

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тульский государственный университет»
Факультет систем автоматического управления
(ИБТС им. В.П. Грязева)
Кафедра «Электроэнергетика»

К.т.н. Косырихин В.С.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КОНТРОЛЬНО-КУРСОВОЙ РАБОТЕ

по дисциплине

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Направление подготовки: *140400– «Электроэнергетика и
электротехника»*

Профиль подготовки:
Системы электроснабжения объектов техники и отраслей хозяйства;

Квалификация (степень) выпускника: *б2, бакалавр*

Форма обучения – *(очная, заочная)*

Тула 2012 г.

Задание на контрольную работу

1. Исходные данные. Проектируемая электроэнергетическая система представлена существующей районной подстанцией (узел ЦП, ПС № 4) с расчетной мощностью P_{*4} и пятью развивающимися узлами нагрузки (узлы А, Б, В, Г и Д) с расчетными мощностями P_A , P_B , P_V , P_Γ и P_D .

Из балансов активной и реактивной мощности электроэнергетической системы более высокого уровня известно, что в период максимальной нагрузки мощность, передаваемая через районную подстанцию к узлам нагрузки А, Б, В, Г и Д ограничена величиной $P_{*4} + jQ_{*4}$.

Система не является дефицитной по активной мощности ($P_{*4} > P_A + P_B + P_V + P_\Gamma + P_D$), поэтому в узле ЦП, где имеются мощные потребители тепловой энергии, не планируется строительство ТЭЦ. Избыточная мощность ЦП, ПС № 4 через шины высшего напряжения может передаваться в энергосистему.

Исходные данные для проектирования выбираются в соответствии с рисунком 1 и таблицами 1–4, в которых номера вариантов отвечают соответственно последней и предпоследней цифрам шифра студента.

1.1. Объект проектирования: электропитающие районы энергетической системы. Пример карты-схемы территории областной электроэнергетической системы с электропитающими районами, её масштаб, наибольшие электрические нагрузки потребителей энергорайонов в пунктах питания электроэнергией А, Б, В, Г, Д приведена на рисунке 1.1.

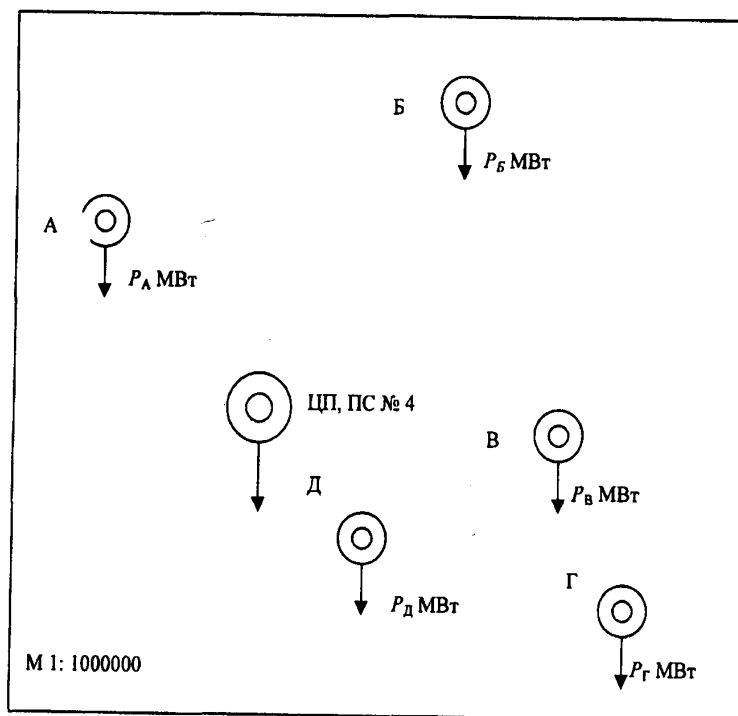


Рисунок 1.1 – Карта-схема территории энергетической системы с потребителями энергорайонов

1.2. Источник питания - подстанция № 4 (расположена в центре питания ЦП) на номинальное напряжение классов 220/110/35 кВ с установленной мощностью автотрансформаторов (60 х 2 х 125 МВА) с двойной системой шин и элегазовыми выключателями на высшей стороне 220 кВ.

1.3. Напряжение источника питания: напряжение на подстанции № 4 220/110/35 кВ в центре питания ЦП при максимальном режиме нагрузок - $U_{MAX} = 1,1U_H$, а в минимальном режиме нагрузок - $U_{MIN} = -1,05U_H$.

1.4. Электроэнергетическая характеристика потребителей электроэнергии: электрические нагрузки и $\cos\varphi$ потребителей электроэнергии на районных подстанциях А, Б, В, Г, Д энергосистемы заданы в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Активная мощность, заданная в центрах нагрузки районов питающей энергосистемы А, Б, В, Г, Д

Заданные значения мощности, МВт					№ варианта
$P_A/\cos\varphi_A$	$P_B/\cos\varphi_B$	$P_B/\cos\varphi_B$	$P_G/\cos\varphi_G$	$P_D/\cos\varphi_D$	
12,62/0,91	47,30/0,92	40,63 / 0,9	11,80/0,93	12,30/0,91	1
12,70/0,91	47,40/ 0,92	41,60/0,9	11,40/0,93	11,40/0,91	2
13,15/0,91	46,50/ 0,92	45,70 / 0,9	13,20/0,93	44,50/0,91	3
15,20/0,91	44,80/ 0,92	23,00 / 0,9	14,60/0,93	42,80/0,91	4
15,60/0,91	47,80/ 0,92	45,60 / 0,9	17,50/0,93	46,80/0,91	5
14,20/0,91	43,20/0,92	46,80/0,9	17,50/0,93	45,60/0,91	6
15,80/0,91	42,40/ 0,92	27,50/0,9	12,50/0,93	47,50/0,91	7
10,30/0,91	45,00/ 0,92	42,5 / 0,9	11,50/0,93	38,50/0,91	8
12,30/0,91	47,00/ 0,92	43,00/0,9	12,50/0,93	39,40/0,91	9
13,40/0,91	48,00/ 0,92	42,80/0,9	10,50/0,93	44,50/0,91	10
15,50/0,91	47,50/ 0,92	44,50/0,9	15,70/0,93	45,00/0,91	11
16,70/0,91	42,30 / 0,92	47,00/0,9	14,50/0,93	48,20/0,91	12
14,30/0,91	41,50/0,92	42,80/0,9	17,20/0,93	46,20/0,91	13
13,50/0,91	20,00/0,92	43,20/0,9	21,20/0,93	46,50/0,91	14
17,20/0,91	21,00/0,92	44,00/0,9	20,00/0,93	45,00/0,91	15
15,50/0,91	48,00 / 0,92	42,70 / 0,9	12,50/0,93	43,20/0,91	16
14,70/0,91	49,00 / 0,92	47,50/0,9	13,50/0,93	45,50/0,91	17
18,50/0,91	49,50 / 0,92	42,70 / 0,9	15,70/0,93	42,00/0,91	18
14,20/0,91	45,50/0,92	41,80/0,9	16,40/0,93	47,20/0,91	19
25,40/0,91	37,40 / 0,92	45,70 / 0,9	15,20/0,93	48,20/0,91	20
28,30/0,91	40,00 / 0,92	48,00 / 0,9	12,40/0,93	47,00/0,91	21
32,30/0,91	37,00/0,92	49,50/0,9	13,20/0,93	21,00/0,91	22
35,00/0,91	40,00 / 0,92	25,70/0,9	14,70/0,93	36,00/0,91	23
37,00/0,91	35,50/0,92	32,20 / 0,9	17,50/0,93	28,00/0,91	24

40,00/0,91	37,00 / 0,92	40,00 / 0,9	30,00 / 0,93	38,00/0,91	25
35,00/0,91	45,00 / 0,92	27,50/0,9	22,00 / 0,93	25,00/0,91	26
22,30/0,91	27,00 / 0,92	40,00 / 0,9	17,50/0,93	33,40/0,91	27
11,50/0,91	28,00/0,92	40,00 / 0,9	15,60/0,93	22,90/0,91	28
16,00/0,91	20,50/0,92	47,50/0,9	12,00/0,93	35,60/0,91	29
20,50/0,91	16,40/0,92	21,00/0,9	21,00/0,93	34,00/0,91	30

1.5. Параметры воздушных линий электропередачи. Параметры воздушных линий электропередачи энергосистемы (расстояние до районных центров А, Б, В, Г, Д от центра питания и расстояния между районными центрами питающей энергосистемы) приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Расстояние до энергорайонов от центра питания и между ними, км

Вариант	L_A	L_B	L_V	L_G	L_D	L_{AB}	L_{BV}	L_{VG}	L_{GD}
1	25	95	45	80	25	70	90	60	65
2	27	ПО	35	85	25	60	ПО	75	60
3	28	90	36	86	26	65	105	61	59
4	30	91	37	87	27	72	102	60	58
5	31	93	38	88	28	63	103	59	57
6	35	94	39	89	29	60	104	58	56
7	32	95	40	90	30	61	105	57	55
8	34	92	41	91	31	58	103	55	54
9	36	100	42	92	32	64	101	54	53
10	32	102	43	93	33	70	102	53	52
11	35	97	33	94	34	62	103	52	51
12	27	95	34	85	35	68	100	50	50
13	28	98	35	84	36	70	102	49	49
14	30	100	36	83	35	70	104	48	48
15	31	102	37	82	34	71	100	47	47
16	32	105	38	81	33	73	95	45	45
17	34	101	39	80	32	68	94	44	44
18	33	95	40	89	30	62	95	43	43
19	30	96	41	90	31	66	94	42	42
20	32	97	42	91	29	65	95	41	41
21	28	98	43	92	27	70	97	40	40
22	29	95	44	93	28	66	98	41	39
23	30	100	45	94	25	70	95	42	42
24	32	ПО	44	95	24	78	90	43	43
25	34	107	43	96	23	73	91	44	44
26	35	108	42	97	32	73	92	45	45

27	33	103	41	90	31	70	93	46	46
28	29	104	40	89	32	75	94	47	47
29	25	105	39	88	35	80	95	48	48
30	27	106	40	87	30	79	96	50	50

1.6. Состав потребителей в пунктах питания и требования по надежности электроснабжения. Состав потребителей электроэнергии в пунктах питания энергорайонов питающей энергосистемы и требования по надёжности системы электроснабжения объектов представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Состав потребителей в пунктах питания и требования по надежности электроснабжения

Пункты районов	Потребители I категории, %	Потребители II категории, %	Потребители III категории, %
А	50	20	30
Б	30	30	40
В	20	20	60
Г	15	45	40
Д	40	30	30

1.7. Характеристика групп потребителей электроэнергии и их удельный вес в объёме потребления электроэнергии. Характеристика групп потребителей электроэнергии и их удельный вес в объёме потребления электроэнергии в пунктах питания приведена в таблице 1.4.

Таблица 1.4. - Характеристика групп потребителей и их удельный вес в объёме потребления электроэнергии в пунктах питания

Наименование потребителей	Единица измерения	Тариф с 01.03.97г.	% потребителей
Население городское (включая НДС), то же сельское	р./кВт-ч	300 210	35,0 15,0
Промышленные и приравненные к ним потребители с присоединенной мощностью 750 кВА и выше за мощность	р./кВт	72000	

за электроэнергию	р./кВт	350	25,0
Прочие промышленные потребители	р./кВт-ч	480	15,0
Производственные нужды сельхозпотребителей	р./кВт-ч	175	10,0
Оптовые потребители — перепродавцы (город)	р./кВт-ч	200	35

1.8. Стоимость потерь при холостом ходе трансформатора. Стоимость потерь при холостом ходе трансформатора в расчётах для подстанции 110/10 кВ или 35/10 кВ принять в работе $C_{xx} = 1,3 \text{ к./кВт} \cdot \text{ч}$.

1.9. Стоимость потерь при коротком замыкании. Стоимость потерянного кВт·часа при коротком замыкании для тех же подстанций принять в проекте $C_{кз} = 2,6 \text{ к./кВт} \cdot \text{ч}$.

2. Содержание расчётно-пояснительной записки курсовой работы.

В проекте подлежат разработке следующие разделы:

1. На основании данных о наибольших нагрузках и наибольшей передаваемой мощности на одну цепь линии и предельных расстояниях передачи, выбрать номинальное напряжение электрической сети.
2. Выбрать мощность, тип трансформаторов подстанций и тип подстанций, способ присоединения их к ЛЭП.
3. Разработать наиболее технически целесообразные варианты схем электрических сетей и сделать выбор двух-трех вариантов для технико-экономических расчетов.
4. На основе технико-экономических расчетов выбрать наиболее экономически целесообразный вариант схемы электрических сетей.
5. Составить баланс активной и реактивной мощности для центра питания (ЦП, ПС № 4, областной центр), определить потери напряжения до всех подстанций в нормальном и аварийном режимах.
6. Выбрать соответствующие ответвления на трансформаторах для регулирования напряжения с помощью РПН под нагрузкой.
7. Определить количество обслуживающего персонала, его квалификацию.
8. Определить себестоимость передачи электроэнергии.
9. Расчёт нагрузок, выбор трансформатора и схемы питания собственных нужд.
10. Выбор системы оперативного тока
11. Расчёт заземляющего устройства.
12. Расчёт устройств молниезащиты подстанции.

Перечень графического материала.

- Главная схема электрических соединений подстанций, включая схему собственных нужд.
- Схема вторичных устройств данного узла.

- Разработка конструкции одного из распределительного устройства (план, разрез и схема заполнения).
- Материалы по специальному вопросу.

Пример оформления титульного листа

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тульский государственный университет»
Факультет систем автоматического управления
(ИБТС им. В.П. Грязева)
Кафедра «Электроэнергетика»

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА
по дисциплине
«Техника высоких напряжений»

Выполнил студент группы _____ Фамилия И.О.
Проверил: Косырихин В.С.

Тула, 2012 г

1. РАСЧЕТ НАГРУЗОК, ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРА И СХЕМЫ ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

Потребителями собственных нужд подстанции могут являться:

- 1) электроосвещение зданий, ОРУ, наружных площадок;
- 2) вентиляторы охлаждения силовых трансформаторов;
- 3) устройства подогрева масла и приводов открыто установленных выключателей, разъединителей, отделителей и короткозамыкателей;
- 4) устройства отопления и вентиляции закрытых помещений;
- 5) зарядные и подзарядные агрегаты;
- 6) масляное хозяйство;
- 7) компрессорное хозяйство и т. п.

Мощность потребителей собственных нужд подстанций невелика (50-300 кВт), поэтому они питаются от сети 380/220 В с заземленной нейтралью.

Для их питания предусматривается установка двух трансформаторов собственных нужд (ТСН), мощность которых выбирается в соответствии с нагрузкой с учетом допускаемой перегрузки при отказах и ремонте одного из трансформаторов. В курсовом проектировании нагрузку собственных нужд допустимо ориентировочно принять по табл. 1.1, 1.2, 1.3.

Таблица 1.1

Потребители собственных нужд подстанции

Вид потребителя	Мощность на единицу, кВт	Вид потребителя	Мощность на единицу, кВт
Подогрев выключателей и приводов (на три полюса):		Вспомогательное оборудование синхронных компенсаторов:	
МКП-35	4,4	КСВ-37500	14
С-35-630-10	2,8	КСВ-50000	16
С-35-3200-50	4,4	КСВ-100000	20
МКП-110	15,8	Отопление, освещ. и вентиляция:	
У-110-2000-50	11,3	ОПУ	60-
ВВБ-110	1,8	ЗРУ 6-10 кВ	5-
ВВБ-220	3,6	ЗРУ, совмещенное с ОПУ	20-
У-220-2000-40	54,8	Здание разъездного персонала	5,
У-220-3200-40	42,9	Освещение ОРУ 110, 220 кВ при:	
ВВБ-330	4,6	Няч ≤3	2,
Подогрев шкафов КРУН и КРУ-10	1,0	Няч >3	5-
Подогрев приводов разъединителей, отделителей, короткозамыкателей, шкафа зажимов	0,6	Компрессорная (на один агрегат):	
		Электродвигатели	20-
		Отопление, освещение	15-
Подогрев релейного шкафа	1,0	Маслохозяйство	75-
Подзарядно-зарядный агрегат ВАЗП	2х35		

Таблица 1.2

Установленная мощность устройств охлаждения трансформаторов

 $P_{охл.уст}$

Тип трансформатора	$P_{охл.уст}$, кВт	Тип трансформатора	$P_{охл.уст}$, кВт
ТД-10000/35	1,5	ТРДН-32000/220	3
ТД-16000/35	2	ТРДН-40000/220	3
ТДНС-10000/35	1,5	ТРДН-63000/220	5,5
ТДНС-16000/35	2	ТРДЦН-63000/220	29,6
ТРДНС-25000/10; 35	2,5	ТРДЦН-100000/220	29,6
ТРДНС-32000/10; 35	3	ТРДЦН-160000/220	44,4
ТРДНС-40000/10; 35	4	ТРДНС-40000/330	5
ТРДНС-63000/20; 35	5	ТРДЦН-63/330	22,2
ТДТН-10000/35	1,5	ТДТН-25000/220	5
ТДТН-16000/35	2,5	ТДТН-40000/220	4,5
ТДН-10000/110	1	АТДЦТН-63000/220/110	22,2
ТДТН-10000/110	1	АТДЦТН-125000/220/110	29,6
ТДН-16000/110	1,5	АТДЦТН-200000/220/110	44,4
ТДТН-16000/110	2	АТДЦТН-250000/220/110	51,8
ТДН-25000/110	2,5	АТДЦТН-125000/330/110	37
ТРДН-25000/110	2,5	АТДЦТН-200000/330/110	44,4
ТДТН-25000/110	2,5	АТДЦТН-250000/330/150	51,8
ТДН-40000/110	3	АТДЦН-400000/330/150	59,2
ТРДН-40000/110	3	АОДЦТН-133000/330/220	37
ТДТН-40000/110	3,5	АТДЦТН-250000/500/220	44,4
ТДН-63000/110	4	АТДЦН-500000/500/220	124
ТРДН-63000/110	4	АОДЦТН-167000/500/220	29,6
ТДТН-63000/110	4,5	АОДЦТН-267000/500/220	44,4
ТДН-80000/110	5	АОДЦТН-167000/500/330	29,6
ТРДН-80000/110	5	АОДЦТН-267000/750/220	92,4
ТДТН-80000/110	7,5	АОДЦТН-333000/750/330	108
ТДЦТН-80000/110	29,6	АОДЦТН-417000/750/500	124
ТРДЦТН-80000/110	29,6		

Таблица 1.3

Компрессорные установки

Характеристика	Мощность главного электродвигателя, кВт	Мощность электродвигателя вентилятора, кВт
АВШ-1,5/45	22	0,8
ВШ-3/40М	40	2,2
2ВУ1-1,5/46	22	1,5
4ВУ1-3/46	45	1,5
ВШВ-2,3/230	55	-

Приняв для двигательной нагрузки $\cos \varphi = 0,85$, а для остальных потребителей $\cos \varphi = 1$, можно определить $Q_{уст}$ и суммарную расчетную нагрузку потребителей собственных нужд:

$$S_{расч} = k_c \cdot \sqrt{(\sum P_{уст})^2 + (\sum Q_{уст})^2}, \quad (1.1)$$

где k_c коэффициент спроса, учитывающий коэффициенты одновременности и загрузки. В ориентировочных расчетах можно принять $k_c = 0,8$.

Для уточненного расчета в курсовом проектировании следует применять значения k_c из табл.1.4.

Таблица 1.4

Коэффициенты спроса приемников собственных нужд

Наименование приемника	Коэффициенты спроса
Освещение ОРУ: при одном ОРУ	0,5
при нескольких ОРУ	0,35
Освещение помещений	0,6-0,7
Охлаждение трансформаторов	0,8-0,85
Компрессоры	0,4
Зарядно-подзарядные устройства Электроподогрев выключателей и электроотопление	0,12 1,0

Номинальная мощность трансформаторов собственных нужд выбирается по условиям: 1) $S_T > S_{расч}$ (для подстанций без дежурного персонала); 2) $S_T > S_{расч} / 1,4$ (для подстанций с дежурным персоналом).

При уточненных расчетах в курсовом проектировании следует учесть, что активные и реактивные мощности собственных нужд определяются отдельно для зимнего ($\sum P_z, \sum Q_z$) и летнего ($\sum P_l, \sum Q_l$) максимумов. Полная расчетная мощность для лета и зимы определяется по формулам:

$$\begin{aligned} \sum S_l &= \sqrt{(\sum P_l)^2 + (\sum Q_l)^2}; \\ \sum S_z &= \sqrt{(\sum P_z)^2 + (\sum Q_z)^2}. \end{aligned} \quad (1.2)$$

За расчетную мощность $S_{расч}$ для выбора трансформаторов собственных нужд принимается большая из них.

Присоединение трансформаторов собственных нужд к питающей сети зависит от системы оперативного тока, применяемой на подстанции. Для подстанций на переменном или выпрямленном оперативном токе трансформаторы собственных нужд со стороны ВН присоединяются:

- на подстанциях 110 кВ и выше через предохранители к вводам 6 - 10 кВ главных трансформаторов до выключателей, а при наличии реакторов - между реакторами и выключателями;
- на подстанциях 35 кВ через предохранители к питающей ВЛ 35 кВ. Для подстанций на постоянном оперативном токе с аккумуляторными батареями трансформаторы собственных нужд присоединяются:
 - через предохранители или выключатели к шинам распределительного устройства 6 - 35 кВ;
 - к обмоткам 6 - 35 кВ автотрансформаторов по блочной схеме.

ТСН небольшой мощности (до 63-100 кВА) устанавливаются непосредственно в шкафах КРУ (КРУН) 6(10) кВ, ТСН большей мощности размещаются открыто вне РУ-6(10) кВ. Для их подключения предусматриваются ячейки с предохранителями (выключателями) и кабельными выводами.

На напряжении 380/220 В от ТСН запитывается щит собственных нужд, выполняемый по схеме одиночной системы сборных шин, секционированной автоматическим выключателем (автоматом). Щит устанавливается в закрытом помещении общеподстанционного пункта управления (ОПУ).

Распределение приемников между щитами осуществляется по принципу территориальной близости к ним и удобства обслуживания. Приемники небольшой мощности, не допускающие перерывов в электроснабжении, нормально питаются от одной секции шин собственных нужд и имеют резервное питание от другой секции шин или резерв по оборудованию (например, два пожарных насоса, питаемых с разных секций).

В курсовом проектировании при расчете электрического освещения на подстанции необходимо руководствоваться следующими положениями:

Все освещение на подстанциях подразделяется на рабочее и аварийное. Рабочее освещение является основным видом освещения и предусматривается во всех помещениях подстанции, а также на открытых участках территории, где в темное время суток может производиться работа или происходить движение транспорта и людей. Рабочее освещение включает в себя общее стационарное освещение напряжением 220 В, переносное (ремонтное) освещение, осуществляемое переносными лампами напряжением 12 В, местное освещение (на станках и верстаках) на напряжении 36 В и охранное освещение, выполняемое при необходимости вдоль ограды территории подстанции [10].

Следует иметь в виду, что аварийное освещение выполняется в помещениях щита управления релейных панелей и силовых панелей собственных нужд, ЗРУ, аппаратной связи и аккумуляторной батареи только при наличии на подстанции аккумуляторных батарей 220 В.

При отсутствии аккумуляторной батареи 220 В, но наличии аккумуляторной батареи для работы аппаратуры связи на напряжении 24-60 В аварийное освещение предусматривается только в помещениях щита

управления и связи. При полном отсутствии на подстанции аккумуляторных батарей сеть рабочего освещения в помещении щита управления должна быть разделена не менее чем на две группы. Вне зависимости от наличия в помещениях подстанции аварийного освещения персонал должен быть снабжен переносными аккумуляторными фонарями.

Питание сети рабочего освещения осуществляется от общих с силовыми потребителями трансформаторов собственных нужд с глухозаземленной нейтралью. При этом защитные и разъединяющие автоматические выключатели устанавливаются только в фазных проводах. В нулевых проводах коммутационные аппараты не устанавливаются.

Напряжение ламп общего освещения принимается равным 220 В, стационарного местного освещения - 36 В, переносных ручных ламп - 12 В.

Питание сети аварийного освещения нормально осуществляется от шин собственных нужд 380/220 В переменного тока и при исчезновении последнего автоматически переводится на шины оперативного постоянного тока. Включение аварийного освещения в каждом помещении производится отдельным выключателем. В помещении щита управления предусматриваются постоянно включенные одна-две лампы, присоединяемые непосредственно к шинам постоянного тока через защитные аппараты (предохранители, автоматические выключатели). В сети аварийного освещения защитные и разъединяющие аппараты устанавливаются в обоих полюсах группы.

Для освещения подстанции используются обычные и галогеновые (с йодным циклом) лампы накаливания, а также газоразрядные (люминесцентные дневного света, низкого давления различных марок и цветности и ртутные (ДРЛ) высокого давления с исправленной цветностью).

Следует учитывать, что ДРЛ имеют довольно длительное время зажигания (6-7 минут) и повторное зажигание возможно только после полного остывания лампы, которое длится 10-15 минут.

Освещение ОРУ, как правило, осуществляется прожекторами ПСЗ-45 с лампами накаливания 1000 Вт и ПСЗ-35 с лампами 500 Вт или ПКН с галогено-выми лампами мощностью 1000, 1500 и 2000 Вт.

2. ВЫБОР СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА И ИСТОЧНИКОВ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

2.1. СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

Совокупность источников питания, кабельных линий, шин питания переключающих устройств и других элементов оперативных цепей составляет систему оперативного тока данной электроустановки. Оперативный ток на подстанциях служит для питания вторичных устройств, к которым относятся оперативные цепи защиты, автоматики и телемеханики, аппаратура дистанционного управления, аварийная и предупредительная

сигнализация. При нарушениях нормальной работы подстанции оперативный ток используется также для аварийного освещения и электроснабжения электродвигателей (особо ответственных механизмов).

Проектирование установки оперативного тока сводят к выбору рода тока, расчету нагрузки, выбору типа источников питания, составлению электрической схемы сети оперативного тока и выбору режима работы.

К системам оперативного тока предъявляют требования высокой надежности при КЗ и других ненормальных режимов в цепях главного тока.

Применяются следующие системы оперативного тока на подстанциях:

1. постоянный оперативный ток - система питания оперативных цепей, при которой в качестве источника питания применяется аккумуляторная батарея;
2. переменный оперативный ток - система питания оперативных цепей, при которой в качестве основных источников питания используются измерительные трансформаторы тока защищаемых соединений, измерительные трансформаторы напряжения, трансформаторы собственных нужд. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия используются предварительно заряженные конденсаторы;
3. выпрямленный оперативный ток - система питания оперативных цепей переменным током, в которой переменный ток преобразуется в постоянный (выпрямленный) с помощью блоков питания и выпрямительных силовых устройств. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия могут использоваться предварительно заряженные конденсаторы;
4. смешанная система оперативного тока - система питания оперативных цепей, при которой используются разные системы оперативного тока (постоянный и выпрямленный, переменный и выпрямленный).

В системах оперативного тока различают:

- зависимое питание, когда работа системы питания оперативных цепей зависит от режима работы данной электроустановки (подстанции);
- независимое питание, когда работа системы питания оперативных цепей не зависит от режима работы данной электроустановки.

К независимым системам относится постоянный оперативный ток.

Области применения различных систем оперативного тока на подстанциях в зависимости от схемы электрических соединений, типа выключателей и приводов к ним приведены в таблице Приложения.

Постоянный оперативный ток применяется на подстанциях 110-220 кВ со сборными шинами этих напряжений, на подстанциях 35-220 кВ без сборных шин на этих напряжениях с масляными выключателями с

электромагнитным приводом, для которых возможность включения от выпрямительных устройств не подтверждена заводом-изготовителем.

Переменный оперативный ток применяется на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ, на подстанциях 35-220/6(10) и 110-220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели 6(10)-35 кВ оснащены пружинными приводами.

Выпрямленный оперативный ток должен применяться: на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ, на подстанциях 35-220/6(10) кВ и 110-220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели оснащены электромагнитными приводами; на подстанциях 110 кВ с малым числом масляных выключателей на стороне 110 кВ.

Перечень масляных выключателей с электромагнитным приводом, для которых испытаниями подтверждена возможность независимого питания цепей включения, приведен в табл.2.1.

Таблица 2.1

Масляные выключатели с электромагнитным приводом, для которых испытаниями подтверждена возможность независимого питания цепей включения от силовых выпрямительных устройств

Выключатель	Привод	Коммутационная способность, кА	
		с индуктивным накопителем	без индуктивного накопителя
ВМП-10Э-2500-20	ПЭВ-12	20	0
ВМПЭ-10-3200-20УЗ	ПЭВ-12А	20	0
ВМПЭ-10-3200-31,5У1	ПЭВ-12А	31,5	0
ВМП-10Э-3000-20	ПЭВ-12	20	0
ВМП-10-620, 1000, 1500	ПЭ-11	20	9
ВМГ-133-1000/20	ПЭ-11	20	9
ВМГ-10-630-20	ПЭ-11	20	0
ВМП-10Э-1000-20	ПЭВ-11У	-	20
ВМП-35Э-1000/26	ПЭ-11М	16	10
ВТД-35-630-10	ПЭ-11	-	10
ВМК-35Э-0,63/8	ПЭ-11	8	0
С-35-630/10	ПЭ-11У	-	10
МКП-110М-630/20	ШПЭ-33	-	20*
МКП-110М-1000/20	ШПЭ-33	-	20*
МКП-110М-630/18,4	ШПЭ-33	-	18,4*
У-220-10	ШПЭ-44	-	25*
	ШПЭ-44-1	-	25*

* - В зимнее время должно быть обеспечено напряжение на зажимах электромагнита включения не менее 220 В.

Смешанная система постоянного и выпрямленного оперативного тока применяется для уменьшения емкости аккумуляторной батареи за счет применения силовых выпрямительных устройств для питания цепей

электромагнитов включения масляных выключателей. Целесообразность применения этой системы должна быть подтверждена технико-экономическими расчетами.

Смешанная система переменного и выпрямленного оперативного тока применяется:

для подстанций с переменным оперативным током при установке на вводах питания выключателей с электромагнитным приводом, для питания электромагнитов включения которых устанавливаются силовые выпрямительные устройства;

для подстанций 35-220 кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда не обеспечивается надежная работа защит от блоков питания при трехфазных КЗ на стороне среднего или высшего напряжения.

В этом случае защита трансформаторов выполняется на переменном токе с использованием предварительно заряженных конденсаторов, а остальных элементов подстанции - на выпрямленном оперативном токе.

2.2. СИСТЕМА ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

В качестве источников постоянного оперативного тока используются аккумуляторные батареи типа СК или СН.

2.2.1. Потребители постоянного тока

Всех потребителей энергии, получающих питание от аккумуляторной батареи, можно разделить на три группы:

1) Постоянно включенная нагрузка - аппараты устройств управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, постоянно обтекаемые током, а также постоянно включенная часть аварийного освещения. Постоянная нагрузка на аккумуляторной батарее зависит от мощности постоянно включенных ламп сигнализации и аварийного освещения, а также от типов реле. Так как постоянные нагрузки невелики и не влияют на выбор батареи, в расчетах можно ориентировочно принимать для крупных подстанций 110-500 кВ значение постоянно включенной нагрузки 25 А.

2) Временная нагрузка - появляющаяся при исчезновении переменного тока во время аварийного режима - токи нагрузки аварийного освещения и электродвигателей постоянного тока. Длительность этой нагрузки определяется длительностью аварии (расчетная длительность 0,5 часа).

Примерный состав точек установки светильников аварийного освещения, выполняемого с использованием ламп накаливания, и оценка их мощности приведены в табл.2.2.

Таблица 2.2

Место установки светильников	Количество светильни- ков	Мощность единицы, Вт	Общая мощ- ность, Вт	Ток, А, при U=220 В
ЗРУ 6(10) кВ при двух выходах	2	60	120	0,6
ОПУ подстанции 110(220)/6(10) кВ	2	60	120	0,6
ОПУ подстанции 220/110/6(10) кВ	6	60	120	2,0
Лестница 1 шт., 2 марша	3	40	120	0,6
Помещение аккумуляторной батареи	2	60	120	0,6

3) Кратковременная нагрузка (длительностью не более 5 с) создается токами включения и отключения приводов выключателей и автоматов, пусковыми токами электродвигателей и токами нагрузки аппаратов управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, временно обтекаемых током. Значения токов, потребляемых электромагнитами включения и отключения выключателей, принимаются по табл.2.3.

Таблица 2.3

Технические характеристики электромагнитных приводов выключателей

Тип выключателя	Тип привода	Потребляемый ток привода, А	
		при включении	при отключении
ВМГ-10	ПЭ-11	58	1,25
ВМП-10	ПЭ-11	58	1,25
ВМП-10К	ПЭ-11	58	1,25
ВМП-10У	ПЭ-11У	58	1,25
ВМП-10Э	ПЭ-22	250	2,5
ВЭМ-6	ПЭ-22	250	2,5
МГ-10	ПС-31	155	2,5
С-35-50	ШПЭ-38	244	5
МКП-35	ШПЭ-31	124	5
У-35	ШПЭ-36	232	2,5
ВМК-35	ПЭ-31Н	166	5
МКП-110М	ШПЭ-33	244	5
У-110-40	ШПЭ-44	480	2,5
У-110-50	ШПЭ-46 (на полюс)	450	10
У-220-40	ШПЭ-44П (на полюс)	240	5

2.2.2. Характеристики и режимы работы аккумуляторов

В электроустановках применяются свинцово-кислотные аккумуляторы типа СК и СН, отличающиеся электрическими характеристиками, размерами пластин, устройством сосудов и другими элементами конструкции.

Для аккумуляторов СК установлено 45 типоразмеров, отличающихся числом и размерами (1,2,3, 6, 8, 10, 20, 24, 28, 148), а для аккумуляторов типа СН - 14 типоразмеров (0,5; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20). Характеристики аккумуляторов первого номера обоих типов приведены в табл.2.4.

Таблица 2.4

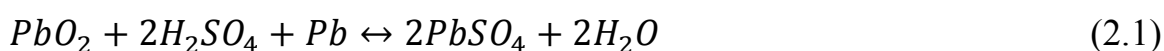
Характеристики первого номера аккумуляторов типа СК и СН

Тип аккумулятора	СК	СН	СК	СН	СК	СН
Продолжительность разряда, ч	10,0	10,0	1,0	1,0	0,5	0,5
Разрядный ток, А	3.6	4	18,5	20	25	30
Номинальная емкость, А-ч	36	40	18,5	20	12,5	15

Емкости и разрядные токи аккумуляторов могут быть определены умножением соответствующих значений для аккумулятора первого номера на типовой номер.

Аккумуляторы типа СН имеют более совершенную конструкцию и лучшие разрядные характеристики, они рекомендованы для применения на подстанциях (для обеспечения аварийной нагрузки электростанций их емкость недостаточна).

Разряд аккумулятора происходит при замыкании внешней цепи на нагрузку, при этом положительной и отрицательной пластине происходит химическая реакция:



При разряде реакция читается слева направо. Молекулы серной кислоты вступают в реакцию с активной массой пластин, образуя на них сульфат свинца $PbSO_4$. Концентрация электролита в порах активной массы в процессе разряда снижается. Это приводит к снижению напряжения на зажимах аккумулятора. Напряжение снижается тем больше, чем больше ток разряда. Это объясняется тем, что при разрядах большим током в течении малого времени диффузия серной кислоты в поры активной массы не

успевает за процессом образования сульфата свинца. Сульфат свинца закрывает доступ к активной массе. В результате этого процесса емкость одного и того же аккумулятора различна и зависит от разрядного тока (или длительности разряда).

Заряд аккумулятора производится от источника постоянного тока (двигателя-генератора или выпрямительной установки). При этом к аккумулятору подводится напряжение большее, чем его э.д.с., и направление движения ионов внутри аккумулятора меняется на противоположное. Реакция (2.1) читается справа налево. В процессе реакции сульфат свинца на обеих пластинах восстанавливается: на положительной пластине - в перекись свинца, а на отрицательной - в металлический свинец и образуется серная кислота. Концентрация электролита в процессе заряда растет, поэтому напряжение на аккумуляторе увеличивается. По мере заряда реакция переносится вглубь активной массы. К концу заряда, когда большая часть сульфата свинца восстановлена, происходит реакция электролиза воды, в результате которой у отрицательной пластины выделяются пузырьки водорода, у положительной - кислород. Газовыделение начинается при напряжении 2,3 В. Чтобы не допускать бурного газовыделения, зарядный ток снижают и поодолжают заряд при напряжении 2,3 В. Увеличение напряжения в конце заряда до 2,5-2,7 В на аккумулятор приводит к необходимости устройств регулирования числа банок в батарее, что усложняет схему, поэтому широко внедряется метод заряда аккумуляторной батареи при напряжении 2,3 В на один аккумулятор.

Режим постоянного подзаряда для стационарных аккумуляторных установок принят как основной нормальный режим.

Аккумуляторная батарея должна быть выбрана так, чтобы она совместно с кабелями, питающими цепи включения приводов выключателей, и зарядно-подзарядными устройствами обеспечивала надежное и экономичное питание потребителей постоянного тока во всех возможных режимах работы.

В нормальном режиме основные элементы n_0 батареи подключены к под-зарядному устройству: $n_0 = 230В/2,15В = 108$ элементов, где 230В - напряжение на шинах ($1,05 U_{ном}$); 2,15В - напряжение на элементе в режиме заряда.

Это же подзарядное устройство питает постоянно включенную нагрузку постоянного тока $I_{дл}$. Заряд батареи производится после ликвидации аварии, а также один раз в три месяца осуществляется уравнительный дозаряд от зарядного устройства. Учитывая, что в режиме заряда напряжение на элементе поднимается до 2,7 В, к шинам присоединяется: $n_{min} = 230В/2,7В = 85$ элементов.

В схемах без элементного коммутатора батареи имеют отпайки от 85 и 108 элементов и таким образом к шинам постоянного тока подключаются 85, 108 и 125 элементов в режимах заряда, постоянного подзаряда и аварийного разряда соответственно.

Во всех случаях исходным является наименьший номер аккумуляторной батареи N , определяемый по условию обеспечения минимально допустимого напряжения на устройствах релейной защиты при толковых токах от наиболее мощного привода в конце аварийного разряда батареи.

Аккумуляторную батарею и кабели выбирают в первую очередь для РУ с выключателями, имеющими наибольшие толковые токи электромагнитов включения, затем проверяют выбранный номер аккумуляторов для других РУ и, если не возникает необходимости в увеличении номера, определяют сечение кабелей для каждого РУ.

2.2.3. Выбор аккумуляторных батарей

При использовании аккумуляторной батареи задачей расчета является выбор номера и количества элементов батареи. Исходными данными к расчету являются:

- 1) типы выключателей и приводов к ним;
- 2) номинальный ток электромагнитов включения приводов $I_{пр}$;
- 3) ток аварийной получасовой нагрузки аварийного освещения $I_{0,5}$;
- 4) ток постоянной нагрузки $I_{дл}$.

Типовой номер батареи N выбирается по формуле:

$$N \geq (1,05 \cdot I_{AB})/J \quad (2.2)$$

$$I_{AB} = I_{дл} + I_{0,5} \quad (2.3)$$

где

I_{AB} – ток аварийного получасового режима;

J – допустимая нагрузка аварийного получасового разряда, А, приведенная к первому номеру аккумулятора, которую можно определить (для батарей СН) в зависимости от температуры электролита t , °С, по выражению:

$$j = 18,8 + 0,2 \cdot t, \quad (2.4)$$

где $t = +10^{\circ}\text{C}$ - минимально допустимая температура.

Полученный по (2.2) номер N округляется до ближайшего большего типового. При выборе аккумуляторной батареи, как правило, определяющим фактором является включение одного наиболее мощного выключателя или одновременное отключение группы выключателей, что может иметь место как в нормальном, так и в аварийном режимах работы батареи. Выбранный аккумулятор проверяется по наибольшему пиковому току $I_{п,мах}$, величина которого:

$$I_{п,мах} = I_{AB} + I_{пр}, \quad (2.5)$$

где $I_{пр}$ - ток, потребляемый электромагнитом включения самого мощного привода выключателя или ток, потребляемый электромагнитами отключения группы выключателей на подстанции (максимальное значение).
Условие проверки:

$$(46 - 50) \cdot N \geq I_{п.мах}, \quad (2.6)$$

где (46- 50) - коэффициент, учитывающий допускаемую перегрузку аккумуляторов типа СК (46) или СН (50) в режиме кратковременного разряда. При невыполнении условия (2.6) принимается больший номер батареи. Определяется наибольший пиковый ток, приведенный к батарее с типовым номером $N=I$:

$$I_{п1} = I_{п.мах}/N. \quad (2.7)$$

Отклонение напряжения, %, при минимально допустимой температуре $t = +10^{\circ}C$:

$$\Delta U/U = 100 - 0,3445 \cdot I_{п1}. \quad (2.8)$$

С учетом падения напряжения в соединительном контрольном кабеле (условно 5%), напряжение на приводах высоковольтных выключателей, %:

$$U_{п.в} = \Delta U/U - 5 \quad (2.9)$$

При этом допустимый диапазон отклонений напряжения $U_{п.в,доп}$ составляет (80-110)%. Должно быть обеспечено выполнение условия:

$$U_{п.в} \leq U_{п.в,доп}. \quad (2.10)$$

Число элементов в батарее при напряжении на шинах постоянного тока 220 В: $n=220/1,75=125$, где 1,75 - напряжение на аккумуляторе (элементе) в режиме кратковременного разряда. На подстанциях 110-330 кВ устанавливается одна аккумуляторная батарея 220 В, на подстанциях 500-750 кВ - две батареи 220 В.

Аккумуляторные батареи на подстанциях, как правило, выполняют по схеме с постоянным подзарядом без элементного коммутатора.

Для подзаряда и послеаварийного заряда устанавливаются выпрямительные агрегаты ВА3П-380/260-40/80 на напряжение 380 В и 260 В и ток 40 и 80 А. Потребляемая мощность (при $\cos \varphi = 0,86$) составляет 20,8 кВт и 15, 2 кВт соответственно.

В качестве зарядных устройств применяются статические преобразователи или агрегаты дизель-генератор. Для выбора подзарядного и зарядного устройств определяют величину тока подзаряда $I_{п}$ и напряжение U_n , ток заряда I_3 и напряжение в конце заряда U_3 , по которым определяют необходимую мощность преобразователя.

$$I_{\Pi} \geq 0,15 \cdot N + I_{\text{дл}} \quad (2.11)$$

$$U_{\Pi} = 2,2 \cdot n_0 \quad (2.12)$$

$$I_3 = 5 \cdot N + I_{\text{дл}} \quad (2.13)$$

$$U_3 = 2,75 \cdot n_0 \quad (2.14)$$

Пример выбора аккумуляторной батареи типа СН

На подстанциях с цепями управления на постоянном оперативном токе предпочтительно использование аккумуляторных батарей с намазными пластинами типа СН со стандартным рядом типоразмеров: 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20.

1) Постоянную токовую нагрузку принимаем равной $I_{\text{ол}} = 25 \text{ А}$.

2) Нагрузку аварийного освещения можно определить по табл.2.2. Для рассматриваемого численного примера принимаем итоговую токовую нагрузку

аварийного освещения $I_{0,5} = 5 \text{ А}$.

4) Кратковременную нагрузку определяем, исходя из количества, типов выключателей и приводов к ним, по табл.2.3. Результаты сводим в табл.2.5. Ток $I_{\text{ПР}} = 720 \text{ А}$.

Таблица 2.5

Определение тока кратковременной нагрузки

Тип выключателя	Тип привода	Количество выключателей	Потребляемый ток привода		Суммарный ток отключения выключателей
			При включении	При отключении	
ВМП-10	ПЭ-11	15	58	1,25	18,75
У-110-40	ШПЭ-44	10	480	2,5	25
У-220-40	ШПЭ-44П	8	240 x 3 = 720	5	40

5) Ток аварийного получасового режима:

$$I_{\text{AB}} = I_{\text{дл}} + I_{0,5} = 25 + 5 = 30 \text{ А}.$$

6) Допустимая нагрузка аварийного получасового разряда, приведенная к первому номеру аккумулятора, определяемая по (2.4) при минимально допустимой температуре электролита $t = +10^\circ \text{C}$:

$$j = 18,8 + 0,2 \cdot t = 18,8 + 0,2 \cdot 10 = 20,8 \text{ А}.$$

7) Предварительно выбираем типовой номер батареи по условию (2.2):

$$N \geq (1,05 \cdot I_{\text{AB}}) / j = 1,05 \cdot 30 / 20,8 = 1,51.$$

8) Предварительно выбираем батарею СН-2.

9) Наибольший пиковый ток по (2.5):

$$I_{\text{п.мах}} = I_{\text{AB}} + I_{\text{ПР}} = 30 + 720 = 750 \text{ А}.$$

10) Проверка правильности выбора батареи по наибольшему пиковому току согласно (2.6):

$$N \geq I_{\text{п.мах}}/50 = 15. \text{ Условие проверки не выполняется.}$$

11) Выбираем батарею с типовым номером $N = 16$.

12) Наибольший пиковый ток, приведенный к банке с типовым номером $N=1$:

$$I_{\text{П1}} = I_{\text{п.мах}}/N = 750/16 = 46,88 \text{ A.}$$

13) Отклонение напряжения, %, при минимально допустимой температуре $t = +10^{\circ}\text{C}$ по (2.8):

$$(\Delta U / U) = 100 - 0,3445 * I_{\text{П1}} = 100 - 0,3445 * 46,88 = 83,85 \text{ \%}.$$

14) Напряжение на приводах высоковольтных выключателей, %, по (4.9):

$$U_{\text{п.в}} = (\Delta U / U) - 5 = 83,85 - 5 = 78,85 \text{ \%}.$$

15) Условие (2.10)

$$U_{\text{п.в}} = 78,85 \text{ \%} \leq U_{\text{п.в,доп}} = (80..110) \text{ \%}$$

не выполняется.

16) Выбираем батарею с типовым номером $N = 18$.

17) Наибольший пиковый ток, приведенный к банке с типовым номером $N=1$:

$$I_{\text{П1}} = I_{\text{п.мах}}/N = 750/18 = 41,67 \text{ A.}$$

18) Отклонение напряжения, %, при минимально допустимой температуре $t = +10^{\circ}\text{C}$ по (2.8):

$$(\Delta U / U) = 100 - 0,3445 * I_{\text{П1}} = 100 - 0,3445 * 41,67 = 85,64 \text{ \%}.$$

19) Напряжение на приводах высоковольтных выключателей, %, по (2.9):

$$U_{\text{п.в}} = (\Delta U / U) - 5 = 85,64 - 5 = 80,64 \text{ \%}.$$

20) Условие (2.10)

$$U_{\text{п.в}} = 80,64 \text{ \%} \leq U_{\text{п.в,доп}} = (80..110) \text{ \%}$$

выполняется.

Окончательно выбираем батарею СН-18.

Выбор вспомогательных устройств:

Подзарядное устройство:

$$I_{\text{П}} > 0,15 N + I_{\text{дл}} = 0,15 * 18 + 25 = 27,7 \text{ A};$$

$$U_{\text{П}} = 2,2 n_0 = 2,2 * 108 = 237,6 \text{ В.}$$

Зарядное устройство:

$$I_3 = 5 N + I_{\text{дл}} = 5 * 18 + 25 = 115 \text{ A};$$

$$U_3 = 2,75 n_0 = 2,75 * 108 = 297 \text{ В.}$$

2.2.4. Схемы включения аккумуляторных батарей

На подстанциях с постоянным оперативным током устанавливается, как правило, одна аккумуляторная батарея 220 В. Батарея нормально работает в режиме постоянного подзаряда без элементного коммутатора при стабильном напряжении 2,15 В на элемент, без периодических уравнительных перезарядов и тренировочных разрядов.

Щит постоянного тока имеет главные (силовые) шины ШП и шины управления ШУ. Для аккумуляторной батареи из 1⁰⁸ элементов ШП состоит из шин "+" и при большем числе элементов добавляется шинка "-" повышенного напряжения. Шинка "+" присоединяется к плюсу аккумуляторной батареи, шина "-" - к минусу 108-го элемента, шина "-" - к минусу 120, 128 или 140-го элемента.

К шинам ШП подключается сеть аварийного освещения, резервный агрегат связи и цепи питания электромагнитов включения приводов масляных выключателей 6-35 кВ, дающих толчковые токи до 200 А. Шинка повышенного напряжения используется для подключения линий питания электромагнитов включения приводов масляных выключателей 110 кВ и выше.

Шинки ШУ в режиме постоянного подзаряда присоединены к 108 элементам батареи. При дозарядке батареи при напряжении 2,3 В на элемент шинки ШУ должны переключаться на 100 элементов во избежание повышения напряжения на них выше 1,05 минимального. Шинка (+) ШМ предназначена для подключения цепей сигнальных ламп положения выключателей.

Для дублирования питания ответственных потребителей постоянного тока и улучшения условий эксплуатации каждая система шин щита постоянного тока разделена на две секции, связанные между собой рубильниками. В качестве зарядно-подзарядных агрегатов применены стабилизированные выпрямительные агрегаты V1, V2 (один рабочий, другой резервный).

Для повышения надежности питания потребители оперативного постоянного тока разделяют на группы (сеть питания электромагнитов включения; сеть управления, защиты и автоматики; сеть сигнализации и т.п.), каждая из которых подключается не менее чем двумя взаимно резервируемыми линиями к разным секциям шин щита постоянного тока.

2.3. СИСТЕМА ПЕРЕМЕННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

При переменном оперативном токе наиболее простым способом питания электромагнитов отключения выключателей является непосредственное включение их во вторичные цепи трансформаторов тока (схемы с реле прямого действия или с дешунтированием электромагнитов отключения при срабатывании защиты). При этом предельные значения

токов и напряжений в токовых цепях защиты не должны превышать допустимых значений, а токовые электромагниты отключения (реле типов РТМ, РТВ или ТЭО) должны обеспечивать необходимую чувствительность защиты в соответствии с требованиями ПУЭ. Если эти реле не обеспечивают необходимой чувствительности защиты, питание цепей отключения производится от предварительно заряженных конденсаторов.

На подстанциях с переменным оперативным током питание цепей автоматики, управления и сигнализации производится от шин собственных нужд через стабилизаторы напряжения.

Источниками переменного оперативного тока являются трансформаторы собственных нужд и измерительные трансформаторы тока и напряжения, осуществляющие питание вторичных устройств непосредственно или через промежуточные звенья - блоки питания, конденсаторные устройства. Переменный оперативный ток распределяется централизованно и, следовательно, при его использовании не требуется сложной и дорогой распределительной сети. Однако зависимость питания вторичного оборудования от наличия напряжения в основной сети, недостаточная мощность самих источников (измерительные трансформаторы тока и напряжения) ограничивает область применения оперативного переменного тока.

Трансформаторы тока служат надежными источниками для питания защит от коротких замыканий; трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд могут служить источниками для защит от повреждений и ненормальных режимов, не сопровождающихся глубокими понижениями напряжения, когда не требуется высокой стабильности напряжения и допустимы перерывы в питании.

Стабилизаторы напряжения предназначены для:

- 1) поддержания необходимого напряжения оперативных цепей при работе АЧР, когда возможно одновременное снижение частоты и напряжения;
- 2) разделения оперативных цепей и остальных цепей собственных нужд подстанции (освещение, вентиляция, сварка и т.д.), что существенно повышает надежность оперативных цепей.

2.4. СИСТЕМА ВЫПРЯМЛЕННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

Для выпрямления переменного тока используются:

Блоки питания стабилизированные типа БПНС-2 совместно с токовыми типа БПТ-1002 - для питания цепей защиты, автоматики, управления.

Блоки питания нестабилизированные типа БПН-1002 - для питания цепей сигнализации и блокировки, что уменьшает разветвленность цепей оперативного тока и обеспечивает возможность выдачи всей мощности

стабилизированных блоков для срабатывания защиты и отключения выключателей.

Блоки БПН-1002 вместо БПНС-2 - для питания цепей защиты, автоматики, управления, когда возможность их использования подтверждена расчетом и не требуется стабилизация оперативного напряжения (например, при отсутствии АЧР).

Силовые выпрямительные устройства ТЧ на У КП и У КПК с индуктивным накопителем - для питания включающих электромагнитов приводов масляных выключателей. Индуктивный накопитель обеспечивает включение выключателя на короткое замыкание при зависимом питании цепей включения.

Как видно из табл.2.1 для некоторых типов выключателей индуктивный накопитель не требуется. В этом случае может быть использовано выпрямительное устройство, входящее в комплект устройства У КП, без индуктивного накопителя (ящик У КП-1).

Блоки питания нестабилизированные БПЗ-4°1 применяются для заряда конденсаторов, которые используются для отключения отделителей, включения короткозамыкателей, отключения выключателей 10(6) кВ защитой минимального напряжения, а также отключения выключателей 35-110 кВ при недостаточной мощности блока питания.

2.4.1. Технические данные блоков питания

Блоки питания (БП) - выпрямительные устройства которые на выходе дают постоянное (выпрямленное) напряжение для питания цепей релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации. Делятся на токовые блоки и блоки напряжения.

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

Блок напряжения представляет собой промежуточный трансформатор напряжения с выпрямительным мостом на выходе. Блоки напряжения подключаются к трансформаторам напряжения или собственных нужд и являются источниками питания в режимах, когда обеспечен достаточно высокий уровень напряжения.

Блоки напряжения и токовые могут использоваться как самостоятельные источники питания или в комбинации друг с другом.

Блоки питания и заряда типов БПЗ-401 и БПЗ-402 предназначены для заряда конденсаторных батарей, используемых для приведения в действие аппаратов и устройств релейной защиты (режим зарядного устройства) или питания выпрямленным током аппаратуры автоматики, управления и релейной защиты (режим блока питания). Технические данные блоков приведены в табл.2.6.

Таблица 2.6

Технические данные блоков питания и заряда серии БПЗ

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

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

** - На уставке выпрямленного напряжения 110 В.

*** - На уставке выпрямленного напряжения 220 В.

Блоки типа БПЗ- 401 должны включаться на измерительные трансформаторы напряжения или на трансформаторы собственных нужд.

Блок типа БПЗ-402 на уставках по току феррорезонанса 9; 3; 12; 17 А может включаться на все трансформаторы тока, отдаваемая мощность которых при двукратном номинальном токе составляет не менее $500\text{В} \cdot \text{А}$; на уставках 4,65; 6,0 и 8,5 А блок включается на трансформаторы тока типов ТВ-35, ТВД-35 и другие с аналогичными вольт-амперными характеристиками в соответствии с табл.2.7.

Таблица 2.7.

Выбор числа витков первичной обмотки блока БПЗ-402

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

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

Блоки питания серии БП-1002 (типов БПН-1002 и БПТ-1002) предназначены для питания выпрямленным током аппаратуры релейной защиты, сигнализации и управления, выполненной на номинальное напряжение 110 и 220 В и имеющей номинальную мощность до 1500 Вт в кратковременном режиме. Токовые блоки питания БПТ-1002 включаются на комплекты трансформаторов тока, использование которых для других целей не допускается. Технические данные блоков питания серии БП-1002 приведены в табл. 2.8.

Первичная обмотка промежуточного трансформатора блока БПТ-1002 выполнена из отдельных электрически изолированных секций, позволяющих изменять число витков первичной обмотки от 25 до 200 через каждые 25 витков в зависимости от типа трансформатора тока. Каждая фаза первичной обмотки промежуточного трансформатора блока БПН-1002 выполнена из двух секций, которые могут включаться последовательно или параллельно. При параллельном включении секций и соединении обмоток в треугольник номинальное напряжение блока 110-127 В; при последовательном включении секций оно равно 220 В при соединении обмоток в треугольник и 380-400 В

при соединении в звезду. Выходное напряжение регулируется переключением ответвлений на вторичных обмотках.

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

Таблица 2.8.

Технические данные блоков питания серии БП-1002

Параметры	БПТ-1002		БПН-1002			
Номинальное напряжение, В: входное выходное	- 110	- 220	100 110		220 220	380
Среднее значение входного напряжения, В, не более, в режиме холостого хода: при нагрузке не менее	Параметры					
	136 90	260 180	140 80	86	280 160	172
Сопротивление нагрузки, Ом	10	40	5	10	20	40
Длительно допустимый ток нагрузки, А	7	3,5	6,4		3,2	
Допустимый ток в первичной обмотке насыщающегося трансформатора в течение 5 с при указанном сопротивлении нагрузки, А	50					
Намагничивающая сила первичной обмотки насыщающегося трансформатора блока, при которой наступает феррорезонанс при отсутствии нагрузки, А	840-1000					
Длительно допустимый ток в первичной обмотке насыщающегося трансформатора при отсутствии нагрузки, А: до наступления феррорезонанса после наступления феррорезонанса (при полном числе витков первичной обмотки)	Не превышает тока феррорезонанса 9,5					
Длительно допустимое напряжение, % номинального входного			110			
Потребление на фазу, В·А: при холостом ходе, не более при нагрузке	750	750	1500	25 750	1500	750
Габариты (длина, ширина, высота)	340 x 354 x 302					
Масса, кг	30					

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

** - 1500 Вт при напряжении на выходе не менее 0,85 и 2500 Вт при напряжении на выходе не менее 0,7.

Технические данные блоков питания БПНС-2 приведены в табл.2.9.

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

Таблица 2.9.

Технические данные блоков питания серии БПНС-2

Параметры	Значение
Номинальное напряжение, В: входное выходное	400, 230, 100 220
Диапазон допустимого изменения входного напряжения при трехфазном питании в режиме XX и при номинальной нагрузке 40 Ом, % номинального напряжения	50-110
То же при однофазном питании*, % номинального напряжения, при соединении разделительного трансформатора по схеме: Y / Y A / Y	70-110 75-110
Диапазон изменения среднего значения выходного напряжения при трехфазном и однофазном питании в режиме XX и при номинальной нагрузке 40 Ом, % номинального напряжения	85-110
Выходная мощность блока, Вт: длительная при напряжении 220 В в течение 30 мин кратковременная в течение 1 с	650 1200 1500, 2500**
Потребление на фазу, В·А, при холостом ходе	140
Габариты (высота, ширина, глубина), мм	1100 x 600 x 350
Масса, кг	150

Блоки конденсаторов серии БК-400 предназначены для создания запаса энергии, используемой для приведения в действие отключающих электромагнитов приводов выключателей, реле защиты и т.п. Блоки выполняются из конденсаторов типа МБГП на 400 В, 20 мкФ, соединяемых параллельно для получения необходимой емкости, и кремниевых диодов типа Д-226Б. Технические данные блока конденсаторов приведены в табл.2.10.

Таблица 2.10

Технические данные блоков конденсаторов серии БК-400

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

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

Устройство состоит из сборочных единиц: УКП1 (ящик 1) - силовой выпрямитель с распределительным устройством выпрямленного тока и аппаратурой сигнализации; УКП2 (ящик 2) - индукционный накопитель.

Возможна поставка устройств как в сборе, так и раздельная.

Таблица 2.11

Технические данные устройства УКП

Параметры	УКП-220	УКП-380	УКПК-380
Напряжение питающей сети трехфазное, В	220	380, 400, 415, 440 с заземленной нейтралью	380, 400, 415, 440 с заземленной нейтралью
Частота питающей сети, Гц	50; 60	50; 60	50; 60
Выпрямленное напряжение в режиме холостого хода	297	257, 270, 280, 297	257, 270, 280, 297
Номинальное выпрямленное напряжение нагрузки, В	230	230	230
Допустимые отклонения выпрямленного напряжения и напряжения питающей сети	10 %	10 %	10 %
Максимальный выпрямленный ток нагрузки, А, с выходом: через накопитель без накопителя	150 320	150 320	150 -
Диапазон регулирования тока на выходах, А: 150 320	55-150 150-320	55-150 55-150	55-150 -
Характер нагрузки	импульсный	импульсный	-
Длительность импульса нагрузки, с	1	1	1
Минимально допустимое время между импульсами, с	0,5	0,5	0,5
Количество импульсов в цикле (не более) при токе, А:			
320	4	4	5
150	5	5	10
100	10	10	-
Время между циклами, мин	10	10	10
Габариты (ширина, глубина, высота), мм	800 x 400 x 1600		

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

Устройства питания комплектные типа УКПК предназначены для питания выпрямленным током электромагнитов включения приводов выключателей с током потребления до 150 А. Технические данные УКПК приведены в табл.2.11.

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

устройство выполнено в виде одного шкафа напольного исполнения, одностороннего обслуживания;

уменьшено число отходящих линий выпрямленного тока 220 В с шести до двух с установкой автоматических выключателей типа АП-502 МТ с расцепителем 50 А, кратность отсечки 3,5;

исключены токоограничивающие резисторы в цепи переменного тока (до выпрямителя), что допустимо при мощности трансформатора собственных нужд до 100 кВА;
упрощена схема сигнализации.

2.4.2. Выбор блоков питания и конденсаторов 2.4.2.1. Выбор блоков питания

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

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

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

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

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

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

Выбор числа витков первичной обмотки блока типа БПЗ-4⁰2 производится следующим образом: вольт-амперная характеристика трансформатора тока (снятая экспериментально, взятая из паспортных данных или построенная расчетным путем) сравнивается с семейством вольт-амперных характеристик не-нагруженного блока, снятых с первичной стороны. Число витков

первичной обмотки трансформатора блока выбирается таким образом, чтобы вольт-амперная характеристика трансформатора тока проходила выше вольт-амперной характеристики блока при токах более 5 А.

Определение первичного тока надежной работы блоков БПТ-1°2 производится в следующем порядке:

1. Вольт-амперная характеристика трансформатора тока сравнивается с семейством вольт-амперных характеристик блоков при холостом ходе. Выбирается число витков блока таким образом, чтобы вольт-амперная характеристика трансформатора тока проходила выше вольт-амперной характеристики блока при токах более 5 А.

Рекомендуемое число витков для некоторых типов наиболее часто используемых трансформаторов тока приведено в табл.2.12

Таблица 2.12

Рекомендуемые числа витков первичной обмотки насыщающегося трансформатора блока БПТ-1002

Тип трансформатора тока	Коэффициент трансформации	Число витков
ТВТ-35М	150/5; 200/5	50
	300/5	100
	400/5	125
	Остальные	200
ТВТ-35/10	600/5	50
	750/5	75
	1000/5	100
	1500/5	150
ТВТ-110 (варианты исполнения 300 и 600 А)	100/5	50
	150/5	75
	200/5	100
	300/5	175
	400/5; 600/5	200
ТВТ-110 (варианты исполнения 1000 и 2000 А)	400/5	150
	Остальные	200
ТВТ-220	200/5	125
	Остальные	200
ТВДМ-35-1	200/5	50
	300/5	75
	400/5	100
	600/5	125
ТВ-35/10, ТВ-35/25	200/5; 300/5	50
	400/5	75
	600/5	125

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

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

$$F_{\text{расч}} = 5m_{\text{max}} \cdot k_{\text{сх.бл}} w_{1\text{бл}} \leq 24750; \quad (2.15)$$

$$m_{\text{MAX}} = I_{\text{MAX}} / I_{1\text{ном}}, \quad (2.16)$$

где

m_{MAX} — максимальная расчетная кратность первичного тока;

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

$I_{1ном}$ — номинальный первичный ток трансформатора тока, А;

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

Если условие (2.15) не выполняется, необходимо уменьшить число витков таким образом, чтобы это условие было выполнено.

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

$$i_{нр} = A \frac{w_{нр}}{w_{1бл}}. \quad (2.17)$$

3. Определяется первичный ток надежной работы, А, умножением вторичного тока надежной работы на коэффициент трансформации трансформатора тока n_T :

$$I_{нр} = i_{нр} \cdot n_T. \quad (2.18)$$

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

$$I_{нр} = i_{нр} \cdot n_T \frac{1}{\sqrt{3}}. \quad (2.19)$$

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

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

Напряжение надежной работы блоков напряжения определяется в зависимости от сопротивления нагрузки и допустимого выходного напряжения по кривым. Выходное напряжение при длительной нагрузке не должно превышать максимально допустимого напряжения на реле и аппаратах.

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

Надежность питания оперативных цепей обеспечивается, если соблюдено условие:

$$m_{\text{РАСЧ. MIN}} \geq m_{\text{MIN}}; \quad (2.20)$$

$$x_{\text{РАСЧ. MIN}} = I_{\text{MIN}} / I_{1\text{H}}, \quad (2.21)$$

где

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

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

$$x_{\text{С. MIN}} \leq 0,9 \cdot x_{\text{Т. MIN}}, \quad (2.22)$$

где

$x_{\text{С. MIN}}$ — сопротивление прямой последовательности питающей системы в минимальном режиме ее работы ;

$x_{\text{Т. MIN}}$ — сопротивление рассеяния трансформатора при крайнем минусовом положении регулятора напряжения.

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

Расчет в этом случае сводится к определению нагрузки на блок напряжения, которая не должна превышать значений, приведенных в табл.2.11, как в нормальном режиме, так и в аварийных режимах при действии защит и автоматики (АЧР и т.п.).

2.4.2.2. Выбор конденсаторов

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

$$E = \frac{1,25 U_{\text{НОМ}}^2 \cdot t}{R}, \quad (2.23)$$

где

$U_{\text{НОМ}}$ — номинальное напряжение отключающего электромагнита, В;

R - сопротивление катушки отключающего электромагнита, Ом;

t - время отключения привода, с.

Необходимая емкость конденсатора, мкФ:

$$C = 2E \cdot 10^6 / U, \quad (2.24)$$

где

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

Рекомендуемые емкости конденсаторов для приводов разных типов приведены в табл.2.13.

Таблица 2.13

Емкости конденсаторов для цепей отключения приводов

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

2.4.3. Схемы питания выпрямленным оперативным током

Для питания цепей управления, защиты и автоматики предусмотрены блоки стабилизированного напряжения БПНС-2 и токовые блоки БПТ-1002 с выпрямленным напряжением 220 В по 1 шт. на каждую секцию.

Блок БПНС-2 обеспечивает надежное питание при удаленных трехфазных и любых несимметричных КЗ. При близких трехфазных КЗ питание обеспечивается от одного токового блока БПТ-1002, включенного на трансформатор тока средней фазы ввода. Выходы постоянного тока блоков питания обеих секций соединяются параллельно на шинках управления ШУ панели выпрямленного тока. Питание шинок 1ШУ в РУ осуществляется кабелями, подключаемыми к шинкам ШУ панели выпрямленного тока через автоматические выключатели. Шинки 1ШУ секционируются по числу секций шин РУ. Питание цепей сигнализации (шинки ШС на панели выпрямленного тока и 1 ШС в РУ) и блокировки (шинки ШБ1, ШБ2) осуществляется от отдельных блоков напряжения БПН-1002. Такая схема позволяет отделить цепи защиты, управления и автоматики от других цепей, что существенно повышает их надежность.

Для питания цепей электромагнитов включения выключателей предусмотрены комплектные устройства типа УКП. Число устройств УКП принимается равным числу секций шин РУ. Питание на шинки ШП в РУ 6-10-35 кВ с выключателями, электромагниты включения которых потребляют ток до 150 А, подается через индукционные накопители УКП2. Питание в магистраль электромагнитов включения масляных выключателей 110 кВ и выше подается с выходов "320 А" силового выпрямителя УКП1. Устройства УКП соединяются параллельно на стороне выпрямленного напряжения, чем обеспечивается практически независимое питание при включении на короткое замыкание.

При проектировании РУ и подстанций на выпрямленном оперативном токе необходимо учитывать следующее:

Токовые блоки обеспечивают надежную работу при определенных минимальных значениях первичных токов трансформаторов тока. Поэтому обязательно должна проводиться проверка обеспечения надежной работы блоков в защищаемой сети.

Отключение электродвигателей 10(6) кВ при действии защиты минимального напряжения должно выполняться с помощью предварительно заряженных конденсаторов, так как при исчезновении напряжения блок напряжения не обеспечит питания цепей защиты.

Пульсации выпрямленного напряжения на выходе блоков питания превышают 5%, в связи с чем должны приниматься специальные меры для обеспечения надежной работы устройств, чувствительных к пульсациям. Для сглаживания пульсаций используются сглаживающие фильтры, поставляемые в комплекте блоков питания БПНС-2.

3. РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

К разработке данного раздела приступают после выполнения плана размещения на территории подстанции оборудования, конструкций распредустройств, зданий и сооружений с указанием всех необходимых габаритов и расстояний.

3.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЗЕМЛЯЮЩИМ УСТРОЙСТВАМ ПОДСТАНЦИЙ

На РПП заземляющее устройство (ЗУ) служит: 1) для защиты обслуживающего персонала от опасных напряжений прикосновения к металлическим частям, которые нормально не находятся под напряжением, но могут

оказаться под напряжением из-за повреждения изоляции, а также от опасных напряжений шага (защитное заземление); 2) для присоединения нейтралей трансформаторов и автотрансформаторов (рабочее заземление); 3) для присоединения разрядников и молниеотводов (грозозащитное заземление).

Для выполнения заземления используют естественные и искусственные заземлители. В качестве естественных заземлителей на РПП могут быть использованы заземлители опор ВЛ, соединенные с ЗУ грозозащитным тросом, и свинцовые оболочки кабелей. В качестве искусственных заземлителей применяют горизонтальные и вертикальные стальные стержни или полосы, наименьшие размеры которых приведены ниже:

Диаметр круглых (прутковых) заземлителей, мм:	
неоцинкованных	10
оцинкованных	6
Сечение прямоугольных заземлителей, мм ²	48
Толщина прямоугольных заземлителей, мм	4
Толщина полок угловой стали, мм	4

Размещение горизонтальных заземлителей производится таким образом, чтобы достичь равномерного распределения электрического потенциала на площади, занятой электрооборудованием. Для этой цели на территории РУ прокладывают заземляющие полосы на глубине 0,5-0,7 м вдоль рядов оборудования со стороны обслуживания на расстоянии 0,8-1 м. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены одна к другой, а расстояние между фундаментами или основаниями двух рядов не превышает 3,0 м.

Поперечные заземлители следует прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине 0,5-0,7 м от поверхности земли. Расстояния между ними рекомендуется принимать увеличивающимися от периферии к центру заземляющей сетки. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии, не должны превышать соответственно 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 9,0; 11,0; 13,5; 16,0 и 20,0 м. Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам присоединения нейтралей силовых трансформаторов и короткозамыкателей к заземляющему устройству, не должны превышать 6х6 м².

Вертикальные заземлители длиной 3-5 м обычно располагают в узлах сетки из горизонтальных заземлителей на расстоянии друг от друга не менее собственной длины.

Требования к параметрам ЗУ существенно различаются для установок в зависимости от режима работы нейтрали.

В электроустановках выше 1 кВ сети с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства $R_{\text{зу}}$, Ом, при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть не более [1]:

при использовании заземляющего устройства одновременно для электроустановок напряжением до 1 кВ:

$$R_{\text{зy}} \leq 125/I_{\text{з}}, \quad (3.1)$$

где $I_{\text{з}}$ - расчетный ток замыкания на землю, А; (при этом должны также выполняться требования, предъявляемые к заземлению электроустановок до 1 кВ, т.е. $R_{\text{зy}} < 2$ Ом, 4 Ом или 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В [1]);

при использовании заземляющего устройства только для электроустановок выше 1 кВ:

$$R_{\text{зy}} \leq 250/I_{\text{з}}, \quad (3.2)$$

но не более 10 Ом.

Заземляющие устройства электроустановок выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью следует выполнять с соблюдением требований либо к их сопротивлению, либо к напряжению прикосновения, а также с соблюдением требований к конструктивному выполнению и к ограничению напряжения на заземляющем устройстве до уровня не более 10 кВ [1].

Заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом, включая сопротивление естественных заземлителей [1].

Заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения, должно обеспечивать в любое время года при стекании с него тока замыкания на землю значения напряжений прикосновения, не превышающие нормированных [4](табл.3.1).

За расчетную длительность воздействия τ_B принято:

$$\tau_B = t_{\text{р.з}} + t_{\text{о.в}}, \quad (3.3)$$

где

$t_{\text{р.з}}$ — время действия релейной защиты;

$t_{\text{о.в}}$ — полное время отключения выключателя.

Таблица 3.1

Наибольшие допустимые напряжения прикосновения в зависимости от длительности протекания тока через тело человека

Длительность воздействия, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	1,0-3,0
Наибольшее допустимое	500	400	200	130	100	65

напряжение прикосновения, В						
-----------------------------	--	--	--	--	--	--

Расчет по допустимому сопротивлению $R_{3y} < 0,5$ Ом приводит к неоправданному перерасходу проводникового материала и трудозатрат при сооружении ЗУ подстанций с небольшой площадью, не имеющих естественных заземлителей, а также при высоких сопротивлениях грунта. Расчет ЗУ установок 110 кВ и выше по допустимому напряжению прикосновения зарекомендовал себя как более эффективный и экономичный.

На РПП заземляющее устройство, как правило, выполняется единым для РУ всех напряжений. Целью расчета является определение количества и длины искусственных заземлителей, применение которых позволяет обеспечить требуемое сопротивление $R_{3y} < R_{доп}$. Величина сопротивления $R_{доп}$ выбирается самой малой из следующих величин¹:

1) $R_{доп} = 125 / I_3$, Ом, если на РПП имеются РУ 6-35 кВ; в то же время всегда имеются установки с глухозаземленной нейтралью сети собственных нужд;

2) $R_{доп} = 2$ Ом либо $R_{доп} = 4$ Ом, либо $R_{доп} = 8$ Ом при наличии установок сети с глухозаземленной нейтралью с линейным напряжением 660, 380 и 220 В соответственно;

3) $R_{доп} = 0,5$ Ом, если на РПП имеются РУ 110 кВ и выше и принято решение о выполнении ЗУ с соблюдением требований к его сопротивлению, или $R_{доп} = U_3 / I_3$, Ом (где U_3 - допустимое напряжение на заземлителе, определяемое расчетом), если на РПП имеются РУ 110 кВ и выше и принято решение о выполнении ЗУ с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения.

До начала расчета ЗУ подстанции определяются конфигурация и параметры сетки из горизонтальных заземлителей в соответствии с планом расположения на территории подстанции оборудования, конструкций РУ, зданий и сооружений и с учетом требований к конструктивному исполнению сетки из горизонтальных заземлителей, изложенных выше. В результате вычерчивается план сложного горизонтального заземлителя с указанием необходимых размеров.

Далее направление расчета определяется высшим напряжением на подстанции.

3.2 РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ПОДСТАНЦИЯХ С ВЫСШИМ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-35 кВ

¹ Для РПП в подавляющем большинстве случаев более жесткие требования к сопротивлению единого заземляющего устройства предъявляются со стороны РУ 110 кВ и выше сети с эффективно заземленной нейтралью.

Для подстанций 6-35 кВ ЗУ выполняют, как правило, в виде прямоугольника из полосовой стали с расположенными по контуру вертикальными заземлителями, иногда в виде одного-двух рядов горизонтальных и вертикальных заземлителей. Расчет с достаточной для практических целей точностью можно вести методом коэффициентов использования, принимая грунт однородным по глубине. При этом в курсовом проекте для таких подстанций не учитываются естественные заземлители, так как на практике они в большинстве случаев отсутствуют.

В этом случае расчет ЗУ происходит в следующем порядке:

1. Определяют расчетное удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{расч}} = k_c \cdot \rho, \quad (3.5)$$

где

ρ - удельное сопротивление грунта, измеренное при нормальной влажности, Ом-м;

k_c - коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта.

В средних климатических зонах (вторая, третья) для вертикальных электродов длиной 3-5 м $k_c = 1,45-5-1,15$, для горизонтальных электродов длиной 10-15 м $k_c = 3,5-5-2,0$.

2. Определяют сопротивление, Ом, одного вертикального заземлителя (стержня):

$$r_B = \frac{0,366 \rho_{\text{расч.в}}}{l_B} \left(lg \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} lg \frac{4t_B + l_B}{4t_B - l_B} \right), \quad (3.5)$$

где l_B — длина стержня, м;

t_B — глубина заложения вертикальных заземлителей, равная расстоянию от поверхности земли до середины заземлителя, м;

$\rho_{\text{расч.в}}$ — расчетное сопротивление земли для вертикальных заземлителей. Стержни размещаются по периметру сетки из горизонтальных заземлителей, причем расстояние между ними принимается не менее их длины.

3. Определяют количество вертикальных заземлителей:

$$n_B = \frac{r_B}{R_{\text{доп}} \cdot \eta_B}, \quad (3.6)$$

где η_B — коэффициент использования вертикальных заземлителей, зависящий от расстояния между ними (a), их длины и количества (табл.3.2) и учитывающий их взаимное экранирование.

Таблица 3.2
Коэффициенты использования вертикальных заземлителей, размещенных по контуру без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между вертикальными заземлителями к их длине (а / 1в)	Число электродов Пв	Лв	Отношение расстояния между вертикальными заземлителями к их длине (а / 1в)	Число электродов Пв	Лв
1	4	0,66-0,72	2	20	0,61-0,66
	6	0,58-0,65		40	0,55-0,61
	10	0,52-0,58		60	0,52-0,58
	20	0,44-0,50	3	4	0,84-0,86
	40	0,38-0,44		6	0,78-0,82
	60	0,36-0,42		10	0,74-0,78
2	4	0,76-0,80		20	0,68-0,73
	6	0,71-0,75		40	0,64-0,69
	10	0,66-0,71		60	0,62-0,67

4. Определяют сопротивление горизонтальных заземлителей, (соединительной полосы контура), Ом:

$$r_{\Gamma} = \frac{0,366 \rho_{\text{расч.г}}}{L_{\Gamma}} \lg \frac{2L_{\Gamma}^2}{bt_{\Gamma}}, \quad (3.7)$$

где

L_{Γ} – суммарная длина горизонтальных заземлителей, найденная предварительно по вычерченному плану ЗУ, м;

b - ширина полосы горизонтального заземлителя, м; t_{Γ} - глубина заложения горизонтальных заземлителей, м;

$\rho_{\text{расч.г}}$ – расчетное сопротивление земли для горизонтальных заземлителей.

С учетом коэффициента использования сопротивление сложного горизонтального заземлителя:

$$R_{\Gamma} = \frac{r_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}}, \quad (3.8)$$

где η_{Γ} – коэффициент использования горизонтальных заземлителей (табл.3.3).

5. Определяют необходимое общее сопротивление вертикальных заземлителей с учетом использования соединительной полосы:

$$R_B \leq \frac{R_{\Gamma} \cdot R_{\text{доп}}}{R_{\Gamma} - R_{\text{доп}}}. \quad (3.9)$$

Таблица 3.3

Коэффициент η_{Γ} использования соединительной полосы в контуре из вертикальных электродов

Отношение расстояния между вертикальными заземлителями к их длине (a/l)	Число вертикальных заземлителей						
	4	6	8	10	20	30	50
1	0.45	0.40	0.36	0.34	0.27	0.24	0.21
2	0.55	0.48	0.43	0.40	0.32	0.30	0.28
3	0.70	0.64	0.60	0.56	0.45	0.41	0.37

6. Определяют уточненное количество вертикальных заземлителей:

$$n_{\text{в.н}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{в.н}}}, \quad (3.10)$$

где $\eta_{\text{в.н}}$ — уточненное значение коэффициента использования (используется некоторый итерационный расчет, т.к. $\eta_{\text{в.н}}$ зависит от $n_{\text{в.н}}$).

В результате найдены конечные параметры заземляющего устройства. В случае если требуемое количество вертикальных заземлителей невозможно разместить по контуру ЗУ с соблюдением условия $a/l > 1$, используется один из способов снижения сопротивления ЗУ. Например, увеличение площади, занимаемой ЗУ, увеличение длины вертикальных стержней (но не более 5 м), увеличение сечения заземлителей (применять не рекомендуется), увеличение глубины заложения заземлителей (но не глубже 0,7 м), изменение соотношения между количеством вертикальных стержней и расстояния между ними.

3.3. РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ПОДСТАНЦИЯХ С ВЫСШИМ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 кВ И ВЫШЕ

В реальной практике проектирования заземляющих устройств подстанций расчет сопротивления сложного заземлителя производят с помощью специальных программ на основе результатов специальных замеров характеристик грунта в месте расположения подстанции. В курсовом проекте расчет ЗУ подстанций 110 кВ и выше производится по упрощенной методике [4].

Составляется условная, так называемая расчетная модель заземляющего устройства (рис 3.1), которая представляет собой горизонтальную квадратную сетку из взаимно пересекающихся полос с вертикальными электродами.

Расчетная модель имеет одинаковые с принятой схемой заземлителя: площадь S ; суммарную длину горизонтальных L_z , количество и длины вертикальных L_g электродов; глубину заложения в землю t . Она погружена в однородный грунт с расчетным эквивалентным сопротивлением ρ_3 , Ом-м, при котором сопротивление искусственного заземлителя имеет то же значение, что и в принятой схеме заземлителя в двухслойном грунте.

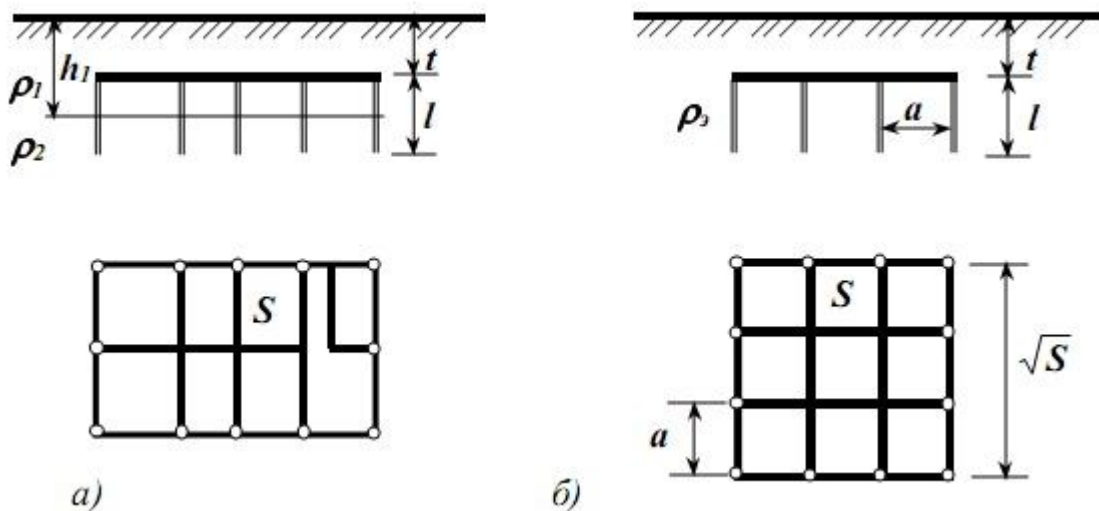


Рис.3.1. К расчету сложных заземлителей:

а - заземляющее устройство подстанции; *б* - расчетная модель

В реальных условиях сопротивление грунта неодинаково по глубине. Верхние слои, как правило, имеют большее удельное сопротивление, а нижние (увлажненные) слои - меньшее сопротивление. В расчетах многослойный грунт представляется двухслойным: верхний толщиной h_1 с удельным сопротивлением ρ_1 , нижний - с удельным сопротивлением ρ_2 . Величины ρ_1 , ρ_2 , h_1 принимаются на основе замеров с учетом сезонного коэффициента k_C (см. выше).

Расчет производится в следующем порядке [4]:

1. Определяют допустимое сопротивление заземляющего устройства. В случае выполнения ЗУ с учетом требования к его сопротивлению $R_{\text{доп}} = 0,5$ Ом. При выполнении ЗУ с учетом требования к напряжению прикосновения $R_{\text{доп}}$ рассчитывают в следующем порядке:

Зная наибольшее допустимое напряжение прикосновения $U_{\text{пр,доп}}$ (см. табл.3.1), определяем напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{\text{пр,доп}}}{k_{\Pi}}, \quad (3.12)$$

где k_{Π} – коэффициент напряжения прикосновения.

Для сложных заземлителей k_{Π} определяется по формуле:

$$k_{\Pi} = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_B \cdot L_r}{a\sqrt{S}}\right)^{0,45}}, \quad (3.12)$$

где l_B – длина вертикального заземлителя, м;

L_r – длина горизонтальных заземлителей², м;

a – расстояние между вертикальными заземлителями, м;

S – площадь заземляющего устройства, м²;

M – параметр, зависящий от ρ/ρ_2 следующим образом:

ρ_1/ρ_2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
M	0,36	0,50	0,62	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82

β – коэффициент, определяемый по сопротивлению тела человека $R_{\text{ч}}$ и сопротивлению растекания тока от ступней R_c :

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{(R_{\text{ч}} + R_c)}. \quad (3.13)$$

В расчетах принимают $R_{\text{ч}} = 1000$ Ом, $R_c = 1,5 \rho_{\text{вс}}$ ($\rho_{\text{вс}}$ – удельное сопротивление верхнего слоя земли).

Допустимое сопротивление заземляющего устройства должно быть, Ом:

$$R_{\text{доп}} = \frac{U_3}{I_3}, \quad (3.14)$$

где I_3 – расчетный ток однофазного к.з. в рассматриваемой установке.

2. Определяют общее сопротивление естественных заземлителей, Ом:

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{r_{\text{каб}}} + \frac{1}{r_{\text{с.т.о}}}}, \quad (3.20)$$

где $r_{\text{каб}}$ – сопротивление растеканию тока свинцовых оболочек кабелей; $r_{\text{с.т.о}}$ – сопротивление растеканию тока системы трос-опоры. Значения их приблизительно могут быть:

система трос – опоры, Ом..... 2,5-3

свинцовые оболочки кабелей³ при удельном сопротивлении грунта 100

² Определяется по вычерченному плану сетки из горизонтальных заземлителей.

³ Ввиду того, что кабели со свинцовыми оболочками в течение последнего времени применяются редко, в курсовом проектировании при расчете ЗУ подстанции они не учитываются.

Ом-м	
1 кабеля, Ом.....	2
2 кабелей, Ом.....	1,5
3 кабелей, Ом.....	1,2

Сопротивление заземления оболочек кабелей при удельном сопротивлении грунта отличном от 100 Ом-м может быть определено по формуле:

$$R = R_0 \cdot \sqrt{\rho/\rho_0}, \quad (3.16)$$

где R_0 - сопротивление заземления оболочек кабелей при $\rho_0=100$ Ом-м.

Если $R_E < R_{дон}$, то сооружается только сетка из горизонтальных полос. Естественные заземлители не менее чем в двух точках связываются с горизонтальным заземлителем. Если $R_E > R_{дон}$, то необходимо сооружение искусственного заземлителя, сопротивление которого:

$$R_{иск} = \frac{R_e \cdot R_{доп}}{R_e - R_{доп}}. \quad (3.17)$$

3. Определяют общее сопротивление сложного заземлителя, преобразованного в расчетную модель (см. рис 3.1), Ом:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_r + L_b}, \quad (3.18)$$

где

$$A = \left(0,444 - 0,84 \cdot \frac{l_b + t}{\sqrt{S}}\right) \text{ при } 0 \leq \frac{l_b + t}{\sqrt{S}} \leq 0,1; \quad (3.19)$$

$$A = \left(0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_b + t}{\sqrt{S}}\right) \text{ при } 0 \leq \frac{l_b + t}{\sqrt{S}} \leq 0,1, \quad (3.20)$$

где

ρ_3 – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом-м (табл. 3.4);

L_b – общая длина вертикальных заземлителей;

$$L_b = n_b \cdot l_b \quad (3.21)$$

Полученное значение R_{3y} должно быть меньше $R_{иск}$.

Если сопротивление заземлителя превышает требуемые величины, то необходимо либо увеличение площади S , либо длины горизонтальных заземлителей L_z , либо числа вертикальных заземлителей n_e и (или) их длины l_e . Все это приводит к дополнительным расходам и на подстанциях трудноосуществимо. Эффективной мерой уменьшения опасности прикосновения является подсыпка гравия или щебня слоем 0,15-0,2 м на

площадках, с которых осуществляется обслуживание оборудования, по всей территории ОРУ. Удельное сопротивление верхнего слоя при этом сильно возрастает (5000-10000 Ом м), что снижает ток, проходящий через человека, так как возрастает сопротивление растеканию тока со ступней R_c . В расчете соответственно уменьшается коэффициент β и увеличивается допустимое сопротивление заземляющего устройства.

Таблица 3.4

Относительное эквивалентное удельное сопротивление грунта для сеток с вертикальными заземлителями $\rho_{\text{э}}/\rho_2$

ρ_1/ρ_2	$a/l_{\text{в}}$	Относительная толщина слоя $(h_1-t)/l_{\text{в}}$						
		0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	0.95
1	1-4	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1.02	1.03	1.05	1.1	1.13	1.3	1.4
	2	1.03	1.07	1.1	1.13	1.15	1.32	1.5
	4	1.05	1.17	1.13	1.15	1.2	1.38	1.6
5	1	1.05	1.1	1.15	1.22	1.35	1.86	2.4
	2	1.22	1.26	1.35	1.43	1.54	2.12	2.7
	4	1.33	1.41	1.5	1.65	1.83	2.6	3.5
10	1	1.1	1.2	1.28	1.38	1.62	2.5	3.7
	2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.75	5.5
	4	1.52	1.7	1.88	2.08	2.33	3.52	6.0
0.125	0.5-4	0.95	0.9	0.8	0.7	0.62	0.54	0.52
0.25	0.5-4	0.97	0.93	0.85	0.78	0.71	0.65	0.64
0.5	0.5-4	0.99	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79	0.77

По результатам разработки данного раздела в разделе приложений пояснительной записки должна быть представлена план-схема сетки горизонтальных заземлителей полученного сложного ЗУ подстанции, начерченная в масштабе с привязкой к контуру внешнего ограждения РПП и с указанием основных размеров и расстояний, точек присоединения вертикальных заземлителей.

4. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИИ

4.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Одним из важных условий бесперебойной работы подстанций является обеспечение надежной грозозащиты зданий, сооружений и электрооборудования.

Защита подстанций от прямых ударов молнии осуществляется стержневыми и тросовыми молниеотводами.

При разработке системы молниезащиты для конкретных подстанций следует пользоваться следующими рекомендациями ПУЭ:

Открытые подстанции и ОРУ напряжением 20-500 кВ должны быть защищены от прямых ударов молнии. Выполнение защиты от прямых ударов молнии не требуется: для подстанций напряжением 20 и 35 кВ с трансформаторами единичной мощностью 1600 кВА и менее - независимо от числа грозových часов в году; для всех ОРУ и подстанций напряжением 20 и 35 кВ в районах с числом грозových часов в году не более 20; для ОРУ и подстанций напряжением 220 кВ и ниже на площадках с удельным сопротивлением грунта в грозовой сезон более 2000 Ом м при числе грозových часов в году не более 20⁴.

Здания ЗРУ и закрытых подстанций следует защищать от прямых ударов молнии в районах с числом грозových часов в году более 20. Защиту зданий ЗРУ и закрытых подстанций, имеющих металлические покрытия кровли или железобетонные несущие конструкции кровли, следует выполнять заземлением этих покрытий (конструкций). Для защиты зданий ЗРУ и закрытых подстанций, крыша которых не имеет металлических покрытий либо железобетонных несущих конструкций или не может быть заземлена, следует устанавливать стержневые молниеотводы или молниеприемные сетки непосредственно на крыше зданий.

Защита от прямых ударов молнии ОРУ напряжением 220 кВ и выше должна быть выполнена стержневыми молниеотводами, устанавливаемыми, как правило, на конструкциях ОРУ (порталах). Следует использовать также защитное действие высоких объектов, которые являются молниеприемниками (опоры ВЛ, прожекторные мачты, радиомачты и др.). На конструкциях ОРУ напряжением 35-150 кВ стержневые молниеотводы могут устанавливаться при эквивалентном удельном сопротивлении грунта в грозовой сезон⁵: до 500 Ом м (35 кВ) и до 1000 Ом м (110 и 150 кВ) - независимо от площади заземляющего контура подстанции; от 500 до 750 Ом м (35 кВ) и от 1000 до 2000 Ом м (110 и 150 кВ) - при площади заземляющего контура подстанции 10000 м² и более.

От стоек конструкции ОРУ с молниеотводами должно быть обеспечено растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в трех-четырех направлениях для ОРУ 35 кВ и не менее чем в двух-трех - для ОРУ 110 и 150 кВ. Кроме того, должно быть установлено соответственно два-три

⁴ Среднегодовую продолжительность гроз в часах можно найти в [9].

⁵ Данная величина сопротивления определяется по данным замеров без учета коэффициента сезонности k_c (см. раздел 3.2).

или один-два вертикальных электрода длиной 3-5 м на расстоянии не меньшем длины электрода от стойки с молниеотводом.

Гирлянды подвесной изоляции на порталах ОРУ 35 кВ с тросовыми или стержневыми молниеотводами, а также на концевых опорах ВЛ 35 кВ в том случае, если трос не заводится на подстанцию, должны иметь на два изолятора больше, чем обычно. Расстояние по воздуху от конструкций ОРУ, на которых установлены молниеотводы, до токоведущих частей должно быть не менее длины гирлянды.

Большую опасность для изоляции трансформаторов представляет установка молниеотводов на трансформаторных порталах, т.к. при поражении молнией молниеотвода, находящегося вблизи трансформатора, кожух трансформатора приобретает потенциал молниеотвода, который может привести к обратному перекрытию изоляции трансформатора [8]. Допускается устанавливать молниеотводы на трансформаторных порталах и конструкциях ОРУ, удаленных от порталов трансформаторов на расстояние менее 15 метров, если удельное сопротивление грунта на площадке подстанции в грозовой сезон не превышает 350 Ом-м, при соблюдении условий:

- непосредственно на выводах обмоток 3-35 кВ или на расстоянии не более 5 м по ошиновке от выводов установлены вентильные разрядники;
- присоединение стоек порталов с молниеотводами к магистралям заземления выполняется таким образом, чтобы обеспечивалась возможность растекания тока молнии в трех-четырёх направлениях;
- на магистралях заземления, на расстоянии 3-5 м от стойки с молниеотводом, должно быть установлено два-три вертикальных электрода длиной 5 м;
- на подстанциях с высшим напряжением 20 и 35 кВ сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом без учета заземлителей, расположенных вне контура заземления ОРУ.

Защиту от прямых ударов молнии ОРУ, на конструкциях которых установка молниеотводов не допускается или нецелесообразна по конструктивным соображениям, следует выполнять отдельно стоящими молниеотводами, имеющими обособленные заземлители с сопротивлением не более 80 Ом.

Молниеотводы состоят из четырех конструктивных элементов [9] (рис 4.1): молниеприемника 1, несущей конструкции 2, токоотвода 3 и заземлителя 4. Молниеприемник должен надежно противостоять механическим и тепловым воздействиям тока молнии. Несущая конструкция должна иметь высокую механическую прочность, которая исключила бы случаи падения молниеотвода на оборудование подстанции. Токопроводящий спуск молниеотвода соединяется с заземляющим

устройством ОРУ. Электрические соединения отдельных частей токоотвода между собой, с молниеотводом и ЗУ выполняются при помощи сварки. Необходимо предусмотреть антикоррозионные покрытия токоотводов.

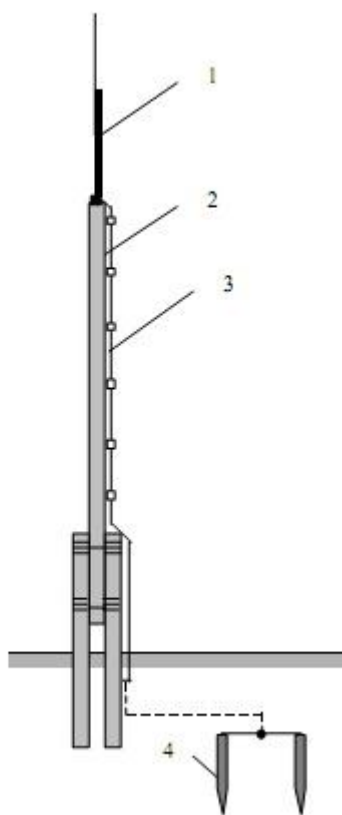


Рис. 4.1. Стержневой отдельно стоящий молниеотвод:
1 – молниеприемник; 2 – несущая конструкция; 3- токопровод; 4 – заземлитель.

4.2. РАСЧЕТ ЗОН ЗАЩИТЫ МОЛНИЕОТВОДОВ

К разработке данного раздела приступают после выполнения плана размещения на территории подстанции оборудования, конструкций, распреустройств, зданий и сооружений с указанием всех необходимых габаритов и расстояний.

По результатам на моделях доказано, что вокруг стержневого молниеотвода существует защищенная зона, которая не поражается прямым ударом молнии [9] (рис.4.2). Согласно методу расчета и построения зон защиты она представляется в вертикальном сечении конусом с образующей в виде гиперболы. Если высота защищаемого объекта (наиболее выступающих частей оборудования или конструкций РУ) равна h_x , то для этой высоты радиус зоны защиты молниеотвода, м:

$$r_x = \frac{1,6h_a}{1+\frac{h_x}{h}} \cdot p, \quad (4.1)$$

где

h - высота молниеотвода, м;

$h_a = h - h_x$ - активная высота молниеотвода, м;

p - коэффициент для разных высот молниеотводов ($p=1$ при высоте молниеотвода до 30 м; $p=5$, для молниеотводов при высоте более 30 м). Для более общего случая двух стержневых молниеотводов разной высоты зона защиты представлена на рис.4.3.

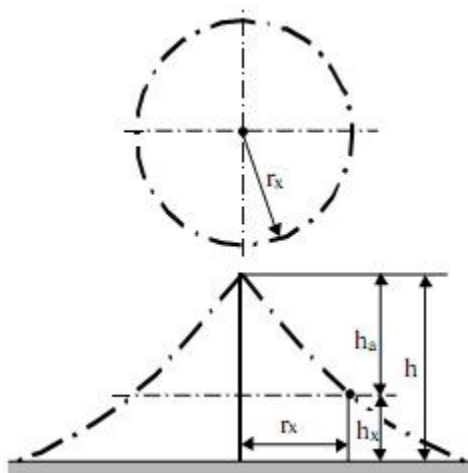


Рис. 4.2. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 60м:

h - высота молниеотвода; h_a - активная высота молниеотвода; h_x –высота точки на границе защищаемой зоны.

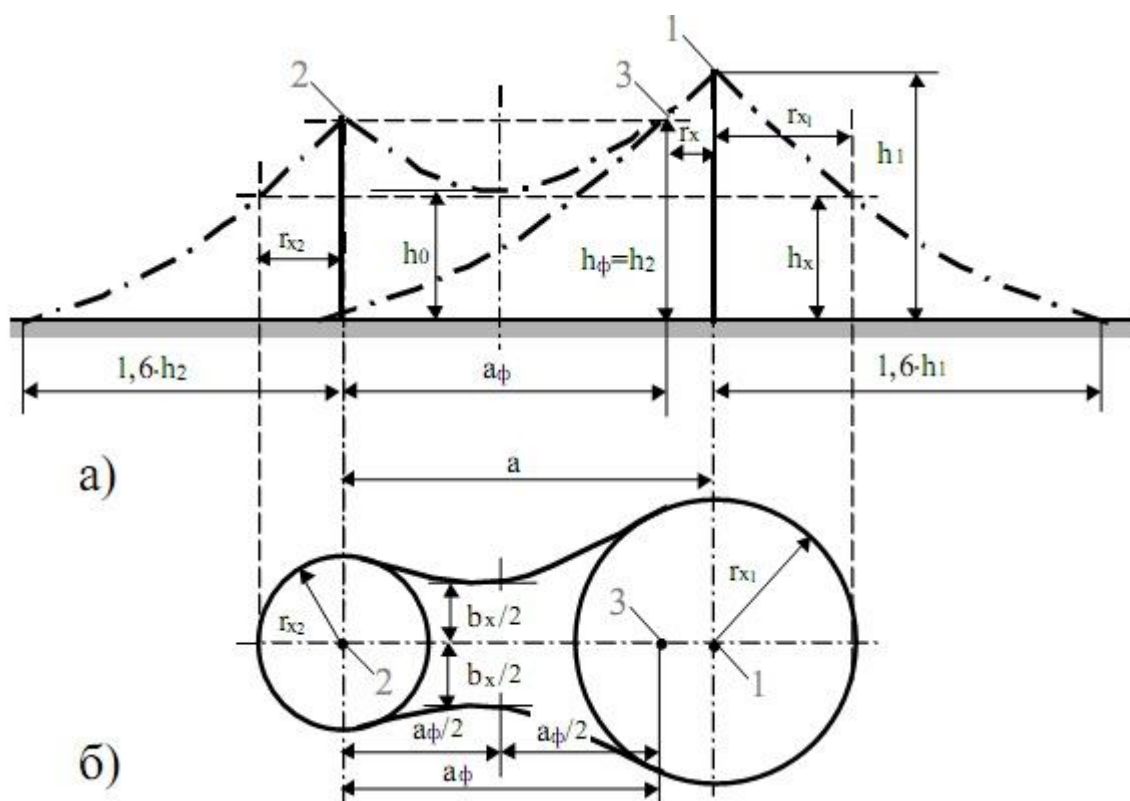


Рис.4.3. Зона защиты двух молниеотводов разной высоты на уровне h_x :
 а - в вертикальном сечении; б - в горизонтальном сечении; 1, 2 -
 молниеотводы; 3 -вершина фиктивного молниеотвод

Зона защиты в этом случае строится начиная с молниеотвода большей высоты следующим образом. Для каждого молниеотвода в отдельности определяются границы внешней зоны с радиусами r_{x1} и r_{x2} (см. рис.4.3) по формуле (4.1). Затем из вершины молниеотвода 2 с меньшей высотой проводится горизонтальная линия до пересечения в точке 3 с границей защитной зоны молниеотвода 1 (как показано на рис.4.3,а). Расстояние r_x от точки 1 до точки 3 легко найти по формуле (4.1), приняв для молниеотвода 1 $h_x=h_2$. Очевидно:

$$a_\phi = a - r_x, \quad (4.2)$$

где

a_ϕ - расстояние между молниеотводом 2 меньшей высоты и фиктивным молниеотводом 3 такой же высоты, м;

a - расстояние между молниеотводами 1 и 2, м.

Величина h_0 расстояния от земли до нижней точки защитной зоны определяется по формуле:

$$h_0 = h_2 - \frac{a_\phi}{7p}. \quad (4.3)$$

Величина коэффициента p та же, что и в формуле (4.1).

Наименьшая ширина зоны защиты b_x в середине между молниеотводами реальным 2 и фиктивным 3 в горизонтальном сечении на высоте h_x определяется по кривым (рис.4.4). Для молниеотводов высотой более 30 м значения по оси ординат и по оси абсцисс уменьшаются путем умножения на коэффициент $p=5,5\sqrt{h}$.

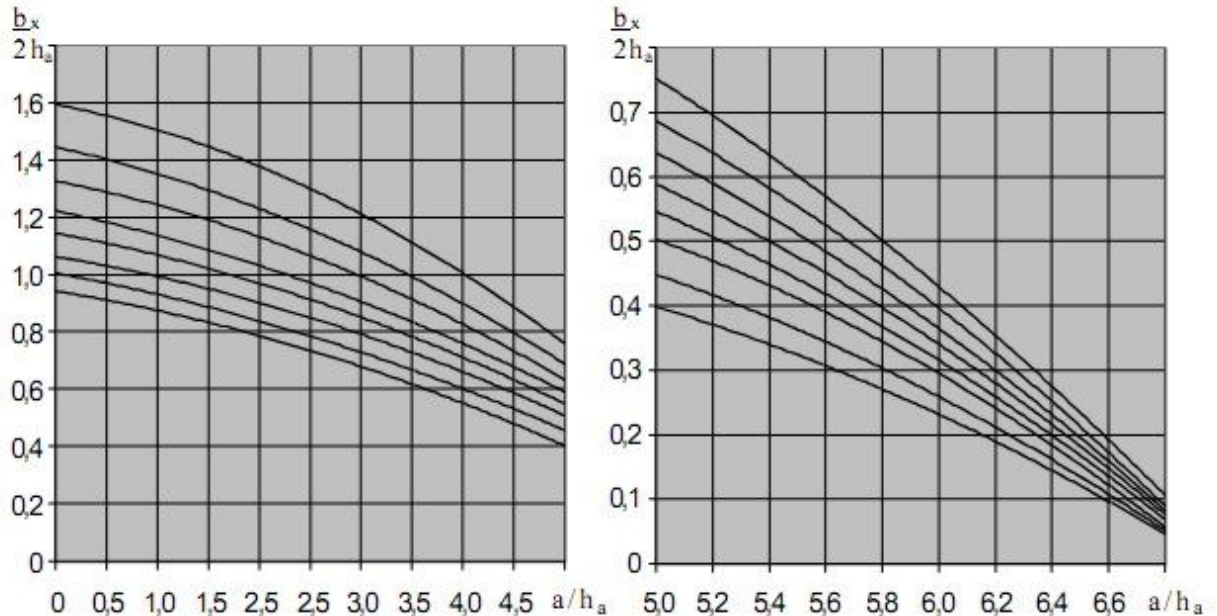


Рис.4.4. Значение наименьшей ширины зоны защиты b_x двух стержневых молниеотводов с высотой h менее 30 м:

а - для $a/h_a = 0 \div 5$; б - для $a/h_a = 5 \div 7$

Два молниеотвода взаимодействуют между собой только в том случае, когда расстояние между ними a не превышает $7h_a$. При расстоянии a более $7h_a$ между зонами 100%-ного поражения обоих молниеотводов образуется незащищенное пространство, в котором расположенные объекты могут поражаться грозовыми разрядами.

Зона защиты трех и более молниеотводов (многократный молниеотвод) значительно превышает сумму зон защиты одиночных молниеотводов. Построение последовательным построением внешней кромки для каждой смежной пары молниеотводов (см. рис.4.5).

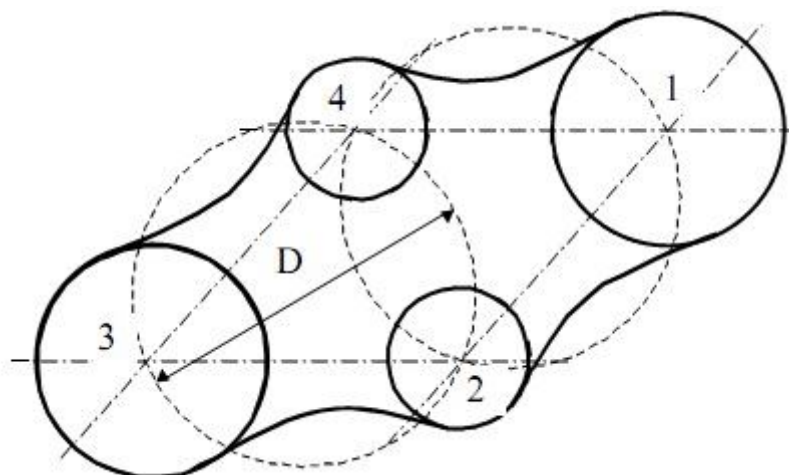


Рис.4.5. Зона защиты четырех стержневых произвольно расположенных молниеотводов разной высоты в горизонтальном сечении на уровне h_x :

1, 2, 3, 4 - молниеотводы

Оборудование, расположенное внутри защитной зоны (четыреугольник 1-2-3-4), защищено при выполнении условия:

$$D \leq 8h_a p, \quad (4.4)$$

где

D - диаметр окружности, проходящей через точки установки молниеотводов, м.

4.3. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИИ

Расчет устройств молниезащиты подстанции проводят, придерживаясь примерно следующего порядка:

1. В зависимости от способа выполнения РУ подстанции (закрытые или открытые) выбирают способ защиты от прямых ударов молнии. Молниезащита ЗРУ, как правило, не требует специального расчета. Далее будем рассматривать подстанции с открытыми РУ и КРУН.

Небольшие подстанции с высшим напряжением 35 кВ могут быть защищены одним стержневым молниеотводом, устанавливаемым на концевой опоре ВЛ 35 кВ или на мачте наружного освещения подстанции. В качестве защищаемого объекта наибольшей высоты выбирают линейный портал. Задачей расчета является определение высоты такого молниеотвода.

2. Определяют возможность выполнения молниезащиты РПП молниеотводами, размещаемыми на порталах ОРУ, что значительно дешевле. Если не выполняются требования ПУЭ, упомянутые выше, молниезащиту

выполняют отдельно стоящими молниеотводами с обособленными заземляющими устройствами.

3. Молниеотводы, размещаемые на конструкциях ОРУ, устанавливаются на стойках линейных (ячейковых) порталов. Отдельно стоящие молниеотводы размещают вне ОРУ по контуру внешнего ограждения подстанции. В зависимости от расположения оборудования на территории подстанции намечают к установке сначала небольшое количество молниеотводов, которое зависит от размеров подстанции.

4. В качестве защищаемого объекта наибольшей высоты выбирают шинный портал ОРУ данного напряжения. Согласно плана подстанции находят для каждого ОРУ расстояние от точек установки ближайших молниеотводов до шинных порталов этого ОРУ (наиболее удаленных точек порталов). По известным h_x , r_x и a , используя формулы (4.1), (4.2) и кривые рис.4.4, подбирают необходимую высоту молниеотводов таким образом, чтобы шинные порталы оказались в пределах защитной зоны для высоты h_x .

Одновременно проверяется защищенность других конструкций и оборудования меньшей высоты, находящихся на большем расстоянии от молниеотводов, чем наиболее удаленный шинный портал, а также шинных порталов, находящихся внутри защитной зоны по формуле (4.4).

Для молниеотводов, выполняемых на порталах, общая высота не должна превышать суммы высот соответствующего линейного портала и металлической стойки с молниеприемником (высота последней не должна превышать 7,84 м).

5. Если максимально возможной высоты молниеотводов на порталах не достаточно для защиты какого-либо ОРУ, для него принимают решение об установке большего количества молниеотводов. Расчет повторяют заново.

Если и в этом случае не удастся обеспечить защиту территории от ударов молнии, требуется установка дополнительно отдельно стоящих молниеотводов или выполнение молниезащиты ОРУ полностью отдельно стоящими молниеотводами. Конструкции таких молниеотводов описаны в [9].

По результатам разработки данного раздела в разделе приложений пояснительной записки должна быть представлена план-схема установки молниеотводов на территории подстанции, начерченная в масштабе с привязкой к контуру внешнего ограждения РПП и с указанием основных размеров и расстояний, высот молниеотводов, высот защищаемых объектов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица

Область применения различных систем оперативного тока на подстанциях

Сторона высшего напряжения		Сторона среднего напряжения		Сторона низшего напряжения 10(6) кВ		Вид оперативного тока	Примечание
Напряжение, кВ и схема электрических соединений	Выключатели и приводы	Напряжение, кВ и схема электрических соединений	Выключатели и приводы	схема электрических соединений	Выключатели и приводы		
1	2	3	4	5	6	7	8
110-220, сборные шины	Масляные или воздушные	35-110, сборные шины	Масляные или воздушные	Любая	Масляные с электромагнитным приводом	Постоянный	-
35-220, любая схема	Воздушные	35-110, любая схема	То же	То же			
35-220, любая схема	Масляные	35-110, любая схема	Масляные с электромагнитным приводом				Установлены выключатели, для которых испытаниями не подтверждена возможность независимого питания электромагнитов включения от выпрямительных устройств
110-220, с малым числом выключателей (мостик, четырехугольник и т.п.)	Масляные с пофазным электромагнитным приводом	110, сборные шины	Масляные			Постоянный или смешанный	Смешанная система для выключателей на стороне ВН и СН, допускающих питание включающих электромагнитов от выпрямительных устройств
110, с малым числом выключателей	Масляные с трехфазным электромагнитным или пружинным приводом	35, сборные шины	Масляные с электромагнитным приводом			Выпрямленный	Выключатели с электромагнитным приводом допускают включение от выпрямительных устройств при независимом питании

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
35, любая схема с выключателями	Масляные с пружинным приводом	-	-		Масляные с пружинным приводом	Переменный	-
35, любая схема с выключателями	Масляные с электромагнитным приводом	-	-		Масляные с электромагнитным приводом на вводах и с пружинным на остальных присоединениях	Смешанный	Выключатели с электромагнитным приводом допускают включение от выпрямительных устройств при зависимом питании
35, любая схема с выключателями	То же	-	-		Масляные с электромагнитным приводом	Выпрямленный	То же
35-220, без выключателей	-	35, сборные шины	Масляные с пружинным приводом		Масляные с пружинным приводом	Переменный	-
			Масляные с электромагнитным приводом на вводах питания и с пружинным на остальных присоединениях		Масляные с электромагнитным приводом на вводах питания и с пружинным на остальных присоединениях	Смешанный	Выключатели с электромагнитным приводом допускают включение от выпрямительных устройств при зависимом питании
			Масляные с электромагнитным приводом		Масляные с электромагнитным приводом	Выпрямленный	То же

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. - 6-е изд.- М.: Энергоатомиздат, 1985. - 640 с.
2. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Генерирование и передача электроэнергии» / НГТУ; Сост.: И.В. Кованова, Е.И. Татаров, Т. М. Щеголькова. - Нижний Новгород, 1994.- 30 с.
3. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. -М.: Энергоатомиздат, 1987. - 400 с.: ил.
4. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. -4-е изд. - М.: Энергия, 1986. -600 с.: ил.
5. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. - М.: Энергия, 1979. - 408 с.: ил.
6. Рябкова Е. Я. Заземления в установках высокого напряжения. - М.: Энергия, 1978. - 224 с.: ил.
7. Найфельд Н.М. Заземление и защитные меры безопасности. - М.: Энергия, 1971.-234 с.: ил.
8. Гук Ю.Б., Кантан В.В., Петрова С.С. Проектирование электрической части станций и подстанций. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 312 с.: ил.
9. Юриков П.А. Защита электростанций и подстанций 3-500 кВ от прямых ударов молнии. - М.: Энергоиздат, 1982. - 88 с.: ил.
- 10.Справочник по проектированию подстанций 35- 500 кВ / Под ред. С.С. Рокотяна, Я.С. Самойлова. - М.: Энергоатомиздат, 1982. -352 с.: ил.
- 11.Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. - М.: Энергия, 1990. - 456 с.: ил.
- 12.Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / Под ред. И.А. Баумштейна, С. А. Бажанова. - М.: Энергоатомиздат, 1989.- 768 с.
- 13.Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов / А. А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Неяшкова и др.; Под ред. А. А. Васильева.- М.: Энергия, 1990.-608 с.: ил.
- 14.Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций напряжением 3-750 кВ переменного тока (вторая редакция), 1992г.
- 16.Электрическая часть станций и подстанций: [Справочные материалы] / Под ред. Б.Н. Неклепаева.- М.: Энергоиздат, 1989.- 409 с.
- 17.Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ.-М.: Энергосетьпроект, 1991.- 65 с.