

№ 4307

621.311

Э 454

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические указания

**НОВОСИБИРСК
2013**

621.311
Э 454

№ 4307

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ № 5, 6, 7, 8
для студентов всех курсов факультета энергетики
(направление 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»)
всех форм обучения

УДК 621.311.2+621.311.4 (076.5)
Э 454

Составители:

канд. техн. наук, доцент *В.И. Ключенович*
канд. техн. наук, доцент *Г.А. Сарапулов*
канд. техн. наук, доцент *Г.М. Глазырина*
канд. техн. наук, доцент *М.А. Купарев*
ст. преп. *Л.Б. Быкова*

Рецензент

канд. техн. наук, доцент *В.А. Давыдов*

Работа выполнена на кафедре электрических станций

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Работа № 5. Ограничение токов короткого замыкания	5
Работа № 6. Оперативные переключения в схемах распределительных устройств	18
Работа № 7. Знакомство с конструкциями высоковольтных аппаратов	31
Работа № 8. Схемы дистанционного управления выключателями.....	52
Библиографический список.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Каждая лабораторная работа рассчитана на четыре часа *самостоятельной* внеаудиторной работы студентов, в течение которых он должен изучить материал, относящийся к указанной теме, не только по данным методическим указаниям, но и по приведенной в работе литературе, и четыре часа аудиторных занятий в лаборатории электрических станций. Ознакомление студентов с целью и содержанием лабораторной работы должно производиться заранее, чтобы с наибольшим эффектом использовать время, отведенное для ее выполнения.

К предстоящей лабораторной работе кроме теоретической подготовки студентам необходимо иметь подготовленный заранее протокол-отчет.

К работе допускаются студенты, представившие оформленный отчет и защитившие предыдущую работу.

Лабораторная работа № 5

ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

5.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Знакомство с методами ограничения токов КЗ и сопоставление токоограничивающего действия различных схем и устройств.

5.2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Измерение индуктивных сопротивлений секционного и линейных реакторов; напряжений КЗ двухобмоточного трансформатора и трансформатора с расщепленной обмоткой.

2. Определение по результатам измерений коэффициента связи сдвоенного реактора и коэффициента расщепления трансформатора с расщепленной обмоткой.

3. Расчет токов КЗ и их экспериментальная проверка для схем с различными методами и средствами ограничения токов КЗ.

4. Определение расчетным и опытным путем остаточного напряжения на шинах при КЗ за простым и сдвоенным линейными реакторами.

5. Определение потери напряжения в простом и сдвоенном линейном реакторе.

5.3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

5.3.1. МЕТОДЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КЗ

В мощных электроустановках токи КЗ во много раз превышают номинальные токи и могут достигать десятков, а иногда и сотен килоампер. Максимальный уровень токов КЗ для сетей напряжением 35 кВ и выше сдерживается отключающей способностью выключателей, параметрами трансформаторов, проводников и другого электрооборудования, условиями сохранения устойчивости энергосистемы. В сетях генераторного

напряжения, в сетях собственных нужд ЭС и в распределительных сетях 6–20 кВ – параметрами электрических аппаратов, термической стойкостью кабелей, устойчивостью двигательной нагрузки [2].

Наиболее распространенные и действенные способы ограничения токов КЗ [2]:

Секционирование электрической сети, т. е. деление сети на части путем отказа от параллельной работы источников питания и использования естественных индуктивных сопротивлений трансформаторов и линий электропередач, служит эффективным средством, которое позволяет уменьшить уровни токов КЗ в 1,5...2 раза. Пример секционирования с целью ограничения токов показан на рис. 5.1, а.

Рис. 5.1. Схемы для анализа применения средств ограничения токов короткого замыкания

Когда секционный выключатель QV включен, ток КЗ от генератора G_1 проходит непосредственно к месту повреждения.

Если выключатель QV отключен, сопротивления двух последовательно включенных трансформаторов резко снижают ток КЗ по сравнению с предыдущим случаем.

Секционирование электрической сети обычно влечет за собой увеличение потерь электроэнергии в трансформаторах и линиях, а также разные уровни напряжения на секциях в нормальном режиме работы, так как распределение потоков мощности при этом может быть неоптимальным.

Расщепление обмотки низкого напряжения на две части понижающих трансформаторов собственных нужд ЭС и подстанций применяют при мощности трансформатора 25 МВ·А и выше. Это позволяет увеличить сопротивление такого трансформатора в режиме КЗ в 1,5...2 раза по сравнению с трансформатором без расщепленной обмотки.

Для увеличения сопротивления току КЗ и, следовательно, его ограничения широко используются токоограничивающие реакторы. Реакторы служат не только для ограничения токов КЗ в мощных электроустановках, но и для поддержания определенного уровня остаточного напряжения на шинах при повреждениях за реакторами.

Основная область применения реакторов – электрические сети напряжением 6–10 кВ. Иногда токоограничивающие реакторы используются в установках 35 кВ и выше.

При необходимости «глубокого» ограничения тока КЗ применяют специальные ограничители ударного тока [11].

В тех случаях, когда требуется значительное ограничение тока КЗ при минимальной потере напряжения в нормальном режиме, применяют специальные токоограничивающие устройства, например, БТУ – безынерционные токоограничивающие устройства. Сопротивление БТУ в нормальном режиме приближается к минимально возможному благодаря компенсации индуктивности реактора последовательно включенной емкостью. При КЗ емкость закорачивается и ток КЗ ограничивается значительным сопротивлением некомпенсированного реактора.

5.3.2. РЕАКТОРЫ

Реактор представляет собой индуктивную катушку, не имеющую сердечника из магнитного материала. Благодаря этому он обладает постоянным (линейным) сопротивлением, не зависящим от протекающего тока.

Основным параметром реактора является его индуктивное сопротивление $X_p = \omega L$. Эффект ограничения тока и поддержания остаточного напряжения на шинах при КЗ за линейным реактором тем выше, чем больше величина индуктивного сопротивления X_p . Однако по условиям работы электроустановки в нормальном режиме чрезмерно увеличивать сопротивление реактора нельзя из-за одновременного увеличения потери напряжения при протекании рабочего тока. Поэтому желательно иметь такой реактор, индуктивное сопротивление которого минимально в рабочем режиме и максимально при КЗ. Этому требованию достаточно полно отвечает сдвоенный реактор.

5.3.3. СДВОЕННЫЕ РЕАКТОРЫ

Сдвоенные реакторы конструктивно подобны обычным реакторам, но из средней точки обмотки имеется дополнительный общий вывод.

Преимуществом сдвоенного реактора является увеличение или уменьшение его индуктивного сопротивления в зависимости от схемы включения и направления токов в обмотках. Это свойство обычно используется для уменьшения потери напряжения в нормальном режиме и ограничения токов при КЗ.

Ветви реакторов выполняются на одинаковый номинальный ток $I_{\text{ном}}$, а средний вывод – на удвоенный номинальный ток $2I_{\text{ном}}$. За номинальное сопротивление сдвоенного реактора принимают сопротивление ветви обмотки при отсутствии тока в другой ветви:

$$X_p = X_B = \omega L, \quad (5.1)$$

где L – индуктивность ветви реактора. Индуктивности ветвей обычно равны между собой.

Особенности сдвоенного реактора определяются наличием магнитной связи между ветвями обмотки каждой фазы (взаимной индуктивности M).

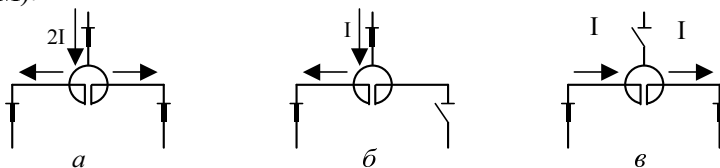


Рис. 5.2. Режимы работы (схемы включения) сдвоенного реактора:
а – сквозной; б – одноцепной; в – продольный

В сквозном режиме (рис. 5.2, а), токи в ветвях равны и протекают в противоположных направлениях, магнитные потоки самоиндукции и взаимной индукции направлены встречно и падение напряжения в ветви реактора

$$\Delta U = I\omega L - I\omega M = I\omega L(1 - K_{\text{св}}), \quad (5.2)$$

где $K_{\text{св}} = M/L$ – коэффициент связи ветвей. Обычно выполняют реактор с $K_{\text{св}} = 0,4 \dots 0,6$.

Если $X_{\text{в}} = \omega L$, то в соответствии с (5.2) можно записать соотношение

$$X'_{\text{в}} = X_{\text{в}}(1 - K_{\text{св}}), \quad (5.3)$$

где $X'_{\text{в}}$ – индуктивное сопротивление ветви с учетом взаимной индукции.

При $K_{\text{св}} = 0,5$ и соответственно сопротивлению $X'_{\text{в}} = 0,5 X_{\text{в}}$ следует, что потеря напряжения в сдвоенном реакторе в нормальном режиме вдвое меньше, чем в обычном реакторе.

При КЗ в одной из ветвей реактора ток в этой ветви значительно превышает ток в неповрежденной ветви. Согласно (5.2) относительное влияние взаимной индуктивности значительно уменьшается и потеря напряжения в реакторе, а также эффект токоограничения определяются в основном собственным индуктивным сопротивлением ветви $X_{\text{в}} = \omega L$, что практически соответствует одноцепному режиму. Таким образом, сопротивление сдвоенного реактора в режиме КЗ возрастает при $K_{\text{св}} = 0,5$ в 2 раза по сравнению с нормальным режимом, приближаясь к сопротивлению простого реактора $X_{\text{р}} = X_{\text{в}} = \omega L$ с такими же параметрами (рис. 5.2, б).

При использовании реактора по схеме рис. 5.2, в (продольный режим) выявляется дополнительное его свойство. При КЗ на выводах одной ветви ток от источника питания, подключенного к другой ветви, протекает в одном направлении. Взаимная индуктивность действует в соответствии с собственной индуктивностью обмоток, и продольное сопротивление реактора

$$X_{\text{пр}} = 2\omega L + 2\omega M = 2\omega L(1 + K_{\text{ов}}) = 2X_{\text{в}}(1 + K_{\text{св}}), \quad (5.4)$$

при $K_{\text{св}} = 0,5$, $X_{\text{пр}} = 3X_{\text{в}}$, обеспечивая токоограничивающий эффект.

Из приведенных выше соотношений вытекает схема замещения сдвоенного реактора, показанная на рис. 5.3, удовлетворяющая всем рассмотренным режимам.

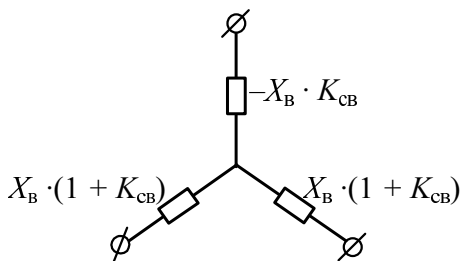


Рис. 5.3. Схема замещения
сдвоенного реактора
для расчета токов КЗ

В электроустановках широко применяют сдвоенные бетонные реакторы с алюминиевой обмоткой типа РБС-10 для внутренней и наружной установок.

5.3.4. ТРАНСФОРМАТОР С РАСЩЕПЛЕННОЙ ОБМОТКОЙ

Трансформатор с расщепленной обмоткой – это разновидность трех-обмоточного трансформатора. В таком трансформаторе обмотка низшего напряжения каждой фазы выполнена из двух частей (ветвей), расположенных относительно обмотки высшего напряжения (рис. 5.4, а).

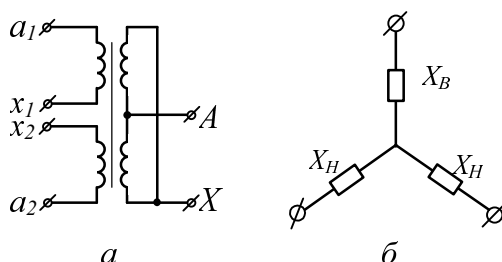


Рис. 5.4. Трансформатор
с расщепленной обмоткой низшего напряжения:
а – расположение обмоток; б – схема замещения

Обмотки низшего напряжения имеют одинаковые номинальные напряжения. Мощность каждой обмотки составляет половину номинальной мощности трансформатора. Достоинство такого трансформатора заключается в большом напряжении КЗ между ветвями, что дает возможность ограничить ток КЗ на стороне низшего напряжения.

Одним из основных параметров трансформатора с расщепленной обмоткой является коэффициент расщепления

$$K_p = \frac{2X_H}{X_{B-H//H}} = \frac{U_{K-H-H}}{U_{KB-H//H}}, \quad (5.5)$$

равный отношению напряжения КЗ между ветвями расщепленной обмотки U_{K-H-H} к напряжению КЗ между обмоткой высшего напряжения и параллельно соединенными ветвями расщепленной обмотки. Сопротивления лучей схемы замещения трансформатора с обмоткой низшего напряжения, расщепленной на две части (рис. 5.4, б), определяются из следующих соотношений:

$$X_B = X_{B-H//H} \left(1 - \frac{K_p}{4} \right);$$

$$X_H = X_{B-H//H} \frac{K_p}{2}. \quad (5.6)$$

5.4. ОПИСАНИЕ СТЕНДА

Стенд выполнен в виде вертикальной панели, на лицевой стороне которой изображена мнемосхема электрической станции с двумя генераторами, работающими на две секции сборных шин генераторного напряжения. Связь шин генераторного напряжения с системой может быть выполнена одним из четырех вариантов:

а) двухобмоточным трансформатором и сдвоенным секционным реактором;

б) трансформатором с расщепленной обмоткой;

в) двухобмоточным трансформатором;

г) двумя трансформаторами, подключенными к разным секциям генераторного напряжения, одним из которых является трансформатор с расщепленной обмоткой с параллельным соединением ветвей.

К одной из секций сборных шин подключены потребительские линии через простой и сдвоенный линейные реакторы.

На стенде смонтированы тумблеры Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, имитирующие выключатели; клавиши выбора точки короткого замыкания ВКЗ; кнопка короткого замыкания КЗ; амперметры, вольтметры и автоматы АВ1 и АВ2 питания стенда.

Внешний вид фасада панели показан на рис. 5.5. С тыльной стороны панели расположены контакторы, схема автоматического ограничения

длительности КЗ, а также весь монтаж стенда. Элементы схемы замещения электрической схемы станции расположены внизу, позади стенда.

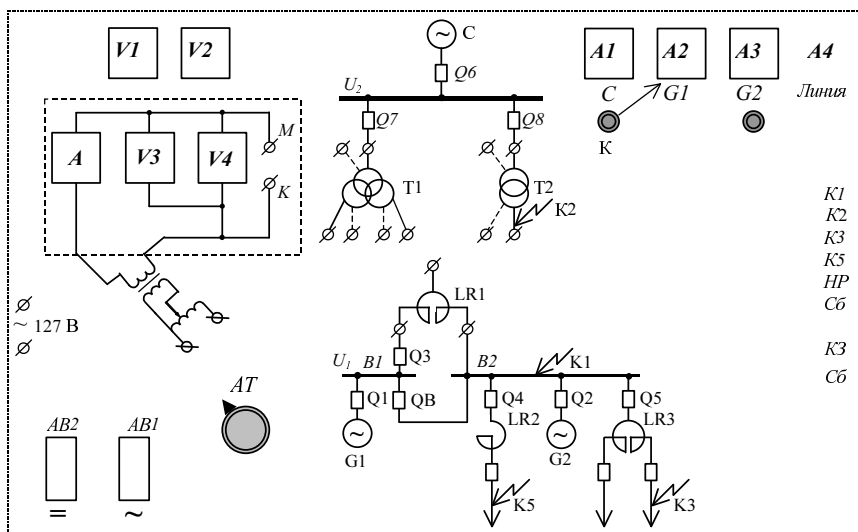


Рис. 5.5. Вид фасада панели

Предупреждение: **ПРИНЯТО ОДНОФАЗНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ СХЕМЫ.**

Амперметры А2 и А3 установлены соответственно в цепях генераторов G1 и G2. Амперметр А1 установлен со стороны обмотки ВН трансформатора связи, имеющего коэффициент трансформации $K_T = 6$. Амперметр А4 измеряет ток в одной из потребительских линий генераторного напряжения.

Амперметр А2 цепи генератора G1 нормально включен через трансформатор тока с $K_{ТТ} = 20/5$. При удаленном КЗ, когда ток в цепи G1 не превышает 5 А, амперметр А2 включается с помощью кнопки К1 непосредственно в цепь генератора.

Амперметр А3 включен через трансформатор тока с $K_{ТТ} = 50/20$.

Вольтметр V1 включен на первую секцию шин генераторного напряжения, вольтметр V2 – на шины системы.

Короткое замыкание можно произвести в одной из четырех точек КЗ. Для этого вначале следует снять питание со стенда (отключить автомат А), а затем перевести ключ ВКЗ в положение, соответствующее точке КЗ, включить автоматы АВ1 и АВ2 и нажать кнопку К3.

5.5. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КЗ

Система: $S_c = 4,4 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $X_c = 0,7$, $U_c = 127 \text{ В}$.

Генераторы: G1 и G2; $U_{\text{ном}} = 21 \text{ В}$, $S_{\text{ном}} = 150 \text{ В} \cdot \text{А}$, $X_g = 0,23$.

Трансформаторы: $U_{\text{вн}} = 127 \text{ В}$, $U_{\text{нн}} = 21 \text{ В}$; $S_{\text{ном}} = 150 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Трансформатор с расщепленной обмоткой: $U_{\text{вн}} = 127 \text{ В}$, $U_{\text{нн1}} = 21 \text{ В}$, $U_{\text{нн2}} = 21 \text{ В}$, $S_{\text{ном}} = 150 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Секционный сдвоенный реактор: $U_{\text{ном}} = 20 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 2 \cdot 5 \text{ А}$.

Линейные реакторы:

а) простой – $U_{\text{ном}} = 20 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 4 \text{ А}$;

б) сдвоенный – $U_{\text{ном}} = 20 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 2 \cdot 4 \text{ А}$;

Параметры трансформаторов и реакторов приведены не полностью. Для расчетов токов КЗ необходимо иметь их индуктивные сопротивления, которые определяются опытным путем методом вольтметра-амперметра.

5.6. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Измерить сопротивление простого реактора и сопротивления сдвоенных реакторов в одноцепном, сквозном и продольном режимах; рассчитать коэффициент связи и сопротивления лучей схемы замещения.

2. Измерить напряжения КЗ трансформаторов, рассчитать коэффициент расщепления и сопротивления лучей схемы замещения.

3. Рассчитать токи КЗ в точках К1–К4 для одного из четырех (по заданию преподавателя) вариантов связи с системой:

- через трансформатор и секционный сдвоенный реактор;
- через трансформатор с расщепленной обмоткой;
- через два трансформатора связи, когда секционный выключатель QB (CB) отключен;
- через два трансформатора связи, когда QB отключен.

4. Измерить токи КЗ и сопоставить с расчетами.

5. Сравнить токоограничивающее действие двухобмоточного трансформатора и трансформатора с расщепленной обмоткой.

6. Исследовать влияние раздельной работы источников питания на величину токов КЗ.

7. Рассчитать и проверить опытным путем остаточное напряжение на шинах при КЗ за линейным реактором.

8. Определить потерю напряжения в линейных реакторах в нормальном режиме расчетным и опытным путем.

9. Сравнить свойства простого и сдвоенного линейных реакторов.

5.7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

К п. 1. Измерение сопротивлений реакторов

Индуктивное сопротивление простого реактора можно определить непосредственно методом амперметра-вольтметра (рис. 5.6), поскольку его активное сопротивление пренебрежимо мало и можно принять $X_p = Z_p$.

Напряжение следует измерять непосредственно на зажимах реактора.

На рис. 5.6 Т1(АТ) – регулировочный автотрансформатор (ЛАТР); Т2 (НТ) – нагрузочный трансформатор; LR – испытываемый реактор. Для удобства измерений следует включить в систему еще один ЛАТР и многопредельный амперметр.

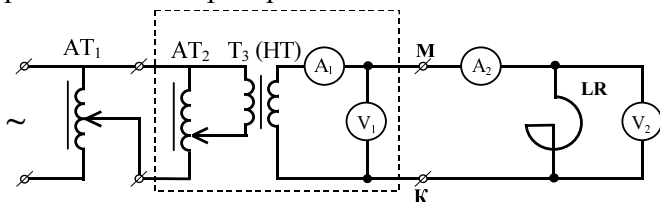


Рис. 5.6. Схема для измерения сопротивления реактора

Сопротивление самоиндукции сдвоенного реактора измеряется также методом амперметра-вольтметра при работе в одноцепном режиме. Измеряя сопротивления реакторов в сквозном и продольном режимах, можно рассчитать коэффициент связи.

Для продольного режима из (5.4) имеем

$$K_{св} = \frac{X_{пр}}{2X_1} - 1. \quad (5.7)$$

Для сквозного режима, согласно схеме замещения сдвоенного реактора,

$$K_{св} = 1 - \frac{2X_{свб}}{X_B}. \quad (5.8)$$

Согласно заданию для секционного сдвоенного реактора требуется определить сопротивление во всех трех режимах, сопоставить полученные данные и объяснить их.

Для расчетов токов КЗ можно принять коэффициент связи равным среднему значению из опытов продольного и сквозного режимов.

К п. 2. Напряжение КЗ трансформаторов. При определении U_K двухобмоточного трансформатора закорачивается вторичная обмотка, а к первичной подводится такое напряжение, при котором трансформатор потребляет номинальный ток

$$U_K \% = \frac{U_K}{U_{\text{ном}}} 100, \quad (5.9)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение испытываемой обмотки, В.

Схема для измерения U_K трансформатора та же, что и для измерения сопротивления реактора (см. рис. 5.5), только вместо реактора к зажимам «М» и «К» подключается первичная обмотка трансформатора при закороченной вторичной.

Перечень определяемых U_K и условия выполнения опыта изложены в столбцах 3–5 табл. 5.1. Результаты необходимых для опыта вычислений токов и результаты опыта заносят в следующие графы табл. 5.1.

Т а б л и ц а 5.1

Условия производства и результаты опытов по измерению напряжения короткого замыкания трансформаторов

Испытываемый трансформатор	Определяемое напряжение короткого замыкания	Условия производства опыта			Результаты измерений и расчетов			
		испытываемая обмотка	закорачиваемая обмотка	разомкнутая обмотка	$I_{\text{обн.н.}}$ А	U_K , В	U_K , о.е.,	U_K , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Двухобмоточный	$U_{K \text{ В-Н}}$	ВН	НН	–				
С расщепленной обмоткой низкого напряжения	$U_{K \text{ В-Н1/Н2}}$	ВН	НН1, НН2	–				
	$U_{K \text{ В-Н1}}$	ВН	НН1	НН2				
	$U_{K \text{ В-Н1-Н2}}$	НН1	НН2	ВН				

К п. 3. Расчет токов КЗ. Расчет целесообразно выполнять в имеющихся единицах, приводя все сопротивления к стороне низшего напряжения. Значения сопротивлений на схеме замещения удобнее представить в виде дроби, числитель которой – порядковый номер сопротивления, знаменатель – величина сопротивления в омах.

Параметры схем замещения трансформатора с расщепленной обмоткой и сдвоенных реакторов находятся по результатам измерений.

Расчет суммарных токов КЗ, а также их составляющих от генераторов и системы следует выполнять только для точек К1 и К2. При расчете токов КЗ за линейными реакторами достаточно определить суммарный ток.

При выполнении расчетов не надо забывать, что принято однофазное исполнение схемы.

К п. 4. Измерение токов КЗ и сопоставление с расчетами. Необходимо измерить токи КЗ в точках К1, К2, К3 и К5 согласно схемам, показанным на рис. 5.1. Все переключения по выбору точки КЗ выполняются только при отключенных автоматах питания. После подачи питания следует нажать кнопку КЗ.

Результаты расчета и измерений токов КЗ для различных схем целесообразно свести в таблицу.

К п. 5. Сравнить токоограничивающее действие двухобмоточного трансформатора и трансформатора с расщепленной обмоткой можно по рис. 5.1, б, г.

Отношение токов КЗ в точке К1 от генератора G1, от системы и от их совместного действия показывает, насколько эффективно использование трансформатора с расщепленной обмоткой.

Результаты расчета и измерений токов КЗ

Точка КЗ	I_C		I_{G1}		I_{G2}		I_Σ	
	опыт	расчет	опыт	расчет	опыт	расчет	опыт	расчет
I. Совместная работа источников (см. рис. 5.1, а)								
1.								
II. Раздельная работа источников (см. рис. 5.1, а – QВ отключен)								
1.								
III. Схема с секционным сдвоенным реактором (см. рис. 5.1, б)								
1.								
2.								
3.								
4.								

Точка КЗ	I_c		I_{G1}		I_{G2}		I_{Σ}	
	опыт	расчет	опыт	расчет	опыт	расчет	опыт	расчет
IV. Схема с трансформатором с расщепленной обмоткой (см. рис. 5.1, з)								
1.								
2.								
3.								
V. Схема с двухобмоточным трансформатором (см. рис. 5.1, в)								
1.								

К п. 7. Остаточное напряжение на шинах генераторного напряжения при КЗ за линейным реактором рассчитывается как падение напряжения от тока КЗ на сопротивлении реактора

$$U_{\text{ост}} \% = \frac{I_K X_p}{U_{\text{ном}}} 100. \quad (5.10)$$

В опыте остаточное напряжение измеряется вольтметром $V1$.

К п. 8. Потеря напряжения в линейном реакторе соответствует алгебраической разности напряжений до и после реактора и при протекании тока I и заданном $\cos \varphi$ определяется из выражения

$$\Delta U_p \% = \frac{X_p I \sin \varphi}{U_{\text{ном}}} 100, \quad (5.11)$$

где X_p – сопротивление реактора, Ом.

С учетом коэффициента связи и формул (5.2) и (5.3) для потери напряжения в вдвоенном реакторе имеем

$$\Delta U_p \% = \frac{X_b (1 - K_{\text{св}}) I \sin \varphi}{U_{\text{ном}}} 100, \quad (5.12)$$

Из (5.11) видно, что при $X_b = X_p$ и прочих равных условиях потеря напряжения в вдвоенном реакторе в $1 - K_{\text{св}}$ раз меньше, чем в простом реакторе.

К п. 9. Сравнить полученные значения токов КЗ и остаточного напряжения на шинах при КЗ за простым и вдвоенным линейными реакторами.

Сопоставить потери (падение напряжения в нормальном режиме при протекании тока $I_p = I_B$). Объяснить полученные результаты и сделать выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите методы ограничения токов КЗ. Поясните, в чем они состоят.
2. Почему токоограничивающие реакторы не имеют стального магнитопровода?
3. Каково назначение секционных и линейных реакторов?
4. Каковы преимущества и недостатки сдвоенных реакторов?
5. Что такое падение и потеря напряжения? Как они определяются?
6. Что понимают под остаточным напряжением на шинах? Как его определяют?
7. Почему в сдвоенных линейных реакторах меньше потеря напряжения?
8. В каком режиме сдвоенный реактор оказывает наибольшее сопротивление току КЗ? Почему?
9. Что такое коэффициент связи сдвоенного реактора?
10. Что такое коэффициент расщепления?
11. В каком режиме трансформатор с расщепленной обмоткой оказывает наибольшее сопротивление току КЗ?
12. Назовите области применения реактора и трансформаторов с расщепленной обмоткой в схемах электрических станций и подстанций.

Лабораторная работа № 6

ОПЕРАТИВНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В СХЕМАХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

6.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение последовательности операций при оперативных переключениях в схемах распределительных устройств (РУ) станций и подстанций.

6.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Оперативные переключения производят в РУ при необходимости изменения схемы электрических соединений, при выводе оборудования в ремонт, а также при ликвидации аварий. Они являются одной из наиболее ответственных операций, выполняемых оперативным (дежурным) персоналом электростанций и подстанций.

Особенность оперативных переключений состоит в том, что их приходится вести в действующих РУ, электрооборудование при этом находится под напряжением и под нагрузкой. Любая ошибка в этих условиях может стать причиной крупной аварии и несчастных случаев с персоналом.

Наиболее распространенные ошибки при переключениях, которые влекут за собой тяжелые последствия как для лица, производящего переключения, так и для оборудования:

а) ошибочное отключение разъединителя под током при отсутствии параллельной ветви (например, при отключенном шиносоединительном выключателе – ШСВ): *ошибочное отключение разъединителя под током ведет к образованию дуги в месте разрыва, которая легко перебрасывается на соседние фазы и образует короткое замыкание (КЗ);*

б) ошибочное включение находящегося под напряжением шинного разъединителя на заземленную систему шин (СШ), выведенную в ремонт;

в) подача напряжения при наличии в цепи короткого замыкания, включенного заземляющего ножа или не снятого переносного заземления.

Согласно правилам технической эксплуатации (ПТЭ) [4] на щитах управления электростанций и подстанций должны находиться оперативные схемы (схемы-макеты) электрических соединений станций и подстанций, на которых отражено действительное положение всех аппаратов, в том числе положение заземляющих ножей, а также места наложения заземлений. Все изменения в схеме соединений должны быть внесены в оперативную схему (схему-макет) после проведения операций.

Все операции с оборудованием производятся по распоряжению вышестоящего оперативного персонала, в оперативном подчинении которого оно находится. Лицо, получившее распоряжение на производство переключений, обязано повторить его и получить подтверждение в том, что распоряжение понято им правильно. Получение задания записывается в оперативный журнал или на пленку звукозаписи (при наличии

звукозаписи переговоров), последовательность выполнения операций уточняется по суточной оперативной схеме, и составляется программа или бланк переключений или используются типовые [4, 9].

В установках напряжением выше 1000 В переключения проводят по бланку переключений при отсутствии блокировочных устройств или их неисправности, а также при *сложных* переключениях, в том числе при переводе более одного присоединения с одной системы шин на другую независимо от наличия или отсутствия блокировочных устройств [9]. К сложным относятся переключения, требующие строгой последовательности операций с коммутационными аппаратами, заземляющими разъединителями и устройствами релейной защиты, противоаварийной и режимной автоматики. Например, перевод всех присоединений с одной системы шин на другую при помощи шиносоединительного выключателя (ШСВ) и без него, включение и отключение трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов, частичный перевод присоединений с одной системы шин на другую, замена выключателя обходным и т. д. Перечни сложных переключений утверждаются техническими руководителями соответствующих АО-энерго и должны храниться на диспетчерских пунктах АО-энерго, центральных (главных) щитах электростанций и подстанций.

Бланк переключений является оперативным документом. В нем в технологической последовательности указываются все операции с коммутационными аппаратами и цепями оперативного тока, устройствами релейной защиты и автоматики, операции по проверке отсутствия напряжения, операции по наложению и снятию заземлений, замеру сопротивления изоляции оборудования и т. д. Каждая операция, вносимая в бланк, должна иметь порядковый номер. Заполненный бланк подписывается участниками переключений и берется с собой в РУ, где предстоит выполнение переключений. На каждое задание должен быть выписан отдельный бланк переключений.

Сложные переключения на электростанциях и подстанциях должны выполнять два лица [4, 9], одно из которых является контролирующим. Контролирующим лицом при этом назначается старший по должности. Ответственность за правильность переключений возлагается на оба лица, проводящих переключения.

Переключения по бланку производят в следующем порядке:

- на месте переключений персонал проверяет по надписи наименование присоединения и название оборудования. *Переключения по памяти без проверки надписи на оборудовании недопустимы;*

- убедившись в правильности выбранного присоединения и аппарата, контролирующее лицо, находящееся позади производящего переключения, громко и отчетливо зачитывает по бланку содержание операции;
- производящий переключения повторяет содержание операции;
- производящий переключения, получив подтверждение контролирующего лица, выполняет операцию;
- контролирующий делает отметку в бланке переключений о выполнении операции и зачитывает содержание следующей операции;
- производящий переключения направляется к месту следующей операции, контролирующий следует за ним и проверяет, подошел ли он к тому объекту, на котором предстоит произвести следующую операцию;
- об окончании переключений контролирующий сообщает лицу, отдавшему распоряжение о переключении. Сообщение производится лично или по телефону (радио) [9].

6.3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из персонального компьютера (ПК), мультимедийного аппарата (МА) и экрана. На экран проецируется мнемосхема электрических соединений станции. Положение выключателей сигнализируется так: прямоугольник окрашен зеленым цветом – выключатель *отключен*, красным – выключатель *включен*.

Схема электрических соединений станции в рабочем положении показана на рис. 6.1. На схеме два генератора станции присоединены к сборным шинам распределительного устройства генераторного напряжения (ГРУ), а третий соединен в блок с повышающим двухобмоточным трансформатором (*блочный трансформатор*). Сборные шины ГРУ состоят из двух систем: рабочей и резервной. Рабочая система сборных шин (1ССШ) разделена на две секции (1 с, 2 с), связанные через секционный реактор LR3. Шиносоединительные выключатели (ШСВ – Q5, Q6), нормально *отключенные*, дают возможность переключать все присоединения с рабочей секции на резервную систему (2ССШ) без нарушения питания потребителей. Они позволяют также в случае необходимости при отключении какого-либо источника питания шунтировать секционный реактор для выравнивания напряжения на секциях сборных шин. Для ограничения токов КЗ в кабельных потребительских линиях включены линейные реакторы (LR1, LR2).

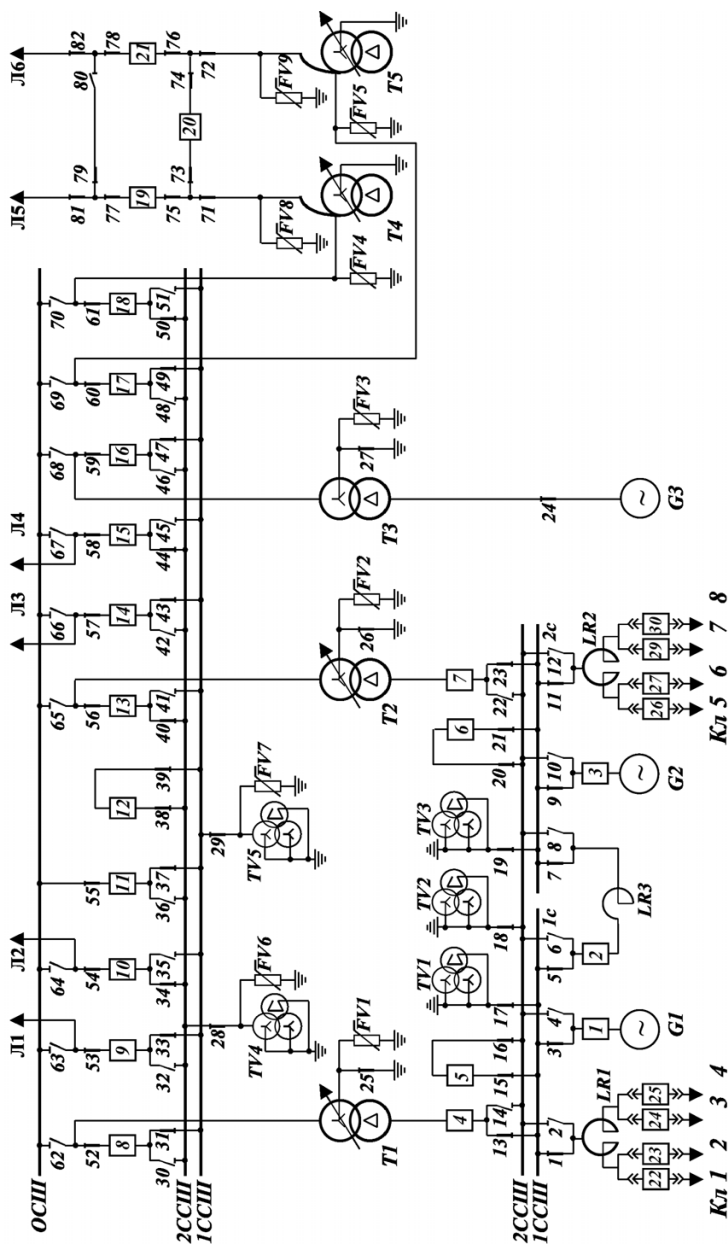


Рис. 6.1. Главная схема электрических соединений электрической станции

Шины ГРУ связаны с шиной 110 кВ двумя двухобмоточными трансформаторами Т1 и Т2, которые называются *трансформаторами связи*.

На напряжении 110 кВ применена двойная система сборных шин с фиксированным присоединением элементов и дополнительной обходной системой. Обе основные системы – рабочие, и все присоединения распределяются между ними равномерно (фиксированное присоединение цепей). Это значительно повышает надежность электроснабжения, так как при КЗ на сборных шинах 110 кВ отключаются не все присоединения, а только их часть, закрепленная за поврежденной системой шин. Шиносоединительный выключатель Q12 нормально включен, что диктуется технологической и экономической целесообразностью.

Обходной выключатель используется для замены выключателя любой цепи при выводе его в ремонт. Он позволяет ремонтировать выключатели цепи без перерыва в электроснабжении соответствующего потребителя или без перерыва в работе соответствующего источника питания.

Для связи станции с системой применены автотрансформаторы связи Т4 и Т5 и линии связи с системой Л5 и Л6.

РУ 220 кВ выполнено в виде «мостика» с установкой выключателя в перемычке со стороны автотрансформаторов. Такое исполнение схемы позволяет сохранить в работе автотрансформаторы при аварийных отключениях линий.

Для сохранения в работе обоих автотрансформаторов при ремонте выключателя перемычки предусмотрена ремонтная перемычка из двух разъединителей (QS79, QS80) [2, 5, 6].

6.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Включить компьютер.
2. Два раза щелкнуть левой кнопкой мышки на значок «Тренажер» (здесь и далее все щелчки выполняются левой кнопкой мышки).
3. В открывшемся окне «**Выбор стажера**» два раза щелкнуть по фамилии («Иванов И.И.»).
4. В открывшемся окне «**Тема**» слева два раза щелкнуть по значку «LAB 6». При этом открывается список из 16 вариантов заданий.
5. Поочередно каждый студент бригады один раз щелкает по номеру заданного преподавателем варианта.

6. В окне справа «**Задачи**» открывается перечень из трех задач, которые студент и выписывает.

7. После получения заданий студенты заполняют специальные бланки-карточки, которые они должны подготовить заранее. Образец такой карточки приведен на рис. 6.2.

Номер задания			Характер задания_____.											
Фамилия И.О. <i>Иванов С.С.</i>			Группа <i>Эн1-41</i>						Дата <i>21.09.07</i>					
1)	О	Q8				2)	О	Q9			3)	О	QS	30
4)	О	QS	32			5)	О	QS	34					

Рис. 6.2. Образец бланка карточки оперативных переключений

Вверху слева записывается номер, а справа – характер задания. Ниже – фамилия, группа и дата. В клетке условным шрифтом записываются операции по производству переключений. Запись ведется по строчкам, где указываются последовательно: а) номер операции, б) характер операции (включить, отключить), в) наименование аппарата (выключатель, разъединитель), г) номера аппаратов. Между записями операций следует оставлять свободными одну или две клетки.

В качестве примера в бланке-карточке на рис. 6.2 приведена сокращенная запись следующих операций: операция № 1 – отключить выключатель Q8; операция № 2 – отключить выключатель Q9; операция № 3 – отключить разъединитель QS30, операция № 4 – отключить разъединитель QS32, операция № 5 – отключить разъединитель QS34. При заполнении карточек необходимо применить следующие сокращения: 1) включить – В; 2) отключить – О; 3) выключатель Q; 4) разъединитель – QS; 5) отсоединить шины от выключателя и поставить вместо него шинную перемычку – ПВК, где К – номер выключателя (запись должна занять три клетки); 6) разгрузить генератор GN (означает: перевести нагрузку с одного генератора на другой или другие) (здесь N – номер генератора); 7) снять возбуждение с GK – BGK (К – номер генератора); 8) отключить линию ЛК со стороны приемной подстанции ОПЛК (К – номер линии); 9) включить выключатель с синхронизацией источников – ВВСКМК ... (здесь М, К – номера выключателей).

После заполнения карточек студенты допускаются к компьютеру для проверки правильности заполнения карточек.

Порядок выполнения проверки:

1. После выполнения п. 5 в окне справа открыт перечень из трех задач.

2. Щелкнуть два раза на выбранную задачу. Открывается окно со схемой РУ (см. рис. 6.1). Над схемой открывается три строки: верхняя строка – название задания; средняя и нижняя строки – вспомогательные. Справа от этих строк – линейка с черным фоном для комментариев. Одновременно в центре экрана открывается окно – «**Вводная**», где отражено название задачи.

3. Один раз щелкнуть в окне «**Вводная**» по кнопке «**Выполнить**».

4. Один раз щелкнуть по кнопке , которая находится в нижней строке над схемой РУ. Откроется окно «**Персонаж/экипировка**» с условным изображением **электромонтера**.

5. Найти в нижней строке над схемой РУ кнопку «**Инструменты / экипировка**» и открыть окно-линейку «**Инструменты**». В появившемся окне щелкнуть по значку «**Каска**» и затем щелкнуть по голове **электромонтера**. При правильно выполненных операциях на голове **электромонтера** появится каска.

6. Вновь открыть окно «**Инструменты/экипировка**», щелкнуть по кнопке «**Перчатки**» и щелкнуть по руке «**электромонтера**». На руках «**электромонтера**» должны появиться перчатки. Окно с экипированным «**электромонтером**» можно убрать.

7. Далее следует выполнить операции по переключениям в соответствии с бланком переключений. При этом для включения или отключения аппарата необходимо щелкнуть мышкой по аппарату в схеме РУ. При неправильно выполненной операции на черном фоне верхней строки появляется сообщение: «**Непредусмотренное действие**». При появлении второго сообщения об ошибке студент отправляется для анализа и исправления ошибок, после исправления которых повторно допускается к установке.

8. При правильно выполненном первом задании следует закрыть окно со схемой. В автоматически открывшемся окне «**Задачи**» надо выбрать следующую задачу.

Студент, правильно выполнивший все три задания, в указанном преподавателем варианте должен заполнить (в присутствии преподава-

теля) бланк переключений для любого дополнительного задания. При правильном выполнении дополнительного задания студент получает «зачет» по данной лабораторной работе.

6.5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСНОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Операции с коммутационными аппаратами производят в последовательности, которая учитывает назначение этих аппаратов, обеспечивает безопасность для лиц, выполняющих переключения, и уменьшает последствия повреждений, которые могут иметь место при ошибочных действиях персонала. При этом следует руководствоваться изложенными ниже рекомендациями.

1. Отключение цепей производить в любых случаях только выключателями и, как правило, дистанционно.

2. Не допускать разрыва тока нагрузки при операциях с разъединителями, кроме случаев, оговоренных в ПТЭ [4].

3. Операции с разъединителями в схеме с двойной системой сборных шин при переводе цепей с одной системы шин на другую должны вестись при наличии параллельной цепи (например, при включенном ШСВ).

4. При выведении в ремонт выключателя какой-либо цепи не допускается ее отключение, если есть возможность замены выключателя обходным.

5. При отсутствии обходного выключателя (или его занятости) цепь можно оставить в работе, заменив выключатель цепи на время ремонта *шинносоединительным* (если есть возможность использовать для этой цели ШСВ).

6.6. ПРИМЕРЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОСНОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ

1. **Отключение тупиковой линии.** Вначале отключают выключатель со стороны *нагрузки*, а затем – со стороны питания и далее – *линейный* и шинный разъединители.

Указанная последовательность операций с шинными и линейными разъединителями позволяет уменьшить последствия повреждений, которые могут возникнуть при ошибочных операциях. Например, в результате ошибки произведено отключение под нагрузкой линейного разъединителя. Возникшее при этом КЗ будет устранено автоматическим отключением выключателя. Отключение же под нагрузкой шин-

ных разъединителей вызовет обесточивание сборных шин РУ. Порядок включения линии обратный.

При отключении линий, отходящих от электростанции, первым, как правило, отключают выключатель со стороны *электростанции*, вторым – выключатель со стороны энергосистемы.

2. Включение в работу трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора. В процессе эксплуатационной практики выработан следующий порядок. Включают шинные и трансформаторные разъединители со стороны *высокого* напряжения, затем со стороны среднего и низшего напряжения включают выключатели *высшего*, среднего и низшего напряжений. Порядок отключения трансформатора обратный.

3. Отключение генератора. Переводят нагрузку (разгружают) с отключаемого генератора на другие. Для этого плавно снижают до нуля активную и реактивную мощности отключаемого генератора, воздействуя соответственно на сервомотор регулятора турбины и одновременно на шунтовый реостат возбуждения. Одновременно увеличивают нагрузку на другие генераторы станции, отключают выключатель генератора, снимают его возбуждение, отключив АГП. Отключают шинный разъединитель.

4. Включение генератора. Включают шинный разъединитель, включают возбудитель и поднимают напряжение до номинального. Затем, *при выполнении всех условий синхронизации (равенство частот и напряжений и совпадение векторов напряжений по фазе)*, включают выключатель генератора.

5. Перевод всех присоединений с одной системы сборных шин на другую. Необходимым условием для перевода является равенство потенциалов обеих систем шин. Равенство потенциала соблюдается, если ШСВ включен. ШСВ шунтирует при переводе каждую пару включенных на обе системы шин разъединителей, принадлежащих одной цепи. В этих условиях создается параллельная цепь и включение, а затем отключение разъединителей одной цепи не представляет опасности.

Если система шин была в резерве или ремонте, то включением ШСВ проверяют ее исправность. Убедившись, что система шин исправна (ШСВ не отключился), включают шинные разъединители всех переводимых присоединений (при отсутствии электродвигательных приводов разъединителей) на эту систему, отключают шинные разъединители всех переводимых присоединений от второй системы шин. Если вторая система шин выводится в ремонт, отключают ШСВ

и разъединитель ШСВ от первой системы шин. При наличии электродвигательных приводов разъединителей допускается поочередный перевод присоединений [9].

6. Вывод в ремонт выключателя цепи ГРУ с заменой его шиносоединительным (рис. 6.3). Этот способ применяется в схемах с одним выключателем на цепь и двумя системами шин, и иногда его называют “запетланием”. Для выполнения “запетлания” требуется непродолжительное отключение цепи для установки перемычки. Для этого отключают выключатель, снимают напряжение, устанавливают перемычку, как показано на рис. 6.3, включают шинный разъединитель присоединений на резервную систему и включают ШСВ. Вариант по рис. 6.3, *а* применяется как в закрытых, так и в открытых РУ. В открытых РУ применяют иногда вариант по рис. 6.3, *б*.

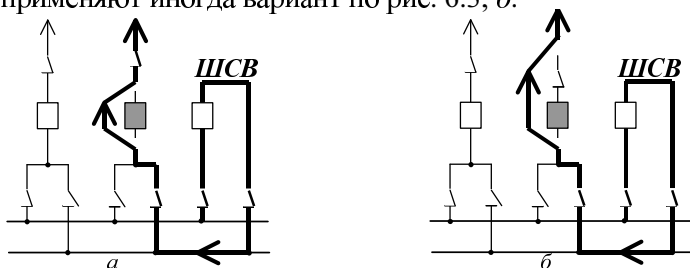


Рис. 6.3. Схема замены выключателя линии шиносоединительным выключателем
а – в закрытых и открытых РУ; *б* – в открытых РУ

7. Вывод в ремонт выключателя цепи с заменой его обходным выключателем. В случае замены выключателя цепи обходным вывод и ввод выключателя в работу производится без отключения цепи.

Основные этапы переключений:

- 1) опробовать обходную систему шин с помощью обходного выключателя от той системы шин, на которую включено присоединение с выводимым в ремонт выключателем (включить и отключить обходной выключатель);
- 2) включить обходной разъединитель цепи, выключатель которой выводится в ремонт;
- 3) включить обходной выключатель;
- 4) отключить выводимый в ремонт выключатель, отключить линейный и шинный разъединители;
- 5) релейную защиту обходного выключателя настроить на параметры линии, выключатель которой заменен обходным.

6.7. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Вывести в ремонт первую (или вторую) секцию шин генераторного напряжения.
2. Вывести в ремонт первую (или вторую) систему сборных шин 110 кВ.
3. Вывести в ремонт выключатель Q1 (или Q3) генератора Г1 (или Г2).
4. Вывести в ремонт выключатель Q4 (или Q7) трансформатора связи; *замена выключателя шиносоединительным невозможна.*
5. Вывести в ремонт выключатель Q4 (или Q7) трансформатора связи, *заменяв его на время ремонта шиносоединительным* выключателем Q5 (или Q6).
6. Вывести в ремонт выключатель любой отходящей линии 110 кВ.
7. Вывести в ремонт любой из выключателей цепей трансформаторов Т1, Т2, Т3, Т4, Т5 на стороне 110 кВ.
8. Вывести в ремонт выключатель Q19 (или Q20, или Q21) мостика 220 кВ.
9. Вывести в ремонт шинный разъединитель QS1 (или QS11) линейного реактора.
10. Вывести в ремонт любой шинный разъединитель в РУ генераторного напряжения, включая разъединители трансформаторов напряжения.
11. Вывести в ремонт линейный разъединитель любой отходящей линии и любого трансформатора в РУ 110 кВ.
12. Вывести в ремонт шинный разъединитель отходящей линии (Л1 – Л4) и трансформатора (Т1 – Т5) в РУ 110 кВ.
13. Вывести в ремонт линейный разъединитель QS81 (или QS82) отходящей линии 220 кВ.
14. Вывести в ремонт разъединитель QS75 (или QS76, QS77, QS78).
15. Вывести в ремонт разъединитель QS72 (или QS76) рабочей перемычки.
16. Вывести в ремонт разъединитель QS71 (или QS72) автотрансформатора.
17. Вывести в ремонт разъединитель ремонтной перемычки мостика QS79 (или QS80).
18. Вывести в ремонт отходящую линию 220 кВ Л5 (или Л6).
19. Вывести в ремонт автотрансформатор связи Т4 (или Т5).
20. Ввести в работу выключатель Q1 (Q3) после его ремонта.

21. Вывести в ремонт выключатель в РУ 110 кВ любого присоединения, заменив его шиносоединительным.

22. Ввести в работу первую (вторую) секцию шин генераторного напряжения после ее ремонта.

23. Ввести в работу первую (вторую) систему сборных шин 110 кВ после ее ремонта.

24. Перечислить, какие отключения произойдут при КЗ на первой секции шин генераторного напряжения. Как после этого восстановить работу присоединений поврежденной секции (КЗ устойчивое)?

25. Перечислить, какие отключения произойдут при КЗ на первой системе сборных шин 110 кВ. Как после этого восстановить работу присоединений поврежденной системы (КЗ устойчивое)?

26. Перечислить, какие отключения произойдут при КЗ в автотрансформаторе связи АТ1. Как после этого восстановить работу отключающихся поврежденных элементов станции (КЗ устойчивое)?

27. Выполнить переключения после отключения генератора Г1, позволяющее уменьшить потери мощности и потери напряжения в секционном реакторе и повысить надежность работы ГРУ в целом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Схема какого типа станций представлена на рис. 6.1?

2. Каковы особенности этого типа станции?

3. В чем заключается функциональное различие трансформаторов Т1 – Т5?

4. Каково назначение выключателей и разъединителей?

5. Как называются выключатели Q2, Q5, Q6, Q11, Q12, Q20? Их назначение и состояние в нормальном режиме станции.

6. Какое назначение имеют секционные и линейные реакторы?

7. Каковы достоинства схемы с двойной системой сборных шин по сравнению со схемой с одиночной системой?

8. Каково назначение обходной системы сборных шин и обходного выключателя?

9. С какой целью рабочая перемычка в схеме «мостика» устанавливается со стороны автотрансформаторов?

10. С какой целью в схеме «мостика» применяется дополнительная перемычка с разъединителями?

11. Почему в дополнительной перемычке два разъединителя, а не один?

12. С какой целью выполняются оперативные переключения в схемах РУ?

13. Кому поручаются оперативные переключения?
14. Сколько человек выполняют переключения и кто назначается контролирующим лицом?
15. Каковы действия персонала на месте переключений?

Лабораторная работа № 7

ЗНАКОМСТВО С КОНСТРУКЦИЯМИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АППАРАТОВ

7.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Знакомство с конструкциями и методами гашения дуги высоковольтных коммутационных аппаратов; с конструкциями измерительных трансформаторов и распределительных устройств.

7.2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Знакомство с конструкциями и методами гашения дуги высоковольтных коммутационных аппаратов:

- вакуумных выключателей: ВБЧС-10; ВВ/TEL-10; ВБУП-10;
- маломасляных выключателей для ячеек КРУ: ВМГ-133; ВМП-10; ВК-10;
- маломасляных генераторных выключателей: МГГ-10; МГУ и ВГМ-20;
- маломасляных выключателей ВМТ-110 и ВМТ-220;
- бакового масляного выключателя ВМ-35;
- выключателя нагрузки ВН-16;
- разъединителя РВ-6/600.

2. Знакомство с конструкцией измерительных трансформаторов тока: ТПЛ-10-400/5; ТВ-35; ТПФ-10-75/5.

3. Знакомство с конструкцией измерительных трансформаторов напряжения: ЗНОМ-10; НОМ-10; НТМИ-6.

4. Знакомство с конструкцией приводов: ручных, электромагнитных и пружинных.

5. Знакомство с конструкциями распределительных устройств с двумя системами сборных шин типа КСО-6 (II-110) и комплектного (КРУ) типа К-66.

7.3. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

7.3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Маломасляные выключатели получили широкое распространение в закрытых и открытых распределительных устройствах напряжением до 220 кВ включительно. Масло в этих выключателях служит в основном дугогасящей средой и только частично изоляцией между разомкнутыми контактами. Изоляция токоведущих частей друг от друга и от заземленных конструкций осуществляется фарфором или другими твердыми изолирующими материалами [2].

Контакты выключателей для внутренней установки находятся в стальном бачке (горшке), поэтому сохранилось название выключателей «горшковые». Маломасляные выключатели на 35 кВ и выше имеют фарфоровый корпус (покрышку).

Самое широкое применение имеют выключатели 6–10 кВ подвесного типа. В этих выключателях корпус крепится на фарфоровых изоляторах к общей раме для всех трех полюсов. В каждом полюсе предусмотрен один разрыв контактов в дугогасительной камере. Подвижный контактный стержень и приводной выпрямляющий механизм расположены снаружи бачка. Токосъем с подвижного контактного стержня производится с помощью гибкой медной многоленточной связи. По такой конструкционной схеме изготавливаются выключатели ВМГ-10 (выключатель масляный горшковый), а ранее – ВМГ-133 [5].

Выключатели серии ВМП (выключатель маломасляный подвесной) изготавливаются по конструкционной схеме, аналогичной схеме ВМГ-10 и ВМГ-133. Отличие состоит в том, что подвижной контактный стержень и приводной выпрямляющий механизм расположены внутри верхнего фланца из алюминиевого сплава, а гибкие ленты заменены роликовым токосъемным устройством.

Маломасляные выключатели, рассчитанные на большие номинальные токи от 2500 до 11 200 А, имеют массивные рабочие контакты снаружи выключателя, а дугогасительные – внутри металлического бачка. Для повышения отключающей способности такие выключатели имеют по два дугогасительных разрыва (бачка) на каждую фазу. По такому типу выполняются выключатели серии МГГ, МГУ и ВГМ на напряжение до 20 кВ.

Специально для новых типов КРУ выдвижного исполнения разработаны и изготавливались маломасляные колонковые выключатели

серии ВК-10. Они предназначались для замены физически и морально устаревших выключателей ВМП-10.

В настоящее время маломасляные выключатели для КРУ и КСО заменяются вакуумными выключателями.

Для электроустановок 35 кВ и выше широко применяются маломасляные колонковые выключатели с полым фарфоровым корпусом, заполненным маслом, серии ВМК и ВМТ.

В последнее время маломасляные выключатели снимаются с производства. На их замену разработаны и успешно эксплуатируются вакуумные выключатели до 35 кВ и элегазовые на 110 кВ и выше.

7.3.2. МАЛОМАСЛЯНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВМП-10

Широкое применение в закрытых комплектных распределительных устройствах 6–10 кВ имеют выключатели серии ВМП-10. Выключатели для КРУ и КРУН имеют встроенный пружинный или электромагнитный привод (ВМПП и ВМПЭ). Выключатели этой серии рассчитаны на номинальные токи 630...3150 А и токи отключения 20 и 31,5 кА.

Дугогасительная камера выключателя находится в изоляционном цилиндре с маслом. Торцы изоляционного цилиндра из стеклоэпоксидного пластика укрепляются металлическими фланцами [5].

На верхнем фланце изоляционного цилиндра укреплен корпус из алюминиевого сплава, внутри которого расположены: приводной выпрямляющий механизм, подвижный контактный стержень, роликовое токосъемное устройство и маслоотделитель. Нижний фланец из силумина закрывается крышкой, внутри которой вмонтирован розеточный контакт, а снаружи – пробка для спуска масла. Внутри цилиндра над розеточным контактом имеется гасительная камера, собранная из изоляционных пластин с фигурными отверстиями. Набором пластин создается три попарных канала и масляные карманы. При отключении привод освобождает отключающую пружину, находящуюся в раме выключателя. Под действием силы пружины вал выключателя поворачивается, движение передается изоляционной тяге, а через нее приводному выпрямляющему механизму и подвижному стержню. При размыкании контактов возникает дуга, испаряющая и разлагающая масло. В первый момент контактный стержень закрывает поперечные каналы, поэтому давление резко возрастает, часть масла заполняет буферный объем, сжимая в нем воздух. Как только стержень открывает первый канал, создается поперечное дутье парами масла. При переходе тока через нуль давление в газовом пузыре снижается и сжатый воздух буферного объема, действуя подобно поршню, нагнетает масло в область дуги.

При отключении больших токов идет интенсивное газообразование, образуется энергичное поперечное дутье и дуга гаснет в нижней части камеры. При отключении малых токов выделяется малое количество энергии, дуга тянется за стержнем и в верхней части камеры испаряется масло в карманах, создавая встречно-радиальное дутье, а затем при выходе стержня на камеры – продольное дутье. Время гашения дуги при отключении больших и малых токов не превосходит 0,015...0,025 с. Собственное время отключения не превышает 0,1 с. Время отключения (с приводом) – 0,12 с. В выключателе ВМП-10-1600-20 всего 5,5 кг масла на все три полюса.

7.3.3. МАЛОМАСЛЯНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВК-10

Маломасляные выключатели колонкового типа ВК-10 с пружинным приводом и ВКЭ-10 с электромагнитным приводом предназначены для применения в КРУ и КРУН.

Полюсы выключателя имеют штыревые выводы первичных соединений с розеточными контактами [5, с. 308]. Провода цепей управления, сигнализации и блокировки помещены в гибкие металлические рукава и распаяны в штепсельные разъемы.

Выключатель ВК-10 имеет меньшие габариты и массу, чем выключатели серии ВМП-10 на соответствующие параметры, поэтому он находит применение в новых сериях КРУ типов КМ-1 и К-104 на номинальный ток шкафа до 1600 А и ток сборных шин до 3200 А. В шкафах этих серий применена частичная изоляция твердыми диэлектриками токоведущих частей и отсеков друг от друга. Шкафы имеют меньшие габариты и меньшую металлоемкость по сравнению с другими КРУ на такие же параметры.

Полюсы (колонки) выключателя ВКЭ-10 установлены на опорных изоляторах, прикрепленных к сборному основанию. На этом же основании установлен и привод выключателя, т. е. выключатель ВК-10 в отличие от выключателя ВМП-10 является выключателем опорного, а не подвесного типа. Основание выключателя установлено на колесах.

7.3.4. МАЛОМАСЛЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ МГГ-10, МГ И ВГМ-20

При больших номинальных токах обойтись одной парой контактов (которые выполняют роль рабочих и дугогасительных) трудно, поэтому предусматривают отдельные рабочие контакты снаружи выключателя, а дугогасительные – внутри металлического бачка (горшка). При больших отключаемых токах на каждый полюс имеется два дугогаси-

тельных разрыва и по две пары рабочих и дугогасительных контактов. По такой схеме выполняются выключатели МГГ-10 (маломасляный, горшковый, генераторный), МГУ-20 и ВГМ-20 на напряжение до 20 кВ. Массивные внешние рабочие контакты позволяют рассчитать выключатель на большие номинальные токи до 5000 А (МГГ), 9500 (МГУ) и 11 200 А (ВГМ). При отключении выключателя вначале размыкаются рабочие контакты, но дуги между ними не образуются, так как ток продолжает проходить в дугогасительном контуре. При включении первыми замыкаются дугогасительные контакты, а затем рабочие [5].

Продолжительность горения дуги в таких выключателях 0,02...0,05 с. Время отключения (с приводом) 0,15...0,2 с. Камеры встречно-поперечного дутья позволяют отключать токи до 90 кА [5, с. 310].

Для управления выключателями этой серии применяются электромагнитные приводы ПЭ-21 или ПС-31.

7.3.5. МАЛОМАСЛЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 КВ И ВЫШЕ СЕРИИ ВМК И ВМТ

Выключатели маломасляные колонковые серии ВМК и ВМУЭ применяются в электроустановках 35 кВ.

В электроустановках 110 и 220 кВ находят применение выключатели колонкового типа серии ВМТ. Три полюса ВМТ-110 установлены на общем основании и управляются пружинным автономным приводом. Полюс выключателя представляет собой маслonaполненную колонку, состоящую из опорного изолятора, дугогасительного устройства, механизма управления и электронагревательных устройств [5, с. 311].

Дугогасительное устройство (модуль) состоит из подвижного контакта, расположенного снизу модуля и связанного с пружинным приводом, дугогасительной камеры встречно-поперечного дутья и верхнего неподвижного контакта. Все эти элементы расположены в полном фарфоровом изоляторе (покрышке), заполненном трансформаторным маслом.

Внутри опорного изолятора размещены изоляционные тяги, связывающие подвижный контакт с механизмом управления. Маслonaполненные колонны герметизированы и находятся под избыточным давлением газа (азота или воздуха). Избыточное давление поддерживает высокую электрическую прочность межконтактного промежутка, повышает износостойкость контактов, обеспечивает надежное отключение как токов КЗ, так и емкостных токов.

Полус выключателя ВМТ 220 имеет две маслonaполненные колонны, на которых установлены два дугогасительных модуля, включенных последовательно. Дугогасительные модули такой же конструкции, как и у ВМТ-110. Все детали ВМТ-220 максимально унифицированы с выключателем ВМТ-110.

7.3.6. БАКОВЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВМ-35

Выключатель ВМ-35 относится к группе многообъемных (баковых) выключателей. В баковых выключателях масло служит для гашения дуги и изоляции токоведущих частей. При напряжении 35 кВ и выше каждая фаза (полус) находится в отдельном баке. Стальные баки выключателя подвешены к литым чугунным крышкам. Через крышку проходят два фарфоровых изолятора (ввода). На нижних концах токоведущих стержней высоковольтных вводов закрепляются два дугогасительных устройства в виде жестких камер. Подвижные контакты находятся на контактном мосте (траверсе). Движение им передается с помощью тяги от приводного механизма. Во включенном положении выключатель удерживается защелкой привода, отключающая пружина сжата. При отключении освобождается защелка и траверса быстро опускается вниз. При этом образуется два разрыва цепи на каждом полюсе.

Дугогасительные камеры этого выключателя относятся к группе устройств с магнитным гашением в масле, в которых дуга под действием магнитного поля, создаваемого стальными подковообразными пластинами, перемещается в узкие каналы и щели из изоляционного материала (лабиринтно-щелевая камера). Выключатель ВМ-35-630-10 имеет номинальный ток 630 А и ток отключения 10 кА.

Аналогичную конструкцию имеют выключатели серий МКП-35, У-35 и С-35. Особенность выключателя ВМ-35, как и всех баковых выключателей, состоит в наличии встроенных трансформаторов тока. На каждый ввод выключателя с внутренней стороны надевается по два кольцевых сердечника с вторичными обмотками. Первичной обмоткой служит ввод выключателя.

В настоящее время производство баковых выключателей 35–220 кВ полностью прекращено. Исключение пока составляет выключатель С-35М-630-10, который заменяется вакуумными выключателями с электромагнитным и пружинным приводами. Общий недостаток всех масляных выключателей – пожаро- и взрывоопасность. Поэтому они вытесняются новыми выключателями с использованием элегаза и вакуума в качестве дугогасительной и изолирующей среды.

7.3.7. ВАКУУМНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВБЧ-СЭ-10-20-630

Электрическая прочность вакуума значительно выше прочности других сред, применяемых в выключателях. В вакууме длина свободного пробега электронов превышает размеры вакуумной камеры и расстояние между контактами может быть очень небольшим (до 20...25 мм). Это свойство используется в вакуумных дугогасительных камерах КДВ [6], на основе которых созданы выключатели напряжением 10–110 кВ с номинальным током до 3200 А и током отключения до 40 кА.

Камера КДВ состоит из стеклокерамической оболочки и стальных торцевых фланцев, через которые проходят подвижный и неподвижный медные контактные стержни. Подвижный контактный стержень соединяется с фланцем посредством ребристого гофрированного силофона из нержавеющей стали, обеспечивающего перемещение контактного стержня при сохранении герметичности камеры.

Дисковые контакты на концах стержней выполняются из материалов, обладающих высокой механической прочностью и малым испарением металла при горении дуги отключения. Вследствие глубокого вакуума (около 10^{-5} Па) происходит быстрая диффузия заряженных частиц в окружающее пространство, при первом же переходе отключаемого тока через нуль дуга гаснет и парообразование прекращается. Если скорость восстанавливающейся электрической прочности промежутка превышает скорость ПВН, цепь оказывается разомкнутой. Между оболочкой камеры и контактными стержнями располагаются цилиндрические экраны. Они служат для выравнивания электрического поля и для защиты керамической оболочки от радиации дуги и напыления паров металла.

Отключающая способность КДВ зависит от материала и конструкции электродов (контактов), устройства экранов. В новейших конструкциях применены контакты большого диаметра (до 18 см), устроенные так, что в процессе отключения создается продольное магнитное поле, параллельное дуге. Такое поле разбивает дугу на множество тонких нитей с основаниями, равномерно распределенными по поверхности катода. При этом уменьшается напряжение на дуге, а также энергия, выделяемая в дуговом промежутке, увеличивается отключающая способность. Эрозия контактов минимальна.

Вакуумные выключатели ВБЧ-СЭ10/630-20, ВБУП-10-20-1000 и ВВ/TEL-10 в лаборатории П-106 предназначены для коммутации электрических цепей 10 кВ в нормальных и аварийных режимах. Вы-

ключатель встраивается в ячейку КРУ. На общей раме с помощью изоляционных каркасов укреплены три дугогасительные вакуумные камеры КДВ [6]. Вывод подвижного контакта с помощью гибкой связи соединен с верхним контактным ножом, укрепленным на изоляционной балке. Неподвижный (нижний) контакт связан с нижним ножом. Электромагнитный привод (у задней стенки) через систему тяг и изоляционную плиту связан с подвижными контактами. Конечное контактное нажатие обеспечивают пружины. Стальная перегородка между полюсами и приводом предназначена для защиты постоянных магнитов привода от электромагнитных полей главных цепей выключателя. Выключатель закрыт передней крышкой с окнами для наблюдения за указателем положения и счетчиком числа циклов ВО.

Выключатели рассчитаны на 20 000 операций ВО при номинальном токе и 50 операций при токе КЗ 20 кА. Полное время отключения – 0,06 с, собственное – 0,04 с.

Выключатель ВБУП в отличие от описанного имеет пружинный привод.

Вакуумные выключатели ВВК-35 и ВВК-110 рассчитаны на открытую установку. В каждом полюсе в фарфоровой крышке заключены дугогасительные камеры: одна на 35 кВ и четыре последовательно включенные – на 110 кВ. Для надежной изоляции полюсы заливаются маслом.

Достоинства вакуумных выключателей: простота конструкции; исключительная надежность – перерывы в работе присоединений, вызванные ремонтом выключателей, практически исключены; быстрое действие – время отключения – 2 периода; высокая коммутационная износостойкость (до 50 000 коммутаций); малые размеры и масса; пожаро- и взрывобезопасность; бесшумная работа; низкая стоимость.

Недостаток вакуумных выключателей – возможность перенапряжений при отключении малых индуктивных токов.

Вакуумные выключатели вытесняют маломасляные выключатели, применяемые в настоящее время, в особенности в электроустановках до 35 кВ.

7.3.8. ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВАКУУМНЫЙ ТИПА ВБУП4-10-20/1000

Выключатель управляется пружинно-моторным приводом. Включение осуществляется за счет энергии заведенной пружины включения привода, отключение – за счет энергии, запасенной отключающей пружиной при включении.

Технические характеристики

Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	1000
Номинальный ток отключения, кА	20
Ток термической стойкости, 3 с, кА	20
Ток электродинамической стойкости, кА	52
Ход подвижного контакта ВДК, мм	6 + 1
Ход поджатия контактов ВДК, мм	4 + 1
Собственное время отключения, с	0,03
Полное время отключения, с	0,05
Собственное время включения, с	0,03
Средняя скорость контакта при отключении, м/с	1-2
Потребляемый ток электромагнитов включения/отключения (YAC, YAT), А, при $U = 220$ В	1,0

Принцип работы выключения основан на гашении дуги в вакууме. Электрическая дуга благодаря выбранной форме контактов направляется в стороны от центра. В силу высокой электрической прочности вакуумного промежутка и отсутствия среды, поддерживающей горение дуги, дуга распадается и гаснет.

Токоъем с подвижного контакта ВДК осуществляется с помощью гибкой медной многослойной ленты.

Для создания дополнительного нажатия поршневых контактов ВДК предусмотрен механизм поджатия.

7.3.9. ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВАКУУМНЫЙ ВВ/TEL-10-20/1600

Выключатели ВВ/TEL-10 – это коммутационные аппараты нового поколения. В основе конструктивного решения выключателя лежит использование пофазных электромагнитных приводов с «магнитной защелкой», механически связанных с общим валом.

Такая конструкция позволила достичь следующих особенностей по сравнению с традиционными вакуумными выключателями:

- высокий механический ресурс;
- малое потребление по цепям включения и отключения;
- малые габариты и вес;
- возможность управления как по цепям постоянного, так и переменного оперативного тока (с помощью блоков управления);
- отсутствие необходимости ремонтов в условиях эксплуатации в течение всего срока службы.

Технические характеристики

Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток ($I_{\text{ном}}$), А.....	1600
Номинальный ток отключения ($I_{0\text{ном}}$), кА.....	20
Сквозной ток короткого замыкания, наибольший пик, кА	52
Нормированное процентное содержание апериодической составляющей ($\beta_{\text{ном}}$), %	40
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока КЗ, с	3
Собственное время отключения выключателя, с.....	0,015
Полное время отключения, с.....	0,025
Собственное время включения, с	0,07
Ресурс по коммутационной стойкости:	
• при номинальном токе $I_{\text{ном}}$, операций «ВО»	50 000
• при токах КЗ $I = (60 \dots 100) \% \text{ от } I_{0\text{ном}}$, – «ВО»	100
Механический ресурс	50 000
Срок службы до списания, лет.....	25

Гашение дуги осуществляется при разведении контактов в глубоком вакууме (10^{-6} мм рт.ст.). Дуга гаснет при первом естественном переходе тока через нуль. Поскольку электрическая прочность вакуумного промежутка чрезвычайно высока (~ 30 кВ/мм), отключение гарантированно происходит при зазорах более 1 мм.

7.3.10. ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ НАГРУЗКИ ВН-16

ВН-16 относится к группе автогазовых выключателей, в которых для гашения дуги используется газ, выделяющийся из твердого газогенерирующего материала дугогасительной камеры под действием дуги.

Выключатель нагрузки по своей конструкции напоминает обычный разъединитель, у которого на неподвижном контакте пристроена дугогасительная камера. Главные контакты выключателя такого же типа, как у разъединителя, находятся в воздухе и при отключении размыкаются первыми, а дугогасительные контакты – в камере, где и возникает дуга при отключении. В пластмассовом корпусе камеры имеются вкладыши из органического стекла, которые выделяют газ при воздействии дуги.

Управление выключателем нагрузки осуществляется обычно рычажным ручным приводом. Поскольку выключатель нагрузки предназначен для отключения только токов нагрузки, для защиты от токов КЗ последовательно с ним устанавливаются предохранители ПК-6 или ПК-10.

7.3.11. РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ РВ-6/600

Разъединитель предназначен для отключения и включения цепей ВН при отсутствии в них тока, т. е. для снятия (подачи) напряжения и создания видимого разрыва. Разъединитель РВ-6 применяется для внутренней установки напряжением 6 кВ в цепях с рабочими токами до 600 А. Нож разъединителя выполняется из двух медных полос и вращается вокруг одного из неподвижных контактов. РВ-6 относится к разъединителям рубящего типа. Необходимое давление в контактах создается пружинами.

7.4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ И ТОКА

Измерительные трансформаторы напряжения (ИТН) и тока (ИТТ) применяются в цепях переменного тока электроустановок при высоких напряжениях и больших токах, когда непосредственное включение контрольно-измерительных приборов, реле и приборов автоматики в первичные цепи технически невозможно, нерационально или недопустимо по условиям безопасности.

7.4.1. КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ НОМ-10 И НТМИ-6

Конструктивно ИТН изготавливается как самостоятельный аппарат однофазного или трехфазного исполнения и как встраиваемый в конструкции комплектных экранированных токопроводов, КРУ или встраиваемый к ним. ИТН типа НОМ (напряжения, однофазный, масляный) и типа НТМИ (напряжения, трехфазный, масляный для контроля изоляции), выполненные в баке с маслом, с естественным масляным охлаждением применяются для внутренних установок напряжением до 18 кВ, однофазные ИТН – до 35 кВ. Такие ИТН выполняют с бумажной изоляцией, погруженной в масло.

В электроустановках 110 кВ и выше применяются однофазные трансформаторы напряжения каскадного типа НКФ в фарфоровом кожухе, заполненном маслом. Число ступеней каскада определяется номинальным напряжением из расчета приблизительно 50 кВ на каждую ступень. Выпускаются каскадные ИТН для напряжений 110, 220, 330 и 500 кВ с числом ступеней соответственно 2, 4, 6 и 10.

Однофазные двухобмоточные трансформаторы типа НОМ имеют два ввода ВН и два – НН, их можно соединить по схемам открытого треугольника, звезды и треугольника.

Следует отличать от НОМ однофазные трехобмоточные ИТН типа ЗНОМ, у которых один конец обмотки заземлен. Единственный ввод ВН расположен на крышке бака, а вводы НН – на боковой стенке. Обмотка ВН рассчитана на фазное напряжение сети, основная обмотка НН – на $100/\sqrt{3}$ В, дополнительная – на $100/3$ В.

Трехфазный трансформатор типа НТМИ имеет пятистержневой магнитопровод броневого типа, обеспечивающий замыкание в них магнитных потоков нулевой последовательности, соответствующих системе напряжений и токов нулевой последовательности, возникающих при замыкании на землю. С помощью таких ИТН могут быть измерены напряжения относительно земли, линейные напряжения и напряжения нулевой последовательности в незаземленных и компенсированных сетях (контроль изоляции). Основные обмотки НТМИ имеют группу соединений $Y/Y-12$ с заземленными нейтралями. Дополнительные обмотки соединяются в разомкнутый треугольник и включаются на реле напряжения.

7.4.2. КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ТПЛ-10 И ТВ-35

Конструктивно ИТТ изготавливаются:

- 1) как самостоятельные однофазные аппараты;
- 2) в виде встроенных ИТТ, где сердечники надеваются с внутренней стороны на линейные вводы в баки силовых трансформаторов (ТБТ) и баковых выключателей (ТВ);
- 3) как обязательная составная часть в конструкциях шкафов КРУ.

Различают две основные группы ИТТ: одновитковые и многovitковые.

Одновитковые трансформаторы тока наиболее просты в изготовлении. Однако при одном витке первичной обмотки МДС при малых токах недостаточна для ИТТ класса 0,5, поэтому они применяются при первичных токах больше 400...600 А. Применение получили три характерные конструкции одновитковых ИТТ: стержневые, для номинальных напряжений до 35 кВ и номинальных первичных токов от 400 до 1500 А; шинные до 24 кВ и 30 000 А; встроенные на вводах силовых трансформаторов и баковых выключателей 35 кВ и выше.

Многovitковые ИТТ изготавливаются для всей шкалы номинальных напряжений и для токов до 2000 А. Для напряжений 6–10 кВ изготавливают катушечные и петлевые ИТТ с литой, эпоксидной или фарфоровой (устаревшие конструкции) изоляцией с двумя сердечниками и вто-

ричными обмотками. Для напряжений 35–750 кВ изготавливают ИТТ наружной установки с масляным заполнением типа ТФЗМ и ТФРМ (фарфоровые со звеньевой или рывовидной первичной обмоткой) и элегазовым заполнением типа ТГФ.

Петлевой ИТТ с литой изоляцией на напряжение 10 кВ и ток 400 А типа ТПЛ-10/400 имеет два магнитопровода (сердечника) разного сечения, на каждый из которых намотана своя вторичная обмотка.

Первичная обмотка имеет два витка. Классы точности этих сердечников 0,5 и Р. Магнитопроводы вместе с обмотками заливаются эпоксидным компаундом. Такие ИТТ имеют значительно меньшие размеры, чем выпускаемые ранее ИТТ с фарфоровой изоляцией, и обладают высокой электродинамической стойкостью.

В баковых выключателях типов МКП, У, С и ВМ трансформаторы тока обычно совмещены с конструкцией вводов в бак выключателя. Эти ИТТ имеют обозначение ТВ-35, ТВ-110 или ТВ-220. Во вводы встраиваются кольцевые магнитопроводы с встроенными обмотками (обычно два на ввод). Первичными обмотками являются токоведущие стержни вводов с их изоляцией. Поэтому такие ИТТ дешевы и не требуют особого места в РУ для установки.

Погрешности встроенных ИТТ при прочих разных условиях больше погрешностей стержневых и шинных ИТТ, так как из-за значительного диаметра кольцевого магнитопровода, определяемого диаметром ввода, длина его и, следовательно, сопротивление магнитной цепи оказываются большими.

7.5. ПРИВОДЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Для управления выключателями, приведения в действие их приводного механизма используется энергия привода. Привод – это специальное устройство, которое осуществляет операции включения, удержания во включенном положении и отключения выключателей.

Приводы разделяются на ручные и автоматические, или силовые. В большинстве случаев привод выполняется в виде отдельного силового аппарата электромагнитного, пружинного, пневматического или пружинно-гидравлического, соединяемого с подвижным контактом выключателя. Только в воздушных выключателях пневмопривод конструктивно связан в одно целое с выключателем и его контактной системой.

Для преодоления усилий включения при значительных скоростях привод выключателя должен развивать достаточно большую мощность.

Работа отключения совершается отключающими пружинами, которые заводятся при включении. Поэтому роль привода при отключении состоит только в том, что он освобождает защелку, удерживающую механизм во включенном положении. Эту относительно небольшую работу выполняет отключающий электромагнит. Все силовые приводы являются автоматическими и позволяют дистанционно управлять выключателями, например, со щита управления, а также под действием РЗ и автоматики.

Силовые автоматические приводы могут быть прямого или косвенного действия. В приводах прямого действия энергия, необходимая для включения выключателя, сообщается приводу во время самого процесса включения (электромагнит включения).

В приводах косвенного действия необходимая для включения энергия предварительно запасается преимущественно в потенциальном виде (сжатая пружина), а затем уже используется на операцию включения. К этой группе относятся пружинные приводы. Время заводки такого привода составляет 6...15 с, а необходимая мощность двигателя 100...350 Вт.

В соответствии с требованиями энергосистем и стандарта привод выключателя должен иметь механизм свободного расцепления, позволяющий легко и беспрепятственно отключать выключатель в ходе операции включения в любой момент.

Механизм свободного расцепления представляет собой систему «ломающихся» рычагов, которые связывают вал выключателя с приводом. Эта система рычагов легко ломается, т. е. складывается в шарнирных соединениях с небольшим силовым воздействием на определенное звено, при котором нарушается жесткая связь между приводом и валом выключателя. Таким образом, благодаря механизму свободного расцепления высоковольтный выключатель может выполнять защитные функции даже при включении его на существующее в сети КЗ, когда под действием РЗ привод и вал выключателя разобщаются и происходит отключение.

Все автоматические приводы снабжаются вспомогательными приспособлениями, позволяющими включить выключатель вручную в случае отказа основного источника питания привода, а также с целью наладки и проверки механизма включения выключателя. Приводы снабжаются вспомогательными блок-контактами, которые включают в цепи сигнальных ламп, а также коммутируют оперативные цепи управления выключателем.

7.5.1. ПРИВОД РУЧНОЙ ПР-2 РАЗЪЕДИНИТЕЛЯ РВ-6

Ручной привод применяется для разъединителей и выключателей нагрузки и заземляющих ножей разъединителей всех напряжений.

Приведение в действие ручного привода осуществляется рычагом, соединенным с валом разъединителя, отключение может производиться либо вручную, либо автоматически. В последнем случае привод снабжается отключающей пружиной.

Ручные приводы имеют простую и надежную конструкцию, удобны в эксплуатации, но нашли ограниченное применение для выключателей. Главный их недостаток – невозможность дистанционного и автоматического включения.

7.5.2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ (СОЛЕНОИДНЫЙ) ПРИВОД ПЭ-11

Электромагнитные приводы применяются для выключателей всех типов, за исключением воздушных. Электромагнитный привод – это привод прямого действия. Так как время включения мало, то для питания включающего магнита требуется мощный источник постоянного тока, до 50...60 кВт, например, аккумуляторная батарея. Электромагниты переменного тока требуют слишком большой реактивной мощности и поэтому не получили применения в качестве приводов.

Движущим элементом соленоидного привода является сердечник электромагнита, создающий необходимое тяговое усилие при пропускании тока по катушке. Посредством передачи и штока-толкателя сердечник включает выключатель.

Основные достоинства этих приводов: простота конструкции и компактность, высокая надежность, быстрота действия. В зависимости от типа выключателей время включения их составляет 0,1...0,8 с.

Привод ПЭ-11 предназначен для управления выключателями ВМП-10, ВК-10, ВМГ-10 и ВМГ-133 с токами отключения 20 и 31,5 кА.

Привод состоит из магнитной системы и механизма. Верхней частью магнитопровода служит чугунный кронштейн механизма, нижней – чугунный буферный фланец. Между ними закреплен полый стальной цилиндр, в котором помещена обмотка электромагнита включения; цилиндр является наружной частью магнитопровода. Внутри электромагнита включения находится подвижная часть – стальной сердечник со штоком. В правой части привода располагается электромагнит отключения.

При включении сердечник втягивается в катушку и поднимается вверх, передавая движение через систему рычагов валу выключателя.

В конце включения защелка удерживает механизм во включенном положении, а блок-контакты разрывают цепь электромагнита включения и сердечник падает в свое начальное положение.

Дистанционное, или автоматическое, отключение выключателя производится при помощи отключающего электромагнита, освобождающего защелку и отключающую пружину.

7.5.3. ПРИВОД ПРУЖИННЫЙ ДПП И ПП

Пружинные приводы относятся к приводам косвенного действия, в которых каждый раз после включения требуется последующая заводка включающей пружины. Эта работа в двигательном пружинном приводе выполняется автоматическим моторным редуктором с небольшим двигателем для автоматической заводки привода после его срабатывания на включение. Пружинные приводы пригодны для АПВ и АВР.

Конструкция автоматических пружинных приводов допускает ручную заводку пружины посредством рычага.

После заводки включающей пружины привода включение выключателя осуществляется нажатием кнопки ВКЛ на корпусе привода или дистанционно замыканием цепи включающего электромагнита. При этом освобождается взведенная пружина и поворачивается вал выключателя.

Отключение производится кнопкой ОТКЛ там же на корпусе привода или отключающим электромагнитом дистанционного управления, или реле, встроенными в привод, которые освобождают механизм свободного расцепления. Энергия для операции отключения запасена в отключающей пружине выключателя.

У выключателя ВБУП-10, находящегося в лаборатории П-106, предусмотрен универсальный встроенный пружинно-моторный привод ППМ. В нем применен блок из двух спиральных цилиндрических пружин из круглой стальной проволоки.

Главное достоинство пружинных приводов: автономность, независимость от источника питания.

7.6. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО С ДВУМЯ СИСТЕМАМИ СБОРНЫХ ШИН

Распределительным устройством (РУ) называется электроустановка, служащая для приема электроэнергии от генераторов станции или трансформаторов подстанции и дальнейшего ее распределения по потребителям. По существу, РУ – это конструктивное выполнение элек-

трической схемы, т. е. расстановка электрических аппаратов внутри помещений или на открытом воздухе с соединениями между ними голыми шинами или проводами в соответствии с электрической схемой.

РУ содержит сборные шины, подходящие и отходящие присоединения, электрические аппараты управления, контроля и измерения, выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы, реакторы и прочие вспомогательные устройства, обусловленные принятой схемой. Все аналогичные присоединения выполняются одинаково, так что РУ собираются из стандартных, типовых ячеек.

В зависимости от места и способа расположения аппаратуры различаются следующие типы РУ:

- закрытые РУ-ЗРУ;
- открытые РУ-ОРУ.

Закрытые РУ применяются при напряжении 6–10 кВ и в отдельных случаях при напряжении 35–220 кВ. Для уменьшения стоимости электромонтажных работ, ускорения процесса сборки используют элементы, изготовленные на специализированных заводах, и поставляют на место сборные конструкции в виде готовых блоков, шкафов. Таким образом, применяются там, где возможно, сборные РУ и КРУ.

7.6.1. СБОРНЫЕ РУ-6 КВ ТИПА КСО

РУ-6 кВ, установленное в лаборатории П-110, относится к закрытым РУ типа КСО – камеры сборные одностороннего обслуживания.

В сборных РУ аппараты устанавливаются в открытых камерах, защищенных металлической сеткой. Основу камер составляет стальной каркас. На сплошной части ограждения крепятся приводы выключателей и разъединителей, а сетчатая часть ограждения позволяет наблюдать за оборудованием.

Конструкция РУ-6 с двумя системами сборных шин включает в себя три ячейки (камеры) с выключателями генератора, трансформатора и шиносоединительного выключателя. В каждой из ячеек находятся по два разъединителя типа РВ-6/600 (в ячейках генератора и трансформатора выполненные в виде развилки, присоединенной к обеим системам шин), выключатель ВМГ-133 и трансформаторы тока типа ТПЛ-10/400. Сборные шины и ошиновка выполнены алюминиевыми шинами прямоугольного сечения $40 \times 5 \text{ мм}^2$. Связь с генератором и трансформатором, находящимся в машинном зале (П-108), выполнена трехжильными кабелями, проложенными в канале.

7.6.2. СОСТАВЛЕНИЕ ОДНОЛИНЕЙНОЙ СХЕМЫ РУ-6 КВ

В этой части работы следует после ознакомления с конструкцией РУ-6 кВ составить однолинейную электрическую схему распределительного устройства с двумя системами сборных шин и с тремя переключенными выше ячейками.

Схему надо выполнить с использованием обозначений условных графических элементов электрических схем и их буквенного кода [12].

Схема должна включать в себя: генератор, трансформатор, кабельные соединения, сборные шины, выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы тока и напряжения. Трансформаторы тока необходимо указать во всех трех фазах. Для силового трансформатора, который является трансформатором связи шин генераторного напряжения с системой, кроме того, требуется указать схему соединения обмоток и их напряжения.

7.7. УСТРОЙСТВО КОМПЛЕКТНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ К-66

Малогабаритное устройство комплектное распределительное серии К-66 напряжением 6 и 10 кВ одностороннего обслуживания предназначено для приема и распределения электроэнергии переменного трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц.

КРУ серии К-66 должны применяться в качестве распределительных пунктов городских подстанций, подстанций с мощного силового трансформатора до 10 000 кВ·А, для электрических сетей промышленности, электрических станций и электрификации железнодорожного транспорта.

7.7.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ КРУ СЕРИИ К-66 С ВАКУУМНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ ВБУП-10-20-630

Номинальное напряжение, кВ.....	6,0; 10
Номинальный ток шкафов КРУ, А	630; 1000
Номинальный ток сборных шин, А	1000
Номинальный первичный ток встроенных трансформаторов тока, А	400
Номинальная вторичная нагрузка трансформаторов тока, В·А	
• обмотка для измерений	10
• обмотка для защиты	15

Ток термической стойкости при 3 с, кА.....	20
Номинальный ток электродинамической стойкости, кА	51
Габаритные размеры, мм:	
• ширина.....	600
• высота	2000
• глубина	800

7.7.2. ТИПЫ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ВСТРАИВАЕМОГО В ШКАФ КРУ

- Вакуумный выключатель ВБУП-10-20/1000(1600) с пружинно-моторным приводом.
- Трансформаторы тока ТПОЛ-10 и ТПК-10.
- Ограничители перенапряжения серии ОПН-6.

7.7.3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО КОНСТРУКЦИИ КРУ

КРУ серии К-66 состоит из отдельных шкафов с встроенными в них аппаратами, приборами измерения, релейной защиты, автоматики, сигнализации и управления, соединенными между собой в соответствии с электрической схемой главных цепей РУ.

Конструкцией КРУ предусмотрен вариант ввода высоковольтного кабеля в высоковольтный отсек шкафа через кабельные каналы снизу шкафа с подсоединением в шкафу.

Конструкция шкафа позволяет подключить не более двух трехжильных кабелей сечением $3 \times 240 \text{ мм}^2$ или трех одножильных – до 630 мм^2 .

Шкаф КРУ представляет собой жесткую конструкцию, собранную из различных панелей, и состоит из корпуса шкафа с релейным шкафом.

Провода вспомогательных цепей в высоковольтных ВВ отсеках шкафа проложены в защитных металлорукавах и защитных корпусах.

Высоковольтная часть шкафа с вакуумным выключателем с помощью стенок и панелей разделена на три отсека:

- отсек выкатного элемента;
- отсек ввода (вывода);
- отсек сборных шин.

В отсеке ввода (вывода) находятся кабельный ввод и ограничители перенапряжения.

В отсеке выкатного элемента – выключатель на тележке и заземляющий разъединитель.

Проходные трансформаторы тока разделяют отсек кабельного ввода и выкатного элемента.

Выкатной элемент (ВЭ) может занимать относительно корпуса шкафа зафиксированное и ремонтное положения.

В ремонтном положении ВЭ полностью извлечен из шкафа, разъединяющие контакты главной и вспомогательной цепей разомкнуты.

В зафиксированном положении ВЭ находится в шкафу и зафиксирован фиксатором. При этом каретка с выключателем может занимать два положения: контрольное и рабочее.

В рабочем положении каретка поднята, разъемные контакты главной и вспомогательной цепей замкнуты и ВЭ полностью подключен для выполнения своих функций.

В контрольном положении каретка опущена, разъемные контакты главной цепи разомкнуты, вспомогательные цепи замкнуты и обеспечивают возможность проведения испытаний ВЭ и проверки вспомогательных цепей.

В КРУ серии К-66 имеется быстродействующая дуговая защита, выполненная с использованием разрузочных клапанов избыточного давления в сочетании с фототиристорами, установленными в каждом отсеке шкафа.

7.8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Привести перечень и указать типы и основные параметры высоковольтных электрических аппаратов:

- номинальные напряжения и токи – для всех аппаратов;
- отключающую способность (ток отключения), число и тип дугогасительных камер, выход контактов для выключателей;
- число, классы точности сердечников и номинальную вторичную нагрузку для измерительных трансформаторов тока (ИТТ);
- число, номинальные напряжения и нагрузку вторичных обмоток трансформаторов напряжения.

2. Привести основные характеристики рассматриваемых в работе приводов.

3. Указать типы приводов, применяемых для высоковольтных коммутационных аппаратов, находящихся в лабораториях.

4. Представить полную принципиальную однолинейную схему электрических соединений РУ-6 и мнемосхему К-66.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности гашения дуги в масле? Почему этот способ не применяется для дуги постоянного тока?
2. Назовите преимущества и недостатки масляных и маломасляных выключателей.
3. В чем отличие конструкции маломасляных выключателей на большие номинальные токи?
4. Назовите особенности конструкции и гашения дуги в выключателях ВМП-10.
5. Почему в новых типах КРУ отдают предпочтение вакуумным выключателям?
6. Чем отличаются конструкции выключателей МГГ и МГ от конструкции ВМП?
7. Каковы особенности конструкции выключателей колонкового типа ВМТ? Их область применения.
8. Каковы особенности конструкции баковых выключателей? Их область применения вчера и сегодня.
9. Особенности конструкции и гашения дуги в выключателях ВН (ВНР).
10. Каковы преимущества вакуумных выключателей? Их недостаток.
11. Как обеспечивается сохранение глубокого вакуума в камере КДВ?
12. Каково назначение разъединителей? Их конструктивные особенности.
13. В чем различие ТН типа НОМ и ЗНОМ?
14. Особенности конструкции НТМИ.
15. По каким принципам классифицируются конструкции ТТ?
16. В каких случаях изготавливают одновитковые ТТ? Их разновидности.
17. Каковы преимущества пружинных приводов перед электромагнитными? Их недостатки.
18. Что включает в себя конструкция РУ?
19. В чем преимущества и недостатки РУ с двумя системами сборных шин? Их область применения.

Лабораторная работа № 8

СХЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ

8.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Знакомство с работой схем дистанционного управления выключателями и аварийной световой и звуковой сигнализацией.

8.2. НАЗНАЧЕНИЕ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

При управлении технологическим процессом электростанции возникает необходимость дискретного воздействия (открыть, закрыть, включить, отключить) на исполнительные органы. В главной схеме электростанции таким органами являются приводы выключателей. Ручное управление приводом может осуществляться либо на месте установки, либо с удаленного (на десятки метров) пункта управления (например, с ЦЩУ, БЩУ). Средства и схемы дистанционного управления позволяют осуществлять как ручное, так и автоматическое управление выключателями, а схемы аварийной звуковой и световой сигнализаций оповещают дежурный персонал о возникших аварийных ситуациях и о положении коммутационных аппаратов.

8.3. КЛЮЧИ УПРАВЛЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Для дистанционного управления выключателями применяют ключи управления двух видов [2,5]: ПМО (П – переключатель, М – малогабаритный, О – общего назначения) и МК (М – малогабаритный, К – ключ). Ключи с самовозвратом и фиксацией рукоятки серий МКВФ и переключатели ПМОВФ имеют шесть положений, которые на рис. 8.1 условно изображены вертикальной прерывистой чертой: четыре положения – **«отключено О»**, **«предварительно включено В1»**, **«включено В»**, **«предварительно отключено О1»** – фиксированы при соответствующем положении рукоятки ключа, а два положения – **«включить В2»** и **«отключить О2»** – имеют возврат рукоятки в предшествующее положение.

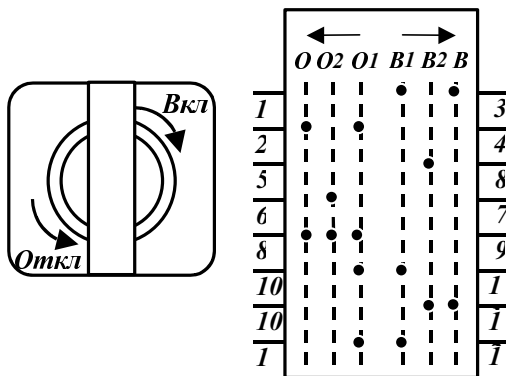


Рис. 8.1. Диаграмма ключа серии ПМОВФ

Точка означает, что контакты замкнуты

при соответствующем положении ключа

Точки на вертикальной черте означают, что контакты 1 и 3 ключа управления замкнуты, если рукоятка ключа управления находится в положении В1 или В, а контакты 2 и 4 замкнуты, когда рукоятка ключа управления находится в положении О1 или положении О.

Подача каждой команды ключом МКВФ (ПМОВФ) осуществляется в два приема. Так, например, для включения выключателя рукоятку ключа МКВФ сначала поворотом на 90° по часовой стрелке переводят из положения О – «**отключено**» в промежуточное положение В1 – «**предварительно включено**», а затем дополнительным поворотом на 45° ставят ее в положение В2 – «**включить**». После того как оператор отпускает рукоятку, механизм возврата переводит ее в положение В – «**включено**», совпадающее с положением В1 – «**предварительно включено**».

Малогабаритные ключи без фиксации рукоятки серий МКВ и ПМОВ значительно проще (рис. 8.2). Рукоятка ключа имеет три положения: «**включить** – В» (поворот рукоятки на 45° по часовой стрелке), «**отключить** – О» (то же, но против часовой стрелки) и нейтральное положение, в которое ключ возвращается под действием механизма возврата из положений «**включить**» и «**отключить**».

Основные отличия ключей МКВ от ПМОВ: меньшие размеры и меньшая коммутационная способность. Контакты ключа ПМОВ рассчитаны на ток до 30 А (при 220 В) и могут включаться непосредственно в цепь контактора включения и электромагнита отключения привода выключателя. Контакты же ключа типа МКВ, имеющие ком-

мутационную способность всего 0,25 А, не рассчитаны на непосредственное переключение цепей управления. В этом случае цепи включения и отключения коммутируются с помощью контактов реле команды включения КСС и отключения КСТ.

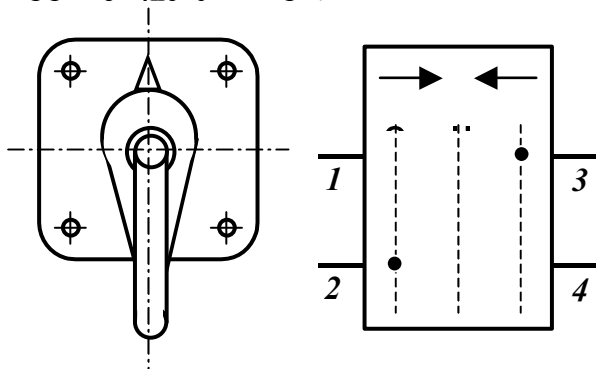


Рис. 8.2. Диаграмма ключа серии МКВ

В схемах на рис. 8.3, 8.4 и 8.5, приняты следующие условные обозначения:

- +ЕС и –ЕС – шинки управления;
- +ЕН и –ЕН – шинки реле фиксации команды и сигнализации;
- (+)ЕР – шинка «мигания» ламп сигнализации положения выключателей;
- +ЕУ и –ЕУ – шинки питания включающих электромагнитов масляных выключателей;
- ЕНА – шинка звуковой сигнализации аварийного отключения;
- SA – ключ управления;
- HLR – лампа красная (ЛК) сигнализации включенного положения выключателя;
- HLG – лампа зеленая (ЛЗ) сигнализации отключенного положения выключателя;
- SQ1 ÷ SQ5 – блок-контакты – вспомогательные контакты, механически связанные с приводом выключателя;
- YAT – электромагнит отключения выключателя;
- YAC – электромагнит включения выключателя;
- KM – промежуточный контактор для включения цепи электромагнита включения выключателя;
- KBS1 и KBS2 – две обмотки (катушки) реле блокировки от «прыгания»;

KQC – промежуточное реле положения «включено», контролирующее цепь отключения;

KQT – промежуточное реле положения «отключено», контролирующее цепь включения;

KL – промежуточное реле;

KQQ – двухобмоточное двухпозиционное реле фиксации команды включения или отключения;

KL1, KL2 – реле пульс-пары;

ABP и PЗ – выходные контакты автоматики ввода резерва и устройства релейной защиты соответственно;

T – промежуточный трансформатор;

VT1 и VT2 – транзисторы;

K – поляризованное двухобмоточное двухпозиционное реле;

KL – промежуточное реле;

HA – сирена;

KT – реле времени;

SB1 – кнопка опробования звуковой аварийной сигнализации;

SBC – кнопка снятия звуковой аварийной сигнализации;

SF – автоматические выключатели (автоматы):

X1-3 – номер разъема и контакта.

ВНИМАНИЕ! Схемы вторичной коммутации и, в частности, схемы управления выключателями изображают для обесточенного состояния схемы (автоматы питания SF отключены), выключатель также находится в отключенном состоянии.

8.4. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАЛОМАСЛЯНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЮЧА МКВ

8.4.1. ОПИСАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Принято отключенное положение выключателя сигнализировать ровным светом зеленой лампы, а включенное – ровным светом красной лампы. Сигнализация автоматического включения выключателя от автоматики ввода резерва (ABP) или отключения выключателя от устройства релейной защиты (PЗ) выполняется миганием сигнальных ламп (*при автоматическом включении мигает красная лампа, а при автоматическом отключении – зеленая*).

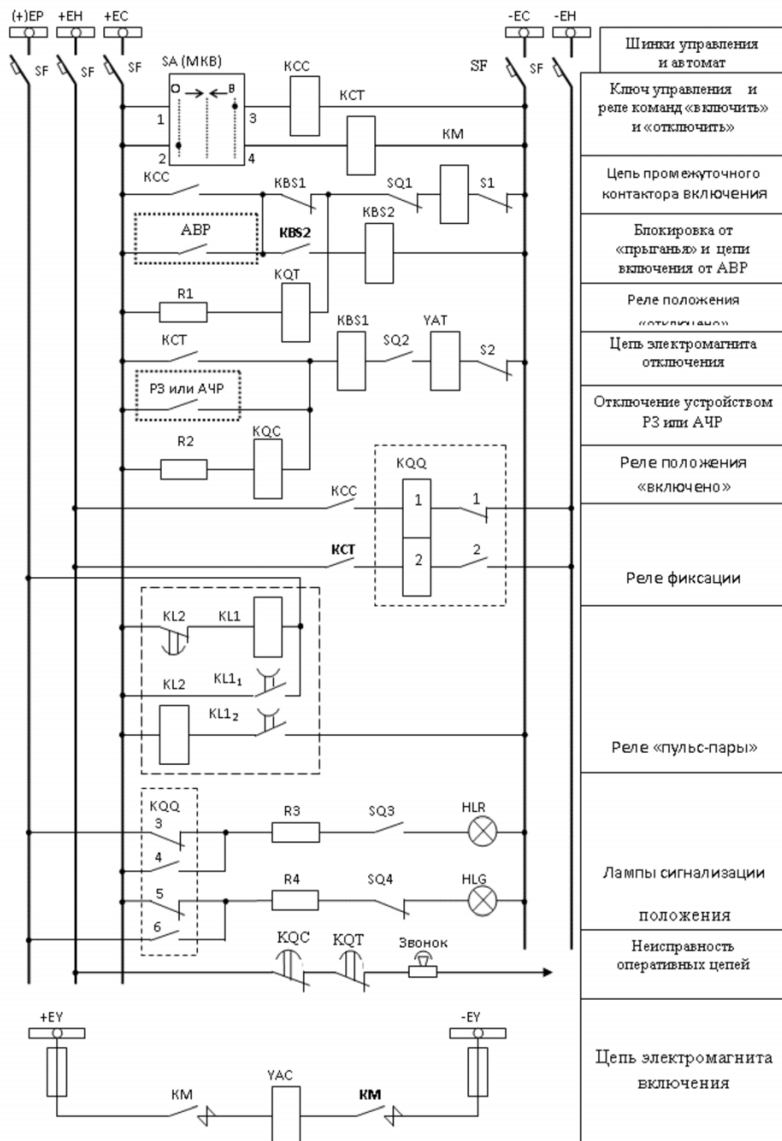


Рис. 8.3. Схема управления и сигнализации масляным выключателем ключом типа МКВ

Питание на схему подается включением автоматов SF (рис. 8.3). Поскольку ключ МКВ не имеет фиксированных положений, для фиксации выполненной команды и сигнализации о положении выключателя применяется двухпозиционное реле фиксации команды КQQ, имеющее две обмотки, с помощью которых якорь реле переключается в любое из двух фиксированных положений. Переключение реле КQQ осуществляется подачей тока в обмотку, контакт в цепи которой замкнут. При протекании тока по этой обмотке якорь КQQ меняет положение и переключает все свои контакты. Новое положение контактов реле сохраняется до тех пор, пока не будет подан ток во вторую обмотку, подготовленную для протекания тока.

Если выключатель с помощью ключа управления SA был отключен и ключ находится в нейтральном положении, то образуются две цепи:

1) +ЕС, резистор R1, катушка реле KQT, блок-контакт привода выключателя SQ1, катушка промежуточного контактора КМ, –ЕС. По этой цепи будет течь ток, достаточный для срабатывания реле KQT, но недостаточный для срабатывания контактора КМ. Реле KQT срабатывает и размыкает свои контакты в цепи сигнализации обрыва цепей управления (неисправность оперативных цепей). Тумблер S1 предназначен для имитации обрыва цепи включения;

2) +ЕС, замкнутые контакты 5 реле фиксации команды КQQ, резистор R4, блок-контакт привода выключателя SQ4, зеленая лампа HLG, –ЕС. Свечение ровным светом зеленой лампы сигнализирует об **отключенном** положении выключателя.

Если выключатель с помощью ключа управления SA был **включен** и ключ находится в нейтральном положении, то образуются две другие цепи:

1) +ЕС, резистор R2, катушка реле KQC, катушка реле KBS1, блок-контакт SQ2 (замкнутый при включенном выключателе), катушка электромагнита отключения YAT, –ЕС. По этой цепи будет течь ток, достаточный для срабатывания реле KQC, но недостаточный для срабатывания электромагнита отключения YAT. Реле KQC срабатывает и размыкает свои контакты в цепи сигнализации обрыва цепей управления. Тумблер S2 предназначен для имитации обрыва цепи отключения;

2) +ЕС, замкнутые контакты 4 реле фиксации команды КQQ, резистор R3, блок-контакт выключателя SQ3 (замкнутый при включенном выключателе), красная лампа HLR, –ЕС. (Ровным светом горит красная лампа, что сигнализирует о **включенном** положении выключателя.)

Состояние схемы, приведенной на рис. 8.3, соответствует отключенному положению выключателя и отключенному положению автоматов SF.

При применении ключа МКВ запуск схемы мигающего света происходит при несоответствии между положением двухпозиционного реле фиксации команды KQQ и положением выключателя (положение выключателя отслеживают его блок-контакты – SQ1 – SQ5).

Например, если выключатель был включен ключом SA, то реле фиксации KQQ должно находиться в положении «включено» (т. е. контакты 2, 4, 6, 8 замкнуты и 1, 3, 5 – разомкнуты), а релейная защита отключила выключатель (или он отключился самопроизвольно). При отключении выключателя замыкается блок-контакт SQ4 привода выключателя и ток проходит по цепи: +ЕС, *замкнутые контакты реле KL2, катушка реле KL1, шина (+)ЕР, замкнутые контакты 6 реле фиксации команды KQQ, резистор R4, блок-контакт выключателя SQ4, лампа HLG*, –ЕС – (мигает ЛЗ).

Если выключатель находился в отключенном состоянии (реле фиксации KQQ находится в положении «отключено», т. е. его контакты зафиксированы в состоянии, соответствующем рис. 8.3), а устройство АВР выключатель включило, то замыкается блок-контакт SQ3 и ток теперь течет по цепи: +ЕС, *замкнутые контакты реле KL2, катушка реле KL1, шина (+)ЕР, замкнутые контакты 3 реле фиксации команды KQQ, резистор R3, блок-контакт выключателя SQ3, лампа HLR*, –ЕС – (мигает ЛК).

При подаче команды «включить» контактами 1–3 ключа управления замыкается цепь обмотки реле КСС, которое своими контактами подает питание на обмотку 1 реле KQQ (+ЕН, контакты КСС, обмотка 1 KQQ, последовательные контакты 1, –ЕН). Реле KQQ перебрасывает якорь во второе фиксированное положение, замыкая контакты 2, 4, 6, 8 и размыкая 1, 3, 5.

После завершения операции включения блок-контакты выключателя SQ3 и SQ4 меняют свое положение и образуется цепь питания красной лампы: +ЕС, *контакт 4 реле KQQ, резистор R3, блок-контакт выключателя SQ3, лампа красная HLR*, –ЕС. Красная лампа загорается ровным светом.

При подаче команды на отключение контактами 2–4 ключа работает реле КСТ и своими контактами замыкает цепь обмотки 2 реле KQQ. Реле KQQ срабатывает и замыкает контакты 1, 3, 5, при этом контакты 2, 4, 6, 8 размыкаются. Зеленая лампа загорается ровным светом.

При автоматическом отключении выключателя релейной защитой блок-контакты SQ4 замыкаются и через замкнутые контакты 6 (реле KQQ) подключают зеленую лампу к установке мигающего света и последняя загорается мигающим светом.

При автоматическом включении выключателя, например, устройством АВР, блок-контакты SQ3 замыкаются и через замкнутые контакты 3 (реле KQQ) подключают красную лампу к установке мигающего света и красная лампа загорается мигающим светом.

8.4.2. СИГНАЛИЗАЦИЯ АВАРИЙНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Этот вид сигнализации применяется для извещения персонала об отключении выключателя релейной защитой и выполняется сочетанием светового (мигание зеленой лампы) и звукового (сирена) сигналов. Назначение звукового сигнала – привлечь внимание персонала к произошедшему отключению, светового – указать, какой выключатель отключился автоматически.

Если выключатель был **включен**, то схема сигнализации положения фиксирует его ровным свечением **красной** лампы. При **аварийном** отключении выключателя меняется положение блок-контактов SQ1 ÷ SQ5 привода выключателя и **зеленая** лампа мигает (в схеме образовалось несоответствие между положением блок-контактов выключателя и положением контактов реле фиксации команды KQQ).

Для получения мигающего света создается общая установка (см. рис. 8.3) с применением двух промежуточных реле KL1 и KL2 (пульс-пара), имеющих контакты с замедлением на размыкание (KL1₁ и KL1₂) и с замедлением на замыкание (KL2).

Запуск пульс-пары производится блок-контактами SQ4. Эти контакты замыкаются при любом (автоматическом, ручном или самопроизвольном) отключении выключателя. При срабатывании РЗ замыкаются выходные контакты РЗ (см. рис. 8.3) и выключатель отключается. Но контакты реле фиксации команды KQQ по-прежнему остаются в положении, которое соответствует положению включенного выключателя. При этом сигнальная лампа HLG оказывается включенной между шиной –ЕС и промежуточной шиной (+)ЕР и практически не горит вследствие падения напряжения на обмотке реле KL1 и резисторе R4. Обмотка реле KL1 обтекается током и срабатывает, замыкая цепь питания обмотки KL2 и одновременно подавая «плюс» с шинки +ЕС на шинку (+)ЕР. Сигнальная лампа HLG загорается пол-

ным накалом. Контакты реле KL2 снимают напряжение с обмотки реле KL1. Однако контакты KL1₁ остаются еще некоторое время в замкнутом состоянии, чем определяется продолжительность полного накала лампы. С размыканием контактов KL1₁ «плюс» с промежуточной шинки (+)ЕР снимается. Длительность обесточенного состояния лампы НЛГ обеспечивается контактами KL2, которые замыкаются с замедлением после снятия напряжения контактами KL1₂ с обмотки реле KL2. После замыкания контактов реле KL2 следует новый цикл действия схемы.

Действие индивидуальной аварийной световой сигнализации прекращается приведением реле KQQ в положение «Отключено» поворотом ключа в положение «Отключить». Эта операция носит название **квитирования** сигнала.

Одновременно с индивидуальным световым сигналом действует общий (центральный) аварийный звуковой сигнал. На рис. 8.4 показана схема аварийной звуковой сигнализации, выполненной с помощью реле импульсной сигнализации РИС-Э2М. Основными элементами этого реле являются поляризованное сигнальное реле К (оно показано отдельно), трансформатор Т и два транзисторных переключателя VT1 и VT2.

Поляризованное реле К состоит из постоянного магнита 4, сердечника 3 с подвижным якорем 5 и контактным мостиком 6, обмоток управления 1 и 2 и контактов 7. Постоянный магнит служит для фиксации якоря в двух крайних положениях. Реле выполнено так, что одна обмотка создает магнитный поток, совпадающий по направлению с потоком постоянного магнита, а другая – поток противоположного направления. Положение якоря изменяется при подаче тока в соответствующую обмотку управления 1 или 2. Схема, показанная на рис. 8.4, поясняет действие аварийной звуковой сигнализации при использовании для управления выключателем ключа МКВ.

При включении выключателя ключом управления замыкаются контакты KQQ 8, и размыкается блок-контакт выключателя SQ5. При отключении выключателя релейной защитой блок-контакт SQ5 замыкается, а контакт KQQ 8 остается замкнутым (т. е. возникает несоответствие между положением выключателя и положением контактов реле фиксации команды KQQ). В результате «плюс» с шинки +ЕС поступает на промежуточную шинку ЕНА (шинка аварийной звуковой сигнализации) и далее на первичную обмотку Т (реле РИС-Э2М). Переходный процесс, соответствующий изменению тока в обмотке от

нуля до установившегося значения, вызывает появление импульса напряжения на вторичной обмотке Т. При этом открывается транзистор VT1 и по обмотке управления 1 реле К протекает ток, который вызывает срабатывание реле К и замыкание контактов 7. Контакты реле К замыкают цепь обмотки промежуточного реле КЛ, срабатывание (замыкание контактов КЛ₁) которого приводит в действие сирену НА.

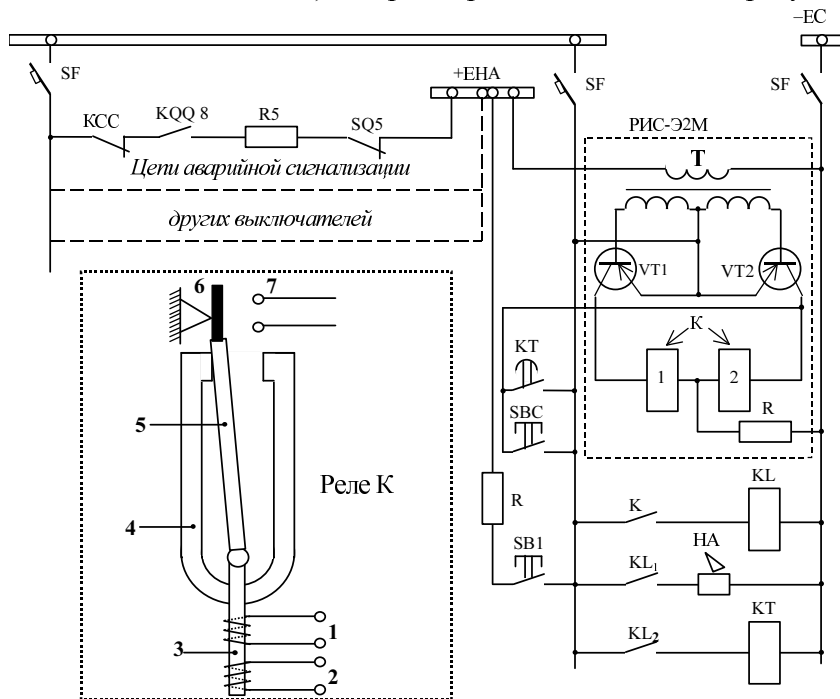


Рис. 8.4. Схема центральной звуковой аварийной сигнализации

Включение контактов реле КСС в цепь несоответствия исключает ложную работу аварийной сигнализации при подаче команды «включить». Снятие звукового сигнала выполняется подачей тока в обмотку 2 реле К. Звуковой сигнал можно снять вручную нажатием на кнопку центрального съема сигнала SBC или автоматически от контактов реле ограничения длительности сигнала КТ (реле времени, которое запускается контактами КЛ₂). Звуковой сигнал снимается и при квитировании ключа управления. Во всех этих случаях размыкается цепь несоответствия, и во вторичную обмотку Т трансформируется импульс

обратной полярности, который отпирает транзистор VT2, что вызывает возврат контактов реле К (и соответственно возврат контактов реле КL и КТ) в исходное положение.

Реле РИС-Э2М обеспечивает возможность подачи повторного сигнала, если до квитирования ключа управления первого выключателя также аварийно отключается второй и т. д. Новая цепь несоответствия подключается параллельно первой, сопротивление общей цепи меняется, что приводит к возрастанию тока в обмотке трансформатора Т. Импульс переходного процесса трансформируется во вторичную цепь, обуславливая новый запуск реле К и т. д. Реле принимает до 30 сигналов.

8.4.3. СИГНАЛИЗАЦИЯ АВАРИЙНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Этот вид сигнализации применяется для извещения персонала о *включении* выключателя устройством АВР и выполняется созданием только светового (мигание *красной* лампы) сигнала. Назначение светового сигнала – указать, какой выключатель включился автоматически в результате произошедшей аварии.

Мигающий свет создается той же установкой, что была описана в разделе 8.4.2.

Если выключатель был **отключен**, то схема сигнализации положения фиксирует его ровным свечением **зеленой** лампы. При **включении** выключателя устройством АВР меняется положение его блок-контактов SQ1 ÷ SQ5 и **красная** лампа мигает (в схеме образовалось несоответствие между положением блок-контактов выключателя и положением контактов реле фиксации команды KQQ).

8.4.4. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ БЛОКИРОВКА ОТ МНОГОКРАТНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ

Включение выключателя ключом управления на существующее короткое замыкание (КЗ) (о наличии КЗ персонал не подозревает или выполняет ошибочную операцию) опасно для любого выключателя, так как при этом происходят многократные включения (оператор не успевает отпустить рукоятку ключа и тем самым снять команду «включить») и отключения (под действием релейной защиты) выключателем цепи с устойчивым КЗ. На такой тяжелый режим работы выключатели не рассчитаны. Для предотвращения этого опасного явления предусматривают специальную блокировку, которую называют

блокировкой от «прыгания». Она выполняется с помощью специального промежуточного реле KBS (см рис. 8.3). Реле имеет две обмотки: последовательную KBS1 в цепи электромагнита отключения YAT и параллельную KBS2.

При включении выключателя на КЗ ключом управления или устройствами автоматики срабатывает релейная защита данного присоединения, подавая команду на отключение выключателя. Создается положение, когда одновременно существуют две команды: одна – на включение контактами ключа (если оператор не успел отпустить рукоятку ключа) и другая – на отключение контактами релейной защиты. Неправильная работа привода выключателя в этом случае будет блокироваться с помощью реле KBS.

После включения выключателя на КЗ и срабатывания релейной защиты создается цепь отключения: +ЕС, *контакты релейной защиты РЗ, обмотка KBS1, блок-контакты выключателя SQ2, обмотка электромагнита отключения YAT*, –ЕС. Происходит отключение выключателя, и одновременно срабатывает реле KBS. Срабатывая, реле KBS размыкает контакт KBS1 в цепи команды «включить» и замыкает контакт KBS2 в цепи самоудержания параллельной обмотки KBS2, что обеспечивает его подтянутое состояние после отключения выключателя в течение всего времени, пока сохраняется положение ключа «включить» или будут замкнуты контакты устройств автоматического включения. Контактom KBS1 блокируется цепь включения, в результате чего запрещается повторное включение выключателя. После снятия команды на включение (например, отпусканием рукоятки ключа управления) схема управления возвращается в исходное положение.

8.4.5. СИГНАЛИЗАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ

Для контроля исправности цепи включения выключателя последовательно с катушкой контактора КМ включено промежуточное реле положения «отключено» – KQT.

Для контроля исправности цепи отключения выключателя последовательно с катушкой электромагнита отключения YAT включено промежуточное реле положения «включено» – KQC.

Контакты реле KQT и KQC включены последовательно. При неисправности одной из указанных цепей контактами реле KQT и KQC запускается предупредительная сигнализация в виде звонка.

8.5. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАЛОМАСЛЯНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЮЧА ПМОВФ

В случае применения ключа ПМОВФ в схеме управления выключателем отпадает необходимость в использовании реле команд «включить» (КСС) и «отключить» (КСТ) (рис. 8.5). Контакты 5–8 и 6–7 непосредственно подают напряжение на промежуточное реле КМ и электромагнит отключения УАТ соответственно. Отпадает необходимость и в применении реле фиксации команд КQQ. Лампы сигнализации HLR и HLG коммутируются при этом контактами 13 : 22 самого ключа SA. Сигнализация о неисправности оперативных цепей также осуществляется через контакты ключа управления SA. В схему введено дополнительное промежуточное реле KL, которое своими контактами KL запускает схему аварийной звуковой сигнализации (вместо контактов КQQ8, см. рис. 8.4). Схема управления маломасляным выключателем с электромагнитным приводом с использованием ключа ПМОВФ показана на рис. 8.5.

8.6. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ СЕРИИ ВВ/TEL

Выключатель состоит из трех полюсов (модулей) со встроенными электромагнитными приводами с магнитной защелкой, размещенными в общем основании [10]. Каждый модуль вакуумного выключателя серии ВВ/TEL снабжен индивидуальным электромагнитным приводом, что позволяет значительно упростить привод и управление им.

В отключенном состоянии выключателя контакты вакуумной дугогасительной камеры (ВДК) удерживаются в разомкнутом положении отключающей пружиной. При включении выключателя напряжение положительной полярности подается на катушку включающего электромагнита. Сила тяги якоря превосходит сопротивление пружины отключения и пружины дополнительного поджатия и замыкает контакты ВДК. Якорь останавливается при соприкосновении с верхней крышкой привода. При окончании в электромагните переходного механического процесса формируется необходимая остаточная индукция кольцевого постоянного магнита (магнитная защелка). Запасенная в постоянном магните (магнитной защелке) энергия надежно удерживает выключатель во включенном состоянии. По окончании процесса включения

катушка электромагнита отключается от встроенного в блок управления выключателем собственного источника питания.

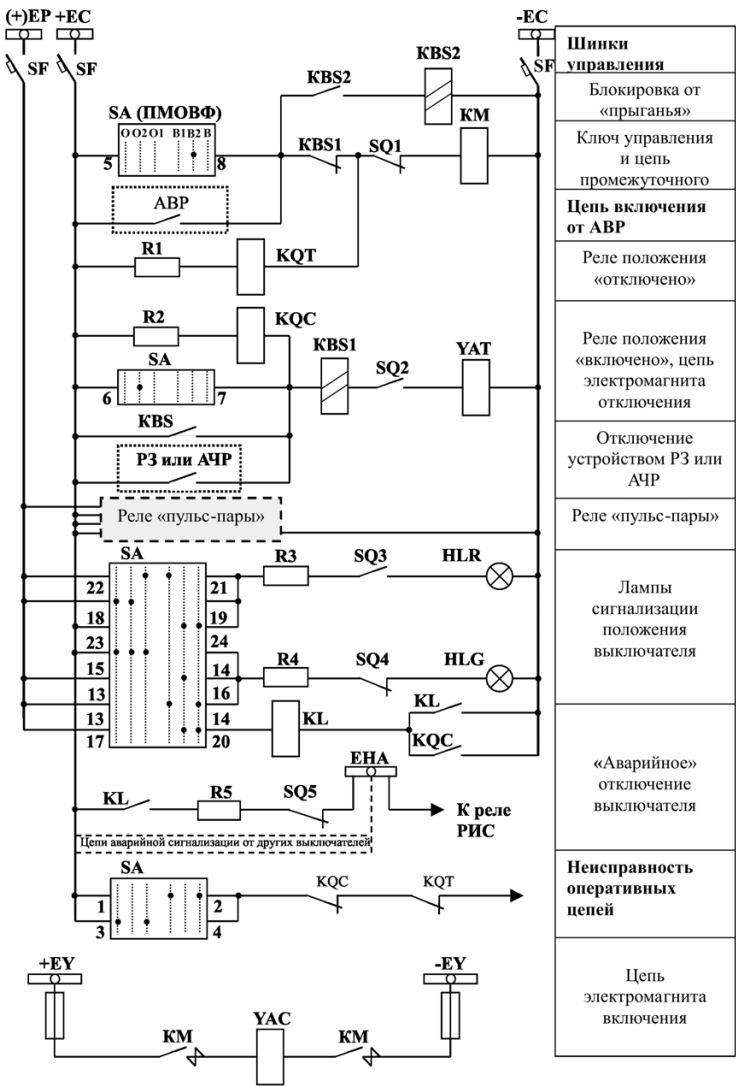


Рис. 8.5. Схема управления и сигнализации выключателя с ключом типа ПИМОВФ

Управление выключателем осуществляется блоком управления (БУ) типа БУ/TEL. Назначение блоков управления БУ/TEL вакуумным выключателем ВВ/TEL по основным функциям аналогично назначению приводов традиционных выключателей: управление выключателем путем подачи на его электромагниты управления порции электрической энергии от встроенного в БУ собственного источника питания, содержащего конденсаторные батареи, а также взаимодействие с релейной защитой и автоматикой. В отличие от традиционных приводов блоки управления представляют собой электронные устройства нового поколения, позволяющие с высокой точностью поддерживать режимы управления выключателем, обеспечивая оптимальные условия для его работы.

При подключении БУ/TEL к источнику питания (к сети переменного или постоянного тока напряжением 220 В) заряжаются конденсаторные батареи собственного источника питания. Через 15 с после этого привод выключателя готов к работе, о чем сигнализирует специальная лампа – **«ГОТОВ»**.

Один из упрощенных вариантов схемы управления вакуумным выключателем показан на рис. 8.6. Работа схемы по рис. 8.6 аналогична работе схемы по рис. 8.3.

8.7. ОПИСАНИЕ СТЕНДА

В центре лицевой панели (рис. 8.7) смонтирована мнемосхема электрической установки, состоящей из одного питающего источника (G) и двух отходящих линий (Л1 и Л2). В мнемосхему врезаны ключи управления выключателями В1, В2, В3 типа МКВ 1SA, 2SA, 3SA. Красные и зеленые лампы около ключей управления сигнализируют положение выключателей.

Ключ управления 1SA используется для управления вакуумным выключателем типа ВВ/TEL, который стоит слева от стенда.

Ключи управления 2SA и 3SA используются для управления выключателем В2 линии Л2 и выключателем В3 в цепи генератора G. Работа последних имитируется с помощью специальных реле.

В нижней части стенда (рис. 8.7) для схем управления каждым выключателем смонтировано три группы тумблеров S (по пять в каждой группе) для имитации различных аварийных ситуаций. До начала работы рукоятки всех тумблеров должны находиться в нижнем положении.

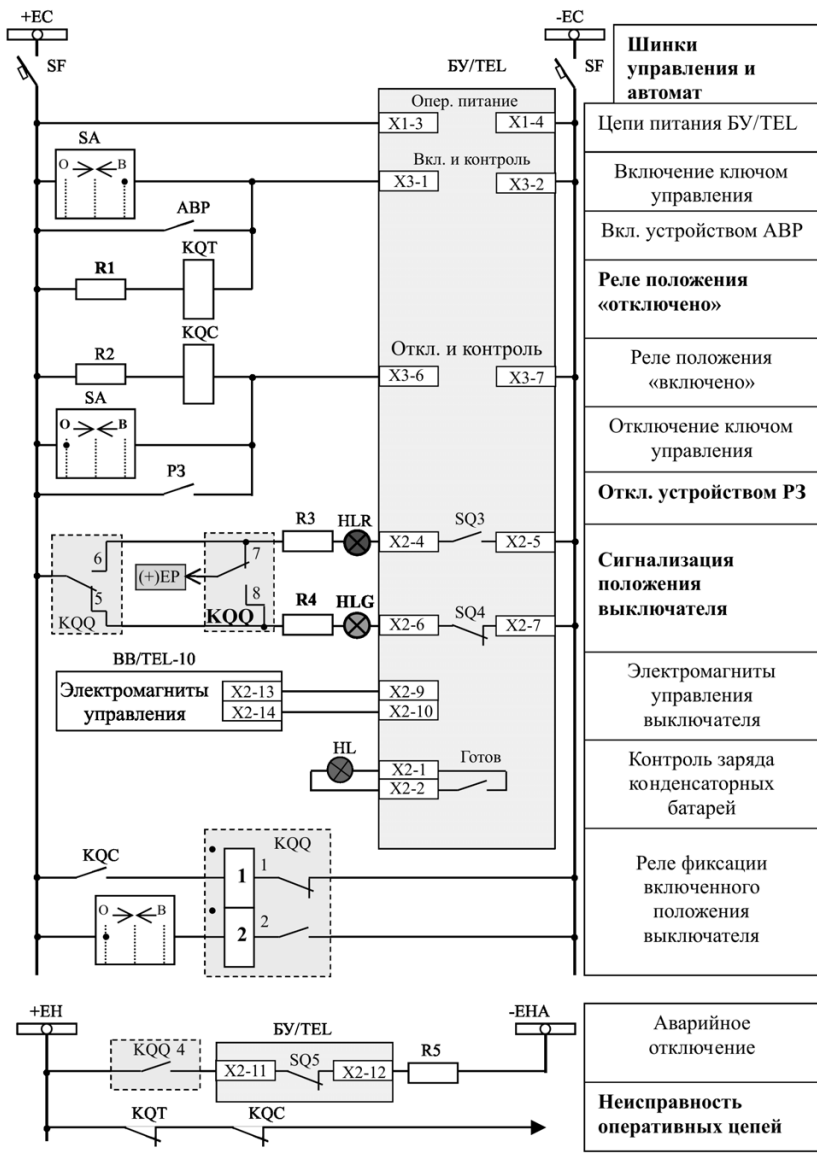


Рис. 8.6. Схема управления вакуумным выключателем BB/TEL-10

Изменением положения рукоятки тумблера имитируется:

- S1 – обрыв цепи включения выключателя;
- S2 – обрыв цепи отключения выключателя;
- S3 – автоматическое включение выключателя устройством АВР;
- S4 – короткое замыкание в соответствующей цепи;
- S5 – выведение блокировки от прыгання из действия в схеме управления выключателем.

В правой верхней части стенда расположены восемь реле, которые используются для реализации схемы управления и сигнализации положения выключателя линии Л2, а ниже – мнемосхема управления и сигнализации этим выключателем. В мнемосхему в прямоугольники, обозначающие катушки указанных выше реле, вмонтированы лампы, которые светятся постоянно или кратковременно при срабатывании соответствующих реле. На рис. 8.7 катушки этих реле в мнемосхеме и в месте установки (над мнемосхемой) пронумерованы. Реле KBS и KQQ имеют по две катушки – 5, 6 и 9, 10 соответственно.

Контактор включения и электромагнит отключения имитируются также одним реле с двумя катушками.

8.8. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Ознакомиться с конструкцией ключей управления типов МКВ и ПМОВФ, а также с конструкцией реле РИС-Э2М [2, 5].

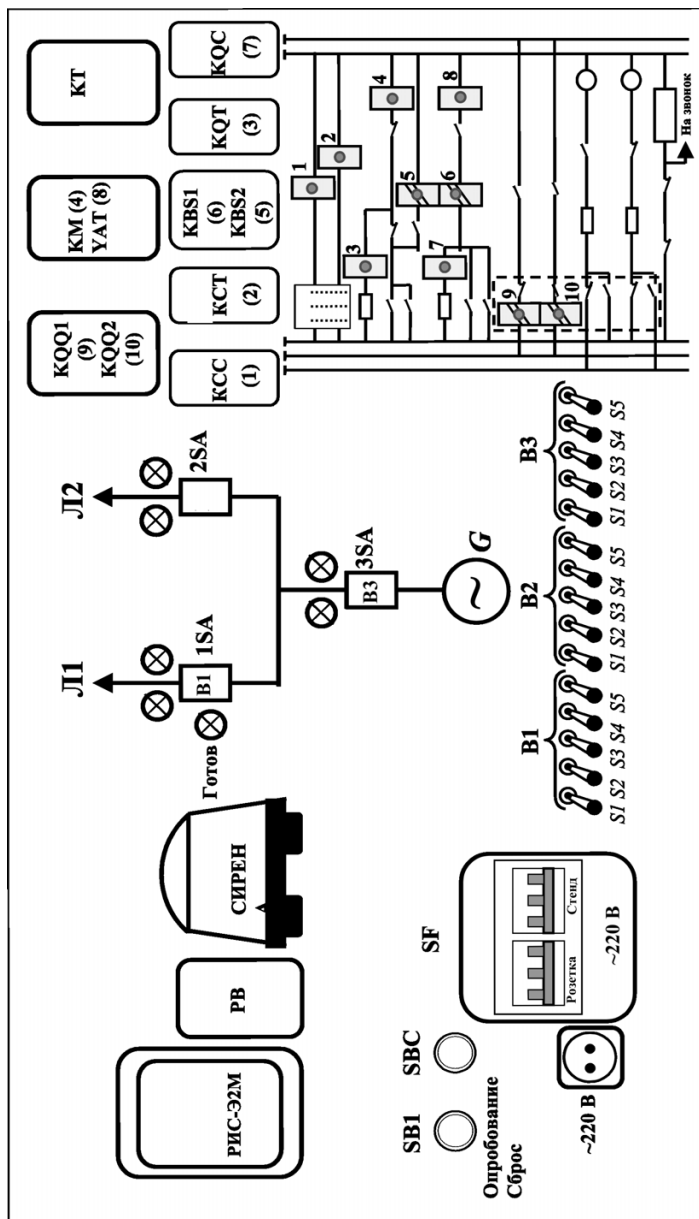
2. Ознакомиться со схемой управления масляным выключателем ключом типа МКВ; схемами световой и звуковой сигнализации аварийного отключения выключателя и схемами светового и звукового контроля исправности цепей управления [2, 5].

3. Ознакомиться со схемой управления масляным выключателем ключом типа ПМОВФ; схемами световой и звуковой сигнализации аварийного отключения.

4. Ознакомиться с конструкцией ключей управления типов МКВ и ПМОВФ, а также с конструкцией реле РИС-Э2М [2, 5].

5. Ознакомиться со схемой управления масляным выключателем ключом типа МКВ; схемами световой и звуковой сигнализации аварийного отключения выключателя и схемами светового и звукового контроля исправности цепей управления [2, 5].

6. Ознакомиться со схемой управления масляным выключателем ключом типа ПМОВФ; схемами световой и звуковой сигнализации аварийного отключения выключателя и схемами светового и звукового контроля исправности цепей управления [2, 5].



7. Ознакомиться со схемой управления вакуумным выключателем ключом типа МКВ.

Примечание 1

При выполнении опытов с выключателем линии Л2 необходимо отслеживать работу схемы управления и сигнализации по мнемосхеме, расположенной в правой нижней части стенда. В протоколе указывать перечень реле (KBS1, KBS2, KQQ1, KQQ2, KQC, KQT, КМ, YAT) которые сработали в том или ином опыте. При срабатывании соответствующего реле в мнемосхеме оранжевая лампочка, вмонтированная в прямоугольник, изображающий катушку реле, светится постоянно или кратковременно.

8.9. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подать напряжение на стенд включением автомата SF и убедиться в том, что лампы, сигнализирующие положение выключателей, горят ровным зеленым светом.

2. В протоколе отразить перечень оранжевых ламп, которые горят ровным светом или мигнули. Пункт 1 выполнять при каждом опыте!

3. При отключенном выключателе линии Л2 с помощью тумблера 2S1 оборвать цепь контактора включения КМ.

4. В протоколе отразить звуковой и световой эффекты, появившиеся в результате проведенного опыта.

5. Повторить предыдущий пункт при включенном выключателе В2 для цепи отключения, используя тумблер 2S2.

6. Кнопкой SB1 «Опробование» убедиться в исправном действии сирены.

7. При включенном выключателе В2 имитировать короткое замыкание на линии Л2, включив тумблер 2S4, а через одну-две секунды отключить его. Проследить за работой схемы и, в частности, за тем, как сигнализируется отключение выключателя релейной защитой при КЗ. Снять звуковой сигнал кнопкой SBC. Имитировать КЗ в цепи генератора. Убедиться в повторном действии аварийной звуковой сигнализации. Снять сигнал кнопкой SBC.

8. Вновь имитировать КЗ на линии Л2. Убедиться, что звуковой сигнал подается и в этом случае. Снять звуковой аварийный сигнал «квитированием».

9. Имитировать работу АВР для линии Л2 включением тумблера 2S3. Описать действие световой и звуковой сигнализации.

10. Познакомиться с действием блокировки от «прыганья». Для этого:

а) имитировать КЗ в линии Л2 включением тумблера 2S4;
б) ключом управления 2SA включить выключатель в линии Л2; убедиться, что «прыганья» не происходит.

в) вывести блокировку от «прыганья» из работы включением тумблера 2S5 «вывод блокировки от прыганья из действия» на панели стенда и проследить за работой схемы.

11. Повторить опыты 7–10 для выключателя генератора.

12. Ключом управления 1SA включить выключатель линии Л1. Убедиться, что выключатель включен.

13. Отключить выключатель линии Л1. Убедиться, что выключатель отключен.

Примечание 2

1. В отчете кратко описать работу схемы в том или ином опыте.

2. При защите уметь объяснить работу схем по рис. 8.3, 8.4, 8.5 и 8.6.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назвать ситуацию, сложившуюся в схеме управления, объяснить ее на принципиальной схеме и выполнить действие дежурного персонала в этой ситуации при следующей комбинации световой и звуковой сигнализации:

- зеленая лампа светится ровным светом;
- красная лампа светится ровным светом;
- зеленая лампа мигает;
- зеленая лампа мигает и звучит сирена;
- зеленая лампа мигает, звучит сирена и звенит звонок;
- красная лампа мигает;
- красная лампа мигает и звенит звонок;
- при дистанционном включении выключателя загорелась красная лампа ровным светом и зазвенел звонок;
- при дистанционном включении выключателя мигнула и погасла красная лампа и замигала зеленая. При отпускании рукоятки ключа управления звучит сирена.

2. По рис. 8.3 объяснить изменения в схеме и показать все цепочки, по которым проходит сигнал (от «плюса» к «минусу» и наоборот, если это удобнее и нагляднее):

- при включении автоматов SF;
- при повороте ключа SA в положение «включить» и его отпускании (автоматы SF включены);

- при повороте ключа SA в положение «отключить» и его отпуске (автоматы SF включены и выключатель ранее был включен ключом управления);

- при замыкании контактов ABP (автоматы SF включены, выключатель отключен);

- при возникновении КЗ на линии (автоматы SF включены, выключатель включен).

3. По рис. 8.5 объяснить изменения в схеме и показать все цепочки, по которым проходит сигнал (от «плюса» к «минусу» и наоборот, если это удобнее и нагляднее):

- при включении автоматов SF;

- при поочередном повороте ключа SA в положение «предварительно включено», «включить» и его отпуске (автоматы SF включены);

- при повороте ключа SA в положение «предварительно отключено», «отключить» и его отпуске (автоматы SF включены и выключатель ранее был включен ключом управления);

- при замыкании контактов ABP (автоматы SF включены, выключатель отключен);

- при возникновении КЗ на линии (автоматы SF включены, выключатель включен).

4. По рис. 8.4 объяснить изменения в схеме и показать все цепочки, по которым проходит сигнал (от «плюса» к «минусу» и наоборот, если это удобнее и нагляднее):

- при нажатии кнопки на лицевой панели стенда SB1 и ее отпуске;

- при включении выключателя ключом управления;

- при отключении выключателя ключом управления;

- при отключении выключателя РЗ (ранее выключатель был включен ключом управления).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Правила* устройства электроустановок (седьмое издание). – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2005.
2. *Васильев А.А. и др.* Электрическая часть станций и подстанций: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1980.
3. *Электрическая часть станций и подстанций* (справочные материалы) / под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. *Правила* технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. РД 34.20.501.95. – 15-е изд. – М.: СПО ОРГРЭС, 1996 г.
5. *Рожкова Л.Д., Козулин В.С.* Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. *Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В.* Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Изд. Центр «Академия», 2004.
7. *Ключенович В. И.* Выключатели переменного тока высокого напряжения. Рекомендации по выбору и справочные данные. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
8. *Электрическая часть электрических станций и подстанций: Лабораторные работы № 1–8.* – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1995.
9. *Титовая* инструкция по переключениям в электроустановках: РД 153-34.0-20505-2001. – М.: СПО ОРГРЭС, 2001 г.
10. *Выключатели* вакуумные серии ВВ/TEL. Руководство по эксплуатации. ИТЕА674152.003РЭ. 2001 г.
11. *Неклепаев Б.Н.* Координация и оптимизация токов короткого замыкания в электрических системах. – М.: Энергия, 1978.
12. *Камев В.Н.* Чтение схем и чертежей электроустановок. – М.: Высшая школа, 1986.
13. *Руководящие* указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под. ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические указания

Редактор *И.Л. Кескевич*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Компьютерная верстка *А.В. Сухарева*

Подписано в печать 30.09.2013. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 300 экз.
Уч.-изд. л. 4,41. Печ. л. 4,75. Изд. № 130. Заказ № 1208. Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20