Открытое акционерное общество
"Институт "Энергосетьпроект"

Проектно-изыскательский
и научно-исследовательский институт
по проектированию энергетических систем
и электрических сетей

МОСКВА

Руководящие указания
по организации системы оперативного постоянного тока на ПС 110 кВ и выше

Этап III

Расчеты по выбору параметров аккумуляторных батарей для ПС 330 кВ и выше с двумя аккумуляторными батареями. Полные схемы щитов постоянного тока.

№ 83тм-т3

Москва, 1999 г.

Российское акционерное общество
энергетики и электрификации "ЕЭС России"

Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей
"Энергосетьпроект"

Руководящие указания по организации системы оперативного постоянного тока на ПС 110 кВ и выше.

Этап III

Расчеты по выбору параметров аккумуляторной батареи для ПС 330 кВ и выше с двумя аккумуляторными батареями.

Полные схемы щитов постоянного тока.

N 83тм-т3

Зам.генерального директора
института «Энергосетьпроект» И.З.Глускин

Начальник отдела РЗАУ А.В.Рожкова

Москва, 1999 г.

В работе принимали участие:

Главный специалист	Ю.Г.Айрапетов
Главный инженер проекта	Г.Ф.Верницкая
Заведующая группой	И.А.Лукьянова

АННОТАЦИЯ

Настоящий том 3 работы содержит указания по выбору параметров аккумуляторных батарей для ПС 330 кВ и выше, а также полные схемы щитов постоянного тока для ПС с двумя аккумуляторными батареями.

Дан пример выбора параметров аккумуляторной батареи.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Состав проекта.....5

Список рисунков.....6

Введение.....7

1.Общие положения.....8

2.Выбор параметров аккумуляторной батареи.....10

2.1.Общие положения.....10

2.2.Расчет максимального толчкового тока..... 15

2.3.Определение числа аккумуляторов для АБ с номинальным напряжением 220 В..... 15

2.4.Расчет минимального напряжения приходящегося на один аккумулятор..... 16

2.5.Определение емкости аккумуляторной батареи..... 19

3.Примеры выбора типа и емкости аккумуляторных батарей для ПС 330 кВ и выше..... 25

3.1.Аккумуляторная батарея для ПС 500/220/110/10 кВ..... 25

3.2.Выбор емкости АБ по характеристикам разряда, изображенным в табличной форме..... 31

4.Схемы щита постоянного тока.....33

4.1.Основные положения.....33

СОСТАВ ПРОЕКТА

Руководящие указания по организации системы оперативного постоянного тока на ПС 110 кВ и выше

N 83 тм

Том 1	Расчеты по выбору параметров аккумуляторной батареи для ПС 110-220 кВ с одной аккумуляторной батареей. Полные схемы щитов постоянного тока.	83тм-т1
Том 2	Расчеты системы оперативного постоянного тока для ПС 110-220 кВ	83тм-т2
Том 3	Расчеты по выбору параметров аккумуляторной батареи для ПС 330 кВ и выше с двумя аккумуляторными батареями. Полные схемы щитов постоянного тока.	83тм-т3
Том 4	Расчеты системы оперативного постоянного тока для ПС 330 кВ и выше.	83тм-т4

СПИСОК РИСУНКОВ.

Рис.	Наименование	Примечание
1	Схема ЩПТ для двух АБ без дополнительных элементов и без уравнительного заряда	
2	Схема ЩПТ для двух АБ с дополнительными элементами и без уравнительного заряда с четырьмя секциями ±ЕС и двумя секциями ±ЕУ	
3	Схема ЩПТ для двух АБ без дополнительных элементов с возможностью уравнительного заряда	
4	Схема ЩПТ для двух АБ 220 В с дополнительными элементами и возможностью уравнительного заряда	
5	Схема включения перемычек резервирующих каналы питания на ЩПТ и взаимного резервирования отдельных шинок каждой АБ в системе ОПТ.	

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа (том 3) содержит методику и примеры выбора параметров аккумуляторных батарей (типа, емкости и числа элементов).

Расчеты даны для случаев использования отечественной серии аккумуляторов типа БП, которая заменила серию СК.

Аккумуляторы серии БП являются аккумуляторами типа GroE, с электродами типа Plante. В случае задержки в освоениии Курским заводом аккумуляторов типа БП, можно использовать аккумуляторы типа GroE других фирм (например, Hoppecke, Sonnenschein и др.) или аккумуляторы с намазными пластинами.

Работа выполнена с учетом того, что при расчетах токов короткого замыкания в системе оперативного постоянного тока учитывается сопротивление дуги в месте короткого замыкания.

1.ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Выбор параметров аккумуляторной батареи (АБ) производится для системы оперативного постоянного тока (ОПТ) подстанций (ПС) 330 кВ и выше, где по нормам технологического проектирования предусматривается установка двух аккумуляторных батарей, являющихся источником постоянного тока для двух изолированных систем ОПТ. Каждая из АБ должна быть выбрана из расчета питания всей основной нагрузки постоянного тока на ПС. Должна быть предусмотрена возможность вывода из работы одной АБ для ремонта или замены на новую с переключением всей нагрузки постоянного тока на оставшую в работе АБ. В свою очередь, каждая из АБ имеет два независимых канала питания нагрузки системы ОПТ, которые связаны между собой только через ошиновку АБ. Начиная от "головных" автоматов, каждый канал ОПТ является независимым источником питания нагрузки.

Аккумуляторные батареи работают параллельно с зарядно –подзарядными агрегатами в режиме постоянного подзаряда. Вся длительная нагрузка на ПС (устройства релейной защиты, автоматики, управления, сигнализации) питается от зарядно-подзарядных агрегатов, которые также возмещают потери, связанные с саморазрядом батареи. Аккумуляторная батарея воспринимает на себя толчковую нагрузку, а также всю нагрузку при исчезновении питания переменного тока.

На точность расчетов при выборе параметров АБ влияют:

- наличие генерального плана ПС (ОПУ, ОРУ, ЗРУ, кабельных каналов и т.д.),
- наличие принятых решений по схемам электрических соединений распределительных устройств,
- тип выбранного основного оборудования.

При отсутствии сведений о нагрузке в системе ОПТ проектируемой ПС можно считать, что на ПС 330-750 кВ нагрузка в нормальном режиме не превысит 50 А, а при аварийном разряде в течении основных 30 минут – не превысит 100 А.

2.ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

2.1.Общие положения

Нагрузка постоянного тока на ПС при конкретном проектировании должна определяться непосредственным подсчетом. При отсутствии соответствующих данных по нагрузке, она может быть принята равной 50 А в нормальном режиме и не более 100 А в режиме аварийного разряда аккумуляторной батареи (в течение основных 30 минут).

Одним из основных параметров, необходимым для выбора аккумуляторной батареи, является величина толчкового тока при отключении группы выключателей или при включении наиболее мощного масляного выключателя, зависящая от схем электрических соединений распределительных устройств на ПС и типов высоковольтных выключателей. Параметры современных выключателей, необходимые для выбора АБ, приведены в таблице 1. Соединение проводов АБ с щитом постоянного тока выполняется медным кабелем большого сечения в зависимости от величины толчкового тока (см. таблицу 2).

Таблица 1

Сведения о потреблении постоянного тока электромагнитами управления некоторых высоковольтных выключателей

Тип выключателя	Напряжение, кВ	Фирма изготовитель	Кол-во комплектов электромагн. отключения	Нач. ток втягивания электромагнита отключения, А		Примечания
				одной фазы	трех фаз	
ВНВ-330,500,750	330.500.750	Уралэлектротяжмаш, г.Екатеринбург	2	13,5	40,5	
ВВБ-500,750	500,750	Электроаппарат, г.С-Петербург	1	20	60	
ВВДМ-330	330	"	1	20	60	
ВВД-220-	220	"	1	12	36	
ВВБК-220,500	220,500	"	1	22	66	
ВВБМ-110(ВВБК)	110	"	1	12	36	
ВГУ-220,330	220,330	Уралэлектротяжмаш, г.Екатеринбург	2	2,3	7	Элегазовый
ВГУ-500	500	"	2	4,6	14	"
ВГТ-110	110	"	1		2,5	"
LTV145-D1/B	110	ABB	2		1	"
145 PM 40	110	"	2		6	"

ВГБ-220	220	Электроаппарат г.С-Петербург	2	2,3	7	“
РХТ 15	330	GEC ALSTHOM	2		7	“
ВМТ-220	220	Уралэлектротяжмаш, г.Екатеринбург	1	2,5	7,5	“
ВМТ-110	110	“	1		2,5	“
ВКЭ 10	10	Ровенский завод в/в аппаратуры	1		2,5	Электромагнит включения 100А
ВБЭК10-20/1600	10	НПП”Контакт” г.Саратов	1	-	1,5	Вакуумный
ВВЭМ 10-20	10	АО “ЭНЭКО” г.Минусинск	1	-	2,5	Электромагнит включения 60А,вакуумный
ВБЧЭ 10	10	“	1	-	2,5	Электромагнит включения 20кА-40А, 31,5кА-70А
VP	10	ABB	1	-	1,5	Элегазовый привод пружинный

Таблица 2.

Величина толчкового тока $I_т$,А	60-170	170-440	500	720
Сечение жил кабеля от АБ до ЩПТ $S_{кб1}$, мм^2	70	120	240	2х240
Диаметр ошиновки АБ $d_{ош}$, мм	10	12		
Сечение ошиновки АБ, $S_{ош}$, мм^2	78,5	113		

При выполнении расчетов, необходимых для выбора емкости АБ, потребуются величины сопротивлений в цепи толчкового тока. В таблице 3 приведены сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей и рубильников постоянного тока.

Таблица 3.

Сопротивление электромагнитов и главных контактов автоматических выключателей и рубильников (на один полюс).

$I_{ном}$,А	50	70	100	140	200	400	600	1000
$R_{тк}+R_{кс}$ мОм	7	3,5	2,15	1,3	1,1	0,65	0,41	0,25
$R_{кс}$ руб,мОм			0,5		0,4	0,2	0,15	0,08

При выборе АБ во всех случаях определяющим является обеспечение минимально допустимого напряжения (0,8Uном) на устройствах релейной защиты и автоматики (РЗА), противоаварийной автоматики (ПА), телемеханики (ТМ) и связи.

Вторым условием выбора АБ является обеспечение включения одного или двух выключателей после получасового разряда батареи.

Расчетными режимами являются:

- одновременное отключение группы выключателей – учитывается суммарный установившийся ток электромагнитов отключения,
- *включение выключателя с наиболее мощным электромагнитным* приводом.

В нормальном режиме напряжение на устройствах РЗА, ПА, ТМ и связи не должно превышать 1,05Uном (231 В). При срабатывании привода напряжение на нем должно быть не ниже минимально допустимого.

Толчковые токи при выборе АБ рассматриваются в следующих режимах:

- в предшествующем нормальном режиме для случая одновременного отключения группы выключателей,
- в конце получасового аварийного разряда АБ током *50 или 100* А,
- в любом режиме, в том числе в режиме дозаряда и в конце получасового аварийного разряда для случая включения наиболее мощного электромагнитного привода,
- то же, но в конце двухчасового разряда (по требованию заказчика).

Во всех случаях исходным при выборе АБ является минимальный номер батареи, определяемый по условию обеспечения минимально допустимого напряжения на устройствах РЗА (0,8Uном).

2.2.Расчет максимального толчкового тока

Максимальный толчковый ток при отключении определяется по выражению $I_т = I_{т\ откл} + I_{нагр}$ (1),

где $I_{т\ откл}$ – суммарный ток электромагнитов отключения одновременно отключаемых выключателей (из табл.1),

$I_{нагр}$ – суммарный ток нагрузки нормального рабочего режима

Соответственно определяется максимальный толчковый ток при включении выключателя (выключателей)

$I_т = I_{т\ вкл} + I_{нагр}$ (2)

$I_{т\ вкл}$ – ток электромагнита включения высоковольтного выключателя (выключателей).

2.3.Определение числа аккумуляторов для батареи с номинальным напряжением 220 В

В соответствии с Правилами технической эксплуатации (Издание 15, п.5.5.9) "Напряжение на шинах постоянного тока питающих цепи управления, устройства релейной защиты, сигнализации, автоматики и телемеханики, в нормальных эксплуатационных условиях допускается поддерживать на 5% выше номинального напряжения электроприемников".

Необходимо определить напряжение на шинах шита постоянного тока, ближайших к выводам от аккумуляторной батареи, учитывая, что на ПС 330-750 кВ нагрузка в нормальном режиме не превысит 50 А.

Суммарное, приведенное сечение кабелей можно принять равным 150 мм^2 , а приведенную длину кабеля равной – 50 м

$$R_{пр} = \frac{0{,}0172 \times 10^3 \times 50}{150} = 5{,}73\ мОм$$

Напряжение на шинах ЩПТ будет равно

$U_{щпт} = 1{,}05U_{ном} + I_{пр}\ R_{пр} = 231 + 50x5{,}73 = 231{,}3$ В

При работе АБ в режиме постоянного подзаряда наиболее экономичным является режим, при котром напряжекние на каждом элементе (аккумуляторе) поддерживается на уровне 2,23 В. Указанное касается аккумуляторов закрытого типа GroE (БП и SPF), OP, Ogi, VB, SPL и др. с пластинами типа Plante и с намазными пластинами, которые по своим разрядным характеристикам и сроку службы (GroE - 20 лет, намазные – 12-15 лет) обеспечивают нормальную эксплуатацию системы ОПТ на ПС 110 кВ и выше.

Определяется число аккумуляторов в батарее

$$n = \frac{231{,}3}{2{,}23} = 103{,}72$$

Число аккумуляторов в батарее принимается равным 104.

При необходимости иметь на шинках ЩПТ более высокое напряжение (например для включения выключателей с электромагнитными приводами). Количество аккумуляторов устанавливается в соответствии с расчетом сверх основного количества аккумуляторов дополнительные аккумуляторы с выводом на отдельные шинки ЩПТ.

2.4.Расчет минимального напряжения, приходящегося на один аккумулятор батареи.

Расчет производится при условии обеспечения на шинках питающих устройства релейной защиты и автоматики (РЗА), противоаварийной автоматики (ПА) напряжения не менее $0{,}8U_{ном}$.

Для $U_{ном}$=220 В, $0{,}8U_{ном}$=0,8x220=176 В

При указанных условиях, напряжение на одном элементе должно быть не менее $U_{эmin} \geq \frac{0{,}8Uном + \Delta Uар}{104} = 1{,}69 + \frac{\Delta Uар}{104}$ (3)

где $\Delta U'_{Ар}$ – падание напряжения от толчкового тока на сопротивление цепи от АБ до шинок ± РЗА, которое складывается из двух частей:

$\Delta U_{АР}$ – падения напряжения от полного толчкового тока Iт на участке цепи от АБ до главных шинок на ЩПТ и падения напряжения $\Delta U_{РЗА}$ от тока $I_{нагр(РЗА)}$ на участке от главных шинок ± ЩПТ до шинок ± РЗА, расположенных на щите релейной защиты.

$\Delta U_{АР} = \Delta U'_{ар} + \Delta U_{РЗА}$ (4)

$\Delta U'_{АР} = \Delta U_{ош} + \Delta U_{кб1} + \Delta U_{АВв/у} + \Delta U_{кс} + \Delta U_{пер} = I_т(R_{ош} + R_{кб1} + R_{АВв/у} + R_{ксруб} + R_{пер})$ (5),

где $\Delta U_{ош}$- падение напряжения от полного толчкового тока ($I_т$) в сопротвлении $R_{ош}$ ошиновки АБ,

$\Delta U_{кб1}$ – падение напряжения от полного толчкового тока Δв сопротивлении $R_{кб1}$ кабеля, соединяющего выводы АБ с ЩПТ,

$\Delta U_{АВв/у}$ – падение напряжения от полного толчкового тока на сопротивлении $R_{АВв/у}$ контактов автоматических выключателей верхнего уровня защиты,

$\Delta U_{кс}$ – падение напряжения от полного толчкового тока на сопротивлении $R_{кс\ руб}$ контактов рубильника, включенного последовательно с автоматическим выключателем верхнего уровня защиты,

$\Delta U_{пер}$ – тоже на переходных сопротивлениях контактных соединений.

Падение напряжения на участке от ЩПТ до шинок ± ЕС ЩРЗ определяется по выражению

$$\Delta U_{РЗА} = \frac{I_{нагр}}{2}(R_{кб2} + R_{АВс/у}), \quad (6)$$

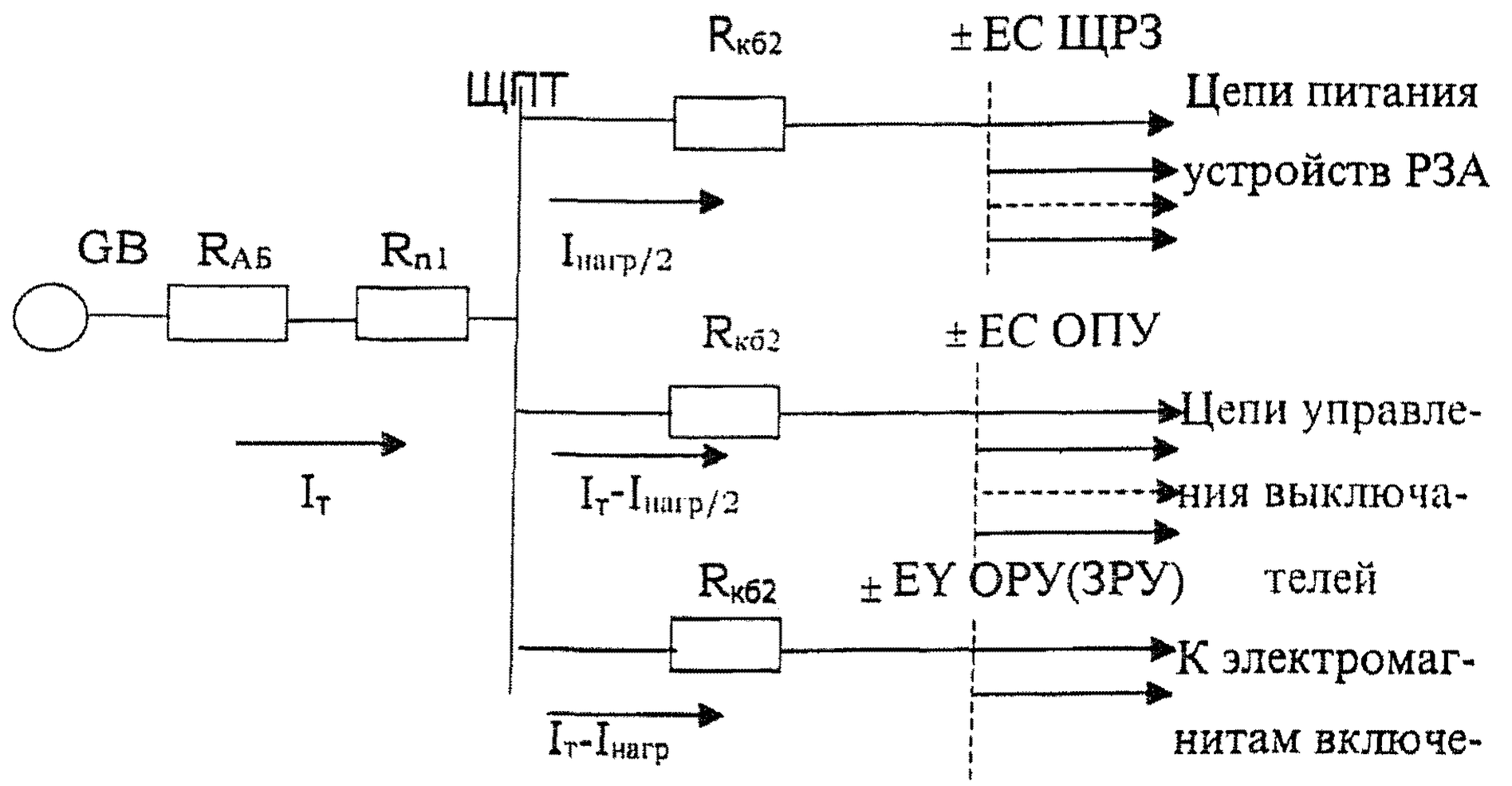
где $I_{нагр}/2$ - ток нагрузки, потребляемый устройствами РЗА, определяется как половина всей нагрузки постоянного тока на ПС при получасовом аварийном разряде АБ,

$R_{кб2}$ – сопротивление кабеля от ЩПТ до шинок ± ЕС РЗА (или до шинок управления ± ЕС ОПУ (ЗРУ)),

$R_{ABc/y}$ – сопротивление контактов автоматического выключателя среднего уровня защиты (кабеля $R_{кб2}$ от ЩПТ до шинок ±ЕС ЩРЗ в ОПУ).

$R_{пер}$ – суммарное переходное сопротивление контактных соединений в цепи толчкового тока, принимается равным 1 мОм.

При конкретном проектировании для расчета АБ большинство данных может быть определено из проекта, а в случае затруднения – из таблиц 1-3. На рис.1 представлена схема распределения токов при групповом отключении выключателей на ПС или при включении электромагнитного привода наиболее мощного выключателя в зависимости от того, при каком условии толчковый ток больше.



$R_{п1}=R_{ош}+R_{кб1}+R_{ABв/у}+R_{кс}+R_{пер}$

Рис.1.Схема распределения токов при отключении группы выключателей или при включении масляного выключателя (выключателей).

Кабели от выводов АБ до автоматических выключателей верхнего уровня (вводных автоматических выключателей) выбираются в зависимости от толчкового тока (табл.2). Предварительно (только для выбора параметров АБ) произвольно выбирается сечение кабеля от ЩПТ до шинок ±ЕС ЩРЗ. Чаще всего оно принимается равным от 16 до 50мм^2

Вычислив все необходимые сопротивления ($R_{ош}$, $R_{кб1}$, $R_{кб2}$, $R_{кс}$, $R_{ABв/у}$, $R_{ABс/у}$) и соответствующие им падения напряжения ($\Delta U_{ош}$, $\Delta U_{кб1}$, $\Delta U_{кб2}$, $\Delta U_{кс}$, $\Delta U_{ABв/у}$, $\Delta U_{ABс/у}$), определяется $\Delta U_{РЗА}$, $\Delta U'_{ар}$, $\Delta U_{АР}$ соответственно по выражениям (6), (5), (4). Далее по выражению (3) определяется значение $U_{эmin}$.

2.5.Определение емкости аккумуляторной батареи.

Для вычисленного значения $U_{эmin}$ (минимально допустимое напряжение на одном аккумуляторе, обеспечивающее в составе АБ напряжение на шинках, питающих устройства РЗА, не менее $0{,}8U_{ном}$) по вольт-амперной характеристике выбранного типа аккумулятора определяется величина толчкового тока $j_т$ в амперах. Вольт-амперные характеристики построены для одной пары пластин емкостью 25, 50, или 100 Ач и t=0с.

На рис.2 приведены вольт-амперные характеристики для двух типов аккумуляторов: с пластинами типа Plante (тип GroE) и с намазными пластинами следующих фирм: Hoppecke, Sonnenschein, CEAC, VARTA, Oldham France (соответственно – Хоппеке, Зонненшайн, СЕАК, ВАРТА, Ольдам Франс), Курский завод.

Необходимое количество параллельно соединенных пластин определяется делением величины толчкового тока ($I_т$) на значение толчкового тока для одной пары пластин ($j_т$), полученное из вольт-амперной характеристики. Принимается ближайшее большее число пластин.

$$N=\frac{I_т}{j_т} \qquad (7)$$

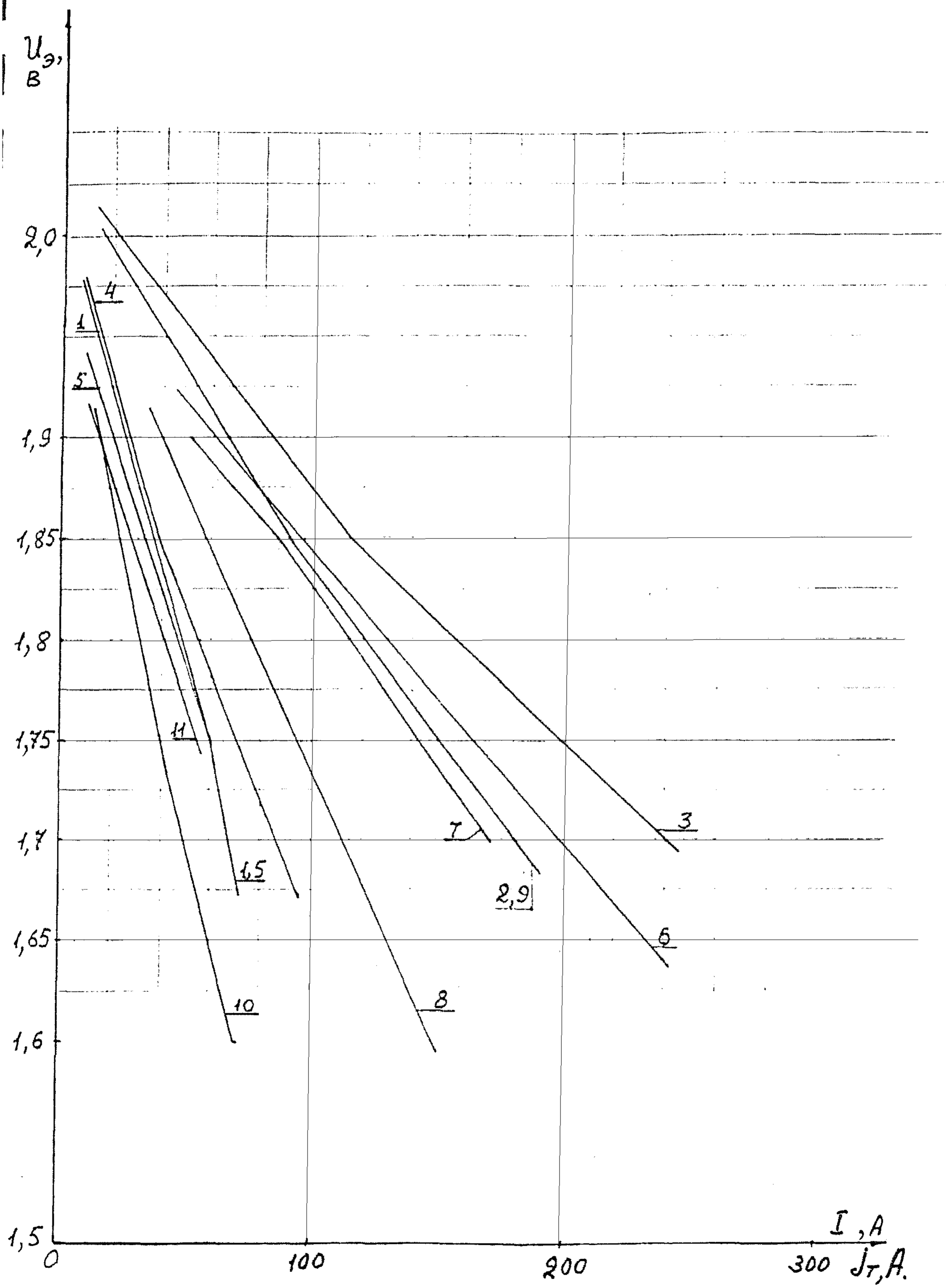


Рис.2. Зависимость напряжения $U_э$ одной пары пластин аккумулятора от величины толчкового тока $J_т$ для аккумуляторов типа GroE и с намазными пластинами.

Список характеристик аккумуляторов типа GroE и с намазными пластинами, изображенных на рис.2.

1.CPF (GroE), ATSA (CEAC)
2.SPF100 (GroE), ATSA (CEAC)
3.БП100 (GroE), АО Курский завод “Аккумулятор”
4.БП25 (GroE), АО Курский завод “Аккумулятор”
5.GroE25 (Hoppecke) GroE25 (Sonnenschein)
6.GroE100 (Hoppecke)
7.GroE100 (Sonnenschein)
8.Vb2301 (50АЧ) - Varta
9.Vb2401 (100АЧ) – Varta
10.OP1 (26АЧ) – Oldham France
11.GroE25 (Hoppecke) и CPF25 (CEAC) при t=0,5часа.

Так, например, в случае, когда $I_т$=405+50=452А, $U_{эmin}$=1,8В, ток одной пары пластин ($j_т$) будет иметь близкие значения (47А, 45А, 48А, 47А) для всех приведенных на рис.2 характеристик аккумуляторов типа GroE25 (т.е. разброс не более 5%).

При определении количества пар пластин (в дальнейшем – пластин) по формуле (7) получим во всех четырех случаях общий результат

$$N=\frac{405}{45(48)}=9(8,4)$$

Выбранный аккумулятор должен иметь 9 пластин. Емкость аккумулятора составит 9х25=225АЧ.

При выборе аккумуляторов типа OP (Oldham France) для $U_э$=1,8В

$j_э$=32А $\quad N=\frac{405}{32}=12,7$

Необходимо иметь 13 параллельно включенных пластин и соответственно большую емкость 13х26=338АЧ.

Выбранная соответствующим образом аккумуляторная батарея обеспечивает при толчковом токе при одновременном отключении максимально возможного количества выключателей напряжение на шинках, питающих устройства РЗА, не ниже $0,8U_{ном}$. Указанная величина напряжения должна быть обеспечена на шинках РЗА также при включении наиболее мощного привода. Расчет выполняется аналогично по формулам (3), (4), (5), (6), (7) в соответствии с рис.1. Кроме указанного, при включении выключателя на электромагните включения напряжение не должно быть ниже $0,85U_{ном}$ (187В).

Должно соблюдаться выражение

$$U_{АБmin} \geq 0,85U_{ном}+(I_{т\ вкл}+I_{нагр})(R_{ощ}+R_{кб1}+R_{АВ\ ву.}+R_{кс\ руб})+I_{т\ вкл}(R_{кб2}+R_ш) \geq 0,85U_{ном}+\Delta U'_{др}+I_{т\ вкл}(R_{кб2}+R_ш) \qquad (8),$$ где

$R_ш$ – сопротивление участка шинок от места подключения питающего кабеля до привода выключателя,

$I_{т\ вкл}$ – толчковый ток электромагнита включения ($I_{вкл}$) наиболее мощного привода выключателя.

По толчковому току $I_{т\ вкл}+I_{нагр}$ и выбранному ранее номеру батареи (числу положительных пластин) определяется $j_т=\frac{I_{текп}+I_{нагр}}{N}$ (9) и по соответствующей характеристике на рис.2 определяется $U_{эmin}$.

Напряжение на АБ равно $U_{АБ}=U_{эmin} \times n$ (10)

Определяется допустимое падение напряжения на кабеле и шинках с учетом формулы (8)

$\Delta U_{кб+ш}=U_{эmin} \times n-(0{,}85U_{ном}+\Delta U'_{вр})$ (11)

Определяется суммарное сопротивление питающего кабеля и шинок. $R_{кб2}+R_ш=\frac{U_{эmin}\times n-(0{,}85U_{ном}+\Delta U_{АР})}{I_{тв}}$ (12)

При одинаковом сечении питающего кабеля и кабеля “кольца соленоидов” (шинки), оно будет равно

$S_{кб2+ш}=\frac{\rho 2l}{R_{кб2}+R_ш}=\frac{0{,}0172\times 10^3\times 2\times l}{R_{кб2}+R_ш}$ (13), где

l – длина кабеля от ЩПТ до привода выключателя.

Если полученное сечение кабеля не превышает 120-240мм^2, выбор типа и числа параллельно включенных пластин можно считать законченным.

В случае, когда сечение кабеля получилось по расчету чрезмерно большим, необходимо увеличить число аккумуляторов в батарее.

Указанное может быть выполнено в следующей последовательности. следует задаться сечением кабеля $S_{кб2+ш}$ (например, 120 мм^2) и определить сопротивления: $R_{кб2}$ и $R_ш$, после чего определить

$U_{эmin}\ n=I_{т\ вкл}(R_{кб2}+R_ш)+(0{,}85U_{ном}+\Delta U'_{АР})$

и соответственно число элементов (аккумуляторов) в батарее

$$n=\frac{I_{Твкл}(R_{кб2}+R_{ш})+0{,}85U_{ном}+\Delta U_{АР}}{U_{Эmin}} \qquad (14)$$

В правой части формулы (14) все члены уравнения известны, определяется n.

Вторым условием выбора емкости аккумуляторной батареи является обеспечение включения одного или двух выключателей после получасового или двухчасового разряда батареи при обеспечении на шинках, питающих устройства РЗА напряжения не менее $0{,}8U_{ном}$. Расчет ведется в следующем порядке.

Определяется максимальный толчковый ток при включении двух выключателей 10 кВ с электромагнитным приводом (например, ВКЭ-10, имеющий ток включения 100А) в конце получасового разряда батареи током 100А по формуле (2). При указанных выключателях на ПС 500 кВ толчковый ток будет равен $I_т$=2x100+100=300А.

По формулам (5), (4), (3) определяется соответственно $\Delta U'_{АР}$, $\Delta U_{АР}$ и $U_{Эmin}$.

По характеристике 11 на рис.2 для аккумуляторов типа GroE-25 (CPF-25. БП-25, Hoppecke, Sonnenschein), построенной для указанных аккумуляторов после получасового разряда током 100А, определяется для вычесленной по формуле (3) $U_{Эmin}$ ток $j_т$.

Определяется минимально допустимое число параллельно включенных пластин по формуле (7) $N=\frac{300}{j_т}$

Полученное число пластин должно быть не более величины, вычисленной по толчковому току при отключении группы выключателей 500 кВ.

В противном случае емкость аккумуляторной батареи определяется по последнему расчету.

3.ПРИМЕРЫ ВЫБОРА ТИПА И ЕМКОСТИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ПС 330 КВ И ВЫШЕ

3.1.Аккумуляторная батарея для ПС 500/220/110/10 кВ с электрическими схемами распределительных устройств.

3.1.1.ОРУ 500 кВ. – полуторная схема (3 выключателя на два присоединения). Восемь присоединений: четыре ВЛ 500 кВ, два АТ 500/220 кВ, два АТ 500/110 кВ, двенадцать выключателей 500 кВ типа ВНВ 500, с двумя электромагнитами отключения на фазу.

3.1.2.ОРУ 220 кВ. – две рабочие и обходная системы шин. Двенадцать присоединений: десять линий 220 кВ и два АТ 500/220 кВ. Четырнадцать выключателей типа ВГУ-220 кВ с двумя электромагнитами отключения на фазу.

3.1.3.ОРУ 110 кВ – одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин, четырнадцать присоединений: десять ВЛ 110 кВ, два АТ 500/110 кВ и два трансформатора 110/10 кВ с расщепленной обмоткой 10 кВ, шестнадцать элегазовых выключателей типа ВГТ-110 с одним электромагнитом отключения на фазу.

3.1.4.ЗРУ 10 кВ – одиночные, секционированные выключателями, системы шин. Каждое секционирование выполнено двумя выключателями. На каждой секции по 10 кабельных присоединений и один ввод 10 кВ. Выключатели вакуумные типа ВБЧЭ-10 с током отключения 31,5 кА.

3.1.5.В соответствии с нормами технологического проектирования на ПС 500 кВ устанавливаются две аккумуляторные батареи. При этом, емкость каждой АБ должна обеспечивать нагрузку в системе ОПТ на ПС.

3.1.6.Определяется максимальный толчковый ток.

При питании всей нагрузки от одной АБ при отключенной второй АБ.

Для случая КЗ на шинах 500 кВ. Отключаются 4 выключателя. Ток отключения с учетом питания обоих электромагнитов каждой фазы выключателя от одной АБ составит

$$I_{т\ откл}=2(4x40,5)=324\ А$$

При аварийном отключении АТ 500/220 кВ

$$I_{т\ откл}=2(2x40,5)+2x7+2,5=178,5\ А$$

При КЗ на шинах 220 кВ и нарушенной фиксации присоединений к системам шин должны отключаться все присоединения 220 кВ и шиносоединительный выключатель.

$$I_{т\ окл}=2(13x7)=182\ А$$

При КЗ на секции шин 110 кВ отключается секционный выключатель и все присоединения поврежденной секции шин 110 кВ.

$$I_{т\ окл}=8x2,5=20\ А$$

При включении четырех выключателей 10 кВ типа ВБЧЭ-10 в случае отключения трансформатора 110/10 кВ и действии схемы АВР.

$$I_{т\ вкл}=4x70=280\ А$$

Указанное включение выключателей можно выполнить в два этапа с перерывом в 1 сек.

Из приведенных расчетов следует, что максимальный толчковый ток при отключении четырех выключателей 500 кВ. Максимальный ток потребления в системе ОПТ на ПС 500 кВ не превышает 50 А .$I_{нагр}$=50 А

Суммарный толчковый ток будет равен (1)

$$I_т=324+50=374\ А$$

3.1.7.Определяется минимальное напряжение, приходящееся на один элемент (аккумулятор) батареи.

Из табл.2 для $I_т$=374 А определяем сечение жил кабеля от АБ до ЩПТ $S_{кб1}$=120 мм^2

При длине кабеля от АБ до ЩПТ – 25 м.

Длина кабеля от ЩПТ до шинок в релейном зале (с учетом длины до самой отдаленной панели (шкафа) РЗА) принимается равной 70 м, а сечение S=50 мм². Длина кабеля от ЩПТ до ЗРУ 10 кВ принимается равной 150 м, а S=120 мм². Суммарная длина ошиновки АБ – 20 м, S=3,14x6²=113 мм².

Определяется соответствующие сопротивления.

$$R_{ош}\ \frac{0{,}0172\cdot 10^3\cdot 20}{113}=3{,}0\ мОм$$

$$R_{кб1}=\frac{0{,}0172\cdot 10^3\cdot 2\cdot 25}{120}=7{,}17\ мОм$$

$$R_{кб2(РЗА)}=\frac{0{,}0172\cdot 10^3\cdot 2\cdot 70}{50}=48{,}16\ мОм$$

$$R_{кб2(ЗРУ)}=\frac{0{,}0172\cdot 10^3\cdot 2\cdot 150}{120}=43\ мОм$$

$R_{АВ(в/у)}$=0,65 мОм

$R_{АВ(с/у)}$=1,1 мОм

$R_{кс\ руб}$=0,2 мОм

$R_{пер}$=1 мОм

Определяем по формуле (6) падение напряжения на участке от ЩПТ до шинок РЗА из условия, что потребление устройств РЗА и ПА составляет половину величины тока нормального режима

$$\Delta U_{РЗА}=\frac{50}{2}(48{,}16+1{,}1)\cdot 10^{-3}=1{,}23B$$

По формуле (5) определяем падение напряжения от толчкового тока на участке от АБ до ЩПТ

$$\Delta U'_{АР}=374(3+7{,}17+0{,}65+0.2+1)\cdot 10^{-3}=374\cdot 12{,}02\cdot 10^{-3}=4{,}5B$$

По формуле (4) определяется падение напряжения от толчкового тока и тока нагрузки цепи от АБдо шинок ±ЕС РЗА питающих устройств РЗА, ПА, сигнализации

$$\Delta U_{АР}=4{,}5+1{,}23=5{,}73\ В$$

Определяется минимально допустимое напряжение на аккумуляторе по формуле (3)

$$U_{эmin}=1,69+\frac{5,73}{104}=1,745\ В$$

3.1.8.По характеристикам на рис.2 для аккумуляторов типа GroE и аккумуляторов с намазными пластинами выбираем тип и фирму изготовителя аккумулятора. В общем случае при выборе рекомендуется пользоваться двумя наиболее важными параметрами: минимально допустимой емкостью и максимальным сроком службы.

Аккумуляторы типа GroE имеют срок службы по информациям фирм производителей примерно 20 лет, а аккумуляторы с намазными пластинами – 15 лет. Характеристики аккумуляторов типа GroE с пластинами емкостью 25 АЧ у фирм CEAC (CPF25) и Hoppecke (GroE) совпадают. Совпадает и срок службы.

Определяем для $U_{эmin}$=1,745 В $j_т$=60 А

Минимально допустимое число параллельных пластин определяется по формуле (7)

$$N=\frac{374}{60}=6,23$$

Ближайшее большее целое число – 7.

Емкость батареи составит 7x25=175 АЧ, тип 7GroE175.

Необходимо отметить, что произведенный нами выбор АБ наиболее экономичный по емкости и сроку службы. Так, при выборе аккумуляторов тех же типов, но с пластинами емкостью 100 АЧ, емкость батареи составит 300 АЧ, при выборе аккумулятора фирмы VARTA с пластинами 50 АЧ (VB2301), емкость батареи составит 200 АЧ, при выборе аккумулятора фирмы Oldham France (OP1 с пластинами емкостью 26 АЧ) емкость батареи составит 260 АЧ.

3.1.9.Проверяется, что емкость батареи достаточна, чтобы после 30 минутного аварийного разряда батареи включить одновременно два

выключателя 10 кВ (например, при отключении трансформатора 110/10 кВ и работе АВР).

Выключатели типа ВБЧЭ-10 имеют ток электромагнита включения 70 А. Минимально возможная нагрузка аварийного режима составляет 100 А.

Определяем суммарный толчковый ток

$$I_т=2x70+100=240 \text{ А}$$

Определяем по формуле (5) $\Delta U'_{АР}$

$$\Delta U'_{АР}=240x12{,}02x10^{-3}=2{,}88 \text{ В}$$

Определяем падение напряжения от тока включения выключателей на участке от ЩПТ до привода выключателя

$$\Delta U=140(43+1{,}1+0{,}2+1)10^{-3}=140x45{,}3x10^{-3}=6{,}3 \text{ В}$$

Определяется суммарное падение напряжения $\Delta U_{АР}$ от АБ до приводов выключателей

$$\Delta U_{АР}=2{,}88+6{,}3=9{,}18 \text{ В}$$

По формуле (3) определяется $U_{эmin}$

$$U_{эmin}=1{,}69+\frac{9{,}18}{104}=1{,}69+0{,}088=1{,}778 \text{ В}$$

По характеристике выбранного нами тока аккумулятора, но после 30-минутного разряда током 100 А (см.характеристики на рис.3) определяем для $U_{эmin}$=1,778 В величину тока одной пластины $j_т$=46 А.

По формуле(7) определяем минимально допустимое число параллельных пластин

$$N=\frac{240}{46}=5{,}2$$

Выбираем ближайшее большее целое число – 6.

Емкость батареи должна быть не менее

$C_{бат}$=6x25=150 АЧ < 175

Выбранная нами емкость батареи по условию обеспечения на шинках ±РЗА напряжения $0{,}8U_{ном}$, удовлетворяет условию включения одновременно двух выключателей после получасового аварийного разряда батареи.

3.1.10.Проверяется, что при указанном включении двух выключателей 10 кВ, напряжение на электромагнитах включения было не менее $0{,}85U_{ном}$(187 В). При этом, на выводах АБ напряжение должно быть не менее величины, определяемой по формуле (8)

$$U_{АБmin} \geq 187+2{,}88+6{,}3=196{,}2 \text{ В}$$

Определяем фактическое напряжение на выводах АБ.

По формуле (9) определяется $j_T = \frac{240}{7} = 34{,}3 A$

По соответствующей характеристике на рис.3 для АБ после получасового разряда током 100 А находим $U_{эmin}=1{,}825$ В

Определяется фактическое напряжение на АБ при 104 аккумуляторах в батарее $U_{АБ}=104x1{,}825=189{,}8$ В, что меньше необходимого напряжения на 196,2-189,8=6,4 В, что может стать причиной отказа во включении выключателей 10 кВ.

Увеличение напряжения на электромагнитах включения на 6,4 В за счет уменьшения падения напряжения в питающем кабеле не реально ($\Delta U_{кб2}$=6,3 В), поэтому следует увеличить число аккумуляторов в батарее до величины определяемой по формуле (14)

$$n=\frac{140 \cdot 43 \cdot 10^{-3}+187+2{,}88}{1{,}825}=\frac{195{,}9}{1{,}825}=107{,}3$$

Принимаем 108 элементов:сто четыре элемента для питания цепей защиты, управления, автоматики, сигнализации, сто восемь элементов используются для питания электромагнитов включения высоковольтных выключателей (шинки ±EY).

3.2.Выбор емкости аккумуляторной батареи по характеристикам разряда, изображенным в табличной форме.

При отсутствии вольт-амперных характеристик и наличии разрядных характеристик в табличной форме порядок расчета следующий

3.2.1.Определяется минимальная величина напряжения на выводах аккумулятора по формуле (3), (4), (5), (6)

$$U_{эmin}=1,69+\frac{\Delta U_{AP}}{104}$$

Величина $U_{эmin}$ может не совпадать с величиной напряжения, указанной в характеристике и в этом случае следует пользоваться характеристикой ближайшей большей величины напряжения. Для указанного напряжения и вычисленного ранее толчкового тока определяем емкость аккумулятора.

3.2.2.Выбор емкости аккумуляторной батареи для случая, когда необходимо включить выключатель с электромагнитным приводом (или два выключателя) после получасового разряда током нагрузки (для ПС 500 кВ ток нагрузки можно взять равным 100 А).

По формуле (8) определяем минимально допустимое напряжение на выводах АБ, при котором на электромагнитах включения выключателей напряжение будет не менее 85%$U_{ном}$ (187 В).

Определяется напряжение на одном аккумуляторе

$$U_{эmin}=\frac{U_{AБmin}}{n}$$

По полученной величине напряжения (или ближайшей большей величине, для которой представлены табличные данные) и толчковому току включения выключателей, определяется емкость АБ ($C_{н.р.}$). Определяется емкость, затраченная при 30 минутном аврийном разряде АБ током нагрузки (C_{AP}), как произведение тока разряда на время разряда. Определяется емкость АБ, обеспечивающая включение

выключателя (выключателей) на ПС в конце получасового разряда током аварийной нагрузки при обеспечении на электромагнитах включения приводов выключателей напряжения не менее $0{,}85U_{ном}$ (187В).

$$C_{АБ}=C_{нр}+\Delta C_{АР}$$

По таблице выбирается ближайшее большая емкость.

Здесь: $C_{АБ}$ – емкость аккумуляторной батареи, АЧ

$C_{нр}$ - емкость АБ, выбранная из условия работы в нормальном режиме, АЧ

$\Delta C_{АР}$ – емкость, потребляемая при разряде током аварийного режима, АЧ

4.СХЕМЫ ЩИТА ПОСТОЯННОГО ТОКА.

4.1.Основные положения.

4.1.1.От каждой АБ отходят по два канала, питающих нагрузку постоянного тока на ПС: К1 и К2, К3 и К4. Оба канала от АБ соединены между собой ошиновкой в помещении АБ и выводы каждого канала осуществляется через отдельные проходные изоляторы и кабели и подключаются непосредственно к коммутационным аппаратам на щите постоянного тока (головные автоматы).

Вторыми контактами каждый головной автомат подключен к своей секции главных шинок ЩПТ (SK1 и SK2 , SK3 и SK4). Каждая из АБ работает параллельно с зарядно-подзарядным агрегатом (ЗПА) на общую нагрузку в режиме постоянного подзаряда, т.е. в режиме, когда ЗПА несет всю нагрузку в системе ОПТ и осуществляет подзаряд АБ. В аварийном режиме при КЗ или в режиме толчкового тока всю нагрузку берет на себя АБ.

При двух АБ на ПС третий агрегат (ЗПА 3) находится в резерве и должен заменить любой, вышедший из строя агрегат (ЗПА 1 или ЗПА 2).

4.1.2.Оба канала каждой АБ могут соединяться между собой рубильником или переключателем:

- на верхнем уровне между главными шинками ± ЕС ЩПТ,

- на среднем уровне между шинками управления ± ЕС ОПУ, между шинками ± ЕС РЗА, между шинками управления и защиты ± ЕС ЗРУ.

- Кроме указанного должны быть связаны перемычками для возможности взаимного резервирования: первая секция ЩПТ (SK1) первой АБ с третьей секцией ЩПТ (SK3) второй АБ, вторая секция ЩПТ (SK2) первой АБ с четвертой секцией ЩПТ (SK4) второй АБ (рис.5). В цепи

обоих перемычек должны устанавливаться автоматические выключатели с селективными уставками:

- по току срабатывания – отстроенными только от нагрузки одного канала питания ,

- по времени может быть допущена неполная ступень селективности при отстройке от АВ защиты среднего уровня.

4.1.3.Зарядно-подзарядный агрегат (ВАЗП) работает непосредственно через АВ на одну из секций ± ЕС ЩПТ каждой АБ.

Переключение АБ из режима постоянного подзаряда (со 104 элемента) в режиме уравнительного заряда на 100 элемент выполняется при включенном на шинки ± ЕС ЩПТ зарядно-подзарядном агрегате в следующем порядке: в начале отключается АВ, контролирующий плюс и минус от 104(106) элемента (BF1), после чего включается АВ, контролирующий цепи плюса и минуса от сотого элемента (SF2).

При этом напряжение на шинках ± ЕС ЩПТ не исчезает, поскольку на них постоянно включен зарядно-подзарядный агрегат.

После окончания уравнительного заряда перевод АБ в режим постоянного подзаряда выполняется в обратном порядке.

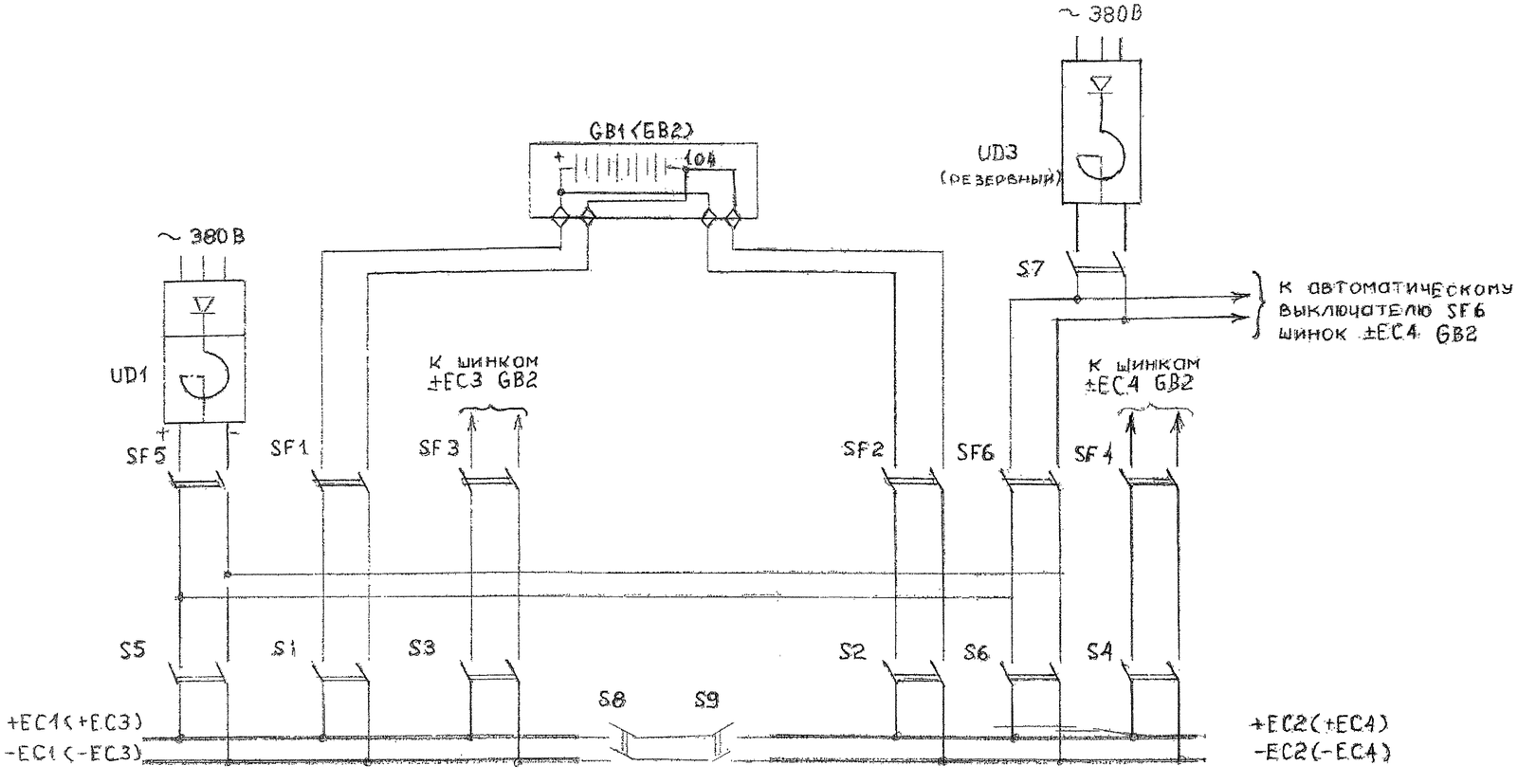
4.1.4.На рисунках 1...4 показаны четыре варианта схемы щита постоянного тока, на которых показано положение коммутационных аппаратов при различных режимах работы щита постоянного тока и порядок перевода из одного режима в другой.

В схемах участвуют только те элементы, которые необходимы для перевода АБ из одного режима работы в другой.

Наличие четырех вариантов схемы позволит выбрать необходимый вариант. Указанное актуально, поскольку некоторые энергосистемы считают преждевременным отказываться от уравнительного заряда аккумуляторных батарей инофирм, даже если последние не предусматривают уравнительный заряд для аккумуляторных батарей своего произ-

водства, в том числе и в случае, когда АБ имеет дополнительные элементы (104+n).

На рис.5 показана организация схемы резервирования при отключении питания любого из четырех каналов, а также при отключении питания секции шинок в системе ОПТ.



Перечень аппаратуры

Место установки	Позиционное обоз. по схеме	Наименование	Тип	Техническая характеристика	Кол.	Примечание
ШПТ	SF1-SF6	Выключатель автоматический	А3793СУ3	Iн=20-160А t=0,1-0,5с	6	
	S1-S9	Рубильник	Р11-35220	Iн=200А	9	
В помещении щита	UD1, UD3	Агрегат выпрямитель зарядно-подзарядный			2	

Примечания:

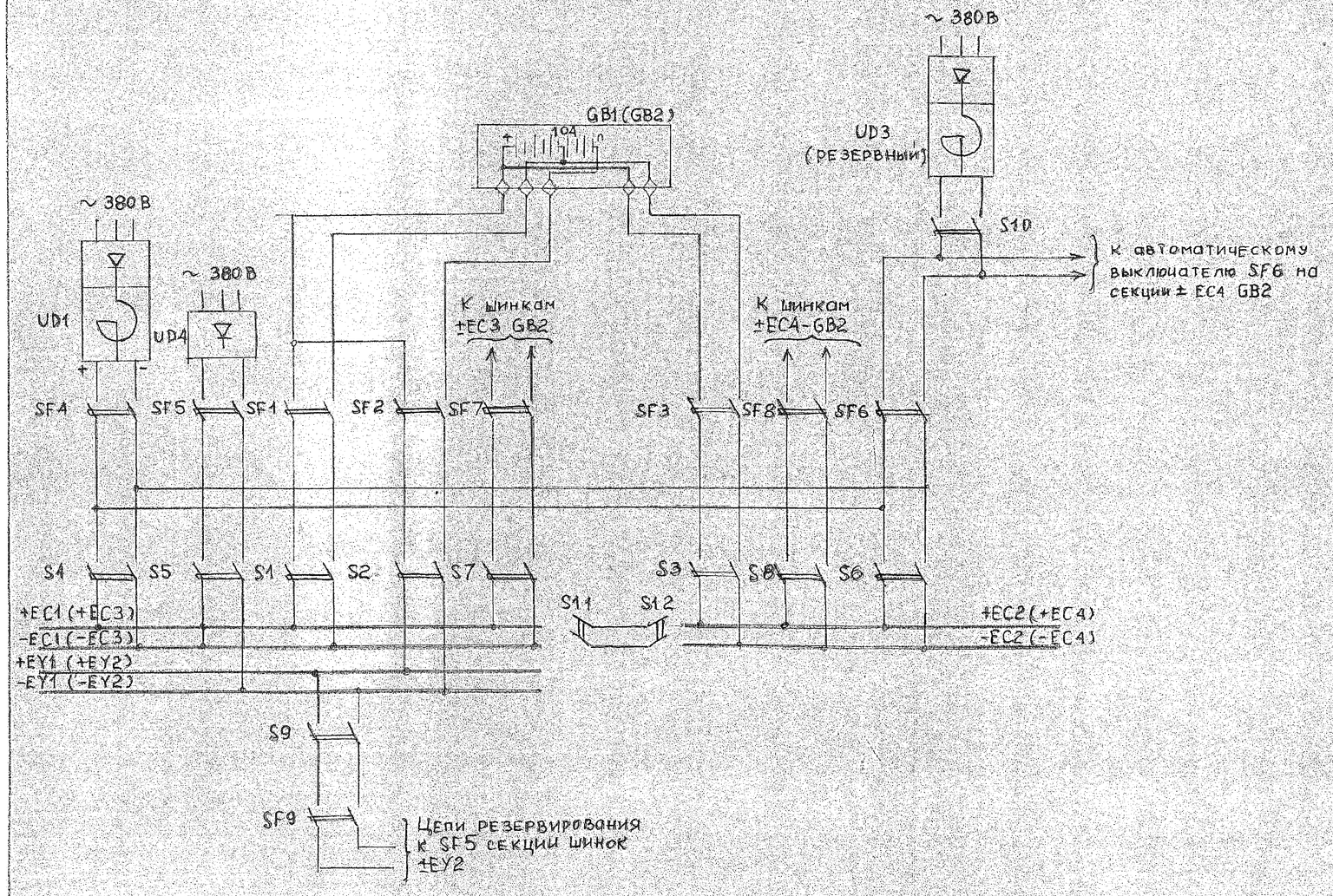
1. SF3 и SF4 устанавливаются только на секциях GB1 ±EC1, ±EC2

Нормальный режим работы
Включены SF1, SF2, SF5, S1, S2 S4 (или S6) Отключены: S3, S4, S6, (или S5), S7, S8, S8, SF3, SF4, SF6

Режим работы с выведенной АБ
Отключены S1, S2, включены S3 и S4, SF3, SF4.

Режим работы с резервным ВАЗПом (UD3)
SF5 отключен, включены S7, S5 (или S6), SF6

Рис. 1 Схема ШПТ для двух АБ без дополнительных элементов и без уравнительного заряда.



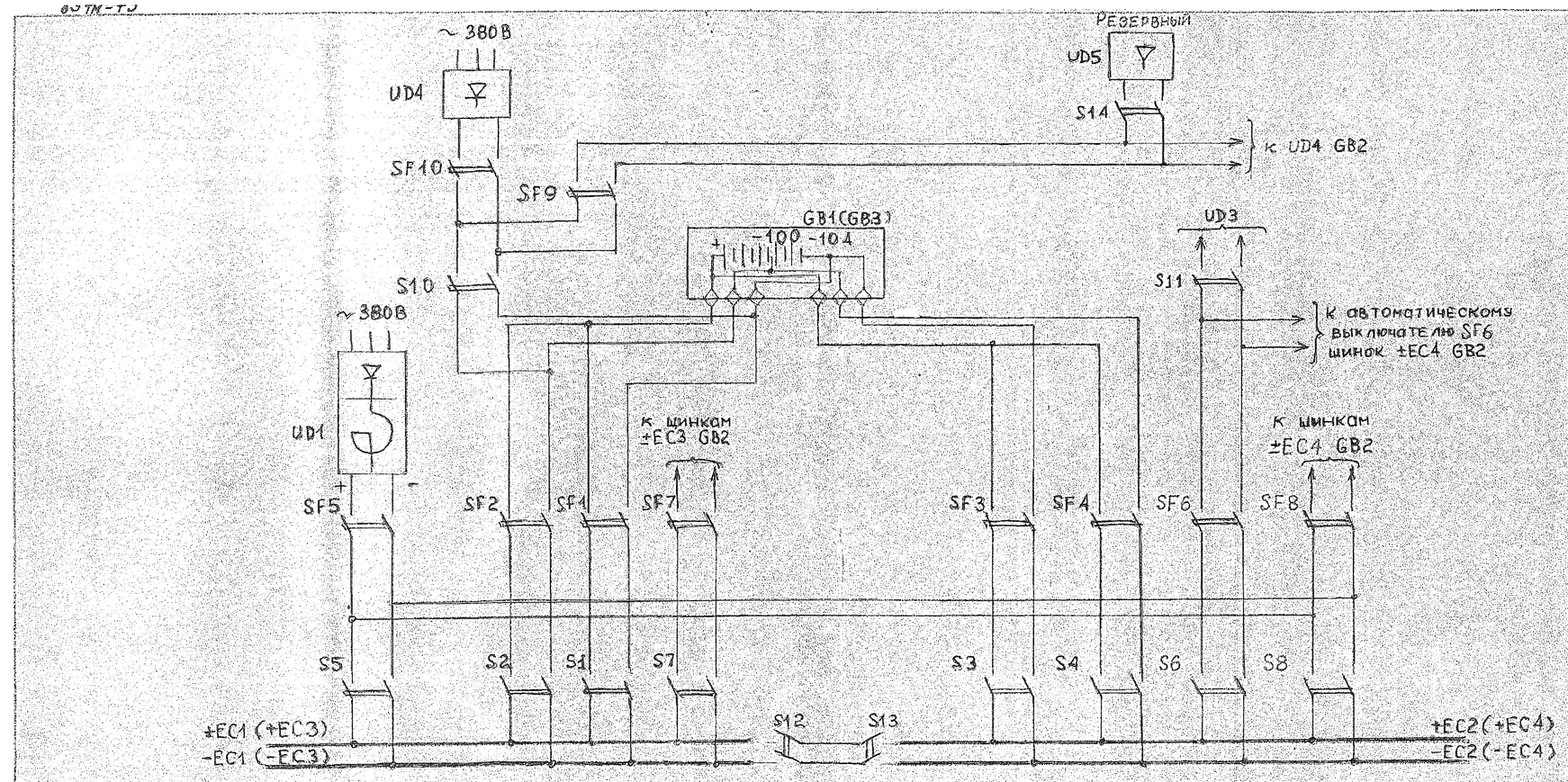
Перечень аппаратуры

Место установки	Позиционное обоз. по схеме	Наименование	Тип	Техническая характеристика	Кол.	Примечание
ЩПТ	SF1-SF9	Выключатель автоматический	А3793СУ3	$I_н$=20-160А t=0,1-0,5с	9	
	S1-S12	Рубильник	Р11-3522О	$I_н$=200А	12	
	UD4	Выпрямительное устр-во		$I_н$ = 0-5,4А $U_{сн}$ =14В-91В	1	
В помещении щита	UD1, UD3	Агрегат выпрямитель заряд-но подзарядный			2	

Нормальный режим работы

Выключены SF1, SF2, SF3, SF4, SF5, S4 (UD1 включен на ±EC1) или S6 (UD1 включен на +EC2, S10-отключен).
Переключение UD1 с секции ±EC1 на секцию ±EC2 выполняется при работающем UD1 в следующем порядке: вначале включается S6, после чего отключается S4.
При неисправности UD1 отключается SF4 и включается SF6 (вручную или автоматически при наличии соответствующей автоматики и электромагнитного привода у АВ SF4).
Вторая секция ±EY2 находится в системе ЩПТ второй АБ.

Рис.2. Схема ЩПТ для двух АБ с дополнительными элементами без уравнительного заряда с четырьмя секциями ±EC и двумя секциями ±EY



Перечень аппаратуры

Место установки	Позиционное обозн. по схеме	Наименование	Тип	Техническая характеристика	Кол.	Примечание
ЩПТ	SF1-SF10	Выключатель автоматический	А3793СУ3	Iн=20-160А t=0,1-0,5с	10	
	S1-S14	Рубильник	Р11-35220	Iн=200А	14	
	UD4, UD5	Выпрямительное устройство		Iн=0-5,4А Uн=14-91В	2	
В помещении щита	UD1, UD3	Агрегат выпрямител. зарядно-подзарядный			2	

Примечания:

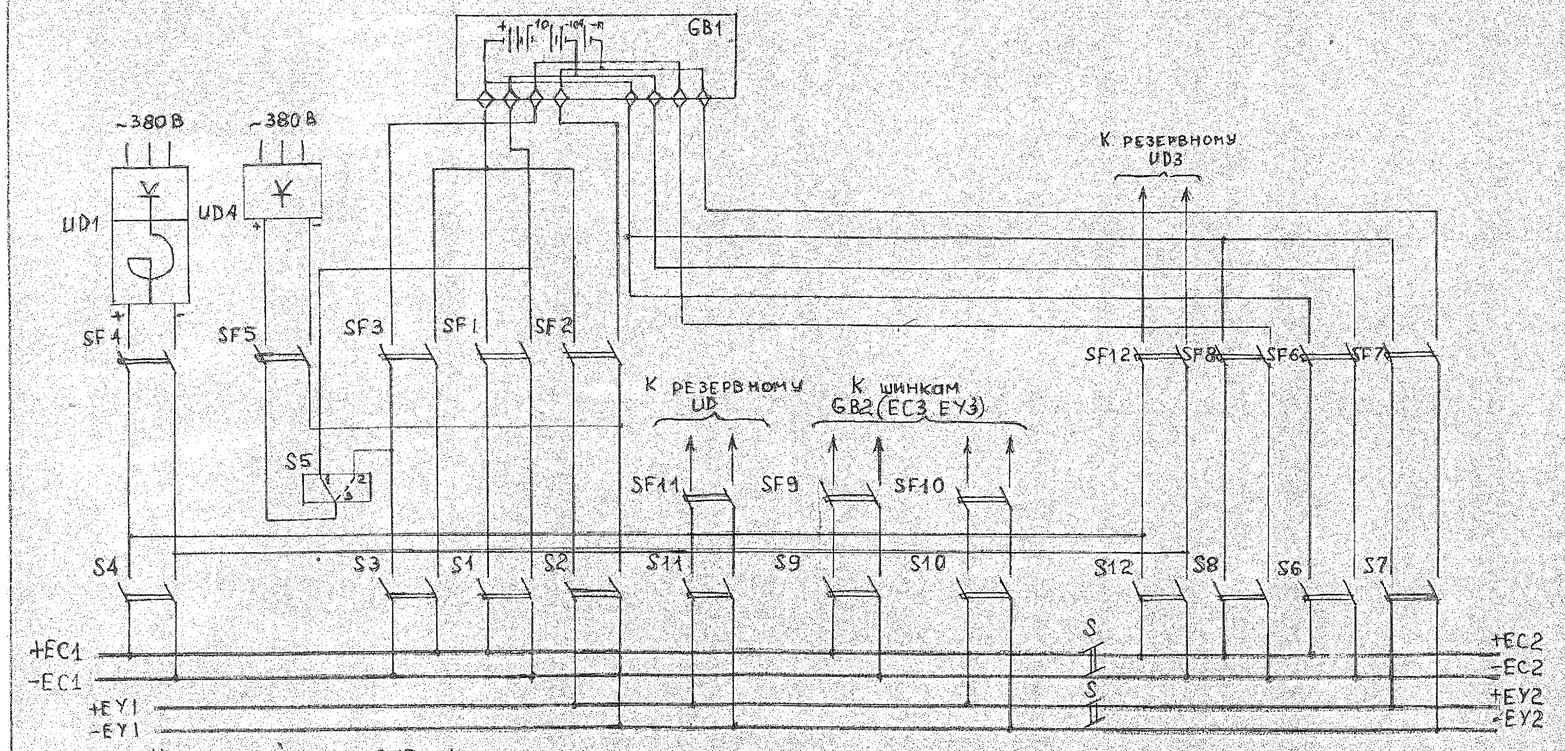
1. Схема может быть использована для ПС с одной АБ. При этом из схемы исключаются SF7 и S7, SF8 и S8, S9. На вторую секцию ±EC2 будет подключен UD2 через свои коммутационные аппараты.

Нормальный режим работы ЩПТ.

Включены рубильники S1, S5(или S6), S3.
Включены автоматические выключатели SF1, SF3, SF5.
Последовательность операций при переводе АБ из режима постоянного подзаряда в режим уравнительного заряда.
Перевод начинается с той секции, на которую включен зарядно-подзарядный агрегат.

1. Отключается SF1 и включается SF2 (S5-вкл., S8 откл.)
2. Включается S6, отключается S5.
3. Отключается SF3, включается SF4.
4. Включается SF10.
5. По выбору зарядно-подзарядный агрегат UD3 работает на ±EC1 (S5-вкл., S6-откл.) или на ±EC2 (S5-откл., S6-вкл.)

Рис. 3 Схема щита постоянного тока для двух АБ без дополнительных элементов с возможностью уравнительного заряда.



Перечень аппаратуры

Место установки	Позиционное обозн. по схеме	Наименование	Тип	Техническая характеристика	Кол.	Примечание
ЩПТ	SF1-SF12	Выключатель автоматический	А3793С УЗ	Iн=20-160А t=0,1-0,5с	12	
	S1-S12	Рубильник	Р11-3522	Iн=200А	12	
	UD3, UD6	Выпрямительное устройство		Iн=0-5,4А Uн=14-91В	2	
В помещении щита	UD1, UD4	Агрегат выпрямител. зарядно-подзарядный			2	

Нормальный режим работы

Включены: SF1 и S1, SF2 и S2, SF4 и S4 (при включении UD1 на секции ±EC1) или S12 (при включении UD1 на секцию шинок ±EC2), SF5 и S5 в положении 1-3 (UD4 подключено к выводам 104 и -n)

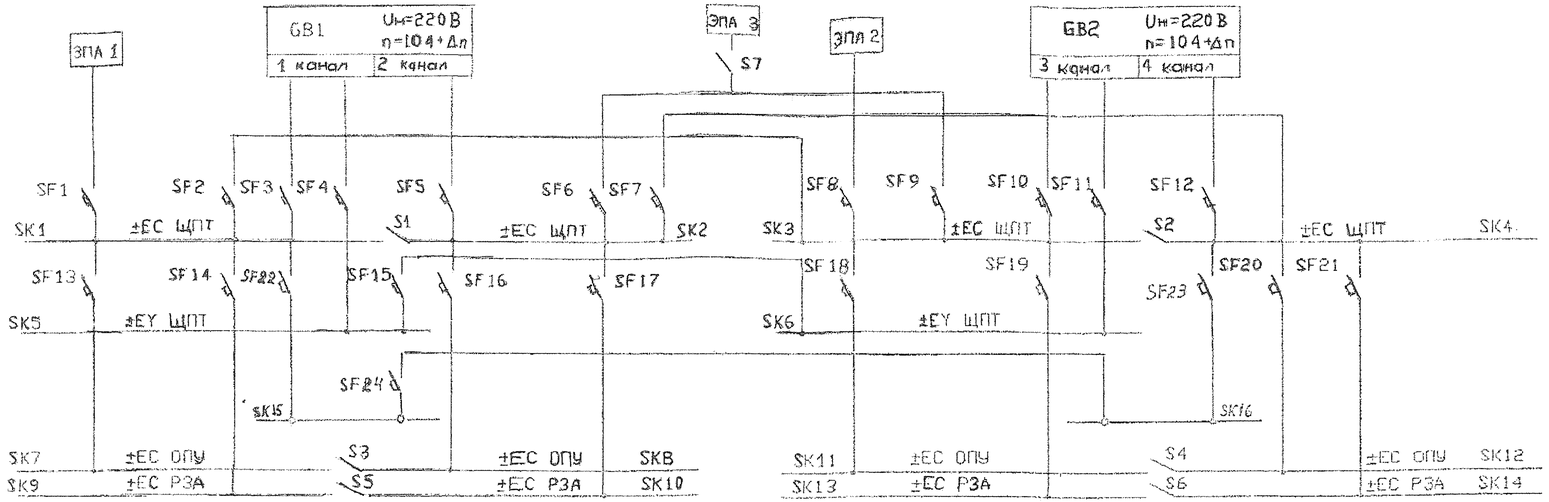
Режим уравнительного заряда

1. Отключаются SF1, SF5 и S5 переводится в положение 2-3.
2. Включаются SF3, SF5, S12.
3. Отключаются S4, SF6.
4. Включаются SF7. Закончен перевод UD1 и UD4 со 104-го на 100-ый элемент и начат уравнительный заряд АБ.

Примечания

1. Возможен вариант без ±EY2 (каждая АБ имеет только по одной секции ±EY)
2. Схема для ПС с одной АБ не содержит АБ SF7, SF9, SF10 и их рубильники (переключатели).

Рис 4. Схема ШПТ для двух АБ 220 В с дополнительными элементами и возможностью уравнительного заряда.



Примечания.

1. Схема показана для случая, когда для питания электромагнитов включения высоковольтных выключателей предусмотрены только две секции шинок ±ЕУ по одной секции от каждой АБ (SK5 и SK6).

Условные обозначения

GB1 - аккумуляторная батарея N 1
ЗПА3- зарядно-подзарядный агрегат N 3
SF1 - автоматический выключатель постоянного тока N 1
S1 - рубильник или заменяющий его переключатель
SK1...SK6 - секции главных шинок на щите постоянного тока
SK7,SK8,SK11,SK12 - шинки в ОПУ, питающие цепи управления
SK9,SK10,SK13,SK14 - шинки, питающие устройства релейной защиты и автоматики,
SK15, SK16 - шинки в ЗРУ, питающие цепи управления и устройства РЗА.

Рис.5. Схема включения перемычек, резервирующих каналы питания на ЩПТ, и взаимного резервирования отдельных шинок каждой АБ в системе ОПТ.