

Гидроэлектростанции.
Системы оперативного постоянного тока.
Технические требования, типовые технические решения.
(Дополнение)

Содержание

2. Стационарные аккумуляторные батареи.	7
3. Варианты исполнения стационарных аккумуляторных батарей.	8
4. Конструктивное исполнение стационарных аккумуляторов.	9
4.1 Аккумуляторы с положительными пластинами поверхностного типа (тип GroE).	9
4.2 Аккумуляторы с намазными положительными электродами (тип OGi).	12
4.3 Аккумуляторы с панцирными положительными электродами (тип OPzS).	14
4.4 Герметизированные стационарные свинцовые аккумуляторы.	17
4.5 Блочное исполнение стационарных аккумуляторов.	20
5. Технические характеристики аккумуляторов.	20
5.1 Емкость.	20
5.2 Внутреннее сопротивление.	25
6. Определение технических характеристик элементов системы постоянного тока.	31
6.1 Определение фактической разрядной ёмкости аккумуляторных батарей.	31
6.2 Определение внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей.	39
7. Выбор аккумуляторной батареи.	44
8. Стабилизаторы напряжения.	49
9. Зарядные и подзарядные устройства.	54
10. DC-DC преобразователи напряжения.	62
11. Распределительные щиты и шкафы системы оперативного постоянного тока.	64
12. Принципы построения и требования к схемам СОПТ.	68
13. Расчет токов коротких замыканий в цепях постоянного тока.	86
13.1 Расчет тока металлического КЗ.	86
13.2 Расчет токов дугового КЗ.	94
14. Выбор защитных и коммутационных аппаратов.	104
14.1 Требования к защитным и коммутационным аппаратам.	104
14.2 Выбор силовых и контрольных кабелей.	106
15. Требования к вентиляции и отоплению.	108
Список литературы.	110

1. Состав и режимы работы системы оперативного постоянного тока.

Система оперативного постоянного тока (СОПТ) — это совокупность источников питания, коммутационных и защитных электрических аппаратов, электрических цепей и потребителей постоянного тока. Основной задачей СОПТ является обеспечение надежного питания потребителей постоянного тока как в нормальном режиме, так и при аварийном исчезновении переменного напряжения в системах собственных нужд (СН) переменного тока.

Нагрузки системы постоянного тока могут быть отнесены к трём видам:

- постоянная — соответствует току, потребляемому в нормальном режиме работы и остающаяся неизменной в течение режима аварийного исчезновения переменного напряжения в системе СН;
- временная — соответствует току, потребляемому при аварийном исчезновении переменного напряжения в системе СН станции и характеризует установившийся режим аварийного разряда;
- толчковая — кратковременная нагрузка продолжительностью не более 5 с характеризующая переходных режим аварийного разряда.

Классификация потребителей постоянного тока по характеру нагрузки приведена в таблице 1.

Табл.1. Классификация потребителей постоянного тока.

Постоянная нагрузка	Временная нагрузка	Толчковая нагрузка
Устройства управления, сигнализации, релейной защиты и логической блокировки Устройства противоаварийной автоматики и автоматизированных систем управления Постоянно горящие лампы аварийного освещения Устройства связи обеспечивающие передачу сигналов РЗА и ПА	Инверторы резервного питания АСУ ТП, САУ ГА Начальное возбуждение гидрогенераторов Аварийное освещение	Включение и отключение приводов выключателей Срабатывание устройств РЗА и ПА.

Возможны следующие режимы работы СОПТ:

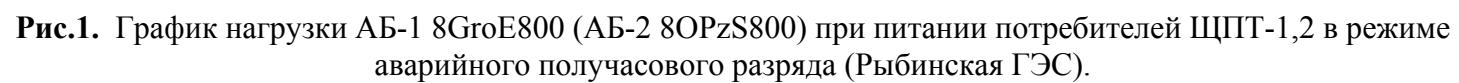
- нормальный режим — режим обеспечения питания потребителей СОПТ при нормальном режиме работы системы СН переменного тока станции и исправности зарядно-подзарядных устройств и цепей их питания. Аккумуляторная батарея работает в режиме постоянного подзаряда;
- аварийный режим — режим возникающий при нарушении нормального режима работы всей или части СОПТ, связанный с повреждением оборудования СОПТ, ухудшением качества электроснабжения или перерывом электроснабжения потребителей СОПТ;
- режим аварийного разряда — режим обеспечения питания потребителей СОПТ при аварийном исчезновении переменного напряжения в системе СН переменного тока станции. Режим аварийного разряда является расчетным при обосновании конфигурации системы и выбора технических характеристик оборудования СОПТ.

Источники питания СОПТ должны обеспечивать надежное питание потребителей с обеспечением требуемого уровня напряжения в режиме аварийного разряда при исчезновении переменного напряжения в системе СН переменного тока на время не менее 30 минут с учетом питания от каждого из взаиморезервируемых источников.

В течение времени аварийного исчезновения переменного напряжения в установившемся режиме нагрузка равна сумме постоянной и временной нагрузок. Наиболее удобной формой анализа работы потребителей системы постоянного тока является построение графика нагрузок $I_{\text{расч}}=f(t)$ для режима аварийного исчезновения переменного напряжения в системе СН.

Примеры таких графиков приведены на рис. 1, 2.

Момент возникновения наибольшей толчковой нагрузки зависит от распределения моментов включения либо отключения приводов выключателей. При составлении графиков нагрузки аварийного разряда необходим анализ алгоритмов работы схем управления потребителей постоянного тока при аварийном исчезновении переменного напряжения в системе СН станции.



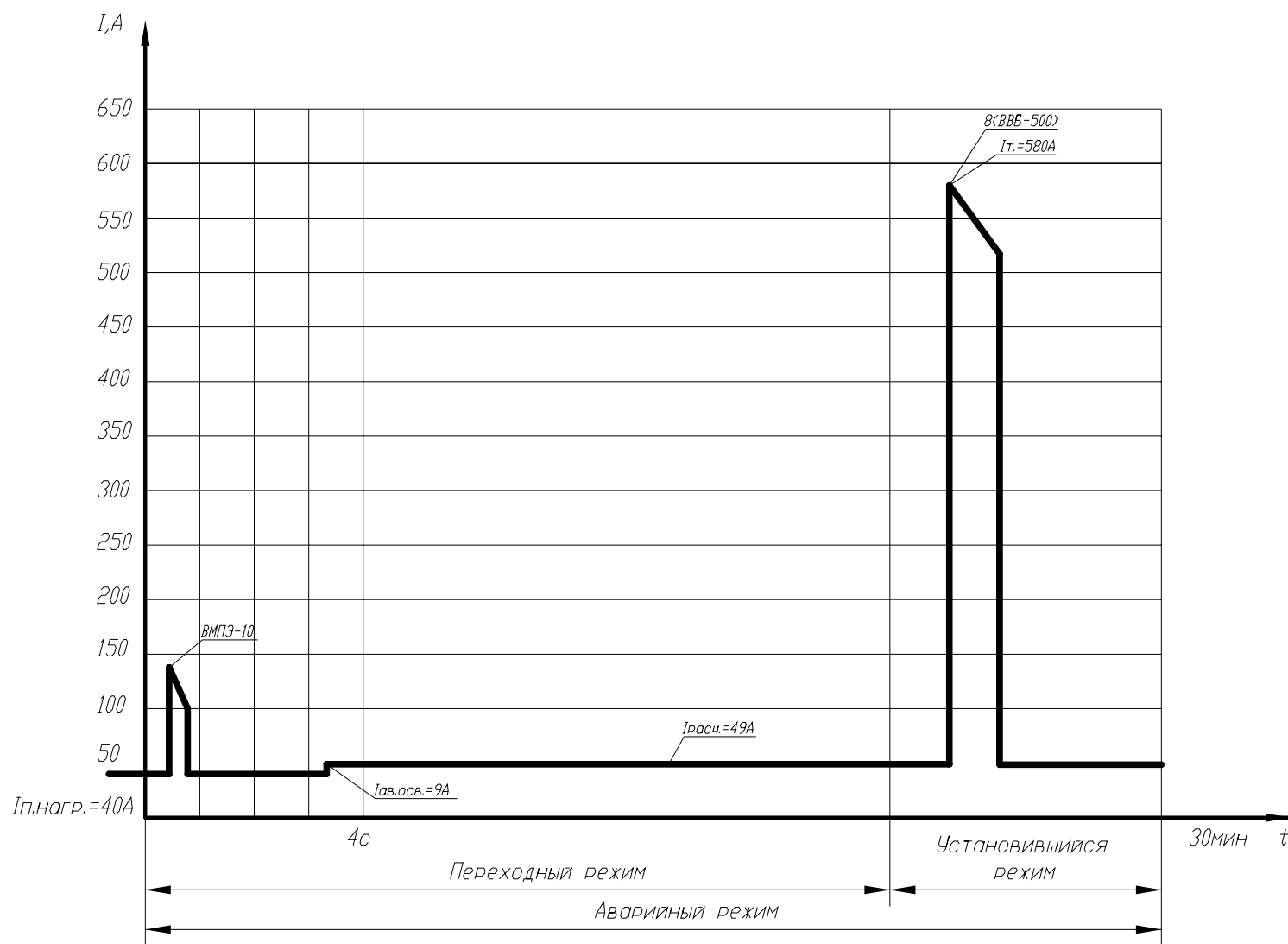


Рис. 2. График нагрузки АБ-3(4) при питании потребителей ЩПТ-3, 4 в режиме аварийного получасового заряда.
(Усть-Илимская ГЭС)

2. Стационарные аккумуляторные батареи.

Стационарные аккумуляторные батареи являются наиболее распространёнными химическими источниками постоянного тока в энергетике и промышленности.

К основным потребителям постоянного тока относятся системы управления, гарантированного питания, автоматики, связи, аварийное освещение, электродвигатели и электромагниты выключателей и т.п.

Под электрической батареей понимается соединение двух или более элементов способных преобразовывать химическую энергию в электрическую. Элементы аккумуляторной батареи относятся к так называемым элементам второго рода, так как преобразование химической энергии в электрическую в аккумуляторах происходит при помощи обратимых реакций.

Современные аккумуляторы – это результат исследований многих экспериментаторов, начиная с Вольта изобретшего гальванический элемент, но только Гастону Планте удалось разработать удачную конструкцию аккумулятора.

В результате работ по исследованию поглощаемости кислорода металлами ему удалось разработать аккумулятор, состоящий из двух листов свинца разделенных полосками резины и свернутый в спираль, погруженную в 10% раствор серной кислоты. Планте открыл так же способ увеличения ёмкости аккумулятора при помощи процесса формирования. Первая аккумуляторная батарея представленная им Французской Академии наук в 1860г была создана в 26 летнем возрасте и была исключительной для того времени по значению тока разряда. В последующие 20 лет аккумуляторы применялись в основном в лабораторных исследованиях вследствие дороговизны и недостаточного уровня развития электрических машин, необходимых для заряда. Начиная с 1900г., появляются компактные аккумуляторы получившие применение на железнодорожном транспорте, подводных лодках, электрокарах и в военной сфере.

Вторая мировая война дала мощный толчок развитию аккумуляторной промышленности и форсировала научные исследования в области создания новых типов аккумуляторов. Промышленность столкнулась с требованиями на аккумуляторы малого веса, малого объема и повышенной отдачи при низких температурах.

Одновременно с военными потребителями росли и потребности мирного характера. В результате роста уровня технологий и интенсивных научных исследований произошло дальнейшее улучшение качества аккумуляторных батарей.

3. Варианты исполнения стационарных аккумуляторных батарей.

Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторы могут быть разделены на три группы по способу соединения с внешней средой.

1-я группа – открытые аккумуляторы известные ещё с конца 19 века. Пластины устанавливаются в открытые баки (стеклянные, эбонитовые, деревянные со свинцовой «рубашкой») и свариваются между собой.

Такие аккумуляторы поставляют в разобранном виде со сборкой на месте эксплуатации. Эксплуатация батарей такой конструкции требует мощной приточно-вытяжной вентиляции и постоянного внимания со стороны обслуживающего персонала, наносят вред здоровью людей и окружающей среде и как следствие, сегодня никем не производятся.

К рассматриваемому типу аккумуляторов относятся отечественные аккумуляторы типа СК с положительными пластинами большой поверхности (типа «Планте») и коробчатыми отрицательными. Уменьшение выноса аэрозолей серной кислоты обеспечивается только за счёт отражательных стёкол.

2-я группа – открытые малообслуживаемые аккумуляторы характеризуются герметичным соединением бака с крышкой, а также герметичными уплотнениями токовыводов (борнов). Удаление газов из аккумуляторов осуществляется через вентиляционную пробку, которая может выполняться следующим образом:

- лабиринтная вентиляционная пробка, которая обеспечивает свободный выход газов; аэрозоли удерживаются за счёт лабиринтной конструкции и системы отражателей;
- вентиляционная пробка с аэрозольным фильтром на основе пористой керамики, практически полностью исключает вынос аэрозолей из аккумулятора;
- каталитическая пробка типа Agra Gen, обеспечивающая рекомбинацию газов, образующихся при работе аккумулятора и исключаящая необходимость периодической доливки дистиллированной воды.

3-я группа — герметизированные необслуживаемые аккумуляторы VRLA. За счет практически полной рекомбинации газов внутри аккумулятора, что достигается конструктивно и соблюдением режимов заряда, газовыделение при эксплуатации полностью исключено. Каждый аккумулятор имеет клапан, который устанавливается в заливочное отверстие. К этой группе аккумуляторов относятся две технологии: технология dryfit с загущенным представляющим желеобразную массу электролитом и технология AGM с электролитом, абсорбированным в сепараторе из стекловолокна.

4. Конструктивное исполнение стационарных аккумуляторов.

Стационарные аккумуляторы выпускаются в виде отдельных элементов с напряжением 2В и в блочном исполнении в составе 2, 3 или 6 аккумуляторов в блоке напряжением 4, 6 или 12В. Эксплуатационные характеристики — ёмкость, диапазон допустимых токов и срок службы в значительной степени определяются их конструкцией и прежде всего конструкцией положительного электрода.

Большинство европейских стран производят аккумуляторы, которые удовлетворяют требованиям стандарта МЭК и стандарта DIN. Название аккумулятора часто соответствует конструкции положительных пластин.

Аккумуляторы GroE — аккумуляторы с положительными электродами поверхностного типа («Планте»).

Аккумуляторы OPzS — аккумуляторы с панцирными положительными электродами.

Некоторые производители присваивают однотипным изделиям и другие обозначения учитывающие особенности конструкции. Например, аккумуляторы с панцирными электродами фирмы Oldham выпускаются и с обозначением OPzS, и с обозначением LTS — ZTC — аккумуляторы с использованием кальциевого сплава для положительных электродов, и HLT–HZT — с электролитом повышенной концентрации. Аккумуляторы с положительным электродом типа «Планте» Курского аккумуляторного завода имеет обозначение — СК (открытого типа) и БП — для закрытого малообслуживаемого исполнения.

4.1 Аккумуляторы с положительными пластинами поверхностного типа (тип GroE).

Существенное отличие пластины большой поверхности от пастированной пластины состоит в том, что активные материалы на пластинах большой поверхности образуются из материала самой пластины путём окисления поверхности свинца или восстановления окисленного материала до губчатого свинца.

Пластины большой поверхности изготавливаются из чистого свинца и имеют развитую поверхность. Действительная поверхность такой пластины в 10 раз превосходит кажущуюся. Кроме того, это самая толстая пластина — её толщина — 10мм. Аккумуляторы GroE являются единственным типом аккумуляторов, которые при длительной эксплуатации не только не ухудшают свои основные электрические характеристики, но напротив, имеют тенденцию постепенного увеличения фактической разрядной ёмкости, что подтверждается результатами натурных испытаний. Так батарея СК-10 ёмкостью 360 А/час имеющая положительные пластины большой поверхности и введенная в эксплуата-

цию в 1961г на Братской ГЭС показала при проведении контрольного разряда в 2007г фактическую ёмкость 100% несмотря на внешне плохое техническое состояние.

Благодаря большой поверхности пластин и массивному токоотводу эти аккумуляторы имеют самое малое внутреннее сопротивление и самую большую нагрузочную способность, что очень важно при работе со значительными толчковыми нагрузками.

Удельные электрические характеристики аккумуляторов с пластинами поверхностного типа довольно низкие, т.к. в положительном электроде содержится запас свинца, который по конструктивным соображениям закладывается в пластины поверхностного типа. Этот запас обеспечивает срок службы аккумуляторов типа GroE до 25 лет и более, но при ограниченном количестве заряд-разрядных циклов (200–300 циклов). Основные массогабаритные и электрические характеристики аккумуляторов GroE (на примере аккумуляторов фирмы Exide) приведены в табл.2.

Табл. 2. Фирма Exide Technologies. Стационарные аккумуляторы с положительными пластинами Планте (тип GroE).

№ п/п	Наименование аккумулятора	Ёмкость одной пла- стины, А·ч	Кол-во (+) пластин у акк-ов одно- го типораз- мера	Ёмкость аккумуля- тора, А·ч	Габариты аккумулятора, мм			Удельная ёмкость 10-ти ча- сового разряда, А·ч/кг	Масса акк-ра с электролитом, кг	Масса элект- ролита, кг
					ширина	длина	высота			
1	3 GroE-75 7 GroE-175	25	3-7	75-175	182	153	388	4,29-6,65	17,5-26,3	6,6-5,8
2	8 GroE-200 12 GroE-300	25	8-12	200-300	182	228	388	6,02-7,14	33,2-42,0	9,4-8,6
3	13 GroE-325 18 GroE-450	25	13-18	325-450	182	338	388	6,19-7,09	52,5-63,5	14,1-12,7
4	5 GroE-500 11 GroE-1100	100	5-11	500-1100	328	268	567	5,26-7,38	95-149	34-28
5	12 GroE-1200 15 GroE-1500	100	12-15	1200-1500	328	348	567	7,06-7,61	170-197	39-36
6	16 GroE-1600 20 GroE-2000	100	16-20	1600-2000	328	438	567	7,20-7,75	222-258	49-45
7	21 GroE-2100 24 GroE-2400	100	21-24	2100-2400	328	528	567	7,37-7,69	285-312	58-55
8	25 GroE-2500 26 GroE-2600	100	25-26	2500-2600	328	573	567	7,69-7,78	325-334	60-59

4.2 Аккумуляторы с намазными положительными электродами (тип OGi).

Пластины, выпускаемые по технологии OGi известны с конца 19 века. В 1881г был запатентован процесс пастирования поверхности пластин соединениями свинца, которые формировались в активную массу, наносимую на гладкие свинцовые пластины.

Ёмкость полученного аккумулятора превосходила ёмкость аккумуляторов Планте, однако сцепляемость активного материала с пластиной была очень слабой. Проблемы удержания активной массы на поверхности пластины была решена после разработки решетчатой конструкции пластины препятствующей сползанию активной массы.

В настоящее время, благодаря совершенствованию производства и разработке новых материалов аккумуляторы с намазными пластинами получили достаточно широкое распространение в промышленности и энергетике, что объясняется высокими разрядными характеристиками, малым внутренним сопротивлением в сочетании с относительно невысокой ценой.

Главным недостатком батарей этого типа является малый (в среднем 10 лет) срок службы. Основные массогабаритные и электрические характеристики аккумуляторов типа OGi (на примере аккумуляторов фирмы Exide) приведены в табл. 3.

Табл. 3 Фирма Exide Technologies. Аккумуляторы с намазными положительными пластинами (тип OGi).

№ п/п	Наименование аккумулятора	Ёмкость одной пла- стины, А·ч	Кол-во (+) пластин у акк-ов одного типоразмера	Ёмкость аккумуля- тора, А·ч	Габариты аккумулятора, мм			Удельная ём- кость 10-ти ча- сового разряда, А·ч/кг	Масса акк-ра с электролитом, кг
					ширина	длина	высота		
1	GP 3 LA	33,3	3	100	221	72	352	10,6	9,4
2	GP 5 LA	33,0	5	165	221	72	352	14,2	11,6
3	GP 7 LA	32,1	7	225	221	87	352	15,0	15,0
4	GP 9 LA	32,2	9	290	221	133	352	14,1	20,5
5	GP 10 LA	32,0	10	320	221	133	352	15,0	21,3
6	GP 12 LA	31,3	12	375	221	133	352	16,0	23,4
7	GP 14 LA	32,1	14	450	221	164	367,5	16,1	27,9
8	GP 16 LA	31,6	16	505	221	164	367,5	16,8	30,0
9	GP 18 LA	31,9	18	575	228	215	367,5	15,6	36,8
10	GP 20 LA	31,8	20	635	228	215	367,5	16,3	38,9
11	GP 22 LA	31,4	22	690	221	250	399	15,4	44,9
12	GP 24 LA	31,3	24	750	221	250	399	16,0	46,9

4.3 Аккумуляторы с панцирными положительными электродами (тип OPzS).

Стремление создать аккумулятор, в котором объединились бы высокие удельные показатели пастированных аккумуляторов и продолжительный срок возможной эксплуатации характерный для пластин большой поверхности привели к созданию аккумуляторов с панцирными положительными электродами.

Прототип аккумуляторов типа OPzS известен ещё с 1910г, а в современном виде (с сумкой из стекловолокна) — с 1950г. Главным отличительным признаком батарей типа OPzS является конструкция их положительного электрода. Основой 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 трубка заполняется активным веществом образующим рабочую активную массу пластины. Трубчатый защитный чехол надёжно удерживает активный материал, препятствуя его оплыванию и осыпанию на протяжении всего срока эксплуатации. Благодаря применению защитных чехлов срок службы аккумуляторов типа OPzS больше чем у аккумуляторов типа OGi и составляет 18 лет.

Аккумуляторы OPzS предназначены для работы в режиме постоянного подзаряда, однако устойчиво работают и в циклическом режиме допуская до 1200 циклов заряд-разряд. Однако внутреннее сопротивление аккумулятора OPzS примерно в 1,5 раза выше, чем у аккумуляторов типа GrOE и OGi. Разрядный ток аккумулятора типа OPzS ниже разрядного тока аккумулятора типа GrOE примерно в 1,4 раза, а аккумулятора OGi в 1,25 раза, что ограничивает область применения аккумуляторов этого типа. Особым представителем аккумуляторов с намазными положительными пластинами являются аккумуляторы Vb фирмы «Varta». Особенностью конструкции положительных токоотводов этой батареи являются утопленные в активную массу вертикальные токоотводящие элементы — стержни круглого сечения из свинцовосурьмянистого сплава с содержанием сурьмы 1,6% легированного селеном. На положительные пластины надевается конверт из стекловолокна препятствующий оплыванию активной массы.

Благодаря увеличенному сечению токоотводов, внутреннее сопротивление этих батарей приближено к значению внутреннего сопротивления аккумуляторов с пластинами большей поверхности, что позволяет обеспечивать режим толчковой нагрузки. Срок возможной эксплуатации этих батарей такой же, как и у батарей OPzS, однако стоимость батареи типа Vb приближается к стоимости батареи с пластинами большей поверхности. Основные массогабаритные и электрические характеристики аккумуляторов типа OPzS приведены в таблице 4, а аналогичные параметры аккумуляторов Vb — в таблице 5.

Табл. 4. Фирма Exide Technologies. Аккумуляторы с панцирными положительными пластинами (тип OPzS).

№ п/п	Наименование аккумулятора	Ёмкость одной пластины, А·ч	Кол-во (+) пластин у акк-ов одного типоразмера	Ёмкость ак- кумулятора, А·ч	Габариты аккумулятора, мм			Удельная ёмкость 10-ти ча- сового разряда, А·ч/кг	Масса акк-ра с электролитом, кг	Масса элек- тролита, кг
					ширина	длина	высота			
1	4 OPzS200 LA	50	4	200	208	105	420	11,63	17,2	4,9
2	5 OPzS250 LA	50	5	250	208	126	420	12,02	20,8	6,1
3	6 OPzS300 LA	50	6	300	208	147	420	12,35	24,3	7,2
4	5 OPzS350 LA	70	5	350	208	126	535	13,01	26,9	7,9
5	6 OPzS420 LA	70	6	420	208	147	535	13,33	31,5	9,4
6	7 OPzS490 LA	70	7	490	208	168	535	13,57	36,1	10,9
7	6 OPzS600 LA	100	6	600	208	147	710	13,39	44,8	12,9
8	8 OPzS800 LA	100	8	800	215	193	710	13,05	61,3	16,9
9	10 OPzS1000 LA	100	10	1000	215	235	710	13,40	74,6	21,1
10	12 OPzS1200 LA	100	12	1200	215	274	710	13,64	88,0	25,2
11	12 OPzS1500 LA	125	12	1500	215	277	855	13,12	114,3	34,2
12	16 OPzS2000 LA	125	16	2000	215	400	815	13,20	151,5	45,5
13	20 OPzS2500 LA	125	20	2500	215	490	815	12,95	193,0	57,0
14	24 OPzS3000 LA	125	24	3000	215	580	815	12,82	234,0	67,0

Табл. 5. Фирма «Varta» Аккумуляторы со стержневыми положительными пластинами (тип Vb VARTA).

№ п/п	Наименование аккумулятора	Ёмкость одной пластины, А·ч	Кол-во (+) пластин у акк-ов одного типоразмера	Ёмкость ак- кумулятора, А·ч	Габариты аккумулятора, мм			Удельная ёмкость 10-ти ча- сового разряда, А·ч/кг	Масса акк-ра с электролитом, кг	Масса электролита, кг
					ширина	длина	высота			
1	Vb2305-Vb2306	50	5-6	250-300	275	131	440	8,59-9,62	29,1-31,2	8,62
2	Vb2307-Vb2309	50	7-9	350-450	275	197	440	8,49-9,74	42-46,2	14,14-4,17
3	Vb2310-Vb2312	50	10-12	500-600	275	242	440	9,17-10,2	54,5-58,80	17,81-17,83
4	Vb2407-Vb2410	100	7-10	700-1000	383	222	550	7,82-9,53	89,5-152,10	28,9-27,7
5	Vb2411-Vb2415	100	11-15	1100-1500	383	307	550	8,36-9,86	131,6-152,1	41,9-39,8
6	Vb2416-Vb2420	100	16-20	1600-2000	383	392	550	8,95-10,03	178,8-199,4	54,0-51,9

4.4 Герметизированные стационарные свинцовые аккумуляторы.

Одними из пионеров освоения производства герметизированных аккумуляторов были фирмы «Sonnenschein» и «Juasa». Первоначально были разработаны герметизированные аккумуляторы небольшой емкости не более 10–15 А/ч и предназначенные для питания переносной аппаратуры и бытовой техники.

В последние годы на рынке стационарных аккумуляторов все в большем количестве стали появляться стационарные герметизированные аккумуляторы с емкостью до 3000 А/ч, причем аккумуляторы с емкостью до 1500 А/ч могут эксплуатироваться как в вертикальном, так и в горизонтальном положении. Стационарные герметизированные аккумуляторы изготавливаются как с намазными (OGiV), так и с панцирными положительными электродами (OPzV).

В аккумуляторах с панцирными электродами используется только гелеобразный электролит. В аккумуляторах с намазными электродами возможно использование и того и другого способа фиксации электролита. В таблице 6 приведены массогабаритные и электрические характеристики стационарных аккумуляторов OPzV «Sonnenschein», их сопоставление с аналогичными аккумуляторами закрытого типа (малообслуживаемыми) показывает близость рассматриваемых параметров. Однако это не означает их взаимозаменяемость.

Все рекламируемые характеристики герметизированных аккумуляторов могут быть обеспечены только при соблюдении требований их эксплуатации. Так срок службы аккумуляторов при увеличении температуры на 10 °С уменьшается вдвое и снижение точности поддержания напряжения с $2,23B \pm 1\%$ до $2,23B \pm 2\%$ уменьшает срок службы аккумулятора на 20%.

Преимуществом герметизированных аккумуляторов является возможность их размещения в шкафах и помещениях в непосредственной близости от электротехнического оборудования, однако эти аккумуляторы требуют строгого соблюдения режима заряда и не допускают быстрого заряда вследствие возможности нарушения рекомбинационного процесса внутри аккумулятора, его разогрева и выхода из строя. Невозможность контроля плотности электролита не позволяет делать оценку заряженности аккумулятора, что ограничивает возможности их применения в энергетике, однако эти аккумуляторы незаменимы в качестве источников питания систем связи, телекоммуникаций и источников питания для систем бесперебойного питания. По данным производителей срок службы аккумуляторов VRLA составляет 10 лет, однако, как показывает практика, эти аккумуляторы редко дотягивают до декларируемых производителем сроков эксплуатации. Проблема преждевременной потери емкости является довольно распространенным явлением, как при профессиональном применении, так и при

непрофессиональном почти повсеместно на всех географических широтах и континентах. Технология аккумуляторов VRLA была новой стремительно развивающейся технологией, на рынке аккумуляторов был большой спрос (связанный с большими инвестициями в области телекоммуникаций). В связи с этим производители часто шли на внедрение новых методов сокращающих затраты без должной технической проверки.

Аккумуляторы представлялись торговцами, как не требующие обслуживания, в связи с чем эксплуатация часто производилась несогласованно с требованиями производителя.

Табл. 6 Фирма Exide Technologies. Герметизированные стационарные аккумуляторы с панцирными положительными пластинами (тип OPzV).

№ п/п	Наименование аккумулятора	Ёмкость одной пластины, А·ч	Кол-во (+) пластин у акк-ов одного типоразмера	Ёмкость ак- кумулятора, А·ч	Габариты аккумулятора, мм			Удельная ём- кость 10-ти ча- сового разряда, А·ч/кг	Масса акк-ра с электролитом, кг
					ширина	длина	высота		
1	4 OPzV200	50	4	220	208	105	398	11,28	19,5
2	5 OPzV250	50	5	270	208	126	398	11,49	23,5
3	6 OPzV300	50	6	330	208	147	398	11,79	28,0
4	5 OPzV350	70	5	350	208	126	513	11,29	31,0
5	6 OPzV420	70	6	420	208	147	513	11,51	36,5
6	7 OPzV490	70	7	490	208	168	513	11,67	42
7	6 OPzV600	100	6	620	208	147	688	12,40	50
8	8 OPzV800	100	8	830	215	193	688	12,21	58
9	10 OPzV1000	100	10	1020	215	235	688	12,44	82
10	12 OPzV1200	100	12	1200	215	277	688	12,37	97
11	12 OPzV1500	125	12	1530	215	277	838	12,75	120
12	16 OPzV2000	125	16	2040	215	400	815	12,75	160
13	20 OPzV2500	125	20	2550	215	490	815	12,75	200
14	24 OPzV3000	125	24	3060	215	580	815	12,75	240

4.5 Блочное исполнение стационарных аккумуляторов.

Стационарные аккумуляторы емкостью до 300 А/ч, в основном типа OGi, изготавливаются в основном в виде блоков с номинальными напряжениями 4, 6 или 12 В. По удельным характеристикам они близки к соответствующим характеристикам аккумуляторов элементного исполнения. Это объясняется меньшим расходом материалов, не участвующих в токообразовании, прежде всего на баки, борты и межэлементные соединения. Соединение элементов через перегородку позволило, кроме экономии веса, снизить и внутреннее сопротивление блоков элементов. Кроме того цена единицы емкости в отдельных случаях оказывается ниже чем у аккумуляторов элементного исполнения. С учетом того, что блоки аккумуляторов могут устанавливаться на многоярусные стеллажи, удастся оптимизировать компоновку батарей на объекте даже в стесненных условиях с одновременным удобным доступом к отдельным блокам батарей при обслуживании.

5. Технические характеристики аккумуляторов.

5.1 Емкость.

Емкость — наиболее важная характеристика аккумулятора или батареи. Обычно емкость выражается в ампер-часах и представляет собой меру электрохимических реакций происходящих в аккумуляторе, иными словами емкость обозначает то количество электричества, которое может быть получено от аккумулятора. Емкость аккумулятора не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от условий эксплуатации (времени разряда, тока, конечного напряжения и температуры). Ампер-часовая емкость аккумуляторов может нормироваться различными способами. Наиболее общепринятым является, так называемый, режим по времени, по этому режиму емкость устанавливается как известное число ампер-часов, которое может быть получено от него за определенное время.

В соответствии с ГОСТ РМЭК 896-1-95 и ГОСТ РМЭК 60896-2-99 (Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний), гарантированная емкость C_n (в ампер-часах) — это исходная величина, устанавливаемая производителем, которая действительна для нового аккумулятора или батареи при эталонной температуре 20°C, продолжительности разряда t до конечного напряжения U (в вольтах). Рекомендуемые значения t : 20; 10; 8; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 ч. Из этих значений C_n может быть выбрано одно и определено как значение номинальной емкости $C_{ном}$. Наиболее часто используется $t = 10$ ч при конечном напряжении на аккумуляторе 1,8В, если иное не рекомендуется производителем. При этом ток разряда I_n (в амперах) аккумулятора номинальной

емкости C_n при температуре 20°C и продолжительности t до конечного напряжения U (в вольтах) определяется формулой:

$$I_n = \frac{C_n}{t}, \quad (5.1)$$

где C_n – гарантированная емкость, значение которой выбрано в качестве номинальной емкости. Обычно I_n — так называемый ток десятичасового разряда до напряжения на аккумуляторе 1,8В. Значение $C_{ном}$, как правило, указывается на корпусе аккумулятора и в сопроводительной технической документации.

Определение граничного напряжения разряда аккумулятора значением 1,8В принято вследствие того, что полная теоретическая емкость аккумулятора не может быть достигнута по ряду причин. Электролит не проникает в поры пластин с достаточной быстротой, когда поры частично закрыты сульфатом свинца, сопротивление активного материала и электролита возрастает по мере разряда и, наконец, практически недопустимо доводить разряд до нулевого напряжения. Когда батарея разряжается, напряжение на зажимах аккумулятора сначала падает постепенно от своей величины при разомкнутой цепи или несколько более низкой, а по мере приближения конца разряда скорость уменьшения напряжения возрастает. Увеличение скорости уменьшения напряжения указывает на близость истощения элемента.

Если начертить кривую $U=f(t)$ показывающую изменение напряжения на аккумуляторе в зависимости от времени, то моменту начала быстрого падения напряжения соответствует крутой перегиб кривой и, хотя разряд может быть продолжен и далее, но с момента перехода за него может быть получена, лишь малая доля ёмкости. Обычно место перегиба кривой разряда соответствует напряжению на аккумуляторе 1,8В. Величина действительной ёмкости оставшейся после перегиба кривой зависит от режима заряда батареи: она тем больше, чем сильнее был ток.

Основными факторами, определяющими ёмкость, являются:

- **Количество материала в элементе.** Отношение количества активного материала пластин называется коэффициентом использования. Этот коэффициент изменяется в зависимости от толщины и пористости пластин, режима разряда и температуры. Элементы хорошего качества имеют коэффициент 0,25 и выше. Более низкое значение является результатом недостаточного количества электролита, недостаточной пористости пластин или же неправильной конструкции сепараторов. Ряд причин ограничивает возможность полного использования активных материалов. Сульфат свинца является непроводником и увеличивает сопротивление пластин. Другой причиной падения ёмкости является закупорка сульфатом пор в активном материале препятствующая диффузии электролита. Реакции при разряде проникают в толщу активной массы лишь на некоторую глубину. При этом элементы содержащие тонкие пластины обладают

большей ёмкостью чем элементы того же размера, но с толстыми пластинами за счет большего количества пластин в элементе.

- **Толщина активного материала.** Ёмкость при умеренном режиме разряда возрастает вместе с толщиной слоя активного материала при условии, что он обладает пористостью и обеспечивает доступ электролита в толщу пластины. Однако чем быстрее идёт разряд, тем более использование активного материала пластин ограничивается поверхностным слоем. При форсированных разрядах ёмкость практически полностью зависит от размеров поверхности. Объясняется это тем, что электролит не успевает проникнуть в поры пластин и они закупориваются сульфатом. При малых токах разряда материал наоборот может стать активным на любой глубине.

- **Площадь пластин.** Величина ёмкости полученной с поверхности пластины изменяется в зависимости от типа пластин и режима разряда. Для пластин большой поверхности средняя ёмкость может быть принята $1\text{А}\cdot\text{ч}$ на каждые $100\text{--}125\text{ см}^2$ развернутой поверхности. Величина ёмкости тонких пастированных пластин несколько меньше чем толстых, однако, в итоге ёмкость элементов с более тонкими пластинами выше, потому что значительное увеличение общей поверхности пластин перевешивает уменьшение ёмкости на единицу поверхности. Тонкие пластины в условиях тяжелых режимов работы обладают большей ёмкостью на единицу веса и объёма и малым внутренним сопротивлением.

- **Режим разряда.** При увеличении тока разряда ёмкость аккумулятора уменьшается, а при разряде малыми токами увеличивается. После того как аккумулятор разрядился до своего конечного напряжения при определенном режиме он может быть подвергнут дальнейшему разряду при меньшей величине тока.

Полная ёмкость аккумулятора представляет собой сумму ряда ёмкостей:

$$C = \sum I_1 t_1 + I_2 t_2 + I_3 t_3 + \dots + I_n t_n, \quad (5.2)$$

где $I_1; I_2; I_3$ — последовательно уменьшающиеся значения тока.

- **Температура.** Температура имеет большое влияние на значение ёмкости. При низких температурах многие химические реакции замедляются. При низких температурах вязкость электролита увеличивается и ухудшается его циркуляция в порах пластин. Ёмкость аккумулятора при 20-ти часовом разряде и температуре 18°C составляет $\approx 49\%$ ёмкости при разряде тем же током и температуре 27°C . При переходе к режиму 20 минутного разряда отдаваемая ёмкость составит уже 35% номинальной. Процентная располагаемая ёмкость при низких температурах снижается с ростом тока разряда.

- **Концентрация электролита.** Концентрация кислоты в порах пластин является наиболее существенным фактором определяющим напряжение и ёмкость. Если в течение разряда нельзя поддерживать в порах достаточное количество кислоты, то напряжение на зажимах будет быстро падать и элемент истощится.

Концентрация влияет на ёмкость потому, что:

- она определяет потенциал пластин;
- она влияет на сопротивление электролита;

- влияет на вязкость электролита и, следовательно, на скорость диффузии.

Ёмкость аккумулятора возрастает с ростом удельного веса электролита в определенных границах, так как рост концентрации кислоты приводит к снижению ёмкости отрицательных пластин, а снижение плотности может привести к замерзанию электролита при низких температурах. Выбор плотности является компромиссом и определяется условиями эксплуатации. Практически рекомендуемая плотность электролита при температуре 20°C должна указываться производителем в сопроводительной документации к аккумулятору. Зависимость ёмкости от температуры приведена на рис. 3.



Рис.3. Зависимость емкости элемента от температуры

5.2 Внутреннее сопротивление.

Значение внутреннего сопротивления является важнейшим и часто определяющим параметром при выборе аккумуляторной батареи. Полное внутреннее сопротивление аккумулятора зависит от сопротивлений отдельных элементов конструкции, а именно:

- сопротивления электролита;
- сопротивления сепараторов и панцирей;
- сопротивления активного материала пластин;
- сопротивления токовыводов и материала пластин и решеток.

Двуокись свинца классифицируется как полупроводник, но она лучший проводник из окисей и единственная окись, приближающаяся по проводимости к металлам.

Важным фактором, влияющим на сопротивление аккумулятора, является степень заряда. Сульфат свинца, образующийся во время разряда, не проводит электричество и его присутствие значительно увеличивает сопротивление. Сопротивление свинцового аккумулятора начинает медленно возрастать, как только начинается разряд, ко времени окончания разряда рост сопротивления ускоряется, доходя до значений в 2 или 3 раза превышающих начальные сопротивления, что, кстати, позволяет делать оценку степени сульфатации аккумулятора и снижения его фактической ёмкости по измерению внутреннего сопротивления батареи.

В таблице 7 приведены значения внутреннего сопротивления при различных значениях ёмкости десятичасового разряда до напряжения 1,8В/эл и температуре электролита 20 °С для аккумуляторов различной конструкции фирмы Exide Technologies и Varta.

Табл. 7. Значения внутренних сопротивлений аккумуляторов различных конструкций на примере изделий фирмы Exide и Varta.

GroE		OPzS		OGi		Vb		GroE*	
C ₁₀	R _{вн ном}	C ₁₀	R _{вн ном}	C ₁₀	R _{вн ном}	C ₁₀	R _{вн ном}	C ₁₀	R _{вн ном}
500	0,339	125	1,45	50	2,90	250	0,514	75	1,268
600	0,283	165	1,05	75	2,00	300	0,431	100	0,951
700	0,242	210	0,83	100	1,50	350	0,367	125	0,761
800	0,212	260	0,72	150	1,10	400	0,323	150	0,634
900	0,188	310	0,63	200	0,85	450	0,289	175	0,543
1000	0,169	380	0,63	250	0,72	500	0,265	200	0,475
1100	0,154	455	0,56	260	0,65	550	0,242	225	0,422
1200	0,141	530	0,50	325	0,54	600	0,223	250	0,38
1300	0,13	680	0,47	370	0,47	700	0,244	275	0,346
1400	0,121	750	0,43	410	0,42	800	0,215	300	0,317
1500	0,113	910	0,3	440	0,38	900	0,192	325	0,292
1600	0,106	980	0,27	470	0,35	1000	0,174	350	0,271
1700	0,099	1140	0,26	530	0,32	1100	0,156	375	0,253

GroE		OPzS		OGi		Vb		GroE*	
1800	0,094	1370	0,23	580	0,30	1200	0,143	400	0,237
1900	0,089	1700	0,24	620	0,29	1300	0,132	425	0,223
2000	0,084	1800	0,22	730	0,25	1400	0,123	450	0,211
2100	0,08	2250	0,16	800	0,21	1500	0,116		
2200	0,077	2450	0,14	880	0,19	1600	0,108		
2300	0,073	2800	0,12	1000	0,17	1700	0,102		
2400	0,07	3000	0,11	1260	0,16	1800	0,096		
2500	0,067	3350	0,11	1340	0,15	1900	0,091		
2600	0,065			1520	0,14	2000	0,087		
				1600	0,13				

*при ёмкости положительных пластин 25 А·ч.

Для большей наглядности на рис.4 представлены зависимости $R_{\text{вн}}=f(C_{10})$ построенные по данным табл.7 позволяющие оценить влияние конструкции аккумулятора на значение его внутреннего сопротивления.

На рис. 5, 6, 7 приведены графики зависимостей значений внутреннего сопротивления от степени разряженности аккумуляторной батареи. На графиках видно, что герметизированных аккумуляторов по мере их разряда происходит значительное увеличение внутреннего сопротивления в разы превышающее значения внутреннего сопротивления открытых и малообслуживаемых батарей при той же степени разряда.

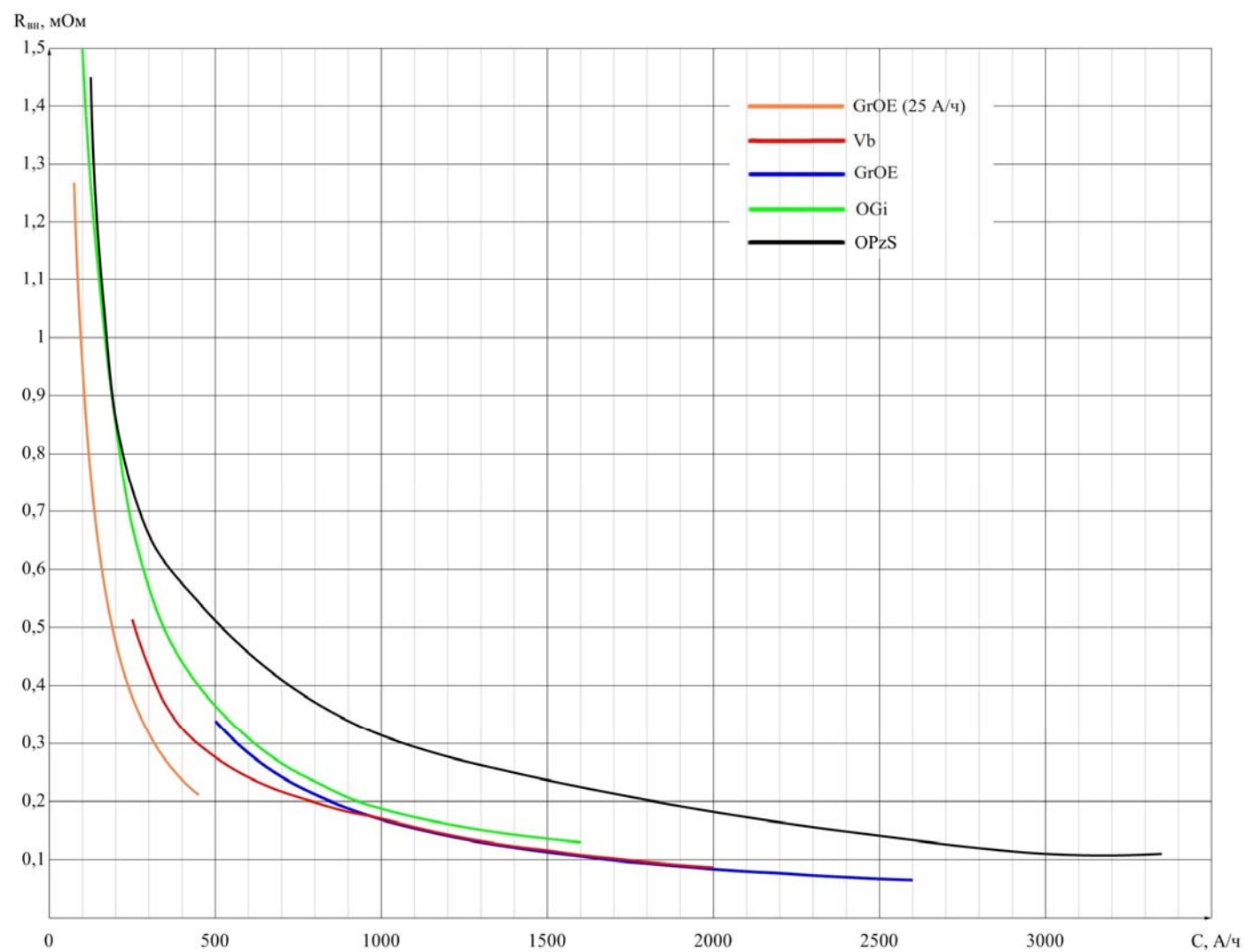


Рис.4. Зависимость внутренних сопротивлений аккумуляторов от ёмкостей.

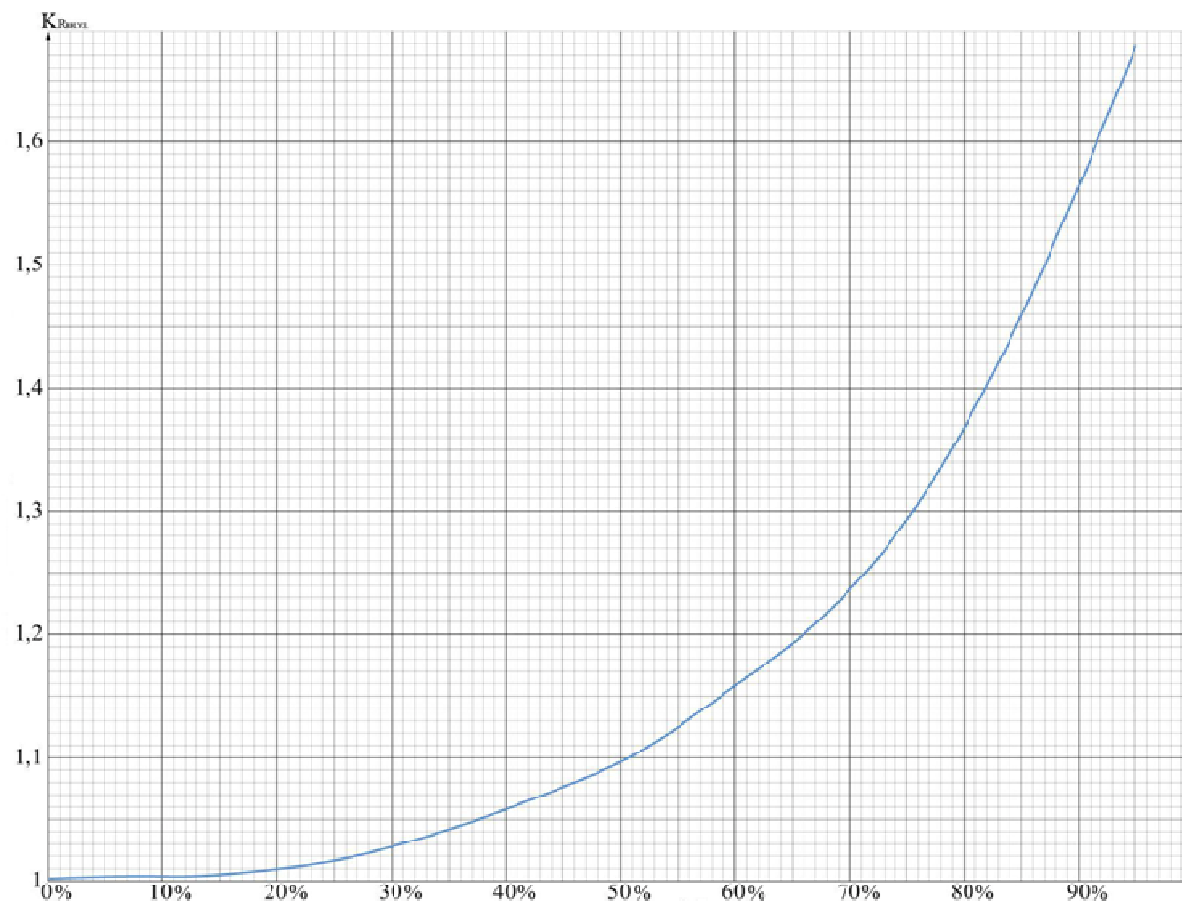


Рис. 5. Степень разряда аккумуляторной батареи Д.14 — График зависимости внутреннего сопротивления стационарной герметизированной аккумуляторной батареи с электролитом в желеобразном состоянии от глубины её разряда

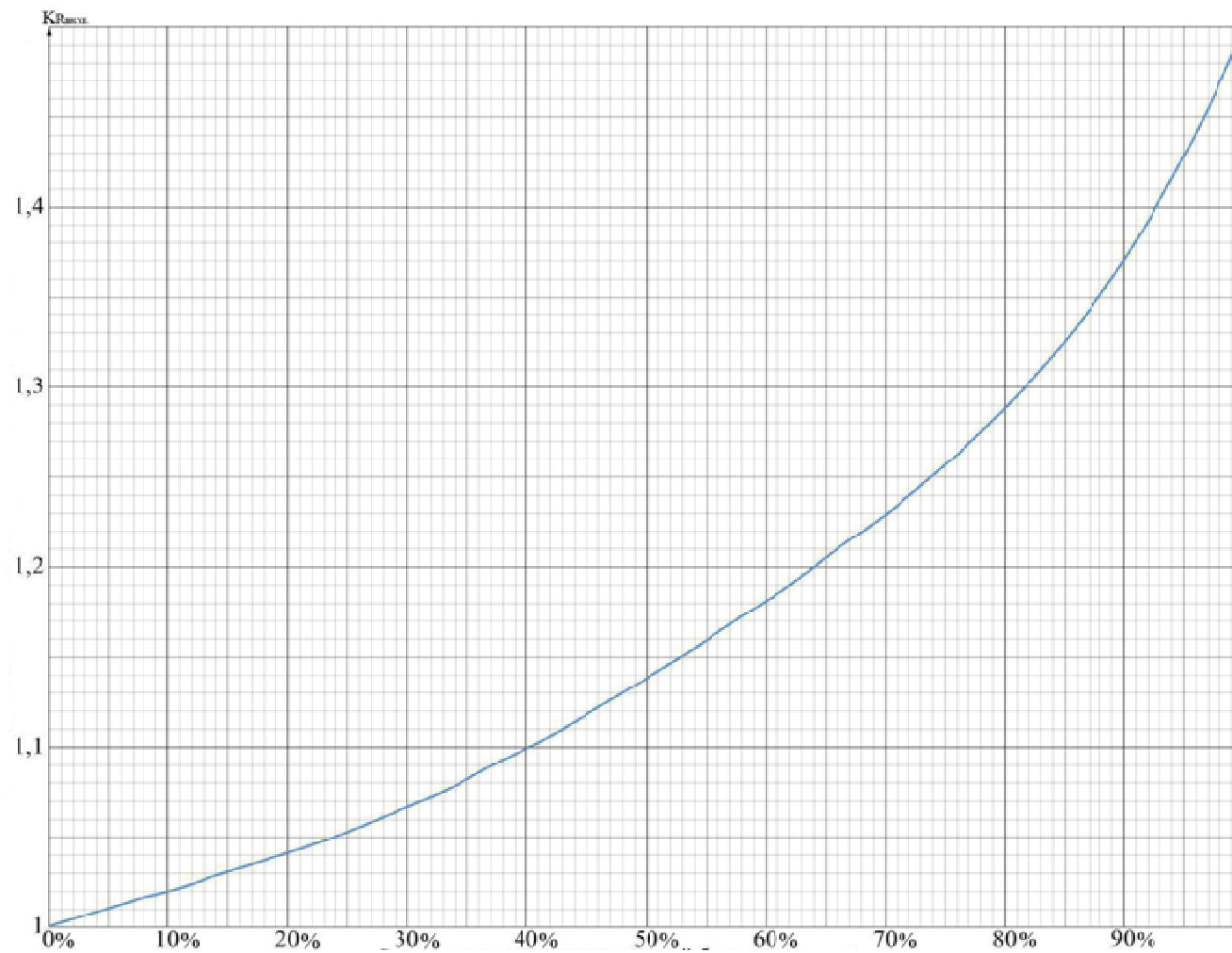


Рис. 6. Степень разряда аккумуляторной батареи. Д.13 — График зависимости внутреннего сопротивления стационарной свинцово-кислотной аккумуляторной батареи с электролитом в свободном состоянии от глубины её разряда

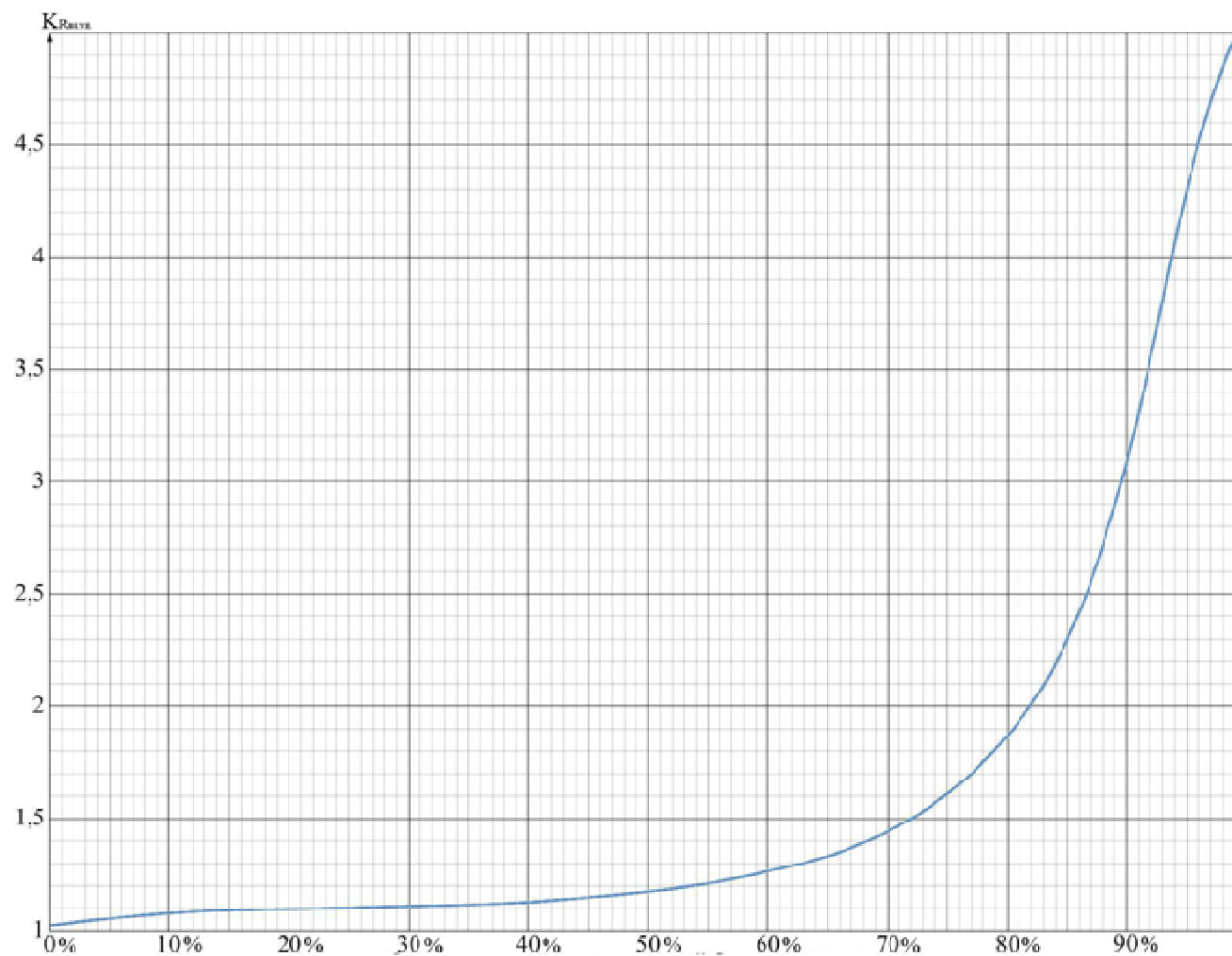


Рис. 7. Д.15 — График зависимости внутреннего сопротивления стационарной герметизированной аккумуляторной батареи с электролитом, фиксированном в сепараторе, от глубины её разряда.

6. Определение технических характеристик элементов системы постоянного тока.

6.1 Определение фактической разрядной ёмкости аккумуляторных батарей.

Наиболее достоверным способом определения фактической разрядной ёмкости аккумулятора или аккумуляторной батареи является проведение контрольного разряда. Проведение контрольного разряда обязательно при вводе батареи в эксплуатацию и в процессе эксплуатации в зависимости от условий эксплуатации и технического состояния по усмотрению эксплуатационного персонала.

Можно так же считать необходимым проведение контрольного разряда при достижении среднего срока возможной эксплуатации гарантированной производителем, для оценки фактического состояния батареи и обеспечения требуемого резерва времени для ее замены в случае преждевременной потери ёмкости, либо для своевременного проведения мероприятий по восстановлению ёмкости. Проведение контрольного разряда осуществляется в соответствии и по методике ГОСТ РМЭК 896-1-95, и ГОСТ РМЭК 60896-2-99. Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний. Часть 1. Открытые типы. Часть 2. Закрытые типы.

Перед проведением контрольного разряда аккумуляторная батарея должна быть полностью заряжена. Аккумулятор или батарея считаются полностью заряженными, если в процессе заряда постоянным током (или напряжением) измеряемые напряжение и плотность электролита остаются неизменными в течение 2 часов.

До проведения заряда должна быть записана температура электролита элементов (либо группы контрольных элементов). Средняя начальная температура рассчитывается как среднее арифметическое отдельных значений. Желательно чтобы температура окружающей среды и электролита были в диапазоне 10-35 °С и по возможности были близки к 20 °С. Через 1-24 часа после заряда может быть начат контрольный разряд.

Схема проведения контрольного разряда приведена на рис.8.

В соответствии с рис.8 контрольный разряд проводится с помощью устройства контрольного разряда позволяющего поддерживать ток разряда (как правило, ток десятичасового разряда) с точностью $\pm 1\%$ в процессе всего периода разряда в автоматическом режиме. Допускается снижение точности поддержания тока разряда до $\pm 5\%$ при ручном регулировании. Однако как показывает практика, применение ручного регулирования при использовании специально

сконструированных устройств разряда позволяет получить точность поддержания тока и менее чем $\pm 1\%$.

Значение напряжения на выводах аккумулятора или батареи должны записываться через интервалы позволяющие определить момент загиба разрядной характеристики и переход к конечному разрядному напряжению 1,8В/эл для режима разряда током десятичасового разряда. Разряд должен быть прерван, когда напряжение на выводах батареи достигнет значения $1,8 \cdot n$, где n – количество элементов батареи (при $n=103$ $1,8 \cdot 103=185,4$ В). Продолжительность разряда должна быть зафиксирована.

Ёмкость определяется как произведение значения тока на время.

В том случае, если начальная средняя температура отличается от стандартного значения 20 °С значение ёмкости должно быть откорректировано по формуле

$$C_{\phi} = \frac{C}{1 + \lambda(\gamma - 20)}, \quad (6.1)$$

где C_{ϕ} — фактическая ёмкость (А·ч);

C — измеренная ёмкость (А·ч);

λ — коэффициент, принимаемый равным 0,006, если иное не оговорено производителем;

γ — начальная средняя температура.

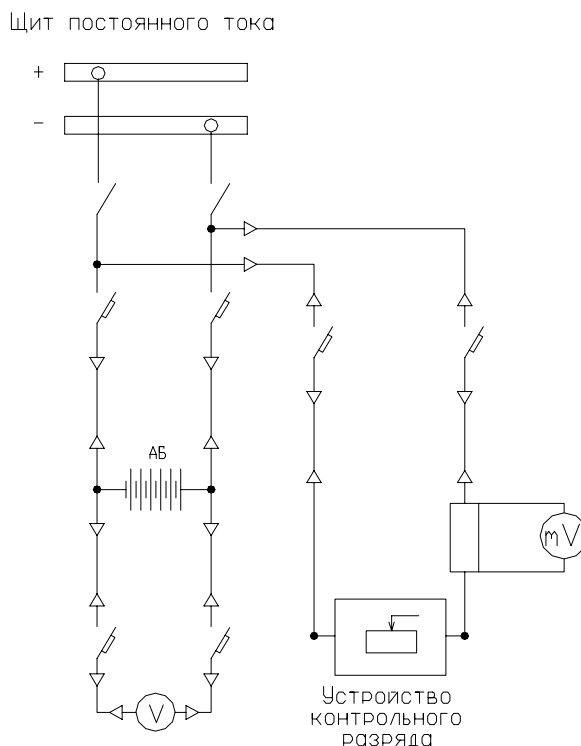


Рис.8. Принципиальная электрическая схема проведения контрольного разряда.

При первом контрольном разряде нового аккумулятора номинальная ёмкость может быть недостигнута (например, у аккумулятора с пластинами большой поверхности). Однако через некоторое время эксплуатации батарея выходит на нормальный режим.

Как показывает практика, фактическая разрядная ёмкость новых аккумуляторных батарей, определенная через несколько месяцев эксплуатации, составляет 120-130% номинальной, что объясняется некоторым запасом, заложенным при изготовлении с целью обеспечения номинальных параметров в конце срока эксплуатации.

В качестве иллюстрации на рис.9, 10 приведены разрядные характеристики батарей STTH-310 и 12GroE-1200, из которых видно, что фактическая разрядная ёмкость батарей превышает номинальную.

На рис.11 приведена разрядная характеристика батареи STTH-300 типа OPzS, из которой видно, что напряжение на батарее снизилось до 1,8 В/эл за 8 часов разряда током десятичасового разряда, что говорит о том, что фактическая ёмкость этой батареи составляет 80% номинала несмотря на то, что к моменту испытаний батарея находилась в эксплуатации 5 лет и считалась относительно новой.

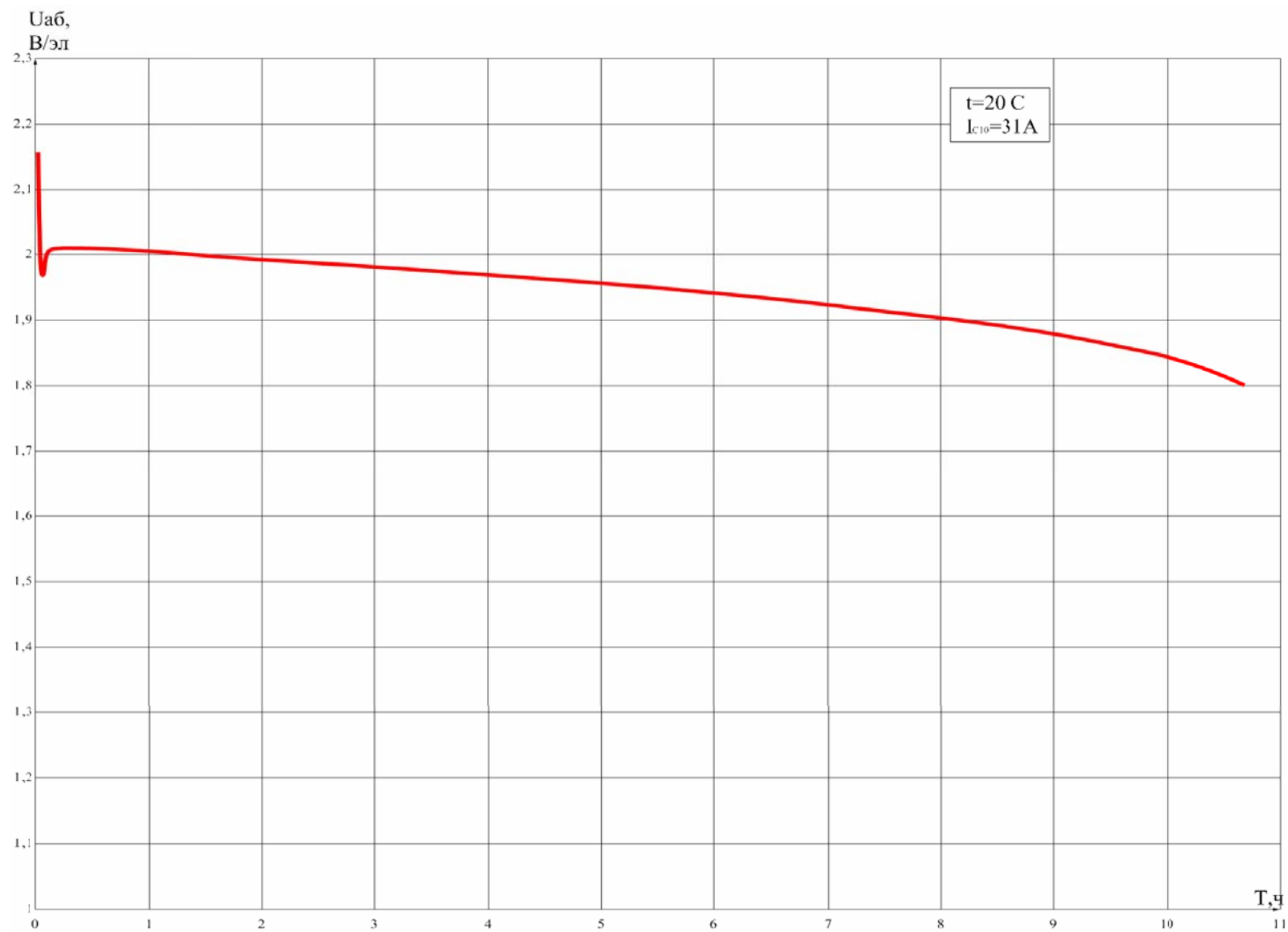


Рис.9. Разрядная характеристика батареи STTH-310.

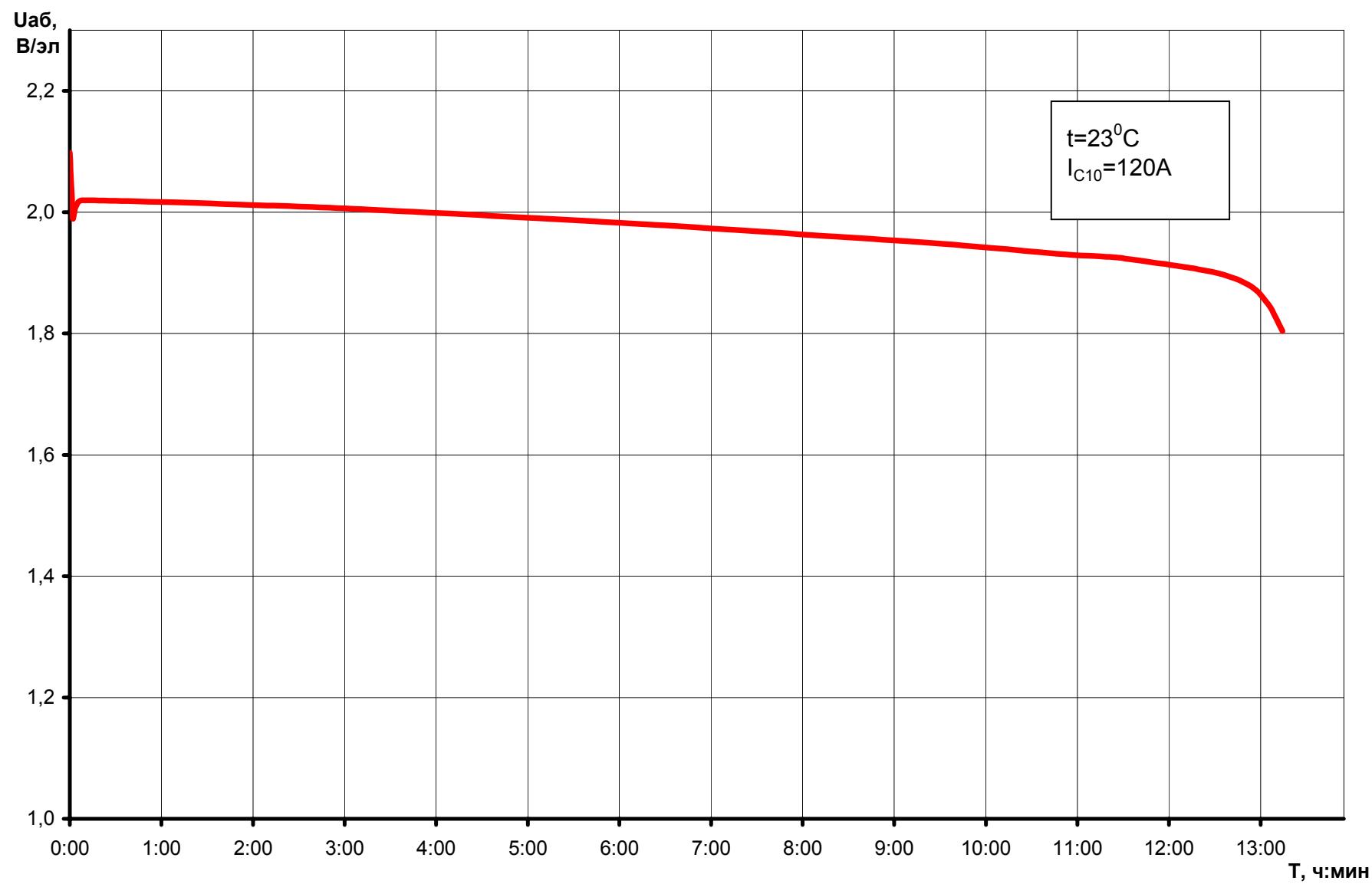


Рис. 10. Разрядная характеристика батареи 12GroE-1200.

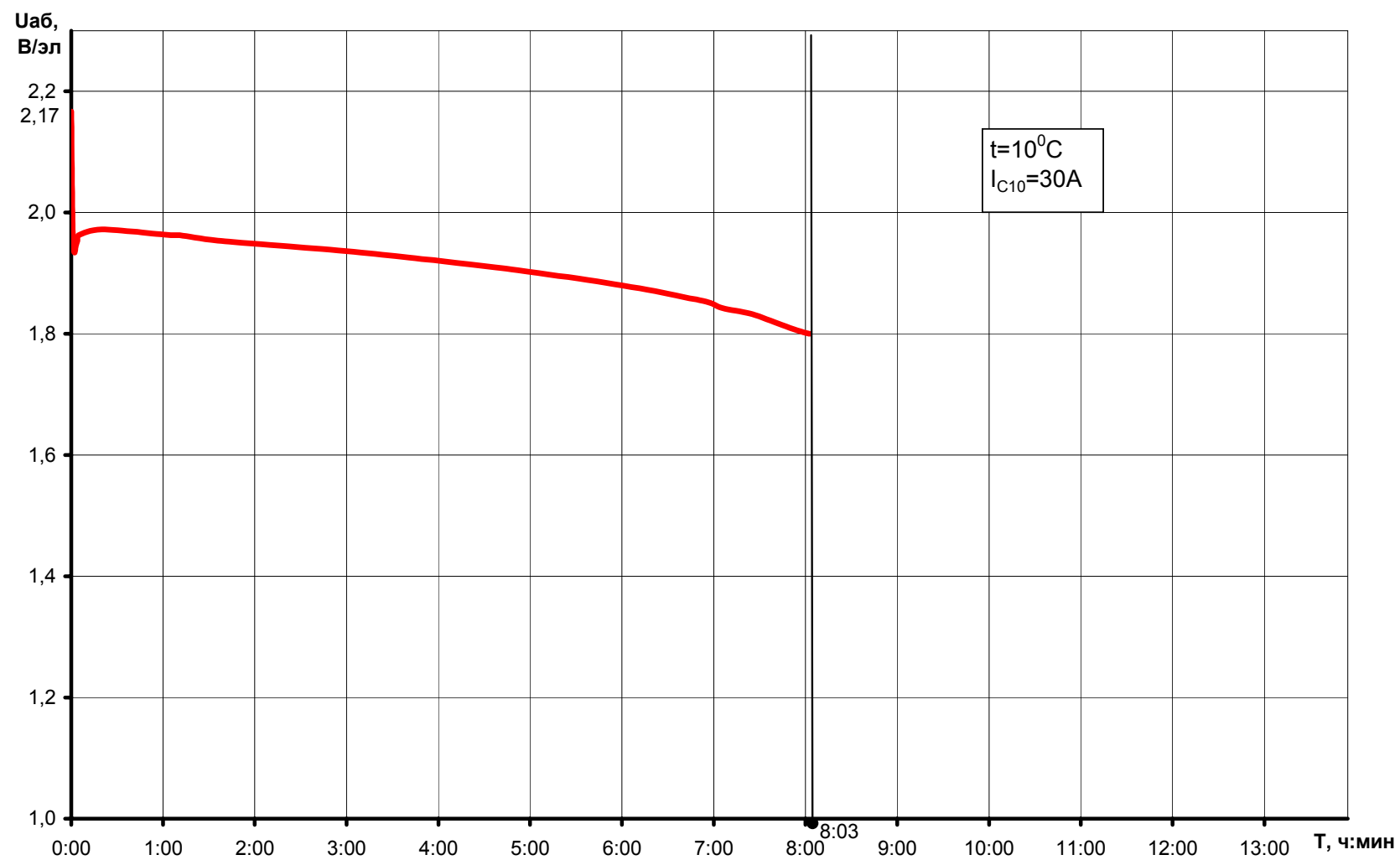


Рис. 11. Разрядная характеристика батареи STTH-300.

На рис.12 приведена разрядная характеристика батареи СН-288 типа OGi эксплуатируемой более 15 лет и, несмотря на это, умеющую разрядную емкость примерно на 30% выше номинальной. Таким образом, проведение контрольных разрядов дает эксплуатационному персоналу объективную информацию о фактическом состоянии батарей и возможность принять своевременные меры по замене оборудования.

Кроме приведенного выше метода оценки фактической разрядной ёмкости отдельными торговыми представителями фирм производителей рекомендуются, так называемые, экспресс-методы заключающиеся в непродолжительном разряде батареи (в течение 2 часов) и оценки степени снижения напряжения при этом указывается предел снижения напряжения (например 1,9 В/эл), ниже которого при нормальном состоянии батареи напряжение контрольного разряда не должно опускаться.

Однако, как показала практика проведения контрольных разрядов, такой метод оценки ёмкости может дать ложную оценку фактического состояния батареи и может быть применен как вспомогательный метод контроля состояния батареи.

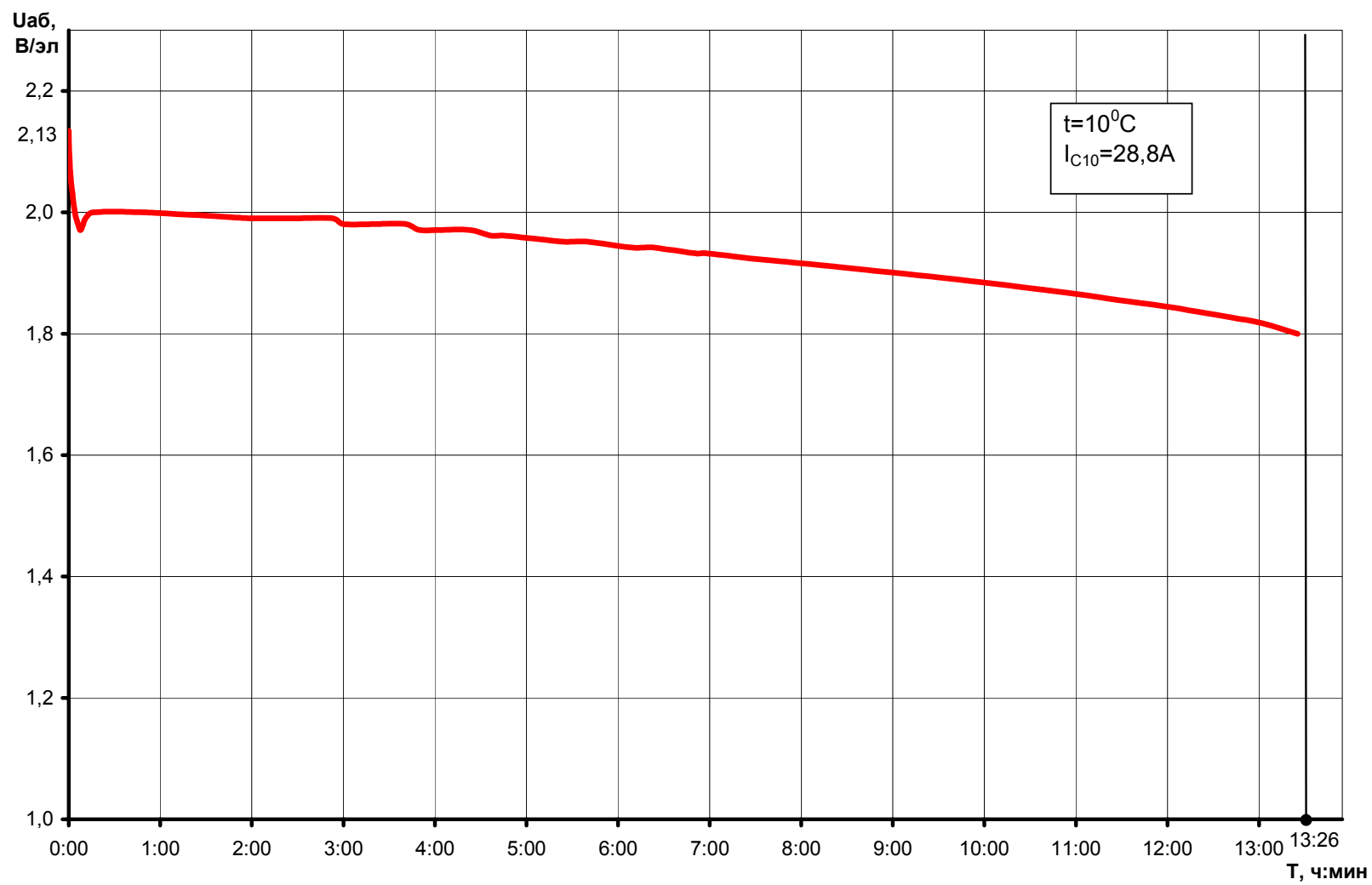


Рис. 12. Разрядная характеристика батареи СН-288.

6.2 Определение внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей.

Значение внутреннего сопротивления аккумулятора является важнейшим параметром при оценке возможности применения батареи того или иного конструктивного исполнения для питания потребителей особенно при толчковом характере нагрузки, так как внутреннее сопротивление батареи в совокупности с сопротивлением питающей сети определяет значение напряжения у потребителя.

При проектировании значение внутреннего сопротивления может быть взято из сопроводительной технической документации (технических условий) прилагающихся к батарее. При реконструкции значение внутреннего сопротивления желательно определить экспериментально, так как фактическое значение может отличаться от приведенного в документации на батарею, особенно, если батарея не новая (что многократно подтверждено экспериментально). Знание же фактического значения внутреннего сопротивления значительно повышает точность расчетов в случае принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации батареи.

Для определения значения внутреннего сопротивления в соответствии с требованиями ГОСТ РМЭК 896-1-95 и ГОСТ РМЭК 60896-2-99 экспериментально определяется вольтамперная характеристика $U = f(I)$ батареи построенная по двум точкам. Первая точка строится при протекании через батарею разрядного тока $I_1 = 4I_{10} - 6I_{10}$ (400–600А для батареи ёмкостью 1000А·ч) при этом регистрируется напряжение на выводах батареи.

Вторая точка строится при протекании через батарею разрядного тока $I_2 = 20I_{10} - 40I_{10}$ (2000–4000А для батареи ёмкостью 1000А·ч). Значение внутреннего сопротивления определяется по формуле

$$R_{AB} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}, \quad (6.2)$$

где U_1, U_2 — напряжение на выводах батареи в первый и второй толчках;
 I_1, I_2 — ток в первый и второй толчках.

Принципиальная схема определения вольтамперной характеристики приведена на рис.13 и фактически является схемой проведения опытов короткого замыкания за добавочным сопротивлением позволяющим устанавливать требуемое значение тока.

Время протекания тока устанавливается равным 0,1–0,2 секунды, что меньше требуемого ГОСТ $t = 25; 5$ секунд, однако, как показали опыты по определению фактического значения токов металлического замыкания в сети постоянного тока, такой метод определения внутреннего сопротивления позволяет по-

лучить достоверное значение сопротивления в зоне времени действия защитной аппаратуры сети.

На рис.14 приведены вольтамперные характеристики батарей GroE-1200 (Рефтинская ГРЭС), на которых хорошо видна динамика изменения внутреннего сопротивления со временем и степень влияния затяжки болтов крепления межэлементных перемычек.

На рис.15 представлены вольтамперные характеристики батарей Vb-2415 установленных на Невинномысской ГРЭС и имеющих одинаковый срок эксплуатации.

Из характеристик видно, что значения внутреннего сопротивления батарей могут значительно отличаться в зависимости от их фактического состояния и состояния болтовых соединений перемычек и для проведения сколько-нибудь точных расчетов необходимо определять фактическое значение сопротивление.

При проектировании и использовании значений представленных в технической документации речь может идти только о приблизительных расчетах значений токов короткого замыкания и потерь напряжения в сети постоянного тока.

[illegible]

41

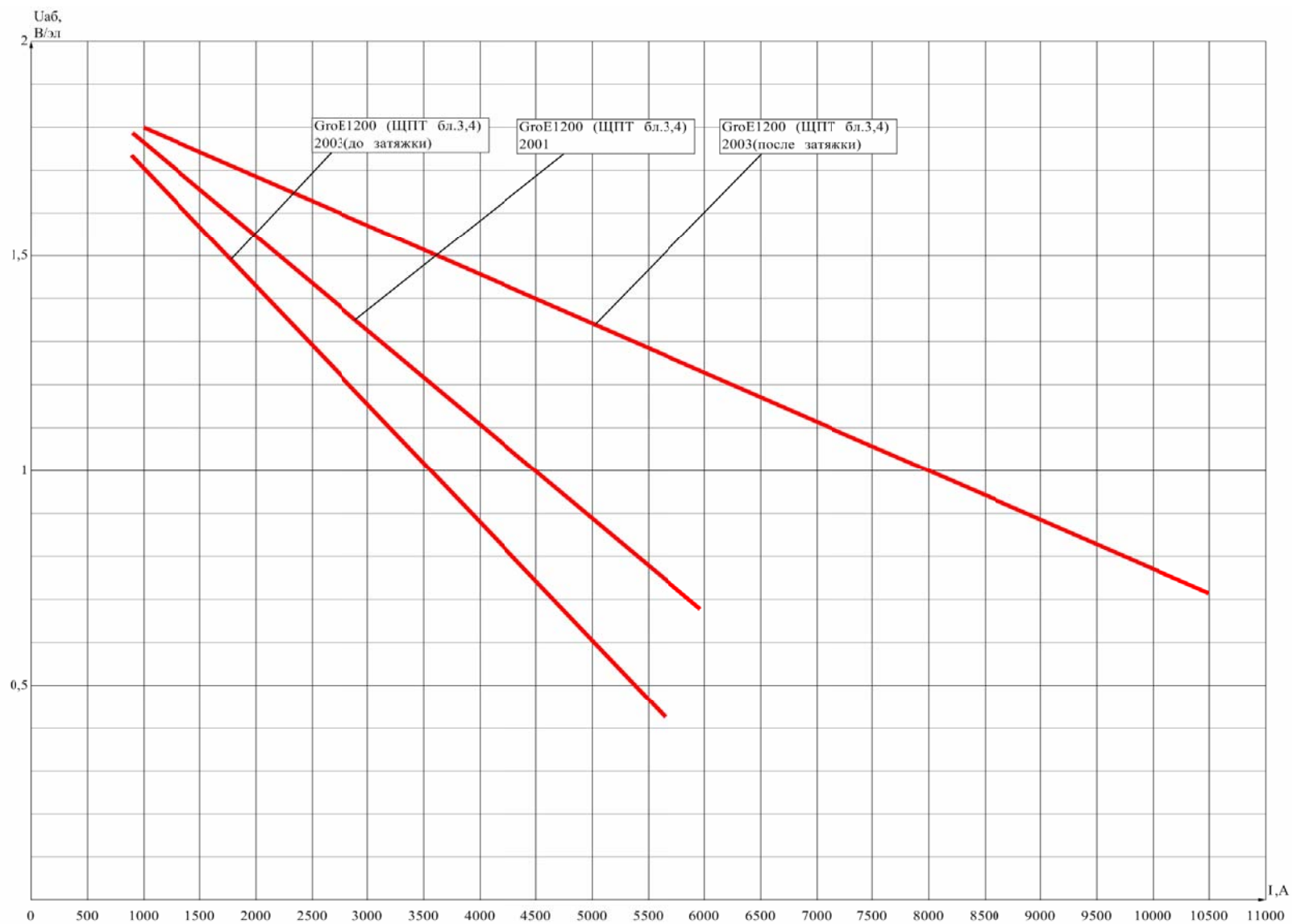


Рис.14. Вольтамперные характеристики аккумуляторной батареи GroE1200.

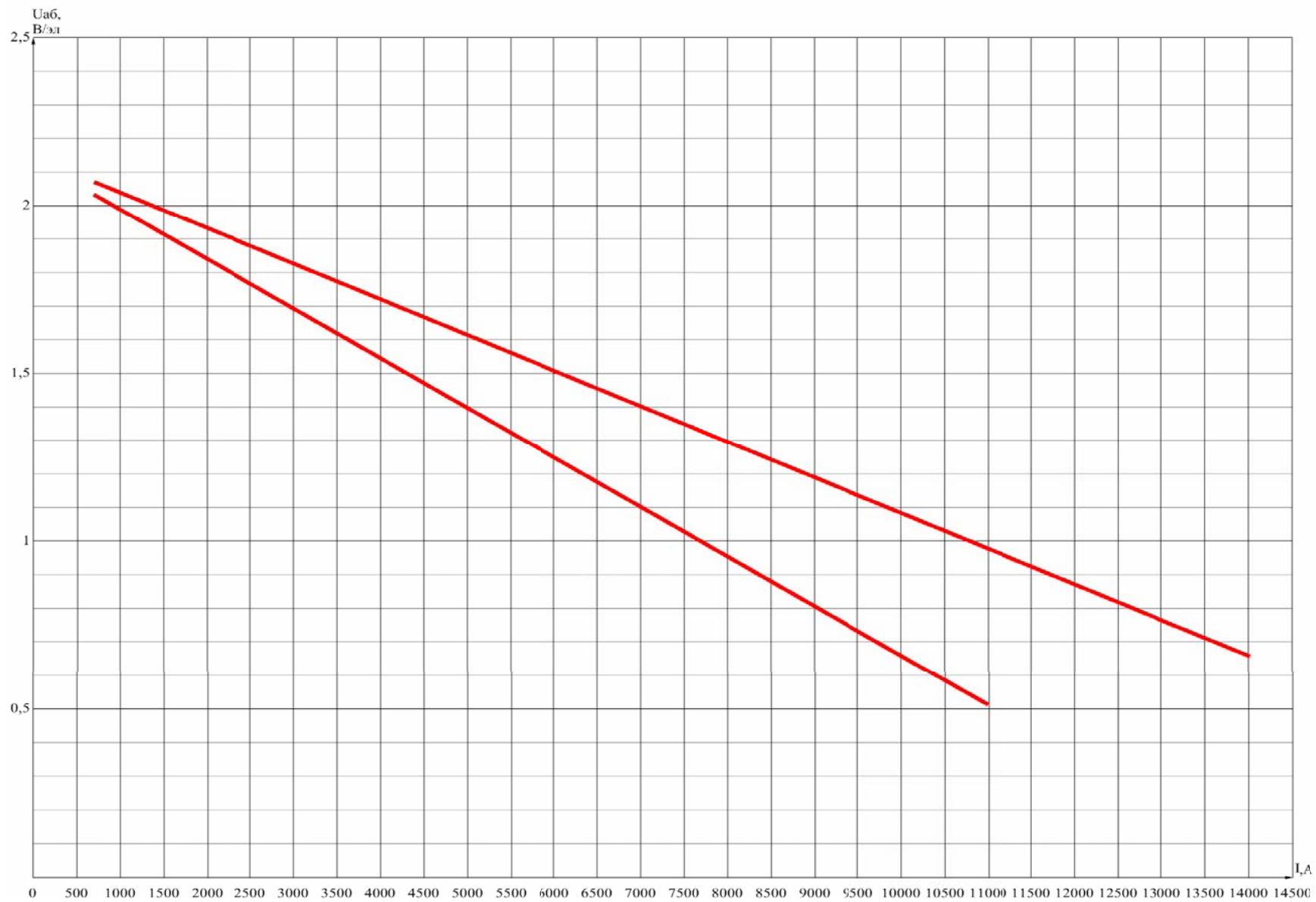


Рис.15. Вольтамперные характеристики аккумуляторных батарей Vb-2415.

7. Выбор аккумуляторной батареи.

Основными требованиями, предъявляемыми к аккумуляторным батареям, питающим потребители постоянного тока электростанций и подстанций, является высокая надежность и способность батареи обеспечивать требуемый режим разряда при аварийном исчезновении переменного напряжения в течение всего срока службы, а так же длительный (не менее 20 лет) срок службы.

Важным фактором является конструкция батареи, желательно применять малообслуживаемые батареи, как значительно более удобные в эксплуатации. Эти аккумуляторы отличаются высокой надежностью и в зависимости от типа положительного электрода могут обеспечивать любой из эксплуатационных режимов.

При выборе батарей следует руководствоваться следующими соображениями.

Аккумуляторы с положительными пластинами большой поверхности (тип GroE) и аккумуляторы с намазными пластинами (тип OGi) рассчитаны на работу при любых режимах разряда от коротких до самых длительных.

Аккумуляторы с панцирными положительными пластинами (тип OPzS) предпочтительнее использовать в тех случаях, когда основными являются средние и длительные разряды и возможно большое количество циклов (1000-1200) заряд-разряд.

Это не означает, что такие аккумуляторы нельзя использовать при коротких режимах разряда, но их эффективность будет в 1,5-2 раза ниже и для получения тех же электрических характеристик потребуется номинальная ёмкость в 1,5-2 раза выше, чем при использовании аккумуляторов типа GroE или OGi.

Батареи типа OPzS могут быть применены на небольших подстанциях оборудованных воздушными выключателями.

Большое значение имеет срок службы и стоимость аккумуляторов, при оценке затрат надо учитывать так же и стоимость работ по замене аккумуляторов. Так использование более дорогой батареи типа GroE, имеющей срок службы 25 лет и более, в итоге окажется дешевле, чем использование батареи OGi, имеющей срок службы 10-12 лет или батареи типа OPzS и Vb, которые при сроке службы 18-20 лет потребуют увеличения разрядной емкости для возможности обеспечения электрических параметров сопоставимых с батареей GroE.

В соответствии с рекомендациями информационного письма ИП-03-2000Э от 30.03.2000 РАО «ЕЭС России» О закупке свинцово-кислотных аккумуляторов зарубежного производства на объектах энергетики с толчковым характером нагрузки в системах постоянного тока рекомендуется применять батареи с

пластинами большой поверхности (тип GroE), для объектов, не имеющих толчковых нагрузок возможно применение батарей типа OPzS.

В виду малого срока возможной эксплуатации применение батарей типа OGi можно рекомендовать только для энергообъектов временного характера.

О возможности применения герметизированных аккумуляторов следует сказать, что при всей привлекательности таких качеств как безуходность, отсутствие газовыделения, видимая простота обслуживания эти аккумуляторы очень требовательны к качеству проведения процесса заряда, так как отклонения от установленных значений напряжения заряда может привести к необратимым изменениям и досрочному выходу аккумуляторов из строя. Кроме того, отсутствие контроля плотности электролита не позволяет в любой момент времени оценить степень заряженности и готовность аккумуляторов к работе. Поэтому использование герметизированных аккумуляторов на объектах энергетики нецелесообразно.

Использование батарей этого типа целесообразно лишь для СОПТ выполненных на базе шкафов ШУОТ и то в случае невозможности выполнения системы вентиляции.

Требуемое количество и ёмкость аккумуляторных батарей определяется:

- количеством и мощностью потребителей СОПТ;
- компоновкой потребителей СОПТ;
- возможностью выполнения селективной защиты цепей питания потребителей СОПТ от металлических и дуговых коротких замыканий;
- возможностью обеспечения требуемого уровня напряжений и потребителей в нормальном и аварийном режимах;
- требования обеспечения возможности нормальной эксплуатации АБ и цепей ввода рабочего и резервного питания щита постоянного тока (ЩПТ).

При выборе ёмкости батарей работающих в системе постоянного тока, содержащей цепи взаиморезервирования, следует учитывать, что аварийное исчезновение переменного напряжения в системе СН переменного тока может возникнуть в период ремонта или заряда одной из батарей, либо в момент ремонта цепей ввода рабочего питания любого из ЩПТ, что является нормальным эксплуатационным режимом, для обеспечения которого и предусмотрены цепи взаиморезервирования.

Эксплуатация энергообъектов с единственной аккумуляторной батареей недопустима, так как не позволяет обеспечить режим ее нормальной эксплуатации без снижения надежности питания потребителей постоянного тока.

Для выбора ёмкости батареи необходимо знать расчётный ток аварийного разряда $I_{расч}$, определяемый из графика аварийного разряда $I_{расч}=f(t)$ при ава-

рийном исчезновении переменного напряжения, и значение максимального толчкового тока также определяется из этого же графика.

Необходимы также сведения о конфигурации и технических параметрах цепей питания потребителей СОПТ, а также разрядные характеристики предлагаемых к использованию аккумуляторов. Разрядные характеристики могут быть представлены в виде таблиц либо графиков. Желательно избегать применение АБ производителей не предоставляющих характеристики АБ либо ссылающиеся на подобные характеристики других производителей.

Разрядные характеристики позволяют определить необходимую ёмкость аккумулятора выбранного типа по известным току разряда, конечному напряжению на элементе и времени разряда. Наиболее удобной является табличная форма представления разрядных характеристик. В качестве примера в табл.8 приведены разрядные характеристики батарей типа GroE фирмы Exide.

Табл. 8. Разрядные характеристики батарей типа GroE (Exid).

Конечное напряжение 1,70 В/эл - разряд, А														
Тип	30сек	1мин	2мин	3мин	5мин	7мин	10мин	15мин	20мин	30мин	1ч	3ч	5ч	10ч
3 GroE 75	196,5	196,5	196,5	196,5	177,0	157,5	142,5	120,0	103,5	82,2	51,3	22,8	15,6	7,5
4 GroE 100	262,0	262,0	262,0	262,0	236,0	210,0	190,0	160,0	138,0	109,6	68,4	30,4	20,8	10,0
5 GroE 125	327,5	327,5	327,5	327,5	295,0	262,5	237,5	200,0	172,5	137,0	85,5	38,0	26,0	12,5
6 GroE 150	393,0	393,0	393,0	393,0	354,0	315,0	285,0	240,0	207,0	164,4	102,6	45,6	31,2	15,0
7 GroE 175	458,5	458,5	458,5	458,5	413,0	367,5	332,5	280,0	241,5	191,8	119,7	53,2	36,4	17,5
8 GroE 200	524,0	524,0	524,0	524,0	472,0	420,0	380,0	320,0	276,0	219,2	136,8	60,8	41,6	20,0
9 GroE 225	589,5	589,5	589,5	589,5	531,0	472,5	427,5	360,0	310,5	246,6	153,9	68,4	46,8	22,5
10 GroE 250	655,0	655,0	655,0	655,0	590,0	525,0	475,0	400,0	345,0	274,0	171,0	76,0	52,0	25,0
Конечное напряжение 1,75 В/эл - разряд, А														
Тип	30сек	1мин	2мин	3мин	5мин	7мин	10мин	15мин	20мин	30мин	1ч	3ч	5ч	10ч
3 GroE 75	172,5	172,5	172,5	168,0	158,4	144,0	126,0	108,0	94,5	78,0	50,7	22,8	15,6	7,5
4 GroE 100	230,0	230,0	230,0	224,0	211,2	192,0	168,0	144,0	126,0	104,0	67,6	30,4	20,8	10,0
5 GroE 125	287,5	287,5	287,5	280,0	264,0	240,0	210,0	180,0	157,5	130,0	84,5	38,0	26,0	12,5
6 GroE 150	345,0	345,0	345,0	336,0	316,8	288,0	252,0	216,0	189,0	156,0	101,4	45,6	31,2	15,0
7 GroE 175	402,5	402,5	402,5	392,0	369,6	336,0	294,0	252,0	220,5	182,0	118,3	53,2	36,4	17,5
8 GroE 200	460,0	460,0	460,0	448,0	422,4	384,0	336,0	288,0	252,0	208,0	135,2	60,8	41,6	20,0
9 GroE 225	517,5	517,5	517,5	504,0	475,2	432,0	378,0	324,0	283,5	234,0	152,1	68,4	46,8	22,5
10 GroE 250	575,0	575,0	575,0	560,0	528,0	480,0	420,0	360,0	315,0	260,0	169,0	76,0	52,0	25,0
Конечное напряжение 1,80 В/эл - разряд, А														
Тип	30сек	1мин	2мин	3мин	5мин	7мин	10мин	15мин	20мин	30мин	1ч	3ч	5ч	10ч
3 GroE 75	135,6	135,6	135,6	135,6	129,0	123,3	108,0	94,8	84,0	70,2	48,0	22,5	15,3	7,5
4 GroE 100	180,8	180,8	180,8	180,8	172,0	164,4	144,0	126,4	112,0	93,6	64,0	30,0	20,4	10,0
5 GroE 125	226,0	226,0	226,0	226,0	215,0	205,5	180,0	158,0	140,0	117,0	80,0	37,5	25,5	12,5
6 GroE 150	271,2	271,2	271,2	271,2	258,0	246,6	216,0	189,6	168,0	140,4	96,0	45,0	30,6	15,0
7 GroE 175	316,4	316,4	316,4	316,4	301,0	287,7	252,0	221,2	196,0	163,8	112,0	52,5	35,7	17,5
8 GroE 200	361,6	361,6	361,6	361,6	344,0	328,8	288,0	252,8	224,0	187,2	128,0	60,0	40,8	20,0
9 GroE 225	406,8	406,8	406,8	406,8	387,0	369,9	324,0	284,4	252,0	210,6	144,0	67,5	45,9	22,5
10 GroE 250	452,0	452,0	452,0	452,0	430,0	411,0	360,0	316,0	280,0	234,0	160,0	75,0	51,0	25,0

Из табл.8 видно, что при имеющемся $I_{расч} = 200A$ (определенному из графика $I_{расч} = f(t)$) и желаемом конечном напряжении 1,8 В/эл при разряде в течение 30 минут может быть использована батарея 9GroE-225 ёмкостью 225А·ч имеющая ток 30-ти минутного разряда до напряжения 1,8 В/эл – 210,6А. Выбранную по значению разрядной ёмкости батарею необходимо проверить на возможность обеспечения требуемого уровня напряжений ($0,8 U_{ном} = 176В$) у потребителей.

Для определения потерь напряжения в цепи питания потребителей необходимо знать параметры цепи питания (длину, сечение, материал проводников и значение внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи, а кроме того значения токов протекающих по всем участкам сети питания). При этом расчетным режимом для определения потерь напряжения является режим аварийного исчезновения переменного напряжения в системе СН.

Методика определения потерь напряжения в сети постоянного тока приведена в приложении «И» СТО.

В том случае, если требуемый уровень напряжения не обеспечивается, необходимо либо применять АБ большой ёмкости, имеющей меньшее внутреннее сопротивление, либо уменьшить потери напряжения в цепи питания потребителей, увеличив сечения кабеля или изменив компоновку размещения потребителей и источников питания. Оптимальный вариант в этом случае требует расчётного обоснования. В том случае, если для обеспечения требуемого уровня напряжения требуется несоразмерное увеличение ёмкости АБ или неприемлемо большое сечение питающих кабелей, в цепи ввода рабочего питания ЩПТ следует установить стабилизатор, рассчитанный на длительное протекание тока аварийного разряда и обеспечивающего поддержание стабильного напряжения $+5\%U_{ном}$ на шинах ЩПТ в том числе и при толчковых нагрузках.

В случае использования в цепи питания ЩПТ стабилизатора напряжения, необходимость в проверке выбранной АБ по уровню напряжения у потребителей отпадает.

Таким образом, выбор ёмкости батареи не может рассматриваться отдельно от выбора сечения питающих линий и компоновки потребителей, то есть представляет комплексную задачу.

Разрядные характеристики аккумуляторов должны предоставляться поставщиками аккумуляторов.

Как показала практика, часты случаи предоставления характеристик в форме затрудняющей сравнение предлагаемых к поставке батарей с батареями других производителей, что является косвенным свидетельством желания поставщика скрыть какие-нибудь недостатки в характеристиках батарей. Приведенная выше методика выбора АБ является одной из самых простых и пригодна лишь в случаях равномерной нагрузки в режиме аварийного разряда.

Для более сложных графиков нагрузки с изменяющимся значением тока в процессе аварийного разряда следует использовать более сложные методики. Одна из наиболее совершенных методик приведена в приложении «В» СТО.

8. Стабилизаторы напряжения.

Обследования СОПТ электростанций показали, что чаще для обеспечения требуемого уровня напряжения у потребителей СОПТ, питающихся от 102-104 рабочих элементов АБ, и отсутствии элементов коммутатора и «хвостовых» элементов, а также при наличии значительных толчковых нагрузок в сочетании с протяженными цепями питания следует использовать стабилизаторы напряжения. Стабилизатор устанавливается в цепи ввода рабочего питания ЩПТ Рис 16

В нормальном режиме работы системы СН аккумуляторная батарея, состоящая, как правило, из 102-104 рабочих элементов, работает в режиме подзаряда от зарядно-подзарядного устройства. В случае возникновения аварийного режима — исчезновения переменного напряжения в системе СН (режим аварийного разряда), стабилизатор преобразовывает входное напряжение непосредственно от аккумуляторной батареи в выходное напряжение без промежуточного преобразования в переменный ток.

Стабилизатор позволяет лучше использовать ёмкость аккумуляторной батареи, так как в этом случае она может разряжаться до минимально допустимого значения, например до 1,65–1,7 вольта на элемент, при этом напряжение на шинах щита постоянного тока будет оставаться постоянным.

Стабилизатор позволяет уменьшить в несколько раз сечение кабеля, проложенного к нагрузке, так как можно не учитывать уменьшение напряжения на шинах щита при разряде аккумуляторной батареи.

Стабилизатор напряжения можно представить в виде трехполюсника, который вместе с зарядно-подзарядным устройством включается между АБ и щитом постоянного тока. АБ, зарядно-подзарядное устройство и стабилизатор являются источником, который запитывает щит постоянного тока (рис. 16).

Для обеспечения питания потребителей при выводе стабилизатора на техническое обслуживание или в ремонт, параллельно ему необходимо установить байпасный рубильник.

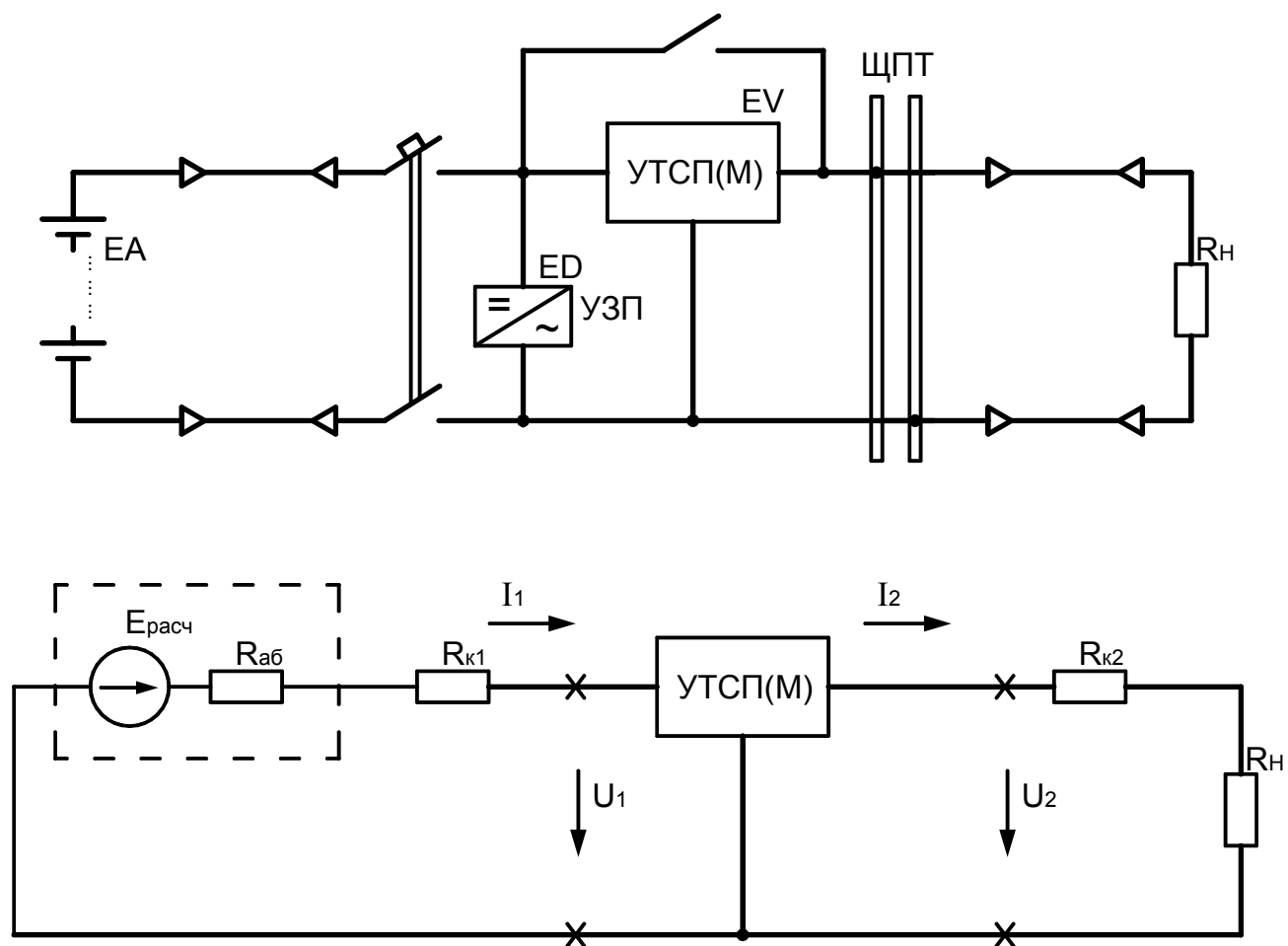


Рис. 16. Принципиальная схема включения устройства стабилизации напряжения типа УТСП(М) и схема замещения.

Серийный выпуск стабилизаторов был организован «Заводом Конвертор» в начале 90-х годов, это были тиристорные устройства УТСП, которые получили широкое распространение в системах СОПТ тепловых электростанций.

С 2008 года «Завод Конвертор» выпускает второе поколение стабилизаторов, это транзисторные устройства УТСП М. Стабилизаторы выпускаются на токи от 100 до 1000 А. На малые токи устройства предназначены для подстанций, на большие — для электростанций.

По своему принципу стабилизатор является повышающим параллельным стабилизатором, в котором последовательно с аккумуляторной батареей к нагрузке подключается дроссель. Накачка энергии в дросселе осуществляется параллельным ключом.

Конструктивно стабилизатор выполнен в виде параллельно включенных модулей. Каждый модуль состоит из двух коммутационных узлов (рис. 17) с общей системой управления, размещенных на одном охладителе. Номинальный ток модуля — 100 А. Количество модулей определяет номинальный ток устройства.

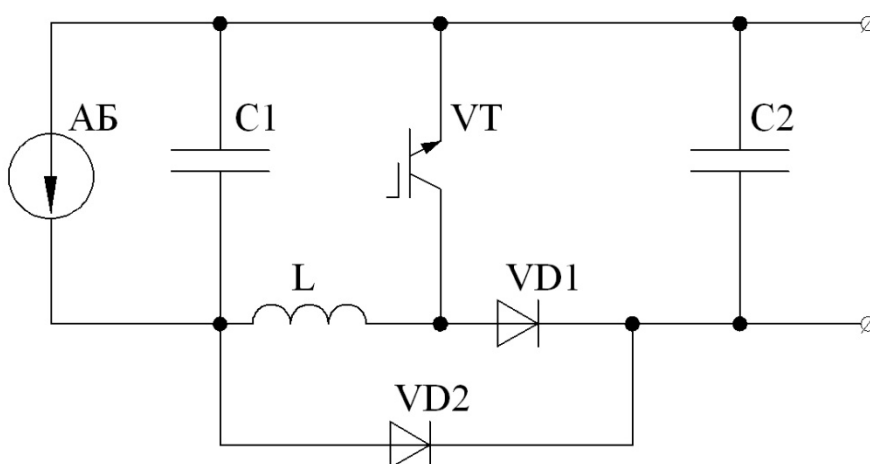


Рис. 17 Структурная схема узла коммутации

Благодаря такому построению схемы, отсутствует возможность потери постоянного тока, так как между аккумуляторной батареей и нагрузкой находятся только последовательно соединённые дроссель и диоды. Силовая схема стабилизатора обеспечивает наличие напряжения на шинах ЩПТ во всех режимах эксплуатации и состояния стабилизатора, а так же при его отключении. В этом случае система управления стабилизатором снимает коммутацию, и напряжение на выходе стабилизатора становится равным напряжению на входе.

Стабилизатор можно подключать через трехполюсный коммутационный аппарат. В этом аппарате не должно быть функций защиты, так как при срабатывании коммутационного аппарата без включения байпасного рубильника, про-

исходит обесточивание щита постоянного тока. Защиту стабилизатора от внутреннего короткого замыкания осуществляют предохранители в коммутационном узле, защиту щита постоянного тока должны осуществлять выключатели на вводе АБ и зарядно-подзарядного устройства.

Исходя из принципа работы стабилизатора, на его входе и выходе устанавливаются конденсаторы большой емкости, поэтому при его включении возможны большие пусковые токи. Для уменьшения этих токов перед подачей напряжения на стабилизатор, необходимо зарядить конденсаторы через нелинейное сопротивление, а коммутационный аппарат, через который стабилизатор включается, должен иметь дугогасительную систему.

Стабилизатор — один из основных элементов системы СОПТ, поэтому он должен обладать высокой надежностью. Более 99% времени не требуется, чтобы стабилизатор работал, то есть повышал напряжение аккумуляторной батареи. Поэтому стабилизатор имеет систему диагностики и самопроверки, которая контролирует работу устройства и заранее определяет возможные неисправности. Высокая надежность стабилизатора обеспечивается простотой силовой схемы, отсутствием звена переменного тока и последующего выпрямления. Для простой силовой схемы требуется относительно простая система управления. Все это позволило получить высокую надежность, так для устройства УТСП М наработка на отказ, полученная по результатам эксплуатации, составляет несколько миллионов часов.

Непосредственное преобразование постоянного тока в постоянное, используемое в стабилизаторе, помимо простоты позволяет получить высокое КПД, которое для устройства УТСП М равно 98,8 %.

При аварийном исчезновении напряжения в системе СН станции либо отключении зарядно-подзарядных агрегатов, стабилизатор обеспечивает требуемое напряжение на шинах ЩПТ, при этом ток в цепи АБ превышает ток потребляемый нагрузкой. При этом в соответствии с законом сохранения энергии соблюдается условие:

$$I_1 \cdot U_1 = \frac{I_2 \cdot U_2}{\eta}, \quad (8.1)$$

где U_1 — напряжение на входе стабилизатора;

I_1 — ток в цепи аккумуляторной батареи;

U_2 — напряжение на выходе стабилизатора;

I_2 — ток нагрузки СОПТ;

$\eta = 0,98$ — коэффициент полезного действия стабилизатора.

Напряжение на выходе стабилизатора обычно принимается равным $+5\%U_{\text{ном}}=231\text{В}$. С учетом того, что напряжение на выходе тиристорного стабилизатора типа УТСП на несколько вольт превышает напряжение на входе (обычно 3–4В), то для получения напряжения 231В при напряжении подзаряда АБ 2,32В достаточно подключить ко входу стабилизатор 102 элемента АБ. При использовании транзисторного стабилизатора УТСП(М) не требуется превышение значения выходного напряжения над значением входного напряжения и для обеспечения требуемого напряжения 231В используется 103-104 элемента АБ. По мере разряда батареи напряжение на входе стабилизатора будет снижаться и для выполнения равенства (8.1) при постоянстве выходного напряжения необходимо пропорционально увеличивать ток получаемый от аккумуляторной батареи. При известных напряжении на выходе стабилизатора и токе нагрузки в режиме аварийного разряда значение тока в цепи ввода питания от АБ может быть определено из уравнения:

$$I_1^2 \cdot (R_{\text{АБ}} + R_{K_1}) - I_1 \cdot E_{\text{расч}} + \frac{I_2 \cdot U_2}{\eta} = 0 \quad (8.2)$$

где $R_{\text{АБ}}$ — внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи;

R_{K_1} — сопротивление цепи ввода рабочего питания;

$E_{\text{расч}} = 1,93 \cdot n_{(\text{В})}$ — расчетная ЭДС аккумуляторной батареи при принятом количестве элементов n ;

Решение квадратичного уравнения (8.2) является положительное значение корня, определяемого выражением:

$$I_1 = \frac{-E_{\text{расч}}^2 \pm \sqrt{E_{\text{расч}}^2 - \frac{4 \cdot (R_{\text{АБ}} + R_{K_1}) \cdot I_2 \cdot U_2}{\eta}}}{2 \cdot (R_{\text{АБ}} + R_{K_1})}. \quad (8.3)$$

Расчеты показывают, что обычно ток в цепи АБ превышает ток в цепи нагрузки в 1,15–1,35 раза, и для практических расчетов в том числе и при выборе аккумуляторной батареи допустимо принимать значение $I_1 = 1,25 \cdot I_2$.

Длительность работы стабилизатора типа УТСП(М) в режиме стабилизации не ограничивается при значении тока в цепи АБ не выше 1,35 номинального тока стабилизатора.

В диапазоне токов на входе стабилизатора от $I_1 = 1,35I_{\text{ном}}$ до $I_1 = 2,7I_{\text{ном}}$ (что соответствует току нагрузки $I_2 = 2I_{\text{ном}}$) стабилизация осуществляется в течение не более 5 секунд.

При значении тока нагрузки сверх $2I_{\text{ном}}$ (и соответственно токе $I_1 > 2,7I_{\text{ном}}$) выходное напряжение может не стабилизироваться и оно вычисляется из формулы 8.1. Через 5 секунд снимается коммутация в стабилизаторе и стабилизатор представляет собой диод включенный между плюсом АБ (для транзистор-

ного варианта стабилизатора) и плюсовой шиной ЩПТ. Падение напряжения на этом диоде составляет от 2 до 3 В. Максимальный пропускаемый ток через стабилизатор должен быть не более $15I_{\text{ном}}$.

Значение минимального напряжения на входе стабилизатора, при котором обеспечивается режим стабилизации, определяется по формуле:

$$U_{1\min} = \frac{I_2 \cdot U_2}{2.7 \cdot \eta \cdot I_{\text{ном}}}, \quad (8.4)$$

где $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток стабилизатора.

Таким образом, АБ и стабилизатор можно представить в виде источника постоянного напряжения до величины тока в цепи АБ равной 2,7 номинального тока стабилизатора.

Наиболее тяжелым режимом эксплуатации стабилизатора является включение байпасного рубильника при работе стабилизатора. При этом происходит объединение входа стабилизатора с его выходом, через рубильник начинает протекать ток значительно превосходящий номинальный. Для исключения этого режима, при включении байпасного рубильника необходимо отключать стабилизатор, если это не произошло, стабилизатор ограничивает ток на уровне 2,7 номинального тока и через 5 секунд отключается. Если при повторном включении ток через стабилизатор не уменьшился, он отключается и выдает сигнал о перегрузке.

9. Зарядные и подзарядные устройства.

Для осуществления заряда и подзаряда аккумуляторной батареи в системах оперативного постоянного тока используются зарядные и подзарядные устройства.

Подзарядные устройства должны обеспечивать подзаряд аккумуляторной батареи (АБ) постоянным стабилизированным напряжением. Значение напряжения поддерживающего заряда устанавливается по рекомендациям производителя АБ и должно обеспечивать компенсацию потерь ёмкости, вызванных саморазрядом или кратковременным разрядом.

При нормальном режиме работы СОПТ подзарядные устройства обеспечивают питание постоянной нагрузки СОПТ.

Зарядные устройства должны обеспечивать заряд АБ любым из рекомендованных производителем АБ способом, включая уравнительный и ускоренный заряд.

Исходя из различного назначения устройств, к ним выдвигаются свои технические требования.

Основные технические требования к подзарядным устройствам.

Подзарядные устройства должны обеспечивать выполнение следующих основных технических требований:

1. Точность стабилизации напряжения в режиме поддерживающего заряда не должна превышать $\pm 1\%$.

Большинством производителей подзарядных устройств обеспечивается значение точности стабилизации не более $\pm 0,5\%$.

2. Пульсации выходного тока не должны превышать 5 А на 100 Ач.

Замерить величину пульсаций тока без АБ затруднительно, поэтому требование по пульсациям выходного тока заменяется на требование по пульсациям выходного напряжения.

Величина пульсации напряжения должна быть такой, чтобы мгновенное напряжение АБ с учетом точности поддержания напряжения было не менее 2,05 В на элемент.

Коэффициент пульсаций можно вычислить по формуле:

$$K_{\text{пульс}} = \frac{(U_{\text{подз}} \cdot (1-k) - E_{\text{АБ}})}{\sqrt{2} \cdot U_{\text{подз}}}, \quad (8.1)$$

где $U_{\text{подз}}$ — напряжение подзаряда элемента АБ (значение, рекомендованное производителем АБ — 2,23В);

k — точность стабилизации — 1%;

$E_{\text{АБ}}$ — ЭДС элемента АБ.

Таким образом:

$$K_{\text{пульс}} = \frac{(2,23 \cdot 0,99 - 2,05)}{2,23 \cdot \sqrt{2}} = 5\% \quad (8.2)$$

При большей величине пульсаций мгновенное напряжение АБ становится меньше 2,05 В, происходит микроцикл разряда, что приводит к уменьшению срока службы аккумуляторной батареи.

3. Номинальный выходной ток подзарядного устройства должен обеспечивать подзаряд АБ одновременно с питанием постоянной нагрузки СОПТ;

4. Контроль состояния АБ.

Под этим требованием понимается контроль целостности цепи «подзарядное устройство–АБ». Эта функция реализуется в подзарядном устройстве или на ЩПТ. Контроль цепи «подзарядное устройство–АБ» осуществляется следующим образом: производится изменение выходного напряжения подзарядного устройства и контролируется изменение тока в цепи АБ.

5. Термокомпенсация напряжения подзаряда.

В случае, когда оборудование СОПТ располагается в капитальных сооружениях, данное требование не является актуальным, т.к. в таких помещениях поддерживается практически постоянная температура.

Основные технические требования к зарядным устройствам.

Зарядные устройства должны обеспечивать выполнение следующих основных технических требований:

1. Напряжение и номинальный ток зарядного устройства должны быть достаточными для заряда АБ любым из рекомендованных производителем АБ методов.

Ток заряда, как правило, находится в диапазоне от $0,15C_{10}$ до $0,3C_{10}$, где C_{10} — ёмкость АБ;

2. Зарядное устройство должно автоматически обеспечивать любой метод заряда АБ — UI, U, IUI. Переход с одной ступени заряда на другой должен осуществляться автоматически по достижению выставленного значения тока или напряжения, или по истечении заданного времени заряда.

3. При напряжении АБ более 2,3 В на элемент в помещении АБ должна быть включена принудительная вентиляция, в противном случае зарядное устройство должно отключиться или перейти в режим подзаряда;

Общие требования к зарядным и подзарядным устройствам.

Помимо специфических требований к зарядным и подзарядным устройствам выдвигаются общие требования:

1. Гальваническая развязка входных и выходных цепей;
2. Максимальный коэффициент мощности (не менее 0,9);
3. Коэффициент полезного действия не менее 93%;
4. Параллельная работа нескольких устройств на одну АБ;
5. Срок службы не менее 20 лет;
6. Нарботка на отказ не менее 100 000 часов;
7. Малое время восстановления;
8. Гарантийный срок не менее 3-х лет;
9. Высокая ремонтпригодность;
10. Степень защиты не хуже IP21;
11. Группа механического исполнения не хуже M13;
12. Климатическое исполнение не хуже УХЛ4.2;
13. Естественное охлаждение.

Это требование не связано с ненадежностью вентиляторов, т.к. в настоящее время они имеют большой ресурс, однако применение принудительной вентиляции требует установки противопыльных фильтров, которые быстро забиваются и требуют частой замены, что представляет определенную сложность при эксплуатации. Эта сложность несёт больше организационно-снабженческий характер, чем технический.

14. После восстановления питания устройства должны продолжить работу в прежнем режиме с прежними параметрами;
15. Требования по электромагнитной совместимости;
16. Требования на пожарную безопасность;
17. Требования по безопасности;
18. Требования по эргономике;
19. Устройства должны интегрироваться в АСУ энергообъекта с применением стандартного протокола.

Зарядно-подзарядные устройства.

Если устройство обеспечивает требования, предъявляемые как к зарядному, так и подзарядному устройствам, — оно может использоваться как единое зарядно-подзарядное устройство.

Зарядно-подзарядные устройства различаются по примененным силовым приборам на тиристорные, диодно-тиристорные и транзисторные.

Конструктивно зарядно-подзарядные устройства бывают моноблочными или модульными.

В тиристорных и диодно-тиристорных устройствах обычно используется трехфазная мостовая силовая схема. В транзисторных устройствах используются мостовая или полумостовая силовые схемы, иногда встречаются гибридные устройства с сетевым трансформатором и ШИМ преобразователем.

Тиристорные (рис. 18) и диодно-тиристорные (рис. 19) зарядно-подзарядные устройства выпускаются уже не одно десятилетие. При этом их силовая схема — трехфазный мост, остается без изменения. Единственным отличием является обязательное наличие LC-фильтра, который раньше не всегда устанавливался. Основной прогресс в данном классе устройств произошел в связи с применением микроконтроллеров в системах управления и мониторинга. Значительно упростилась эксплуатация устройств, реализуются различные дополнительные сервисные функции, для задания уставок не используются потенциометры, они задаются в цифровом виде и их всегда можно проконтролировать на дисплее. Сами системы управления стали аналого-цифровыми или чисто цифровыми. Вертикальная синхронная система управления используется редко. Так к примеру, в устройствах производства ЗАО «Завод Конвертор» используется

асинхронная астатическая система управления со встроенной моделью выпрямителя. Такая система управления не зависит от формы входного напряжения и ее частоты. Аналого-цифровые системы управления по сравнению с цифровыми позволяют получить более высокое быстродействие и, как следствие, лучшие динамические характеристики. Но для тиристорных, а тем более для диодно-тиристорных устройств, это непринципиальное достоинство, так как быстродействие их ограничено принципом преобразования переменного тока в постоянный. С точки зрения пульсации выходного напряжения и качества регулирования тиристорные устройства предпочтительнее диодно-тиристорных. Почти все тиристорные зарядно-подзарядные устройства являются моноблочными, модульных тиристорных устройств практически не производится.

Транзисторные зарядно-подзарядные устройства (рис. 21) выпускаются последние 10–15 лет, с тех пор как появились мощные IGBT и MOSFET транзисторы. Первыми появились гибридные устройства с сетевым трансформатором и диодным выпрямителем, после которого было несколько параллельно работающих ШИМ преобразователей. Так как в них использовались MOSFET транзисторы на небольшой ток, мощность каждого преобразователя была около 3–4 кВт. MOSFET транзисторы позволяют использовать высокую частоту преобразования, благодаря которой получаются низкие пульсации.

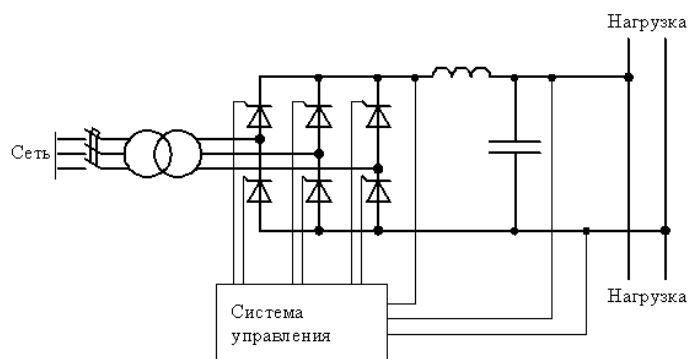


Рис. 18 Структурная схема тиристорного зарядно-подзарядного устройства.

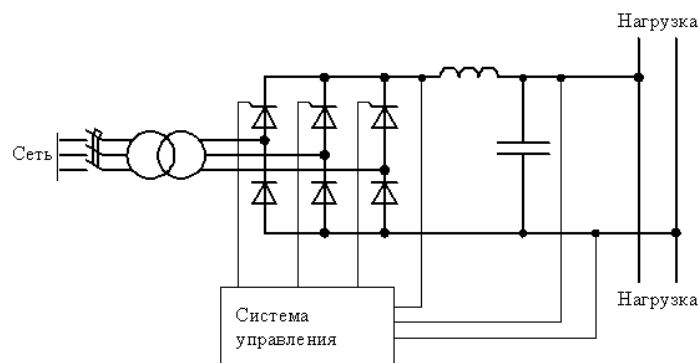


Рис. 19 Структурная схема диодно-тиристорного зарядно-подзарядного устройства.

Гибридные устройства (рис. 20) имеют высокую стоимость по сравнению с тиристорными устройствами и худшие массогабаритные показатели по сравнению с транзисторными. Из-за не большой мощности ШИМ преобразователя они делаются многомодульными.

Развитие полупроводниковых технологий позволило создать транзисторные зарядно-подзарядные устройства, в которых применяются высокочастотные IGBT транзисторы. Такие устройства имеют высокие КПД и коэффициент мощности, небольшие размеры, так как отсутствует сетевой трансформатор, хорошие динамические характеристики. Первые устройства были с принудительным охлаждением, сейчас выпускаются устройства с естественным охлаждением. Единичная мощность транзисторных устройств не превышает 10–16 кВт, поэтому на большие токи транзисторные устройства выпускаются в модульном исполнении.

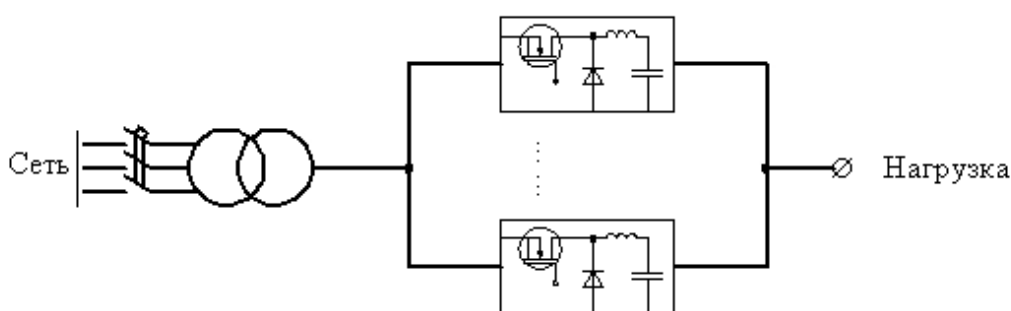


Рис. 20 Структурная схема гибридного зарядно-подзарядного устройства.

Сравним тиристорные и транзисторные зарядно-подзарядные устройства. Так как многие параметры зарядно-подзарядных устройств у большинства производителей является закрытой информацией, этот анализ будет сделан на сравнении выпускаемых «Заводом Конвертор» тиристорных устройств типа УЗП и транзисторных устройств типа УЗП-М (рис. 21).

Стоимость.

Стоимость транзисторного модуля на 40А ниже стоимости аналогичного по мощности тиристорного. Это связано с отсутствием в транзисторном устройстве сетевого трансформатора, стоимость которого равна практически половине стоимости устройства. Стоимость транзисторного устройства на 80А немного ниже тиристорного устройства на 100А. При дальнейшем увеличении тока стоимость транзисторного устройства становится дороже тиристорного. Это связано с тем, что стоимость транзисторного устройства практически прямо пропорционально количеству установленных модулей. Для тиристорного моноблочного устройства удельная стоимость уменьшается при увеличении номинального тока.

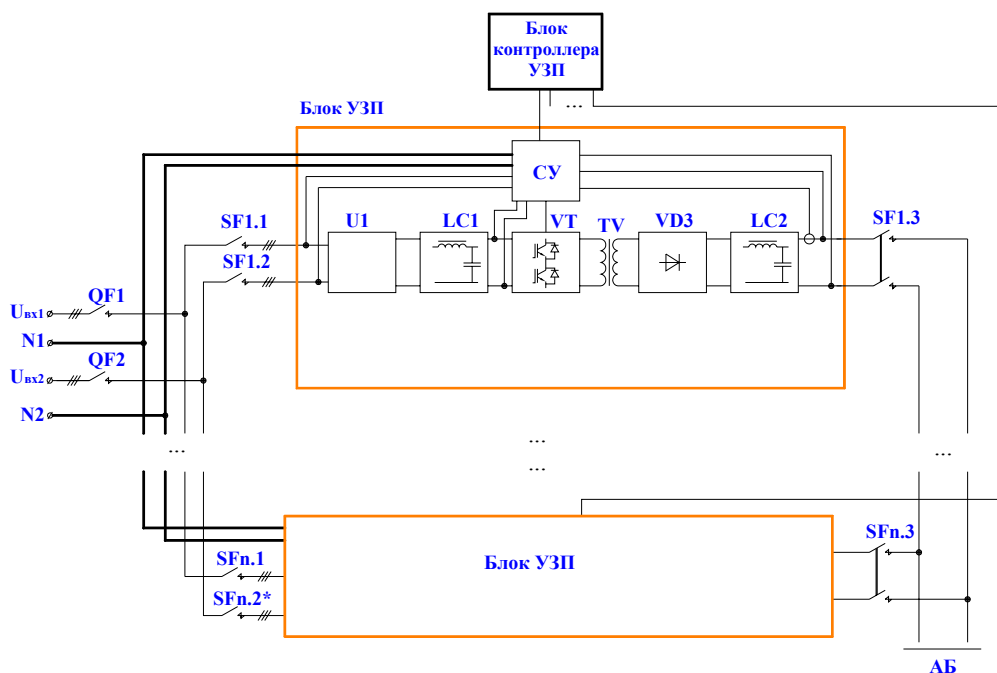


Рис. 21 Структурная схема транзисторного зарядно-подзарядного устройства УЗП-М производства ЗАО «Завод Конвертор».

Надежность.

Надежность тиристорных устройств выше надежности транзисторных устройств. Это связано со значительно большей надежностью и перегрузочной способностью тиристорных устройств, как полупроводниковых приборов по сравнению с высокочастотными транзисторами и частотными диодами, которые используются в транзисторных устройствах. Перегрузочная способность силовых приборов очень важный параметр, так как возможны перегрузки, возникающие в динамических режимах и при перенапряжениях в сети питания. В транзисторных устройствах приходится ставить специальные ограничители импульсных перенапряжений для снижения влияния низкого качества питающей сети. Количество силовых приборов и микроэлектроники у транзисторного устройства пропорционально количеству модулей, следовательно, суммарная надежность транзисторного устройства снижается с увеличением номинального тока устройства. У тиристорного моноблочного устройства количество элементов в силовой части и система управления не зависят от номинального тока, и его надежность практически одинакова для всех мощностей. Анализ выпущенных предприятием ЗАО «Завод Конвертор» устройств УЗП показывает почти полное отсутствие отказов в силовой части тиристорных устройств.

Динамические характеристики.

Транзисторные зарядно-подзарядные устройства имеют частоту преобразования 10–15 кГц, что позволяет получить значительно лучшие динамические характеристики, чем у тиристорных устройств, работающих на частоте 300 Гц. Так коэффициент пульсаций у транзисторного устройства УЗП-М менее 0,1%, у тиристорного УЗП — 0,5%.

Массогабаритные характеристики.

Так как в транзисторных устройствах отсутствует сетевой низкочастотный трансформатор, они имеют значительно лучшие массогабаритные характеристики, чем тиристорные устройства.

Ремонтопригодность.

Сложность современных зарядно-подзарядных устройств практически не позволяет их ремонтировать на объекте эксплуатации. Единственное, что можно сделать, это заменить тиристор. В тиристорном устройстве неисправная система управления, выполненная на одной плате, меняется целиком. В транзисторном устройстве необходимо менять весь модуль.

Модульность.

Как отмечалось выше модульность транзисторных устройств связана с невозможностью создать устройство на большой ток. Однако при этом повышается надежность зарядно-подзарядного устройства, так как выход из строя одного или даже нескольких модулей не приводит к выходу из строя всего устройства. Но это можно обеспечить, если у модульного устройства будет минимальное количество общих узлов, выход из строя, которых приводит к выходу из строя всего зарядно-подзарядного устройства. Если количество таких узлов еще можно минимизировать, то общий для всех модулей корпус всегда остается, и возгорание одного модуля может привести к потере всего устройства. Таким образом, нельзя ограничиться одним зарядно-подзарядным устройством на батарею. Всегда необходимо иметь возможность подключить резервное зарядно-подзарядное устройство, которое может быть даже одно на несколько батарей.

Выводы. Исходя из стоимостных и технических характеристик зарядно-подзарядных устройств, на настоящее время наиболее оптимальным является вариант использования на токи до 80А транзисторных устройств, а на токи от 120А — тиристорных. При токах от 80 до 120А могут использоваться как транзисторные, так и тиристорные зарядно-подзарядные устройства.

10. DC-DC преобразователи напряжения

Применение гальванически развязывающих DC-DC преобразователей напряжения возможно в следующих случаях:

1. Для питания ответственных потребителей постоянного тока особо чувствительных к форме напряжения питания;
2. Для питания группы потребителей, имеющих большую емкость относительно «земли»;
3. Для питания группы потребителей, имеющих малое суммарное сопротивление;
4. Для питания группы потребителей, имеющих разветвленную сеть, в которой возможно частое снижение изоляции.

Исходя из этих задач, преобразователи напряжения желательно устанавливать в непосредственной близости от конечных потребителей постоянного тока, для которых необходимо обеспечить повышенную помехозащищенность.

Преобразователи должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Гальваническая развязка между выходным и входным напряжениями;
2. Требуемый уровень напряжения на клеммах потребителей во всех режимах работы СОПТ;
3. Наличие устройства, контролирующего сопротивление изоляции;
4. Мощность преобразователя напряжения должна быть достаточной для питания его нагрузки и обеспечения селективного отключения коммутационной аппаратуры;
5. Коэффициент пульсаций выходного напряжения должен быть не более 0,5% во всем диапазоне допустимых нагрузок;
6. Сигнализация о неисправности или выходе уровня выходного напряжения за допустимые пределы;
7. Защита цепей от металлических и дуговых КЗ;
8. Естественное охлаждение;
9. Параллельная работа нескольких преобразователей для обеспечения требуемой мощности;
10. Интеграция в АСУ энергообъекта с применением стандартного протокола

Преобразователь напряжения является источником ограниченной мощности, поэтому обеспечение селективности защит на его выходе может явиться сложной задачей, для решения которой возможно применение выносной селективной защиты.

Схемотехнически DC-DC преобразователь напряжения выполняется на базе модуля транзисторного зарядно-подзарядного устройства без входного выпрямителя (рис. 22). Конструктивно преобразователь размещается в шкафу, где так же могут быть размещены коммутационные аппараты для подключения фидеров, формироваться шинка мигания. Фактически, это мини щит постоянного тока с питанием от аккумуляторной батареи. Одним из вариантов реализации преобразователя напряжения с гальванической развязкой является шкаф питания оперативной блокировки.

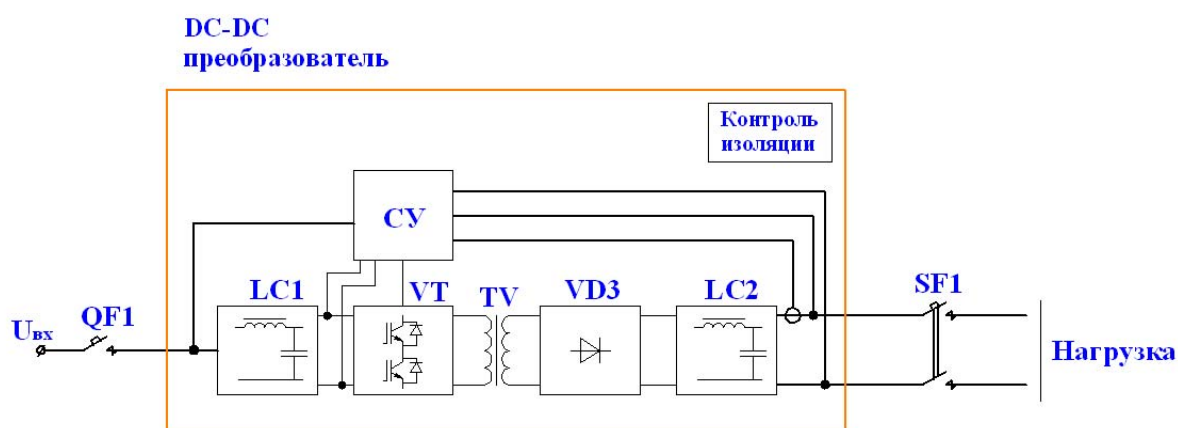


Рис.22 Структурная схема DC-DC преобразователя производства ЗАО «Завод Конвертор»

Большим достоинством преобразователя напряжения является его возможность поддерживать выходное напряжение в требуемом диапазоне, как при заряде АБ, так и при ее разряде. По своим характеристикам он не выдвигает к АБ почти никаких требований и является не чувствительным к форме питающего напряжения.

Классическим примером DC-DC преобразователя является преобразователь для питания оперативной блокировки. Как правило, он состоит из двух взаиморезервируемых преобразователей, каждый преобразователь питается от своего источника постоянного или переменного тока. Обязательно имеется устройство контроля изоляции.

Согласно протоколу технического совещания ФСК ЕЭС по теме «О питании цепей телесигнализации» применение таких преобразователей рекомендовано для питания дискретных входов, что позволяет значительно уменьшить вероятность ложного срабатывания защит и облегчить режимы работы автоматических устройств контроля изоляции и поиска фидера с пониженной изоляцией.

11 Распределительные щиты и шкафы системы оперативного постоянного тока

11.1 Щит постоянного тока (ЩПТ) предназначен для подключения источников питания (аккумуляторных батарей и зарядно-подзарядных устройств), устройств стабилизации напряжения (при наличии) и распределения электроэнергии по группам электроприемников СОПТ.

11.2 Шкафы щитов постоянного тока должны удовлетворять следующим требованиям:

- Количество ЩПТ на ГЭС (ГАЭС) должно быть, как правило, равно числу АБ.
- В пределах каждого ЩПТ должно обеспечиваться размещение коммутационных и защитных аппаратов, устройств контроля изоляции, устройств мониторинга, устройств защиты от перенапряжений, местной сигнализации, рядов клемм для присоединения кабельных линий.
- По требованию заказчика ЩПТ может иметь устройство «мигающего плюса».
- 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.
- Следует избегать размещения аппаратуры и токоведущих частей в замкнутых объемах (аналогичных конструкции КРУЭ-0,5), так как это способствует стабильному горению дуги при дуговых КЗ и может быть причиной значительного повреждения оборудования.
- Щит постоянного тока должен размещаться в шкафах двухстороннего обслуживания, иметь открывающиеся дверцы на лицевой и тыльной стороне, позволяющие выполнять технический контроль и оперативное управление. Другое исполнение ЩПТ может применено при соответствующем обосновании.
- Электрические соединения аппаратов внутри щита должны быть выполнены изолированными проводами с медными жилами и медными шинами.
- На ЩПТ должны быть применены коммутационные устройства, предназначенные для выполнения операций под нагрузкой и позволяющие выполнять операции включения отключения без дополнительных защитных средств.
- Применяемая защитная и коммутационная аппаратура должна быть предназначена для использования в цепях постоянного тока
- Применяемая защитная аппаратура, как правило, должна быть стационарного или втычного исполнения.

- Измерительная аппаратура (амперметры, вольтметры), аппаратура управления и сигнализации должны быть установлены на дверях шкафа, там же располагается мнемосхема с индикацией положения коммутационной аппаратуры.
- Размещение органов управления и средств отображения информации о состоянии СОПТ должно соответствовать рекомендациям ГОСТ 12.2.033-78.

Конструкция щита постоянного тока.

Конструктивно щит постоянного тока состоит из шкафов, имеющих степень защиты не менее IP21 (обычно IP31). Типовые шкафы имеют следующие габариты: 2000х 800(600)х600 мм (ВхШхГ). Возможны исполнения с иными габаритами.

Основу шкафа составляет сборный каркас из оцинкованного профиля, к которому крепится аппаратура, двери и боковые цельнометаллические панели. В верхней части шкафа располагаются силовые шины, которые проходят через все шкафы секции щита постоянного тока.

Монтаж оборудования внутри щита постоянного тока осуществляется медными шинами или проводом, укладываемым в пластмассовые короба или имеющего дополнительную пластмассовую оплетку, что позволяет значительно снизить риск внутренних коротких замыканий и появлению «земли» в шкафах щита постоянного тока.

Система шин выбирается из расчета максимально возможного тока и обеспечения тепловой и динамической устойчивости.

Все потребители щита постоянного тока подключаются к нему через клеммные колодки, выбранные из расчета отходящего кабеля.

Все контактные соединения выполнены с помощью специальных тарельчатых пружинных электротехнических шайб, поэтому контактные соединения не требуют перетяжки во время эксплуатации.

Конструкция шкафов щита постоянного тока позволяет осуществлять замену установленной в них аппаратуры с минимальными трудозатратами и без демонтажа другой аппаратуры.

Вся аппаратура в шкафах щита постоянного тока закрывается съемными металлическими панелями (пластронами), позволяющими оперировать коммутационной аппаратурой и контролировать состояние, установленного в шкафу оборудования, одновременно значительно улучшая безопасность обслуживания.

Внешние цепи управления после ввода в шкафы подключаются на клеммные колодки. Крепление проводников и аппаратов, присоединение проводников к зажимам, способ нанесения маркировки зажимов и концов проводников, а также позиционных обозначений аппаратов и функциональных надписей или

символов производится по документации предприятия–изготовителя ЩПТ. Защитные проводники РЕ устанавливаются на элементы металлоконструкции шкафов и имеют непосредственное электрическое соединение с каркасом и конструктивными элементами шкафов. Дверцы шкафов соединяются с каркасом медным, гибким проводом сечением не менее 2,5 кв. мм для защитного уравнивания потенциалов. С фасадной стороны шкафы ЩПТ имеют цельнометаллические двери с установленными на них приборами и сигнальными лампами. На дверях ЩПТ нанесена мнемосхема.

Коммутационная аппаратура.

Для защиты вводных и отходящих цепей на щите постоянного тока используется аппаратура, применение которой в цепях постоянного тока, разрешено производителем аппаратуры.

К таким аппаратам относятся выключатели – предохранители Varius производства компании OEZ (входит в концерн Симменс), RBK производства компании Apatog. В выключатели – предохранители устанавливаются типовые предохранители с характеристикой gG, выполняющие защиту, как от перегрузки, так и от короткого замыкания. Типоразмер предохранителей зависит от номинального тока.

Для возможности мониторинга состояния предохранителей в выключателях-разъединителях-предохранителях типа FN предусмотрены контакты состояния предохранителей и контакты положения крышки разъединителя. Контакты состояния расположены непосредственно в крышке аппарата. На предохранителях NV/NH ножевых типов имеется индикатор срабатывания, который и используется для нажатия на контакт сигнализации.

Если небольших габаритах щита вместо ножевых предохранителей устанавливаются цилиндрические предохранители также с характеристикой gG. В качестве выключателей мультиблоки типа OPV.

Выключатели – предохранители позволяют производить операции включения-отключения и замену предохранителей без применения дополнительных защитных средств.

Автоматические выключатели, устанавливаемые на ЩПТ, используются только в исполнении на постоянный ток и с ручным приводом. В качестве селективных автоматических выключателей используются выключатели типа ВА55 и ВА09 с электронным блоком управления или обычные выключатели, в которых не устанавливаются или отключаются встроенный защиты, с выносной селективной микропроцессорной защитой. Применение выносной селективной защиты осуществляется в соответствии с циркуляром Ц-03-90.

По мимо селективных выключателей на щите устанавливаются выключатели в литом корпусе с электромагнитным и тепловым расцепителем, а также модульные выключатели.

В качестве выключателей в литом корпусе применяются выключатели отечественного производства ВА04-36 и ВА57-35 и импортные выключатели NSX (фирма Шнайдер Электрик) и Tmax (фирма ABB).

В качестве модульных выключателей, как правило, применяются выключатели типа LPN-DC (фирма OEZ) и типа S282UC (фирма ABB). Возможно применение других выключателей и других производителей. Все фидерные выключатели имеют дополнительный контакт положения и срабатывания.

На щите постоянного тока устанавливаются рубильники, обеспечивающие видимый разрыв. В качестве рубильников используются выключатели – предохранители, с установленными вместо предохранителей короткозамыкателями, рубильники типа ОТ, производства фирмы ABB, рубильники – выключатели нагрузки типа ВНК, производства Корневского ОАО НВА. Все перечисленные аппараты допускают коммутацию под нагрузкой цепей постоянного тока. Если рубильник используется только для создания видимого разрыва и его коммутация под нагрузкой исключена, можно использовать рубильники типа ВР32.

Рубильник-разъединитель – устройство, обеспечивающее безопасное ручное отключение номинальных и сверхтоков без использования дополнительных защитных средств. Видимый разрыв позволяет визуально судить о положении контактов и обеспечивает безопасное обслуживание отключаемой цепи. В производстве ЩПТ применяются рубильники- разъединители только с видимым разрывом. Рубильники- разъединители применяются в цепях, где необходимо разрывать цепь питания для обслуживания или выполнять резервирование. А также в цепях, где не требуются защитные функции от коммутационного аппарата.

Рубильники-разъединители серии ОТ и ВНК характеризуются компактностью конструкции и обладают рядом технических решений:

- ~ двойной разрыв каждого полюса;
- ~ установленные дугогасительные камеры;
- ~ электродинамический компенсатор;
- ~ ручной привод независимого от оператора действия (усилие, прикладываемое на ручку управления, не влияет на скорость перемещения контактов)
- ~ прозрачные окна в крышке выключателя позволяют визуально проконтролировать видимый разрыв;
- ~ надежная индикация положения контактов (ручка управления надежно указывает положение контактов в положении Вкл. и Откл.).

Рубильники-разъединители снабжены дополнительными контактами, обеспечивающими сигнализацию их положения (Вкл./Откл.).

На щите постоянного тока возможна установка коммутационной аппаратуры других производителей согласованных с Заказчиком.

Нельзя использовать в качестве коммутационных аппаратов кулачковые выключатели, которые совершенно не предназначены для работы на постоянном токе. При коммутации ими особенно длинных линий, имеющих большую индуктивность, происходит образование дуги, для ее гашения в конструкции переключателя ничего не предусмотрено и переключатель выгорает.

12. Принципы построения и требования к схемам СОПТ.

12.1 Построение схемы электрических соединений СОПТ осуществляется в комплексе с компоновкой электрооборудования, выбором источников питания защитной аппаратуры и кабелей с учетом конфигурации существующих (при реконструкции) либо проектируемых кабельных трасс. Конфигурация схемы электрических соединений проектируемой либо реконструируемой СОПТ определяется следующими требованиями:

- обеспечение требуемого уровня напряжений у потребителей как в нормальном режиме работы, так и в режиме аварийного разряда;
- возможность выполнения селективной защиты питания потребителей СОПТ от металлических и дуговых КЗ;
- обеспечение возможности нормальной эксплуатации аккумуляторных батарей и цепей вводов рабочего и резервного питания ЩПТ, что подразумевает возможность организации регламентных и ремонтных работ по обслуживанию АБ и цепей вводов рабочего и резервного питания ЩПТ (проведение контрольных разрядов, ускоренного заряда, замена дефектных элементов АБ, ремонт или настройка защитных и коммутационных аппаратов в цепях вводов питания и т.п.) без потери или снижения надежности питания потребителей СОПТ.
- обеспечение возможности проведения ремонтных и регламентных работ без ограничения режимов работы основного оборудования и снижения надежности и питания потребителей СОПТ;
- при реконструкции СОПТ схема электрических соединений и применяемое оборудование должны обеспечить возможность поэтапной реконструкции без ограничения режимов работы основного оборудования;
- схема электрических соединений СОПТ должна быть проста и наглядна (для уменьшения вероятных ошибок при оперативных переключениях).

12.2 Наиболее рациональным путём реализации перечисленных выше требований особенно с точки зрения возможности поэтапной реализации при реконструкции является методика формирования схемы из функциональных узлов таких как:

- панель ввода питания от АБ и преобразовательных устройств;
- устройства заряда-подзаряда;
- устройства стабилизации;
- панель распределения;
- панель аварийного освещения.

Принципиальные схемы типовых панелей ввода питания от АБ и преобразовательных устройств приведены на рисунках 23, 24, 25.

12.3 Панель ввода рабочего питания устанавливается в непосредственной близости от аккумуляторной батареи.

При реконструкции СОПТ целесообразно размещение панели ввода, зарядно-подзарядных агрегатов и устройства стабилизации в выделенном электро-техническом помещении на освобождающихся площадях при замене крупногабаритных аккумуляторных батарей типа СК на более компактные современные малообслуживаемые батареи.

Панель ввода питания является полноценным функциональным узлом, позволяющим обеспечить питанием, как вновь устанавливаемого распределительного щита, так и существующего ЩПТ при реконструкции, оставляя при этом за существующим ЩПТ функции распределительного щита, что позволяет осуществлять поэтапную реконструкцию СОПТ без ограничения режимов работы основного оборудования.

В зависимости от условий панель ввода (рис. 23) может быть выполнена без включения в цепь рабочего питания устройства стабилизации, сохраняя при этом все достоинства возможной компоновки оборудования СОПТ. В этом случае выключатели нагрузки QS-5, 6 и шина +EV в панели ввода не устанавливаются.

В том случае, если проектируемый либо реконструируемый ЩПТ может быть размещен в непосредственной близости от АБ и использование стабилизатора в цепи ввода питания не предусматривается, панель ввода питания конструктивно является частью ЩПТ и может быть выполнена по схемам, представленным на рисунках 24, 25.

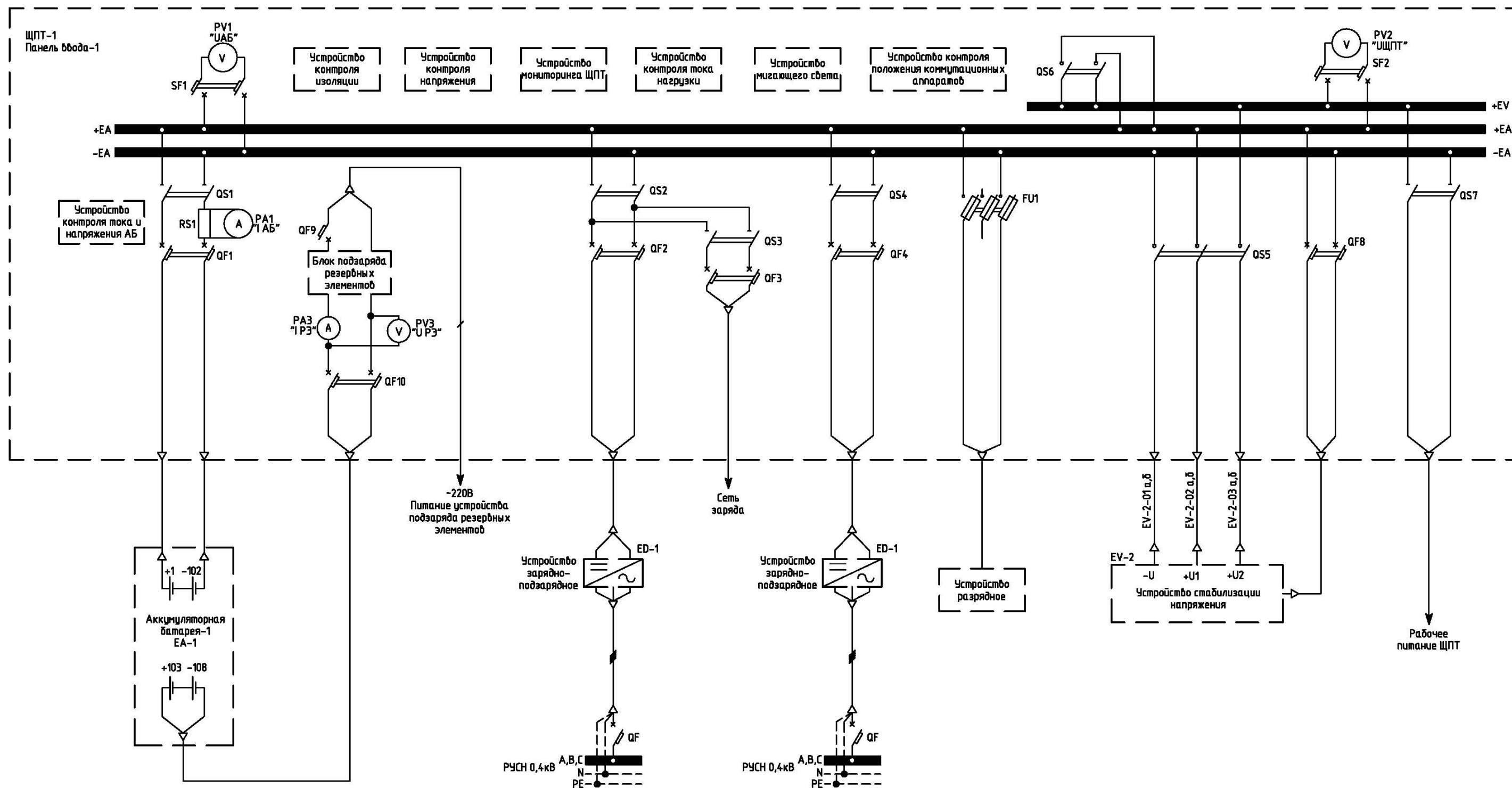


Рис. 23. Принципиальная схема панели ввода преобразовательных устройств.

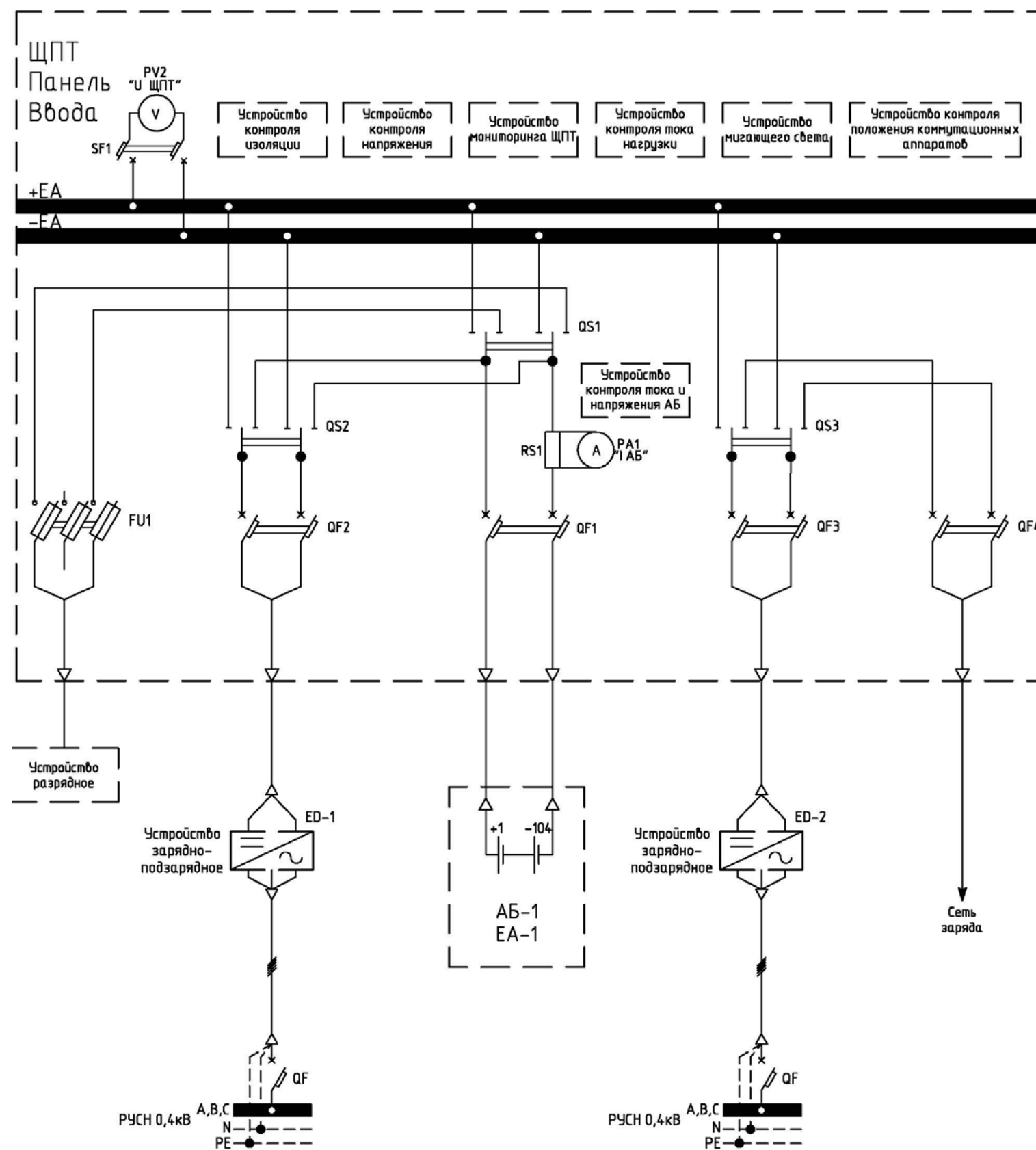


Рис. 25. Принципиальная схема панели ввода преобразовательных устройств.

12.4 Варианты схем распределительных панелей ЩПТ приведены на рисунках 26, 27. В распределительных панелях устанавливаются защитные и коммутационные аппараты цепей питания потребителей СОПТ, а также следующие устройства:

- устройство контроля напряжения;
- устройство контроля положения коммутационных аппаратов;
- устройство мигающего света;
- устройство контроля изоляции;
- устройство защиты от перенапряжений.

Для защиты от перенапряжений используются силовые диоды класса 10 и выше с номинальным током 200А и более. Защитный аппарат в цепи защиты от перенапряжений должен иметь номинальный ток не менее 100А.

Состав оборудования устанавливаемого в распределительных панелях может отличаться от приведенного на рисунках 26, 27 в зависимости от состава потребителей и конфигурации схемы генерирования СОПТ.

При проектировании новых объектов и реконструкции существующих желательно располагать распределительные панели ЩПТ в ряду с панелями ввода питания, зарядно-подзарядными агрегатами и устройствами стабилизации в непосредственной близости от аккумуляторных батарей.

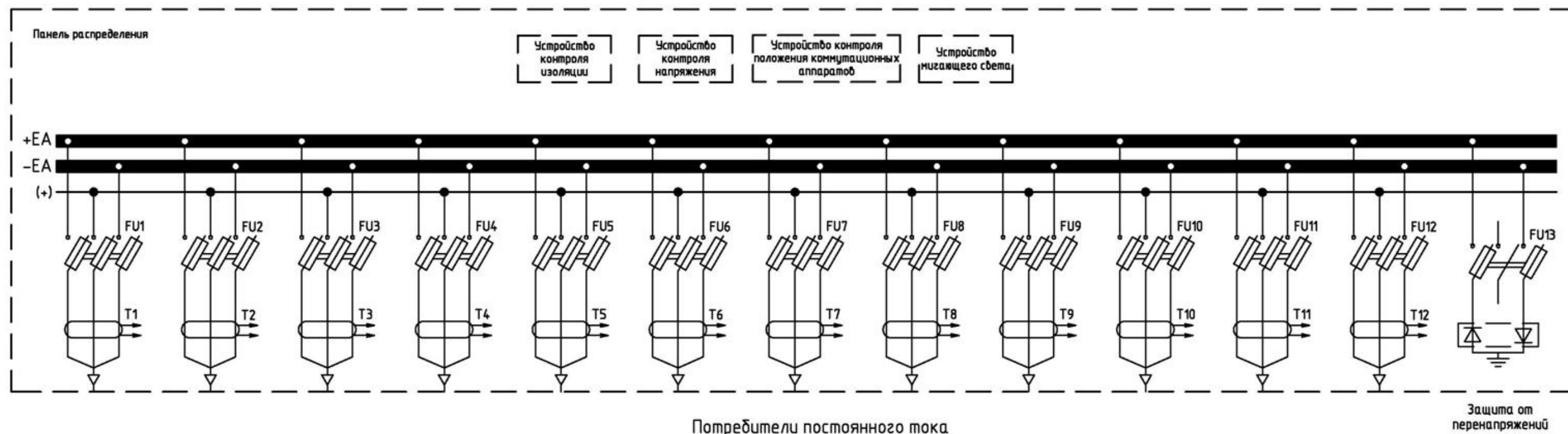
В том случае, если по каким-то причинам такая компоновка неосуществима, возможна компоновка распределительных панелей в виде отдельного функционального узла. При этом желательно размещать распределительные панели как можно ближе к панели ввода питания.

12.5 Питание электромагнитов масляных выключателей осуществляется от шкафов управления, размещаемых в непосредственной близости от выключателей. Питание шкафов управления осуществляется либо от разных секций одного ЩПТ, либо от разных ЩПТ в зависимости от схемы генерирования.

Варианты схем питания распределительных шкафов приведены на рисунке 28.

Первый вариант питания предусматривает установку индивидуального шкафа для каждого выключателя.

Вариант 1.



Вариант 2.

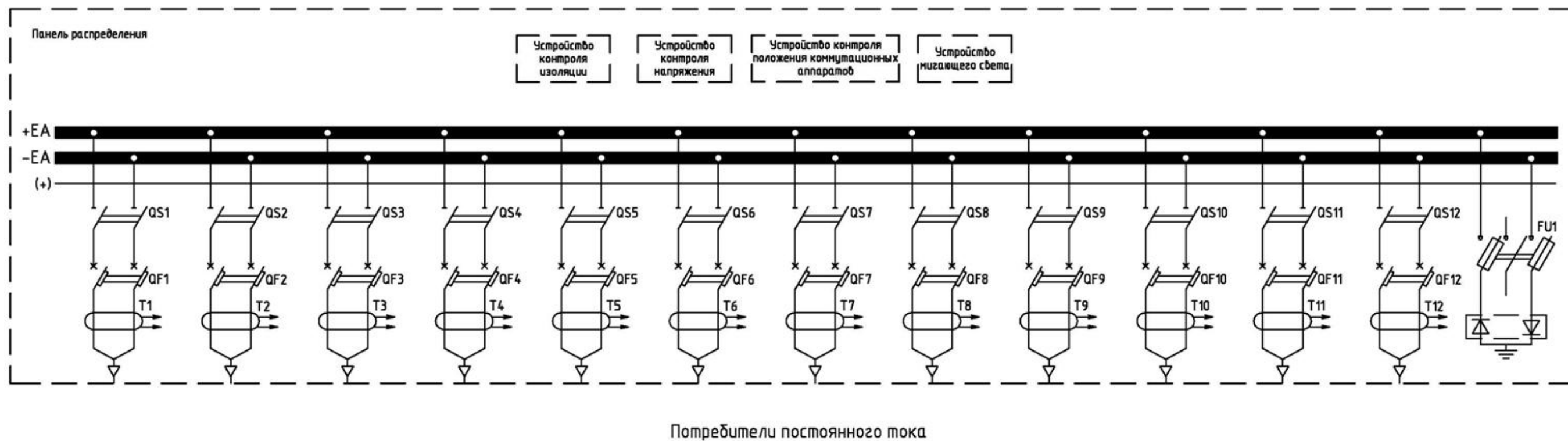


Рис. 26. Принципиальная схема панели распределения щита постоянного тока.

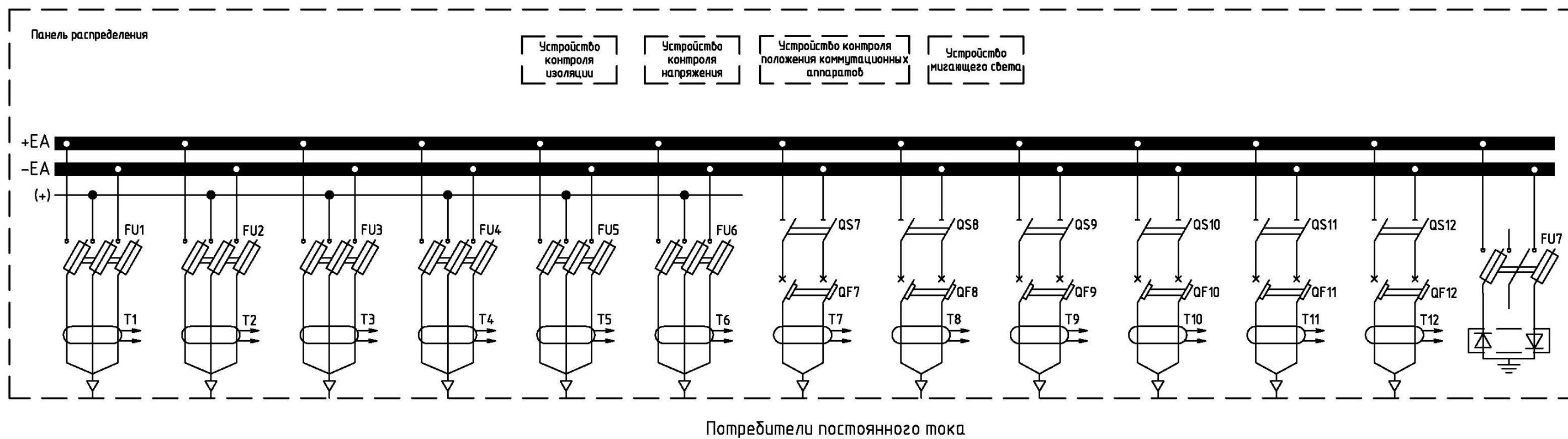


Рис. 27. Принципиальная схема панели распределения щита постоянного тока.

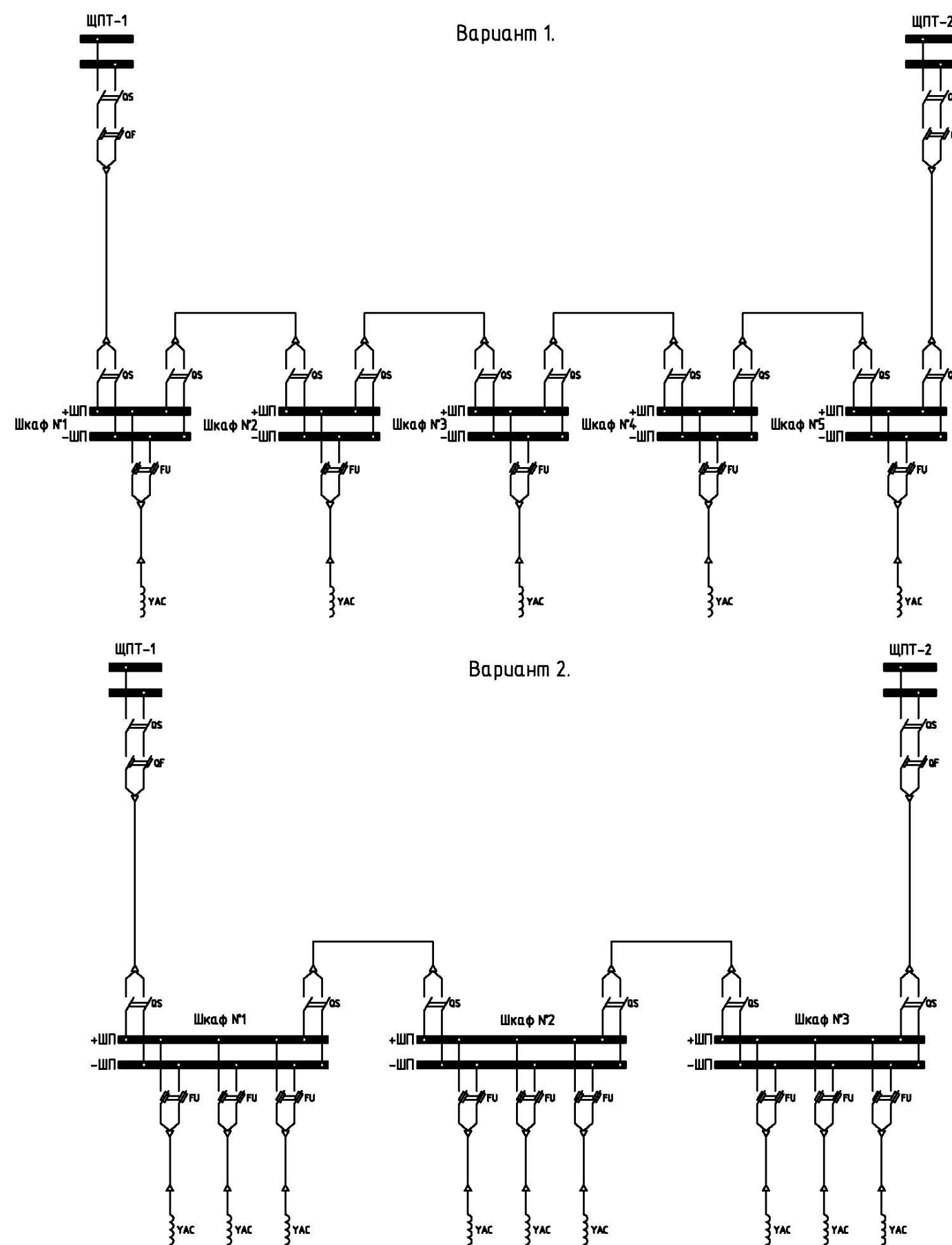


Рис. 28. Принципиальная схема питания электромагнитов включения выключателей ОРУ.

Во втором варианте схемы предусматривается установка групповых шкафов для трёх выключателей. Этот вариант схемы позволяет сократить количество кабельных перемычек и коммутационных аппаратов, уменьшив при этом потери напряжения на переходных контактах коммутационных аппаратов.

Выбор варианта схемы питания электромагнитов включения выключателей производится на основании расчета уровней остаточных напряжений на электромагнитах включения в конце режима аварийного разряда.

В том случае, если применение первого варианта схемы не обеспечивает требуемого уровня напряжений вследствие больших потерь напряжения в кабельных перемычках и переходных контактах коммутационных аппаратов, следует использовать второй вариант схемы питания.

12.6 Питание сети аварийно-эвакуационного освещения осуществляется от панели аварийного освещения, схема которой приведена на рисунке 29.

В нормальном режиме питание панели аварийного освещения осуществляется от общестанционной секции РУСН-0,4кВ.

При аварийном исчезновении напряжения в сети СН переменного тока (в режиме аварийного разряда) питание сети аварийно-эвакуационного освещения переводится действием АВР на питание от ЦПТ.

Для исключения значительных толковых нагрузок на аккумуляторные батареи в первый момент возникновения режима аварийного разряда в цепь включения аварийно-эвакуационного освещения вводится задержка времени включения $5с$.

Использование светильников аварийно-эвакуационного освещения со встроенными герметичными аккумуляторами допускается в качестве дополнительных источников аварийно-эвакуационного освещения.

12.7 Питание устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), технологических защит и устройств автоматизированных систем управления (АСУ), а также цепи и устройства оперативной блокировки, выполненные на базе микропроцессорных устройств, требующих повышенной помехозащищенности осуществляется от DC/DC преобразователей, питающихся от ЦПТ. Количество DC/DC преобразователей, их мощность и схема подключения нагрузки зависят от количества, мощности и компоновки потребителей.

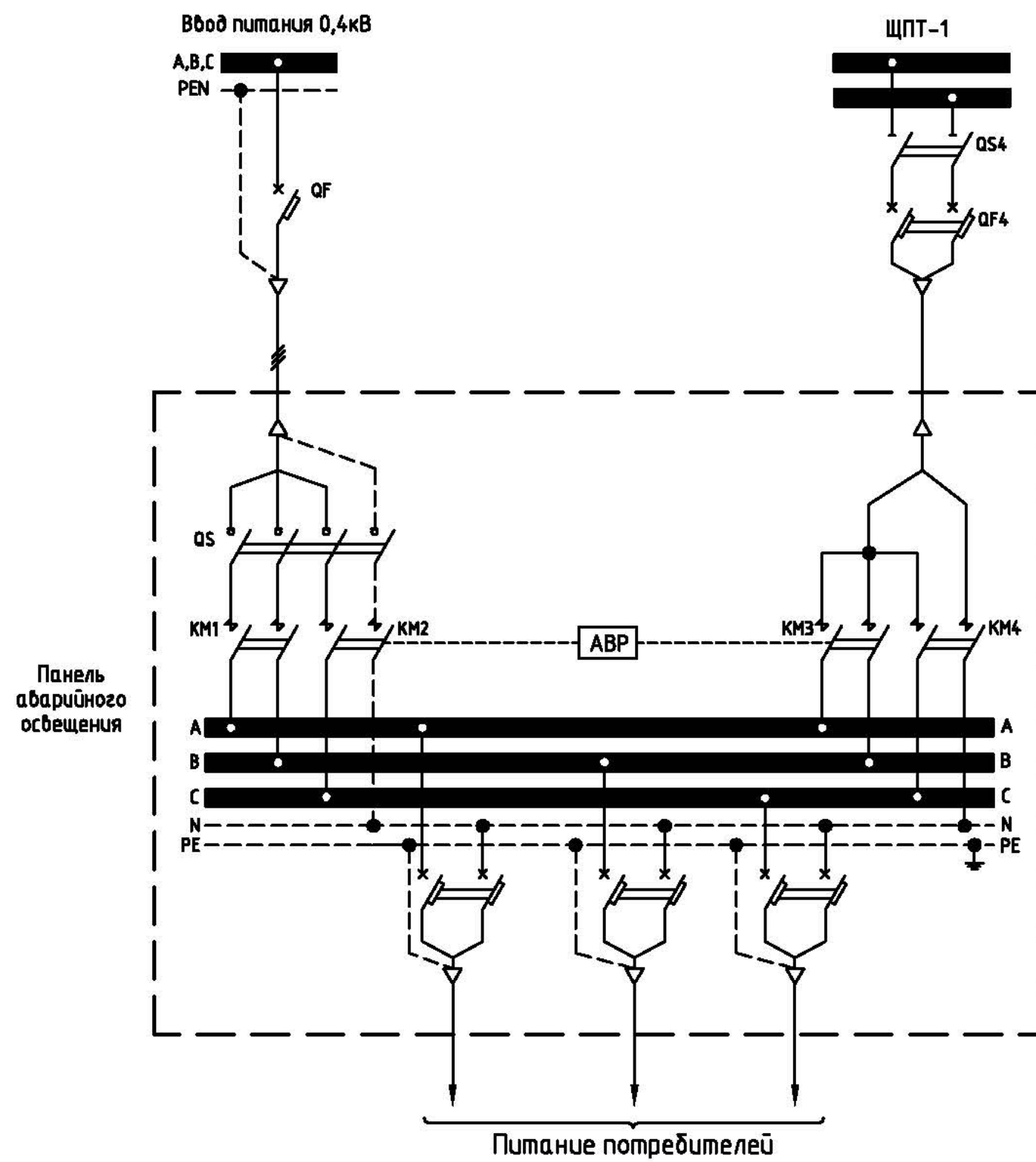


Рис. 29. Принципиальная схема питания сети аварийного эвакуационного освещения.

Преобразователи должны располагаться в непосредственной близости от подключенных к ним потребителей.

Преобразователи, питающие основные и резервные комплекты устройств должны питаться от разных полусекций одного ЩПТ или от разных ЩПТ в зависимости от схемы генерирования СОПТ.

На рисунках 30, 31 приведены варианты схем включения DC/DC преобразователей.

12.8 В зависимости от условий проектирование СОПТ вновь строящегося объекта либо реконструкция СОПТ существующего в зависимости от состава оборудования, его компоновки и принятого способа реконструкции из отдельных функциональных узлов может быть сформирована схема генерирования СОПТ, отвечающая перечисленным в начале настоящего раздела требованиям.

Структурные варианты возможных схем генерирования представлены на рисунках 32–36.

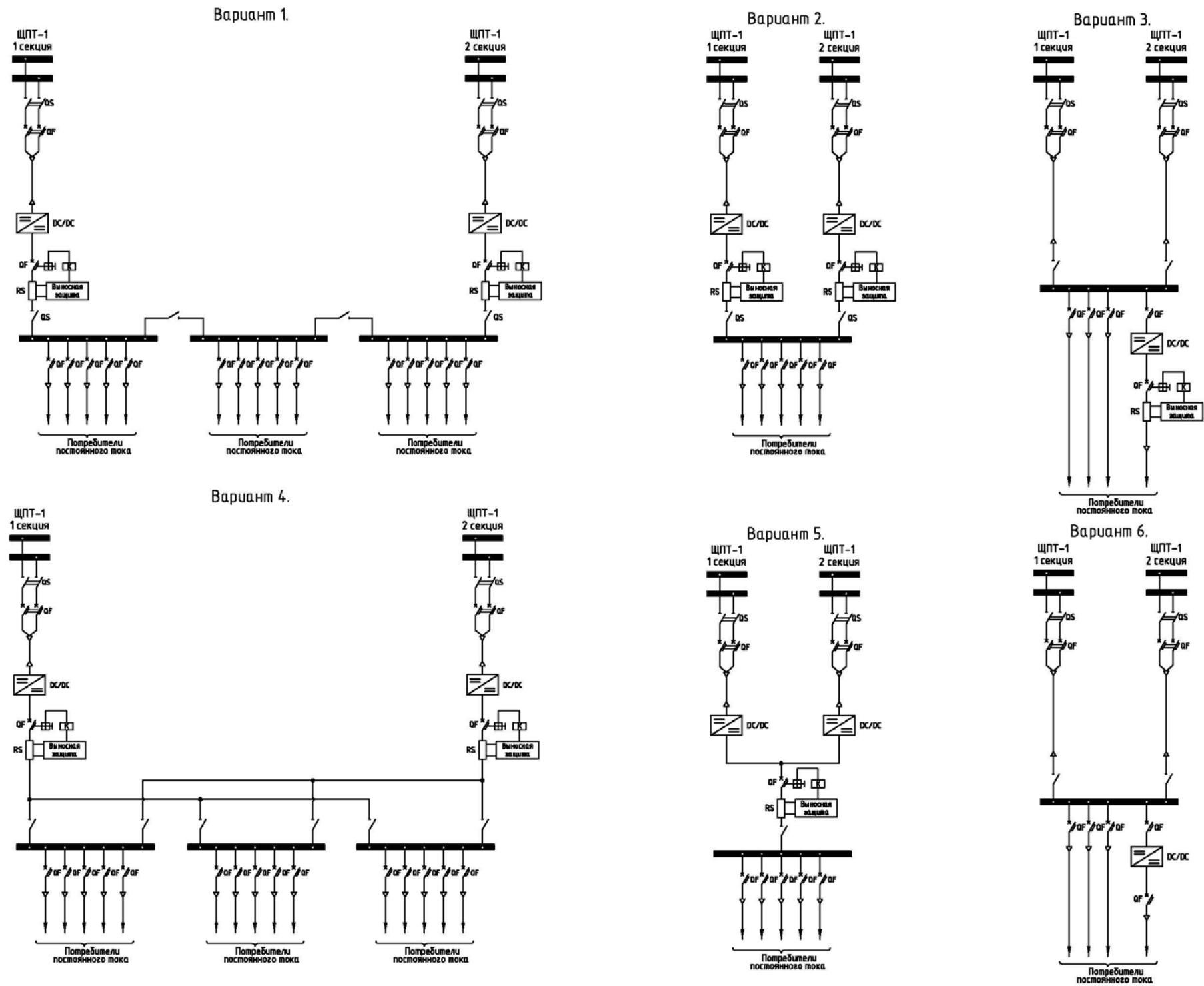
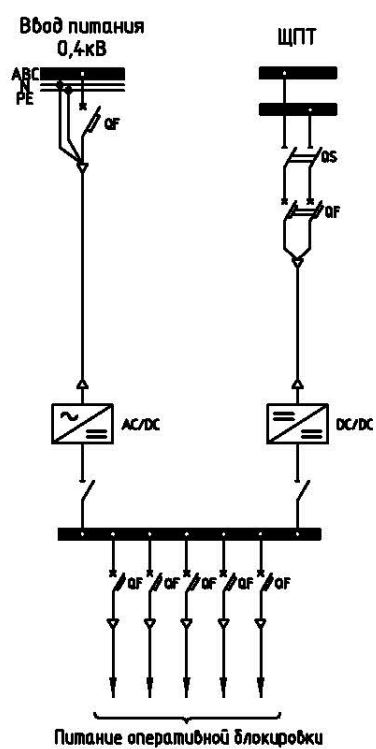


Рис. 30. Схемы включения DC/DC преобразователей

Вариант 1.



Вариант 2.

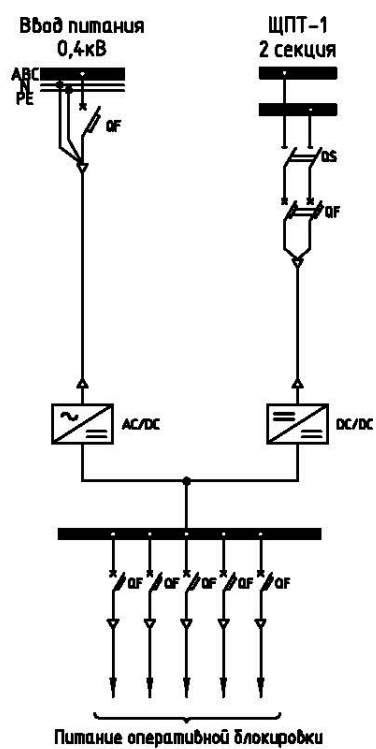


Рис. 31. Схемы питания цепей оперативной блокировки.

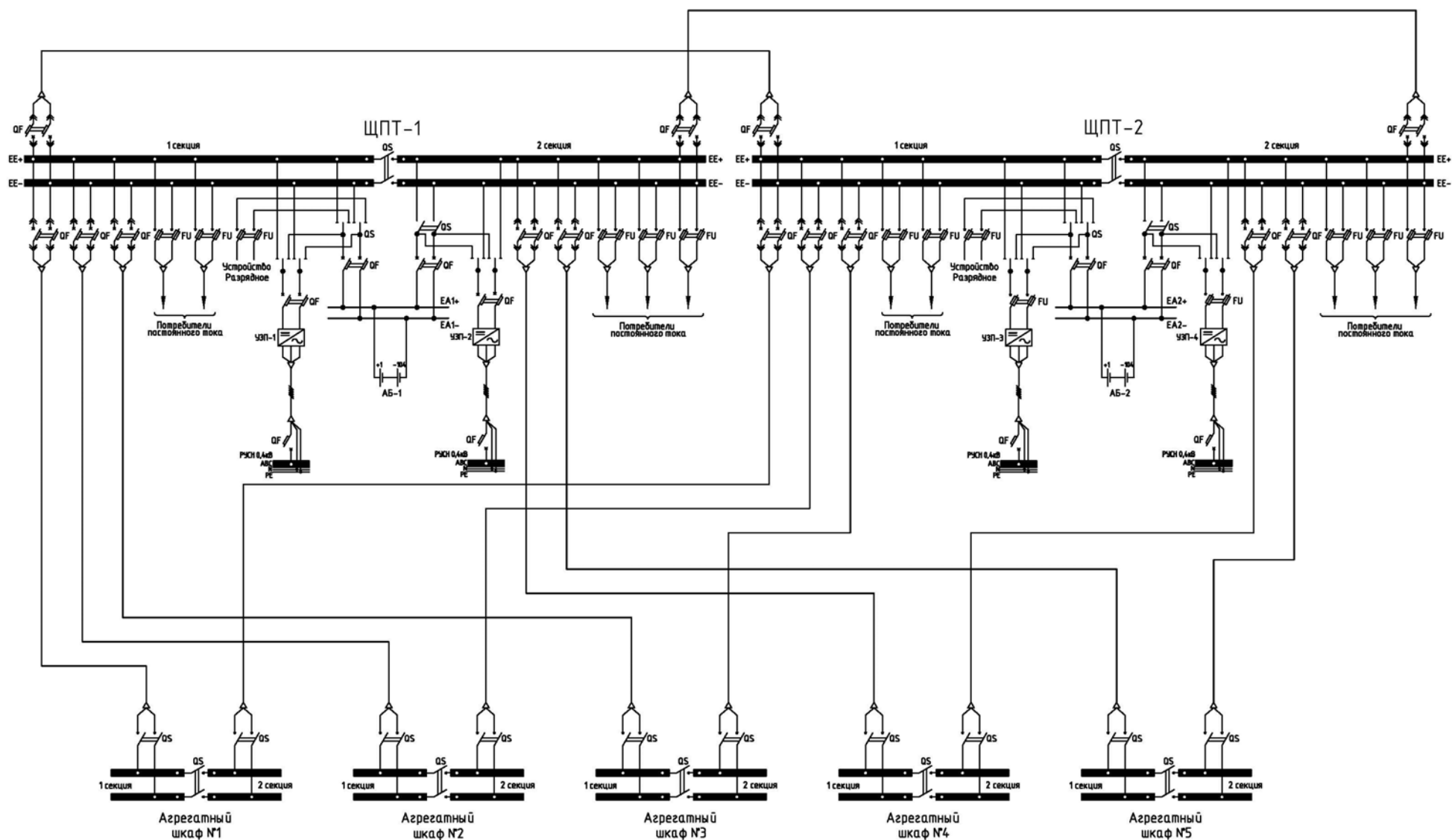


Рис. 32. Структурная схема системы оперативного постоянного тока

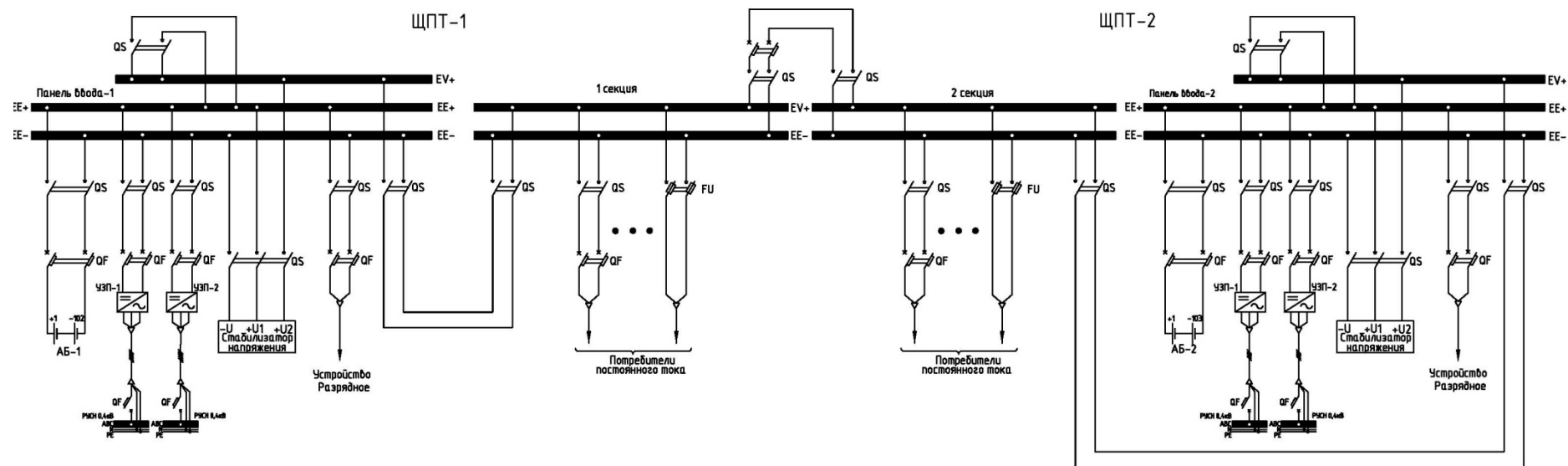


Рис. 33. Структурная схема системы оперативного постоянного тока

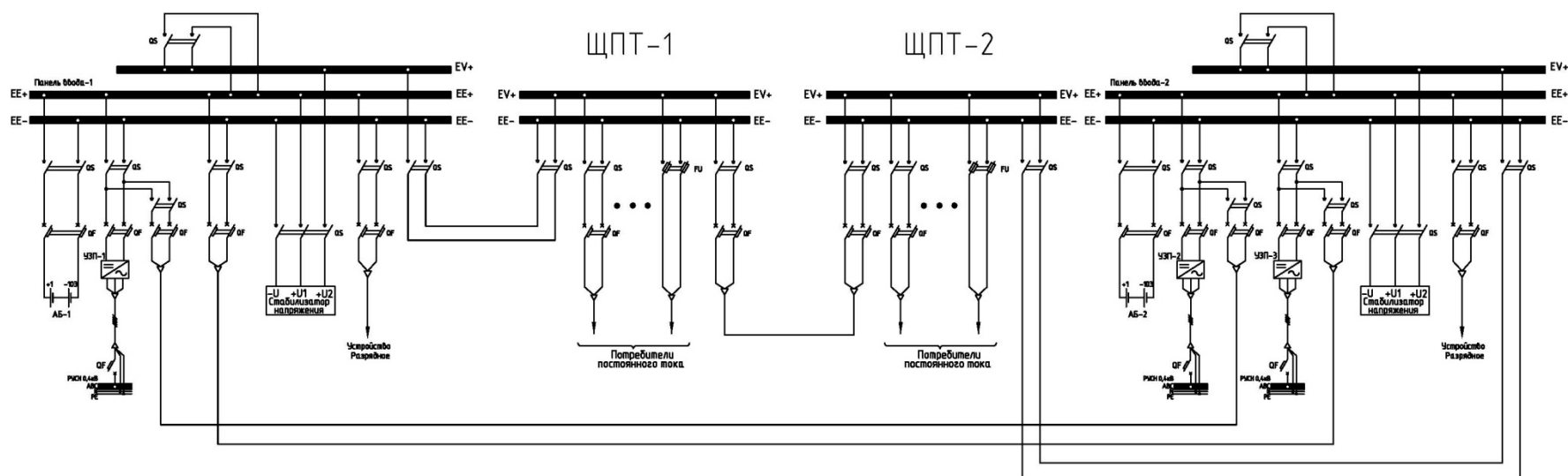


Рис. 34. Структурная схема системы оперативного постоянного тока

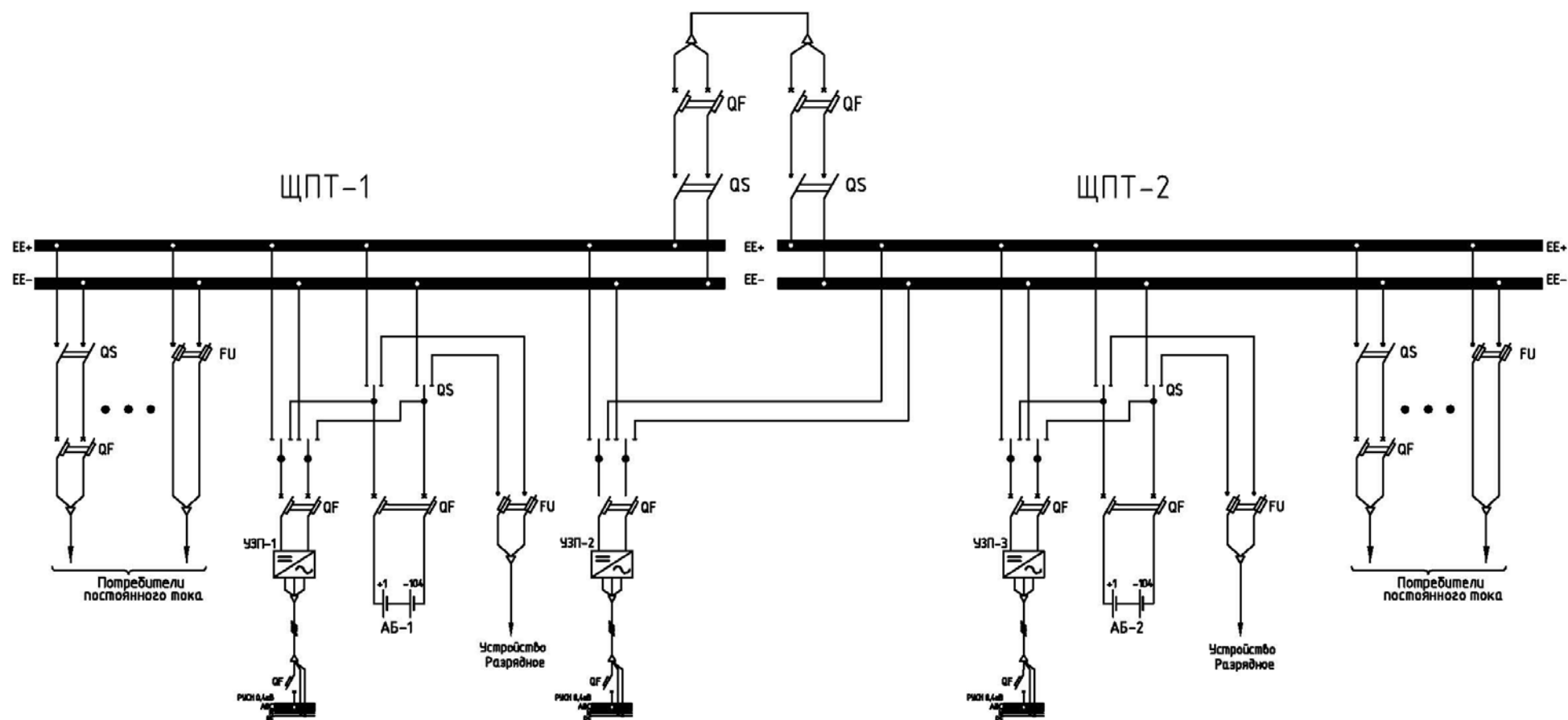


Рис. 35. Структурная схема системы оперативного постоянного тока

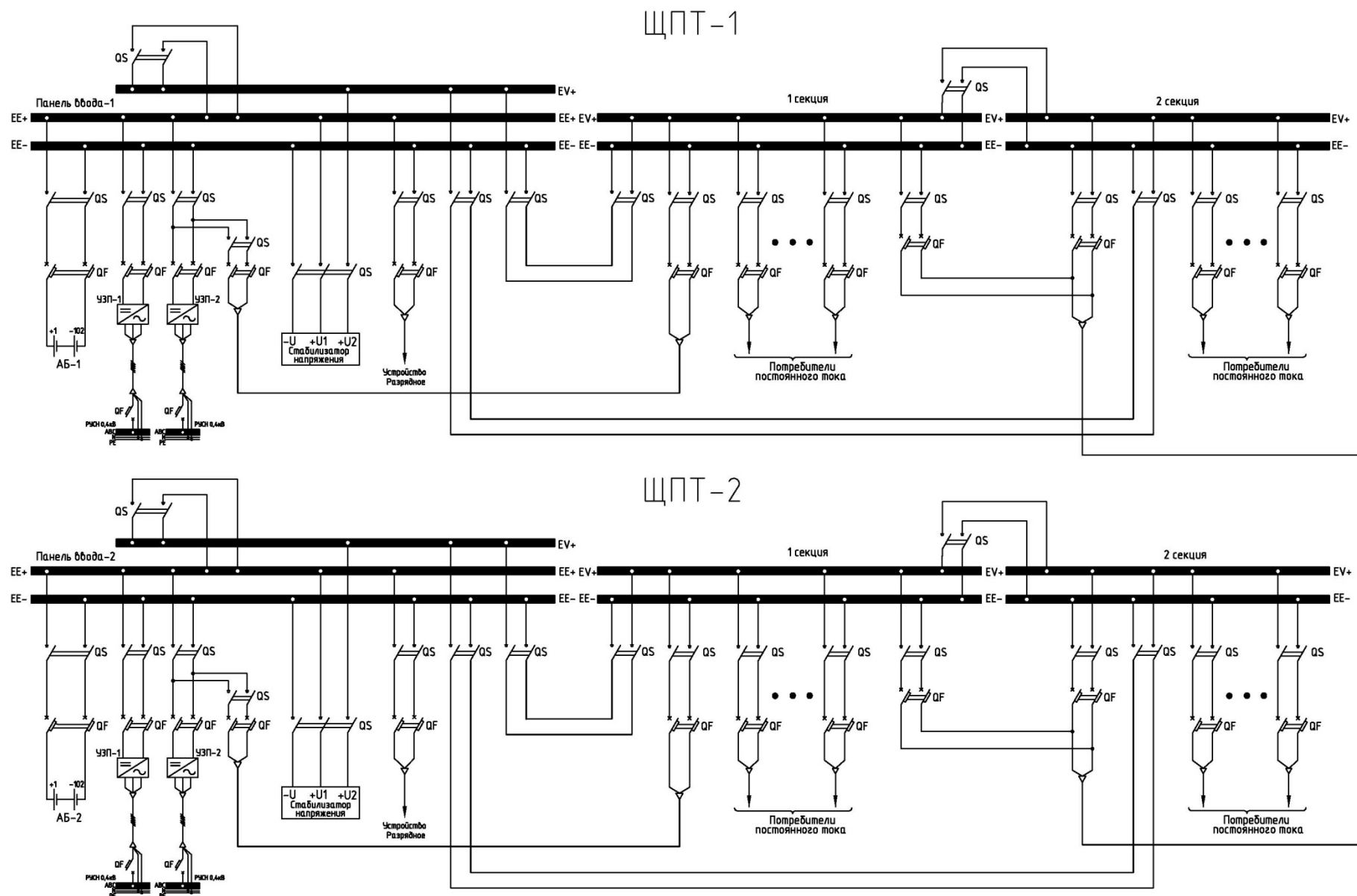


Рис. 36. Структурная схема системы оперативного постоянного тока

13. Расчет токов коротких замыканий в цепях постоянного тока.

13.1 Расчет тока металлического КЗ.

Необходимость расчета токов короткого замыкания возникает при выборе защитной и коммутационной аппаратуры, кабелей и шинопроводов как в процессе проектирования вновь сооружаемых энергообъектов, так и при реконструкции существующих.

Точность расчетов в большей степени зависит от достоверности исходных данных о сопротивлениях отдельных элементов цепи короткого замыкания и внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи.

При проектировании вновь сооружаемых объектов в этом случае приходится полагаться на достоверность характеристик аккумуляторов предоставленных поставщиком и точность определения длин кабелей. А при реконструкции желательно часть исходных расчетных данных определить экспериментально, наиболее важно в этом случае значение внутреннего сопротивления батареи. В случае экспериментального определения параметров цепи точность расчетов значительно возрастает.

А в соответствии с ГОСТ 29176-91 «Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока» и «Методическими указаниями по расчету защит в системе постоянного тока тепловых электростанций и подстанций» МУ 34-70-035-85, а так же с общепринятой многими проектными институтами методикой значение тока металлического короткого замыкания в цепи постоянного тока, питающегося от свинцово-кислотной аккумуляторной батареи определяется по формуле:

$$I_{\text{к.м.}} = \frac{E_{\text{расч}} \cdot n \cdot 10^3}{R_{\text{к.}\Sigma}}, \quad (13.1)$$

где $I_{\text{к.м.}}$ — ток металлического короткого замыкания, А;

$E_{\text{расч}} = 1,93\text{В}$ — расчетная ЭДС одного элемента АБ, В;

n — количество элементов АБ;

$R_{\text{к.}\Sigma}$ — суммарное сопротивление цепи КЗ, МОм;

Это сопротивление равно:

$$R_{\text{к.}\Sigma} = R_{\text{ш}} + R_{\text{каб}} + R_{\text{апп}} + R_{\text{п.к.}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{АБ}}, \quad (13.2)$$

где $R_{\text{ш}}$ — активное сопротивление шин, МОм;

$R_{\text{каб}}$ — активное сопротивление кабеля, МОм;

$R_{\text{АБ}}$ — внутреннее сопротивление АБ, МОм;

$R_{\text{апп}}$ — активное сопротивление защитных и коммутационных аппаратов, МОм (принимаются по данным производителем);

$R_{\text{п.к.}}$ — активное сопротивление разъединяющих контактов защитных и коммутационных аппаратов принимается равным 1 МОм;

$R_{\text{пр}}$ — активное сопротивление проводов, МОм.

Сопротивление проводов, кабелей и шинопроводов рассчитывается при известных длине и сечении по формуле:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot 10^3, \quad (13.3)$$

где R — сопротивление, МОм;

ρ — удельное сопротивление, Ом·мм²/м. Для меди $\rho = 0,01720 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, для алюминия $\rho = 0,02830 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

l — длина, м;

S — сечение, мм².

При протекании по проводникам тока происходит их нагрев, при этом сопротивление проводников увеличивается. Сопротивление нагретого проводника определяется по формуле:

$$R_U = R_M \cdot K_U, \quad (13.4)$$

где K_U — температурный коэффициент, равный:

$$K_U = \frac{\tau + \theta_k}{\tau + \theta_n}, \quad (13.5)$$

где τ — условная температура, равная для меди 234°C, а для алюминия 236°C;

θ_n — начальная температура проводника, °C;

θ_k — конечная температура проводника, °C.

Значение начальной температуры проводника может быть определено по формуле:

$$\theta_n = \theta_0 + (\theta_{\text{дд}} - \theta_{\text{окр}}) \left(\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{дд}}} \right)^2, \quad (13.6)$$

где θ_0 — фактическая температура окружающей среды во время КЗ, °C;

$\theta_{\text{дд}}$ — значение расчётной длительно допустимой температуры жил, °C, равная для кабелей с пластмассовой изоляцией — 70°C и для кабелей из вулканизированного полиэтилена — 90°C;

$\theta_{\text{окр}}$ — значение расчётной температуры окружающей среды (воздуха) 25°C;

$I_{\text{раб}}$ — значение тока перед КЗ, А;

$I_{\text{дд}}$ — значение расчётного длительно допустимого тока в соответствии с [9].

Значение конечной температуры проводника может быть определено по формуле:

$$\theta_k = \theta_n \cdot e^k + \alpha(e^k - 1), \quad (13.7)$$

где α — величина обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0°C равная 228°C;

$$k = \frac{\mathbf{v} \cdot V_{\text{терм}}}{S^2}, \quad (13.8)$$

где $\mathbf{v}$ — постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, равная для алюминия $45,65 \text{ мм}^4 \cdot (\text{кА}^2 \cdot \text{с})$ и для меди $19,58 \text{ мм}^4 \cdot (\text{кА}^2 \cdot \text{с})$;

$V_{\text{терм}}$ — интеграл Джоуля или тепловой импульс от тока КЗ, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$, рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{терм}} = \int_0^{t_{\text{откл}}} i_{kt}^2 dt, \quad (13.9)$$

S — сечение проводника, мм^2 .

Увеличение сопротивления проводника вследствие нагрева приводит к уменьшению значения тока и изменению степени влияния дуги на значения тока КЗ.

В общем случае задача определения значения тока КЗ при совместном влиянии нагрева и токоограничивающего влияния дуги может решаться методом последовательных приближений с использованием ЭВМ. При этом, как показывает практика расчётов, для достижения установившегося значения достаточно 8–10 расчётных интервалов.

При проведении упрощенных расчётов без применения ЭВМ для определения влияния нагрева проводников при металлическом и дуговом КЗ можно воспользоваться зависимостями показывающими степень уменьшения тока при нагреве при металлическом КЗ и при совместном влиянии дуги и нагрева при дуговом КЗ. Зависимости составлены для проводников сечением до 25 мм^2 . При больших сечениях и при типичных для СОПТ длинах кабелей и временах действия защит влиянием нагрева можно пренебречь. В качестве примера на рис. 26 приведена зависимость тока от времени протекания и длины кабеля для кабеля сечением $S=2.5 \text{ мм}^2$. Аналогичные зависимости для других сечений приведены в приложении «Д» СТО.

По мере разряда, внутреннее сопротивление аккумуляторов увеличивается.

Расчёт значения тока металлического короткого замыкания в цепи, питающейся от частично разряженной аккумуляторной батареи осуществляется по той же формуле, с учётом изменения РАБ, при этом $R'_{\text{АБ}}$ определяется по формуле:

$$R'_{\text{АБ}} = R_{\text{АБ}} \cdot K, \quad (13.10)$$

где $R'_{\text{АБ}}$ — внутреннее сопротивление частично разряженной АБ, МОм;

K — коэффициент увеличения внутреннего сопротивления.

Значение коэффициента K определяется по графикам $K = f \cdot C_{\text{разр}}$ (рисунки 37–40), показывающим зависимость увеличения внутреннего сопротивления АБ от степени разряда.

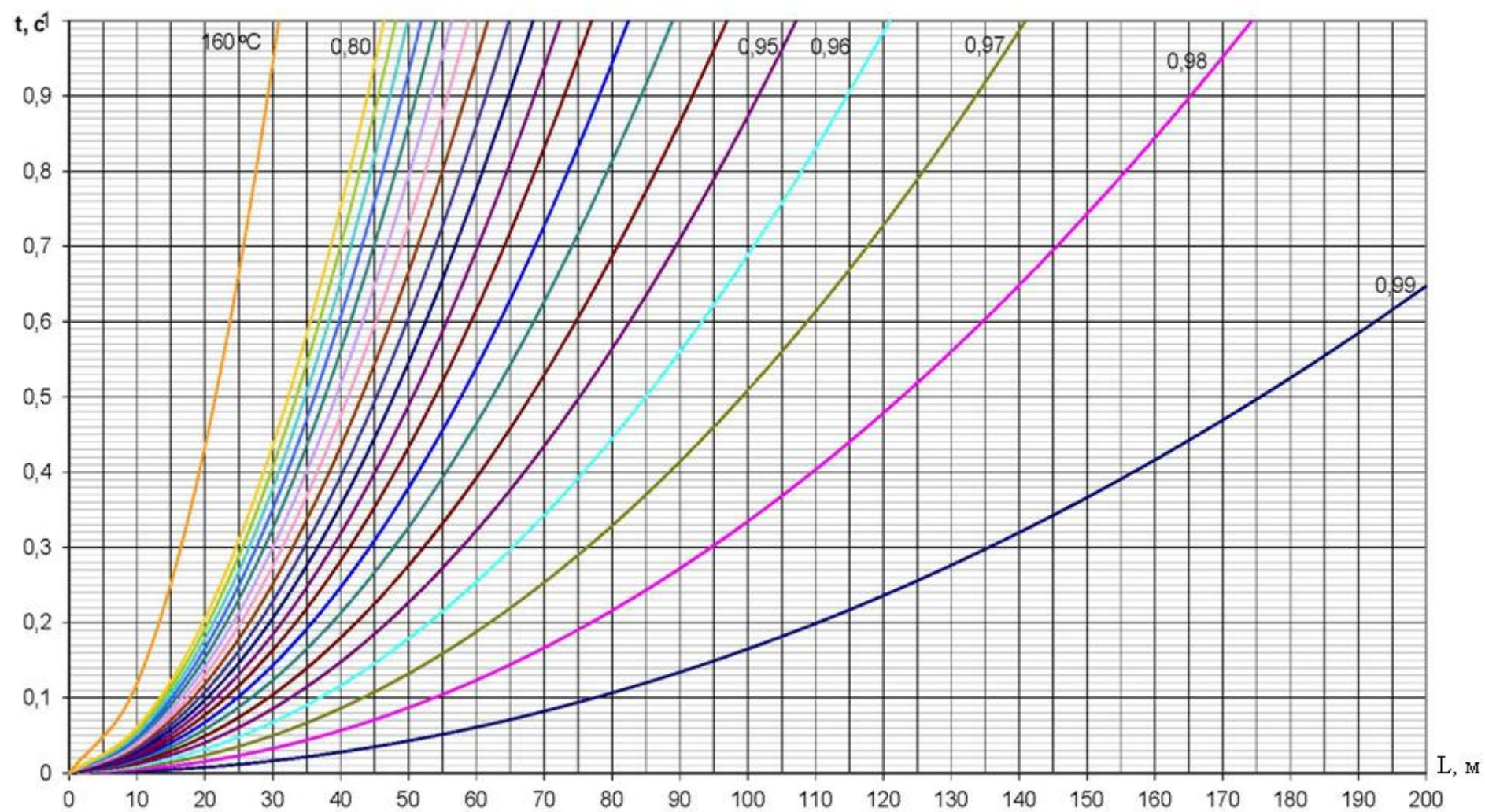


Рис. 37. Зависимости величины конечного тока (металлического в % от начального) от времени протекания и длины кабеля $S=2,5\text{мм}^2$

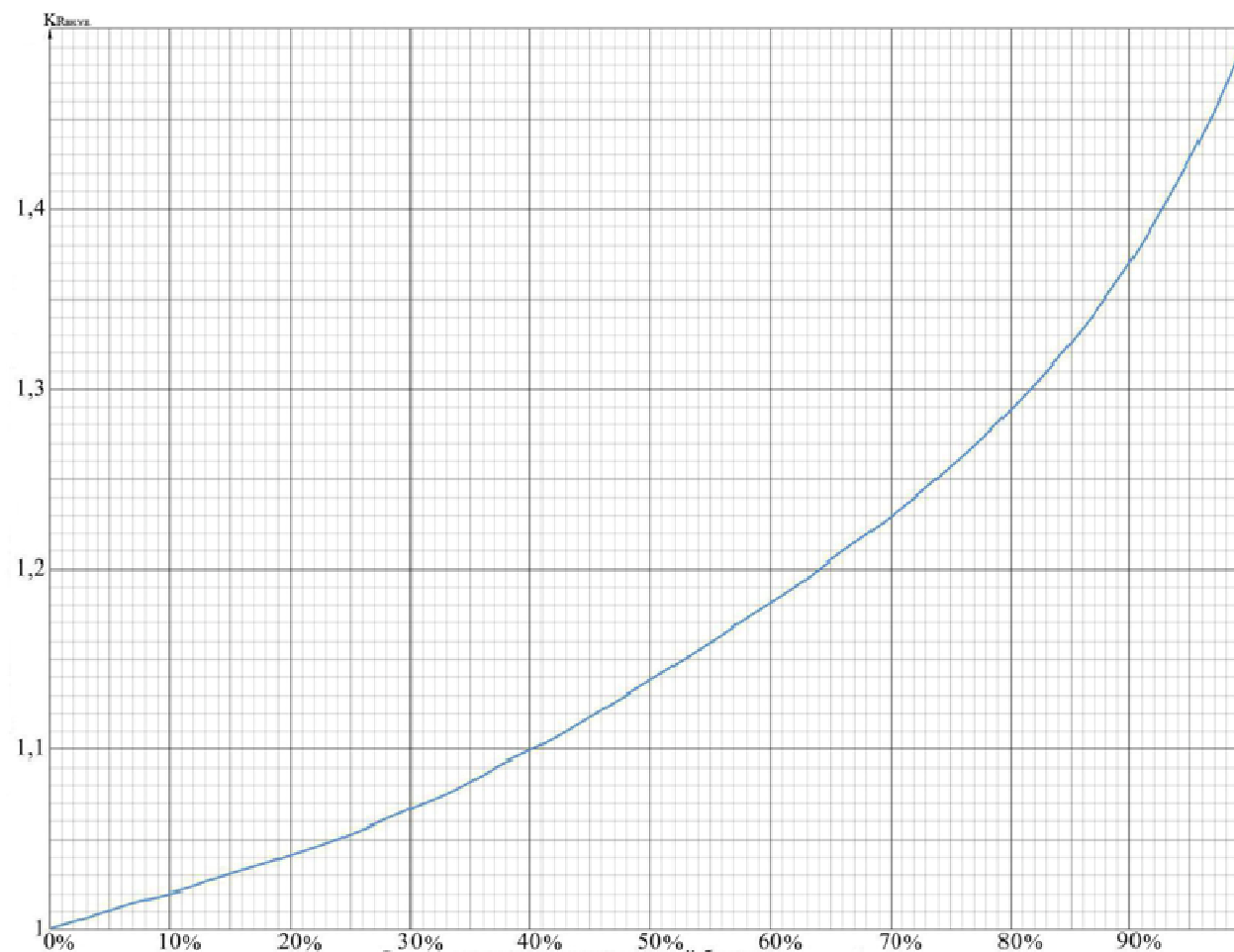


Рис. 38. График зависимости внутреннего сопротивления стационарной свинцово-кислотной аккумуляторной батареи с электролитом в свободном состоянии от глубины её разряда

Степень разряда аккумуляторной батареи

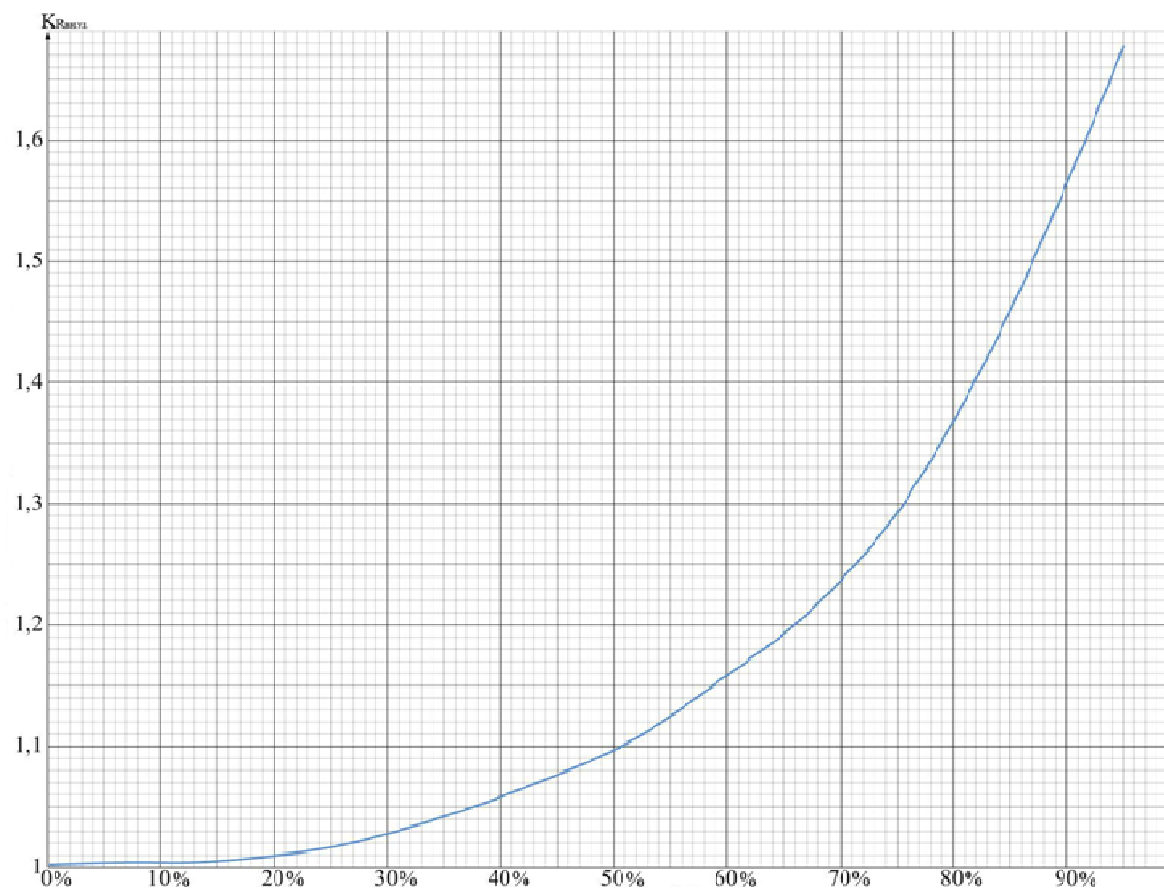


Рис. 39. График зависимости внутреннего сопротивления стационарной герметизированной аккумуляторной батареи с электролитом желе-
образном состоянии от глубины её разряда

Степень разряда аккумуляторной батареи

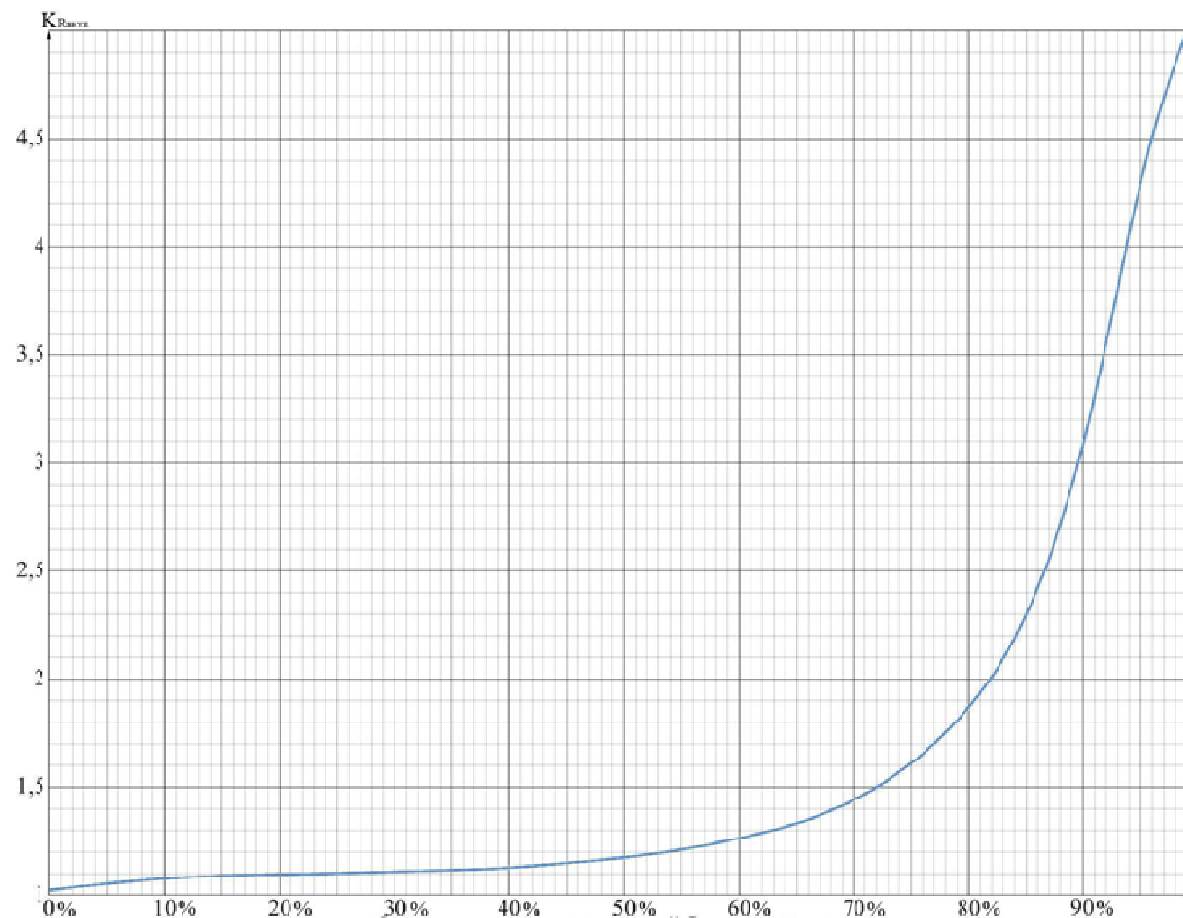


Рис. 40. График зависимости внутреннего сопротивления стационарной герметизированной аккумуляторной батареи с электролитом, фиксированном в сепараторе, от глубины её разряда

Степень разряда аккумуляторной батареи

В том случае, если в цепи ввода рабочего питания ЩПТ установлен стабилизатор типа УТСП значение тока металлического КЗ определяется по формуле:

$$I_{\text{К.М.}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \cdot 10^3}{R'_{\text{К.}\Sigma}}, \quad (13.10)$$

где $R'_{\text{К.}\Sigma}$ — суммарное сопротивление цепи КЗ без учета сопротивления элементов, включенных на входе стабилизатора (внутреннее сопротивление АБ и кабеля цепи ввода рабочего питания), МОм.

Значение напряжения на выходе стабилизатора обычно принимается равным $+5\%U_{\text{НОМ}}=231\text{В}$.

В том случае, если полученное значение тока КЗ превышает значение номинального тока стабилизатора ($I_{\text{НОМ. СТ.}}$) более чем в 2 раза значение напряжения на выходе стабилизатора не стабилизируется. Значение тока КЗ в этом случае определяется по формуле:

$$I_{\text{К.М.}} = \frac{E_{\text{расч}} \cdot n - E_{\text{п}}}{R_{\text{К.}\Sigma}}, \quad (13.11)$$

где $E_{\text{п}}$ — внутренние потери ЭДС стабилизатора, равные от 1 до 2 В.

В ходе проведения обследований систем оперативного постоянного тока проводившихся на десятках электростанций и подстанций проводилось сопоставление результатов расчетов выполненных по этой методике с результатами опытов коротких замыканий. При проведении расчетов, значения сопротивлений электрической цепи определялось путем расчета при известной длине и сечении кабелей и путем измерений методом амперметра-вольтметра. Сопротивления батарей принималось по справочным данным. Сопоставление результатов расчетов с опытными данными показало:

- если значение тока КЗ в цепи не превышает 1000А ($R_{\text{ц}} > 200\text{МОм}$), то погрешность расчетов составляет не более 5% и зависит в основном от тщательности проведения измерений сопротивлений элементов цепи или их расчета;
- если значения тока КЗ находятся в пределах 1000-5000А, погрешность расчетов возрастает и в ряде случаев может достигать 10%, что является вполне удовлетворительным результатом;
- при токах КЗ превышающих 5000А, что характерно для близких КЗ на шинах ЩПТ, погрешность расчета может достигать 15%.

Увеличение погрешности расчета с увеличением значения тока объясняется как увеличением доли значения внутреннего сопротивления батареи принятого по справочным данным в общем сопротивлении цепи КЗ, так и тем, что при протекании больших токов происходит изменение переходных сопротивлений контактов, входящих в цепь протекания тока. Особое значение в этом случае имеет и состояние контактов.

13.2 Расчет токов дугового КЗ.

Как показали многочисленные эксперименты, проводившиеся в ходе обследований систем собственных нужд переменного и постоянного токов электростанций и подстанций металлическое короткое замыкание возможно только в случае его специальной подготовки с помощью болтового соединения проводников. На рис. 41 показана типичная осциллограмма тока металлического КЗ проведенного на Красноярской ГРЭС-2.

В том случае если замыкание произошло вследствие случайного соединения токоведущих поверхностей каким-либо проводником (например, инструментом), либо в случае повреждения изоляции, всегда возникает дуговое КЗ сопровождающееся выделением энергии и значительным снижением тока в цепи.

С целью выяснения степени влияния дуги на значение тока КЗ, характера поведения дуги в условиях реальных сетей постоянного тока электростанций и подстанций, а так же с целью разработки методики учета влияния дуги на значение тока КЗ при расчетах, автором были организованы и проведены на ряде электростанций и подстанций (Красноярская ГРЭС-2, Назаровская ГРЭС, подстанция Камала, Кольская АЭС и др.) серии экспериментов, включавших проведение опытов металлического и дугового КЗ в условиях действующего оборудования. Всего было произведено около 400 опытов металлического и дугового КЗ в цепях постоянного тока.

Опыты производились с помощью специальной установки, принципиальная схема которой приведена на рис. 42.

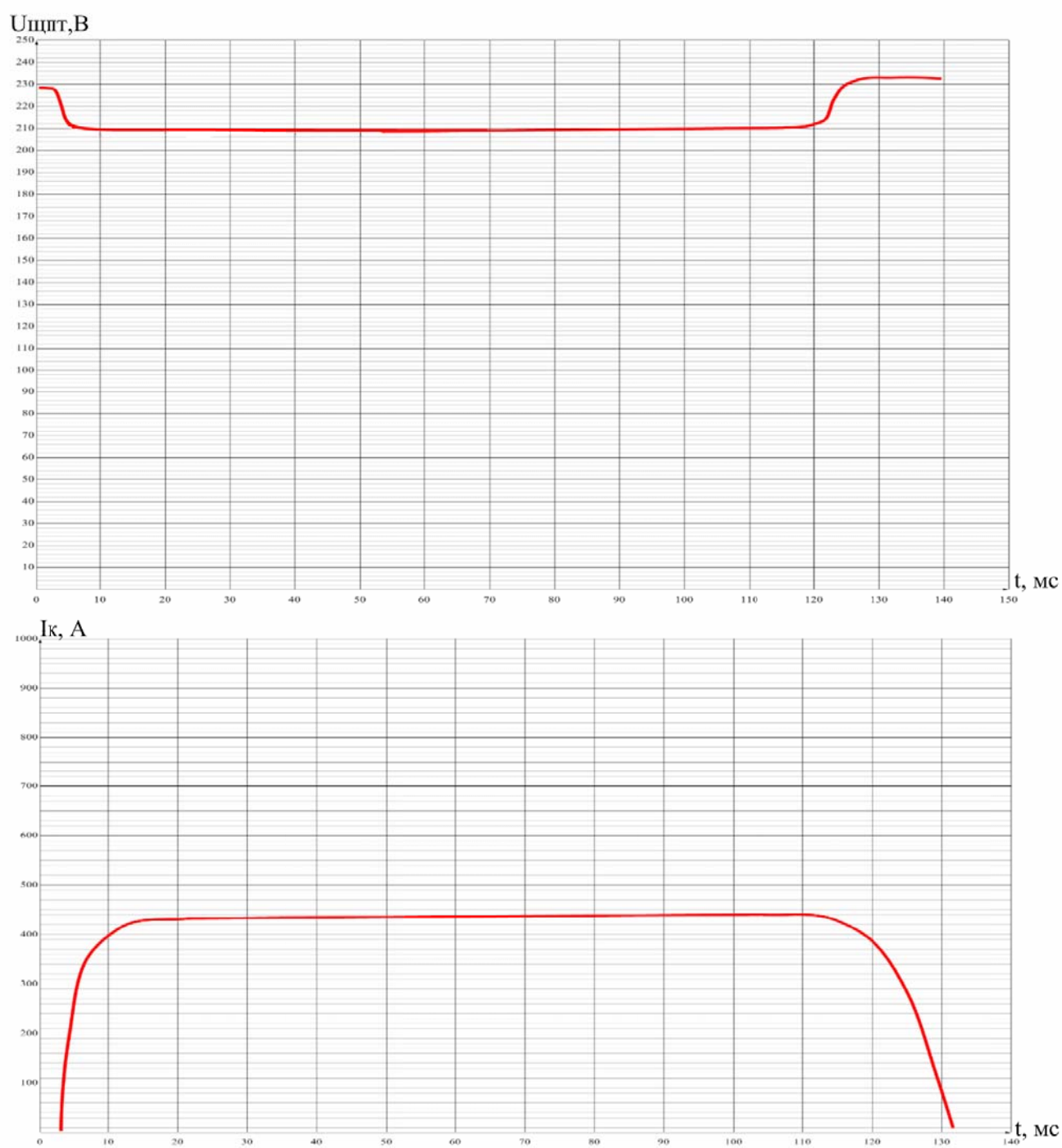


Рис. 41. Осциллограммы напряжения и тока металлического КЗ на шинах ЩПТ

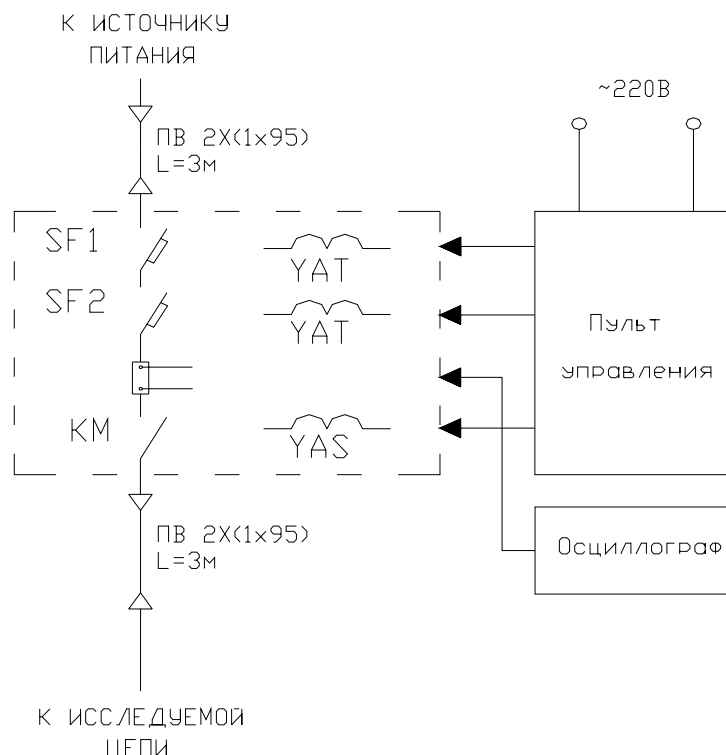


Рис. 42. Принципиальная электрическая схема установки для проведения опытов КЗ

Установка состоит из контактора, включенного последовательно с двумя автоматическими выключателями, имеющими независимые расцепители, измерительного шунта и пульта управления. Включение цепи на КЗ производится контактором, отключение — автоматическими выключателями по команде с пульта управления через $t_k = 0,1 \div 0,2$ с. Выбранное время КЗ позволяет получить установившийся процесс КЗ, не изменяя уставок времени срабатывания защиты ввода рабочего питания ЩПТ. Значение тока и напряжения регистрировалось светолучевым осциллографом. Питание ЩПТ осуществлялось от батарей СК ёмкостью 1080 А·ч и 1180 А·ч. Изменение сопротивления цепи КЗ достигалось включением в цепь добавочных сопротивлений 25–625 мОм. Для моделирования дуги к установке подключалась шинная конструкция с изменяемыми параметрами.

Предварительный анализ показал, что характер поведения дуги зависит от расстояния между проводниками и способа создания дуги. На рис. 43 показаны типичные осциллограммы токов дугового КЗ. Увеличение расстояния между проводниками приводит к увеличению интенсивности деионизации канала дуги.

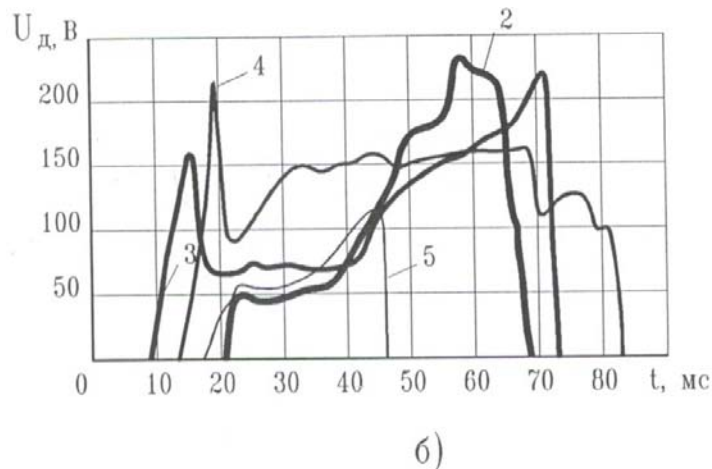
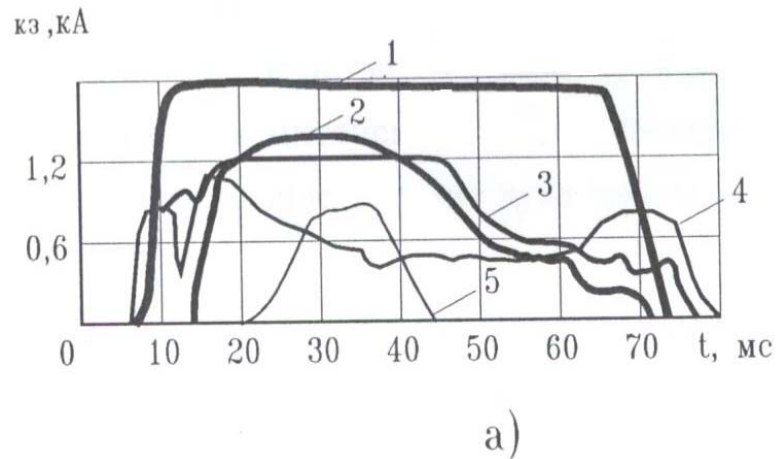


Рис. 43. Осциллограммы тока (а) и напряжения на дуге (б) при металлическом (1) и дуговых КЗ при различных расстояниях между шинами: 2 — $a=1$ см; 3 — $a=3$ см; 4 — $a=5$ см; 5 — $a=7$ см.

При уменьшении расстояния между проводниками до 1 см скорость перемещения дуги под действием электродинамических сил уменьшается, при этом снижается интенсивность деионизации канала дуги.

Стабильное горение дуги наблюдается при токах 500–1600 А. Опыты показали так же, что дуга либо деформируется магнитным полем, либо горит в зазорах между проводниками и закорачивающей перемычкой.

При токах КЗ 1500 А и выше наблюдаются также пульсации тока, вызванные колебаниями закорачивающей перемычки под действием электродинамических сил (при массивной перемычке из латунного стержня или отрезка шин). Для статистического анализа осциллограммы токов и напряжений цифровым методом на ЭВМ в результате обработки были получены среднеквадратичные значения токов и напряжений на дуге по формулам:

$$I_{к.д.ср} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} I_{к.д}^2 \cdot dt}, \quad (13.13)$$

$$U_{к.д.ср} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} U_{к.д}^2 \cdot dt}, \quad (13.14)$$

где t_1 — время начала КЗ, с;
 t_2 — время окончания КЗ, с.

Сравнение этих значений со значениями токов металлического КЗ позволило определить снижающие коэффициенты характеризующие степень влияния дуги на значения тока КЗ:

$$K_{д.ам} = \frac{I_{д.ам}}{I_{к.м}}, \quad (13.15)$$

$$K_{д.ср} = \frac{I_{кд.ср}}{I_{к.м}}, \quad (13.16)$$

где $I_{к.ам}$ — максимальное амплитудное значение тока дугового КЗ;

$I_{к.д.ср}$ — среднеквадратичное значение тока дугового КЗ;

$I_{к.м.}$ — ток металлического КЗ.

Необходимость определения значений коэффициента K_d для амплитудных и среднеквадратичных значений объясняется не только характером дуговых процессов в цепях постоянного тока, но и тем, что в зависимости от конструкции защиты и защитных аппаратов, они могут реагировать на амплитудные или среднеквадратичные значения тока.

Опыты показали, что как и в цепях переменного тока, степень снижения тока при дуговых КЗ в цепях постоянного тока так же зависят от значения тока, а значит и от сопротивления цепи КЗ.

При уменьшении сопротивления цепи КЗ и увеличении тока степень уменьшения тока под влиянием дуги увеличивается и наоборот.

Статистическая обработка результатов экспериментов, проведенная по методике изложенной в [5] позволила определить функции плотности вероятности $\bar{K}_{д.а}$, $\bar{K}_{д.ср}$ и построить зависимости $\bar{K}_д = f(R_k); (I_{к.м})$, $\bar{K}_{д.ср} = f(R_k); (I_{к.м})$ в диапазоне значений $R_k=25-600$ МОм и $I_{к.м}=366-8800$ А. На рис. 45, 46 приведены зависимости $\bar{K}_{д.а} = f(R_k)$, $\bar{K}_{д.ср} = f(R_k)$, а на рис. 47, 48 зависимости $\bar{K}_{д.а} = f(I_{к.м})$, $\bar{K}_{д.ср} = f(I_{к.м})$ соответственно для диапазонов измерений $R_k=25-600$ МОм и $I_{к.м}=366-8800$ А.

Аналитические выражения этих зависимостей, разработанные для обеспечения возможности их использования с применением средств вычислительной техники и получения графических вариантов в удобном для использования формате, получены в результате применения современных методов обработки позволяющих получить более точное соответствие опытным данным. Аналитические выражения в полном объеме приведены в [16].

Из полученных зависимостей видно, что по мере уменьшения значения сопротивления цепи КЗ и соответствующего увеличения тока степень разброса возможных значений тока дугового КЗ увеличивается, а при уменьшении значения тока разброс уменьшается.

Результаты эксперимента показали, что при определении значений токов дугового КЗ вероятность определения точного значения тока близка к нулю, мы всегда имеем дело с некоторой неопределенностью присущей процессу дугового КЗ в следствие сложности и непредсказуемости взаимовлияния факторов, определяющих режим горения дуги.

Выбор того или иного аналитического выражения зависит от требований к выполняемым расчётам. При отсутствии особых требований вполне допустимо использовать аналитические зависимости для средних значений $\bar{K}_{д.а.}$, $\bar{K}_{д.ср.}$.

При известных значениях сопротивления цепи КЗ и тока металлического КЗ средние амплитудные и средние среднеквадратичные значения токов дугового КЗ определяется по формулам:

$$I_{к.д.а.} = I_{к.м.} \cdot \bar{K}_{д.а.}, \quad (13.17)$$

$$I_{к.д.ср.} = I_{к.м.} \cdot \bar{K}_{д.ср.}, \quad (13.18)$$

где $\bar{K}_{д.а.}$, $\bar{K}_{д.ср.}$ — значения дугового коэффициента определяемые по рис. 44–47 $\bar{K}_д = f(R_к)$, $\bar{K}_д = f(I_{к.м.})$, либо по аналитическим выражениям:

Для зависимости $\bar{K}_{д.а.} = f(R_к)$:

$$\begin{aligned} \bar{K}_{д.а.} = & 0,7751939 - 0,9372902 \cdot e^{-0,007r} + \\ & + 0,7042402 \cdot e^{-0,008r} - 0,0062623 \cdot e^{-0,03r} \end{aligned}$$

Для зависимости $\bar{K}_{д.ср.} = f(R_к)$:

$$\begin{aligned} \bar{K}_{д.ср.} = & 0,5672834 + 0,016979 \cdot e^{-0,019r} - \\ & - 0,0401916 \cdot e^{-0,12r} - 0,1140553 \cdot e^{-0,006r} \end{aligned}$$

Для зависимости $\bar{K}_{д.а.} = f(I_{к.м.})$:

$$\begin{aligned} \bar{K}_{д.а.} = & 0,5552386 - 0,3683982 \cdot e^{-2,70i} + \\ & + 0,4608984 \cdot e^{-1,9i} + 0,1356596 \cdot e^{-0,34i} \end{aligned}$$

Рис. 44. Зависимость величины K_d от сопротивления (амплитудные значения)

Рис. 45. Зависимость величины K_d от величины тока (амплитудные значения)

Kd

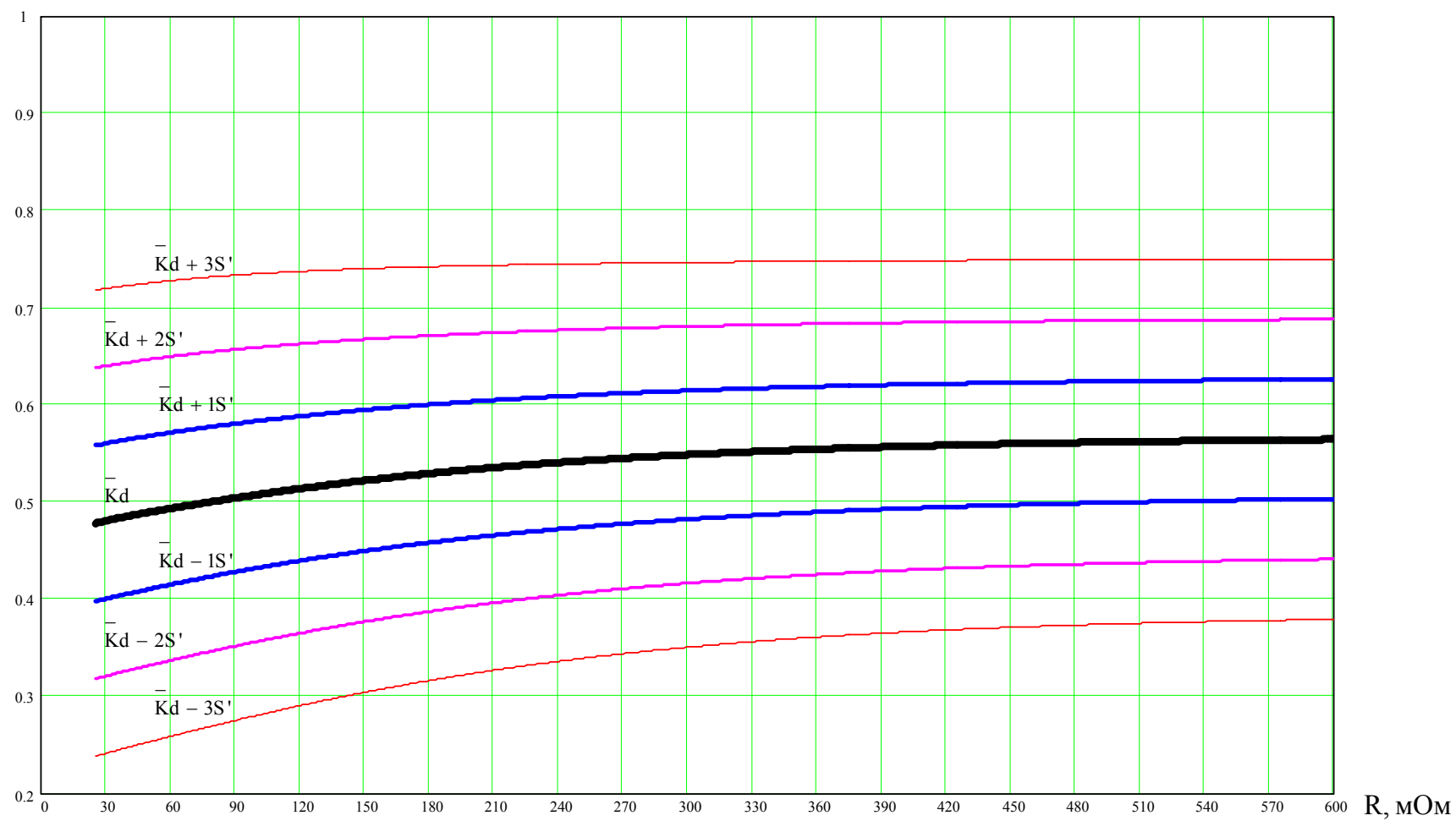


Рис. 46. Зависимость величины K_d от сопротивления (среднеквадратичные значения)

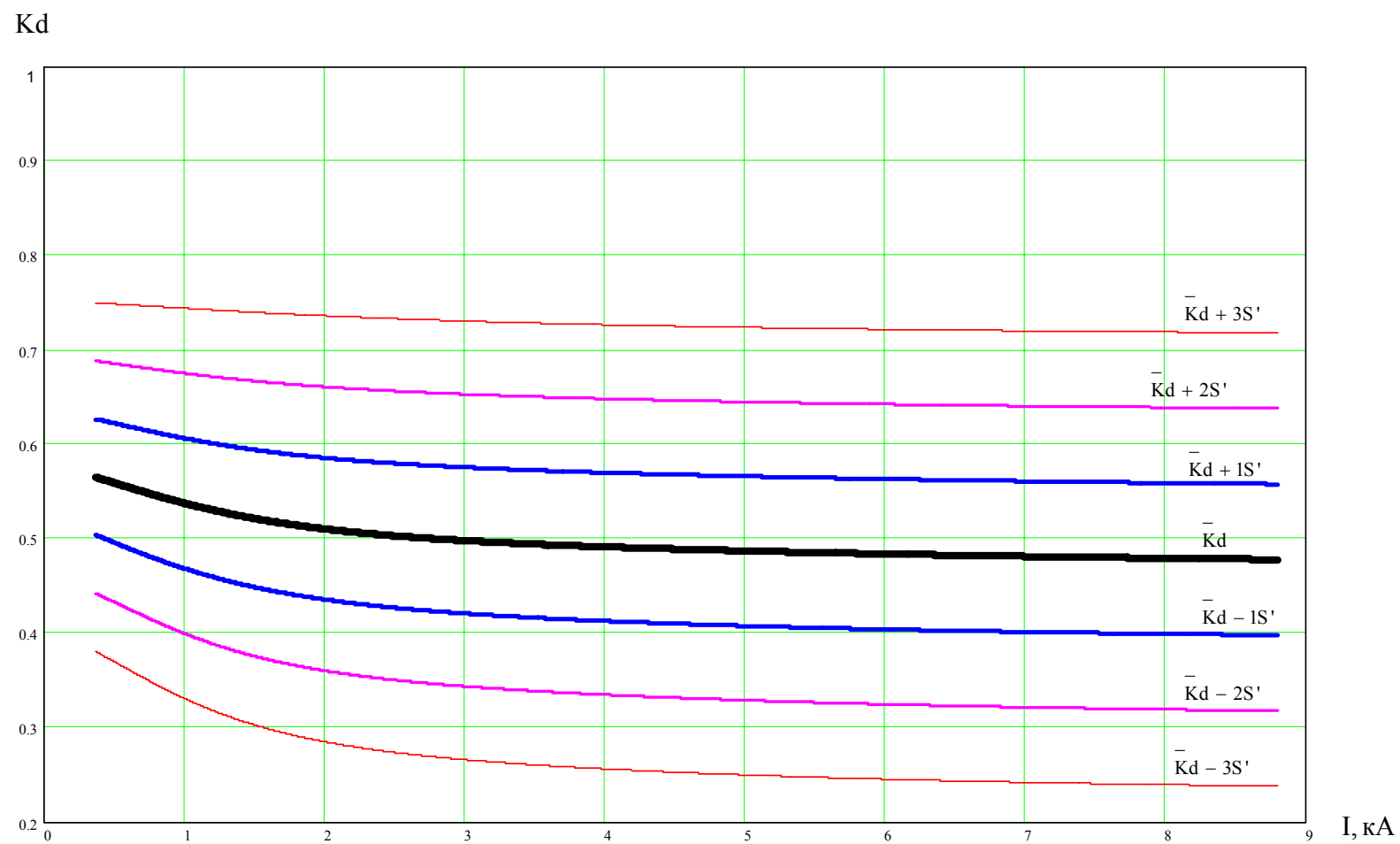


Рис. 47. Зависимость величины K_d от величины тока (среднеквадратичные значения)

Для зависимости $\bar{K}_{д.ср} = f(I_{к.м})$:

$$\begin{aligned}\bar{K}_{д.ср} = & 0,4704248 - 0,2669735 \cdot e^{-1,80i} + \\ & + 0,3275769 \cdot e^{-1,5i} + 0,0468601 \cdot e^{-0,21i}\end{aligned}$$

При использовании графических зависимостей либо аналитических выражений этих зависимостей следует иметь ввиду, что они справедливы лишь в диапазонах измерения $R_{к\Sigma}=25\text{--}600$ МОм. При использовании графических зависимостей K_d в случае выхода за указанные пределы возможна некоторая экстраполяция, в случае же использования аналитических зависимостей следует использовать для расчётов крайние значения K_d для указанных возможных пределов их изменения.

14. Выбор защитных и коммутационных аппаратов.

14.1 Требования к защитным и коммутационным аппаратам.

Основными функциями защиты сети является препятствование развитию аварии и уменьшению ущерба. При этом следует учитывать, что надёжность зависит не только от надёжности функционирования защиты как устройства, но и от выбора технических характеристик защиты, соответствующих условиям применения, использования методик расчётов соответствующих физической сущности происходящих процессов, а также от правильности выбора расчётных условий. Без учёта этих факторов защита, имеющая высокую надёжность как техническое устройство, может явиться причиной ложных срабатываний (либо несрабатываний), при этом сама защита становится источником аварийности.

Защита сети СОПТ осуществляется, как правило, автоматическими выключателями, предохранителями либо релейной защитой, действующей на независимые расцепители автоматических выключателей.

Конструкция и технические характеристики современных защитных аппаратов разнообразны и при правильном применении могут обеспечить практически любые требования, предъявляемые к защите сети от КЗ.

Аппараты защиты должны удовлетворять следующим требованиям:

- номинальное напряжение аппарата должно быть не менее номинального напряжения сети;
- аппарат должен иметь конструкцию, допускающую его использование в цепях постоянного тока;

- аппараты должны обладать достаточной отключающей способностью, электродинамической и термической стойкостью к действию токов КЗ;
- аппараты должны обеспечивать надёжное отключение всех видов металлических и дуговых КЗ в защищаемых участках сети за минимально возможное по уровням селективности время;
- аппарат должен быть отстроен от излишних срабатываний при допустимых для сети и электрооборудования перегрузках
- должна обеспечиваться селективность действия последовательно установленных аппаратов при наименьшем возможном времени отключения места повреждения.

Выполнение перечисленных выше требований в основном, обеспечивается подбором параметров защитной аппаратуры, цепей питания потребителей (сечений и длин проводников и кабелей).

В некоторых случаях, для обеспечения выполнения перечисленных требований требуется изменение компоновки оборудования.

При этом для правильного функционирования защиты необходимо выполнения условия:

$$I_{\text{расч}} < I_{\text{с.з.}} < I_{\text{к.з. min}}, \quad (14.1)$$

где $I_{\text{расч}}$ — максимальный расчётный ток нагрузки (с учётом допустимых перегрузок);

$I_{\text{с.з.}}$ — ток срабатывания защиты;

$I_{\text{к.з. min}}$ — минимально возможное значение тока КЗ в защищаемом участке сети.

Традиционно считается, что значения величин, входящих в неравенство (14.1), постоянны и могут быть точно определены. В действительности эти величины не постоянны и изменяются в довольно широких пределах. При расчётном определении значений токов металлического КЗ могут быть допущены методические ошибки и неточности при выполнении вычислений. Даже самые совершенные методики расчёта не в состоянии обеспечить учёт всех изменений параметров в цепи при протекании по ней тока КЗ.

Значения расчётного тока нагрузки $I_{\text{расч}}$ также неточны и могут изменяться в зависимости от режима эксплуатации и внешних факторов. Ток срабатывания защиты $I_{\text{с.з.}}$ также может отличаться от расчётного и в зависимости от конструкции реагирующего органа иметь разброс значения тока срабатывания вследствие неточности при регулировке, погрешностей шунтов, погрешностей при настройке уставок срабатывания и разбросе времени срабатывания расцепителей и плавких вставок.

Подробно анализ возможности выполнения надёжной защиты сети с учётом рассмотренных выше неточностей параметров приведены в [7]. Прежде параметры разброса срабатывания указывались в технических условиях (ТУ). В настоящее время эта информация малодоступна, однако знания параметров разброса характеристик срабатывания необходимо для выполнения надёжной защиты сети.

В практике проектирования в качестве критерия разброса используется коэффициент K_p , значение которого в зависимости от конструкции аппарата приблизительно равно $\pm(1,1-1,3)$.

Для учёта внешних факторов, приводящих к увеличению разброса параметров срабатывания вводится коэффициент надёжности $K_n=1,05-1,1$.

При этом условия правильного функционирования защиты может быть записано в общем виде:

$$\left[\begin{array}{l} I_{\text{ср.з.}} \geq I_{\text{расч.}} \cdot K_n \cdot K_p, \\ I_{\text{ср.з.}} \leq I_{\text{к.м.}} \cdot \frac{K_d}{K_n \cdot K_p} \end{array} \right. \quad (14.2)$$

$$(14.3)$$

где $K_n = 1,05 - 1,1$ — коэффициент надёжности (запаса);

$K_p = 1,1 - 1,3$ — коэффициент разброса (принимается по данным завода изготовителя защиты);

$K_n = 1,05$ — коэффициент погрешности расчёта $I_{\text{к.м.}}$;

$I_{\text{к.м.}}$ — значение тока металлического КЗ;

K_d — дуговой коэффициент, определяемый по $K_d = f(R_k; I_k)$.

При постройке защиты в соответствии с (14.2), (14.3) не произойдет излишнего срабатывания при протекании $I_{\text{расч}}$ при обеспечении срабатывания при дуговом КЗ в защищаемой сети.

Конкретные рекомендации по выбору защит и их настройке приведены в СТО.

14.2 Выбор силовых и контрольных кабелей.

Выбор типа и сечения жил кабелей находится в тесной взаимосвязи с компоновкой электрооборудования, мощностью и количеством источников питания и параметрами защитной аппаратуры.

Эта взаимосвязь объясняется тем, что значение сопротивления жил кабелей влияют на значения токов КЗ в сети СОПТ и на значение потерь напряжения в цепях потребителей СОПТ. А значения токов КЗ и тип защитного аппарата в свою очередь влияют на температуру нагрева жил кабелей. Таким образом вы-

бор типа сечения жил кабеля может рассматриваться только в комплексе задач по проектированию системы СОПТ в целом.

Для питания потребителей системы постоянного тока, включая цепи вводов рабочего питания ЩПТ от АБ, следует использовать кабели с медными жилами и изоляцией из не поддерживающего горение поливинилхлоридного пластика (кабели типа ВВГнг, ВВГнг-LS).

Сечение жил кабеля выбирается с учетом следующих требований:

- сечение жил кабеля должно обеспечивать возможность длительного протекания рабочего тока нагрузки;
- сечение жил кабеля должно быть достаточным для обеспечения требуемого уровня напряжения у потребителей в конце режима аварийного разряда;
- сечение кабеля в сочетании с характеристиками защитных аппаратов должно обеспечивать защиту цепи от дуговых КЗ с сохранением термической стойкости кабеля допускающей его дальнейшую эксплуатацию.

Проверка термической и пожарной стойкости кабелей производится в соответствии с требованиями и по методике Циркуляра № Ц-02-98(Э) (О проверке кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания).

Методика определения температуры нагрева жил кабеля приведена также в приложении Д СТО.

Расчетными условиями при определении термической стойкости кабеля является металлическое КЗ в конце кабельной линии при нормальном режиме работы СОПТ, отключаемое защитным аппаратом, установленным в начале цепи с учетом полного времени отключения этого аппарата. Если при этом температура жил кабеля не превысит 160°C , кабель считается термически стойким и пригодным к дальнейшей эксплуатации.

Расчетными условиями при проверке кабелей на невозгорание является дуговое КЗ (среднее среднеквадратичное значение) в начале кабельной линии, отключаемое защитным аппаратом, установленным в начале цепи (в случае использования в качестве защитного аппарата предохранителя), либо отключаемое вышестоящим защитным аппаратом при использовании автоматических выключателей.

При проверке на невозгорание температура кабелей не должна превысить 350°C .

В том случае, если сечение выбранного кабеля превосходит 95мм^2 желательно применение одножильных кабелей.

15. Требования к вентиляции и отоплению.

Аккумуляторные помещения должны быть оборудованы естественной и принудительной приточно-вытяжной вентиляцией.

Естественная вентиляция должна обеспечивать однократный воздухообмен. При этом, если в покрытии (перекрытии) помещения имеются «карманы» — пространство, исключающее проветривание зоны, ограниченной строительными конструкциями или инженерными коммуникациями на расстоянии 150 мм от покрытия (перекрытия) и более, то вытяжка должна предусматриваться из каждого «кармана». Выпуски труб естественной вентиляции не должны превышать 40 мм от наивысшей точки покрытия (перекрытия). Выводы труб естественной вентиляции должен быть предусмотрен наружу и возвышаться над крышей здания не менее чем на 1,5 м.

Приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать расчетный воздухообмен, но не менее трехкратного. Приточно-вытяжная вентиляция должна быть сброкирована с зарядно-подзарядными устройствами и не должна выключаться в течение часа после отключения режима максимального (аварийного) заряда.

Вытяжная системы помещений аккумуляторной батареи должна обслуживать только аккумуляторные батареи. Выброс газов должен производиться через шахту, возвышающуюся над крышей здания не менее чем на 1,5 м.

Отопление помещения аккумуляторной батареи рекомендуется осуществлять при помощи калориферного устройства, располагаемого вне этого помещения и подающего теплый воздух через вентиляционный канал. При применении электроподогрева должны быть приняты меры против заноса искр через канал.

При устройстве парового или водяного отопления оно должно выполняться в пределах помещения аккумуляторной батареи гладкими трубами, соединенными сваркой. Фланцевые соединения и установка вентилей запрещаются.

Помещения щитов постоянного тока.

Требование к вентиляционному оборудованию в соответствии с категорией помещения.

На случай пожара должно быть предусмотрено отключение приточно-вытяжной вентиляции от кнопок, установленных снаружи у входа в помещение и со щита управления. При наличии автоматической пожарной сигнализации, она блокируется с приточно-вытяжной вентиляцией и отключает ее при пожаре.

Вытяжная вентиляция используется для удаления дыма после пожара.

Отопление помещений щитов постоянного тока в соответствие с категорией помещения.

Методика расчёта вентиляции помещений аккумуляторной приведены в приложении «К» СТО, там же приведены и примеры выполнения расчётов.

Список литературы.

1. ГОСТ Р МЭК 896-1-95. Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний. Часть 1. Открытые типы.
2. ГОСТ РМЭК 60896-2-99 — Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний. Часть 2. Закрытые типы.
3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утверждены Минэнерго России (приказ от 19.06.2003 №229).
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7 ред. Утверждены Приказом Министерства энергетики РФ от 20.05.2003 № 187.
5. ИП-07-2001(Э) — О закупке свинцово-кислотных аккумуляторов зарубежного производства.
6. ГОСТ 29176-91 Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока.
7. ГОСТ 28895-91 (МЭК 949-88) Расчёт термически допустимых токов короткого замыкания с учётом неадиабатического нагрева.
8. МУ 34-70-035-83 (СО 34.20.807) МУ по расчету защит в системе постоянного тока тепловых электростанций и подстанций. 1983г. Дополнение к МУ 1987г.
9. Циркуляр №Ц-02-98 (Э) О проверке кабелей на возгорание при воздействии тока короткого замыкания.
10. ТЭП ЭТ-01. Руководящие технические материалы. Установки постоянного тока тепловых электростанций. Схемы генерирования и распределения постоянного тока тепловых электростанций (ТЭС). Редакция I. В двух томах. Теплоэлектропроект. 1995г.
11. Дополнение к методическим указаниям по расчёту защит в системе постоянного тока тепловых электростанций. ММУ 34-70-035-83 СПО Союзтехэнерго. М.:1983.
12. Циркуляр №Ц-03-90(Э) «О предотвращении потери оперативного постоянного тока из-за неселективной работы автоматических выключателей серии АВМ ввода питания на щиты постоянного тока тепловых электростанций и подстанций» СПО Союзтехэнерго, М.:1990г.

13. Решение №Э-1-91 о внесении дополнений и изменений в циркуляр №Ц-03-90(Э). М.:1990г.

14. Шиша М.А. Учёт влияния электрической дуги на ток КЗ в сетях напряжением до 1 кВ переменного тока. Электрические станции, 1996г. №11.

15. Шиша М.А., Александров В.М., Рычагов В.Н. Влияние электрической дуги на ток КЗ в сетях напряжение до 1кВ// Новости ЭлектроТехники. 2011 №6 (72).

16. Шиша М.А., Александров В.М., Рычагов В.Н. Влияние электрической дуги на ток КЗ в сетях напряжение до 1кВ в системах постоянного тока// Новости ЭлектроТехники. 2012 №1(73).

17 Шиша М.А., Александров В.М., Рычагов В.Н. Расчет защит сетей напряжением до 1Кв учёт влияния электрической дуги// Новости ЭлектроТехники. 2012 №2(74).

18. Шиша М.А. Проблема: потеря питания системы оперативного тока на ПС// Новости ЭлектроТехники. 2013 №2(80).

19. Антипов К.М. Письмо Главтехуправления минэнерго СССР от 10.05.89 №0324-6-35/1725 о защите цепей постоянного тока электростанций от перенапряжений.

20. Гуревич В.И. Проблемы повышения надёжности систем оперативного питания РЗА на постоянном токе// Электроэнергия. Передача и распределение, 2012, №2.

21. Гуревич. В.И. Устройства электропитания релейной защиты. Учебно-практическое пособие.// Инфа-Инженерия М. 2013г.

22. Шиша М.А., Гендлин Ю.С. Современное состояние и реконструкция систем постоянного тока электростанций и подстанций.// Электро, 2007, №2.

23. Системы оперативного постоянного тока подстанций 110-750кВ. Опыт реальной работы не учтён. Обсуждение. Новости электротехники, 2008, №5(53).

24. СОПТ. Аккумуляторные батареи. Зарядные устройства. Энергоэксперт, 2009, №2(13).

25. M. Shisha, V. Ponomarev, V. Zhukov. Analysis of arc effect on shortcircuit current magnitude in Power Stations DC/AC network with voltage below 1kW (6th In-

ternational Symposium SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN POWER SYSTEMS), p., Liege, 1994.)

26. Григорьев В.И., Киреев Э.А., Быстрицкий Г.Ф., Харитон А.Г., Чохонелидзе А.Н. Справочник энергетика. М., Колос, 2006.

27. Баратов А.Н., Корольченко А.Я. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. Справочник в 2-х книгах. М., Химия, 1990.

28. «ПРЕДПРИЯТИЕ п.я. Г4617» «Отопление, вентиляция помещений аккумуляторных зарядных станций». Указания по проектированию.

29. Редкол.: Кнулянц И.Л. (гл. ред.) Химическая энциклопедия в 5 т. — М.: Советская энциклопедия, 1988.

30. Заключение ФГУ ВНИИПО МЧС России от января 2004 года о пожаровзрывобезопасности стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов технологии АГМ, производства EXIDETechnologies, выпускаемых под марками: Sprinter, Marathon, Powerfit, Tudor, Absolyte и аккумуляторов, выпускаемых по классической технологии с жидким электролитом, под марками: ClassicOGi, ClassicOPzS, ClassicGROE.

31. Баратов А.Н., Корольченко А.Я. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. Справочник в 2-х книгах. М., Химия, 1990.

32. Письмо ФГУ ВНИИПО МЧС России от 28.09.2009 № 13-3-02/4502 о теплоте сгорания кабеля ВВГнг.