особенности конструктивного исполнения аккумуляторов Classic OCSM

В технологии CSM та часть находящегося в элементе свинца, которая не участвует в циклических электрохимических процессах, а служит только проводником электрического тока и механической основой активной массы пластин, заменена медью, как более легким и обладающим в 15 раз лучшей электропроводностью материалом. За счет этого, с одной стороны, уменьшено внутреннее сопротивление элемента и тем самым увеличена максимально возможная электрическая мощность, а с другой стороны, объем, освободившийся за счет использования материала с лучшей электропроводностью, использован для увеличения количества активного материала, что приводит к увеличению емкости и удельной мощности.

Диапазон емкостей – от 160 А·ч до 3480 А·ч. Срок службы составляет 20 лет.

Особенности конструктивного исполнения аккумуляторов Classic OPzS

Отличительным признаком батарей типа OPzS является конструкция их положительных электродов. Основой, или решеткой, так называемой трубчатой пластины является жесткая свинцовая гребенка, получаемая методом литья под давлением, которая в свою очередь размещается внутри специального защитного чехла, состоящего из полых, соединенных между собой трубок. Каждая такая трубка заполняется активным веществом, образующим рабочую активную массу пластины.

Площадь поверхности реакции положительной трубчатой пластины в несколько раз больше, чем у стандартной намазной пластины при одинаковых геометрических размерах. Отрицательными электродами служат плоские намазные пластины.

В качестве сепараторов используются листы из микропористого, не проводящего электричество, кислотостойкого и стойкого к окислению материала. Сепараторы имеют ребра с обеих сторон, как со стороны отрицательной, так и со стороны положительной пластины. Функция сепараторов заключается в электрической изоляции отрицательных и положительных пластин аккумулятора друг от друга, вместе с тем сепараторы не препятствуют миграции ионов электролита между пластинами. Ребра на поверхности сепараторов в аккумуляторах с жидким электролитом обеспечивают более легкий выход на поверхность пузырьков газа, выделяющегося в режиме заряда.

Аккумуляторы серии OPzS выпускаются в диапазоне от 50 до 12000 А·ч. Конструктивно они могут изготавливаться в виде 2-х вольтовых элементов от 125 до 12000 А·ч, а также блоков на напряжение 6 В и 12 В емкостью до 300 А·ч.

Элементы и блоки OPzS укомплектовываются керамическими фильтрпробками. Керамическая фильтр-пробка с одной стороны позволяет газу, выделяющемуся в процессе заряда, свободно вытекать через поры в керамике, с другой стороны она задерживает пары электролита и аэрозоли серной кислоты и защищает аккумуляторный элемент от попадания внутрь внешних искр и воспламенения.

Аккумуляторы OPzS могут поставляться как залитыми электролитом, так и сухозаряженными с электролитом в канистрах. В качестве электролита применяется разбавленная серная кислота плотностью 1,24 кг/л.

Срок службы OPzS-блоков составляет 15 лет, срок службы элементов OPzS – 20 лет.

Особенности конструктивного исполнения аккумуляторов Classic OGi

OGi расшифровывается как Ortfeste Gitterplatten (стационарные аккумуляторы с намазными пластинами). Положительные и отрицательные намазные пластины изолированы высокопористым сепаратором, обеспечивающим высокую ионную циркуляцию и защищающим пластины от короткого замыкания. К другим достоинствам аккумуляторов Classic OGi относится большой запас электролита в элементах, что увеличивает интервалы обслуживания по доливке электролита, а также способствует эффективному теплообмену внутри элементов в процессе заряда, что особенно важно при быстром заряде элементов без ограничения зарядного тока.

Срок службы составляет 20 лет. Аккумуляторы выпускаются в диапазоне емкостей от 50 А·ч до 1600 А·ч. Могут эксплуатироваться как в режиме постоянного, так и циклического подзаряда.

1.4.6. Аккумуляторы производства Coslight Technology International Group Limited, изготовленные по технологии GEL

Название технологии означает Gel Electrolite. В жидкий электролит добавляется вещество на основе двуокиси кремния SiO_2 , в результате чего образуется густая масса, напоминающая по консистенции желе. В качестве гелеобразующего агента может использоваться кварц с большой площадью поверхности ($200 \text{ м}^2/\text{г}$) [10]. Первичные частицы малы, но в элементах они формируют трехмерную структуру связи.

Важной характеристикой такой структуры геля является возможность предупредить расслоение кислоты даже в случае с крупногабаритными элементами с высокими пластинами, находящимися в вертикальном положении.

В процессе химических реакций в толще электролита возникают многочисленные газовые пузыри. В этих порах и раковинах происходит встреча молекул водорода и кислорода,

т.е. газовая рекомбинация.

Для гелевых батарей используются как трубчатые, так и плоские положительные пластины. В высоких элементах чаще всего используются трубчатые пластины. По сравнению с AGM-конструкцией гелевые элементы обладают более высоким внутренним электрическим сопротивлением. Это обстоятельство является недостатком для батарей большой мощности. Конструкция аккумулятора показана на рис. 1.9.

Гелевые аккумуляторы хорошо восстанавливаются из состояния глубокого разряда, даже в том случае, когда к процессу заряда не приступили сразу же после зарядки батарей. Они способны перенести более 1000 циклов глубокой разрядки без существенной потери своей емкости [20]. Снижение емкости при понижении температуры таких аккумуляторов меньше, чем у других типов аккумуляторов.

1.4.7. Аккумуляторы производства FIAMM, изготовленные по технологии AGM

Особенностью аккумуляторов AGM является внутренняя рекомбинация [5]. В процессе заряда обычного свинцово-кислотного аккумулятора происходит выделение газа. Это вызвано тем, что вода в процессе электролиза разлагается на составляющие элементы. Чтобы сохранить химический баланс в элементе аккумулятора, требуется периодически восполнять потерю воды, что требует дополнительного времени на контроль уровня жидкости и доливание электролита.

В случае клапанно-регулируемой аккумуляторной батареи элементы выделившегося газа вновь соединяются на стадии заряда благодаря так называемому «циклу кислородной рекомбинации», вызывающему образование воды:

1) на положительных пластинах в результате электролиза воды образуется кислород, который проникает через сепараторы к отрицательным пластинам: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$;

2) на отрицательных пластинах кислород соединяется с частью содержащегося на этих пластинах свинца, образуя оксид свинца: $2\text{Pb} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{PbO}$;

оксид свинца соединяется с серной кислотой в электролите, образуя сульфат свинца и воду: $\text{PbO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$, вода, таким образом, регенерируется на положительных пластинах, в то время как сульфат свинца образуется на частично разряженных отрицательных пластинах;

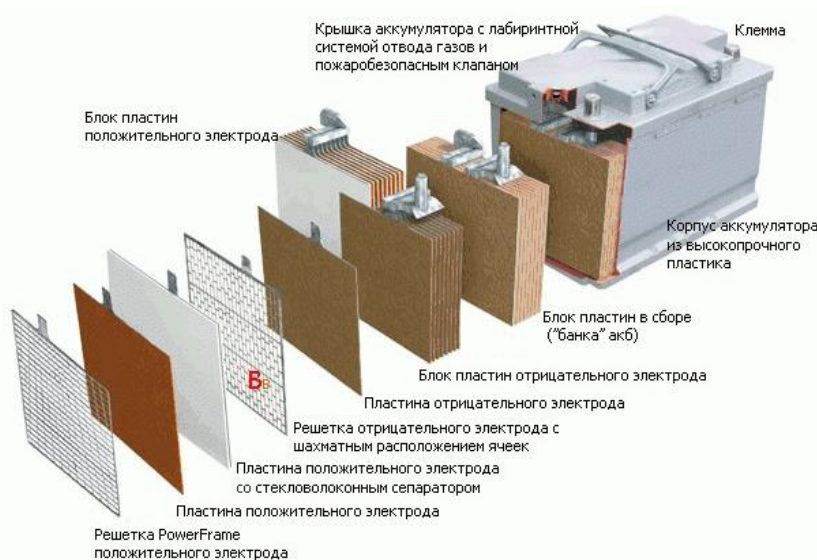


Рис. 1.9. Устройство аккумулятора, изготовленного по технологии GEL

3) в процессе заряда частично разряженные отрицательные пластины заряжаются и цикл замыкается: $\text{PbSO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4$.

Таким образом, описанный рекомбинационный цикл завершен. Составные части воды и серной кислоты в электролите, так же, как и некоторое количество свинца на отрицательных пластинах, вновь восстанавливаются в конечной стадии процесса в их первоначальное состояние, не оказав какого-либо влияния на зарядные свойства пластин.

Чтобы облегчить процесс диффузии кислорода, применяются сепараторы высокой степени пористости и однородности материала.

Каждый элемент аккумуляторной батареи снабжен односторонним предохранительным клапаном. Этот клапан в случае необходимости обеспечивает стравливание избыточного давления газа, но не допускает проникновения атмосферного воздуха внутрь элемента. Наличие клапана, таким образом, позволяет более точно классифицировать батареи FIAMM как «клапанно-регулируемые» вместо обычно используемой, но не вполне точной классификации как «герметичные».

1.5. Принцип действия свинцово-кислотных аккумуляторов

Химические реакции в аккумуляторе

Принцип действия аккумуляторов основан на поляризации свинцовых электродов. Под действием постоянного тока зарядного агрегата электролит (раствор серной кислоты) разлагается на кислород и водород. Продукты разложения вступают в химическую реакцию со свинцовыми электродами: на положительном электроде образуется двуокись свинца PbO_2 , а на отрицательном электроде – губчатый свинец.

В результате образуется гальванический элемент с напряжением около 2 В. Анодом в нем является двуокись свинца, а катодом – губчатый свинец. При разряде такого элемента в нем произойдет обратный химический процесс: химическая энергия превращается в электрическую.

При постоянстве зарядного тока напряжение на элементе постепенно повышается и к концу заряда доводится до значения 2,5–2,7 В на элемент. Это объясняется увеличением внутреннего сопротивления элемента. При заряде периодически замеряется ареометром плотность электролита. К концу заряда оно достигает нормального значения, равного 1,21. Если это значение сохраняется длительное время после отключения зарядного агрегата, то процесс заряда можно считать законченным. При подъеме напряжения на один элемент до 2,35 В наблюдается выделение газов: на положительной пластине – кислорода и на отрицательной – водорода. С целью уменьшения электролиза под конец разряда напряжение снижают и оканчивают заряд при токе, составляющем 0,4–0,5 от первоначального значения [12].

Поскольку разрядный ток внутри аккумулятора идет в направлении, обратном направлению тока заряда, кислород будет выделяться на отрицательном электроде, водород – на положительном.

Кислород и водород, вступая в реакцию с двуокисью свинца и губчатым свинцом, восстанавливают первую и окисляют второй. При достижении равновесного состояния разряд прекращается. Такой элемент обратимый и может быть повторно заряжен.

Для объяснения процессов заряда и разряда общепринятой является теория двойной сульфатации, согласно которой при разряде аккумулятора активная масса обоих электродов превращается в сульфат свинца PbSO_4 . Рассмотрим ее основные положения.

Процесс разряда состоит в следующем. В заряженном аккумуляторе положительный электрод (анод) состоит из двуокиси свинца PbO_2 , отрицательный – из губчатого свинца (Pb). Электролит – раствор серной кислоты с удельным весом от 1,18 до 1,32 в зависимости от типа аккумулятора.

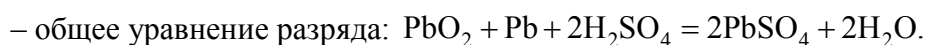
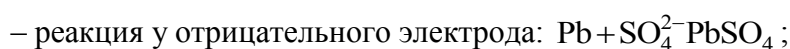
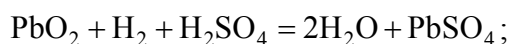
При включении аккумулятора на разряд ток внутри аккумулятора протекает от катода к аноду, при этом серная кислота частично разлагается, и на положительном электроде выделяется водород. Происходит химическая реакция, при которой двуокись свинца превращается в сульфат свинца и выделяется. Остаток SO_4^{2-} частично разложившейся серной кислоты вступает в соединение с губчатым свинцом катода, также образуя сульфат свинца.

Таким образом, во время разряда активная масса обоих электродов превращается в сульфат свинца. На эту реакцию расходуется серная кислота и образуется вода. Благодаря этому удельный вес электролита по мере разряда снижается.

Химические реакции, происходящие в аккумуляторе во время разряда, приближенно описываются уравнениями:



– реакция у положительного электрода:



Ход процесса заряда. В разряженном аккумуляторе оба электрода состоят в основном из сульфата свинца PbSO_4 . Электролит – раствор серной кислоты со сниженным удельным весом.

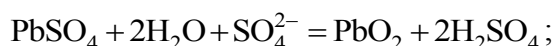
Постоянный ток от зарядного агрегата проходит от положительного электрода через электролит к отрицательному электроду. Электролит частично разлагается на водород H_2 и радикал SO_4^{2-} . Водород переносится к отрицательному электроду, восстанавливает на нем сульфат свинца до губчатого свинца и образует серную кислоту. На положительном электроде происходит сложная реакция. Две части воды, образовавшиеся при разряде, отдают свой водород H_2 на образование двух частей серной кислоты из радикала SO_4^{2-} , выделяющегося на положительном электроде, и радикала SO_4^{2-} сульфата свинца положительного электрода. Кислород O_2 двух частей воды, потерявших водород, соединяется со свинцом сульфата свинца положительного электрода, образуя двуокись свинца PbO_2 .

К концу заряда сульфат свинца на отрицательном электроде восстанавливается до губчатого свинца, а на положительном электроде превращается в двуокись свинца. При этом образуется серная кислота и расходуется вода. Удельный вес электролита повышается.

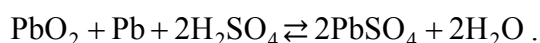
Химические реакции, происходящие в аккумуляторе при заряде, приближенно описываются уравнениями:



– реакция у положительного электрода:



Сравнивая общие уравнения разряда и заряда, можно установить, что они тождественны, но идут в разных направлениях. Это тождество можно показать следующим уравнением:



1.6. Режимы работы аккумуляторных батарей

1.6.1. Режимы работы аккумуляторных батарей типа СК

Режим постоянного подзаряда

Режим постоянного подзаряда используется в качестве основного с середины сороковых годов взамен широко используемого ранее режима работы по циклам заряд-разряд. Его использование устанавливается в настоящее время «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации».

При работе в режиме постоянного подзаряда полностью заряженная аккумуляторная батарея включается на шины параллельно с постоянно работающим подзарядным агрегатом, который питает нагрузку сети постоянного тока и одновременно подзаряжает батарею малым током, компенсирующим ее саморазряд. В случаях нарушений на стороне переменного тока подзарядный агрегат отключается и аккумуляторная батарея берет на себя всю нагрузку сети постоянного тока. После устранения неисправности на стороне переменного тока батарея заряжается от мощного зарядного агрегата и опять переводится в режим постоянного подзаряда.

Чтобы полностью компенсировать саморазряд аккумуляторов и поддерживать состояние полной заряженности батареи, необходимо обеспечить напряжение подзаряда в пределах $2,20 \pm 0,05$ В на элементе. При этом ток подзаряда, проходящий через батарею, будет равен 10–30 мА на номер батареи. Суточный расход электроэнергии на подзаряд составляет $0,01(0,7 \div 2)C_{10}$, где C_{10} – номинальная емкость при 10-часовом режиме разряда, приведенная к 25°C.

В ряде случаев для предупреждения сульфатации пластин и потери емкости местными инструкциями рекомендуется тренировочный разряд. При этом аккумуляторная батарея 1 раз в месяц разряжается на 85–90% номинальной емкости, разряд проводится током 10-часового режима разряда. Последующий заряд проводится при напряжении до 2,5–2,75 В на элемент. Кроме того, может выполняться уравнивающий заряд (1 раз в 3 месяца), которому предшествует глубокий разряд (до 1,8 В на элемент). При уравнительном заряде батарее сообщается трехкратная номинальная емкость, что может существенно осложнять эксплуатацию батарей.

Режим «заряд-разряд»

Длительность разряда может меняться от нескольких минут до 10–15 суток. Режим используется там, где кратковременно нужны большие величины постоянного тока. Если от батареи питается аварийное освещение, заряд должен производиться в светлое время суток.

Режим «заряд-покой-разряд»

В таком режиме работает большое количество аккумуляторных батарей ответственного назначения, питающих аварийное освещение и освещение безопасности. Батареи, работающие в этом режиме, подвергаются саморазряду, что приводит к сульфатации. Для ее предупреждения применимы два способа: «капельный подзаряд» с использованием зарядного агрегата малой мощности и применение тренировочных зарядов-разрядов и уравнивающих зарядов.

По действующим нормам на подстанциях аккумуляторные батареи должны эксплуатироваться в режиме постоянного подзаряда. Не реже, чем 1 раз в год должен проводиться уравнивающий заряд батареи напряжением 2,3–2,35 В на элемент до достижения установленного значения плотности электролита на всех элементах $1,2 - 1,21$ г/см³ при температуре 20°C. Кроме того, на подстанциях 1 раз в год должна проверяться работоспособность батареи по падению напряжения при толковых токах.

На тепловых электростанциях 1 раз в 1–2 года должен выполняться контрольный разряд батареи для определения ее фактической емкости. На подстанциях разряды батарей должны выполняться по мере необходимости.

1.6.2. Аккумуляторные батареи Classic производства Exide Technologies [16]

Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи технологии Classic с трубчатыми положительными пластинами типа OPzS, с пластинами большой поверхности типа GroE, с намазными положительными пластинами типа Energy Bloc, OGi, с трубчатыми положительными пластинами и отрицательными пластинами с решеткой из тянутой меди типа OCSM – предназначены для комплектования батарей, используемых в качестве установок резервного питания в системах телекоммуникации, производства и распределения электроэнергии, в промышленном оборудовании, а также в качестве источников тока в системах безопасности. Аккумуляторные батареи эксплуатируются как в параллельно-резервном режиме, обеспечивая в аварийных случаях всю нагрузку постоянного тока, так и в циклическом режиме (разряд-заряд).

Пример условного обозначения: 8 OPzS 800 LA.

Здесь 8 – число положительных пластин; OPzS – стационарные малообслуживаемые аккумуляторы с трубчатыми положительными пластинами (OGi – аккумуляторы с намазными положительными пластинами; GroE – аккумуляторы с положительными пластинами большой поверхности; OCSM – аккумуляторы с трубчатыми положительными пластинами и отрицательными пластинами с решеткой из тянутой меди); 800 – номинальная емкость, А·ч; LA – содержание сурьмы в сплаве решеток пластин менее 3%.

Применимы следующие методы заряда: метод I (неизменный ток заряда); метод IU (неизменный ток, неизменное напряжение); метод W (неизменная мощность).

Параллельно-резервный режим

В параллельно-резервном режиме потребитель, источник постоянного тока и батарея подключены всегда параллельно друг другу. При этом напряжение выпрямителя является одновременно и напряжением заряда батареи, и напряжением потребляющего оборудования. В параллельно-резервном режиме источник постоянного тока всегда в состоянии обеспечить максимальный ток потребителя и заряд батареи. Батарея разряжается только тогда, когда не работает источник постоянного тока. Выставленное зарядное напряжение измеряется на концевых выводах батареи. Для сокращения времени заряда может применяться ступень ускоренного заряда при повышенном напряжении (2,33–2,4) В/эл ±1%. При этом напряжение на батарее определяется как сумма напряжений всех последовательно соединенных элементов. При достижении указанного значения напряжения следует автоматическое переключение в режим непрерывного подзаряда.

Буферный режим

В буферном режиме эксплуатации источник постоянного тока не всегда может обеспечить максимальный ток потребителя. Ток потребителя в отдельные моменты времени может превышать предельный ток источника питания, в указанных случаях избыток тока потребления компенсируется разрядом батареи. Таким образом, батарея время от времени оказывается частично разряжена. Для восполнения дефицита заряда в таких применениях следует устанавливать зарядное напряжение в диапазоне 2,27–2,3 В, умноженных на количество элементов, одновременно учитывая допустимое напряжение питания нагрузки. Для сокращения времени заряда батареи может также применяться ступень ускоренного заряда с ограничением тока и напряжения заряда.

Режим работы с переключением

В данном применении батарея большую часть времени отключена от потребителя и заряжается отдельно. Напряжение батареи может составлять в конце заряда 2,6-2,75 В, умноженное на количество элементов. После достижения состояния полной заряженности следует прекратить заряд или переключить батарею в режим подзаряда.

Циклический режим (заряд-разряд)

Циклический режим эксплуатации аккумуляторов подразумевает последовательно чередующиеся заряды и разряды, при этом питание потребителя осуществляется только от батареи. Зарядное напряжение батареи может составлять в конце заряда 2,6-2,75, умноженное на количество элементов. Следует следить за процессом заряда. При достижении состояния полной заряженности следует прекратить заряд. После этого батарея может быть при необходимости подключена к потребителю.

Режим непрерывного подзаряда

Зарядное напряжение должно устанавливаться для аккумуляторов GroE, OPzS и OGi, Energy Bloc – 2,23 В, умноженное на количество элементов, а для OCSM – 2,25 В, умноженное на количество элементов. Плотность электролита при этом не изменяется в течение длительного времени.

Выравнивающий заряд

Выравнивающий заряд необходимо проводить после глубокого разряда и (или) после недостаточного заряда батареи. Ввиду того, что выравнивающий заряд всегда проводится при повышенном напряжении, необходимо контролировать напряжение в цепях нагрузки и принимать соответствующие меры, вплоть до отключения потребителя от зарядного устройства, если напряжение заряда батареи оказывается выше максимально допустимого напряжения питания нагрузки. Выравнивающий заряд может проводиться:

- напряжением 2,4В на элемент в течение до 72 часов;
- при неизменном токе или неизменной мощности.

Необходимо контролировать температуру электролита. При достижении значения +55°C заряд следует прекратить или перевести батарею в режим подзаряда до снижения температуры. Выравнивающий заряд считается окончанным, если плотность электролита и напряжение на элементах не изменяются в течение 2 часов.

1.7. Формовка аккумуляторных батарей

Формовка аккумуляторных батарей производится в следующей последовательности: проверяются полюсы батареи и определяются полюсы у источника тока; батарея включается на заряд, для чего положительный полюс аккумуляторной батареи соединяется с положительным полюсом, а отрицательный – с отрицательным полюсом зарядного агрегата. Режим первого заряда следующий: непрерывный заряд в течение 25 часов, при этом необходимо, чтобы все время работала принудительная приточно-вытяжная вентиляция; перерыв 1 час и заряд при том же, что и в начале, токе до сильного газовыделения; перерыв 1 час и заряд до сильного газовыделения [7].

Такое поочередное отключение и включение батареи производится до тех пор, пока одновременно во всех аккумуляторах не начнется сильное кипение электролита при его установившейся плотности. Продолжительность первого заряда батареи составляет в зависимости от типа аккумулятора 60–100 ч. Батарея должна получить при первом заряде не менее 9-кратной емкости 10-часового режима. Зарядный ток при этом должен быть не более 7 А на одну положительную пластину типа И-1 батарей СК-1–СК-4; не более 10 А на пластину типа И-2 батарей СК-6–СК-20; не более 18 А на пластину типа И-4 батарей СК-24–СК-64.

1.8. Выбор аккумуляторных батарей

1.8.1 Выбор аккумуляторных батарей серии СК

В соответствии с ПТЭ напряжение на шинах установки постоянного тока принимается на 5% выше номинального, т.е. 230 В. Число основных элементов аккумуляторной батареи, присоединяемых к шинам в нормальном режиме,

$$n_0 = U_{\text{ш}} / U_{\text{подз}}, \quad (1.1)$$

где $U_{\text{ш}}$ – напряжение на шинах постоянного тока, В; $U_{\text{подз}}$ – напряжение подзаряда, для аккумуляторов типа СК принимают равным 2,15 В.

Таким образом, получаем:

$$n_0 = 230 / 2,15 \approx 108.$$

Общее число элементов батареи в конце аварийного режима разряда

$$n = 230 / 1,75 = 130.$$

Число дополнительных элементов, вводимых элементным коммутатором,

$$n_{\text{доп}} = 130 - 108 = 22.$$

По окончании заряда напряжение на элементе поднимается до 2,75 В и минимальное число элементов, подключаемых к шинам, равно

$$n_{\text{min}} = 230 / 2,75 = 88.$$

На крупных станциях со значительными толчковыми нагрузками нормальное напряжение 230 В (108 элементов) на шинах оказывается недостаточным для включения приводов масляных выключателей. В этом случае предполагаются следующие схемы питания шин постоянного тока.

1. В главной схеме предусмотрены только масляные выключатели. Используются типовые щиты постоянного тока (ЩПТ), на сборных шинах которых поддерживается напряжение 253 В (115% $U_{\text{ном}}$), щиты управления питаются от них через добавочное сопротивление для получения напряжения 230 В. Напряжение 253 В обеспечивается подключением к шинам 118 элементов ($2,15 \times 118 = 253$ В). От шин 253 В питаются цепи соленоидов включения и цепи двигателей аварийных насосов.

В режиме толковых нагрузок от электромагнитов включения нагрузка воспринимается аккумуляторной батареей (подзарядный агрегат при нагрузке, равной 120% номинальной, запирается), поэтому напряжение на шинах определится как

$$U_{\text{ш}} = U_{\text{эл}} \cdot 118 = 2,05 \cdot 118 = 242 \text{ В}, \quad (1.2)$$

где $U_{\text{эл}} = 2,05$ В – ЭДС элемента.

Таким образом, напряжение на электромагнитах включения не превысит допустимого (110% номинального).

2. В главной схеме применены воздушные выключатели, а в схеме СН – масляные. В этом случае на сборных шинах и шинах управления поддерживается напряжение 230 В (108 элементов). Для питания цепей электромагнитов включения предусматривается отдельный участок ЩПТ, к которому от аккумуляторной батареи подключается 118 элементов, что обеспечивает напряжение 253 В в режиме постоянного подзаряда.

Выбрав число элементов батареи, определяют ее типоразмер (номер). Предварительно рассчитывают номер батареи по формуле

$$N \geq 1,05 I_{ав} / j, \quad (1.3)$$

где N – номер аккумуляторной батареи; 1,05 – коэффициент, учитывающий старение аккумуляторов; $I_{ав}$ – ток установившегося аварийного разряда, А; j – допустимый ток получасового аварийного разряда, приведенный к первому номеру аккумулятора, А/Н (принимается $j=21$ А/Н при температуре электролита 10°C, $j=25$ А/Н при температуре 25°C).

Номер аккумулятора может определяться также по расчетной емкости:

$$N \geq 1,1 Q_{расч} / Q_{N=1}, \quad (1.4)$$

где $Q_{N=1}$ – емкость аккумулятора СК-1 (при одночасовом разряде равная 18,5 А·ч, при двухчасовом – 22 А·ч).

Расчетная емкость батареи, работающей в режиме постоянного подзаряда:

$$Q_{расч} = (I_{пост} + I_{ав} + I'_{ав}) \tau_{ав}. \quad (1.5)$$

Длительность работы батареи в аварийном режиме $\tau_{ав}$ рекомендуется принимать равной 1 ч – для электростанций и подстанций, работающих в системе; 0,5 ч – для гидроэлектростанций, работающих в системе; 2 ч – для изолированно работающих электростанций.

Полученный номер аккумуляторной батареи округляется до ближайшего большего типового.

Затем батарею проверяют по уровням напряжения для наибольших толковых токов переходного аварийного режима.

Толчок тока может иметь место в начале аварийного режима (действие АВР). При расчете определяют напряжение на шинах в момент приложения толковой нагрузки и сопоставляют с наименьшим допустимым напряжением на зажимах приемников, участвующих в расчетной толковой нагрузке, с учетом падения напряжения в питающей.

Задав допустимое напряжение на шинах установки постоянного тока, по кривым (рис. 1.14) определяют толковый ток, приведенный к первому номеру аккумуляторной батареи, и вычисляют номер

$$N = I_T / j_{Т.доп}. \quad (1.6)$$

Из двух значений N выбирают большее.

В конце аварии выполняют поочередное включение выключателей на высшем напряжении. Если выключатели масляные (У-110, У-220), то возникают значительные толчковые токи в конце аварии, которые воспринимаются разряженной батареей. Этот режим также должен быть проверен. Исходя из предварительно принимаемого номера батареи N , рассчитывают ток предшествующего разряда $j = I_{ав} / N$ и толчковый ток в конце аварии, отнесенный к первому номеру, $j'_T = I'_T / N$. Напряжение на аккумуляторе $U_{эл}$ в конце разряда при толчке определяется из графика на рис. 1.14. При этом из семейства кривых выбирают кривую, соответствующую току получасового разряда ($8N, 13N, \dots, 25N$ А) и по значению j'_T определяют $U_{эл}$. Число элементов батареи в конце разряда 130, поэтому напряжение на шинах $U_{ш} = U_{эл} \cdot 130$. Полученное напряжение сравнивают с минимально допустимым для потребителей с учетом потерь в кабелях.

Максимальный длительно допустимый разрядный ток (в А) аккумуляторов типа СК равен одночасовому току:

$$I_{дл.разр} = 18,5 N$$

В условиях пятисекундного разряда допускается увеличивать этот ток в 2,5 раза:

$$I_{кр.разр} \leq 18,5 \cdot 2,5 N \approx 46 N.$$

При выборе щелочных аккумуляторов для электрических станций (подстанций), на которых длительность аварии принимается равной одному часу, длительный разрядный ток должен сравниваться с допускаемым двухчасовым разрядным током щелочного аккумулятора:

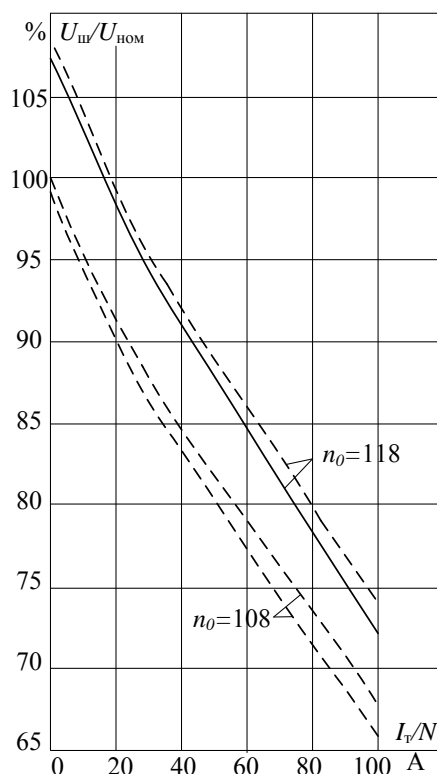


Рис. 1.14. Зависимость напряжения на шинах батареи от толчкового тока при температуре $+25^\circ\text{C}$ (пунктирные линии) и $+10^\circ\text{C}$ (сплошные линии)

Таблица 1.6

Количество элементов в батарее для свинцовых и железоникелевых аккумуляторов

Тип аккумулятора	Напряжение на шинах, В	Расчетное напряжение и число элементов в батарее						Число элементов, подключенных к коммутатору
		подзаряд		в конце разряда		в конце заряда		
		$U_{\text{подз}}$, В	$n_{\text{подз}}$	$U_{\text{мин}}$, В	n_{Σ}	$U_{\text{макс}}$, В	$n_{\text{осн}}$	
Свинцово-кислотный	230	2,15	107	1,8	128	2,6	88	40
	115	2,15	54	1,8	64	2,6	44	20
Железоникелевый	230	1,52	151	1,0	230	1,8	128	102
	115	1,52	76	1,0	115	1,8	64	51

Для сохранения при толчковой нагрузке достаточного напряжения на шинах необходимо соблюдать условие:

$$I_{\text{кр. разр}} \leq 0,5Q_n. \quad (1.7)$$

В табл. 1.6 приведены сравнительные данные о количестве элементов в батарее для свинцовых и железоникелевых аккумуляторов. В табл. 1.7 показано, какие типы железоникелевых аккумуляторов соответствуют свинцово-кислотным при одинаковых режимах. Принято, что конечное напряжение железоникелевых аккумуляторов при длительном разряде равно 1 В, т.к. разряд до меньших предельных напряжений приводит к необходимости установки чрезмерно большого числа элементов.

А при длительности аварии в два часа – с трехчасовым разрядным током:

$$I_{\text{дл. разр}} \leq I_{3\text{ч}}, \quad I_{\text{дл. разр}} \leq I_{2\text{ч}}.$$

1.6.2. Особенности выбора аккумуляторов по разрядным характеристикам

У большинства современных аккумуляторов, в частности, изготавливаемых по технологиям GEL и AGM, такая характеристика, как типовой номер, отсутствует. В этом случае для выбора емкости используются разрядные таблицы.

Первоначально определяется удельная мощность на один элемент по известному значению постоянно потребляемой мощности нагрузки при аварии $P_{\text{наг}}$ и количеству элементов $N_{\text{эл}}$:

$$P_{\text{эл}} = \frac{P_{\text{наг}}}{N_{\text{эл}}}. \quad (1.8)$$

Соответствие между типами свинцово-кислотных и железоникелевых аккумуляторов

Свинцовые	Железоникелевые		Свинцовые	Железоникелевые	
	Тип	Число параллельных элементов		Тип	Число параллельных элементов
СК-8	ТЖН-300	1	СК-18	ТЖН-350	2
СК-10	ТЖН-350	1	СК-20	ТЖН-350	2
СК-12	ТЖН-500	1	СК-24	ТЖН-500	2
СК-16	ТЖН-300	2	СК-28	ТЖН-500	2

По рассчитанной удельной мощности на элемент и предельной продолжительности аварийного режима (времени резервирования) $T_{рез}$ по разрядной таблице выбирается ближайшее большее значение разрядной мощности. По соответствующей строке определяется типоразмер аккумулятора и соответствующая ему емкость.

1.9. Выбор зарядных и подзарядных агрегатов

На электростанциях в качестве зарядных и подзарядных устройств аккумуляторных батарей применяются установки, преобразующие переменный ток напряжением 220 и 380 В в постоянный. Зарядные устройства должны иметь мощность и напряжение, достаточные для заряда аккумуляторной батареи на 90% емкости в течение не более 6–8 ч [7].

Для заряда и подзаряда аккумуляторных батарей могут применяться двигатели-генераторы постоянного тока и выпрямительные зарядные агрегаты на полупроводниковых или ртутных вентилях. Для аккумуляторных батарей 220 и 110 В, работающих в режиме постоянного подзаряда, устанавливаются по одному агрегату для постоянного подзаряда и один зарядный агрегат для периодического заряда батарей.

Генераторы для зарядных агрегатов имеют широкий диапазон номинальных мощностей – от 1,7 (тип ПЗ2) до 100 кВт (тип П102) и допускают регулирование напряжения в пределах от 220 до 330 В (для батарей 220 В) и в пределах от 115 до 160 В (для батарей 110 В). Диапазон регулирования напряжения у генераторов, применяемых для заряда железоникелевых аккумуляторов, соответственно от 230 до 440 В или от 115 до 220 В.

Выпрямительные агрегаты с твердыми выпрямителями (преимущественно кремниевыми) имеют диапазон регулирования напряжения от 260 до 380 В и рассчитаны на ток 40–80 А. Для заряда аккумуляторных батарей 24 В, как правило, применяют селеновые выпрямители.

В выпрямительных установках для заряда аккумуляторных батарей принята схема регулирования выходных параметров с помощью дросселей насыщения, включенных последовательно с выпрямителями. Питание агрегатов осуществляется от трехфазной сети переменного тока напряжением 380/220 В. Выпрямительные установки, применяемые для заряда и подзаряда аккумуляторных батарей, присоединяются со стороны переменного тока через разделительный трансформатор.

Для регулирования напряжения на шинах аккумуляторных батарей электростанций применяются элементные коммутаторы с дистанционным управлением. Коммутатор устанавливается в отдельном помещении, непосредственно примыкающем к помещению аккумуляторной батареи со стороны проходной доски.

Элементный коммутатор состоит из нескольких расположенных по дуге окружности

контактов, к которым присоединяются дополнительные аккумуляторные элементы. Подключение аккумуляторных элементов производится при помощи контактного рычага, приводимого в действие дистанционно. Конец контактного рычага выполнен из двух изолированных друг от друга частей таким образом, что при его повороте не происходит разрыва цепей, что могло бы привести к возникновению дуги и обгоранию контактов коммутатора. Для предотвращения коротких замыканий при одновременном перекрытии двух контактов предусмотрен резистор. В табл. 1.8. и 1.9. приведены сведения о коммутаторе ЭК-6350 и регуляторах АРН-2 и АРН-3.

В табл. 1.8 приведены только коммутаторы с дополнительными путевыми выключателями и с напряжением цепей управления 220 В, используемые на электростанциях для работы в автоматических режимах разряда и заряда аккумуляторных батарей. Элементные коммутаторы с числом ступеней 21 выполняются в виде панели открытого исполнения, состоящей из коммутирующего устройства, двигателя приводного механизма и ряда вспомогательных аппаратов управления. Время перемещения траверс при непрерывном движении из одного крайнего положения в другое находится в пределах 35-70 с.

Элементные коммутаторы предназначены для работы в закрытых помещениях при температуре окружающего воздуха от +5°C до +40°C и с относительной влажностью не более 90% при температуре +20°C и не более 50% при температуре +40°C. Окружающая среда должна быть невзрывоопасная, не содержать пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, не насыщенная водяными парами. Место установки должно быть защищено от попадания воды, масла и непосредственного воздействия солнечной радиации.

Габариты шкафа, приведенного в табл. 1.9, составляют 800×800×1900 мм. В комплекте с шкафом поставляется дроссель ДР-М70-210-765.

На рис. 1.15 приведена схема подзаряда концевых элементов батареи от общего подзарядного агрегата.

Таблица 1.8

Двойные элементы коммутатора серии ЭК-6350

Тип	Номинальный ток, А	Габариты панели, мм	
		высота	ширина
ЭК-6351 Б/2	200	1700	850
ЭК-6352 Б/2	400	1700	950
ЭК-6353 Б/2	600	1800	1100

Таблица 1.9

Автоматические регуляторы АРН-2 и АРН-3
(шкаф Харьковского электромеханического завода ПЭХ-9045-0А2)

Регулятор	Назначение	Основные технические данные
АРН-2	Изменение количества включенных аккумуляторов	Зона нечувствительности 8–10 В
АРН-3	Подзаряд добавочных аккумуляторов	Напряжение 20–65 В, номинальный ток 3,5 А. Точность поддержания напряжения ±2%

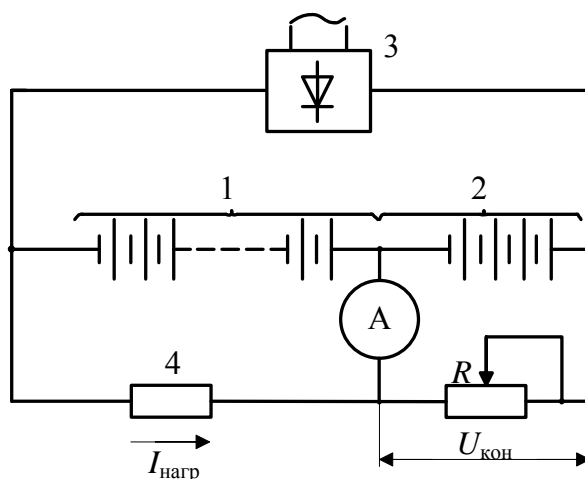


Рис. 1.15. Принципиальная схема подзаряда концевых элементов батареи от общего подзарядного агрегата

1 – основные элементы; 2 – концевые элементы; 3 – подзарядный агрегат; 4 – сопротивление нагрузки; R – регулируемый балластный резистор

Подзарядное устройство находится длительно в работе и в нормальных условиях одновременно с подзарядом батареи питает постоянно включенную нагрузку. К подзарядному устройству присоединены основные элементы батареи. Добавочные элементы батареи находятся в режиме постоянного подзаряда от отдельного устройства с автоматическим регулированием напряжения [2].

Ток подзаряда основных элементов принимают равным $0,15N$ А, а для добавочных элементов – $0,05N$ А.

Таким образом, подзарядное устройство основных элементов выбирается из условий:

$$I_{\text{пз.осн}} \geq 0,15N + I_{\text{п}}; \quad U_{\text{пз.осн}} \geq 2,15n_{\text{осн}},$$

а добавочных элементов –

$$I_{\text{пз.доб}} \geq 0,05N; \quad U_{\text{пз.доб}} \geq 2,15n_{\text{доб}},$$

где $I_{\text{п}}$ – ток постоянно включенной нагрузки.

Мощность подзарядного генератора в схеме постоянного подзаряда определяется выражением

$$P_{\text{г.подз}} > U_{\text{ш}} (I_{\text{подз}} + I_{\text{пост}}),$$

где $U_{\text{ш}}$ – нормальное напряжение на шинах, В; $I_{\text{подз}}$ – ток подзаряда, А; $I_{\text{пост}}$ – ток постоянной длительной нагрузки, А.

Для свинцово-кислотных аккумуляторов для тока подзаряда должно выполняться условие:

$$I_{\text{подз}} \geq \frac{0,03Q_{\text{н}}}{36} = 0,03N.$$

С учетом возможных непродолжительных разрядов в период подзаряда принимают

$$I_{\text{подз}} = 0,15 N .$$

Мощность зарядного генератора может быть определена по выражению

$$P_{\text{зар}} \geq U_{\text{г}} (I_{\text{зар}} + I_{\text{нагр}}),$$

где $U_{\text{г}}$ – наибольшее напряжение генератора при заряде батареи; $I_{\text{зар}}$ – зарядный ток; $I_{\text{нагр}}$ – ток нагрузки, подключенной к шинам во время заряда.

Процесс заряда свинцово-кислотного аккумулятора делится на два периода. В течение первого, начального периода τ_1 (до начала газообразования) зарядный ток $I_{\text{зар1}}$ больше, чем $I_{\text{зар2}}$ во втором периоде длительностью τ_2 (до конца заряда). Зарядный ток

$$I_{\text{зар1}} = \frac{Q_{\text{расч}} - 0,85 I_{\text{зар2}} \tau_2}{0,85 \tau_1},$$

где $Q_{\text{расч}}$ – расчетная зарядная емкость, которую необходимо восполнить при заряде батареи.

Отсюда номинальный ток зарядного генератора

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{зар1}} + I_{\text{нагр}} .$$

Следует учесть, что на электрических станциях для заряда батареи может быть использован двигатель-генератор резервного возбуждения.

Для аккумуляторов, изготавливаемых по технологиям GEL или AGM, подзарядное устройство выбирается следующим образом. Определяется ток заряда батареи как

$$I_{\text{б}} = \frac{0,9 Q_{\text{б}}}{T_3},$$

где $Q_{\text{б}}$ – емкость батареи; T_3 – наибольшее время заряда батареи до 90% от номинальной емкости.

Ток нагрузки определяется как $I_{\text{нагр}} = P_{\text{нагр}} / U_{\text{ном}}$.

Полный ток подзарядных устройств :

$$I_{\text{п.у}} = I_{\text{б}} + I_{\text{нагр}} .$$

По полученному току выбирается число и тип подзарядных устройств.

В качестве подзарядного устройства на станциях, как правило, используется выпрямительный зарядно-подзарядный агрегат ВЗП-380/260-40/80 (табл. 1.10), выполненный на

кремниевых выпрямителях с автоматической стабилизацией напряжения [7]. Питание его осуществляется от сети переменного тока 380 В. Максимальное напряжение в рабочем режиме 260 В и 380 В, рабочий ток – 80 А и 40 А соответственно. При небольшой нагрузке постоянного тока, в частности, на подстанциях, этот агрегат обеспечивает и заряд батареи. Всего предусматривается три режима работы – заряд аккумуляторной батареи (I режим), параллельная работа с аккумуляторной батареей (II режим), формовка отдельных аккумуляторов (III режим).

Выпрямительный агрегат имеет КПД 90%, $\cos\varphi$, равный 0,86, напряжение питающей сети 220 или 380 В трехфазного переменного тока. Агрегаты имеют два исполнения. В первом исполнении коэффициент пульсации выпрямленного напряжения может составлять 8%. Во втором исполнении агрегата, поставляемого в комплекте с дросселем фильтра, не более 3% при параллельной работе с аккумуляторной батареей емкости во всем диапазоне нагрузки.

Точность стабилизации в режиме формовки отдельных аккумуляторов при выпрямленном напряжении 2–8 В не нормируется. Внешняя характеристика агрегата при перегрузке выше 10% крутопадающая на глубину не менее 50% $U_{ном}$. Агрегат допускает длительную работу на холостом ходу. Упрощенная схема агрегата показана на рис. 1.16.

Он состоит из следующих основных узлов: силового трансформатора 1, выпрямительного моста 2, образованного тремя диодами и тремя тиристорами; блока управления тиристорами 3, состоящего из схемы питания и двух схем формирования импульсов управления; блока регулирования 4, включающего в себя обратные связи по току и напряжению.

Выпрямленное напряжение поддерживается с точностью $\pm 2\%$ при изменении нагрузки от 4 А до номинального значения в диапазоне напряжений 260–380 В (I режим) и 220–260 В (II режим). Датчиком обратной связи по напряжению служит делитель напряжения, состоящий из резисторов R_1, R_2, R_3 . Резистором R_1 устанавливается значение обратной связи в режиме I, а резистором R_2 – в режиме II. Напряжение на выходе регулируется резистором R_4 . Датчиком обратной связи по току служит дроссель L_2 . В агрегате предусмотрена защита от КЗ на стороне переменного и выпрямленного тока и защита от перегрузки.

Агрегат РТАБ-4 (рис. 1.17), в отличие от ВАЗП, включает в себя два независимых регулятора для основных и дополнительных элементов батареи.

Применяются также выпрямительные зарядно-подзарядные коммутационные полупроводниковые устройства (ВАЗПК, ВАКЗ), применение которых исключает необходимость во вращающихся зарядных агрегатах, элементных коммутаторах и в целом делает экономичнее установку постоянного тока. Технические данные некоторых выпрямительных агрегатов приведены в табл. 1.11.

Зарядное устройство в соответствии с ПТЭ должно работать периодически (один раз в квартал) при выполнении уравнивающих зарядов, а также заряда батареи после аварийных разрядов. Максимальный ток при уравнительном заряде составляет $5N$ А. При этом следует учитывать и ток $I_{п}$. Напряжение на элементе в конце заряда 2,75 В, и номинальные параметры зарядного устройства должны удовлетворять условиям

Таблица 1.10

Выпрямительный агрегат типа ВАЗП-380/260-40/80

Режим	$P_{потр}$, кВт	$U_{ном}$, выпрямленное, В	$I_{ном}$, выпрямленный, А
Заряд	17	260–380	4–40
Подзаряд и питание установок	23	220–260	4–80

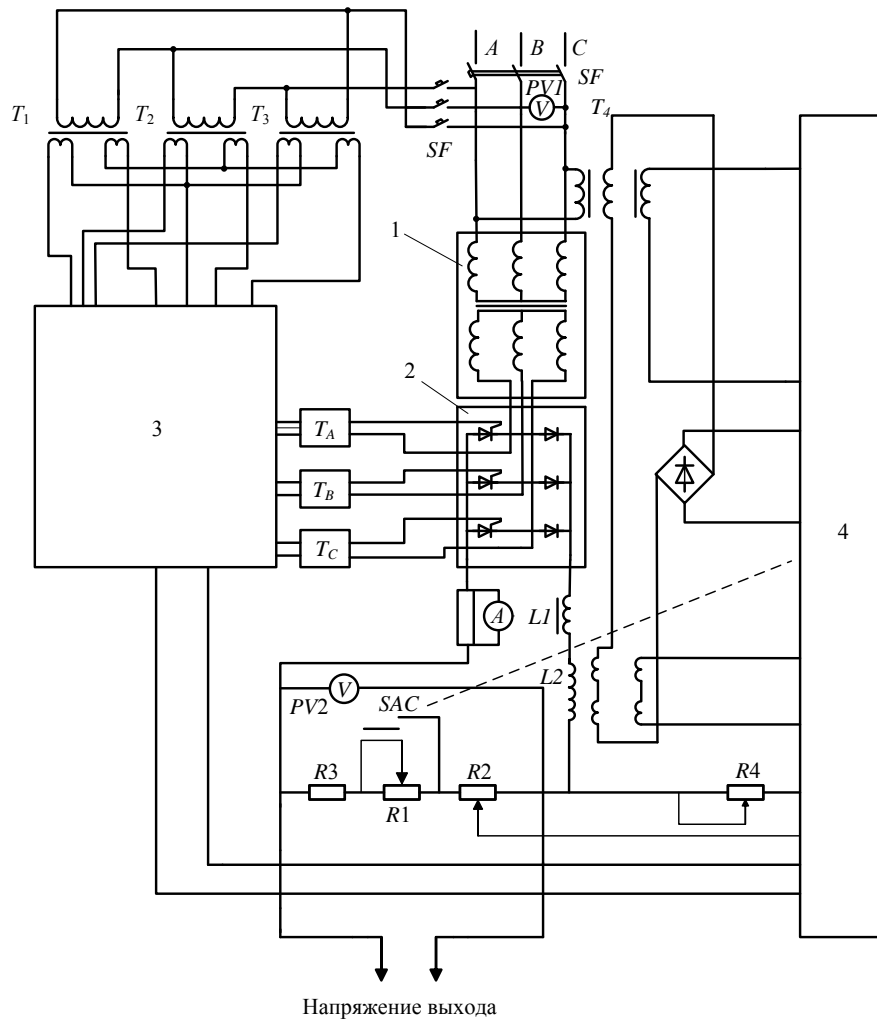


Рис. 1.16. Упрощенная структурная схема выпрямительного зарядно-подзарядного агрегата

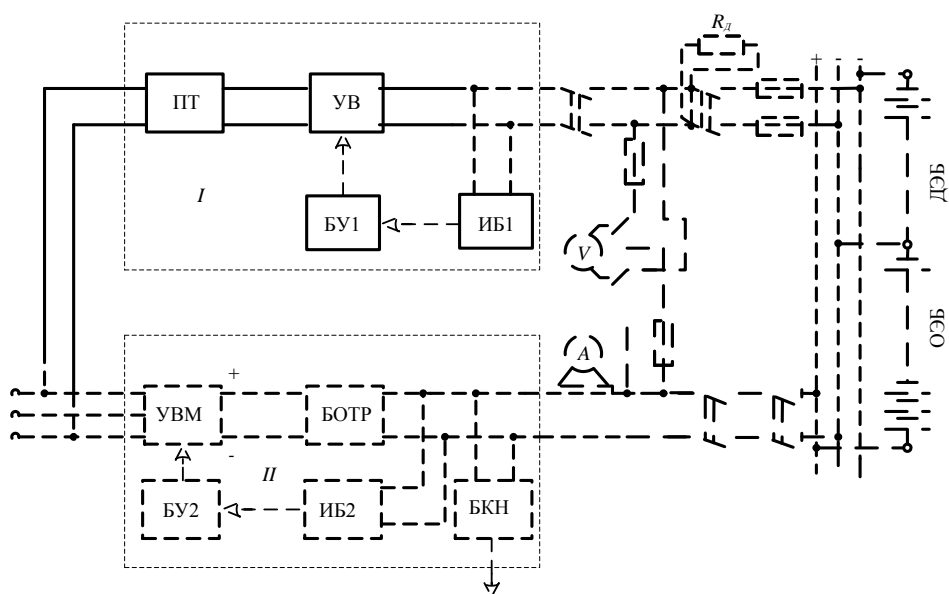


Рис. 1.17. Зарядно-подзарядный агрегат РТАБ-4

Таблица 1.11

Технические данные зарядно-выпрямительных агрегатов

Тип	$U_{\text{сети}}, \text{В}$	Пределы выпрямленного напряжения		Пределы выпрямленного тока		Размеры, мм
		нижний	верхний	нижний	верхний	
ВАЗП-380/260-40/80 УХЛ4-2	220	260	380	40	80	1600×600×600
ВАЗП-380/260-40/80 УХЛ4-2	380	260	380	40	80	2200×600×600
ЗПУ-2	220 (380)	110	220	20	200	2200×850×800
ТППС-800	220	190	280		800	2300×2050×800
ТППС-800	380	190	360		800	2300×2050×800
ТППС-320	380	220	250		320	2000×1508×600
ТППС-1600	380	220	250		160	2000×800×600
ТППС-80	380	220	250		80	2000×800×600

$$I_3 \geq 5N + I_{\text{п}}; \quad U_3 \geq 2,75n.$$

В качестве зарядных устройств для аккумуляторных батарей электрических станций применяются двигатели-генераторы серии П (табл. 1.12) и серии 2ПН (табл. 1.13) на напряжение 270 В.

Таблица 1.12

Технические характеристики генераторов серии П
с номинальным напряжением 270 В и частотой вращения 1450 об/мин

Номер в серии	Номинальные			При напряжении			
	$P, \text{кВт}$	$I, \text{А}$	$\eta, \%$	220 В		320 В	
				$P, \text{кВт}$	$I, \text{А}$	$P, \text{кВт}$	$I, \text{А}$
61	7,2	26,7	80	5,9	26,7	7,2	22,5
62	9,2	34	81	7,5	34	9,2	28,8
62	22	81,5	87	17,9	81,5	22	69
71	13	48	81,5	10,6	48	13	40,6
72	17,5	65	83	14,3	65	17,5	55
82	22	82	84	18	82	22	69
82	30	111	86,5	24,5	111	30	94
91	43	159	86,5	35	159	43	135
92	60	222	89	49	222	60	188
101	80	296	89,5	65	296	80	250
102	100	371	90,5	81,5	371	100	313

Двигатель-генераторы постоянного тока серии 2ПН

Тип	P , кВт	I , А	η , %	Рекомендуемый асинхронный двигатель	
				Тип	P , кВт
2ПН225М	22	99,4	82	4А180М4	30
2ПН225L	30	128,5	86,5	4А200L4	45
2ПН250М	45	191,6	87	4А225М4	55
2ПН250L	55	228,9	89	4А250S4	75
2ПН280М	75	315,7	88	4А250М4	90
2ПН280L	90	368,3	90,5	4А280S4	110
2ПН315М	110	455,2	89,5	4А280М4	132

Двигатели-генераторы для заряда аккумуляторных батарей состоят из трехфазных асинхронных двигателей и генераторов постоянного тока с регулированием напряжения шунтовым реостатом. Для подзаряда они в настоящее время практически не применяются. В случае их использования их необходимо оснащать автоматическими регуляторами напряжения, поддерживающими заданное напряжение на шинах с точностью до 1%.

1.10. Схемы аккумуляторных установок

На подстанциях эксплуатируются аккумуляторные батареи с элементным коммутатором или без него [7]. Схема установки с элементным коммутатором представлена на рис. 1.18. В ней имеется зарядный двигатель-генератор 1 и подзарядное выпрямительное устройство 5. Элементный коммутатор 2 обеспечивает постоянство напряжения на шинах постоянного тока при заряде и разряде аккумуляторов. Он состоит из изолирующей плиты с расположенными на ней контактными пластинами, к которым подсоединены отводы от соединительных полос аккумуляторов. По пластинам и соответствующим шинам скользят щетки – разрядная 3 и зарядная 4. Они приводятся в движение вручную или от электродвигателя малой мощности, управляемого дистанционно или с помощью устройства регулирования напряжения. Изменение числа подключенных к шинам постоянного тока аккумуляторов и регулирование напряжения происходит без разрыва цепи тока и закорачивания аккумуляторов благодаря особой конструкции коммутаторов.

В нормальном режиме работы при наличии подзарядного устройства разрядная щетка коммутатора (через нее в таком режиме проходит небольшой ток подзаряда, на схеме – $I_{пз}$) устанавливается на 107-м элементе, чем обеспечивается напряжение на шинах 230 В. Концевые аккумуляторы с порядковыми номерами 108–125 не подзаряжаются. Они используются только в случае исчезновения напряжения на шинах собственных нужд подстанции и отключения подзарядного устройства.

На рис. 1.19 представлена схема аккумуляторной батареи без элементного коммутатора с ответвлениями от батареи для питания потребителей с различными требованиями к значению напряжения на шинах. При нормальной работе установки выпрямитель VS питает всех потребителей и подзаряжает всю батарею током $I_{пз}$.

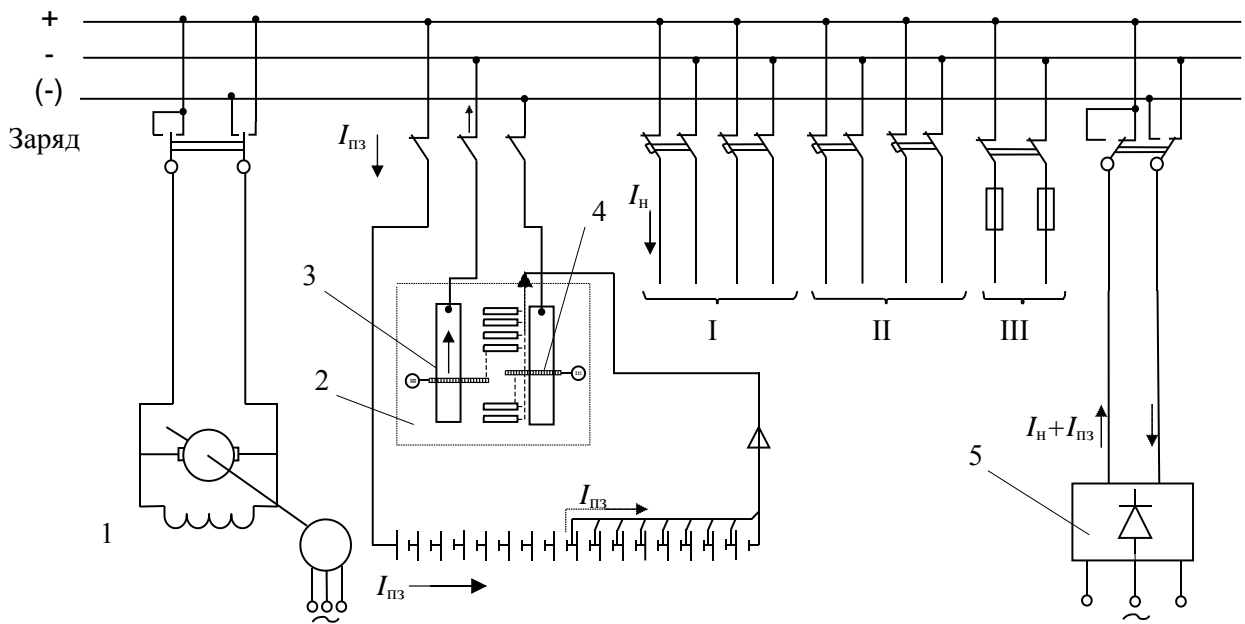


Рис. 1.18. Схема аккумуляторной установки с элементарным коммутатором

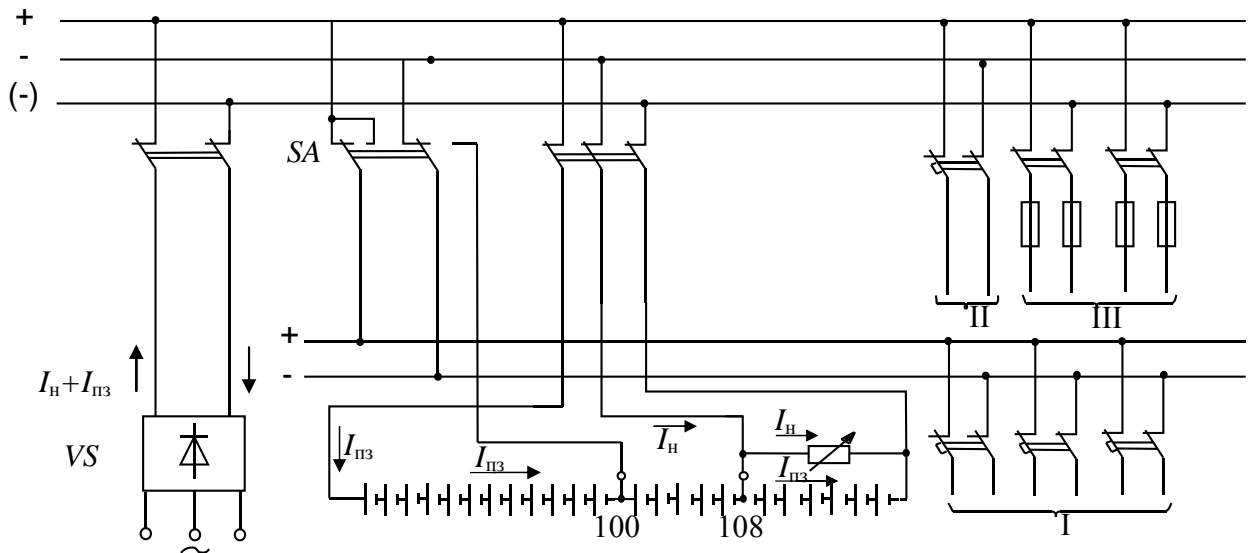


Рис. 1.19. Схема аккумуляторной установки без элементарного коммутатора, работающей в режиме постоянного подзаряда

Ответвление от аккумулятора с порядковым номером 108 дает возможность поддерживать на шинах напряжение около 230 В. В тех режимах работы (например, дозарядке), когда напряжение на элементах возрастает, а требования к значению напряжения остаются прежними (на шинках управления 230 В), предусмотрено ответвление от 100-го элемента батареи. Переключателем SA к шинкам управления подключается 100 элементов, и напряжение на шинках будет равно $2 \times 100 = 230$ В. Некоторое повышение напряжения по сравнению с номинальным на шинах питания силовой нагрузки не представляет опасности для мощных приводов выключателей, т.к. при их работе напряжение на шинах мгновенно понижается.

Для формовки и глубоких перезарядов предусматривают передвижной двигатель-генератор, которых при необходимости доставляют на подстанцию.

Существует также схема аккумуляторной установки, в которой часть нагрузки, нуждающаяся в регулировании напряжения, подключается к батарее через группу электролитиче-

ских элементов, состоящих из стальных пластин, погруженных в раствор щелочи (КОН или NaOH) [14]. При прохождении тока через эти т.н. противоэлементы в них возникает реакция электролиза щелочного раствора, сопровождающаяся поглощением энергии и падением напряжения, значение которого не зависит от тока. При этом возникает ЭДС, противоположная по знаку ЭДС источника постоянного тока [15]. Сумма ЭДС включенных последовательно противоэлементов вычитается из ЭДС батареи, что снижает напряжение на приемниках постоянного тока. Таким образом, изменяя количество включенных противоэлементов, можно понижать напряжение на регулируемых шинах до нужного уровня.

Могут также использоваться свинцово-кислотные элементы с положительными электродами из листов мягкого свинца и отрицательными электродами из коробчатых пластин без активной массы. Такие противоэлементы обладают рядом серьезных недостатков. Под действием постоянного тока они постепенно приобретают собственную емкость. Из-за больших токов, возникающих при замыканиях противоэлементов накоротко, этот удобный способ регулирования числа включенных противоэлементов не может быть использован. Кроме того, при длительном бездействии у свинцово-кислотных противоэлементов за счет сульфатации значительно увеличивается внутреннее сопротивление.

Щелочные противоэлементы свободны от перечисленных недостатков. Они состоят из тонких пластин нержавеющей стали, помещенных в раствор едкого натра. Для предохранения электролита от насыщения углекислотой поверх его наливается слой минерального масла, одновременно защищающего электролит от испарения.

Электроды щелочного противоэлемента не участвуют в реакциях, в нем происходящих. Щелочные противоэлементы не имеют определенной полярности и практически не имеют собственной емкости. Поэтому щелочные противоэлементы можно свободно закорачивать. Противо-ЭДС увеличивается при снижении температуры. Установка щелочных противоэлементов в одном помещении со свинцово-кислотными аккумуляторами не допускается.

Достоинствами схемы с противоэлементами являются отсутствие элементного коммутатора, уменьшение износа и увеличение срока службы основных аккумуляторов. Эта схема широкого распространения не получила в связи с усложнением эксплуатации.

1.11. Схемы распределения оперативного тока

Оперативный постоянный ток на электростанциях распределяется между отдельными присоединениями централизованно. Вблизи аккумуляторного помещения устанавливается щит постоянного тока, состоящий из нескольких панелей, по одной для каждой батареи, каждого зарядного и подзарядного агрегата. На панелях размещают приборы и аппараты контроля и управления источниками постоянного тока, а также сборные шинки, к которым присоединены эти источники и кабели, питающие отдельные участки сети оперативного тока [14].

В схеме питания приемников сети постоянного тока должна учитываться особо ответственность управляемых и контролируемых с помощью постоянного тока объектов – присоединений главной схемы, обеспечивающих энергоснабжение потребителей.

Следовательно, питание приемников сети постоянного тока должно выполняться с повышенной надежностью. С этой целью питание приемников разного назначения выполняется от отдельных независимых сетей: питание электромагнитов включения – от силовой сети $\pm ШП$, питание цепей управления, защиты и автоматики – от сети оперативного управления $\pm ШУ$, питание цепей сигнализации – от сети сигнализации $\pm ШС$. При этом схема выполняется так, чтобы повреждение в одной сети не нарушало нормальную работу приемников, питающихся от другой сети, а каждая сеть обеспечивается резервным питанием.

Для особо ответственных цепей (управления и защиты) предусматривается возможность перевода участков или отдельных цепей с пониженной изоляцией на шины, питаемые от другого независимого источника, пока не будет обнаружено и устранено повреждение

(питание этих цепей осуществляется от двух систем шин, с тем, чтобы отдельные участки сети могли переключаться с одной системы шин на другую) [17].

Другими мерами повышения надежности питания вторичного оборудования являются секционирование шинок постоянного тока на щитах управления, двустороннее питание каждого отдельного участка оперативной сети, дублирование питающих кабелей, выделение питания катушек включения на отдельную батарею и секционирование питающей их сети в пределах каждого отдельного участка.

В закрытых распределительных устройствах (РУ) питание включающих электромагнитов осуществляется от шинок из изолированных проводов, проложенных по стенам коридора управления вдоль ячеек. Число секций таких шинок обычно выбирается равным числу секций сборных шин высокого напряжения. Каждая секция шинок оперативного тока питается по отдельному кабелю и, кроме того, может получить резервное питание с соседней секции через секционный рубильник.

В открытых РУ используют кольцевую схему питания шкафов управления выключателей. Как видно из рис. 1.20, к крайним шкафам управления подводят питающие кабели от центрального щита управления, а все остальные получают питание от соседних шкафов по кабельным переключкам.

Панели центрального щита управления разделены на отдельные участки, число которых соответствует числу РУ. Т.о., панели управления оборудования РУ 220 кВ, например, относятся к одному участку, РУ 110 кВ – ко второму участку и т.д. Каждый из участков при этом питается по отдельному кабелю, при повреждении которого он может получить питание от соседнего включением секционного рубильника (рис. 1.20).

Большое значение для надежности работы оперативной сети постоянного тока имеет своевременное обнаружение дефектов изоляции и локализация поврежденных участков. Схемы контроля изоляции приведены на рис. 1.21. Во многих случаях аппараты и приборы, служащие для контроля изоляции оперативной сети, устанавливаются на отдельных панелях [14].

Простейшим устройством контроля изоляции в установках постоянного тока является схема с применением двух вольтметров, подключенных между полюсами постоянного тока и землей (рис. 1.21, а), или схема с одним вольтметром, но с переключателями (рис. 1.21, б).

При нормальном состоянии изоляции показания каждого из вольтметров равны половине напряжения между полюсами, при неравенстве утечек (неодинаковое качество изоляции положительного и отрицательного полюсов) один из вольтметров будет показывать меньше половинного, другой – больше; при глухом заземлении одного из полюсов вольтметр, подключенный к нему, покажет нуль, а второй полное напряжение.

Устройства с двумя вольтметрами просты, но имеют ряд недостатков:

1. Они не позволяют в любой момент времени оценить (измерить) сопротивление изоляции относительно земли, не обеспечивают действия сигнализации о снижении уровня изоляции.

2. Они не препятствуют в ряде случаев ложной работе реле защиты при замыкании на землю в оперативной цепи.

3. Во всех случаях для контроля изоляции в схеме с двумя вольтметрами требуются приборы с высоким электрическим сопротивлением обмоток и достаточной в то же время чувствительностью, т.к. вольтметры с малым сопротивлением будут служить источником снижения изоляции сети.

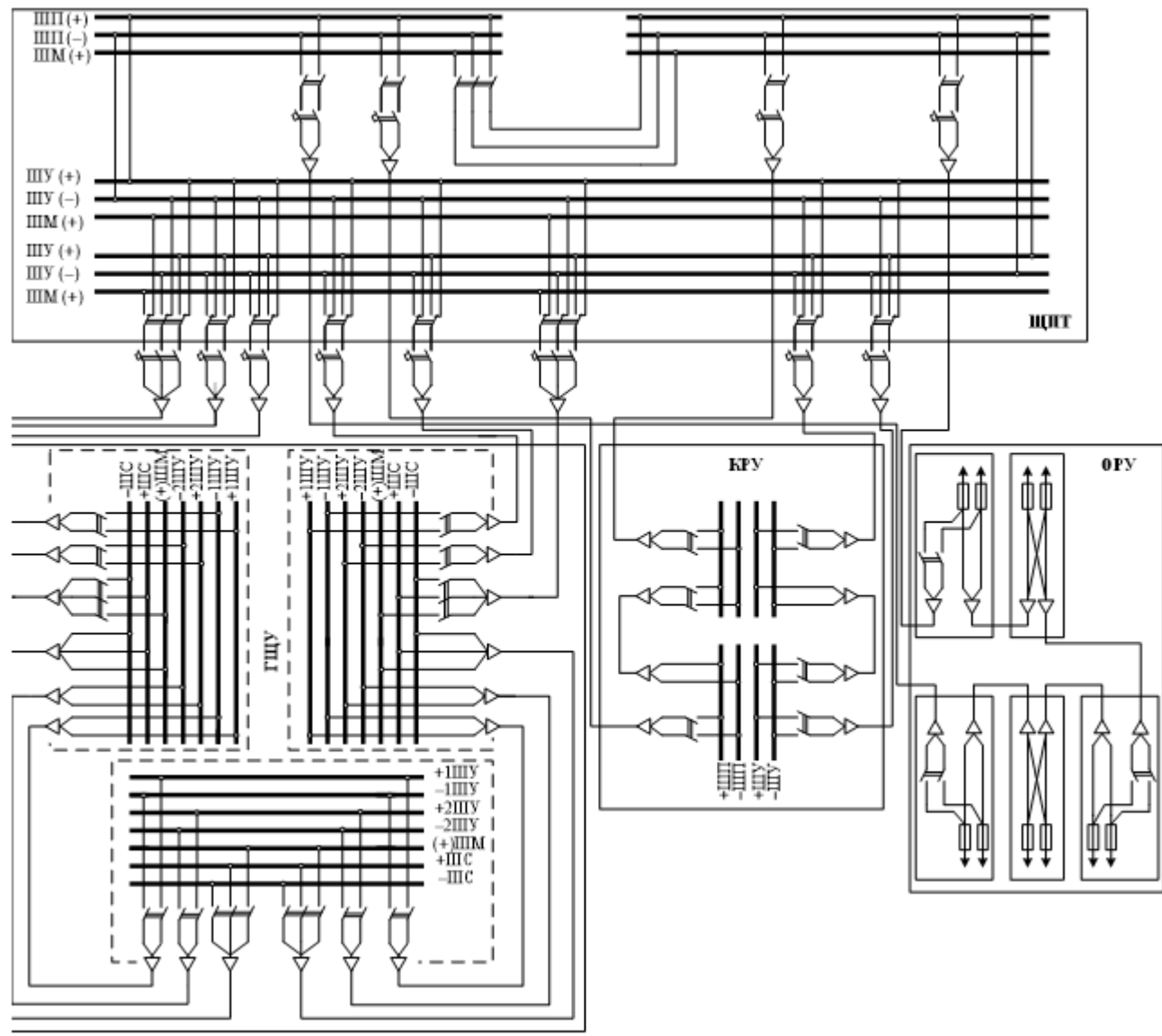
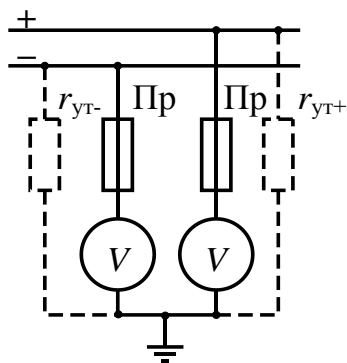
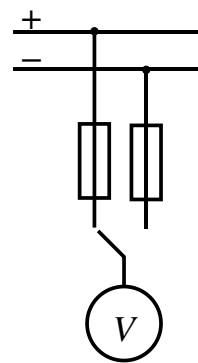


Рис. 1.20. Схема распределения оперативного постоянного тока



а) с двумя вольтметрами

$r_{ут+}$ – сопротивление утечки положительного полюса; $r_{ут-}$ – сопротивление утечки отрицательного полюса



б) с одним вольтметром

Рис. 1.21. Схема контроля изоляции

1.12. Токоведущие части аккумуляторных установок

Для ошиновки аккумуляторных батарей применяются медь и сталь, преимущественно неизолированная. Применение алюминиевых (как изолированных, так и неизолированных) проводов не допускается из-за разрушающего действия на них паров электролита [7].

К ошиновке аккумуляторных батарей предъявляется ряд требований:

1. Материал ошиновки. Круглая или плоская медь, стальные круглые шины. Стальные шины применяются диаметром не более 16 мм для аккумуляторов ниже СК-10. Соединения и ответвления медных шин выполняются сваркой или пайкой, стальных – только сваркой. Шины и сварные соединения окрашиваются дважды кислотоупорной краской, и после ее высыхания до заливки аккумуляторов электролитом смазываются тонким слоем технического вазелина. Концы шин, присоединяемых к аккумуляторам, облуживаются и впаиваются в свинцовые наконечники на соединительных полосах аккумуляторов.

2. Расстояния между соседними шинами, до частей здания и других заземленных частей по конструктивным соображениям обычно принимают около 100 мм (при допустимом 50 мм). Между плюсовой шиной и ближайшей минусовой рекомендуется принимать около 200 мм.

3. Способы прокладки шин. Неизолированные круглые шины прокладываются на штыревых изоляторах с креплением к ним стальной оцинкованной проволокой диаметром $2\div 3$ мм (стальные шины) и медной проволокой диаметром не менее 2,5 мм (медные шины). Пролет между опорными точками шин любого профиля должен быть не менее 2 м. Изоляторы, их арматура, детали для крепления шин и поддерживающие конструкции должны быть стойкими к длительному воздействию паров электролита. Заземление поддерживающих конструкций не требуется. Соединение и ответвления шин выполняются сваркой.

4. Тип изоляторов. Рекомендуются к применению изоляторы типов ИАБ, СА-3, СШ-0,5, ТС-3, ТФ-3.

Сечение и длительно допустимые токи шин для некоторых типов аккумуляторов приведены в табл. 1.14.

Сечение шин

Тип аккумулятора	Разрядный ток наибольшего аккумулятора, А	Круглые шины		Плоские шины	
		длительно допустимый ток, А	диаметр шины, мм	длительно допустимый ток, А	сечение шин, мм ²
До СК-12	222	235	8	275	20×3
СК-14...СК-16	296	320	10	340	25×3
СК-18...СК-20	370	415	12	475	30×4
СК-24	444	505	14	475	30×4
СК-28...СК-32	592	615	16	625	40×4
СК-36	666	725	18	705	40×5
СК-40...СК-44	814	840	20	870	40×5
СК-48	888	965	22	960	50×6
СК-52...СК-60	1110	1165	25	1145	60×6
СК-64	1184	1290	27	1510	80×6

1.13. Расчет токов короткого замыкания в системах оперативного постоянного тока

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) в электроустановках постоянного тока в начальный и произвольный моменты времени, необходим для выбора электрооборудования и проверки его по условиям КЗ, для выбора уставок и оценки действия защит и автоматики, для расчета заземляющих устройств [4].

Расчет токов производится для условий замыкания полюсов сети постоянного тока, а также при замыкании полюса на землю (корпус) заземленной сети.

Величины, подлежащие определению, и допустимая погрешность расчетов токов КЗ определяются целями расчета. Для выбора электрооборудования и защит допускаются приближенные методы расчета, Определению подлежат:

- 1) значение тока КЗ в цепях постоянного тока в произвольный момент времени;
- 2) максимальное (пиковое) значение тока КЗ в цепях постоянного тока;
- 3) ударный ток КЗ в цепях переменного тока вентильных преобразователей (при трех- и двухфазных КЗ в вентильных обмотках преобразовательных трансформаторов);
- 4) максимальное значение установившегося тока КЗ в цепях постоянного тока вентильных преобразователей;
- 5) минимальное значение установившегося тока КЗ в цепях постоянного тока вентильных преобразователей;

Электрооборудование установок постоянного тока в схемах замещения, соответствующих расчетным схемам, учитывают элементами с сосредоточенными параметрами. Все элементы схемы замещения, кроме элементов, замещающих электрическую дугу, внутреннее сопротивление аккумуляторных батарей, активное сопротивление проводников допустимо считать обладающими линейными характеристиками, т.е. их самоиндуктивность и взаимоиндуктивность, коэффициент магнитного рассеяния, принимать неизменными, не зависящими от значения тока и напряжения.

Параметры схем замещения могут быть выражены как в именованных, так и в относительных единицах, (предпочтительно использование системы именованных единиц) и отне-

сены к ступени напряжения сети постоянного тока.

При расчетах токов КЗ в электроустановках, в которых источниками энергии (преобразователями) являются трехфазные вентиль-выпрямители, составление схем замещения трехфазных цепей переменного тока, а также определение параметров различных элементов и приведение их к одной ступени напряжения следует производить в соответствии с ГОСТ 27514-87.

При упрощенных расчетах допустимо источники энергии (преобразователи) в схемах замещения представлять эквивалентными параметрами, косвенно учитывающими параметры схемы и режима питающей сети переменного тока.

При определении минимального значения тока КЗ необходимо учитывать факторы, снижающие значение тока: сопротивление электрической дуги в месте КЗ, увеличение активного сопротивления проводников при нагреве их током КЗ с учетом теплоотдачи в изоляцию, внутреннее сопротивление аппаратов защиты, переходные сопротивления разъемных контактов и изменения параметров аккумуляторной батареи.

1.11.1. Расчет токов КЗ в электроустановках, получающих питание от аккумуляторных батарей

При составлении схемы замещения для расчетов токов КЗ в электроустановках, получающих питание от аккумуляторной батареи, допустимо не учитывать индуктивные сопротивления элементов цепей.

Внешнее сопротивление цепи КЗ ($R_{ВШ}$), т.е. сопротивление между АБ и местом КЗ, в общем случае равно

$$R_{ВШ} = R_{ОШ} + R_{кб} + R_{пр} + R_{т.к} + R_{к.с} + R_{эк} + R_{пл.пр} \quad (1.9)$$

где $R_{ОШ}$ – сопротивление постоянному току ошиновки аккумуляторного помещения, Ом, которое вычисляется исходя из удельного сопротивления материала шин (ρ), их сечения ($s_{Ш}$) и длины шин ($l_{Ш}$) по формуле: $R_{ОШ} = \rho l_{ОШ} / s_{Ш}$, $R_{кб}$ – активное сопротивление кабелей, Ом. Значения определяются из справочных данных с учетом того, что в петлю короткого замыкания входят два полюса – положительный и отрицательный, поэтому сопротивление петли в два раза больше сопротивления прямой последовательности кабелей, обычно задаваемых для расчетов на переменном токе. Вследствие отсутствия поверхностного эффекта на постоянном токе сопротивления кабелей сечением жил более 150 мм² будут на 2–3% меньше сопротивления на переменном токе.

Активное сопротивление кабеля при его начальной температуре определяется по формуле

$$R_H = R_{уд} l \frac{\tau_p + \vartheta_H}{\tau_p + \vartheta_{норм}}$$

В отличие от электроустановок переменного тока, кабели в электроустановках постоянного тока большую часть времени не обтекаются током, следовательно, температура их жил равна температуре окружающей среды.

Активные сопротивления кабелей в справочниках часто приведены к длительно допустимой температуре, определяющейся типом изоляции.

Для пересчета погонных сопротивлений жил кабеля можно использовать коэффициент

K_g , рассчитываемый по выражению

$$K_g = 1 + 0,004(\vartheta + \vartheta_{\text{дл.доп}}),$$

где ϑ – температура жил кабеля; $\vartheta_{\text{дл.доп}}$ – температура, к которой приведено сопротивление кабеля в справочнике; $R_{\text{пр}}$ – активное сопротивление проводов, Ом; $R_{\text{т.к}}$ – сопротивление катушек последовательных отключающих аппаратов, Ом; $R_{\text{к.с}}$ – переходное активное сопротивление контактов, Ом, принимается равным сопротивлению на переменном токе; $R_{\text{эк}}$ – активное сопротивление элементного коммутатора (если он используется), принимается равным 5 мОм; $R_{\text{пл.пр}}$ – внутреннее сопротивление плавкого предохранителя, которое можно определить по данным о максимально допустимых потерях активной мощности ΔP , представляемым заводом-изготовителем:

$$R_{\text{пл.пр}} = \Delta P / I_{\text{ном}}^2, \quad (1.10)$$

где $I_{\text{ном}}^2$ – номинальный ток плавной вставки, А.

1.11.2 Расчет тока КЗ с учетом влияния электрической дуги в месте КЗ и теплового спада тока КЗ

При определении минимального значения тока КЗ необходимо учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги, возникающей в месте КЗ. Значение тока в начальный момент дугового КЗ рекомендуется определять по формуле

$$I_{\text{к.д.}} = K_{\text{д}} I_{\text{к.м.}}, \quad (1.11)$$

где $K_{\text{д}}$ – поправочный коэффициент; $I_{\text{к.м.}}$ – ток металлического КЗ.

Значения коэффициента $K_{\text{д}}$ для электроустановок с аккумуляторными батареями являются функцией результирующего сопротивления цепи КЗ

$$R_{\Sigma} = R_{\text{ВТ}} + R_{\text{ВШ}}.$$

При расчете тока в произвольный момент КЗ для учета влияния активного сопротивления дуги могут быть использованы выражения

$$R_{\text{дт}} = \frac{40 + 12l_{\text{д}}}{I_{\text{расч}} K_{\text{дт}}}$$

или

$$K_{\text{д}} = 0,5 + 0,0001 R_{\text{к.т}},$$

с учетом изменения активного сопротивления цепи КЗ.

Тепловой спад тока или увеличение активного сопротивления жил кабеля к моменту отключения цепи вследствие его нагрева током КЗ можно определить с учетом коэффициента K_g . При приближенных расчетах значение коэффициента K_g допускается принимать равным 1,5.

Учет взаимного влияния при изменении сопротивления дуги $R_{Дt}$ и сопротивления кабеля $R_{КБt}$ может быть выполнен при расчете тока КЗ с помощью ЭВМ.

Расчет тока в начальный момент КЗ в сети, питаемой от свинцово-кислотного аккумулятора, можно производить по формуле

$$I_K = \frac{nE}{nk_R r_{уд} / Q + R_{ВШ}}.$$

Расчет тока в произвольный момент КЗ от аккумуляторной батареи можно осуществить по формуле

$$I_{Kt} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4E_0 e^{-(4D/l^2)x_k^2 t}}{2(R_{ВТ} + R_{ВШt}) + Bl / \sin^2 x_k}.$$

Нелинейные вольт-амперные характеристики аккумуляторных батарей типа СК обычно аппроксимируют двумя линейными функциями, которым соответствуют следующие значения ЭДС и внутреннего сопротивления одного аккумулятора:

$E = 1,93$ В и $R = 5,4$ мОм – для токов от 0 до 150 N;

$E = 1,70$ В и $R = 4,0$ мОм – для токов больше 150 N,

где N – номер аккумулятора.

Нелинейность вольт-амперной характеристики аккумуляторов невелика и ее можно, с приемлемой для инженерных расчетов точностью, аппроксимировать одной линейной функцией, т.е. иметь на всем интервале возможных токов одно внутреннее сопротивление и одно значение эквивалентной ЭДС аккумулятора. Важно учесть изменение параметров аккумуляторов, обусловленное их текущим состоянием заряженности и температурой окружающей среды.

Параметры аккумуляторной батареи из n элементов определяются по следующим формулам:

$$E_{АБ} = nE; \quad R_{АБ} = nR / N. \quad (1.12)$$

Линеаризованные параметры некоторых типов аккумуляторов приведены в табл. 1.15. Внутреннее сопротивление аккумуляторов приведено к 1 А·ч их номинальной емкости, что позволяет сравнивать электрические характеристики аккумуляторов различного типа и упрощает учет процессов деградации характеристик и учет степени заряженности. Для вычисления ЭДС и сопротивления аккумуляторной батареи из n элементов емкостью Q_{10} (при десятичасовом токе разряда) по данным из табл. 1.15, необходимо воспользоваться следующими формулами:

$$E_{AB} = nE; \quad R_{AB} = nr_{y\partial} / Q_{10}. \quad (1.13)$$

При расчете тока КЗ для выбора аппаратов защиты, соответствующие ЭДС и сопротивление аккумуляторной батареи определяются по разрядным характеристикам аккумуляторов, которые приводятся в каталогах заводов-изготовителей. При проверке аппаратов защиты на чувствительность необходимо брать значения ЭДС и сопротивления разряженного аккумулятора при минимальной допустимой температуре в соответствии с Правилами устройства электроустановок.

Ток короткого замыкания в сети постоянного тока, питающейся от аккумуляторной батареи (АБ) типа СК, определяется по формуле:

$$I_K = \frac{E_{\text{расч}} n}{R_{AB} + R_{\text{ВШ}}}, \quad (1.14)$$

где I_K – ток КЗ, А; $E_{\text{расч}}$ – расчетная ЭДС одного элемента, В; n – число элементов батареи; R_{AB} – внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи, Ом.

В (1.14) $E_{\text{расч}}$ и R_{AB} – фиктивные расчетные величины, нелинейно зависящие от тока, протекающего через аккумуляторную батарею. В свою очередь этот ток зависит от сопротивления цепи короткого замыкания.

Таблица 1.15

Параметры полностью заряженного аккумулятора при температуре 25°C

Тип аккумулятора	Емкость, (C_{10}), А·ч	E , В	$R_{\text{уд}}$, мОм·А·ч
3GroE75-18GroE450	75-450	2,0	93
5GroE500-26GroE2600	500-2600	2,0	150
xOpzS200LA	200	2,05	254
xOpzS250LA	250	2,05	226
xOpzS300LA – xOpzS420LA	300-420	2,05	210
xOpzS490LA	490	2,05	229
xOpzS600LA – xOpzS1200LA	600-1200	2,05	257
xOpzS1500LA – xOpzS2500LA	1500-2500	2,05	238
xOpzS3000LA	3000	2,05	264
Vb2305 – Vb2312	250-600	2,0	130
Vb2407 – Vb2420	700-2000	2,0	172
Vb12101 – Vb12106	18-108	2,0	97,6
Vb6114 – Vb6116, Vb4117, Vb4118	128-244	2,0	115
СК	36-5328	2,0	180

Для упрощения расчетов кривая нелинейной зависимости тока аккумуляторной батареи от сопротивления, на которое она замкнута, заменяется двумя прямолинейными участками, пересекающимися в точке, соответствующей граничному сопротивлению. Спрямленная характеристика $E_{\text{расч}} = f(I_K)$ аккумуляторной батареи приведена на рис. 1.22.

Значение граничного сопротивления зависит от номера батареи и числа включенных в работу элементов в соответствии с выражением

$$R_{\text{ГР}} = 7,5 \frac{n}{N} \cdot 10^3,$$

где N – номер аккумуляторной батареи. В том случае, если $R_K < R_{\text{ГР}}$, принимается $E_{\text{расч}} = 1,73$ В и

$$R_{\text{АБ}} = 4,0 \frac{n}{N} \cdot 10^3.$$

Если же $R_K > R_{\text{ГР}}$, то принимается $E_{\text{расч}} = 1,93$ В и

$$R_{\text{АБ}} = 5,4 \frac{n}{N} \cdot 10^3.$$

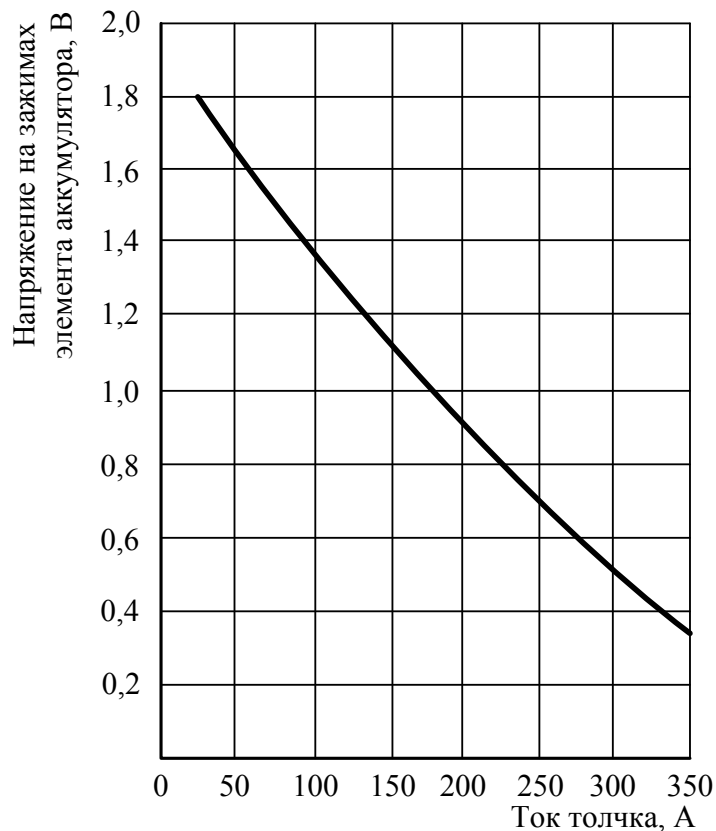


Рис. 1.22. Зависимость напряжения на зажимах заряженного аккумулятора типа СК от тока толчков при температуре 25°C

Включение аккумуляторной батареи параллельно с мощным оператором постоянного тока, например ГП-150-1500 преобразователя ОП-150-У4, при работе батареи в режиме постоянного подзаряда приводит к увеличению тока короткого замыкания. Расчет тока в этом случае следует производить по методу двух узлов.

Расчетная схема замещения для определения тока короткого замыкания по этому методу приведена на рис. 1.23, а. Аккумуляторная батарея и генератор постоянного тока обратимого двигатель-генератора ОП-150-У4 на схеме замещения представлены своими ЭДС E_{AB} , $E_{Г}$ и сопротивлениями R_{AB} , $R_{Г}$ (рис. 1.23, б). При расчете значение $E_{Г}$ принимается равным напряжению на шинах щита постоянного тока; $R_{Г}$ определяется из внешней характеристики $U=f(I_{Г})$ генератора ГП-150-1500 (рис. 1.24), по формуле:

$$R_{Г} = \frac{E_{Г} - U_{К}}{I_{К}} = \frac{262 - 144}{2611} = 37,6 \text{ мОм},$$

где $U_{К} = 144 \text{ В}$ – напряжение на выводах машины постоянного тока при токе $I_{К} = 2611 \text{ А}$.

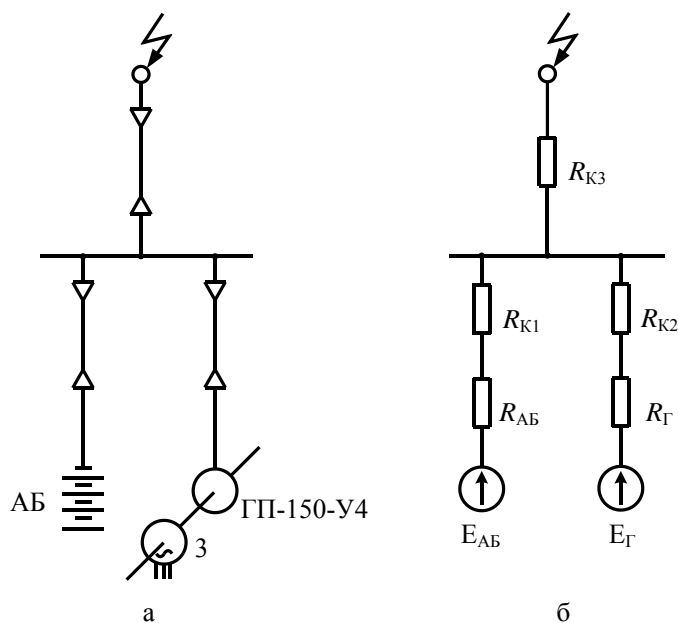


Рис. 1.24. Расчетная схема для определения тока КЗ:

а – схема соединения аккумулятора батареи и генератора постоянного тока;
 б- схема замещения

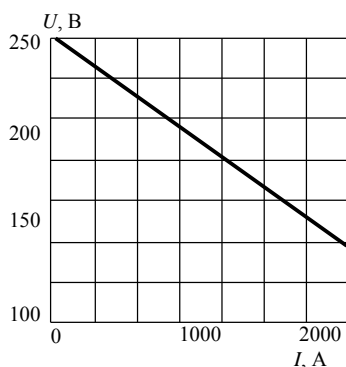


Рис. 1.25. Внешняя характеристика генератора ГП-150-1500

Напряжение на шинах щита постоянного тока (ЩПТ) в момент установившегося короткого замыкания определяется по формуле

$$U_{\text{щ.п.т.}} = \frac{E_{\Gamma}q_1 + E_{\text{АБ}}q_1}{q_1 + q_2 + q_3},$$

где E_{Γ} – расчетная ЭДС генератора, В; $E_{\text{АБ}} = E_{\text{расч}}n$ – расчетная ЭДС аккумуляторной батареи; $q_1 = 1/(R_{\Gamma} + R_{\text{ВШ2}})$ – проводимость цепи ввода питания от генератора на ЩПТ; $q_2 = 1/(R_{\text{АБ}} + R_{\text{к1}})$ – проводимость цепи ввода питания от аккумуляторной батареи на ЩПТ; $q_3 = 1/R_{\text{К}}$ – проводимость цепи от ЩПТ до места замыкания; $R_{\text{к2}}$ – сопротивление цепи ввода питания от генератора до шин ЩПТ; $R_{\text{к1}}$ – сопротивление цепи ввода питания от аккумуляторной батареи до шин ЩПТ.

Суммарный ток короткого замыкания и его составляющие от батареи и генератора определяются по формулам:

$$\begin{aligned} I_{\text{к}\Sigma} &= U_{\text{щ.п.т.}}q_3, \\ I_{\text{кАБ}} &= (E_{\text{АБ}} - U_{\text{щ.п.т.}})q_2, \\ I_{\text{кГ}} &= (E_{\Gamma} - U_{\text{щ.п.т.}})q_1. \end{aligned}$$

При больших значениях сопротивления цепи замыкания и соответственно малых $I_{\text{к}\Sigma}$ рассчитанный $I_{\text{кАБ}}$ может принимать отрицательные значения, что говорит о переходе аккумуляторной батареи в режим заряда.

Для определения тока короткого замыкания при работе аккумуляторной батареи параллельно с мощным выпрямителем агрегата бесперебойного питания следует найти граничное сопротивление по формуле

$$R_{\Gamma\text{Р}} = \frac{U_{\text{щ.п.т.}}}{I_{\text{уст}}},$$

где $U_{\text{щ.п.т.}}$ – напряжение на шинах ЩПТ, В; $I_{\text{уст}}$ – уставка системы регулирования выпрямителя по току перегрузки, при которой обеспечивается стабилизация напряжения на шинах ЩПТ, А.

В случае, если сопротивление цепи короткого замыкания $R_{\Gamma} < R_{\Gamma\text{Р}}$, ток короткого замыкания $I_{\text{К}} = U_{\text{щ.п.т.}}/R_{\text{К}}$; если сопротивление цепи короткого замыкания $R_{\Gamma} > R_{\Gamma\text{Р}}$, ток короткого замыкания

$$I_{\text{К}} = I_{\text{АБ.}} + \frac{I_{\text{уст}}}{1 + \frac{R_{\text{К}}}{R_{\text{АБ}}}},$$

где $I_{\text{АБ.}}$ – ток от аккумуляторной батареи без учета выпрямителя АБП, А; $R_{\text{К}}$ – сопротивле-

ние цепи от шин ЩПТ до места короткого замыкания.

Необходимо иметь в виду, что приведенная выше формула справедлива только для определения значения суммарного тока короткого замыкания.

1.14. Выбор защитных аппаратов и параметров их срабатывания

Для защиты цепей аккумуляторных установок от короткого замыкания используются предохранители серий ППТ, НПН, ПР, ПН и автоматические выключатели серий АП, АВГМ, АВМ, АЗ700, «Электрон».

Выбор номинального тока и уставок срабатывания аппаратов защиты. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию

$$I_{\text{ном.пл.вст.}} \geq k_n I_{\text{расч}},$$

где $k_n = 1,2$ — коэффициент надежности; $I_{\text{расч}}$ — наибольший расчетный ток длительной нагрузки.

Если присоединение, защищаемое предохранителем, подвержено перегрузкам, то дополнительно должно выполняться условие

$$I_{\text{ном.пл.вст.}} \geq \frac{I_{\text{пер}}}{k_{\text{пер}}},$$

где $I_{\text{пер}}$ — ток перегрузки; $k_{\text{пер}} = 2,5$ — кратность перегрузки при ее длительности не более 3 с.

Наиболее надежно оценить отстройку плавкой вставки от тока перегрузки можно по времятоковым характеристикам предохранителей.

Кратность тока короткого замыкания по отношению к номинальному току плавкой вставки должна быть не менее трех.

Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя должен быть не меньше наибольшего расчетного тока длительной нагрузки

$$I_{\text{ном.расц.}} \geq I_{\text{расч}}.$$

В случае, если принимается наименьшая уставка по шкале тока расцепителя с обратно-зависимой характеристикой автоматических выключателей АВ и АВМ, номинальный ток расцепителя выбирается по условию:

$$I_{\text{ном.расц.}} \geq 1,33 I_{\text{расч}}.$$

Расцепитель мгновенного срабатывания (отсечки) должен быть отстроен от тока кратковременной перегрузки по условию

$$I_{\text{отс.}} \geq k_3 k_p I_{\text{пер}},$$

где $k_3 = 1,1$ – коэффициент запаса; k_p – коэффициент разброса выключателя (по заводским данным).

Расцепитель с обратозависимой от тока характеристикой должен быть отстроен от излишнего срабатывания по времятоковым характеристикам при протекании через него тока кратковременной перегрузки $I_{пер.}$.

Проверка кратности тока короткого замыкания и селективности

Для надежного отключения поврежденного участка сети при коротком замыкании необходимо, чтобы отношение наименьшего расчетного тока короткого замыкания к номинальному току плавкой вставки предохранителя или расцепителя выключателя с обратозависимой от тока характеристикой было не менее 3.

Кратность тока короткого замыкания расцепителя отсечки проверяется по формуле

$$\frac{I_{к}}{I_{отс.}} \geq k_3 k_p,$$

где $I_{к}$ – ток короткого замыкания в месте установки выключателя.

Если это условие выполняется, то расцепители с обратозависимой от тока характеристикой следует рассматривать как резервную защиту.

Проверку селективности защиты рекомендуется выполнять по времятоковым характеристикам аппаратов защиты с учетом зоны разброса по их временам срабатывания. Для обеспечения селективной работы последовательно включенных защитных аппаратов необходимо, чтобы нижняя граница зоны возможных отклонений характеристик срабатывания аппарата, установленного ближе к источнику питания, была выше верхней границы возможных отклонений характеристик срабатывания аппарата, установленного дальше от источника питания, во всем диапазоне токов, которые могут протекать в рассматриваемой цепи.

Соблюдение указанных условий для двух последовательно установленных предохранителей обеспечивается, если номинальные токи плавких вставок разнятся не менее чем на две ступени шкалы номинальных токов вставок для данного предохранителя.

Селективность работы предохранителя с автоматическим выключателем, установленным дальше от источника питания, будет соблюдаться, если во всем возможном диапазоне токов короткого замыкания

$$t_{пред.} > t_{выкл.} + 0,2 \text{ с},$$

Селективность автоматического выключателя с расцепителем мгновенного срабатывания с предохранителем, установленным дальше от источника питания, при токах короткого замыкания выше уставки срабатывания этого расцепителя может быть обеспечена введением задержки по времени на отключение после срабатывания расцепителя. Такую задержку имеют некоторые из выключателей типов АВ, АВМ, АЗ700, которые называются селективными, в их обозначение входит буква С.

При последовательном включении двух селективных выключателей разность во времени их отключения должна быть больше, чем 0,2 с.

Менее надежным, но часто применяемым способом достижения селективности последовательно установленных выключателей является установка выключателя с расцепителем мгновенного срабатывания за выключателем, не имеющим такого расцепителя, например

А3163 с времязависимым расцепителем.

1.12.1. Определение расчетных условий и токов

Определение расчетных условий и значений токов для выбора и проверки защитных аппаратов производится для конкретных цепей.

Расчетным током длительной нагрузки электродвигателя является его номинальный ток, а наибольшим током кратковременной нагрузки — пусковой ток. Пусковой ток может быть определен экспериментально или по формуле

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{ц.я.}}},$$

где $U_{\text{ш}}$ — напряжение на шинах, В; $R_{\text{ц.я.}}$ — сопротивление цепи якоря, Ом.

Электромагниты включения масляных выключателей термически неустойчивы к длительному протеканию установившегося тока включения, который следует принять за ток кратковременной перегрузки $I_{\text{пер.}}$. Расчетный ток в цепи электромагнита включения определяется по выражению

$$I_{\text{расч.}} = K_c I_{\text{пер.}}$$

где K_c — расчетный коэффициент (табл. 1.16).

Если номинальный ток расцепителя автоматического выключателя выбрать равным расчетному по указанному выражению, то в случае протекания установившегося тока (при неисправности механизма привода) отключение его произойдет через 3...12 с, предотвратив термическое повреждение электромагнита включения. Если для защиты электромагнита включения установлены предохранители, то номинальный ток плавкой вставки выбирается по условию

$$I_{\text{ном.пл.вст.}} = (0,3 \div 0,4) I_{\text{пер.}}$$

Расчетный ток длительной нагрузки ввода от аккумуляторной батареи на сборные шины принимается равным току установившегося аварийного режима, а ток кратковременной перегрузки принимается равным наибольшему току толчка во время аварийного режима. Значения этих токов берутся из графика нагрузки батареи во время аварийного режима.

Таблица 1.16

Значения коэффициентов K_c

Тип выключателя	Номинальный ток расцепителей, А	Коэффициент, K_c	Тип выключателя	Номинальный ток расцепителей, А	Коэффициент, K_c
АП50	10...25	0,15...0,25	А3124	15...80	0,17...0,21
А3110	25...100	0,17...0,21	А3123	40...100	0,1...0,13
А3123	15...80	0,17...0,21	А3124	40...100	0,1...0,13

Аппараты защиты в цепи ввода зарядного и подзарядного агрегатов на сборные шины должны быть надежно отстроены от номинального тока и допустимых перегрузок, приведенных в технической документации на эти устройства.

Кратность тока короткого замыкания должна быть проверена при междуполюсном повреждении в конце кабеля у токоприемника.

Аппарат, установленный для защиты кольца оперативного тока, должен иметь кратность тока короткого замыкания не ниже нормированной при повреждении у самого удаленного от него секционирующего рубильника. Режим одностороннего питания при проверке кратности короткого замыкания допускается не учитывать, считая его непродолжительным.

1.12.2. Отключающая способность и устойчивость аппаратов защиты к действию токов короткого замыкания

Как показывают расчеты, максимальное значение тока короткого замыкания на выводах аккумуляторной батареи не превышает 14... 16 кА. На сборных шинах вследствие токоограничивающего влияния цепей ввода питания ток КЗ не превышает 5...8 кА.

Автоматические выключатели «Электрон», АВМ или АВГМ и предохранители ПН-2 обладают отключающей способностью и устойчивостью к действию токов короткого замыкания, позволяющими устанавливать их в любом месте системы постоянного тока, включая шины щитов постоянного тока.

Автоматические выключатели типа АП50 к установке на шинах щитов постоянного тока не пригодны, так как допустимый ток короткого замыкания для них 2500 А.

Предохранители ПР-2 и НПН2-60, предназначенные для цепей переменного тока, имеют длительный опыт эксплуатации на щитах постоянного тока для защиты цепей управления, что подтверждает возможность их применения.

Выпускаемые промышленностью вторичные химические источники тока подразделяются на кислотные и щелочные. Ведется разработка новых аккумуляторов с щелочными, расплавленными и твердыми электролитами.

1.15. Компоновка аккумуляторных помещений

Согласно [9] стационарные аккумуляторные батареи должны устанавливаться в специально предназначенных для них помещениях. Допускается установка в одном помещении нескольких кислотных батарей.

Помещения аккумуляторных батарей относятся к производствам категории Е и должны размещаться в зданиях не ниже II степени огнестойкости по противопожарным требованиям Госстроя России.

Двери и оконные рамы могут быть деревянными.

Аккумуляторные батареи рекомендуется устанавливать в помещениях с естественным освещением; для окон необходимо применять матовое или покрытое белой клеевой краской стекло.

Помещения аккумуляторных батарей допускается выполнять без естественного освещения; допускается также размещение их в сухих подвальных помещениях. В этих случаях не требуется применения легкообрасываемых панелей.

Переносные аккумуляторы закрытого типа (например, стартерные), применяемые для питания стационарных электроустановок, а также открытые аккумуляторные батареи до 60 В общей емкостью не более 72 А·ч могут устанавливаться как в отдельном помещении с вентиляцией, имеющей естественное побуждение, так и в общем производственном невзрыво- и непожароопасном помещении, в вентилируемых металлических шкафах с удалением воздуха

вне помещения. Переносные аккумуляторы закрытого типа, работающие в режиме разряда или постоянного подзаряда, заряд которых производится вне места их установки, могут быть установлены и в металлических шкафах с жалюзи без удаления воздуха вне помещения.

При соблюдении указанных условий класс помещений в отношении взрыво- и пожароопасности не изменяется.

Герметичные стационарные аккумуляторы, заряд которых производится при напряжении не выше 2,3 В на элемент, могут устанавливаться в общем производственном невзрыво- и непожароопасном помещении при условии установки над ними вентиляционного зонта. При этом класс помещений в отношении взрыво- и пожароопасности не изменяется.

Помещение аккумуляторной батареи должно быть:

- расположено возможно ближе к зарядным устройствам и распределительному щиту постоянного тока;

- изолировано от попаданий в него пыли, испарений и газа, а также от проникновения воды через перекрытие;

- легко доступно для обслуживающего персонала.

Кроме того, помещение аккумуляторной батареи не следует размещать вблизи источников вибрации и тряски.

Вход в помещение аккумуляторной батареи должен осуществляться через тамбур. Устройство входа из бытовых помещений не допускается.

Тамбур должен иметь такие размеры, чтобы дверь из помещения аккумуляторной батареи в тамбур можно было открывать и закрывать при закрытой двери из тамбура в смежное помещение; площадь тамбура должна быть не менее 1,5 м². Двери тамбура должны открываться наружу и должны быть снабжены самозапирающимися замками, допускающими открывание их без ключа с внутренней стороны.

На дверях должны быть надписи: «Аккумуляторная», «Огнеопасно», «С огнем не входить», «Курение запрещается».

При помещениях аккумуляторных батарей должна быть отдельная комната для хранения кислоты, сепараторов, принадлежностей и для приготовления электролита площадью не менее 4 м².

Потолки помещений аккумуляторных батарей должны быть, как правило, горизонтальными и гладкими. Допускаются потолки с выступающими конструкциями или наклонные.

Полы помещений аккумуляторных батарей должны быть строго горизонтальными, на бетонном основании с кислотостойким покрытием (керамические кислотостойкие плитки с заполнением швов кислотостойким материалом или асфальт).

При установке стеллажей на асфальтовом покрытии должны быть применены опорные площадки из прочного кислотостойкого материала. Установка стеллажей непосредственно на асфальтовое покрытие не допускается.

Внутри помещений аккумуляторной батареи и кислотной, а также у дверей этих помещений должен быть устроен плинтус из кислотостойкого материала.

Стены, потолки, двери и оконные рамы, вентиляционные короба (с наружной и внутренней сторон), металлические конструкции и другие части помещений аккумуляторных батарей должны окрашиваться кислотостойкой краской.

При размещении аккумуляторов в вытяжных шкафах внутренняя поверхность шкафов должна быть окрашена кислотостойкой краской.

В помещениях аккумуляторных батарей с номинальным напряжением более 250 В в проходах для обслуживания должны устанавливаться деревянные решетки, изолирующие персонал от пола.

При применении инвентарных вентиляционных устройств должны быть предусмотре-

ны места для их установки и выводы к ним коробов приточно-вытяжной вентиляции помещения аккумуляторной батареи.

Установка открытых негерметизированных аккумуляторов в одном помещении с другим электрооборудованием не допускается. Выделяющиеся из аккумуляторов пары серной кислоты разрушающе действуют на металлы, и оборудование быстро придет в негодность. С другой стороны, такое совмещение недопустимо по условиям взрывоопасное. Искрение на электрооборудовании может привести к взрыву водорода, выделяющегося из аккумуляторов при заряде. Поэтому открытые стационарные аккумуляторные батареи, как правило, устанавливаются в специальных аккумуляторных помещениях [15].

По нормам высота аккумуляторного помещения берется в зависимости от количества элементов в батарее, их величины и схемы компоновки

Стены аккумуляторного помещения (кирпичные или бетонные) тщательно штукатурятся цементной штукатуркой и окрашиваются за 2 раза светло-серой кислотоупорной краской.

Аккумуляторная батарея создает большую нагрузку для пола аккумуляторного помещения. Сравнительно небольшая батарея СК-24 из 130 элементов в рабочем состоянии весит около 25 т. Нагрузка от аккумуляторов к полу передается через деревянные тумбочки, на которых лежат стеллажи. Поэтому нагрузка от веса аккумуляторов особо концентрируется в местах опирания тумбочек на пол.

Конструкция пола должна быть такова, чтобы он без каких-либо деформаций воспринимал нагрузку от батареи. Наиболее рациональны бетонные полы, по которым укладываются метлахские плитки или два слоя асфальта толщиной 15 мм каждый для обеспечения кислотостойкости и избежания пыли. Между плитками оставляют швы (до 8 мм), заполняемые после схватывания подливки горячим битумом. Асфальт перед применением проверяется на кислотостойкость. Во избежание затекания электролита на бетонный пол в стыке асфальта со стенами у всех стен делаются асфальтовые плинтусы высотой 50 мм.

Пол должен быть строго горизонтальным, уклоны не допускаются.

Как указывалось выше, максимальная нагрузка на пол сосредотачивается в местах опирания тумбочек. Если тумбочки поставить непосредственно на асфальт, то со временем асфальт продавливается и стеллажи деформируются. Это приводит к разрушению стеклянных сосудов и нарушениям пайки пластин. Поэтому в местах опирания тумбочек асфальт вырубает до бетона и на бетон на цементном растворе кладут кислотоупорные плитки.

Все плитки (по крайней мере в пределах данного стеллажа) должны быть на одном уровне. Во избежание затекания электролита в промежуток между плитками и асфальтом вокруг плиток необходимо делать плинтусы. Потолки аккумуляторных помещений должны быть несгораемыми (бетонными) и гладкими. Не допускается их сооружение из корытообразных плит (корытом вниз) или с балками, образующими замкнутые пространства (кессоны). В этих корытах и кессонах будет застаиваться водород, что не допускается по условиям взрыво- и пожаробезопасности.

Потолок не штукатурится, а гладко «затирается» цементным раствором и окрашивается за 2 раза светло-серой кислотоупорной краской. Перед покраской должны быть закончены работы по пробивке дыр в стенах и потолке для вмазки металлических конструкций, поддерживающих шины и вентиляционные короба, и произведена вмазка этих конструкций.

Температура помещений батарей типа СК на уровне расположения аккумуляторов в холодное время года в нормальных условиях должна быть не ниже 10°C. В установках без дежурного персонала, если емкость батареи выбрана с учетом ее уменьшения при низких температурах, допускается снижение температуры до 0°C.

Для аккумуляторов типа СН минимально допустимая температура аккумуляторных помещений не нормирована. Однако, учитывая, что уже при 5°C их емкость может снизиться до 70% номинальной, видимо, следует, может быть, временно остановиться на температуре аккумуляторного помещения не ниже 15°C.

Отопление аккумуляторных помещений рекомендуется осуществлять калориферными устройствами, располагаемыми вне этого помещения и подающими теплый воздух через вентиляционные отверстия. При наличии электрокалориферов необходимо принять меры против заноса искр в каналы. Аккумуляторное помещение может включаться в систему центрального отопления объекта, в котором находится батарея. При этом отопление в пределах аккумуляторного помещения выполняется из гладких труб. Во избежание нарушения работы батареи при пробое фланцев или неисправности вентилях все соединения труб делаются сваркой. Установка вентилях запрещается.

1.13.1. Компоновка аккумуляторных батарей

Компоновка аккумуляторных батарей зависит от числа элементов, напряжения батареи, наличия или отсутствия концевых элементов, присоединяемых к элементному коммутатору. Компоновка батареи должна обеспечивать свободный доступ к любому элементу, позволять заменить любой сосуд или бак.

Для уменьшения длины ошиновки полюсы батареи (т.е. первый и последний элементы) располагают вблизи выводной доски, а концевые элементы по возможности по обеим сторонам выводной доски.

При компоновке аккумуляторной батареи необходимо учитывать следующие условия:

а) аккумуляторы, от которых берутся отпайки к элементному коммутатору, предпочтительно размещать около стен;

б) расстояния между токоведущими частями аккумуляторов, напряжение между которыми при нормальной работе (не при зарядке) превышает 65 В, должны быть не менее: при напряжении 250 В – 0,8 м, больше 250 В – 1 м.

На двухрядных стеллажах расстояния между токоведущими частями аккумуляторов разных рядов не превышают 100–120 мм. Поэтому на двухрядных стеллажах нельзя устанавливать больше 30 элементов, так как между крайними элементами (например, между №1 и 30) в режиме постоянного подзаряда будет напряжение $2,15 \times 30 = 65$ В. В аккумуляторных батареях, работающих в режиме заряд-разряд, на один двухрядный стеллаж можно устанавливать 32 элемента;

в) ширина проходов в свету должна быть: между аккумуляторами при двустороннем их расположении – не менее 1 м; между аккумуляторами и стеной при одностороннем их расположении не менее 0,8 м; между аккумуляторами и стеной при расположении непосредственно у стены – 0,15 м;

г) минимальное расстояние от отопительных приборов до аккумуляторов – 0,75 м;

д) стальные воздушные короба должны размещаться только над проходами;

е) стеллажи не должны быть длиннее 6 м.

На рис. 1.26 дан пример симметричной компоновки аккумуляторной батареи из 130 элементов, 42 из которых концевые и присоединены к элементному коммутатору. Такая компоновка позволяет хорошо разместить вентиляционные короба, удобна для монтажа и эксплуатации и требует относительно небольшой площади аккумуляторного помещения.

Для ряда потребителей постоянного тока емкость аккумуляторной батареи выбирается такой, чтобы при разряде расчетным током и при расчетной длительности разряда напряжение на токоприемниках оставалось в допустимых пределах. Для таких батарей не нужно регулирование напряжения при разряде, а, следовательно, не нужны и концевые элементы.

Если потребитель постоянного тока допускает отключение нагрузки на время заряда батареи (заряд в нерабочее время, заряд осветительных батарей в светлое время суток и пр.), то отпадает необходимости регулирования напряжения и при заряде. При отключенной нагрузке полный заряд батареи может быть закончен в 5–6 ч при напряжении в конце заряда до 2,7 В на элемент.

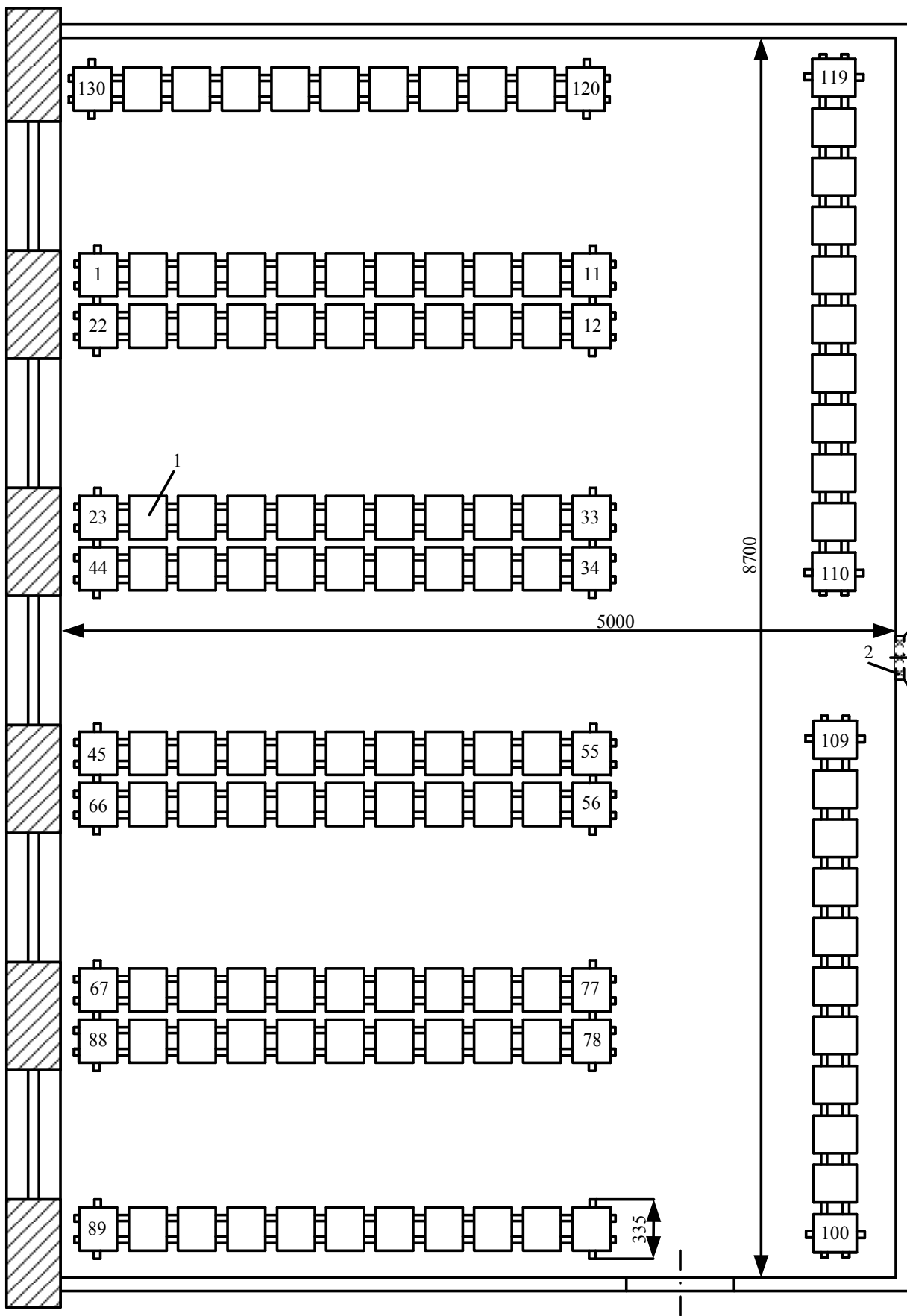


Рис. 1.26. Симметричная компоновка аккумуляторной батареи из 130 элементов типа СК-12

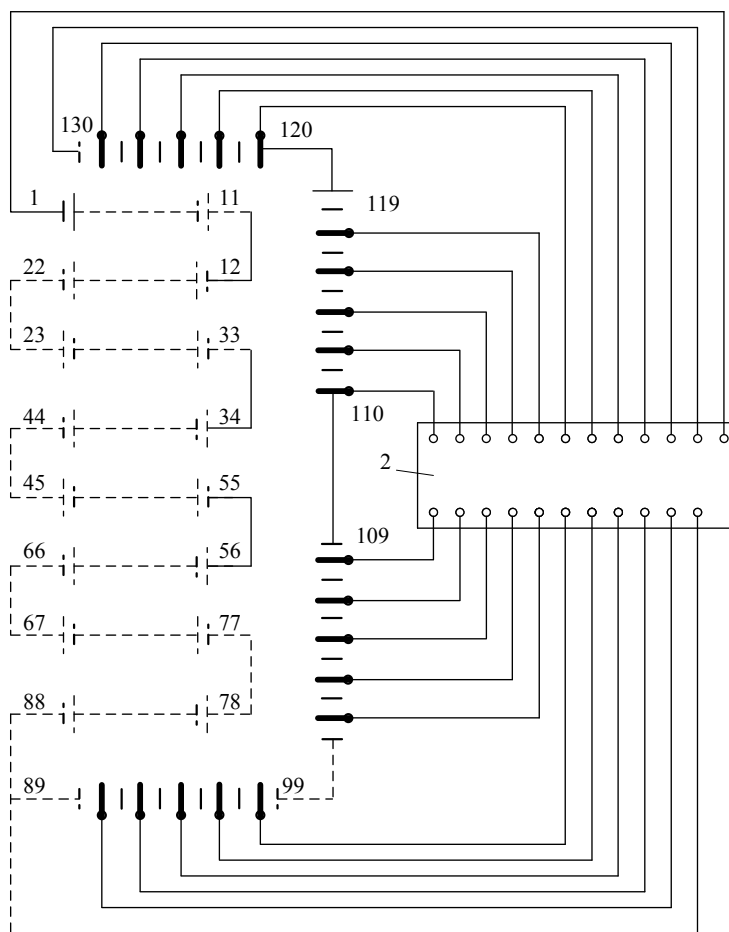


Рис. 1.27. Монтажная схема аккумуляторной батареи из 130 элементов типа СК-12

В случаях, когда при заряде батареи отключать нагрузку нельзя, а длительность заряда не ограничивается, можно производить заряд при напряжении 2,2–2,3 В на элемент. При этом напряжение на токоприемниках составит 108–113% номинального, что для ряда категорий электроаппаратуры является допустимым. Полный заряд батареи при таком напряжении длится более 2 суток.

Пример симметричной компоновки с наименьшими длинами ошиновки и максимальным удобством обслуживания батареи из 108 элементов без регулирования напряжения (Гидропроект) показан на рис. 1.28, монтажная схема этой батареи показана на рис. 1.29.

Видимо, в целях унификации строительных конструкций для аккумуляторных батарей с аккумуляторами типов СК-6 – СК-20 при 108, 119 и 120 элементах объем аккумуляторного помещения один и тот же (8620х5900х4000 мм). При размещении в такой кубатуре аккумуляторных батарей из аккумуляторов типов СН-6, СН-8 и СН-10 можно, руководствуясь заводской инструкцией, при естественной вентиляции вести формирующие заряды напряжением 2,6 – 2,7 В на элемент.

Расчет показывает, что при формирующем заряде током $0,1 C_{10}$ требуемая по условиям взрывобезопасности кратность обмена воздуха для батарей из 108 элементов типа СН-10 не превышает 0,65, для батареи из 120 элементов типа СН-10 – соответственно 0,72. При заряде максимальным током, равным $0,2 C_{10}$, модифицированным методом для этих батарей потребуются форсировка вентиляции.

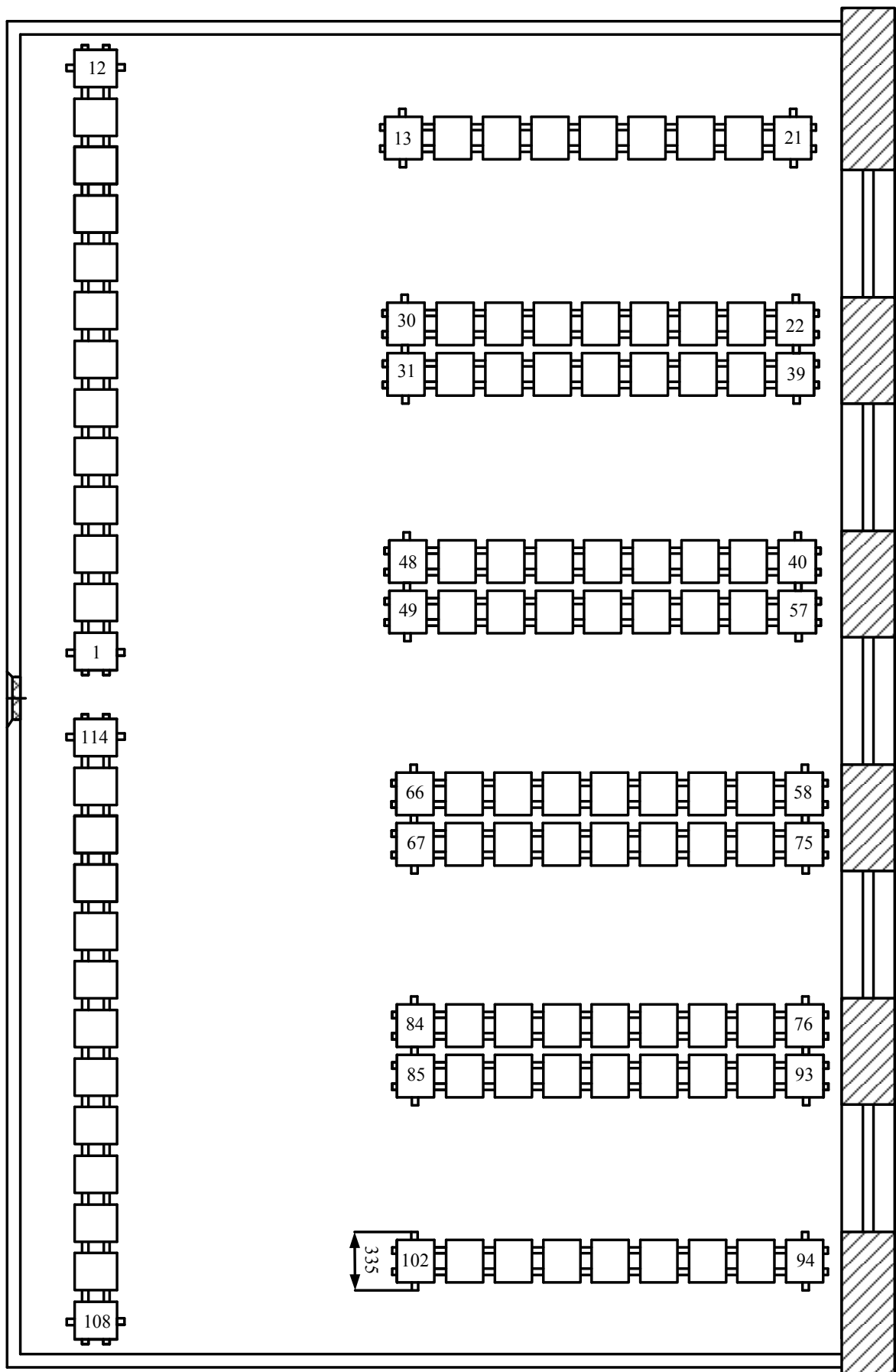


Рис. 1.28. Компоновка аккумуляторной батареи из 114 элементов типа СК-24 без регулировки напряжения

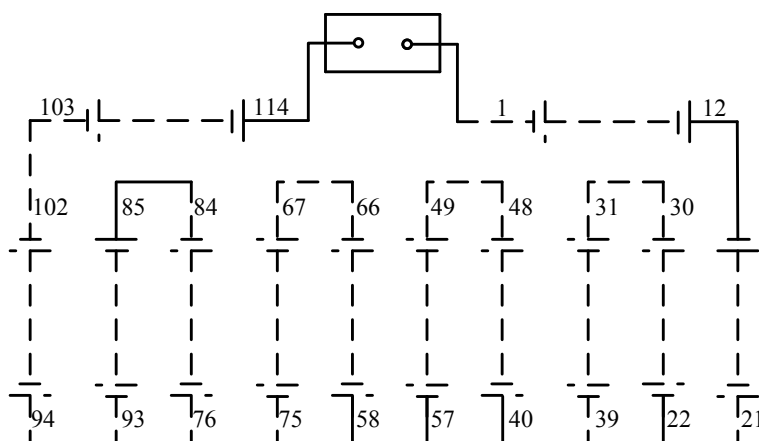


Рис. 1.29. Монтажная схема аккумуляторной батареи из 114 элементов типа СК-24 без регулировки напряжения

1.16. Компоновка щита постоянного ток

Требования к компоновке щита постоянного тока изложены в [13].

Щит постоянного тока (ЩПТ) предназначен для подключения источников питания (АБ и ЗУ) и распределения электроэнергии по группам электроприемников системы оперативно-постоянного тока (СОПТ). Количество ЩПТ на ПС должно быть равно числу АБ.

В пределах каждого ЩПТ должно обеспечиваться размещение коммутационных и защитных аппаратов, устройств контроля изоляции, устройств мониторинга, устройств защиты от перенапряжений, устройств регистрации аварийных событий, местной сигнализации, рядов клемм для присоединения кабельных линий.

ЩПТ должен иметь секции шин или сборки с отдельными цепями ввода питания для кабельных линий, питающих микропроцессорные терминалы и цепи, не выходящие за пределы ОПУ, релейного щита и секции шин или сборки с отдельными цепями ввода питания для кабельных линий, выходящих за пределы здания или питающих приводы высоковольтных выключателей.

По требованию заказчика ЩПТ может иметь устройство «мигающего плюса».

В ЩПТ должно быть предусмотрено место для хранения запасных плавких вставок предохранителей.

Шкафы ЩПТ должны запираются на ключ. На дверцах шкафов ЩПТ могут размещаться измерительные приборы и устройства световой сигнализации. Органы управления и коммутации должны размещаться внутри шкафов.

Конструкция шкафов ЩПТ должна соответствовать ГОСТ Р 51321.1-2007.

Размещение аппаратуры и рядов клемм в шкафах ЩПТ должно обеспечивать возможность свободного доступа к любому из них для замены, выполнения ремонтных работ и работ по техническому обслуживанию.

Размещение органов управления и средств отображения информации о состоянии СОПТ должно соответствовать рекомендациям ГОСТ 12.2.033-78.

Запрещается установка секционирующих рубильников между секциями или сборками питания устройств РЗА в пределах одного ЩПТ.

2. ИСТОЧНИКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРЕМЕННОГО И ВЫПРЯМЛЕННОГО ТОКА

2.1 Общие сведения

Переменный оперативный ток используется на подстанциях с упрощенными схемами распределительных устройств ВН, не имеющих выключателей на стороне высшего напряжения. Выпрямленный оперативный ток применяется на подстанциях 110 кВ с одним или двумя выключателями на стороне ВН подстанции [11].

Выбор того или иного вида оперативного тока определяется как особенностями схем релейной защиты и управления, так и характеристиками приводов электроаппаратов; для питания цепей включения электромагнитных приводов устанавливают силовые выпрямители; для отключения тех же приводов – зарядные устройства с выпрямителями и конденсаторами; управление и релейную защиту выключателей с пружинно-грузовыми и пружинно-двигательными приводами выполняют на переменном токе без применения выпрямительных устройств.

Источниками оперативного переменного тока являются трансформаторы тока (ТТ), трансформаторы напряжения (ТН) и силовые трансформаторы собственных нужд (с. н.). Полученный от этих источников переменный ток либо непосредственно подается в сеть оперативного тока, либо выпрямляется, и тогда в качестве оперативного тока используется выпрямленный ток [18].

Источники оперативного переменного тока могут быть индивидуальными, питающими цепь лишь одного присоединения, и централизованными, обеспечивающими питание оперативных цепей группы или всех присоединений, а также цепей центральной сигнализации данного объекта.

Индивидуальные источники наиболее надежны, так как они органически связаны с управляемым и защищаемым присоединением и не имеют связи с цепями управления других присоединений. В качестве таких источников используют ТТ, а также ТН, если они есть на данном присоединении [6].

ТТ служат надежными источниками для питания защит от коротких замыканий (ток и мощность при КЗ возрастают). Однако в случаях, когда повреждения в сети или оборудовании не сопровождается увеличением тока, ТТ не могут обеспечивать действие соответствующих защит (от замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью, от витковых замыканий, от повышения и понижения напряжения, от понижения частоты) [14].

На рис. 2.1 приведена схема питания оперативной цепи защиты непосредственно от ТТ.

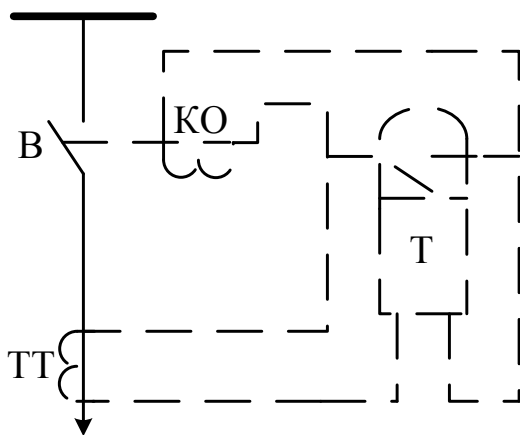


Рис. 2.1. Схема питания цепей защиты переменным током

В- выключатель; КО – катушка отключения;
Т – реле тока; ТТ – трансформатор тока

ТН и трансформаторы с. н. могут служить источниками оперативного тока для защит от повреждений и ненормальных режимов, не сопровождающихся глубокими понижениями напряжения, например от перегрузки, замыканий на землю в сети с изолированной нейтралью, повышения напряжения. ТН и трансформаторы с.н. можно также применять для питания вторичного оборудования и цепей в случаях, когда не требуется высокой стабильности напряжения и допустимы перемены питания.

Т. к. напряжение в сети при КЗ заметно снижается, иногда до нуля, ТН и трансформаторы с.н. не могут использоваться для питания оперативных цепей защит от КЗ. Схемы питания оперативных цепей от ТН и трансформаторов с.н. приведены на рис. 2.2.

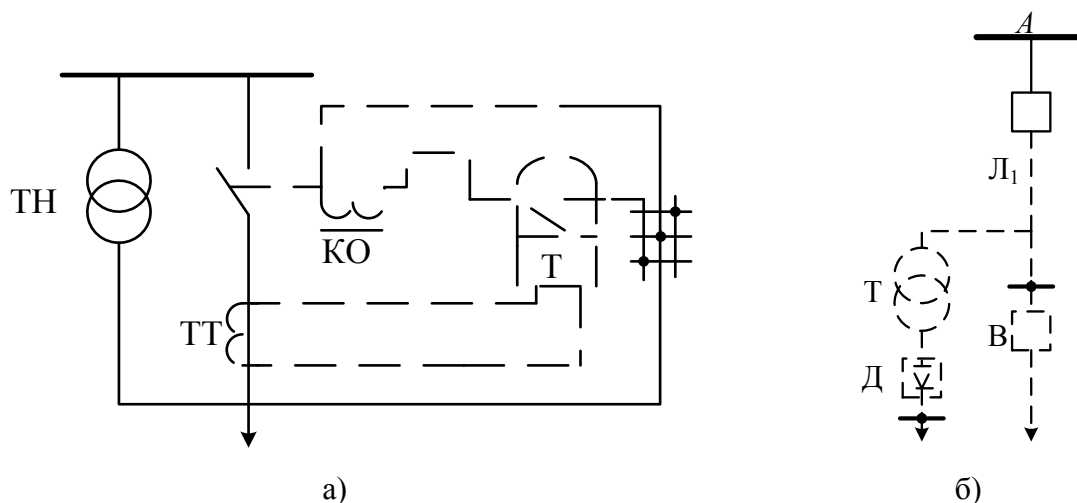


Рис. 2.2. Схема питания цепей защиты переменным током:
а) от трансформатора напряжения; б) от трансформатора с.н.

ТТ – трансформатор тока; ТН – трансформатор напряжения;
КО – катушка отключения; Т – реле тока; Т – трансформатор с.н.;
Д – селеновый выпрямитель; А – шины подстанций;
Л₁ – линия высокого напряжения

Целесообразнее применение централизованных источников переменного оперативного тока от ТН и трансформаторов с.н.

Питание цепей оперативного переменного тока на энергообъектах выполняют обычно комбинированными, т. е. с обоими видами источников. В схемах комбинированного питания токи измерительных трансформаторов суммируются непосредственно на стороне переменного тока (геометрическая сумма токов) или после их выпрямления в специальных блоках питания (арифметическая сумма токов) [2].

В зависимости от назначения для получения выпрямленного напряжения (тока) применяют:

- силовые выпрямители, устанавливаемые для питания электромагнитов включения тяжелых приводов выключателей;
- зарядные устройства, используемые для заряда конденсаторов через выпрямители. Запасенная в конденсаторах энергия употребляется для питания различных аппаратов даже при исчезновении напряжения на объекте;
- блоки питания, подключаемые к ТТ, ТН или трансформатору с.н. и служащие для питания выпрямленным током соответствующих вторичных цепей.

Широкое применение на подстанциях получили источники комбинированного питания одновременно от ТТ и ТН (рис.2.3).

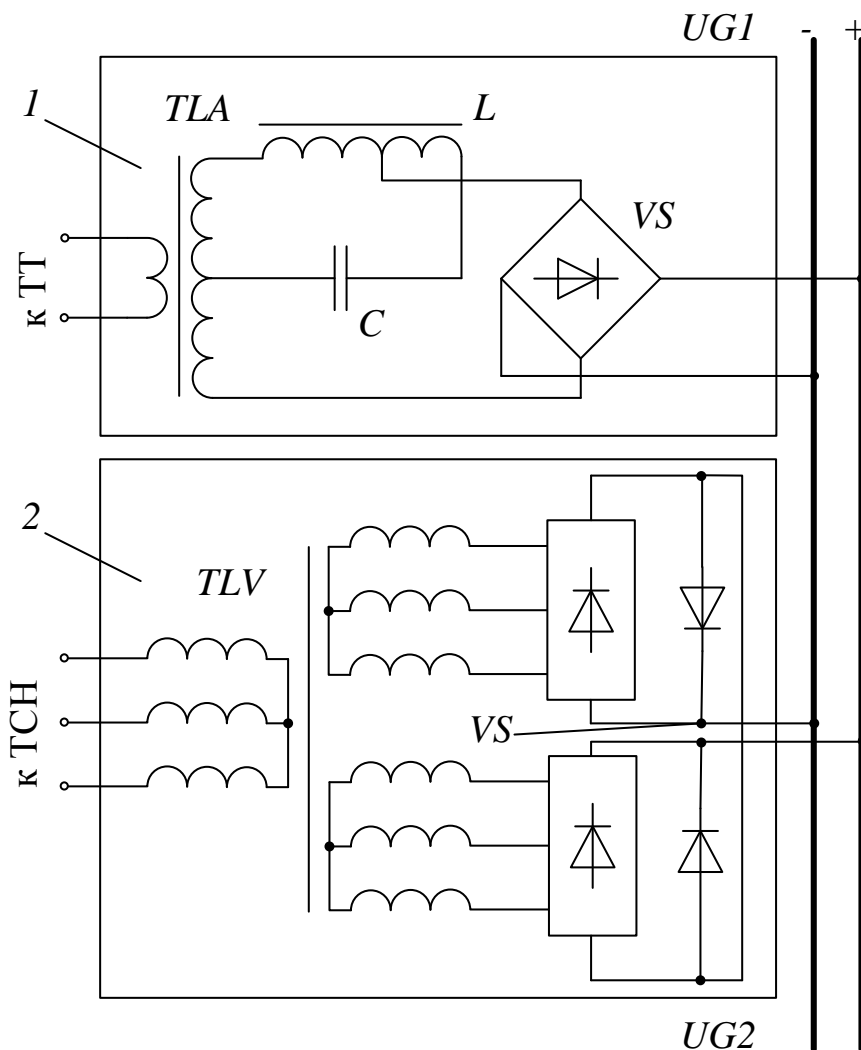


Рис. 2.3. Блоки питания БПТ-1002 и БПН-1002:
1 и 2 – блоки питания от трансформатора тока и собственных нужд

Источники комбинированного питания можно разделить на три группы:

- источники для заряда и подзаряда аккумуляторных батарей;
- источники оперативного тока, питающие цепи управления и сигнализации;
- источники, предназначенные для питания электромагнитов включения выключателей.

Источники комбинированного питания включают полупроводниковые выпрямительные устройства и специальные блоки питания (рис. 2.4 а, б). Блоки питания выпускаются промышленностью в довольно широком диапазоне мощностей от 20 – 25 Вт (БП-11) до 1,5 кВт (БП-1002), и выходных напряжений (24; 48; 110; 220 В).

К источникам выпрямленного тока следует отнести предварительно заряженные конденсаторы, так как они заряжаются через выпрямители, питаемые от источников переменного тока (рис. 2.4, в).

Устройства комбинированного питания применяются для питания электромагнитов включения выключателей от трансформаторов с.н. через выпрямители, а цепи управления, защиты и автоматики – от небольшой герметичной аккумуляторной батареи с автоматическим подзарядом от выпрямительных устройств (рис. 2.5) [18].

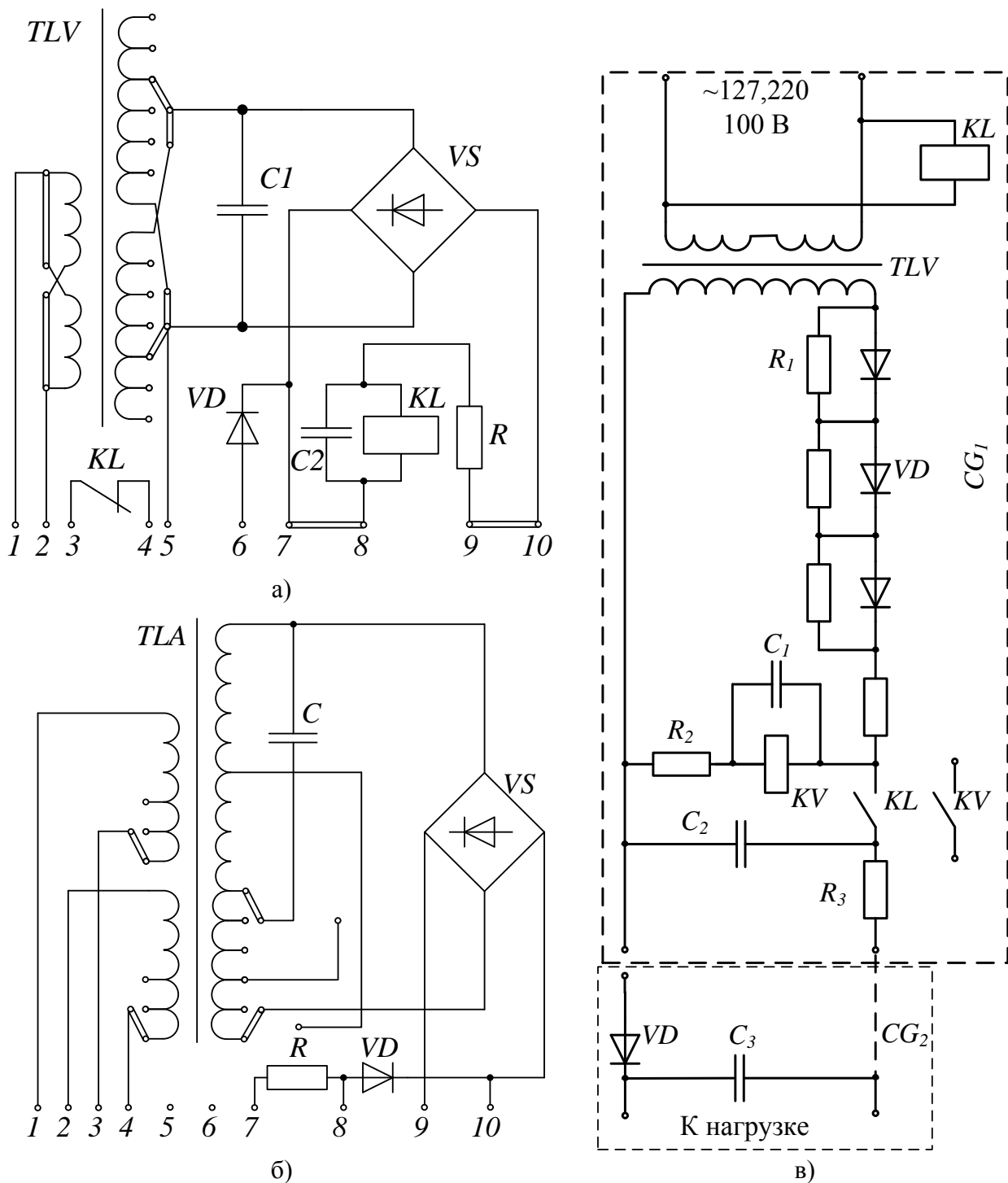


Рис. 2.4. Блоки питания: а) БПЗ-401; б) БПЗ-402; и схема конденсаторного устройства в) УЗ-401

Однако мощность блоков питания, так же как и мощность других источников переменного оперативного тока, в некоторых случаях все же недостаточна, например, для питания электромагнитных приводов выключателей, потребляющих при отключении и, особенно, при включении большие токи. Для питания этих приводов применяются конденсаторные устройства, которые заряжаются во время нормального режима электроустановки и энергия заряда которых используется в аварийных режимах. Схема конденсаторного устройства приведена на рис. 5.6. В нормальном режиме конденсатор C заряжен. В аварийном режиме под действием защиты он замыкается на электромагнит отключения и, питая последний своим разрядным током, отключает выключатель.

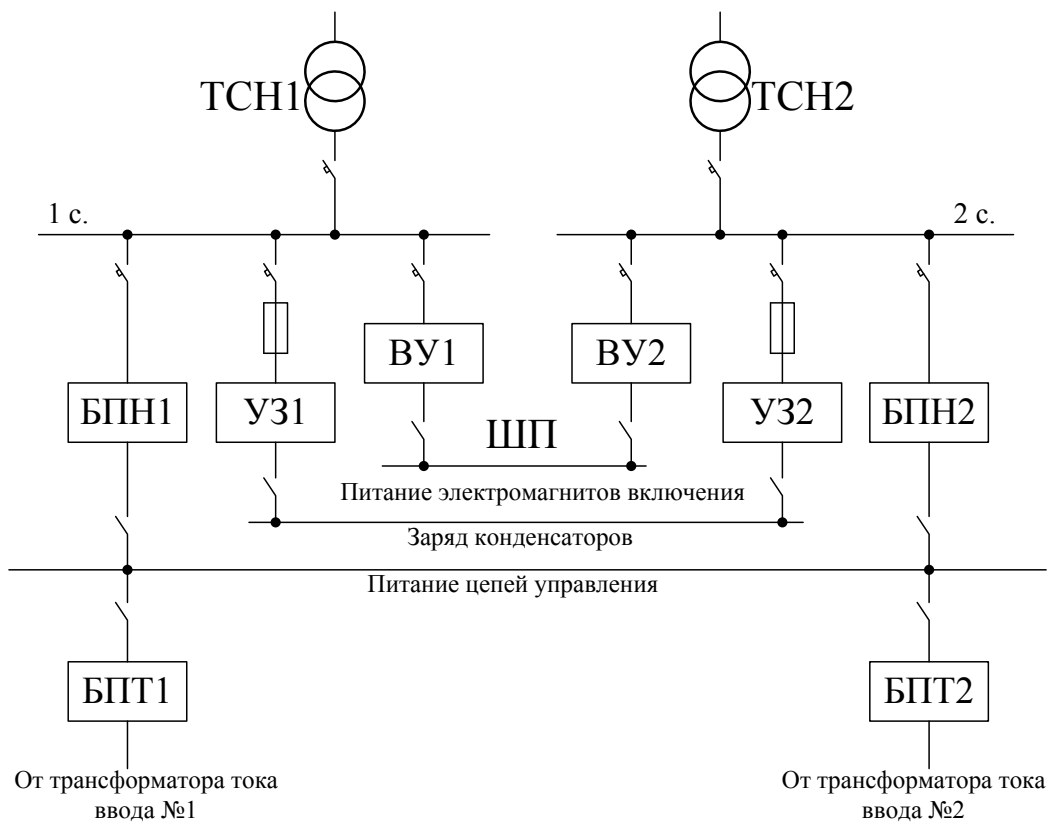


Рис. 2.5. Схема питания оперативных цепей выпрямленным током:

ТСН1 и ТСН2 – трансформаторы собственных нужд;

ВУ1, ВУ2 – выпрямительные устройства;

УЗ1, УЗ2 – зарядные устройства конденсаторов;

ШП – шины питания электромагнитного включения выключателей;

БПН1, БПН2 – блоки питания;

БПТ1, БПТ2 – токовые блоки питания

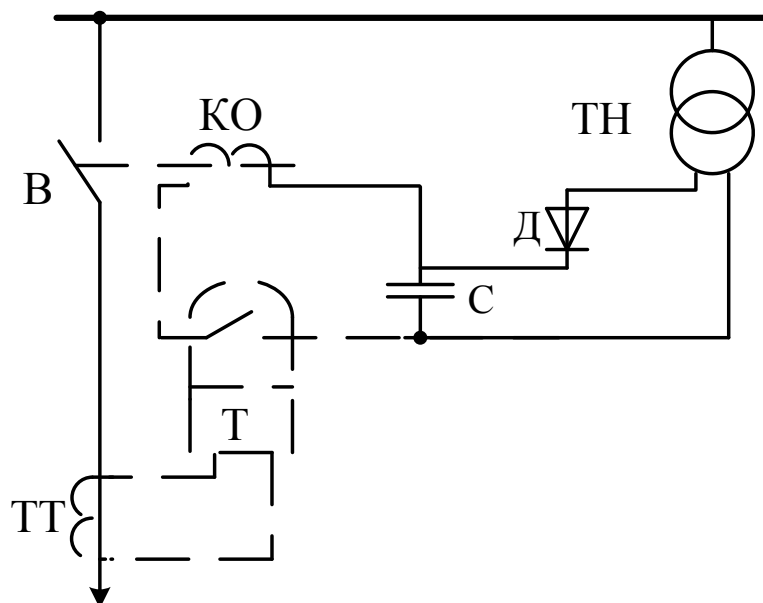


Рис. 2.6. Схема питания оперативных цепей защиты переменным током за счет энергии заряженного конденсатора

Необходимый заряд и емкость конденсатора можно определить из формул:

$$\frac{C \cdot U^2}{2} \cdot 10^{-6} = k_{\text{зап}} \cdot W_{\text{ко}}; \quad (2.1)$$

$$\tau_{\text{имп}} \geq \tau_{\text{ко}}, \quad (2.2)$$

где C – емкость конденсатора, мкФ;

U – напряжение на обкладках конденсатора, В;

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса;

$W_{\text{ко}}$ – энергия срабатывания электромагнита отключения, Вт·с;

$\tau_{\text{имп}}$ – время первого импульса разряда, равное половине периода собственных колебаний контура разряда.

Обычно напряжение при заряде равно 300 – 400 В. Тогда необходимая емкость конденсатора может составить величину от 75 мкФ для привода ПС-10 до 230 мкФ для привода ПС-30 [14].

Заряженный конденсатор является независимым источником оперативного тока, поэтому конденсаторные устройства могут использоваться для питания всех вторичных устройств, которые должны работать при исчезновении напряжения в основной сети электростанции (подстанции).

Конденсаторные устройства выпускаются для однократного действия, однако, комбинируя их, можно получить устройства многократного действия, в которых число разрядных импульсов равно числу конденсаторных батарей, объединенных в них.

Обычно на электроустановках с переменным оперативным током применяют выключатели с легкими приводами (пружинными, грузовыми); т. о., оказывается возможным использовать конденсаторные устройства и для включения выключателей.

В тех случаях, когда неизбежна установка выключателей с мощными электромагнитными приводами, потребляющими при включении большие мощности – от 10 до 170 кВт, приходится питать электромагниты включения таких приводов централизованно от трансформатора с.н. через выпрямительную установку.

Использование оперативного переменного тока ограничено установками сравнительно небольшой мощности и относительно небольших напряжений (3, 6, 10, 35 и частично 110 кВ) из-за недостаточной разработанности специальной аппаратуры.

К числу выпрямительных установок сравнительно небольшой мощности принадлежат, например, стабилизированные блоки БПС-1, поддерживающие при колебаниях входного напряжения в диапазоне 50 – 110 % номинального выходное напряжение в пределах 85 – 100 %. Длительная выходная мощность такого блока составляет 650 Вт, а импульсная односекундная – 1,5 кВт. Технические данные некоторых блоков питания отечественного производства приведены в п. 2.2 данных методических указаний.

2.2. Технические данные блоков питания

Токовый блок состоит из промежуточного насыщающегося трансформатора тока с выпрямительным мостом на выходе. Параллельно вторичной обмотке трансформатора включается емкость, обеспечивающая вместе с ветвью намагничивания феррорезонансную стабилизацию выходного напряжения. Токовые блоки включаются в цепи ТТ и являются источниками питания только в режиме КЗ, когда ток в цепи оказывается достаточным для обеспечения необходимой для работы оперативных цепей мощности на выходе блока.

Блок напряжения представляет собой промежуточный ТН с выпрямительным мостом на выходе. Блоки напряжения подключаются к ТН или трансформаторам с. н. и являются источниками питания в режимах, когда обеспечен достаточно высокий уровень напряжения. Блоки напряжения и токовые могут использоваться как самостоятельные источники питания или в комбинации друг с другом.

Блоки питания и заряда типов БПЗ-401 и БПЗ-402 предназначены для заряда конденсаторных батарей, используемых для приведения в действие аппаратов и устройств релейной защиты (режим зарядного устройства) или питания выпрямленным током аппаратуры автоматики, управления и релейной защиты (режим блока питания). Технические данные блоков приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Технические данные блоков питания и заряда серии БПЗ [19]

Параметры	БПЗ-401-У4	БПЗ-402-У4
Уставки по току наступления феррорезонанса, А*		4,65 6 8,5 9,3 12, 17
Номинальное первичное напряжение, В	100, 110, 127, 220	
Номинальная частота, Гц	50	50
Номинальное выпрямленное напряжение, В	110, 220	110, 220
Номинальное напряжение заряда, В	400 5%	400 5%
Время заряда конденсаторов 200 мкФ до напряжения 0,8 установившегося, мс, не более	70	70
Длительно допустимое сопротивление нагрузки, Ом, для номинального выпрямленного напряжения: - 110 В - 220 В	150 600	130 520
Минимально допустимое сопротивление нагрузки, Ом, для номинального выпрямленного напряжения: - 110 В - 220 В	50 200	50 200
Пятисекундный первичный ток термической стойкости при минимально допустимом сопротивлении нагрузки, А	-	75
Потребляемая мощность, ВА, не более: - при отсутствии нагрузки - при минимально допустимом сопротивлении нагрузки	5** 400	550 550
- при длительно допустимом сопротивлении нагрузки - в установившемся режиме (с заряженной емкостью)	200 20***	550 550
Максимальная емкость заряжаемых конденсаторов, мкФ	2000	2000
Габариты (длина, ширина, высота), мм	222×240×147	
Масса, кг	8,8	9,6

* - Феррорезонанс в схеме наступает при намагничивающей силе в первичной обмотке промежуточного трансформатора блока, равной 1020, 100 А.

** - На уставке выпрямленного напряжения 110 В.

*** - На уставке выпрямленного напряжения 220 В.

Блоки типа БПЗ- 401 должны включаться на измерительные ТН или на трансформаторы с. н.

Блок типа БПЗ-402 на уставках по току феррорезонанса 9; 3; 12; 17 А может включаться на все ТТ, отдаваемая мощность которых при двукратном номинальном токе составляет не менее 500 ВА; на уставках 4,65; 6,0 и 8,5 А блок включается на ТТ типов ТВ-35, ТВД-35 и другие с аналогичными вольт - амперными характеристиками (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Выбор числа витков первичной обмотки блока БПЗ-402 [19]

Коэффициент трансформации трансформатора тока	Число витков первичной обмотки блока
150/5	120
200/5	170
300/5	200

Использование ТТ, на которые включены блоки питания, для других целей не допускается.

Блоки питания серии БП-1002, типов БПН-1002 и БПТ-1002 предназначены для питания выпрямленным током аппаратуры релейной защиты, сигнализации и управления, выполненной на номинальное напряжение 110 и 220 В и имеющей номинальную мощность до 1500 Вт в кратковременном режиме. Блоки питания БПТ-1002 включаются на комплекты ТТ, использование которых для других целей не допускается. Технические данные блоков питания серии БП-1002 приведены в табл. 2.3. Первичная обмотка промежуточного трансформатора блока БПТ-1002 выполнена из отдельных электрически изолированных секций, позволяющих изменять число витков первичной обмотки от 25 до 200 через каждые 25 витков в зависимости от типа трансформатора тока.

Таблица 2.3

Технические данные блоков питания серии БП-1002 [19]

Параметры	БПТ-1002		БПН-1002			
	1	2	3			
Номинальное напряжение, В:						
- входное	-	-	100		220	380
- выходное	110	220	110		220	
Среднее значение входного напряжения, В, не более, в режиме холостого хода:						
- при нагрузке	136	260	140	86	280	172
- не менее	90	180	80		160	
Сопротивление нагрузки, Ом	10	40	5	10	20	40
Длительно допустимый ток нагрузки, А	7	3,5	6,4		3,2	
Допустимый ток в первичной обмотке насыщающегося трансформатора в течение 5 с при указанном сопротивлении нагрузки, А	50					
Намагничивающая сила первичной обмотки насыщающегося трансформатора блока, при которой наступает феррорезонанс при отсутствии нагрузки, А	840-1000					

1	2		3			
Длительно допустимый ток в первичной обмотке насыщающегося трансформатора при отсутствии нагрузки, А: - до наступления феррорезонанса - после наступления феррорезонанса (при полном числе витков первичной обмотки)	не превышает тока феррорезонанса 9,5					
Длительно допустимое напряжение, % номинального входного			110			
Потребление на фазу, ВА: - при холостом ходе, не более - при нагрузке	750	750	1500	25 750	1500	750
Габариты (длина, ширина, высота)	340×354×302					
Масса, кг	30					

* - Под однофазным питанием следует понимать возможные случаи обрыва фазы или несимметричного КЗ трехфазной сети, питающей блок.

** - 1500 Вт при напряжении на выходе не менее $0,85U_{ном}$ и 2500 Вт при напряжении на выходе не менее $0,7U_{ном}$.

Каждая фаза первичной обмотки промежуточного трансформатора блока БПН-1002 выполнена из двух секций, которые могут включаться последовательно или параллельно. При параллельном включении секций и соединении обмоток в треугольник номинальное напряжение блока 110-127 В; при последовательном включении секций оно равно 220 В при соединении обмоток в треугольник и 380-400 В при соединении в звезду. Выходное напряжение регулируется переключением ответвлений на вторичных обмотках.

Блок питания типа БПНС-2 предназначен для питания выпрямленным стабилизированным напряжением аппаратуры релейной защиты, сигнализации и управления, выполненной на номинальное напряжение 220 В и имеющей номинальную мощность до 2500 Вт кратковременно (в течение 1 с). Блок подключается к ТН или трансформаторам с. н. и обеспечивает надежное питание аппаратуры при всех видах несимметричных КЗ, а также при трехфазных КЗ, когда напряжение на входе блока не меньше 0,5 номинального. В основу работы блока положен принцип действия трехфазного магнитного усилителя с самонасыщением. Технические данные блоков БПНС-2 приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Технические данные блоков питания серии БПНС-2 [19]

Параметры	Значение
1	2
Номинальное напряжение, В:	
- входное	400, 230, 100
- выходное	220
Диапазон допустимого изменения входного напряжения при трехфазном питании в режиме х.х. и при номинальной нагрузке 40 Ом, % номинального напряжения	50-110
То же при однофазном питании*, % номинального напряжения, при соединении разделительного трансформатора по схеме:	
- Y/Y	70-110

1	2
- Δ/У	75-110
Диапазон изменения среднего значения выходного напряжения при трехфазном и однофазном питании в режиме х.х. и при номинальной нагрузке 40 Ом, % номинального напряжения	85-110
Выходная мощность блока, Вт:	
- длительная при напряжении 220 В	650
- в течение 30 мин	1200
- кратковременная в течение 1 с	1500, 2500**
Потребление на фазу, ВА, при холостом ходе	140
Габариты (высота, ширина, глубина), мм	1100×600×350
Масса, кг	150

Токовый блок БПТ-1002 необходим для надежного действия аппаратуры релейной защиты и электромагнитов отключения выключателей при близких трехфазных КЗ, сопровождающихся снижением напряжения ниже 0,5 номинального.

Блоки конденсаторов серии БК-400 предназначены для создания запаса энергии, используемой для приведения в действие отключающих электромагнитов приводов выключателей, реле защиты и т.п. Блоки выполняются из конденсаторов типа МБГП на 400 В, 20 мкФ, соединяемых параллельно для получения необходимой емкости, и кремниевых диодов типа Д-226Б. Технические данные блока конденсаторов приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Технические данные блоков конденсаторов серии БК-400 [19]

Тип	Емкость конденсатора, мкФ	Габариты, мм	Масса, кг
БК-401	40	185×145×180	2,5
БК-402	80	185×145×180	3,5
БК-403	200	185×143×180	8

Устройства питания комплектные типа УКП предназначены для питания выпрямленным током электромагнитов включения приводов выключателей с током нагрузки до 320 А.

Устройство состоит из сборочных единиц: УКП1 (ящик 1) - силовой выпрямитель с распределительным устройством выпрямленного тока и аппаратурой сигнализации; УКП2 (ящик 2) – индукционный накопитель. Возможна поставка устройств как в сборе, так и раздельная. Технические данные устройства УКП приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Технические данные устройства УКП [21]

Параметры	УКП-220	УКП-380	УКПК-380
1	2	3	4
Напряжение питающей сети трехфазное, В	220	380, 400, 415, 440 с заземленной нейтралью	380, 400, 415, 440 с заземленной нейтралью
Частота питающей сети, Гц	50; 60	50; 60	50; 60
Выпрямленное напряжение в режиме холостого хода	297	257, 270, 280, 297	257, 270, 280, 297
Номинальное выпрямленное напряжение нагрузки, В	230	230	230

1	2	3	4
Допустимые отклонения выпрямленного напряжения и напряжения питающей сети	10 %	10 %	10 %
Максимальный выпрямленный ток нагрузки, А, с выходом: - через накопитель - без накопителя	150 320	150 320	150 -
Диапазон регулирования тока на выходах, А: 150 320	55-150 150-320	55-150 150-320	55-150 -
Характер нагрузки	импульсный		
Длительность импульса нагрузки, с	1	1	1
Минимально допустимое время между импульсами, с	0,5	0,5	0,5
Количество импульсов в цикле (не более) при токе, А: 320 150 100	4 5 10	4 5 10	- 5 10
Время между циклами, мин	10	10	10
Габариты (ширина, глубина, высота), мм	800×400×1600		

Входящий в комплект устройства индуктивный накопитель энергии обеспечивает полное включение одного масляного выключателя с током потребления электромагнита включения до 150 А в режиме зависимого питания, когда при включении выключателя на КЗ исчезает переменное напряжение на входе устройства.

Устройства питания комплектные типа УКПК предназначены для питания выпрямленным током электромагнитов включения приводов выключателей с током потребления до 150 А. Технические данные УКПК приведены в табл. 2.6.

УКПК является модернизацией УКП, по сравнению с УКП в УКПК внесены следующие изменения:

- устройство выполнено в виде одного шкафа напольного исполнения, одностороннего обслуживания;
- уменьшено число отходящих линий выпрямленного тока 220 В с шести до двух с установкой автоматических выключателей типа АП-502 МТ с расцепителем 50 А, кратность отсечки 3,5;
- исключены токоограничивающие резисторы в цепи переменного тока (до выпрямителя), что допустимо при мощности трансформатора собственных нужд до 100 кВА;
- упрощена схема сигнализации.

2.3. Схемы распределения оперативного переменного и выпрямленного тока

Централизованные источники (ТН или трансформаторы с.н.) питают цепи управления, автоматики, релейной защиты и сигнализации. Для более надежной работы этих цепей необходимо осуществлять их питание от двух источников, один из которых находится в автома-

тическом резерве. Это значительно повышает надежность работы вторичных цепей, так как наиболее вероятный случай потери питания – обесточивание части схемы, а не полное исчезновение напряжения. Основное и резервное питание подается от одноименных источников: например, ТН может резервироваться другим трансформатором напряжения, но не трансформатором с. н., так как вторичные напряжения у них различны.

Трансформаторы с.н. используются преимущественно для питания силовых цепей при установке выключателей с электромагнитными приводами на постоянном токе, когда необходимо иметь мощное выпрямительное устройство. В других случаях можно применять трансформаторы напряжения. Так как трансформаторы с.н. всегда устанавливают на объекте, то в целях унификации схем их используют в качестве централизованного источника оперативного тока [1].

Примерная схема питания сети переменного оперативного тока от трансформатора с.н. показана на рис. 2.7.

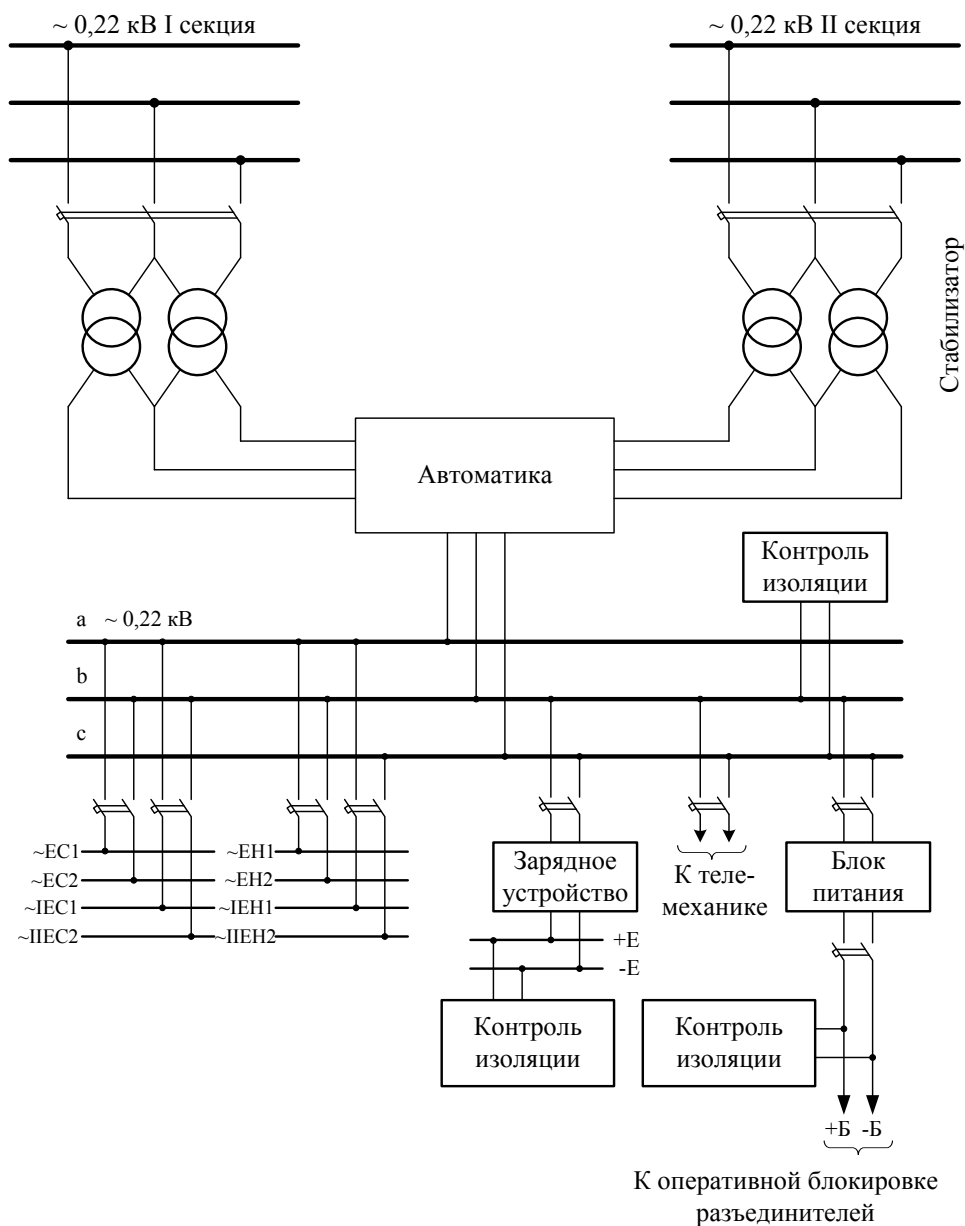


Рис. 2.7. Схема питания сети оперативного переменного тока

Щит с.н. подстанции состоит из двух секций, с которых напряжение подается на шинки оперативного переменного тока a, b, c , нормально питающиеся от одной секции собственных нужд. Резервирование питания оперативных шинок обеспечивается специальной автоматикой.

При небольших нагрузках в сети оперативного переменного тока схема резервирования упрощается и выполняется на промежуточных реле. На рис. 2.8 показана такая схема с двойным резервированием питания. Схема используется в сети оперативного переменного тока с.н. электростанций.

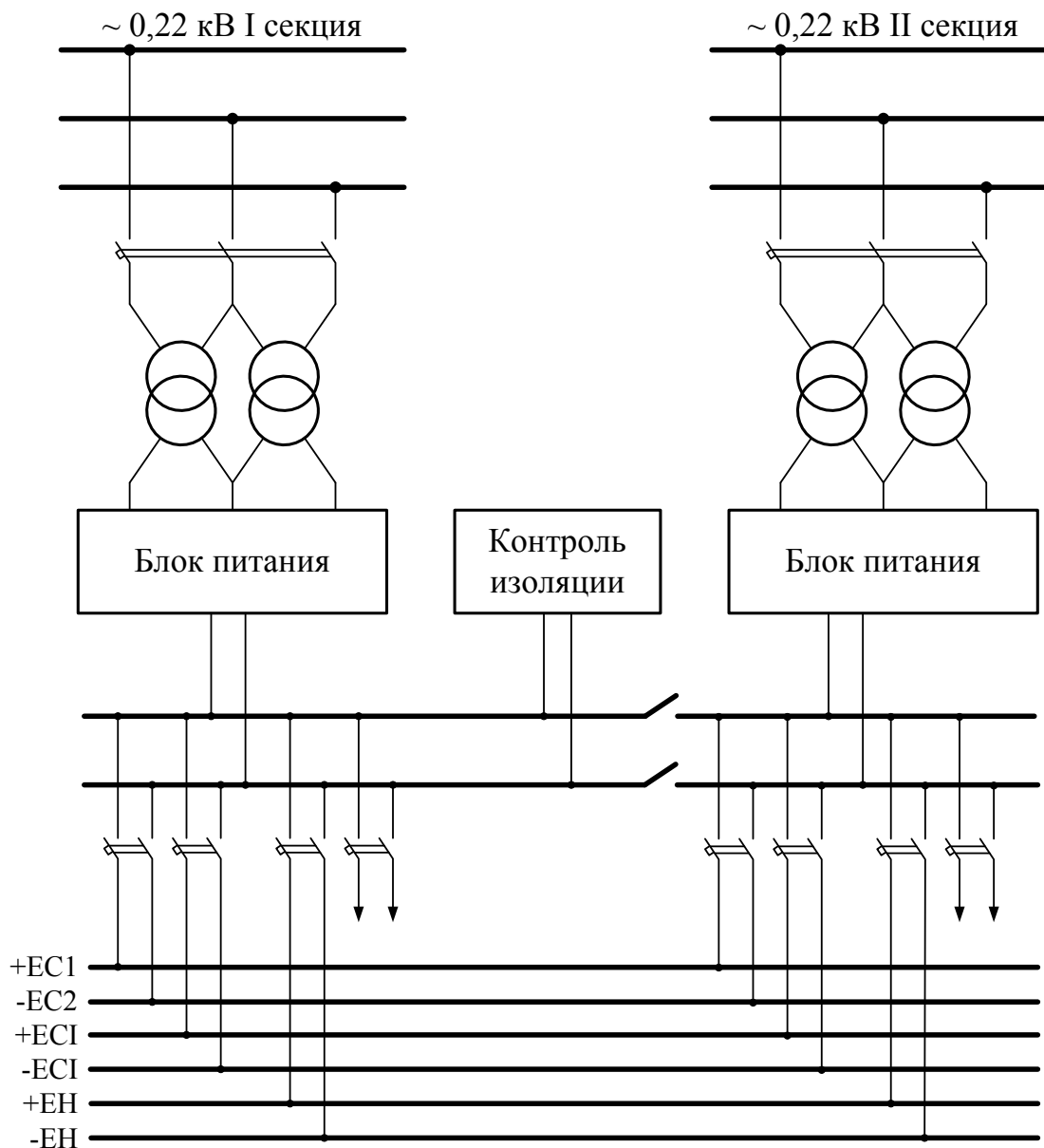


Рис. 2.8. Схема питания шинок оперативного переменного тока с двойным резервом

Напряжение сети оперативного переменного тока, как правило, составляет 0,22 кВ. В отдельных устройствах используется выпрямительное напряжение 0,024 кВ, создаваемое с помощью индивидуальных блоков питания, резервируемых обычно со стороны 0,22 кВ.

Создание на энергообъекте сети оперативного выпрямленного тока обеспечивается установкой блоков питания. Для резервирования такой сети устанавливают два блока питания, постоянно подключенных к щиту с.н. (рис. 2.9).

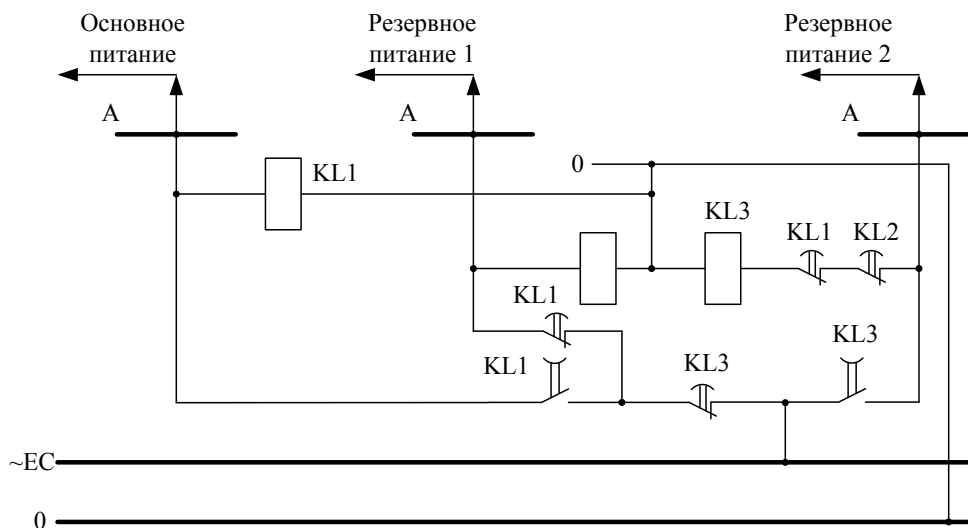


Рис. 2.9. Схема питания выпрямленным оперативным током от блоков питания

Аналогичная схема сети силового выпрямленного тока предусматривается для электромагнитного включения; в этой схеме применены силовые полупроводниковые выпрямители (рис. 10). Два выпрямителя устанавливают для обеспечения надежного питания выпрямленным током при исчезновении напряжения на одной из секций щита с.н.

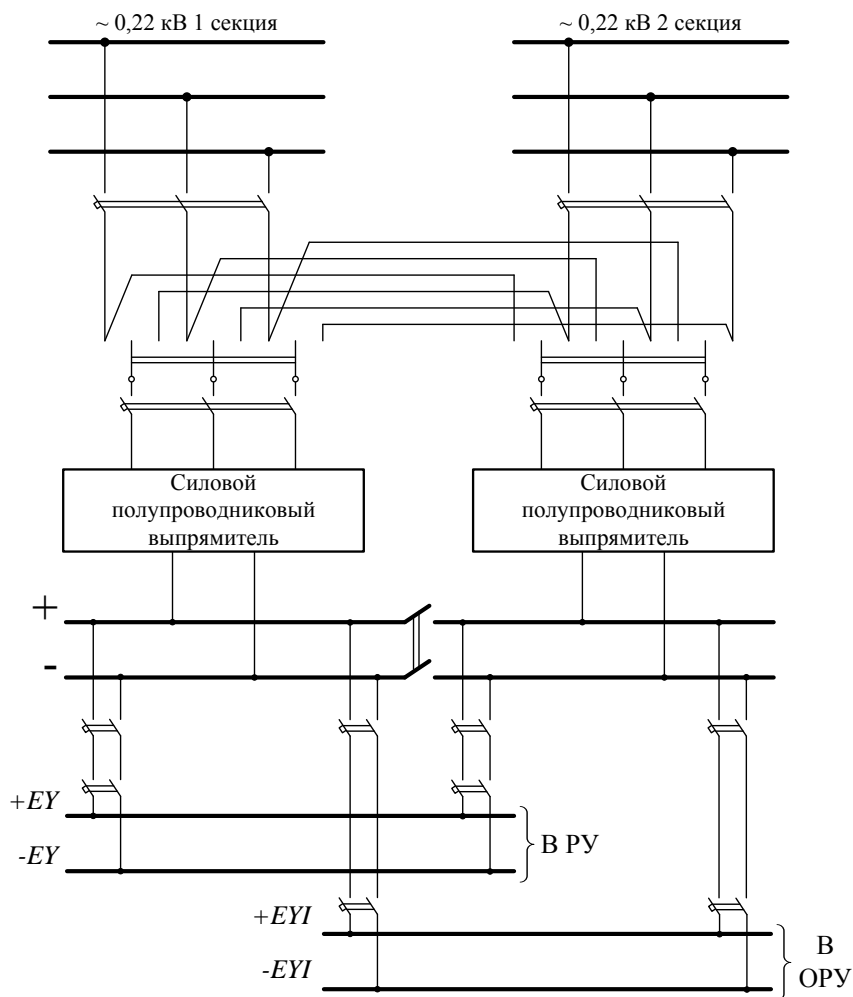


Рис. 2.10 Схема питания силовым выпрямленным током для электромагнитов включения

2.4. Выбор и проверка блоков питания

Блок питания выбирают по максимальной мощности (минимальному сопротивлению) нагрузки, необходимой для надежной работы реле и электромагнитов отключения. Номинальное выходное напряжение рекомендуется 220 В, так как на это напряжение в основном рассчитаны применяемые типовые схемы управления, защиты и сигнализации.

Минимальное напряжение на выходе блока при нагрузке должно быть не ниже 80% номинального, и лишь в редких случаях (например, при работе АЧР) может быть допущено снижение напряжения до 70-75%.

На подстанциях, оборудованных устройствами АЧР, должны применяться стабилизированные блоки напряжения в связи с возможностью отказа в отключении при одновременном понижении частоты и напряжения.

Дальнейший выбор сводится к определению вторичных тока и напряжения надежной работы и проверке обеспеченности питания оперативных цепей в любых возможных режимах работы подстанции и питающей энергосистемы.

Ток надежной работы - это ток, подаваемый на токовый блок, при котором выходное напряжение при данной нагрузке равно минимально допустимому.

Напряжение надежной работы - это напряжение, подаваемое на блок, при котором выходное напряжение при данной нагрузке равно минимально допустимому.

Выбор числа витков первичной обмотки блока типа БПЗ-402 производится следующим образом: вольт-амперная характеристика трансформатора тока (снятая экспериментально, взятая из паспортных данных или построенная расчетным путем) сравнивается с семейством вольт-амперных характеристик ненагруженного блока, снятых с первичной стороны. Число витков первичной обмотки трансформатора блока выбирается таким образом, чтобы вольт-амперная характеристика трансформатора тока проходила выше вольтамперной характеристики блока при токах более 5 А.

Определение первичного тока надежной работы блоков БПТ-1002 производится в следующем порядке:

1. Вольт-амперная характеристика ТТ сравнивается с семейством вольт-амперных характеристик блоков при холостом ходе. Выбирается число витков блока таким образом, чтобы вольт-амперная характеристика (ВАХ) ТТ проходила выше ВАХ блока при токах более 5 А.

Рекомендуемое число витков для некоторых типов наиболее часто используемых трансформаторов тока приведено в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Рекомендуемые числа витков первичной обмотки насыщающегося трансформатора блока БПТ-1002 [19]

Тип трансформатора тока	Коэффициент трансформации	Число витков
1	2	3
ТВТ-35М	150/5; 200/5	50
	300/5	100
	400/5	125
	Остальные	200
ТВТ-35/10	600/5	50
	750/5	75
	1000/5	100
	1500/5	150

1	2	3
ТВТ-110 (варианты исполнения 300 и 600 А)	100/5	50
	150/5	75
	200/5	100
	300/5	175
	400/5; 600/5	200
ТВТ-110 (варианты исполнения 1000 и 2000 А)	400/5	150
	Остальные	200
ТВТ-220	200/5	125
	Остальные	200
ТВДМ-35-1	200/5	50
	300/5	75
	400/5	100
	600/5	125
ТВ-35/10, ТВ-35/25	200/5; 300/5	50
	400/5	75
	600/5	125
ТВС-35/6,3	150/5; 200/5	50
	300/5	75
	400/5	100
ТВ-110/20, ТВ-110/50 (варианты исполнения 200, 300, 600, 1000 А)	150/5; 200/5	100
	300/5	175
	Остальные	200
ТВ-220/25 (варианты исполнения 600, 1000, 2000 А)	200/5	100
	300/5	150
	Остальные	200
ТВС-220/40	Остальные	200
ТПОЛ-10 (обмотка класса Р)	600/5; 1000/5	50
	800/5; 1500/5	75
ТПЛ-10 (обмотка класса Р)	400/5	50
	Остальные	75
ТВЛМ-10 (обмотка класса Р)	600/5; 1000/5	75
	800/5	100
	1500/5	125
ТПЛМ-10, ТПЛМУ-10 (обмотка класса Р)	300/5	50
	400/5	75
ТЛМ-10 (обмотка класса Р)	300/5	75
	800/5; 1000/5	100
	1500/5	125
ТФНД-35М, обмотка класса: Р 0,5 Р 0,5	15-600/5	200
		100
	Остальные	200
		100
ТФНД-110М, обмотка класса: Р (0,5) Р 0,5	50-600/5	200 (50)
	400-800/5	200
		75
ТПШЛ-10 (обмотка класса Р)	2000/5-5000/5	200

Выбранное число витков проверяется по уровню перенапряжений при максимальной кратности первичного тока таким образом, чтобы МДС не превышала 24750 ампер-витков:

$$F_{\text{расч}} = 5 \cdot m_{\text{MAX}} k_{\text{сх.бл.}} w_{1,k} \leq 24750; \quad (2.3)$$

$$m_{\text{MAX}} = \frac{I_{\text{MAX}}}{I_{1\text{ном}}}, \quad (2.4)$$

где m_{MAX} – максимальная расчетная кратность первичного тока;

I_{MAX} – максимальный расчетный ток, А, при котором ток в блоке максимально возможный;

$I_{1\text{ном}}$ – номинальный первичный ток трансформатора тока, А;

$k_{\text{сх.бл.}}$ – коэффициент схемы, равный 1 или при включении блока на фазный ток или на разность фазных токов соответственно.

Если условие (2.3) не выполняется, необходимо уменьшить число витков таким образом, чтобы это условие было выполнено.

2. По кривым определяется МДС надежной работы (ампер-витки). Вторичный ток надежной работы определяется по выражению:

$$i_{\text{нр}} = A \frac{w_{\text{нр}}}{w_{1\text{бл}}}. \quad (2.5)$$

3. Определяется первичный ток надежной работы, А, умножением вторичного тока надежной работы на коэффициент трансформации трансформатора тока n_{T} :

$$I_{\text{нр}} = i_{\text{нр}} \cdot n_{\text{T}}. \quad (2.6)$$

Если блок включается на трансформаторы тока, соединенные по схеме разности фазных токов, то вольт-амперная характеристика трансформаторов тока при тех же значениях напряжения будет иметь вдвое большие значения токов, а первичный фазный ток, А, надежной работы определяется по выражению:

$$I_{\text{нр}} = \frac{i_{\text{нр}} \cdot n_{\text{T}}}{\sqrt{3}}. \quad (2.7)$$

Полученный расчетный ток надежной работы должен быть с запасом меньше минимального тока при трехфазном КЗ в той точке сети, при повреждении в которой остаточное напряжение в месте подключения блока напряжения равно напряжению надежной работы.

Следует иметь в виду, что при необходимости снижение тока надежной работы может быть достигнуто за счет последовательного соединения двух вторичных обмоток трансформаторов тока.

Напряжение надежной работы блоков напряжения определяется в зависимости от сопротивления нагрузки и допустимого выходного напряжения по кривым. Выходное напря-

жение при длительной нагрузке не должно превышать максимально допустимого напряжения на реле и аппаратах.

При питании оперативных цепей от комбинированного блока (токовый блок БПТ-1002 и блок напряжения БПНС-2) минимально допустимая кратность первичного тока надежной работы m_{\min} может быть определена по кривым в зависимости от коэффициента схемы включения токового блока, выбранного числа витков и нагрузки.

Надежность питания оперативных цепей обеспечивается, если соблюдено условие:

$$m_{\text{расч. min}} \geq m_{\min} \quad (2.8)$$

$$x_{\text{расч. min}} = \frac{I_{\min}}{I_{1\text{ном}}}, \quad (2.9)$$

где $m_{\text{расч. min}}$ - расчетная кратность трехфазного КЗ в расчетной точке в режиме работы системы, когда ток I_{\min} в токовом блоке максимально возможный. Расчетной является точка сети, в которой установлен блок напряжения.

На подстанциях без выключателей на стороне высшего напряжения и при наличии на этой стороне трансформаторов напряжения, а питание оперативных цепей может осуществляться только от блоков напряжения БПНС-2, если соблюдено условие:

$$x_{\text{с. min}} \leq 0,9 \cdot x_{\Gamma \text{ min}}, \quad (2.10)$$

где $x_{\text{с. min}}$ - сопротивление прямой последовательности питающей системы в минимальном режиме ее работы;

$x_{\Gamma \text{ min}}$ - сопротивление рассеяния трансформатора при крайнем минусовом положении регулятора напряжения.

Возможность такого питания определяется высокими остаточными напряжениями на стороне высшего напряжения трансформаторов при КЗ на стороне среднего или низшего напряжения, включением защит трансформатора на встроенные трансформаторы тока и возможностью неучета трехфазных КЗ на стороне высшего напряжения в баке трансформатора (в масле), что подтверждено опытом эксплуатации.

Расчет в этом случае сводится к определению нагрузки на блок напряжения, которая не должна превышать значений, приведенных в табл. 2.6, как в нормальном режиме, так и в аварийных режимах при действии защит и автоматики (АЧР и т.п.).

2.5. Выбор конденсаторов

Необходимая для отключения привода энергия заряда конденсатора, Вт·с:

$$E = \frac{1,25 \cdot U_{\text{ном}}^2 \cdot t}{R}, \quad (2.11)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение отключающего электромагнита, В;

R - сопротивление катушки отключающего электромагнита, Ом;

t - время отключения привода, с.

Необходимая емкость конденсатора, мкФ:

$$C = \frac{2 \cdot E \cdot 10^6}{U}, \quad (2.12)$$

где U - напряжение на конденсаторе, В (при заряде от блока БПЗ-401 принимается равным 320 В).

Рекомендуемые емкости конденсаторов для приводов разных типов приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Емкости конденсаторов для цепей отключения приводов

Тип привода	Характеристика отключающего электромагнита	Емкость, мкФ	Рекомендуемый тип блока конденсаторов
ПП-67, ПП-70, ШПКМ, ШПОМ, встроенный в выключатель ВПММ-10, ПЭ-11	220 В, 1-1,25 А	80	БК-402
ПЭ-3, ПС-31, ШПЭ-33, ШПЭ-44-1, ПЭВ-12, ПЭ-21	220 В, 2,5-5 А	200	БК-403
Пружинный привод выключателя ВМТ-110Б	220 В, 6 А	200	БК-403

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены вопросы проектирования систем оперативного тока электрических станций, понизительных и распределительных подстанций на основе действующих методик.

Учебное пособие способствует приобретению студентами навыков практической деятельности в области создания новых объектов электроэнергетики при проектировании вторичных цепей электроустановок и связано с материалом смежных дисциплин «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», «Проектирование систем электроснабжения», «Электроснабжение», а также вопросами, рассматриваемыми в рамках производственной практики.

Особое внимание уделено вопросам выбора источников постоянного, переменного и выпрямленного оперативного тока, схем распределения оперативного тока, расчета токов короткого замыкания в системах оперативного постоянного тока, выбора и проверки аппаратов защиты и токоведущих частей, разработки компоновочных решений аккумуляторных помещений. Рассмотрены также схемы и принцип действия источников питания систем оперативного тока.

Все основные разделы сопровождаются справочной информацией.

Выбор источников оперативного тока, а также зарядно-подзарядных агрегатов, осуществляется на основе информации об оборудовании первичных цепей распределительных устройств и технологическом оборудовании электростанций с учетом максимальной нагрузки в аварийном режиме работы энергообъекта. Рассмотрены основные решения при построении схем аккумуляторных батарей, щитов оперативного тока, схем распределения оперативного тока по территории электроустановки. Методика расчета токов короткого замыкания включает в себя учет таких факторов, как разряд аккумуляторной батареи и тепловой спад тока короткого замыкания. Выбор автоматических выключателей и предохранителей учитывает, наряду с отключающей способностью, соблюдение требований селективности.

Все рассмотренные в пособии вопросы входят в тематику выпускных квалификационных работ и затрагиваются практически во всех видах практической деятельности выпускников-бакалавров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев, А. А. Электрическая часть станций и подстанций : Учебник для вузов [Текст] / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова. и др.; под ред. А.А. Васильева — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 576 с.
2. Гук, Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. — 312 с.
3. Гусев, Ю.П. Аккумуляторные батареи для систем оперативного постоянного тока подстанций ЕНЭС [Текст] / Ю.П. Гусев // Энергоэксперт. — 2009. — №4. — С. 86-91.
4. Жуков, В.В. Короткие замыкания в электроустановках постоянного тока [Текст] / В.В. Жуков. - 2-е изд., стереотип. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 160 с.
5. Клапанно-регулируемые необслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторные батареи. Технология AGM. Серия SP и FLB. Техническое руководство [Текст] : техническая информация : разработчик и изготовитель FIAMM. — М., 2006. — 28 с.
6. Макаров, Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей [Текст]: учебник для нач. проф. образования / Е.Ф.Макаров. — М. : ИРПО: Академия; 2003. — 448 с.
7. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ [Текст] В 7 т. Т. 7. / Е. Ф. Макаров. — М.: ИД "ЭНЕРГИЯ", 2007. — 640 с.
8. Малообслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторы с жидким электролитом Classic [Текст] : техническая информация : разработчик и изготовитель Exide Technologies. — М., 2012. — 16 с.
9. Правила устройства электроустановок [Текст] : Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 9-й выпуск. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. — 854 с.
10. Промышленное применение аккумуляторных батарей. От автомобилей до авиакосмической промышленности и накопителей энергии / Под ред. М. Бруссили, Дж. Пистойя. — М.: Техносфера, 2011. — 784 с.
11. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций : Учебник для сред. проф. образования [Текст] / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 448 с.
12. Славнин, В.И. Электрические станции и трансформаторные подстанции [Текст] / В.И. Славнин. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 552 с.
13. СТО 56947007-29.120.40.041-2010. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования [Электронный ресурс]. — Введ. 2010-03-29. — Режим доступа: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.120.40.041-2010.pdf>, свободный. — Загл. с экрана.
14. Усов, С. В. Электрическая часть электростанций : Учебник для вузов [Текст] / С.В. Усов, Б.Н. Михалев, А.К. Черновец, Е.Н. Кизеветтер, В.В. Кантан; под ред. С.В. Усова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. — 616 с.
15. Устинов, П.И. Стационарные аккумуляторные установки [Текст] / П.И. Устинов. — М.: "Энергия", 1970. — 312 с.
16. Эксплуатационная документация. Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи Classic: OPzS, GroE, OGi, OCSM [Текст] : техническая информация : разработчик и изготовитель Exide Technologies. — М., 2012. — 24 с.
17. Электротехнический справочник [Текст] В 4 т. Т.3. Производство и передача электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). — 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2002. - 964 с.
18. Электротехнический справочник [Текст]. В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. В.Г. Герасимова. — М. : Издательский дом МЭИ, 2009. — 964 с.

19. Cheaz.ru : Официальный сайт ГК «ЧЭАЗ» [Электронный ресурс]. – Чебоксары – Режим доступа: <http://www.cheaz.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
20. Coslight.org : Официальный сайт компании Coslight Technology International Group Limited [Электронный ресурс]. – Новосибирск. – Режим доступа: <http://www.coslight.org>, свободный. – Загл. с экрана.
21. Zavod-nva.com : Официальный сайт ООО «Завод НВА» [Электронный ресурс]. – Рассказово – Режим доступа: <http://zavod-nva.com>, свободный. – Загл. с экрана.

Учебное текстовое электронное издание

**Панова Евгения Александровна
Варганова Александра Владимировна
Малафеев Алексей Вячеславович**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

Учебное пособие

1,36 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2017 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра электроснабжения промышленных предприятий
Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru