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 4

Расчеты системы оперативного постоянного тока для ПС 330 кВ и выше.

N 83тм-т4

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

Начальник отдела РЗАУ А.В.Рожкова

Главный специалист РЗАУ Ю.Г.Айрапетов

Москва, 1999г.

gost.e-ecolog.ru

АННОТАЦИЯ

Настоящий том 4 работы содержит указания по выбору структуры системы оперативного тока (ОПТ) на ПС 330 кВ и выше с двумя аккумуляторными батареями (АБ), выбор параметров автоматических выключателей, осуществляющих защиту элементов системы ОПТ, выбор минимально возможных сечений кабеля при обеспечении чувствительности, селективности и резервирования в системе ОПТ. В работе также содержатся указания по оптимальному распределению нагрузки между АБ, каналами питания и секциями шинок, обеспечивающие необходимую надежность в системе ОПТ ПС.

СОДЕРЖАНИЕ

Состав проекта.....6
Введение.....7
1.Общие положения.....8
2.Выбор схемы для системы оперативного постоянного тока на ПС с двумя аккумуляторными батареями.....9
3.Расчет токов короткого замыкания в системе оперативного постоянного тока.....11
3.1.Общие положения.....11
3.2.Расчет токов при кз на верхнем уровне защиты (на главных шинках щита постоянного тока).....19
3.3.Расчет токов при кз на среднем уровне защиты.....20
3.4.Расчет токов при кз на нижнем уровне защиты.....21
4.Выбор автоматических выключателей нижнего уровня защиты.....21
4.1.Общие положения.....21
4.2.Выбор автоматических выключателей для защиты цепей электромагнитов включения масляных выключателей.....23
4.3.Примеры выбора автоматических выключателей нижнего уровня защиты.....26
4.4.Проверка автоматических выключателей нижнего уровня защиты на несрабатывание от броска емкостного тока.....28
5.Выбор автоматических выключателей среднего уровня защиты.....30
5.1.Общие положения.....30
5.2.Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания устройств РЗА на щите релейной защиты.....31
5.3.Выбор автоматических выключателей для защиты шинок, питающих цепи управления выключателей.....32
5.4.Выбор автоматических выключателей для защиты шинок, питающих электромагниты включения выключателей.....35

6.Выбор автоматических выключателей верхнего уровня защиты...37
6.1.Общие положения.....37
6.2.Выбор автоматических выключателей для защиты главных шинок щита постоянного тока ± ЕС ЩПТ.....38
6.3.Выбор автоматических выключателей для защиты шинок ± ЕУ ЩПТ.....41
7.Выбор сечений кабелей системы оперативного постоянного тока...44
7.1.Общие положения.....44
7.2.Выбор сечения кабеля от аккумуляторной батареи до щита постоянного тока.....44
7.3.Выбор сечения кабелей от шинок щита постоянного тока до шинок среднего уровня защиты.....46
7.4.Выбор сечений кабелей от шинок среднего уровня защиты до индивидуальных потребителей.....51
8.Проверка чувствительности автоматических выключателей в системе оперативного постоянного тока.....53
8.1.Проверка чувствительности автоматических выключателей верхнего уровня защиты.....53
8.2.Проверка чувствительности автоматических выключателей среднего уровня защиты.....54
8.3.Проверка чувствительности автоматических выключателей нижнего уровня защиты.....54
9.Распределение нагрузки в системе оперативного постоянного тока...55
9.1.Общие положения.....55
9.2.Распределение устройств РЗА линий электропередач между каналами питания.....55
9.3.Распределение устройств защиты шин между каналами питания..57
9.4.Распределение устройств РЗА автотрансформаторов между каналами питания.....57

10.Пример выбора автоматических выключателей и сечений кабелей в системе ОПТ ПС 500/220/10кВ.....59
11.Литература.....71
12.Приложения.

СОСТАВ ПРОЕКТА

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

N 83 тм

Том 1 (этап1)	Расчеты по выбору параметров аккумуляторной батареи для ПС 110-220 кВ с одной аккумуляторной батареей. Полные схемы щитов постоянного тока.	83тм-т1
Том 2 (этап2)	Расчеты системы оперативного постоянного тока для ПС 110-220 кВ	83тм-т2
Том 3 (этап3)	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 (этап4)	Расчеты системы оперативного постоянного тока для ПС 330 кВ и выше	83тм-т4

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена отделом РЗАУ института «Энергосетьпроект» в четырех томах. Настоящий том 4 содержит указания по построению системы оперативного постоянного тока для ПС 330 кВ и выше с двумя аккумуляторными батареями. Указания основаны на методиках, разработанных ранее в институте «Энергосетьпроект», на Вольт-Амперных характеристиках аккумуляторов, построенных по материалам фирм производителей, на методике расчета токов КЗ с учетом сопротивления дуги на основании [1] и работ СибОРГРЭС [2].

Настоящие указания в части расчетов токов КЗ в системе ОПТ предназначены для случаев использования аккумуляторов закрытого типа и герметичных. Методика расчета токов КЗ в системе с аккумуляторами открытого типа помещена в томе 2 настоящей работы (83тм-т2).

1.ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Как показано в томе 2 настоящей работы система оперативного постоянного тока (ОПТ) с аккумуляторной батареей и зарядно подзарядным агрегатом в виде источников питания имеют три уровня защиты: нижний (защита непосредственных потребителей автоматическими выключателями (АВ), работающими без выдержки времени), средний (защита шинок, питающих непосредственных потребителей автоматическими выключателями, имеющими выдержку времени (селективные автоматы), верхний (защита главных шинок на щите постоянного тока (ЩПТ) головными селективными автоматами).

Из отечественных выключателей для защиты системы ОПТ можно рекомендовать АВ следующих типов:

Для нижнего уровня защиты – АП50Б, ВА19-29 с номинальными токами моментальных расцепителей от 1,6 до 63 А и от 0,6 до 63 А соответственно. Полное время действия указанных АВ не превышает 50мс (83тм-т2, табл.1).

Для среднего уровня защиты – А3793С производства Харьковского завода ХЭМЗ (НПО «ВИРА», ЛТД) с номинальным током полупроводникового расцепителя 160А и колибруемыми значениями номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя от 20 до 160 А и по времени срабатывания от 0,1 до 0,5 с. ступенями по 0,1с.

Для верхнего уровня защиты – А3793С с колибруемым значением номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя от 160 до 630 А и максимально возможным током срабатывания АВ $I_{ср}$=6х630=3780 А.

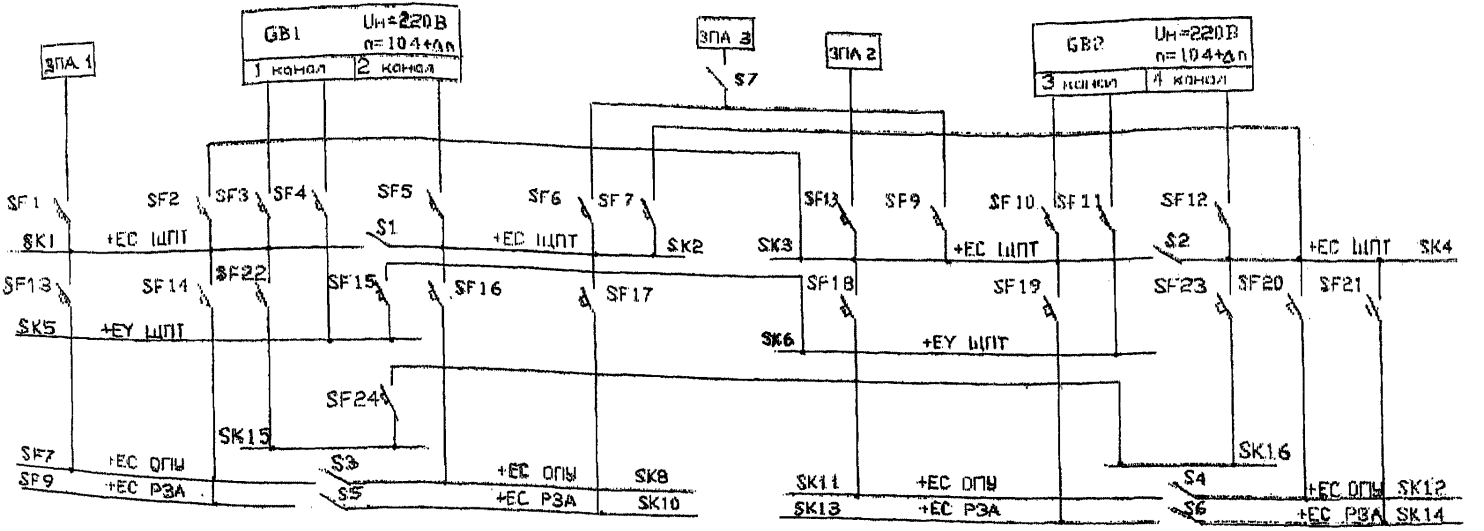
2.ВЫБОР СХЕМЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ПОДСТАНЦИЯХ С ДВУМЯ АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ.

Система ОПТ на ПС с двумя АБ должна иметь четыре независимых канала питания потребителей постоянного тока по два канала от каждой АБ. Выводы обоих каналов каждой АБ соединены между собой в помещении АБ, каждый канал имеет свои проходные изоляторы и подключенные к ним кабели, которые на щите постоянного тока соединены с головными автоматами (верхний уровень защиты), вторые полюса которых подключены к соответсвующим секциям шинок ЩПТ. Секции шинок ЩПТ каждой АБ попарно соединены между собой кабельными перемычками или перемычками в виде шинок. Каждая перемычка имеет один нормально отключенный АВ с селективными уставками.

Перемычки между секциями шинок разных АБ включаются в режиме резервирования при выходе из строя одного из каналов питания или одной из двух АБ. При этом, включаются, соответственно, одна или обе перемычки. В пределах одной АБ возможно резервирование между собой обоих каналов питания на верхнем и среднем уровнях защиты с помощью рубильников или переключателей. Система резервирования показана на рис.1.

От главных секций каждого канала питания на ЩПТ через АВ, осуществляющих средний уровень защиты, питаются шинки на щите релейной защиты (±ЕС РЗА), на щите управления (±ЕС ОПУ), в ЗРУ (±ЕС РЗА+У). Шинки питания электромагнитов включения (±ЕУ) рекомендуется подключить только к одному из двух каналов каждой АБ.

При указанном построении система ОПТ на ПС содержит по 4 секции питания устройств РЗА и цепей управления выключателей, между которыми распределяются соответствующие устройства. Экономически наиболее целесообразно, чтобы толчковый ток от одной секции при отключении группы



Условные обозначения

DB1 – 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 выключателей

SK9, SK10, SK13, SK14 – шинки, питающие устройство релейной защиты и автоматики.

SK15, SK16 – шинки в ЗРУ, питающие цепи управления и релейной защиты.

Рис. 1. Схема включения перемычек резервирующих каналы питания на ЩПТ.

выключателеи (например, при работе защиты шин) не превышал 100-150 А. При этом, возможно получить наиболее экономичное из возможных сечение кабелей от ОПУ до приводов выключателей, обеспечив при этом селективность, чувствительность и резервирование. Обычно, четырех секций бывает достаточно для указанных цепей, но в случаях, когда на ПС большое количество воздушных выключателей с большим потреблением электромагнитов отключения, количество секций может быть увеличено до 6 или 8.

Устройства релейной защиты, автоматики и противоаварийного управления распределяются между четырьмя секциями ±ЕС РЗА с учетом обеспечения надежности их работы в системе ОПТ при отключении любого из четырех каналов питания или одной АБ.

3.РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

3.1.Общие положения.

Расчет токов КЗ в системе ОПТ необходим для выбора устройств защиты (автоматических выключателей или предохранителей), используемых для надежной и экономичной работы системы ОПТ на ПС.

Расчеты выполняются в соответствии с [1].

В томе 2 настоящей работы дана методика расчета токов КЗ в системе ОПТ с аккумуляторами открытого типа СК отечественного производства. Указанная методика основана на обобщенной Вольт-Амперной характеристике аккумуляторов одного типа разной емкости, использование которой для других типов аккумуляторов не представляется возможным. В связи с указанным, для выполнения расчетов токов КЗ в системах ОПТ с разными типами аккумуляторов (с пластинами типа Plante и с намазными пластинами) нами разработаны на основании разрядных характеристик аккумулято-

ров и помещены в настоящем томе Вольт-Амперные характеристики соответствующих аккумуляторов различных типов и фирм.

Ток металлического КЗ от аккумуляторной батареи в системе ОПТ определяется по выражению $I_{кз\ м}=\frac{E_{расч}\cdot n}{R_{кзм}}=\frac{E_{расч}\cdot n}{R_{АБ}+R'_{кзм}}$ (1),

где $E_{расч}$ – расчетная ЭДС одного элемента, определяется для данного типа аккумулятора по его Вольт-Амперной характеристике, показанной на рис.2

Для определения величины $E_{расч}$ соответствующая характеристика продолжается до пересечения с осью ординат. Полученная величина ЭДС учитывает влияние ЭДС поляризации.

n – число элементов в батарее,

$R_{кзм}$ – сопротивление всей цепи металлического КЗ,

$R_{кзм}$- сопротивление внешней цепи металлического КЗ (без сопротивления АБ)

$R_{АБ}$ – внутреннее сопротивление АБ, определяется, как произведение сопротивления одного элемента на число элементов (аккумуляторов) в батарее, соединенных последовательно. В таблице 1 приведены сопротивления аккумуляторов с плоскими пластинами типа Plante и намазными пластинами.

Ток КЗ с учетом сопротивления дуги определяется по выражению

$$I_{кзд}=\frac{E_{расч}\cdot n\cdot K_c}{R_{АБ}+R'_{кзм}} \qquad (2),$$

где K_c – коэффициент снижения тока короткого замыкания, учитывающий сопротивление дуги в месте КЗ, определяется по кривой на рис.3 в зависимости от сопротивления цепи КЗ ($R_{кзм}$). Максимальная величина коэффициента K_c=0,77 будет при $R_{кзм}\geq$600мОм

$R_{кзм}=R_{АБ}+R_{кзм}$ (3)

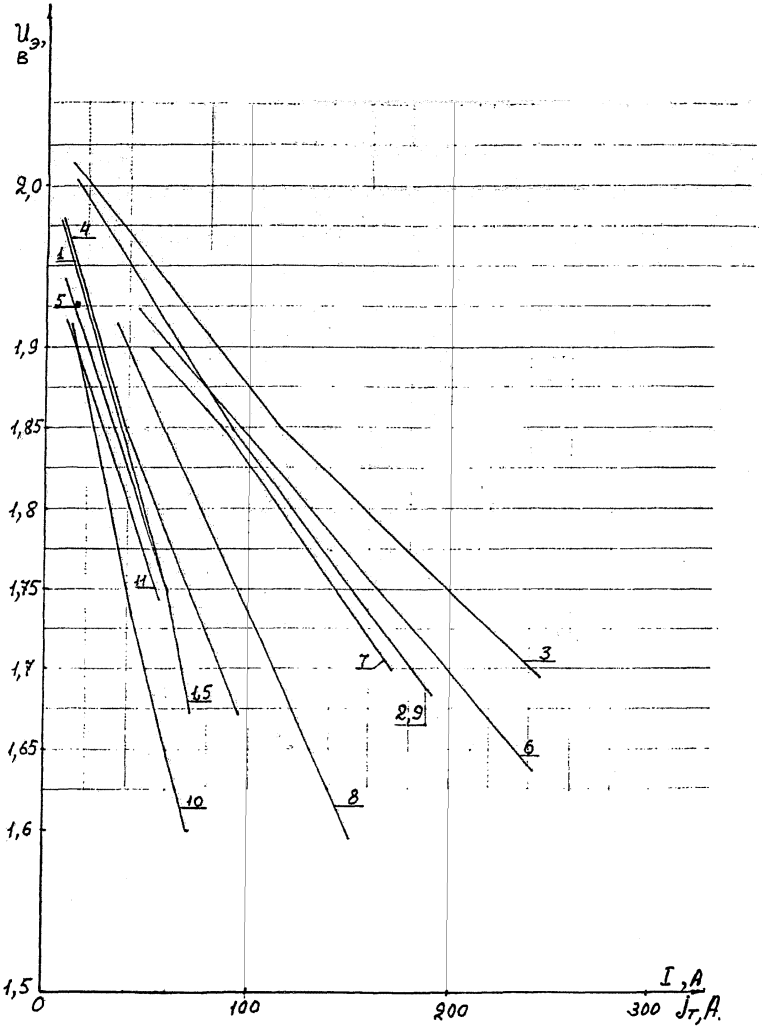


Рис.2. Зависимость напряжения $U_э$ одной пары пластин аккумулятора от величины толчкового тока $j_т$ для аккумуляторов типа GroE и с намазными пластинами (Вольт-Амперные характеристики).

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.

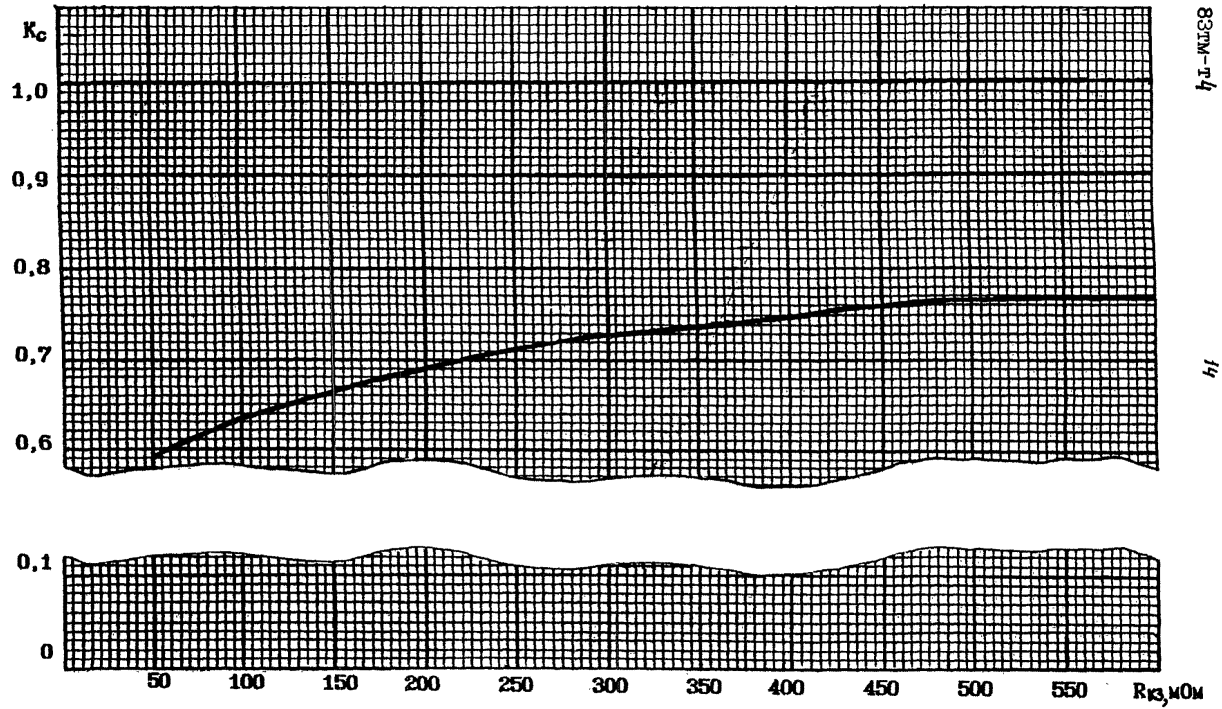


Рис. 3 Зависимость величины K_c от сопротивления цепи короткого замыкания $R_{кз}$

Сопротивление внешней цепи КЗ определяется как суммарное сопротивление ошиновки АБ ($R_{ош}$), кабелей ($R_{кб}$), катушек и контактов автоматических выключателей ($R_{АВ}$), контактов рубильников ($R_{кс\ руб}$), переходных сопротивлений контактных соединений ($R_{конт}$) (табл.3,83тм-т1)

$$R'_{изм}=R_{ош}+R_{кб}+R_{АВ}+R_{кс руб}+R_{конт} \qquad (4)$$

В общем случае имеется три группы кабелей:

$R_{кб1}$ – кабели от выводов АБ до щита постоянного тока (верхний уровень системы ОПТ)

$R_{кб2}$ – кабели от щита постоянного тока до шинок управления в ОПУ, или до шинок, питающих устройства РЗА на щите РЗА, или до шинок РЗА и управления в ЗРУ, или до шинок, питающих электромагниты включения в ЗРУ или ОРУ (средний уровень системы ОПТ)

$R_{кб3}$- кабели от шинок среднего уровня системы ОПТ до конкретных потребителей (устройств РЗА, приводов выключателей и т.д.) (нижний уровень системы ОПТ)

Сопротивление аккумуляторной батареи определяется как произведение сопротивления одного элемента (аккумулятора) на количество элементов в батарее $R_{АБ}=R_{эл}n$ (5)

Сопротивление петли короткого замыкания определяется по формуле

$$R_{кб}=\frac{\rho \cdot 2l}{S} \qquad (6),$$

где ρ – удельное сопротивление, для меди

$$\rho_{м}=0{,}0172\text{x}10^{3}\frac{мОм \cdot мм^2}{м}$$

$$\rho_{ал}=0{,}0283\text{x}10^{3}\frac{мОм \cdot мм^2}{м}$$

При этом $R_{кб}$ получим в миллиОмах (мОм).

Если в формуле ρ не имеет индекса следует, что проводник выполнен из меди. Сопротивления аккумуляторов, как правило, приводятся в материалах соответствующей фирмы (табл.1).

Таблица 1

Тип GroE							
Фирма «Hoppecke» и фирма Курский завод «Аккумулятор» (БП)							
Емкость пластины 25Ач				Емкость пластины 100Ач			
Тип аккумулятора	Емкость аккумулятора, Ач	Сопротивление, мОм		Тип аккумулятора	Емкость аккумулятора, Ач	Сопротивление, мОм	
		Аккумулятора	Одной пластины			Аккумулятора	Одной пластины
1	2	3	4	5	6	7	8
3GroE75	75	1,158	3,47	5GroE500	500	0,225	1,125
4GroE100	100	0,868	3,47	6GroE600	600	0,187	1,122
5GroE125	125	0,695	3,47	7GroE700	700	0,160	1,120
6GroE150	150	0,579	3,47	8GroE800	800	0,140	1,120
7GroE175	175	0,496	3,47	9GroE900	900	0,125	1,125
8GroE200	200	0,434	3,47	10GroE1000	1000	0,112	1,120
9GroE225	225	0,386	3,47	11GroE1100	1100	0,102	1,122
10GroE250	250	0,347	3,47	12GroE1200	1200	0,094	1,128
11GroE275	275	0,316	3,47	13GroE1300	1300	0,086	1,118
12GroE300	300	0,289	3,47	14GroE1400	1400	0,080	1,120
13GroE325	325	0,267	3,47	15GroE1500	1500	0,075	1,125
14GroE350	350	0,248	3,47	16GroE1600	1600	0,070	1,120
15GroE375	375	0,232	3,47	17GroE1700	1700	0,066	1,122
16GroE400	400	0,217	3,47	18GroE1800	1800	0,062	1,116
17GroE425	425	0,204	3,47	19GroE1900	1900	0,059	1,121
18GroE450	450	0,193	3,47	20GroE2000	2000	0,056	1,120
				22GroE2200	2200	0,051	1,122
				24GroE2400	2400	0,047	1,128
				26GroE2600	2600	0,043	1,118
Фирма «CEAC»							
SPF50/2	50	1,900	3,8	SPF100/1	100	1,650	1,65
SPF75/3	75	1,260	3,8	SPF200/2	200	0,825	1,65
SPF100/4	100	0,950	3,8	SPF300/3	300	0,550	1,65
SPF125/5	125	0,760	3,8	SPF400/4	400	0,413	1,65
SPF150/6	150	0,630	3,8	SPF500/5	500	0,330	1,65
SPF175/7	175	0,540	3,8	SPF600/6	600	0,275	1,65
SPF200/8	200	0,475	3,8	SPF700/7	700	0,236	1,65
SPF225/9	225	0,422	3,8	SPF800/8	800	0,206	1,65
SPF250/10	250	0,380	3,8	SPF900/9	900	0,183	1,65
SPF275/11	275	0,345	3,8	SPF1000/10	1000	0,165	1,65

Табл 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
SPF300/12	300	0,317	3,8	SPF2000/20	2000	0,083	1,65
Фирма "Sonnenschein"							
3GroE75	75	1,333	4,0	5GroE500	500	0,320	1,6
4GroE100	100	1,000	4,0	6GroE600	600	0,267	1,6
5GroE125	125	0,800	4,0	7GroE700	700	0,229	1,6
6GroE150	150	0,667	4,0	8GroE800	800	0,200	1,6
7GroE175	175	0,571	4,0	9GroE900	900	0,178	1,6
8GroE200	200	0,500	4,0	10GroE1000	1000	0,160	1,6
9GroE225	225	0,444	4,0	11GroE1100	1100	0,145	1,6
10GroE250	250	0,400	4,0	12GroE1200	1200	0,133	1,6
11GroE275	275	0,364	4,0	13GroE1300	1300	0,123	1,6
12GroE300	300	0,333	4,0	14GroE1400	1400	0,114	1,6
13GroE325	325	0,308	4,0	15GroE1500	1500	0,107	1,6
14GroE350	350	0,286	4,0	16GroE1600	1600	0,100	1,6
15GroE375	375	0,267	4,0	17GroE1700	1700	0,094	1,6
16GroE400	400	0,250	4,0	18GroE1800	1800	0,089	1,6
17GroE425	425	0,235	4,0	19GroE1900	1900	0,084	1,6
18GroE450	450	0,222	4,0	20GroE2000	2000	0,080	1,6
				21GroE2100	2100	0,076	1,6
				22GroE2200	2200	0,073	1,6
				23GroE2300	2300	0,070	1,6
				24GroE2400	2400	0,067	1,6
				25GroE2400	2500	0,064	1,6
				26GroE2600	2600	0,062	1,6
Аккумуляторы с намазными пластинами							
Фирма "OLDHAM France"							
OP3(OPC3)	75	1,24	3,72	OPSE50(OPSEC50)	50	1,85	3,70	2п
OP4(OPC4)	100	0,99	3,96	OPSE75(OPSEC75)	75	1,24	3,72	3п
OP5(OPC5)	125	0,84	4,20	OPSE100(OPSEC100)	100	0,99	3,96	4п
OP6(OPC6)	150	0,74	4,44	OPSE150(OPSEC150)	150	0,74	4,44	5п
OP7(OPC7)	175	0,60	4,20	OPSE200(OPSEC200)	200	0,60	4,80	8п
OP8(OPC8)	200	0,60	4,80	OPSE250(OPSEC250)	250	0,53	5,30	10
OP9(OPC9)	225	0,55	4,95	OPSE300(OPSEC300)	300	0,45	5,40	12
OP10(OPC10)	250	0,52	5,20	OPSE350(OPSEC350)	350	0,4	5,6	14
OP11(OPC11)	275	0,48	5,28	OPSE400(OPSEC400)	400	0,36	5,76	16
OP12(OPC12)	300	0,45	5,40	OPSE450(OPSEC450)	450	0,31	5,58	18
OP13(OPC13)	325	0,43	5,59	OPSE500(OPSEC500)	500	0,28	5,6	20
OP14(OPC14)	350	0,40	5,60	OPSE550(OPSEC550)	550	0,26	5,72	22
OP15(OPC15)	375	0,38	5,70	OPSE600(OPSEC600)	600	0,23	5,52	24
OP16(OPC16)	400	0,36	5,76	OPSE650(OPSEC650)	650	0,22	5,72	26

Табл (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
OP17(OPC17)	425	0,31	5,27				
OP18(OPC18)	450	0,31	5,58				
OP19(OPC19)	475	0,30	5,70				
OP20(OPC20)	500	0,28	5,60				
OP21(OPC21)	525	0,27	5,67				
OP22(OPC22)	550	0,25	5,5				
OP23(OPC23)	575	0,24	5,52				
OP24(OPC24)	600	0,23	5,52				
OP25(OPC25)	625	0,23	5,75				
OP26(OPC26)	650	0,22	5,72				
OP27(OPC27)	675	0,21	5,67				
OP28(OPC28)	700	0,20	5,60				
OP29(OPC29)	725	0,20	5,80				
OP30(OPC30)	750	0,19	5,70				
Фирма "VARTA"							
VB2305	250	0,514	2,57	VB2407	700	0,244	1,70	7пл.
VB2306	300	0,431		VB2408	800	0,215	1,72	8пл.
VB2307	350	0,367		VB2409	900	0,192	1,73	9пл.
VB2308	400	0,323		VB2410	1000	0,174	1,74	10пл.
VB2309	450	0,289		VB2411	1100	0,156	1,72	11пл.
VB2310	500	0,265		VB2412	1200	0,143	1,72	12пл.
VB2311	550	0,242		VB2413	1300	0,132	1,72	13пл.
VB2312	600	0,223		VB2414	1400	0,123	1,72	14пл.
				VB2415	1500	0,116	1,74	15пл.
				VB2416	1600	0,108	1,73	16пл.
				VB2417	1700	0,102	1,73	17пл.
				VB2418	1800	0,096	1,73	18пл.
				VB2419	1900	0,091	1,73	19пл
				VB2420	2000	0,087	1,74	20пл
Фирма "Hoppecke"							
8Ogi200	200	0,515		5Ogi500	500	0,237	1,185	
9Ogi225	225	0,458		6Ogi600	600	0,197	1,182	
10Ogi250	250	0,412		7Ogi700	700	0,169	1,183	
11Ogi275	275	0,374		8Ogi800	800	0,148	1,184	
12Ogi300	300	0,343		9Ogi900	900	0,131	1,179	
13Ogi325	325	0,317		10Ogi1000	1000	0,118	1,180	
14Ogi350	350	0,294		11Ogi1100	1100	0,108	1,188	
15Ogi375	375	0,274		12Ogi1200	1200	0,099	1,188	
16Ogi400	400	0,257		13Ogi1300	1300	0,091	1,183	
17Ogi425	425	0,242		14Ogi1400	1400	0,084	1,176	

табл 1

1	2	3	4	5	6	7	8
18Ogi450	450	0,229		15Ogi1500	1500	0,079	1,185
19Ogi475	475	0,217		16Ogi1600	1600	0,074	1,184
				17Ogi1700	1700	0,070	1,190
				18Ogi1800	1800	0,066	1,188
				19Ogi1900	1900	0,062	1,178
				20Ogi2000	2000		1,180

Внутреннее сопротивление аккумулятора ($R_{эл}$) определяется в соответствии с [8] по двум точкам разрядной характеристики (U=f(I)) по формуле

$R_{эл}=\frac{U_1-U_2}{I_2-I_1}$ (Ом), где первая точка (U_1, I_1) определяется при токе разряда $4I_{10}$... $6I_{10}$, а вторая при токе разряда $20I_{10}$... $40I_{10}$.

Величина тока металлического КЗ используется для выбора автоматических выключателей по максимально допустимому току КЗ.

Ток КЗ с учетом сопротивления дуги в месте КЗ используется при определении чувствительности максимального расцепителя автоматического выключателя.

3.2.Расчет токов при КЗ на верхнем уровне защиты (на главных шинках щита постоянного тока)

Токи определяются по выражениям (1) и (2) для металлического короткого замыкания и короткого замыкания через дугу соответственно.

Сопротивления определяются по выражениям (3), (4), (5), (6).

Выражение для определения металлического тока КЗ на главных шинках щита постоянного тока будет иметь вид:

$$I_{кзмв/у}=\frac{E_{расч}\cdot n}{R_{эл}\cdot n+R_{ош}+R_{кб1}+R_{АВв/у}+R_{кс.руб}+R_{конт}} \qquad (7)$$

Выражение для определения тока КЗ через сопротивление дуги будет иметь вид:

$$I_{кздв/у}=\frac{E_{расч}\cdot n\cdot \kappa_c}{R_{эл}\cdot n+R_{ош}+R_{кб1}+R_{АВв/у}+R_{кс.руб}+R_{конт}} \qquad (8)$$

В случае, когда аккумуляторная батарея на ПС имеет дополнительные элементы (104+n), выведенные на шинку ±EY для включения электромагнитных приводов высоковольтных выключателей, токи КЗ следует определять также и на секциях шинок ±EY.

3.3.Расчет токов при КЗ на среднем уровне защиты.

Шинки среднего уровня защиты находятся в различных помещениях:

- на щите управления,
- на щите релейной защиты и автоматики,
- на ОРУ ("кольцо соленоидов") для питания электромагнита включения,
- в ЗРУ для питания цепей управления и релейной защиты,
- в ЗРУ для питания электромагнитов включения.

Токи при КЗ в кабелях, питающих указанные выше шинки, следует определять по соответствующим выражениям:

$$I_{кзмс/у}=\frac{E_{расч}\cdot n}{R_{зл}\cdot n+R_{ош}+R_{кб1}+R_{АВа/у}+R_{кс руб}+R_{кб2}+R_{АВс/у}+R_{конт}} \qquad (9)$$

$$I_{кздс/у}=\frac{E_{расч}\cdot n\cdot к_{с}}{R_{зл}\cdot n+R_{ош}+R_{кб1}+R_{АВа/у}+R_{кс руб}+R_{кб2}+R_{АВс/у}+R_{конт}} \qquad (10)$$

Ток металлического КЗ рассчитывается при КЗ в конце питающего шинки кабеля (в начале шинок), а ток КЗ с учетом влияния дуги – у самого отдаленного привода для проверки чувствительности АВ, защищающего указанные кабель и шинки.

3.4.Расчет токов при КЗ на нижнем уровне защиты.

Защита на нижнем уровне – это защита потребителей системы ОПТ:

- кабелей, питающих цепи управления высоковольтных выключателей,
- кабелей, питающих устройства РЗА,
- кабелей, питающих цепи управления и РЗА в ЗРУ,
- кабелей, питающих цепи электромагнитов включения на ОРУ,
- кабелей, питающих цепи электромагнитов включения в ЗРУ.

Токи при КЗ в кабелях, питающих указанных выше потребителей определяются по выражениям:

$$I_{кзмн/у}=\frac{E_{расч}\cdot n}{R_{зя}\cdot n+R_{ош}+R_{кб1}+R_{АВв/у}+R_{кcруб}+R_{кб2}+R_{АВс/у}+R_{шс/у}+R_{кб3}+R_{АВн/у}+R_{конт}} \quad (11)$$

$$I_{кздн/у}=\frac{E_{расч}\cdot n\cdot \kappa_c}{R_{зя}\cdot n+R_{ош}+R_{кб1}+R_{АВв/у}+R_{кcруб}+R_{кб2}+R_{АВс/у}+R_{шс/у}+R_{кб3}+R_{АВн/у}+R_{конт}} \quad (12)$$

4.ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НИЖНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ

4.1.Общие положения

Основной нагрузкой автоматических выключателей нижнего уровня являются:

- устройства релейной защиты и автоматики и цепи их подключения к шинкам ± ЕС ЩРЗ,
- цепи управления высоковольтных выключателей,
- цепи электромагнитов включения масляных выключателей,

- цепи управления и релейной защиты в ЗРУ.

В качестве автоматических выключателей нижнего уровня защиты могут использоваться как отечественные выключатели типов АП50Б, ВА19-29, ВА21-29, полное время срабатывания которых находится в пределах (20-50)мс, так и выключатели зарубежных фирм (ABB, Gec Alsthom и др.).

При больших кратностях токов КЗ по отношению к токам срабатывания, время может быть меньшим указанного выше, но не менее 5 мс. Указанную величину можно принять за время надежного несрабатывания АВ.

Выбор автоматических выключателей нижнего уровня защиты цепей управления высоковольтных выключателей, устройств релейной защиты и автоматики, устройств противоаварийного управления ведется по следующим параметрам.

4.1.1.Определяется ток срабатывания максимального расцепителя тока (в дальнейшем –ток срабатывания расцепителя) АВ нижнего уровня защиты по выражению

$I_{с.р.н/у} \geq к_н I_{нагр}$ (13),

Где $к_н$=1,2 – коэффициент надежности,

$I_{нагр}$ – потребление по цепям ОПТ одного или нескольких устройств, защищаемых данным АВ (см.табл.2).

Данные по потреблению постоянного тока некоторыми устройствами релейной защиты и автоматики приведены в таблице 2.

4.1.2.Определяется номинальный ток расцепителя максимального тока (в дальнейшем – номинальный ток расцепителя) АВ нижнего уровня защиты. $I_{НРн/у} = \frac{I_{С.Рн/у}}{K_у}$ (14),

где $K_у$ – коэффициент уставки автоматического выключателя, равен отношению тока срабатывания расцепителя к его номинальному току.

Номинальный ток расцепителя АВ выбирается из ряда номинальных токов (табл.1, 83тм-т2).

4.1.3.Определяется коэффициент чувствительности ($К_ч$) АВ при КЗв конце зоны защиты. Его минимальная величина должна быть больше максимальной погрешности тока срабатывания электромагнитных расцепителей. Суммарная токовая погрешность обычно не превышает 20%$I_{уст}$. При коэффициенте отстройки $К_0$=1.1, можно принять минимальную величину коэффициента чувствительности $К_ч=К_нК_0=1,2х1,1=1,32$

Полученная величина $К_ч$=1,32 обычно задается в конце зоны резервирования, в конце основной зоны защиты $К_ч$ должен быть не менее двух при определении тока КЗ через сопротивление дуги в месте КЗ.

$$К_ч=\frac{I_{кзм}\cdot K_c}{I_{срАВ}} \qquad (15)$$

Указанные выше коэффициенты чувствительности "2" и "1.32" закладываются в основу расчетов при выборе сечений контрольных кабелей в системе ОПТ.

4.2.Выбор автоматических выключателей для защиты цепей электромагнитов включения масляных выключателей

Термическая стойкость электромагнитов включения составляет 15-20с. Их защита осуществляется выключателями серии АП-50Б 2МТ при токе включения до 120А и серии А3100 при токе включения свыше 120 А. Номинальный ток максимального расцепителя замедленного срабатывания АВ, защищающего электромагнит определяется по выражению

$I_{ном.р.н/у}=К_с I_{эмвкл}$ (16),

Где $К_с$ – расчетный коэффициент, для АВ типа АП50Б с $I_{ном.р.н/у}$=(10-25)А может быть в пределах 0,15-0,25

$I_{эм.вкл}$ – ток электромагнита включения выключателя

Значение тока $I_{эм.вкл}$ определяется по выражению

$$I_{эм.вкл}=\frac{E_{расч}\cdot n}{R_{эм}\cdot n+R_{отм}+R_{кб1}+R_{АВс/у}+R_{кабуб}+R_{кб2}+R_{АВс/у}+R_{шс/у}+R_{АВп/у}+R_{ээ}}$$

где $R_{эв}$ – сопротивление электромагнита включения

При выборе $I_{ном.р.в/у}$ по выражению (16) обеспечивается отключение тока в цепи электромагнита включения в течение (3-12)с. Ток отсечки АВ типа АП50Б принимается кратным десяти ($К_у$=10) по отношению к $I_{ном.р.в/у}$. В случае защиты электромагнитов включения с помощью предохранителей, номинальный ток плавкой вставки предохранителя $I_{ном.пл.вст.}$ определяется по условию $I_{ном.пл.вст}$=(30-40)%$I_{эм.вкл.}$

Таблица 2.

Потребление по цепям оперативного постоянного тока (при U=220В) некоторых устройств РЗА

Тип устройства РЗА	Потребление в нормальном режиме, А	Потребление в условиях срабатывания, А
ДФЗ 201	0,7	2,13
ДФЗ-503,ДФЗ-504	0,7	2,13
ЭПЗ-1636	0,5	1,68
ПЭ-21105	1,2	1,2
УРОВ, общий для секц. шин	0,05	0,25
ШДЭ2801	0,32	0,45
ШДЭ2802	0,66	0,66
ПДЭ2802	0,37	0,86
ПДЭ2001	0,9	1,14
ПДЭ2002	1,05	1,27
ПДЭ2003	1,14	1,59
ПДЭ2004	1,8	1,8
ПДЭ2005	0,82	1,14
ПДЭ2006	1,14	1,36
Ш2101	0,59	0,86
Ш2102	0,59	0,86
Ш2103	0,59	0,86
ШЭ2106	0,59	0,86
ШЭ2107	0,59	0,86
ШЭ2108	0,59	0,86

ШЭ2113	0,59	0,86
ШЭ2303	0,18	0,41
ШЭ2706		
АКПА	1,14	1,14
АЛАР	1,14	1,14
АОПН	1,14	1,14
ФОЛ	1,14	1,14

Тип устройства РЗА	Потребление в нормальном режиме, Вт/А	Потребление в условиях срабатывания, Вт/А
REL501	14/0,06	30/0,14
REL511	14/0,06	30/0,14
REL531	14/0,06	30/0,14
REL551	14/0,06	30/0,14
REL561	20/0,09	30/0,14
REB551	14/0,06	30/0,14
7SA513V3	15/0,07	25/0,11
REL511R		20/0,09
REL521R		20/0,09
REL521 2.0		20/0,09
REL511 2.0		20/0,09
RET316 V4	15/0,07	35/0,16
REB103		4,8/0,02
REB010		4,8/0,02
7SA522	12/0,05	20/0,09
7VT513	15/0,07	45/0,2
7SI511V3.2		
7SV512V1.0	6,5/0,03	13,5/0,06
7VK512V1.1	6,0/0,03	12/0,05

4.3.Примеры выбора автоматических выключателей нижнего уровня защиты.

4.3.1.Выбор АВ для защиты комплекта или отдельного устройства РЗА. Например, защиты первого комплекта (К1) устройств РЗА на базе ИМС автотрансформатора. Определяется суммарная нагрузка АВ в режиме срабатывания устройств РЗА (табл.2): ШЭ2106, ШЭ2107, ШЭ2303 (два шкафа), ШЭ2001, ШЭ2706 будет равна $I_{нагр}$=0,86+0,86+2x0,41+0,86+0,41=3,81А

Определяется ток срабатывания расцепителя по формуле (13)

$I_{с.р.н/у}$=1,2x3,81=4,57А

Определяется по формуле (14) номинальный ток расцепителя при минимальном коэффициенте уставки, равном 2.

$$I_{н.р.н/}=\frac{4,57}{2}=2,28\ А$$

Величины номинального тока расцепителя выбирается из ряда номинальных токов выключателей типа ВА-19 (табл.1, 83тм-т2) – 2,5 А.

$$I_{с.р\ н/у}=2x2,5=5А.$$

Предельная коммутационная способность АВ типа ВА19-29 с номинальным током расцепителя $I_{ном.р.н/у}$=2,5А составляет $I_{пахлоп.АВ}$=2,0кА, что обеспечивает надежное отключение тока в системе ОПТ при КЗ на нижнем уровне защиты.

4.3.2.Выбор АВ для защиты электромагнита включения масляного выключателя типа ВКЭ-10. Привод выключателя при включении потребляет 100 А. Определяется номинальный ток по формуле (16)

$I_{ном.р.н/у}$=0,16x100=16А

Время срабатывания расцепителя при $I_{эм.вкл}$=100А

Определяется по времятоковой характеристике для отношения $\frac{I_{элегаз}}{I_{ном.р.н/у}}=\frac{100}{16}$=6,25 определяется максимальное время расцепителя $t_{ср.н/у}$=7с.

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя принимается равной 10.

$K_у$=10 $I_{ср}$=16х10=160А

Термическая стойкость электромагнитов включения обеспечивается в течение (15-20)с. Нагрев электромагнита до длительно допустимой температуры 105^{0}С происходит за 16 с. максимальное время срабатывания расцепителя меньше указанного времени (не превышает 7 сек.).

Максимально допустимый ток отключения АП50Б с $I_{ном.р.н/у}$=16А составляет 2,5 кА. Если ток КЗ превышает указанную величину, то следует использовать ВА19-29, который при номинальном токе, равном 16А имеет допустимый ток отключения 5 кА.

4.3.3.Выбор АВ для защиты цепей управления воздушных выключателей.

Наибольшая величина толчкового тока при отключении у воздушного выключателя типа ВВБК или ВВБ500 и составляет 3х20=60А. Постоянная нагрузка цепей управления выключателя не превышает 3А, общий толчковый ток составит $I_т$=3+60=63А

Ток срабатывания АВ, защищающего указанную цепь и отстроенного от толчкового тока должен быть не менее (13)

$I_{с.р.н/у} \geq$ 1,2х63=75,6А

При коэффициенте уставки равно двум, $I_{ном.н/у}=\frac{75,6}{2}$=37,8А

По шкале номинальных токов ВА-19-29 выбираем $I_{ном}$=40А. Ток срабатывания расцепителя при $K_у$=2 равен $I_{с.р.н/у}$=2х40=80А. Коэффициент чувствительности в основной зоне защиты (от АВ до электромагнитов управления ВВБК) должен быть не менее двух. Минимально допустимый ток КЗ в конце зоны защиты составит $I_{кз\ мин\ н/у}$=2х80= 160 А.

4.3.4.Выбор АВ для защиты оперативных цепей постоянного тока зарядно-подзарядных агрегатов (ЗПА). Основное назначение указанных АВ –

защита кабеля соединяющего ЗПА с шинками ± ЕС на щите постоянного тока. Учитывая, что ток металлического КЗ в данной точке достигает большой величины (2-6)кА, следует выбирать выключатели типа ВА-19-29 с максимально возможными параметрами допустимого и номинального токов $I_{ном.р}$=63А , $I_{доп.max}$=10кА.

Максимально допустимая величина тока коммутации АВ, равная 10кА, будет достаточной отстройкой при любой аккумуляторной батареи, применяемой на ПС.

4.4.Проверка автоматических выключателей нижнего уровня защиты на несрабатывание от броска емкостного тока.

По сообщению заводов производителей выключателей типов АП50Б, ВА19, ВА21 максимальная продолжительность импульсов, при котором АВ указанных типов надежно не срабатывает, составляет 5мс. Рекомендуется в системе ОПТ на ПС применять АВ типов АП50Б, ВА19, ВА21 с током срабатывания электромагнитного расцепителя не менее 5А.

Для каждой ПС определяется максимально допустимая величина емкости кабелей в системе ОПТ, создающая в течение 5 мс бросок емкостного тока величиной в 5А при замыкании на землю одного из полюсов системы. При этом сопротивление в цепи замыкания на землю составит

$$R=\frac{U}{I}=\frac{220}{5}=44Ом$$

Предельно допустимая емкость определяется из формулы τ=CR (17),

где τ – постоянная времени системы ОПТ, мкс,

C – емкость системы ОПТ, мкФ,

R – сопротивление в цепи замыкания на землю, Ом.

По формуле (17) определяется максимально допустимая величина емкости в системе ОПТ $C=\frac{5000}{44}=113,6 мкФ$

В случае, когда в системе ОПТ минимальная уставка АВ больше 5А, допустимая емкость системы также больше 113,6мкФ, если имеются выключатели с меньшими токами срабатывания чем 5А, соответственно, уменьшается допустимая величина емкости системы ОПТ на ПС. При определении величины емкости на конкретной ПС рекомендуется пользоваться следующими данными замеров, выполненных в НИИ кабельной промышленности (Каменским М.К.). Емкость одной жилы кабеля 14х2,5 составляет 0,98мкФ/км, кабеля 14х1,5 соответственно 0,56мкФ/км. При замерах остальные тринадцать жил кабеля были закорочены и заземлены. Если указанные тринадцать жил кабеля находятся под напряжением постоянного тока, то емкость кабеля увеличится на (60-80)%, но не более, чем в два раза. Учитывая, что сечение 2,5мм^2 и число жил 14 являются средними величинами для контрольных кабелей, то с достаточно большим запасом ,емкость, равную 2х0,98=1,96мкФ/км, можно считать средней емкостью для контрольных кабелей.

Для силовых кабелей используемых в системе ОПТ (связь АБ со ЩПТ, ЩПТ с шинками в ЗРУ, цепи управления воздушных выключателей, "кольцо соленоидов" и др.) данные об их емкостях имеются в справочной литературе и каталогах на кабельную продукцию. Максимальная длина кабелей, используемых в системе ОПТ на ПС при минимальном токе срабатывания равном 5А, не должна превышать $l_{\text{max доп}} \le \frac{113,6}{1,96}=58 км$

5.ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ.

5.1.Общие положения.

Автоматические выключатели среднего уровня защиты расположены на щите постоянного тока, подключены к главным шинкам ±ЕС или ±ЕУ и защищают кабели и шинки среднего уровня защиты на щите РЗА, в ОПУ, в ЗРУ, на ОРУ.

Автоматические выключатели среднего уровня защиты должны:

- отключать все КЗ на указанных выше шинках и в питающих эти шинки кабелях,
- осуществлять функции дальнего резервирования, т.е. отключать защищаемые шинки при КЗ на нижнем уровне защиты (например, в цепях управления высоковольтных выключателей или защиты присоединения) и отказе АВ нижнего уровня защиты.
- Коэффициенты чувствительности при этом должны составлять:
- не менее двух при КЗ в зоне защиты, т.е. при КЗ в кабеле и на шинках среднего уровня защиты,
- не менее 1,32 при КЗ в зоне резервирования, т.е. при КЗ в устройствах защиты или в цепях управления высоковольтных выключателей.

Автоматические выключатели среднего уровня защиты должны быть отстроены по току и времени срабатывания от аналогичных параметров автоматических выключателей нижнего уровня защиты. При этом, следует учитывать двадцати процентную погрешность по току и времени АВ среднего уровня защиты и ту же величину погрешности по току и времени для АВ нижнего уровня защиты.

$$0{,}8I_{\text{срс/у}} \geq K_{\text{зап}}\, 1{,}2I_{\text{сра/у}} \quad (18)$$

при $K_{\text{зап}}=1{,}1$

$$I_{\text{срс/у}} \geq 1{,}65\, I_{\text{сра/у}} \quad (19)$$

$$0{,}8t_{\text{срс/у}} \geq K_{\text{зап}}\, 1{,}5t_{\text{сра/у}} \quad (20)$$

при $K_{зап}=2$ $t_{срс/у}=3\ t_{срв/у}$

при $t_{срв/у}=50$мс $t_{срс/у}=150$мс

Уставка по времени АВ среднего уровня защиты принимается равной 0,15 или 0,2с.

5.2.Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания устройств РЗА на щите релейной защиты.

Каждая АБ питает две секции шинок РЗА, по одной секции на каждом канале питания (рис.1). Автоматический выключатель защищающий кабель и шинки РЗА расположен на щите постоянного тока. Его полупроводниковый расцепитель должен быть отстроен от суммарного тока нагрузки обеих секций случае их обьединения при отключенном АВ одной из указанных секций.

Определяется суммарный ток нагрузки обеих секций ±ЕС РЗА

$I_{нагр.РЗА}= I_{нагр.РЗА1}+I_{нагр.РЗАП}$

Определяется минимально допустимый ток срабатывания АВ (13)

$I_{срс/у} \geq K_{отс} I_{нагр.РЗА}$

Определяется по выражению (14) минимально допустимый номинальный ток полупроводникового расцепителя при коэффициенте уставки равном двум $K_у=2$

$$I_{ном}=\frac{I_{срс/у}}{2}$$

По шкале колибруемых значений номинальных рабочих токов полупроводникового расцепителя принимаем ближайший больший ток $I_{ном}$ и соответственно ток срабатывания (14) $I_{срс/у}=к_у I_{ном}$ при $K_у=2$ $I_{срс/у}2I_{ном}$

Проверяется, что полученная величина тока срабатывания АВ Среднего уровня защиты отстроена по току и времени от тока и времени срабатывания АВ нижнего уровня защиты, т.е. от соответствующих параметров АВ нижнего уровня защиты с наибольшим током и временем срабатывания, т.е.

должны соблюдаться неравенства (18,19). Указанные условия в большинстве случаев выполняются.

Пример:

Нагрузка первой секции шинок РЗА составляет $I_{нагр.РЗАI}$=43А

Нагрузка второй секции – $I_{нагр.РЗАII}$=56А

Определяется суммарная нагрузка на АВ по (19) $I_{нагр.РЗА}$=43+56=99А

Определяется минимально допустимый ток срабатывания АВ (13)

$I_{ср с/у}$=1,2х99=118,8А

Определяется минимально допустимый номинальный ток расцепителя

(14) при $К_у$=2 $$I_{ном}=\frac{118,8}{2}=59,4\ А$$

Ближайшее большее значение номинального тока расцепителя – $I_{ном}$=63А. Определяется окончательная величина минимально допустимого тока срабатывания $I_{ср\ с/у}$=2х63=126А – это без учета коэффициента чувствительности.

Проверка выполнения условия (18) не требуется в связи с его очевидностью.

5.3.Выбор автоматических выключателей для защиты шинок, питающих цепи управления выключателей.

Автоматические выключатели, защищающие кабель и шинки в ОПУ, от которых питаются цепи управления высоковольтных выключателей, расположенные на щите постоянного тока, не менее одного на каждом канале питания. Обе секции шинок ± ЕС ОПУ каждой АБ могут соединяться между собой рубильником или переключателем в режиме, когда один из АВ отключен и второй АВ защищает обе секции шинок ± ЕС ОПУ (рис.1). Из указанного следует, что при выборе АВ питания одной секции ± ЕС ОПУ необходимо учитывать суммарную нагрузку обеих соответствующих секций. Потребление цепей управления выключателей в статическом режиме невелико, основная нагрузка – это толчковый ток при включении или отключе-

нии выключателя. Наибольший толчковый ток секции – при отключении группы выключателей, например, при действии защиты шин. Кроме защиты секции и питающего ее кабеля, АВ должны резервировать отказ АВ защиты цепей управления наиболее удаленного выключателя.

Определяется суммарная нагрузка на секцию шинок по выражению

$$I_т=I_{откл} \times m_{откл.доп}+I_{нагр} \times m_{\Sigma} \quad (21), \text{ где}$$

$I_т$ – суммарный толчковый ток одной секции ± ЕС ОПУ (оптимальная величина 100-150А),

$I_{откл}$ – ток отключения одного выключателя,

$I_{нагр}$ – ток нагрузки цепей управления одного выключателя,

m_{Σ} - суммарное количество выключателей, цепи управления которых питаются от одной секции шинок ± ЕС ОПУ,

$m_{откл.доп}$ – допустимое количество одновременно отключаемых выключателей, цепи управления которых питаются от одной секции ± ЕС ОПУ.

В случае, когда суммарная толчковая нагрузка обеих секций не превышает (100-150)А рекомендуется ток срабатывания АВ защиты каждой из указанных секций отстраивать от толчковой нагрузки обеих секций. При больших толчковых токах например, при наличии на ПС выключателей типа ВНВ, ВВБК и др.) ток срабатывания АВ защиты секции отстраивается от толчкового тока нагрузки только своей секции. В этом случае распределение нагрузки между питающими секциями ± ЕС ОПУ должно быть таким, чтобы при действии защиты шин одной секции или системы шин, было исключено неселективное срабатывание АВ защиты двух, соединенных переключателем секций ± ЕС ОПУ (рис.4).

Выбранные токи срабатывания АВ среднего уровня защиты должны обеспечивать выбор наиболее экономичных сечений кабелей от шинок ± ЕС ОПУ до приводов высоковольтных выключателей.

Определяется ток срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты:

- по условию отстройки от максимального толчкового тока нагрузки

$$I_{с.р.с/у}=K_{отс}\, I_т$$

- по условию отстройки от наибольшего тока срабатывания расцепителя АВ нижнего уровня защиты по выражению (19) $I_{с.р.с/у} \geq 1{,}65 I_{ср}$

Выбирается коэффициент уставки $K_у$ тока срабатывания и определяется номинальный ток расцепителя АВ по выражению (14) $I_{ном.р.с/у} \geq \frac{I_{с.р.с/у}}{K_у}$

Выбирается ближайший больший $I_{ном.р}$ по шкале номинальных токов выключателя и определяется значение $I_{с.р.с/у}=K_у\ I_{ном.с/у}$ выбранного АВ.

Пример выбора АВ защиты секции шинок ± ЕС и питающего кабеля.

В системе ОПТ ПС 500кВ две аккумуляторные батареи и 4 питающих канала (по два канала от каждой АБ). На каждом канале по одной секции шинок ± ЕС ОПУ. От каждой секции питаются цепи управления одного выключателя ВВБ 500 (схема "четырехугольника") и двух выключателей типа ВВД 220 (схема двойной системы шин, по одному выключателю от каждой системы шин). Токи электромагнитов отключения выключателей соответственно 60А и 36А.

Определяется суммарный ток через АВ при питании обеих секций ± ЕС ОПУ одной АБ по выражению (21).

Максимальный толчковый ток будет при одновременном отключении двух выключателей типа ВВБ500. Ток постоянной нагрузки каждой секции – 5А. $I_т=2(60+5)=130А$

Определяется минимальный ток срабатывания АВ по условию отстройки от максимального толчкового тока (первое условие) при аварийном отключении присоединения 500 кВ в режиме питания обеих секций ± ЕС ОПУ через один АВ. $I_{с.р.с/у}=1{,}2х130=156А$

Определяется минимальный ток срабатывания АВ по условию отстройки от АВ нижнего уровня защиты по выражению (19) (второе условие)

$$I_{с.р.с/у} \geq 1,65 \times 105,6 = 174,2А$$

Минимальный ток срабатывания АВ получился больше при расчете по второму условию, который используется в дальнейших расчетах при определении номинального тока АВ. Принимаем минимально возможный $К_у=2$ и определяем номинальный ток АВ по выражению (14)

$$I_{ном.с/у} = \frac{174,2}{2} = 87,1$$

По шкале номинальных токов АВ принимаем $I_{ном.с/у}$ =100А. Определяется ток срабатывания выбранного АВ по (14)

$$I_{ср.с/у} = 2 \times 100 = 200А$$

Выдержка времени выбранного АВ принимается равной 0,2с. (п.5.1).

5.4.Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питающих электромагниты включения выключателей. Данные шинки других потребителей не питают.

Определяется количество выключателей, включающихся одновременно. Рекомендуется ограничиться одновременным включением двух выключателей (при включении от схем АВР или АПВ).

Определяется суммарный толчковый ток $I_т=2I_{вкл}$

Определяется ток срабатывания АВ защиты по первому условию

$I_{срс/у} = К_{отс}I_т$, по второму условию $I_{срнс/у} \geq 1,65I_{ср.м/у}$

По большей величине $I_{срс/у}$ определяем номинальный ток АВ

$$I_{ном} \geq \frac{I_{срс/у}}{К_у}$$

По шкале номинальных токов выбираем АВ с $I_{ном}$ большим расчетного. Ток срабатывания выбранного будет равен $I_{срс/у}=К_у I_{ном}$

Пример выбора АВ для защиты шинок, питающих электромагниты включения в ЗРУ 10кВ с выключателями типа ВВЭМ10 (вакуумный, с электромагнитным приводом, потребление – 60А).

При действии схемы АВР секций шин 10кВ, одновременно могут включаться два выключателя. Суммарный толчковый ток составит

$$I_т=2I_{вкл}=2x60=120A$$

Ток срабатывания АВ защиты секции шинок ± ЕУ ЗРУ будет равен по первому условию $I_{сро/у}=1,2x120=144A$, по второму условию $I_{сро/у} \geq 1,65x50=82,5A$

Определяется номинальный ток по первому условию при $К_у=2$

$$I_{ном}=\frac{144}{2}=72A$$

Выбираем АВ с номинальным током $I_{ном}=80A$.

Ток срабатывания АВ будет равен $I_{сро/у}=2x80=160A$

Уставка по времени срабатывания $t_{сро/у}=0,2c$

Пример выбора АВ для защиты шинок, питающих приводы выключателей ВКЭ10 (потребление электромагнита включения – 100А).

Определяется суммарный толчковый ток

$$I_т=2I_{вкл}=2x100=200A$$

Определяется ток срабатывания АВ защиты шинок ± ЕУ ЗРУ по первому условию $I_{сро/у}=1,2x200=240A$,

по второму условию $I_{сро/у}=1,65x160=264A$

Выбор АВ продолжается по $I_{сро/у}=264A$

Определяется номинальный ток АВ при $К_у=2$

$$I_{ном.с/у}=\frac{264}{2}=132A$$

Выбирается АВ с $I_{ном.}=160A$ $I_{сро/у}=2x160=320A$

6.ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ (ВЫБОР ГОЛОВНЫХ АВТОМАТОВ).

6.1.Общие положения.

Каждый из четырех каналов питания (по два канала от каждой АБ) имеет на щите постоянного тока свою группу "головных" автоматических селективных выключателей, осуществляющих верхний уровень защиты.

Каждая группа головных АВ может иметь: три АВ при АБ с дополнительными элементами и возможностью уравнительного заряда, два АВ при АБ без дополнительных элементов, но с возможностью уравнительного заряда или с дополнительными элементами, но без уравнительного заряда. Основной зоной защиты головных АВ являются главные шинки на щите постоянного тока, резервной зоной – автоматические выключатели, соединительные кабели и шинки в ОПУ, на щите РЗА, в ЗРУ. Учитывая высокую степень ответственности назначения головных АВ, их коэффициент чувствительности при КЗ в резервной зоне и, тем более, при КЗ в основной зоне, должен быть не менее двух. Коэффициент чувствительности не менее двух должен быть также у АВ, включенных в цепь перемычек между секциями главных шинок ЩПТ двух аккумуляторных батарей (АВ SF2 и SF7 на рис.1). К каждой секции главных шинок ±ЕС ЩПТ подключены (каждый из четырех каналов питания):

- секция шинок ±ЕС ЩРЗ,
- секция шинок ±ЕС ЗРУ,
- одна или две секции шинок ±ЕС ОРУ питания цепей управления выключателей,
- секция шинок ±ЕУ ОРУ,
- секция шинок ±ЕУ ЗРУ.

Последние две позиции относятся к случаю, когда на ПС установлены выключатели с электромагнитными приводами и количество элементов АБ n=104.

При наличии на АБ дополнительных элементов (n>104), необходимых для надежного включения масляных выключателей, вывод n-ого элемента АБ подключен к шинке ±ЕУ ЩПТ через отдельный автоматический выключатель (верхний уровень защиты). К каждой секции шинок ±ЕУ ЩПТ подключены через автоматические выключатели среднего уровня защиты секция шинок ±ЕУ ОРУ и секция шинок ±ЕУ ЗРУ. При наличии на ПС ОРУ нескольких напряжений, у каждого ОРУ (при наличии масляных выключателей с электромагнитными приводами) организуется отдельные шинки ±ЕУ.

6.2.Выбор автоматических выключателей для защиты главных шинок ±ЕС щита постоянного тока.

Определяется суммарная нагрузка главных шинок ±ЕС ЩПТ. Она складывается из толчковой нагрузки и постоянной нагрузки оперативного тока. Максимальная толчковая нагрузка может быть либо при отключении группы выключателей (в случае с воздушными выключателями на ПС), либо при включении масляных выключателей с электромагнитными приводами.

Головной автоматический выключатель питающий секцию главных шинок на ЩПТ должен быть отстроен от тока нагрузки всей аккумуляторной батареи в ремонтном режиме, когда АВ, питающий соседнюю секцию шинок ±ЕС ЩПТ отключен. При этом обе секции ±ЕС ЩПТ соединены между собой рубильником или переключателем. Головной АВ должен быть отстроен также и от режима питания нагрузки своей секции и секции другой АБ, с которой он связан перемычкой (например, 1 секция связана перемычкой с 3-ей секцией на рис.1).

Выключатель в цепи указанной перемычки отстроен только от тока нагрузки одной секции шинок ±ЕС ЩПТ (той, которая больше нагружена) и, следовательно, должен быть селективным по току с головным АВ. Селек-

тивность по времени между рассматриваемыми АВ достигается тем, что ступень селективности может быть выбрана не полной.

Так, при выдержке времени АВ среднего уровня защиты, равной 0,2с. в соответствии с (21), АВ в перемычке может работать с уставкой по времени равной $t_{ср.пер}=1,5x0,2=0,3с.$,

а АВ верхнего уровня защиты соответственно $t_{ср.в/у}=0,3x1,32=0,4с.$

Учитывая, что рассмотренный ремонтный режим не продолжителен, полученную уставку по времени 0,3с. для АВ в цепи ремонтной перемычки можно считать по селективности достаточной.

Определяется ток срабатывания АВ защиты одной секции ± ЕС ЩПТ и выбирается соответствующий селективный АВ по выражениям (13), (14), (18). Определяется ток срабатывания АВ защиты головного АВ по выражениям (13), (14), (18). При этом ток срабатывания головного АВ (верхний уровень защиты) должен быть отстроен от тока срабатывания АВ в цепи ремонтной перемычки по формуле (18). Коэффициент чувствительности выбранного АВ должен быть не ниже двух (п.5.1) как в основной зоне защиты, так и в зоне резервирования. При этом, в зоне резервирования отключенного в ремонт АВ, коэффициент чувствительности головного АВ должен быть не менее 1,32, а АВ, включенного в цепь перемычки – не менее двух.

Пример выбора автоматического выключателя в цепи ремонтной перемычки.

Ток срабатывания АВ перемычки, соединяющей две секции при ремонте канала питания одной из них, должен отстраиваться от тока более нагруженной секции.

На ПС 500/220/10кВ две АБ и четыре секции ± ЕС ЩПТ. Нагрузка секций между собой отличается не более, чем на 10% и составляет (21)

$$I_т=4x36+19=163А$$

Определяется ток срабатывания АВ по первому условию

$$I_{с.з.пер}=1,2x163=195,6А$$

По второму условию $I_{с.р.с/у}$=200А (см.п.5.3)

$$I_{с.р.пер} \geq 1{,}65\ I_{с.р.с/у}=200x1{,}65=330A$$

Определяется номинальный ток АВ при $К_у$=2

$$I_{ном} \geq \frac{330}{2} = 165A$$

Можно выбрать $I_{ном}$=160А. Ток срабатывания будет равен

$$I_{с.р.пер}=160x2=320A$$

Уменьшение тока срабатывания на 3% против расчетного допустимо, поскольку в коэффициенте 1,65 заложены 20% погрешности автоматических выключателей с разными знаками.

Выбор автоматического выключателя верхнего уровня защиты.

Определяется суммарная толчковая нагрузка на аккумуляторную батарею. Толчковая нагрузка на головной АВ складывается из нагрузки двух секций и определяется по выражению

$I_т=I_{нагр1(111)}+I_{нагр11(1V)}$ или $I_т=I_{нагр1(11)}+I_{нагр111(1V)}$

Если суммарные толчковые токи отдельных секций ±ЕС ЩПТ отличаются не более, чем на 10%, ток срабатывания головного АВ можно выбирать по двукратной нагрузки одной секции $I_т=2I_{Тнагр}$

В случае, когда нагрузка отдельных секций отличается больше, чем на 10%, выбор АВ для каждой секции рекомендуется выполнять индивидуально. Определяется ток срабатывания АВ по первому условию

$$I_{ср.в/у}=2x163=326A$$

Определяется ток срабатывания по второму условию (отстройка от тока срабатывания АВ в цепи перемычки между секциями 1 и 111 или 11 и 1V).

$$I_{ср.в/у} \geq 1{,}65x320=528A$$

Дальнейший выбор ведем по второму условию. Определяем минимально допустимую величину номинального тока АВ при $К_у$=2

$I_{ном.в/у}=\frac{528}{2}=264A$ следует выбрать $I_{ном.в/у}$=320А и $I_{ср.в/у}$=2х320=640А

При $К_у$=4 $I_{ном.в/у}=\frac{528}{4}=132А$ следует выбрать $I_{ном.в/у}$=160А

$I_{ср.в/у}$=4х160=640А

Поскольку оба коэффициента уставки дают одинаковую величину тока срабатывания АВ, рекомендуется выбрать меньшую величину $К_у$=2. Выбираем АВ типа А3793С с параметрами: $I_{ном}$=320А, $К_у$=2, $t_{ср}$=0,4с.(п.6.2).

Как было указано выше, коэффициенты чувствительности головного АВ (верхний уровень защиты) должен быть не ниже двух при кз на шинках ±ЕС ЩПТ и на шинках ±ЕС ОПУ, ±ЕС ЩРЗ, ±ЕС ЗРУ, ±ЕУ ОРУ, ±ЕУ ЗРУ, питающихся от данной аккумуляторной батареи.

При кз на шинках ±ЕС резервируемой батареи коэффициент чувствительности может быть снижен до величины 1,5.

6.3.Выбор автоматических выключателей для защиты шинок ±ЕУ щита постоянного тока.

Шинки ±ЕУ на щите постоянного тока организуются в том случае, когда напряжение на выходе аккумуляторной батареи при нормальном числе элементов (104 при $U_{зд}$=2,23В в режиме постоянного подзаряда) недостаточно, чтобы включить один или два выключателя с электромагнитными приводами после получасового разряда АБ при отключенном зарядно-подзарядном агрегате. В момент включения выключателя напряжение на электромагните включения должно быть не менее $0,85U_{ном}$ (187В при $U_н$=220В).

От главных шинок ±ЕУ на ЩПТ могут питаться шинки на ОРУ (±ЕУ ОРУ) одного или нескольких напряжений и шинки в ЗРУ (±ЕУ ЗРУ). Каждая секция указанных выше шинок получает питание по своему каналу и подключать к ним другую нагрузку постоянного тока не рекомендуется. В случае, когда шинки ±ЕУ необходимы для включения выключателей только в одном РУ, средняя ступень защиты будет отсутствовать и головной АВ

будет совмещать функции верхнего и среднего уровней защиты (отстроен от токов срабатывания приводов). Выбор АВ защиты электромагнита включения привода выключателя помещен в п.4.2, примеры выбора АВ для ВКЭ-10 – в п.4.3.2 (выбран АВ типа АП-50 с $I_{ср}$=160А).

Выбор АВ среднего уровня защиты (шинок ±ЕУ ЗРУ или ОРУ) и пример выбора АВ для защиты шинок ±ЕУ ЗРУ помещены в п.5.4 (выбран АВ с $I_{ср.с/у}$=320А).

Определяется ток срабатывания верхнего уровня защиты по отстройке от тока срабатывания АВ среднего уровня защиты $I_{ср.в/у} \geq 1{,}65\ I_{ср.с/у}$

При наличии на ПС только одного РУ с выключателями с электромагнитными приводами, средний уровень защиты будет отсутствовать и ток срабатывания головного АВ следует отстраивать от толчкового тока при включении одновременно двух выключателей.

Определяет ток срабатывания по первому условию:

$I_{ср.в/у} \geq K_{отс} 2 I_{вкл}$

по второму условию $I_{ср.в/у} \geq 1{,}65 I_{с.р.н/у}$

Далее в расчетах используется большее значение тока срабатывания.

Определяется номинальный ток при $K_у$=2

$$I_{ном.р.в/у} = \frac{I_{с.р.в.1у}}{2}$$

Далее по шкале номинальных токов выбирается ближайшее большее значение $I_{ном.р..в/у}$ и определяется окончательная величина тока срабатывания головного АВ. Коэффициенты чувствительности должны иметь те же величины, что и для головных АВ защиты шинок ±ЕС ЩПТ.

Пример выбора АВ защиты шинок ±ЕУ ЩПТ

Определяется ток срабатывания АВ защиты шинок ±ЕУ ЩПТ (верхний уровень защиты) по второму условию $I_{ср.в/у}$=1,65х320=528А

Определяется номинальный ток АВ при $K_у$=2

$$I_{ном.в/у}=\frac{528}{2}=264A$$

По шкале номинальных токов определяется $I_{ном}$=320А. Его ток срабатывания $I_{ср.в/у}$=2х320=640А

Выбран АВ типа А3793С с параметрами:

$$I_{ном}=320А,\ К_у=2,\ I_{ср}=640А,\ t_{ср}=0,4с.$$

В случае, когда шинки ±ЕУ ЩПТ соединены только с одними шинками питания электромагнитов включения (например, ±ЕУ ЗРУ) головной АВ может иметь уставки по току и времени соответствующие среднему уровню защиты. Для нашего примера: $I_{ном}$=160А, $I_{с.р}$=320А, $К_у$=2, $t_{с.р}$=0,2с.

Чувствительность АВ верхнего уровня защиты должна быть не менее двух при КЗ на шинках ±ЕУ ЩПТ и шинках ±ЕУ ОРУ (ЗРУ) и не менее 1,32 при КЗ у самого отдельного привода (последнее только для случая двух ступеней защиты – верхнего и нижнего уровней).

7.ВЫБОР СЕЧЕНИЙ КАБЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА.

7.1.Общие вопросы.

Минимально возможное сечение кабелей в системе ОПТ зависит от потребления цепей управления высоковольтных выключателей, количества одновременно отключаемых, а для масляных выключателей – включаемых выключателей, от расстояний между ОПУ и выключателями в ОРУ и ЗРУ.

Поэтому, для технико-экономического обоснования выполняемых расчетов сечений кабелей в системе ОПТ необходимо иметь электрические схемы всех ОРУ, ЗРУ, план ПС, параметры используемого оборудования и др.

Автоматические выключатели, защищающие шинки $\pm EC$ ОПУ, от которых питаются цепи управления выключателей, должны защищать кабели и указанные шинки (основная зона защиты, $K_ч \geq 2$) ,а также резервировать АВ защиты цепей управления высоковольтного выключателя в случае отказа АВ при КЗ в конце кабеля у привода выключателя ($K_ч \geq 1{,}32$ в зоне резервирования).

Указанное резервирование будет обеспечено при необходимой величине тока КЗ, величина которого ограничивается сечением защищаемого кабеля.

7.2.Выбор сечения кабеля от аккумуляторной батареи до щита постоянного тока.

Расстояние от АБ до ЩПТ на ПС 330-750кВ обычно не превышает 50 м, поэтому сечение кабеля от выводов до шинок на ЩПТ мало влияет на экономику и кабель выбирается заведомо достаточного сечения в зависимости от величины толчкового тока нагрузки, как указано в таблице 3.

Таблица 3.

Величина толчкового тока Iт, А	60-170	170-440	500	750
Сечение жил кабеля От АБ до ЩПТ, Sкб1, $мм^2$	70	120-185	240	2х240

Величина толчкового тока Iт складывается из максимально возможной величины толчкового тока на ПС (например, при отключении всех выключателей в схеме две рабочие и обходная система шин в режиме нарушенной фиксации присоединений) и постоянного тока нагрузки

$I_T = I_{откл} \times m + I_{нагр}$ (23), где

$I_{откл.}$ – ток потребляемый электромагнитом отключения одного выключателя (при наличии у выключателя двух электромагнитов отключения отключения – суммарный ток обоих электромагнитов).

m - число одновременно отключаемых выключателей;

$I_{нагр}$ - суммарный ток постоянной нагрузки в системе ОПТ на ПС.

При отсутствии проектных данных о нагрузке, она принимается ориентировочно для ПС 330кВ и выше равной 30-50 А в режиме постоянного подзаряда аккумуляторной батареи и до 100А в течении основных 0,5 часа в режиме разряда батареи.

Например, для ПС 500кВ со схемой ОРУ 500кВ «Полуторная» с четырьмя цепочками выключателей типа ВНВ 500, имеющих по два электромагнита отключения, при КЗ на шинах 500кВ, максимально возможный суммарный толчковый ток от аккумуляторной батареи будет равен (23)

Iт=32х2х4+50=306 А.

Выбираем сечение кабеля равным 150 $мм^2$ (табл.3)

7.3.Выбор сечений кабелей от шинок ± ЕС ЩПТ до шинок среднего уровня защиты.

Шинки среднего уровня – это шинки ± ЕС в ОПУ, на щите РЗА, в ЗРУ. Шинки в ОПУ для питания цепей управления высоковольтных выключателей могут иметь две или более секции, остальные шинки – по две секции от одной АБ. При наличии на ПС масляных или других выключателей с электромагнитными приводами на ОРУ или в ЗРУ организуются шинки ± ЕС ЩПТ, от которых питаются и другие, вышеперечисленные шинки; при наличии у АБ дополнительных элементов (n > 104) – от специально организованных шинок ± ЕУ ЩПТ. Каждая секция шинок среднего уровня защиты и питающих кабелей защищается своим АВ, отказ которого резервируется головным АВ.

Необходимый для резервирования ток КЗ, достаточный для срабатывания АВ, выбранного по току толчковой нагрузки, зависит от сечения кабелей в цепи тока КЗ. От величины тока КЗ зависит и коэффициент чувствительности АВ среднего уровня защиты. Указанные выше особенности системы ОПТ определяют основные направления расчетов для получения наибольшего технико-экономического эффекта : выбор параметров срабатывания автоматических выключателей производится от нижнего уровня защиты к верхнему уровню (см. п. 4,5,6), а определение сечений кабелей – от верхнего уровня защиты к нижнему уровню, т.е. к кабелям питающим непосредственно потребителей.

Расчет ведется в следующем порядке.

Определяется минимально допустимая величина тока КЗ (с учетом сопротивления дуги), обеспечивающая коэффициент чувствительности не менее двух в конце резервирования для АВ верхнего уровня защиты (головного АВ) по выражению

$$I_{КЗ0} = K_ч \times I_{срабу} = 2I_{срабу} \quad (24)$$

Определяется сопротивление всей ветви КЗ с учетом сопротивления дуги в месте КЗ

$R_{КЗ_д} = \frac{E_{расч.} \times n}{I_{КЗ_д}}$ (25), где

$E_{расч}$ - расчетная величина ЭДС одного аккумулятора, равная ординате в месте ее пересечения с Вольт-Амперной характеристикой аккумулятора.

Для полученной величины $R_{КЗ_д}$ по кривой на рис.3 определяется коэффициент K_c - уменьшения тока КЗ при переходе от тока КЗ при металлическом КЗ к току КЗ через сопротивление дуги. Определяется сопротивление цепи при металлическом КЗ

$R_{КЗм}=K_c x R_{КЗд}$ (26)

Определяется сопротивление внешней цепи при металлическом КЗ

$R_{КЗ_м} = R_{КЗ_м} - R_{АБ}$ (27), где

$R_{АБ}$ - сопротивление аккумуляторной батареи.

$R_{АБ} = R_{ЭЛ} \times n$, где

$R_{ЭЛ}$ - сопротивление одного аккумулятора (см. табл. 1).

Определяется максимально допустимая величина сопротивления кабеля от шинок ±ЕС ЩПТ до шинок среднего уровня защиты (±ЕС ОПУ, ± ЕС ЩРЗ, ±ЕС ЗРУ).

При КЗ на шинах среднего уровня защиты сопротивление цепи будет определяться по выражению

$R_{КЗ\,М}=R_{КЗ\,С/У}=R_{ОШ}+R_{КБ1}+R_{АВ\,В/У}+R_{КС\,руб.}+R_{КБ2}+R_{АВ\,С/У}+R_{Ш\,С/У}+R_{КОНТ.}=$

$=R_{КЗ\,В/У}+R_{КБ2}+R_{АВ\,С/У}+R_{Ш\,С/У}+R_{КОНТ.}$ (28).

Все величины, кроме $R_{КБ2}$ и $R_{Шс/у}$, входящие в выражение (28) известны.

Сечение шинок и питающего их кабеля рекомендуется брать одинаковы-

ми. В этом случае их суммарное сопротивление определяет выражение (28).

$$R_{КБ2}+R_{Ш\,С/У}= R_{КЗ\,С/У}-R_{КЗ\,В/У}-R_{АВ\,С/У}-R_{конт.} \quad (29)$$

Определяется сечение кабеля $S_{КБ2}$ и шинок $S_{Шс/у}$

$$S_{(КБ2+Шс/у)} = \frac{\rho \times 2l}{R_{КБ2}+R_{Шс/У}} \quad (30)\text{, где}$$

2l – длина петли кабеля $l_{КБ2}$ и секции шинок $S_{ШС/У}$.

Общее сечение кабеля и шинок от ± ЕУ ЩПТ до ± ЕУ ЗРУ определяется по приведенным выше рекомендациям. Однако, необходимо проверить, что при включении наиболее удаленного масляного выключателя остаточное напряжение на электромагните включения будет не менее 85%$U_{ном}$ в соответствии с выражением

$0{,}85U_{ном} \le E_{расч.} \times n-(2I_{ЭМ\,вкл.}+I_{нагр.})\times(R_{КЗв/у}+R_{АБ})-2I_{ЭМвкл.}\times(R_{КБ2}+R_{Шс/у}\times R_{АВ\,с/у}+R_{конт})$ (31)

Если неравенство (31) не выполняется, то необходимо либо увеличить число элементов в аккумуляторной батарее (n), либо увеличить сечение кабеля $S_{КБ2}$.

Максимально допустимое сопротивление кабеля ($R_{КБ2}+R_{Шс/у}$), при котором удовлетворяется требование по остаточному напряжению, на электромагните включения определяется из выражения (31)

$$R_{КБ2}+R_{Шс/у}= \frac{E_{расч}n - 0{,}85U_{ном} - (2I_{эм.вкл} + I_{нагр})(R_{кэв/у} + R_{бат}) - 2I_{эм.вкл}(R_{АВс/у} + R_{конт})}{2I_{эм.вкл}}$$

Сечение кабеля определяется по выражению (30). В случае, когда полученное сечение кабеля чрезмерно велико, следует увеличить число аккумуляторов в батарее, определив его из выражения (31).

$$n=\frac{0{,}85U_{ном} + (2I_{эм.вкл} + I_{нагр})(R_{кэв/у} + R_{бат}) + 2I_{эмвкл}(R_{кб2} + R_{шс/у} + R_{АВс/у} + R_{конт})}{E_{расч}}$$

Дополнительное число аккумуляторов, необходимое для обеспечения напряжения на электромагните включения $0,85U_{ном.}$ определяется по выражению $\Delta n=n-n$

Дополнительные аккумуляторы подключаются к шинкам ± EY и используются для включения масляных выключателей с электромагнитными приводами.

Пример выбора сечения кабеля от шинок ± EC(± EY) щита постоянного тока до шинок среднего уровня защиты.

Предполагается, что головной АВ аккумуляторной батареи имеет те же параметры, что и АВ, выбранный выше в п.6.2.($I_{ном}$=320 А, $K_у$=2, $I_{ср\ в/у}$=640А).

Определяется минимально допустимая величина тока КЗ на среднем уровне защиты (например, на шинах ± ЕС ОПУ питания цепей управления выключателей) по выражению (24)

$$I_{кз\ у}=2x640=1280\ А.$$

Определяется сопротивление всей цепи КЗ с учетом сопротивления дуги по выражению (25)

$$R_{кз\ д}=\frac{1.975x104}{1280}=\frac{205.4}{1280}=0,160\ Ом=160\ мОм.$$

Определяется сопротивление цепи аккумуляторной батареи в предположении, что выбраны АБ типа 10GroE250, фирмы Hoppecke имеющая 104 элемента, сопротивление которой будет равно $R_{АВ}$=104x0,347=36 мОм (табл.1).

Определяется сопротивление внешней цепи

$$R_{кз\ у}=160-36=124\ мОм.$$

По характеристике на рис.3 определяется $K_с$=0,67.

Определяется сопротивление цепи при металлическом КЗ

$$R_{кз}=160x0,67=107,2\ мОм.$$

Определяется максимально допустимое сопротивление кабеля от шинок ± ЕС ЩПТ до шинок ± ЕС ОПУ.

Предполагаются следующие параметры сети ОПТ

$R_{ош}$=3,04мОм ($S_{ом}$=113 мм^2, $l_{ош}$= 20м)

$R_{кб1}$=7,15мОм ($S_{г,1}$=120мм^2, $l_{кб1}$=25м)

$R_{АВ\ в/у}$=0,41мОм

$R_{кс\ в/у}$=0,15мОм

$R_{АВ\ с/у}$=2,15мОм

$R_{кс\ в/у}$=0,5мОм

$R_{ош}$ =3,04+7,15+0,41+0,15+2,15+0,5=13,4мОМ

Сопротивление кабеля и самих шинок ± ЕС ОПУ определяется, как

$R_{кб2}+R_{ш\ с/у}=R_{кзш}-R_{кз\ в/у}$=107,2-13,4=93,8мОм

Полученная величина сопротивления кабеля от ЩПТ до шинок среднего уровня защиты является общей величиной, определяющей заданную величину коэффициента чувствительности ($К_ч$=2) головного АВ при кз в зоне резервирования на любой из шинок.

Так, при l=50м сечение кабеля до шинок ± ЕС ОПУ и самих шинок (l=20м) определяется по выражению

$$S_{(кб2+ш\ с/у)ОПУ}=\frac{0,0172x10^3x2x70}{93,8}=25,7мм^2$$

Сечение кабеля до шинок ± ЕС РЗА при $l_{кб2}$=30м и $l_{ш\ с/у}$=20м

Будет равно $S_{(кб2+ш\ с/у)ОПУ}=\frac{0,0172x10^3x2x50}{93,8}=18,3мм^2$

Сечение кабеля до шинок± ЕС ЗРУ при $l_{кб2}$=150м и $l_{ш\ с/у}$=40м будет равно $S_{(кб2+ш\ с/у)ОПУ}=\frac{0,0172x10^3x2x190}{93,8}=69,7мм^2$

Следовательно могут быть выбраны сечения :25мм^2; 25мм^2, 70мм^2.

7.4.Выбор сечения кабеля от шинок среднего уровня защиты до индивидуальных потребителей.

На подстанциях 330кВ и выше в системе ОПТ основными потребителями, питающимися от шинок среднего уровня защиты являются:

- устройства релейной защиты и автоматики;
- устройства противоаварийной автоматики;
- цепи управления высоковольтными выключателями;
- цепи включения электромагнитных приводов, вакуумных и др. выключателей.

Определяется значение минимально допустимого тока КЗ с учетом сопротивления дуги в месте КЗ, при котором обеспечивается коэффициент чувствительности АВ среднего уровня защиты не менее 1,32 в конце зоны резервирования, т.е. в конце кабеля у привода наиболее удаленного выключателя (для АВ питающего шинки ± ЕС ОПУ) и величина сопротивления внешней цепи КЗ по выражениям:

$$I_{\text{кз мин д}} \geq 1{,}32 \times I_{\text{с.р. с/у}} \text{ и } R_{\text{КЗ д}} = \frac{E_{\text{расч}} \times n}{I_{\text{кзд}}}$$

Для полученного значения сопротивления $R_{КЗд}$ определяется K_c по характеристике на рис.3 и по (26) $R_{\text{кз м}}$. По выражению (27) определяется сопротивление внешней цепи кз (за вычетом сопротивления аккумуляторной батареи)

$$R_{\text{КЗ м}} = R_{\text{КЗ с/у}} + R_{\text{АВ с/у}} + R_{\text{кб3}} + R_{\text{конт}}$$

Определяется максимально допустимое сопротивление кабеля

$$R_{\text{КБ3}} = R_{\text{КЗ м}} - R_{\text{КЗ с/у}} - R_{\text{АВ н/у}} - R_{\text{конт.}}$$

Определяется минимально допустимое сечение кабеля, ток кз в конце которого достаточен для срабатывания АВ среднего уровня защиты с $K_ч$=1,32 в ражиме резервирования по выражению $S_{\text{КБ3}} = \frac{\rho \times 2 \times l}{R_{\text{КБ3}}}$.

Пример определения сечения кабеля от шинок ±ЕС ОПУ, которые защищаются АВ с $I_{с.р.с/у}$=200А, до привода выключателя типа ВНВ 500 (см.п.5.3.). При кз в конце кабеля ток кз должен быть не менее величины, определенной по выражению

$I_{кз\ н/у}=К_ч \times I_{с.р.н/у}=1,32x200=264$ А.

Полученной величине тока соответствует сопротивление

$$R_{КЗД}=\frac{E_{РАСЧ.}xn}{R_{кзп/у}}=\frac{1,975xn}{264}=0,778 \text{ Ом} = 778\text{мОм, где}$$

$E_{расч.}$=1,975 В (характеристика 5 на рис.2).

Расчитанная величина сопротивления учитывает сопротивление дуги в месте кз.

По характеристике на рис.3 для $R_{ВН}$=778 мОм находим $К_с$=0,76.

Определяем сопротивление цепи при металлическом КЗ

$R_{КЗм}$=0,76x778=591,3 мОм.

Определяем сопротивление кабеля (п.7.3) $R_{Кбз}$=591,3-160=431,3мОм.

Определяется сечение кабеля от шинок ±ЕС ОПУ до привода высоковольтного выключателя на ОРУ на расстоянии 200м

$$S_{КБЗ}=\frac{\rho\times 2\times l}{R_{КБЗ}}=\frac{0,0172x10^3x2x200}{431,3}=15,95 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель сечением 16мм^2.

8.ПРОВЕРКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Выбранные автоматические выключатели всех уровней защиты должны удовлетворять требованиям чувствительности, которая определяется коэффициентом чувствительности ($K_ч$), представляющим собой частное от деления тока короткого замыкания с учетом сопротивления дуги в месте КЗ и тока срабатывания максимального расцепителя автоматического выключателя соответствующего уровня защиты $K_ч = \frac{I_{кзд}}{I_{ср}}$.

8.1.Проверка чувствительности автоматических выключателей верхнего уровня защиты.

От каждой аккумуляторной батареи берут питание два канала питания, каждый канал питания имеет от одного до трех головных автоматических выключателя (верхний уровень защиты). Один головной АВ – при отсутствии дополнительных элементов в АБ и без уравнительного заряда; три головных – при наличии дополнительных элементов в АБ и необходимости уравнительных зарядов (рис.1 и 4, 83тм-т3).

Кроме указанных выше головных АВ имеются АВ в цепи ремонтных перемычек между секциями ±ЕС ЩПТ двух АБ (на рис.1: SF2 между секциями SK1 и SK3, SF7 между секциями SK2 и SK4).

При наличии в системе ОПТ шинок ±EY АВ в цепи третьей ремонтной перемычки (на рис.1:SF15 между секциями SK5 и SK6).

Коэффициент чувствительности для головных АВ должен быть не ниже двух при КЗ на шинах ЩПТ своей АБ, и на шинках ЩПТ соседней АБ при включенной ремонтной перемычке (верхний уровень защиты), а также при

КЗ на шинках среднего уровня защиты в системе ОПТ своей АБ (±ЕС ОПУ, ±ЕС ЩРЗ, ±ЕС ЗРУ).

Чувствительность головного АВ при КЗ в системе ОПТ в пределах среднего уровня защиты соседней АБ должна быть не ниже 1,5.

Чувствительность АВ, включенного в ремонтную перемычку, должна быть не ниже двух при КЗ на верхнем или среднем уровнях защиты.

8.2.Проверка чувствительности автоматических выключателей среднего уровня защиты.

В основную зону защиты АВ входят кабели и шинки. Каждая секция шинок ±ЕС ОПУ, ±ЕС ЩРЗ, ±ЕС ЗРУ, ±ЕУ ЗРУ,±ЕУ ОРУ питается от отдельного АВ, расположенного на ЩПТ. От указанных выше шинок через АВ нижнего уровня защиты питаются индивидуальные потребители. При КЗ у потребителя и отказе защищающего его АВ, ток КЗ отключается АВ, питающим шинку с отказавшим АВ (зона резервирования).

Автоматический выключатель среднего уровня защиты должен иметь $K_ч \geq 2$ при КЗ в основной зоне защиты и 1,32 в зоне резервирования.

8.3.Проверка чувствительности автоматических выключателей нижнего уровня защиты.

Коэффициенты чувствительности АВ нижнего уровня защиты должны быть не ниже двух.

Достаточно, чтобы выполнялось условие:

$$1,32I_{сраб} \geq 2I_{сраб}$$

Поскольку сечение кабелей от АВ до потребителя определяется током срабатывания АВ среднего уровня защиты, ток КЗ обеспечивающий его чувствительность заведомо превышает необходимый уровень чувствительности АВ нижнего уровня защиты.

9.РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА УСТРОЙСТВ РЗА.

9.1.Общие положения.

Наличие на ПС 330 кВ и выше двух аккумуляторных батарей позволяет значительно повысить надежность питания потребителей ОПТ (устройств РЗА, ПА, цепей управления высоковольтных выключателей и др.), поскольку имеется две независимые системы ОПТ, каждая из которых имеет два питающих канала. Указанные каналы одной АБ имеют относительную независимость, т.к. связаны между собой в пределах помещения АБ и независимы после своих головных автоматических выключателей. Указанное построение системы позволяет в пределах каждого канала питания обеспечивать чувствительность, селективность и резервирование при кз на любом уровне системы. Естественным недостатком относительной независимости двух каналов одной АБ является кратковременное снижение напряжения на шинках ОПТ одного канала (при КЗ в системе ОПТ смежного канала). Поэтому на ПС с двумя АБ наиболее ответственные потребители, резервирующие друг друга должны питаться от разных АБ. К таким потребителям относятся основные и резервные защиты линий электропередач, первый и второй комплекты защит автотрансформаторов и защит шин, первый и второй электромагниты отключения высоковольтных выключателей и др.

9.2.Распределение устройств РЗА линий электропередач между каналами питания в системе ОПТ.

Основные защиты линий должны питаться от одной АБ, резервные защиты линий – от другой АБ. Питать оперативные цепи УРОВ рекомендуется от такой же АБ, что и резервные защиты.

В качестве примера в таблице 4 показано существующее в настоящее время разделение защит линий серии 503 и 2000 на два комплекта по питанию ОПТ.

Таблица 4

Комплект 1 (АБ N1)	Комплект 2 (АБ N2)
Вариант 1	
ДФ3503 (ДФ3504) АПВ503	Д3503 ЭП31025 ЭП31026 ЭП31027
Вариант 2	
ПДЭ203 ПДЭ204.01	ПДЭ2001 ПДЭ2002 ПДЭ2005

В таблице 5 помещены различные варианты использования существующих защит серии 500 и 2000 совместно с руссифицированным вариантом микропроцессорной защиты фирмы ABB типа REL521R (добавлена ТНЗНП) с дополнительной логикой, позволяющей сочетать вышеперечисленные защиты.

Таблица 5

Комплект 1		Комплект 2	
Вариант 1			
Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4
ПДЭ2003 ПДЭ2004.01	REL521R доп.лог.	ПДЭ2001 ПДЭ2002	ПДЭ2005
Вариант 2			
ПДЭ2003	REB010 (УРОВ Q1)	REB010 (УРОВQ2)	REL521R доп.лог. (Z,3Io,ОАПВ,ТАПВ)
Вариант 3			
ПДЭ2003	REB551 (УРОВ Q1,ОАПВ, ТАПВ)	REB551 (УРОВQ2,ОАПВ, ТАПВ)	REL521R доп.лог.
Вариант 4			
ПДЭ2003	ПДЭ2004.01 (ОАПВ, ТАПВ)	REB010 (УРОВQ2)	REL521R доп.лог. (Z,3Io) REB010 (УРОВQ1)

	Вариант 5		
ДФ3503 АПВ503	REL521R доп.лог. (Z,3Io,ОАПВ,ТАПВ)	УРОВ	ДЗ 503 ЭП31025(ТН3НП) ЭП31026(ускорение)
	Вариант 6		
ДФ3503	REB (УРОВ Q1)	REB010 (УРОВQ2)	REL521R доп.лог. (Z,3Io,ОАПВ,ТАПВ)
	Вариант 7		
ДФ3503 АПВ503	REB010 (УРОВQ1)	REB010 (УРОВQ2)	REL521R доп.лог. (Z,3Io)

9.3.Распределение устройств защиты шин между каналами питания ОПТ.

Распределительные устройства 330 кВ и выше должны иметь две защиты шин, подключенные по цепям ОПТ к разным АБ. Рекомендуется питание ОПТ устройств ДЗШ и резервирующих их устройств дистанционных защит и защит от замыканий на землю автотрансформаторов производить по разным каналам ОПТ.

9.4Распределение устройств РЗА автотрансформаторов между каналами питания в системе ОПТ.

Устройства РЗА автотрансформаторов 330 кВ и выше обычно имеют дублирующие комплекты, особенно дифференциальные защиты автотрансформаторов и их ошиновок. Все защиты АТ распределены на два комплекта и питаются от разных АБ. Пример распределения защит АТ показан в таблице 6.

Распределение питания ОПТ защит автотрансформаторов между двумя аккумуляторными батареями.

Таблица 6

Комплект 1	Комплект 2
Вариант 1	
RET 316.4(ДЗТ) БМРЗ(МТЗ НН, УРОВ НН, МТЗ секций шин НН) ГЗ (газовая защита, все комплекты) REL 511 2(ДЗВН, ТНЗНП ВН, АПВ Q ВН, ЗНР) УРОВ ВН REL511 2(ДЗСН, ТНЗНП СН, УРОВ Q СН) ШЭ2109 (ДЗО ВН) ШЭ2109 (ДЗО СН) – при необходим. 1 группа выходных реле	RET316 4 (ДЗТ) БЭ2105(КИВ ВН) БЭ2105(КИВ СН) – только для напряжения 500кВ SPAD346C (ДЗО НН) SPAV331C (сигнал замык. На землю в сети НН) ШЭ2303 (ДЗО ВН) ШЭ2303(ДЗО СН)-только для напряжения 330-500кВ 11 группа выходных реле
Вариант 2	
ШЭ2106 (ДЗТ, МТЗ НН, защита от неполнофазного режима ВН и СН, контр. и защита втулок ВН АТ) ШЭ2107 для ВН (ДЗ, ТНЗНП, цепи оперативного ускорения) ШЭ2303 (ДЗО ВН) ШЭ2303 (ДЗО СН) ШЭ2001 (УРОВ ВН) ШЭ2706 (ТАПВ ВН)	ШЭ2108 (ДЗТ,ДЗО НН, цепи ГЗ, МТЗ 1 и 11 секций НН, УРОВ НН) ШЭ2107 для СН (ДЗ, ТНЗНП СН, цепи оперативного ускорения) ШЭ2303 (ДЗШ СН) ШЭ2706 (ТАПВ СН) ШЭ2001 (УРОВ СН)

Вариант 3	
ШЭ2101 (ДЗТ, ДЗ регулировочного АТ, ДЗО НН, КИВ ВН, ЗНР ВН и СН, цепи ускорения резервных защит) ШЭ2001 (УРОВ ВН) Ш2102 (ДЗ ВН и СН, ТНЗНП ВН и СН, цепи оперативного ускорения резервных защит) ПДЭ 2006 (ДЗО ВН) ПДЭ 2006 (ДЗО СН)	Ш2103 (ДЗТ, ДЗО ВН, ДЗО СН, МТЗ НН, защита реактированного ответвления на стороне НН, цепи газовых защит) ШЭ2001 (УРОВ СН) ПДЭ2004.02 (ТАПВ ВН)

10.ПРИМЕР ВЫБОРА АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И СЕЧЕНИЙ КАБЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ОПТ ПС 500/220/10КВ.

10.1.Технические данные.

Электрическая схема ОРУ 500 кВ – "Трансформаторы-шины с полуторным присоединением линий". Число цепочек – четыре, число выключателей типа ВГУ500-12.

Электрическая схема ОРУ 220 кВ – "Две рабочие и обходная системы шин". Число выключателей типа ВГУ 220-16. Из них линейных – 12, автотрансформаторных – 2, один шиносоединительный и один обходной.

Электрическая схема ЗРУ 10 кВ – "Одна одиночная секционированная двумя выключателями система шин, имеет по 10 присоединений на каждой секции. Выключатели вакуумные типа ВБМЭ-10.

Выключатели типа ВГУ500 имеют по два электромагнита отключения на фазу, начальный ток втягивания которых составляет 14 А (трех фаз одного комплекта).

Выключатели типа ВГУ220 имеют по два электромагнита отключения на фазу, начальный ток втягивания составляет 7А (трех фаз одного комплекта).

Выключатель типа ВБНЭ имеет электромагнитный привод, ток втягивания составляет 70А при максимальном токе отключения 31,5 кА.

Предполагается, что выбор типа и емкости аккумуляторных батарей для ПС дал следующий результат.

Выбраны АБ типа GroE емкостью 450 Ач (18 GroE 450), n=104 $R_{АБ}$=104x0,193=20 мОм

Определяем максимально возможный толчковый ток через АБ при работе только одной АБ (вторая отключена).

При КЗ на шинах 500 кВ отключается четыре ВГУ500 $I_т$=2x4x14+50=162А

При КЗ на шинах 220 кВ при нарушенной фиксации присоединений

$I_т$=2х15х7+50=260А

При включении двух выключателей 10 кВ от схемы АВР в конце получасового разряда АБ ($I_{нагр}$=100А)

$I_т$=2х70+100=240А

Ошиновка АБ имеет сечение S=113мм^2 и длину l=25м. Кабель от АБ до ЩПТ имеет сечение 150мм^2 и длину l=20м.

Длины кабелей от ЩПТ (шинки ± ЕС) до шинок среднего уровня защиты (с учетом длины шинок):

± ЕС ОПУ – 70 м,

± ЕС РЗА – 100м,

± ЕС ЗРУ – 200м,

± ЕУ ЗРУ – 200м

Длины кабелей от ОПУ до

ОРУ 220кВ – 270м,

ОРУ 500кВ – 450м

Величины сопротивления коммутационной аппаратуры (83тм-т3, табл.3)

$R_{АВв/у}$=0,25мОм $R_{кс.руб}$=0,08мОм

$R_{АВс/у}$=1,3мОм $R_{кс.руб}$=0,45мОм

$R_{пер}$=0,5мОм

10.2.Выбор числа секций шинок в системе ОПТ.

От каждой АБ организуется по два канала питания (всего 4 канала). Каждый канал питания (см. рис.1) содержит: одну секцию на ЩПТ, от которой питается одна секция шинок ± ЕС в ОПУ для питания цепей управления выключателей 500 и 220 кВ, одна секция ± ЕС на щите РЗА, от которой питаются оперативные цепи устройств РЗА, одну секцию в ЗРУ 10 кВ. При этом, к двум каналам (разных АБ) подключены шинки ± ЕС ЗРУ, питающие

цепи РЗА и управления выключателей, а к двум другим каналам – шинки ±ЕУ ЗРУ для питания электромагнитов включения выключателей 10 кВ.

10.3. Распределение цепей управления между секциями шинок ±ЕС ОПУ (рис.4) системы ОПТ.

К каждой секции шинок ±ЕС ОПУ подключены схемы управления 15 электромагнитов отключения выключателей таким образом, чтобы элегазовые выключатели 500 и 220кВ, имеющие по два электромагнита отключения, срабатывали в любой аварийной ситуации (например, при отключении одного из каналов питания или двух каналов питания одной аккумуляторной батареи). При аварийной ситуации любой сложности (например, при КЗ на шинах 220кВ в режиме нарушенной фиксации присоединения элементов 220кВ к шинам) нагрузка на секцию шинок ±ЕС ОПУ не превышает 56А, при КЗ на шинах 500 нагрузка на секцию шинок не превышает 2х14=28А, при КЗ в автотрансформаторе - 2х14+7+2,5=37,5А.

Наибольшая величина толчкового тока будет при включении секционного выключателя 10кВ ввода автотрансформатора в конце получасового разряда АБ током нагрузки 100А.

Максимальный расчетный ток будет равен $I_т$=100+2х70=240А.

10.4. Распределение устройств РЗА между секциями шинок ±ЕС РЗА.

Наличие четырех каналов и четырех секций для питания устройств РЗА отдельно от цепей управления выключателей, предоставляет широкие возможности для повышения надежности питания устройств РЗА постоянным оперативным током.

При этом, рекомендуется соблюдать следующие **правила распределения**:

1. Основные защиты линий электропередач должны питаться от одной АБ, резервные защиты - от другой АБ. При этом, у половины числа линий, подключенных к одной системе шин основные защиты должны питаться от первой АБ, а резервные защиты –от второй, у второй половины числа линий основные защиты должны питаться от второй АБ, а резервные - от первой.
2. Подобные принципы питания основных и резервных защит должны быть применены и для защит параллельных линий, которые как и резервные защиты, должны питаться от разных АБ.
3. Питание индивидуального УРОВ должно быть от той же АБ, что и резервные защиты линии электропередачи, но от смежного канала питания. При наличии двух УРОВ на выключатель они должны питаться от разных АБ.
4. Защиты автотрансформаторов, разделенные на два комплекта, каждый из которых имеет дифференциальную защиту автотрансформатора и дифференциальную защиту ошиновки должны питаться от разных АБ. При наличии только одной защиты шин среднего напряжения, отказ последней должен резервироваться дистанционной защитой стороны среднего напряжения АТ, поэтому цепи оперативного тока указанных защит должны питаться от разных АБ или, как минимум, от разных каналов одной АБ.

10.5.Выбор АВ защиты цепей устройств РЗА и цепей управления высоковольтных выключателей.

10.5.1.Определяем ток срабатывания в цепи питания группы устройств РЗА.

Определяется ток нагрузки в режиме пуска защит серии 2000 (табл.2)

$I_{нагр}$=1,14+1,27+1,14=3,55А

Определяется ток срабатывания расцепителя по (13) и номинальный ток

(14) $I_{ср}$=1,2x3,55А=4,26А $I_{нр}=\frac{4,26}{2}=2,13А$ при $K_у$=2

Выбираем $I_{ном}$=2,5А типа ВА19-29 $I_{откл.ном}$=2,0кА

Определяем ток срабатывания (13) при $K_у$=2 $I_{сраб/у}$=2х2,5=5А

10.5.2.Определяем ток срабатывания АВ защиты цепей управления элегазового выключателя ВГУ500.

$I_{откл}$=14А

$I_{сраб/у}$=1,2х14А=16,8А. При $K_у$=2 определяем $I_{ном.}=\frac{16,8}{2}=8,4А$

Выбираем $I_{ном.}$=10А ВА19-29.

Определяется ток срабатывания АВ $I_{сраб/у}$=2х10=20А

10.5.3.Определяется ток срабатывания АВ защиты электромагнита включения выключателя типа ВБНЭ-10. Привод потребителей 70А. Номинальный ток определяется по выражению (14) при $K_с$=0,16

$I_{ном.р}$=0,16х70=11,2 А

Выбираем АП 50Б с $I_{ном}$=16 А. По время-токовой характеристики для отношения $\frac{70}{16}=4,4$ определяем максимальное время расцепителя $t_{ср\ м/у}$=13с, минимальное время – 2,5с. Максимально допустимое время обтекания током 70А электромагнита включения, составляет 16с (за указанное время обмотка электромагнита нагревается до 105°С). Максимальный ток отключения АВ составляет 2,5кА.Выбираем коэффициент уставки $K_у$=10. Ток отсечки АВ равен $I_{ср\ м/у}$=10х16=160А.

10.5.4. Определяется защита выбранных выше автоматических выключателей от броска емкостного тока при замыкании на землю одного из полюсов системы ОПТ.

Минимальный ток срабатывания АВ должен быть не ниже 5А. Тогда емкость, необходимая для тока 5А в течении 5мс (это время импульса, в течении которого устойчиво не срабатывают АВ типа ВА-19-29, АП50Б, АК-63 и др.) определяется из выражения $C=\frac{5000}{220/5}=113,6$ мкФ.

Указанная величина емкости соответствует максимально допустимой длине кабелей в системе ОПТ одной АБ не должна превышать равной

$$L_{\text{мах доп}} \le \frac{113}{1{,}96} = 58 \text{ км}.$$

Определенная по кабельным журналам длина кабелей в системе ОПТ не должна превышать расчетную.

10.6. Выбор АВ защиты шинок ± ЕС в ОПУ, на щите РЗА, в ЗРУ (средний уровень защиты).

10.6.1. Выбирается АВ для защиты кабеля и секции шинок ± ЕС ОПУ, от которых питаются цепи управления включателей при условии, что через один АВ в ремонтном режиме питаться две секции шинок ± ЕС ОПУ.

Максимальный толчковый ток равен сумме токов нагрузки двух секций, т.е. 56х2=112А.

Ток срабатывания АВ среднего уровня защиты выбирается по двум условиям:

- он должен быть больше суммарного толчкового тока обеих секций (ремонтный режим),
- он должен быть отстроен от максимального тока срабатывания АВ нижнего уровня защиты.

По первому условию: $I_{ср.с/у} \ge 1{,}2х112 \ge 134{,}4А$

По второму условию $I_{ср.с/у} \ge 1{,}65х20 \ge 33А$

Расчет ведется по первому условию

$$I_{ср\ с/у} \ge 1{,}2х112 \ge 134{,}4 \text{ А}.$$

$$I_{ном\ р} = \frac{134{,}4}{2} = 67{,}2 \text{ А}.$$

Выбираем по шкалам номинальных токов $I_{ном}$=80 А, $К_ч$=2.

Ток срабатывания будет равен $I_{ср\ с/у}$=2х80=160А.

Время срабатывания АВ среднего уровня защиты принимаем равным 0,2с.

10.6.2. Выбор АВ защиты шинок ± ЕС РЗА.

Определяется максимальный расчетный ток нагрузки двух секций (ремонтный режим).

Потребление цепей постоянного тока устройств РЗА серии 2000 и противоаварийной автоматики (УПА) линии 500кВ:

-основных защит и УПА $I_{РЗА}$=1,59+1,8+4x1,14=7,93 А

-резервных защит $I_{РЗА}$=1,14+1,27+1,14=3,55 А

Потребление цепей постоянного тока устройств РЗА серии 2800 линий 220кВ:

-основных защит $I_{РЗА}$=0,86 А

-резервных защит $I_{РЗА}$=0,6 А

Потребление цепей постоянного тока защит первого и второго комплектов автотрансформаторов:

I комплект $I_{РЗА\ АТ}$=0,86+0,86+0,41+2x0,2+0,41=3,14 А

II комплект $I_{РЗА\ АТ}$=0,86+2x0,41+0,41=2,09 А

Потребление в системе ОПТ восьми линий 500кВ:

-основных защит и УПА $I_{ВЛ500\ с/з}$ =8x7,93=63,4 А

-резервных защит $I_{ВЛ500р/з}$=8x3,55=28,4 А

потребление защитами автотрансформатора

I комплект $I_{АТ(1)}$=2x3,14=6,28 А

II комплект $I_{АТ(2)}$=2x2,09=28,4 А

Потребление в системе ОПТ двенадцати ВЛ 220кВ:

-основных защит и УПА $I_{ВЛ220\ с/з}$ =12x0,86=10,32 А

-резервных защит $I_{ВЛ220р/з}$=12x0,6=7,2 А

Суммарное потребление защит 500 и 220кВ

$I_{РЗА\ 500+220}$=63,4+28,4+6,28+4,18+10,32+7,2=119,8А

Полученный результат – это нагрузка на все 4 секции. Нагрузку на одну секцию ± ЕС РЗА составит 30А. В ремонтном режиме следует учитывать нагрузку двух секций одной АБ:

$$I_{нагр}=60А.$$

Определяем ток срабатывания АВ

По первому условию $I_{ср}=1,2х60=72А$

По второму условию $I_{ср}=1,65х10=16,5А$

Расчет ведем по первому условию. При $К_ч=2$ определяем $I_{ном.расч}=\frac{72}{2}=36$ А. По шкале выбираем АВ с $I_{ном}=40$ А.

Ток срабатывания АВ будет равен при $К_ч=2$ $I_{ср\ с/у}=2х40=80А$

Выдержка времени АВ защиты среднего уровня составляет 0,2с.(Выключатели серии А3793С Харьковского ХЭМЗ НПО «ВИРА,ЛТД)

10.7. Выбор АВ защиты шинок ± ЕУ ЗРУ.

Шинки ± ЕУ служат для питания электромагнитов включения выключателей 10кВ типа ВБНЭ-10. При действии АВР одновременно включаются два выключателя. Ток включения одного выключателя составляет 70А. Ток срабатывания АВ электромагнита включения составляет $I_{ср\ н/у}=160А$.

Определяем ток срабатывания АВ защиты шинок ± ЕУ ЗРУ.

По первому условию $I_{ср\ с/у}=1,2х2х70=168$ А.

По второму условию $I_{ср\ с/у}=1,56х160=264$ А

Расчет ведем по второму условию.

При $К_у=2$ определяем номинальный ток АВ

$$I_{Авном.расч}=\frac{264}{2}=132А$$

Выбираем АВ по шкале номинальных токов $I_{ном.}=160А$

Определяется ток срабатывания АВ среднего уровня защиты при $К_у=2$

$I_{ср\ с/у}=2х160=320А$ $t_{ср.с/у}=0,2с$

10.8.Выбор головных автоматов.

10.8.1.Определяется максимальный толчковый ток нагрузки. В соответствии с расчетами п.10.1. $I_{тмакс}$=260А

10.8.2.Определяется ток срабатывания АВ по первому условию

$I_{ср.в/у}$=1,2х260=312А

По второму условию $I_{ср.в/у} \geq$ 1,65х320=528А

Расчет ведется по второму условию.

При $K_у$=2 $I_{ном.р}=\frac{528}{2}=264А$

Выбираем колибруемое значение номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя равным 320А. При $K_у$=2 ток срабатывания АВ будет равен $I_{ср.в/у}$=2х320=640А $t_{ср.в/у}$=0,4с.

10.9.Выбор сечения кабеля от шинок ±ЕС щита постоянного тока

до шинок среднего уровня защиты (±ЕС ОПУ, ±ЕС РЗА, ±ЕС РЗАУ ЗРУ10кВ, ±ЕУ ЗРУ) с учетом сопротивления дуги в месте кз.

Определяется минимально допустимая величина тока кз, обеспечивающая коэффициент чувствительности в зоне резервирования (на указанных выше шинках) не ниже двух $I_{кзд}=K_ч x I_{ср.в/у}$=2х640=1280А

Полученная величина тока кз учитывает его снижение вследствии сопротивления дуги, что оценивается коэффициентом K_c снижения тока в зависимости от сопротивления внешней цепи кз.

Определяется сопротивление всей цепи с учетом сопротивления дуги.

$$R_{кзд}=\frac{1,975x104}{1280}=\frac{205,4}{1280}=0,160Ом=160мОм$$

По характеристике на рис.3 для $R_{кз}$=160мОм определяем величину K_c=0,67. Определяется ток металлического кз $I_{кзм}=\frac{1280}{0,67}=1910А$

Определяется сопротивление цепи при токе металлического кз

$$R_{кзм}=\frac{205,4}{1910}=107,5мОм$$

Определяется сопротивление внешней цепи кз

$R_{кзм}$=107,5-20=87,5мОм

Определяются сопротивления в цепи кз

$$R_{оп}=\frac{0,0172x25x10^3}{113}=3,8мОм$$

$$R_{кб1}=\frac{0,0172x10^3x2x20}{150}=4,6мОм$$

$R_{АВв/у}$=0,25мОм $R_{КСруб}$=0,08мОм

$R_{АВс/у}$=1,3мОм $R_{КСруб}$=0,45мОм

$R_{пер}$=0,5мОм

Определяется сопротивление кабеля от ЩПТ до шинок среднего уровня защиты (сечение шинок принимается таким же, что и сечение кабеля) $R_{кб2}$=87,5-3,8-4,6-0,25-0,08-1,3-0,45-0,5=76,52мОм

Полученная величина сопротивления кабеля от ЩПТ до шинок среднего уровня защиты, равная 76,52 мОм, является максимальной величиной сопротивления общей для выбора кабеля к любым шинкам среднего уровня защиты и обеспечивает величину тока кз с учетом сопротивления дуги достаточную для работы с $K_ч$=2 головного автомата в режиме резервирования при кз на любых шинках среднего уровня защиты. Определяется сечение кабеля от ЩПТ до шинок ±ЕС ОПУ

$$S_{кб2(ОПУ)}=\frac{0,0172x2x70x10^3}{76,52}=31,46мм^2$$

Принимается к установке кабель сечением 35мм^2. Соответственно уменьшится сопротивление кабеля и увеличится ток кз в конце защищаемых шинок.

$$R_{кб2(ОПУ)}=\frac{0,0172x2x70}{35}=68,8мОм$$

$$I_{кзс/у(ОПУ)}=\frac{205,4}{20+10,98+68,8}=2,058кА=2058А$$

Определяется сечение кабеля от ЩПТ до шинок ± ЕС РЗА

$$S_{кб2(РЗА)}=\frac{0,0172x10^3x2x100}{76,52}=44,95мм^2$$

Принимается кабель сечением 50мм^2.

Определяется сечение кабеля от ЩПТ до шинок ± ЕС ЗРУ

$$S_{кб2(ЗРУэ/м)}=S_{кб2(ЗРУ)}=\frac{0,0172x10^3x2x200}{76,52}=89,9мм^2$$

Принимается кабель сечением 95мм^2.

Необходимо отметить, что сечение кабеля 95мм^2 должно удовлетворять требованию по остаточному напряжению на выводах электромагнита включения привода наиболее отдаленного выключателя.

10.10.Выбор сечения кабеля от шинок среднего уровня защиты до потребителей.

Расчет необходим только для определения сечения кабеля цепей управления от шинок ± ЕС ОПУ до приводов выключателей 500 и 220кВ.

Для питания цепей РЗА достаточно иметь кабели или провода сечением 2,5мм^2.

Определяется минимально допустимый ток КЗ, обеспечивающий коэффициент чувствительности не менее 1,32 для АВ питающего секцию шинок ± ЕС при КЗ у наиболее отдаленного выключателя и отказа его АВ (нижний уровень защиты).

Ток срабатывания АВ $I_{с.р.с/уОПУ}$=160А (см. п.10.6.1).

Минимально допустимый ток КЗ с учетом сопротивления дуги определяется $I_{кзд(с/у)}$=160x1,32=211,2А

Определяется сопротивление цепи тока КЗ

$$R_{кзд(с/у)}=\frac{205,4}{211,2}=0,9725Ом=972,5мОм$$

По характеристике на рис.3 для $R_{кз}$=972,5мОм находим величину K_c=0,77

Определяется ток металлического кз

$$I_{кзмс/у}=\frac{211,2}{0,77}=274,3А$$

Определяется допустимая величина сопротивления в цепи тока металлического кз

$$R_{кзмс/у}=\frac{205,4}{274,3}=748,8мОм$$

Определяется сопротивление внешней цепи кз

$R_{кзмс/у}$=748,8-20=728,8мОм

Определяется сопротивление кабеля от шинок ±ЕС ОПУ (средний уровень защиты) до приводов выключателей (нижний уровень защиты)

$R_{кб3}$=728,8-10,98-76,52=641,3мОм

Полученная величина сопротивления является максимально допустимой для кабеля при расчете сечения кабеля к приводу любого выключателя 220 или 500 кВ.

Определяется сечение кабеля к наиболее удаленному выключателю 500 кВ. $S_{кб3(500)}=\frac{0,0172x10^3x2x450}{641,3}=24,1мм^2$

Принимается сечение кабеля 25мм^2.

Определяется сечение кабеля к наиболее удаленному выключателю 220 кВ. $S_{кб3(220)}=\frac{0,0172x10^3x2x270}{641,3}=14,5мм^2$

Принимается сечение кабеля 16мм^2 или нужная величина сечения набирается из контрольных кабелей сечением 2,5 или 4 мм^2 (например, 6х2,5 или 4х4).

11.Литература.

1.ГОСТ 29176-91. Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока. Москва, 1992г.

2.Жуков В.В., Шиша М.А., Корючина Н.Н. Эксперементальные исследования дуговых коротких замыканий в системе постоянного тока электростанций и подстанций. "Электрические станции", 1992г., N10.

3.Руководящие указания по организации системы оперативного постоянного тока на ПС 110 кВ и выше. "Энергосетьпроект" N83тм-т1,т2,т3. Москва, 1998, 1999г.г.

4.Рекомендации по выбору и применению стационарных аккумуляторных батарей 220 кВ различных фирм. "Энергосетьпроект" N84тм-т1,т2, 1998г.

5.Методика выбора автоматических выключателей и сечений проводников в системе оперативного тока. "Энергосетьпроект" N3279тм-т1,т2, 1994г.

6.Методические указания по построению системы оперативного постоянного тока на ПС 110 кВ и выше. "Энергосетьпроект" N3339тм-т1,т2, 1996г.

7.Разработка схем и НКУ распределения оперативного постоянного тока на ПС 110 кВ и выше. "Энергосетьпроект" N20тм-т1,т2,т3,т4, 1997г.

8.ГОСТ Р МЭК 896-1-95 Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний.

Приложение 1

**НАУЧНО-
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЩЕСТВО
« ВИРА, лтд »**
УКРАИНА, 310037, г. Харьков-37,
пр. Московский, 138А,
р/с 26006301600300 во Фрунзенском
отд. УАК ПИБ, МФО 351179,
код ОКПО 24659583,
тел. (0572) 90-51-47, факс 26-31-71

От 12.07.99 № 99

На № 10-30/11 от 01.07.99

Зам. генерального директора
ОАО Энергосетьпроект
Глускину И.З.

Нашим предприятием изготавливаются автоматические выключатели А3793СУ3 на номинальные токи полупроводникового расцепителя от 20А до 630А и уставкой срабатывания по времени в зоне токов короткого замыкания от 0,1 до 0,5 с. Все остальные параметры выключателя А3793СУ3 соответствуют требованиям ТУ 16 – 522.028 – 74.

Автоматические выключатели А3793СУ3 на номинальный ток 30А были изготовлены и поставлены на щиты постоянного тока для подстанции "Фрунзенская" (Белгородская обл.) на напряжение 330 кВ.

Директор В.Н.Постольник

Приложение 1.

НПО «ВИРА, лтд»
Харьков – 37, пр. Московский 138 А,
Тел. (0572) 90-51-47, факс 26-31-71
От 24.12.99 №124

Зам. Генерального директора
ОАО Энергосетьпроект
Глускину И.З.
(для Айрапетова Ю.Г.)

В дополнение к нашему письму № 99 от 12.07.99 г. сообщаем технические параметры выключателей типа А3793С УЗ на номинальные токи от 30 А до 630 А:

- регулируемые уставки номинального тока от 30 А до 100 А, от 100 А до 160 А, от 160 А до 250 А, от 250 до 400 А, от 400 А до 630 А в зависимости от исполнения;
- уставки срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне токов перегрузки – 1,25 Iн;
- уставки срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне токов перегрузки при токе 5Iн – 4 с; 8с; 16 с;
- уставки срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне токов короткого замыкания 0,1 с; 0,2 с; 0,3 с; 0,4 с; 0,5 с;
- уставки срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне токов короткого замыкания – Iср/Iн – 2; 4; 6;
- - номинальное напряжение сети – 110 В; 220 В;440 В постоянного тока;
- предельная коммутационная способность – 35 кА при U=440 В
- механическая износостойкость – 16000 циклов ВО;
- габаритные размеры (ширина х высота х глубина) мм – 225х400х160;
- возможно применение дистанционного привода для оперирования выключателем;
- цена выключателя на 1.01.2000 г. – 7000 р.

Директор В.Н. Постольник

Условные обозначения

Высоковольтный выключатель с двумя электромагнитами отключения.

GB1 Аккумуляторная батарея №1

SK1 секция шинок ±ЕС ОПУ 1 канала питания ОПТ.

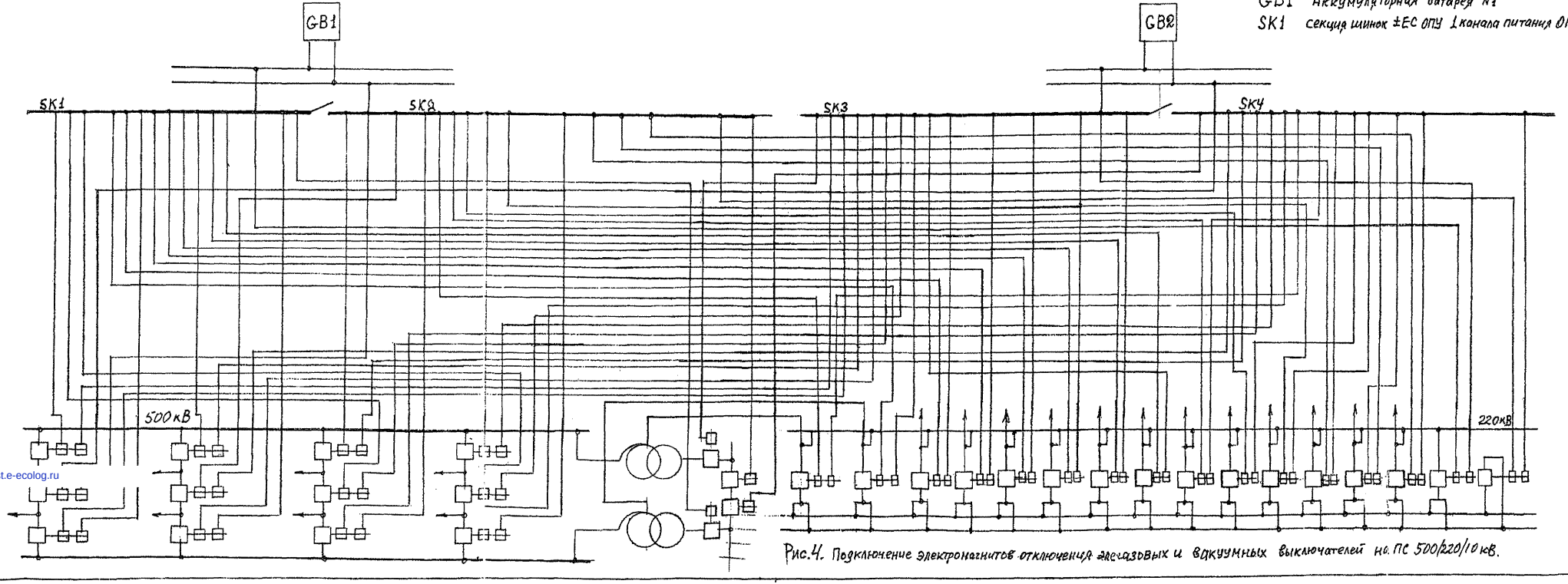


Рис.4. Подключение электромагнитов отключения масляных и вакуумных выключателей на ПС 500/220/10 кВ.

gost.e-ecolog.ru