



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Электрические станции»

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
И ПОДСТАНЦИЙ**

Лабораторные работы (практикум)

Минск 2006

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Электрические станции»

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности
1-43 01 01 «Электрические станции»

Минск 2006

УДК 621.311.2.002.5.004(076.5)

ББК 31.277я7

Э 41

Составители:

А.Н. Герасимович, В.Н. Мазуркевич

Рецензенты:

В.А. Артишевский, М.И. Фурсанов

Э 41 Эксплуатация электрооборудования электрических станций и подстанций: лабораторные работы (практикум) для студентов специальности 1-43 01 01 «Электрические станции» / Сост.: А.Н. Герасимович, В.Н. Мазуркевич. – Мн.: БНТУ, 2006. – 77 с.

Лабораторный практикум по курсу «Эксплуатация электрооборудования электрических станций и подстанций» предназначен для студентов специальности 1-43 01 01 и включает описания и руководства по выполнению семи лабораторных работ.

Лабораторная работа № 1

МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ЕГО В РАБОТУ

Цель работы: изучение общих методов проверки состояния электрооборудования и оценки возможности включения его в работу.

1.1. Методы проверки состояния оборудования

Электрооборудование электроустановок в процессе эксплуатации изнашивается и для восстановления его параметров и работоспособности производится профилактический ремонт. Чтобы определить необходимость ремонта, пригодность к эксплуатации после ремонта (или монтажа) и возможность включения его в работу, требуется проверка состояния оборудования. Такая проверка осуществляется без вскрытия и разборки оборудования путем выполнения специальных испытаний.

Различное электрооборудование имеет одинаковые по функциональному назначению узлы и системы: корпус, обмотки, токоведущие части и контактные соединения, изоляцию, магнитопровод, средства управления, сигнализации и защиты, системы смазки и охлаждения и др. Одинаковым узлам и системам присущи одинаковые неисправности и дефекты. Это позволяет разработать общие методы испытаний и проверки состояния электрооборудования.

Методы проверки состояния электрооборудования не должны оказывать на него разрушающего воздействия. Они должны четко выявлять неисправности и дефекты, быть простыми, удобными и безопасными. Практикой эксплуатации разработаны методы для проверки:

- 1) состояния механической части;
- 2) состояния токоведущих частей и контактных соединений;
- 3) состояния магнитных систем;
- 4) состояния изоляции;
- 5) электрооборудования в утяжеленных условиях;
- 6) схем электрических соединений;
- 7) состояния настройки и испытаний устройств релейной защиты, автоматики, управления, сигнализации и других вторичных устройств;

8) опробования оборудования.

Каждый из методов основан на знании конструкции конкретного оборудования, физических процессов, происходящих в нем при определенных воздействиях (подаче постоянного или переменного напряжений и др.), и осуществляется путем проведения различного рода измерений и испытаний.

Состояние оборудования оценивается по результатам сравнения полученных данных с их допустимыми значениями.

1.1.1. Проверка состояния механической части оборудования

Выполняется путем осмотра механической части и измерения характерных параметров оборудования. При осмотре выявляются все наружные и внутренние дефекты: коррозия, повреждения, нарушение целостности изоляции, крешений и т.д.

Объемы измерений характерных параметров для разных видов оборудования различны и нормированы. У масляных выключателей измеряют скорости и время включения и отключения, вжим контактов при включении, одновременность замыкания и размыкания контактных групп в пределах одной и всех трех фаз и др. Для воздушных выключателей дополнительно требуются измерения времени между размыканием главных контактов и началом размыкания контактов отделителя; изменение давления при включении и отключении; расхода воздуха на утечку и т.д.

Состояние синхронных генераторов и электродвигателей после осмотра механической части оценивается по результатам опробования их на холостом ходу и под нагрузкой. При этом измеряют ток холостого хода, ток нагрузки, величину вибрации, характер и уровень шума, температуру нагрева отдельных частей, давление в системе смазки и др.

У силовых трансформаторов измеряют сопротивление обмоток постоянному току, шум, вибрацию и др.

1.1.2. Проверка состояния токоведущих частей и контактных соединений

Проводится путем измерения их сопротивления постоянному (переменному) току. При любых нарушениях (витковые замыкания

в обмотках, обрыв токоведущей части, ослабление и разрушение контактного соединения) измеренное сопротивление отличается от заводских данных.

Сопротивления постоянному току обмоток и частей различного оборудования изменяются в широких пределах – от долей до сотен и тысяч Ом. Малые сопротивления (до 10 Ом) измеряют микроомметром или двойным мостом. Сопротивление больше 10 Ом измеряют одинарным мостом. В обоих случаях можно использовать универсальные мосты или метод амперметра и вольтметра.

Малые сопротивления контактных соединений, как правило, не измеряют, а оценивают косвенным методом по величине падения напряжения (ΔU) на них. Если ΔU мало отличается от падения напряжения на участке той же длины без контакта, можно считать, что сопротивление соединения удовлетворительное.

1.1.3. Оценка состояния магнитопроводов и их обмоток

Осуществляется по результатам измерения мощности потерь и тока холостого хода или снятия характеристики намагничивания. У синхронных генераторов, кроме того, снимается характеристика короткого замыкания.

1.1.4. Проверка состояния изоляции оборудования

Проверка производится путем измерений: сопротивления постоянному току, токов поляризации и деполяризации, коэффициента абсорбции, тангенса угла диэлектрических потерь, токов утечки и др.

В общем случае изоляция оборудования может быть представлена конденсатором со сложной средой. Обкладками его будут наружные металлические элементы конструкции аппарата (корпус, сердечник) и токоведущие части, а средой – материал, из которого выполнена изоляция. Схема замещения такого конденсатора состоит из ряда параллельных емкостей (C), активных сопротивлений (R) и цепей с последовательным включением C и R (рис. 1.1, а).

9

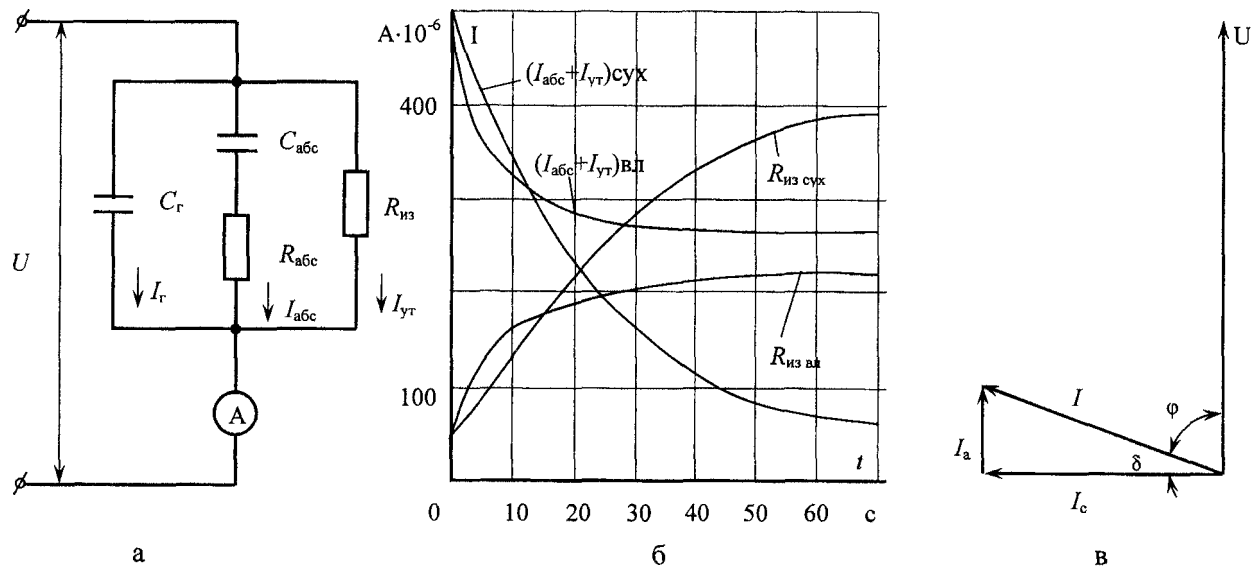


Рис. 1.1:

- а – упрощенная схема замещения изоляции оборудования;
 б – кривые изменения во времени токов и сопротивлений сухой и влажной изоляции;
 в – диаграмма токов в изоляции оборудования при подаче на него переменного напряжения

При подаче постоянного напряжения на оборудование в первый момент в схеме его замещения (рис. 1.1, а) протекает ток заряда геометрической емкости C_g , определяемой размерами изоляции. Этот ток быстро прекращается, а положительные и отрицательные заряды, накопившиеся на границах изоляции, создают в ней электрическое поле. Под действием электрического поля в толще изоляции возникают поляризационные явления – заряженные частицы устремятся к полюсам противоположных знаков, дипольные молекулы начинают поворачиваться, ориентируясь по направлениям линий поля. Протекающий при этом ток (ток поляризации) обуславливается медленным поворотом диполей и зарядом отдельных конденсаторов, образующихся между внутренними слоями изоляции, называемых абсорбционными ($C_{абс}$). Время заряда конденсатора $C_{абс}$ определяется сопротивлениями смежных слоев $R_{абс}$. При увлажнении изоляции сопротивления $R_{абс}$ уменьшаются, что приводит к увеличению тока поляризации и уменьшению времени его протекания.

После прекращения процесса поляризации через изоляцию протекает ток утечки ($I_{ут}$), величина которого определяется сопротивлением утечки ($R_{ут}$). $R_{ут}$ зависит от состояния изоляции: загрязнения, повреждения, увлажнения и др. Кривые изменения токов в сухой и влажной изоляции показаны на рис 1.1, б.

Таким образом, сопротивление изоляции постоянному току ($R_{из} = \frac{U}{I_{ут}}$) зависит от времени с момента приложения напряжения.

Как следует из рис. 1.1, б, правильный результат может быть получен по истечении 60 секунд после подачи напряжения. Определение $R_{из}$ производится с помощью специальных приборов – мегаомметров.

Отношение $R_{из}$, измеренного мегаомметром через 60 секунд, к $R_{из}$, измеренному через 15 секунд с момента приложения напряжения, определяет коэффициент абсорбции ($K_{абс}$). По величине $K_{абс}$ можно судить об увлажнении изоляции (см. рис. 1.1, б).

Если к изоляции приложить переменное напряжение, то возникающий ток содержит активную (I_a) и реактивную (I_c) составляющие (рис. 1.1, в). I_a обусловлен активными потерями на нагрев и ионизацию изоляции, I_c – зарядом и разрядом емкостей изоляции. Отношение I_a к I_c определяет тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$), который является характеристикой состояния изоляции. При качественной изоляции $\text{tg}\delta$ мал, у поврежденной или увлажненной – его значение велико.

Сосредоточенные дефекты в изоляции (пустоты, инородные включения, трещины и т.д.) не могут быть обнаружены при определении $R_{из}$, $K_{абс}$ $\text{tg}\delta$. Поэтому для их выявления производится испытание изоляции повышенным выпрямленным или переменным напряжением. Продолжительность испытания не превышает 1-5 минут, а уровень испытательного напряжения составляет 75 % величины напряжения, которым испытывалось оборудование на заводе-изготовителе.

1.1.5. Проверка схем электрических соединений

Включает в себя проверки схем внутренних и внешних соединений аппаратов и устройств. При этом определяются начала и концы обмоток, соответствие их соединений указанным в паспорте оборудования, соблюдение правильного порядка чередования фаз, подключение оборудования к одноименным фазам, правильность выполнения электрических связей между аппаратами и частями установки и др.

Проверка, настройка и испытание вторичных устройств производятся с целью выяснения возможности их правильной работы. Для этого выполняются ревизия, настройка и проверка состояния каждого элемента конкретного устройства, проверка взаимодействия элементов между собой и работа всего устройства в целом.

Опробование оборудования производится перед включением его в работу подачей напряжения в условиях, соответствующих эксплуатационным.

Методы опробования зависят от вида оборудования. У выключателей осуществляются измерения механических характеристик, проверяется работоспособность приводов при различных уровнях напряжения оперативного тока или давления воздуха, осциллографируются циклы включения и отключения воздушных выключателей и т.п. У силовых трансформаторов и синхронных генераторов проверяется работа на слух в режиме холостого хода, работа всего вспомогательного оборудования и различных вторичных устройств. Электродвигатели опробуют подачей напряжения сначала при расцепленной муфте, соединяющей его с приводным механизмом, а затем совместно с приводным механизмом.

1.2. Оценка состояния оборудования и возможности включения его в работу

Основным методом оценки состояния оборудования является сравнение результатов измерений и испытаний его параметров с

допустимыми значениями. Допустимые значения указаны в Нормах испытания электрооборудования [5], где приводятся также требования к объему испытаний и измерений конкретного оборудования.

В практике эксплуатации широко применяется метод сравнения измерений с данными предыдущих проверок. В отдельных случаях может использоваться метод сопоставления с результатами проверок группы однотипного оборудования.

Сущность оценки состояния оборудования методом сравнения результатов испытаний и измерений с предыдущими или допустимыми значениями состоит в том, что если они не отличаются или отличаются незначительно (в допустимых пределах), то оборудование можно считать исправным и пригодным к эксплуатации. Значительные отклонения результатов свидетельствуют о наличии дефектов в оборудовании. Конкретный вид дефекта может быть установлен путем анализа данных всех проверок и дополнительных уточняющих испытаний.

Правильное заключение о пригодности оборудования к эксплуатации может быть выполнено только при правильном выборе методов измерений, типов и классов точности измерительных приборов и наличии у проверяющего знаний и навыков их использования.

Заключение о возможности включения оборудования в работу производится на основании анализа совокупности результатов всех измерений, испытаний и опробования его подачей напряжения. Для этого все результаты проверки оформляются протоколами. Протокол – официальный документ, заполняемый в строгом соответствии с технологической последовательностью испытаний и проверок. В нем дается общая оценка состояния оборудования и приводится вывод о возможности или невозможности включения оборудования в работу.

1.3. Содержание работы

Содержанием работы является изучение общих методов проверки состояния электрооборудования и оценки возможности включения его в работу; ознакомление с основными приборами, применяющимися при этом, приобретение навыков их использования.

В связи с этим каждому студенту выдается задание по оценке пригодности к включению в работу конкретного вида оборудования и необходимые приборы.

1.4. Техника безопасности

При работе необходимо выполнять требования инструкции по технике безопасности при работе в лаборатории "Электрические станции".

1.5. Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Краткий перечень и описание содержания испытаний и проверок, необходимых для оценки пригодности к включению в работу исследуемого оборудования, результаты испытаний и заключение о его состоянии.

1.6. Контрольные вопросы

1. С какой целью производится проверка состояния оборудования?
2. Каким требованиям должны удовлетворять методы испытаний и проверок состояния оборудования?
3. По каким признакам судят об исправности механической части оборудования?
4. Что является критерием исправности токоведущих частей и контактных соединений?
5. Какой принцип положен в основу проверки состояния магнитной системы оборудования и какие дефекты при этом могут быть выявлены?
6. Почему состояние изоляции характеризуется K_{abc} и $\text{tg}\delta$ и как эти показатели изменяются при изменении температуры?
7. Какие работы выполняются при проверке схем соединений и вторичных устройств?
8. В чем сущность методики оценки возможности включения оборудования в работу?
9. Перечислите основные испытания и измерения, выполняемые для оценки состояния масляных выключателей и электродвигателей.
10. Расскажите о содержании испытаний и проверок синхронных генераторов и силовых трансформаторов, выполняемых перед их включением в работу.
11. Как устроен мегаомметр? Перечислите последовательность действий при его использовании.
12. Как подключить измеряемое сопротивление к двойному мосту?
13. Как определяются начала и концы обмоток?

Литература: [2], с. 56-80;
[4], с. 5-30.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП СОЕДИНЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы: изучение методов определения групп соединения силовых трансформаторов в условиях эксплуатации.

2.1. Теоретические сведения

ГОСТ на силовые трансформаторы устанавливает следующие обозначения начал и концов обмоток высокого (ВН), среднего (СН) и низкого (НН) напряжений как для однофазных, так и для трехфазных трансформаторов. Начала обмоток однофазного трансформатора обозначают буквами A, A_m, a , а концы – буквами X, X_m, x . Малые буквы относятся к обмоткам НН, большие с индексом – к обмоткам СН, а большие без индекса – к обмоткам ВН. В трехфазных трансформаторах приняты следующие обозначения:

A, B, C, X, Y, Z – начала и концы обмоток ВН;

$A_m, B_m, C_m, X_m, Y_m, Z_m$ – начала и концы обмоток СН;

a, b, c, x, y, z – начала и концы обмоток НН.

Если обмотки трансформаторов соединены в звезду, то вводы нулевой точки обозначают: $0, 0_m$ и 0 .

Существенным для направления векторов ЭДС, индуцируемых в обмотках, является направление намотки обмоток. Различают обмотки с левой и правой намоткой. В трансформаторах российского производства главным образом применяется левая намотка.

При соединении обмоток трехфазных трансформаторов могут применяться различные схемы соединения. В силовых трансформаторах, как повышающих, так и понижающих, применяются схемы соединения в звезду и треугольник. Для трансформаторов специального назначения могут применяться другие схемы соединения (зигзаг, скользящий треугольник и др.). Для практических целей в энергосистемах, как правило, обмотки ВН и СН соединяются в звезду с выведенной нейтралью (Y_0), а обмотки НН – в треугольник (Δ).

Схемы соединения обмоток и направление их намотки определяют смещение векторов ЭДС в обмотках ВН, СН и НН. Смещение векторов ЭДС характеризует группу соединения обмоток транс-

форматора. Соединяя обмотки ВН, СН и НН в Y или Δ , изменяя начала и концы обмоток и порядок чередования фаз, можно получить различные группы соединения обмоток. При различных соединениях обмоток в звезду и треугольник можно получить 12 различных углов сдвига фаз линейных ЭДС высокой и низкой сторон от 0 до 330° через каждые 30° , т.е. получить 12 групп.

Для определения угла сдвига пользуются часовым обозначением, которое заключается в следующем: вектор линейной ЭДС обмотки ВН изображается на часовом циферблате минутной стрелкой и всегда устанавливается на 12 ч, а вектор линейной ЭДС обмотки СН (трехобмоточного трансформатора) или НН изображается часовой стрелкой и указывает группу в часовом обозначении. Так, сдвиг фаз 0° или 360° соответствует 0 ч, 330° – 11 ч, 150° – 5 ч, 180° – 6 ч и т.д.

Схемы и группы соединения обмоток трансформаторов условно обозначаются в виде дроби, где в числителе пишется символ, указывающий на соединение обмотки ВН, а в знаменателе – символ, определяющий соединение обмотки НН для двухобмоточного, а для трехобмоточного трансформатора – символ, указывающий на соединение обмоток СН и НН (например $Y_0/Y_0/\Delta$).

Рядом с дробью через тире пишутся одно или два числа, характеризующих угол сдвига фаз линейных ЭДС. Для двухобмоточного трансформатора пишется одно число, а для трехобмоточного – два. Для трехобмоточных трансформаторов первое число указывает группу между обмотками ВН и СН, а второе – группу между обмотками ВН и НН.

Однофазные двухобмоточные трансформаторы могут иметь только две группы соединения обмоток – 0 ч и 6 ч, и группы соединения обозначают соответственно 1/1-0 и 1/1-6.

В соответствии с ГОСТ 401-41 и ГОСТ 1677-65 в СССР промышленностью были выпущены трансформаторы со схемами и группами соединения обмоток, приведенными в табл. 2.5 и 2.6.

В условиях эксплуатации имеется возможность изменить схему соединения обмоток и порядок чередования фаз, т.е. группу соединения. При этом нужно помнить, что:

- четные группы соединения обмоток трансформатора (0, 2, 4, 6, 8, 10) получаются, если обе обмотки (ВН и НН) имеют одинаковые схемы (соединены в звезду или треугольник);

- нечетные группы соединения обмоток трансформатора (1, 3, 5,

7, 9, 11) получаются, если обмотки имеют разные схемы (одна обмотка соединена в звезду, а другая – в треугольник);

– любая нечетная или четная группы могут быть получены при соответствующей замене порядка чередования фаз на вводах трансформаторов;

– переход из четной группы в нечетную может быть осуществлен только изменением схемы соединения обмоток (требуется перейти от схемы звезды к схеме треугольника или наоборот), но такой переход всегда влечет за собой изменение напряжений одной из обмоток в $\sqrt{3}$ раз;

– переключение концов любой обмотки на обратное приводит к изменению группы на 6 ч.

Проверка группы соединения обмоток трансформатора входит в перечень обязательных контрольных испытаний на заводе-изготовителе. Группа соединений обозначается на заводском щитке трансформатора. Однако если в условиях эксплуатации производится ремонт трансформатора с выемкой выемной части, с заменой обмоток или трудно проследить порядок чередования фаз (присоединение трансформатора выполнено кабелями или через длинную сеть), то требуется проверка группы соединения обмоток трансформатора.

Проверить группу соединения можно одним из следующих методов:

- двух вольтметров;
- фазометра (прямой метод);
- постоянного тока;
- ваттметра.

В условиях эксплуатации наибольшее распространение получили первые три метода определения групп соединения трансформаторов, которые и рассматриваются далее.

2.1.1. Метод двух вольтметров

Для проверки группы соединения этим методом электрически соединяют вводы А и а на крышке испытуемого трансформатора. К одной из обмоток (безразлично какой) подводят небольшое напряжение (обычно 100 или 200 В) и точным вольтметром измеря-

ют поочередно напряжения между вводами $b-B$, $b-C$, $c-B$ и $a-b$ для трехфазных трансформаторов (рис. 2.1).

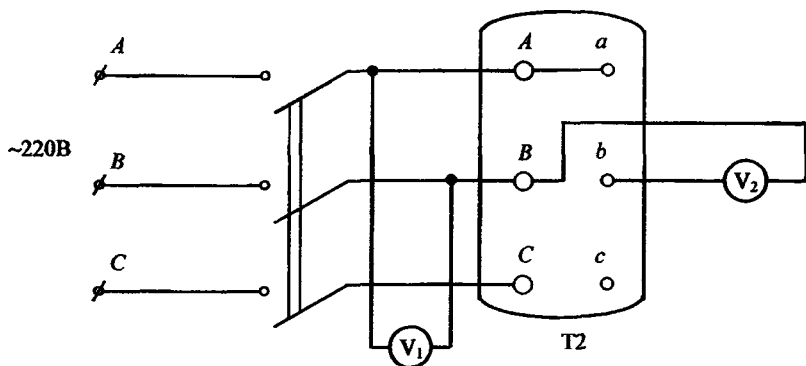


Рис. 2.1. Схема для проверки группы соединения трансформатора методом двух вольтметров

Измеренные величины сравнивают с соответствующими расчетными данными для данной группы соединений. Если они совпадают, то группа соединений правильна. Поясним сказанное на примере трансформатора, выполненного по схеме $Y / Y_0 - 0$. На рис. 2.2 приведена совмещенная векторная диаграмма этого трансформатора. Разрешая соответствующие треугольники векторной диаграммы, получим формулы для расчета измеряемых напряжений:

$$U_{b-B} = U_{\text{нн}}(K-1); \quad U_{b-C} = U_{\text{нн}}\sqrt{1-K+K^2};$$

$$U_{c-B} = U_{\text{нн}}\sqrt{1-K+K^2},$$

где K – коэффициент трансформации, равный отношению линейных напряжений (например, $K = \frac{U_{A-B}}{U_{a-b}}$);

$U_{\text{нн}}$ – величина линейного напряжения низкой стороны.

Формулы для расчета напряжений других часто встречающихся групп соединений трансформаторов приведены в табл. 2.7.

В [1] приводятся совмещенные векторные диаграммы и расчетные формулы для всех (от 0 до 11) встречающихся групп соединений трансформаторов.

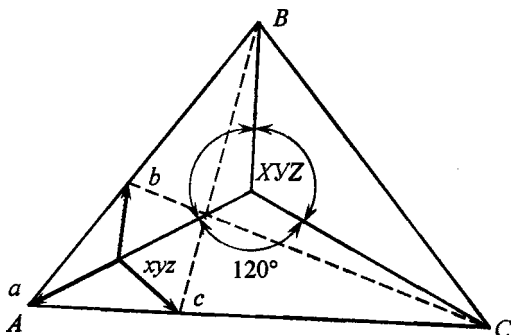


Рис. 2.2. Совмещенная векторная диаграмма напряжений трансформатора, выполненного по схеме $Y/Y-0$

2.1.2. Метод фазометра (прямой метод)

Наиболее просто и удобно производить проверку группы соединений при помощи универсального фазоуказателя типа Э 500/2. Для определения группы соединений собирается схема, приведенная на рис. 2.3. При подаче напряжения на схему стрелка прибора непосредственно укажет угол между векторами напряжений первичной и вторичной обмоток, а следовательно, и группу соединения трансформаторов.

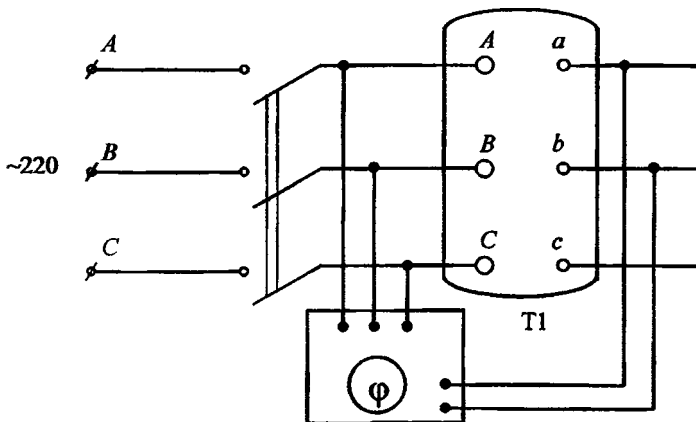


Рис. 2.3. Схема для определения группы соединения трансформатора методом фазометра

2.1.3. Метод постоянного тока

Метод определения группы соединения трансформатора постоянным током рекомендуется только для однофазных трансформаторов. Для трехфазных трансформаторов он становится довольно трудоемким и может применяться, когда нет возможности использовать два первых способа.

Для того чтобы определить группу соединения обмоток трехфазного трансформатора методом постоянного тока, надо произвести девять измерений для трех случаев питания обмотки ВН: A и B , B и C , C и A . При этом надо определить отклонение стрелки прибора, включенного поочередно к выводам НН: a и b , b и c , c и a . Источником постоянного тока может быть генератор постоянного тока, аккумуляторная батарея, выпрямительная установка или даже гальваническая батарея. Измерительным прибором должен быть магнитоэлектрический вольтметр.

На основании измерений составляется соответствующая таблица отклонений прибора, которая сравнивается с типовой для каждой группы. Типовые таблицы (табл. 2.1) для некоторых групп приведены ниже.

Таблица 2.1

Питание подключено к вводам	Отклонение прибора, присоединенного к вводам								
	ab	bc	ca	ab	bc	ca	ab	bc	ca
	Группа 0			Группа 4			Группа II		
$A-B$	+	-	-	-	-	+	+	0	-
$B-C$	-	+	-	+	-	-	-	+	0
$C-A$	-	-	+	-	+	-	0	-	+

Типовые таблицы для всех групп приведены в [3]. На основе сравнения данных таблиц определяют соответствующую группу.

2.2. Модель установки для определения группы соединения трансформаторов

Моделью силового трехфазного трансформатора служат три однофазных трансформатора типа ТН-35-220/127-50. Из однофазных трансформаторов может быть собрана группа трехфазного трансформатора с любой схемой соединения обмоток, что дает возможность изучить не только методы определения групп соединения трансформа-

торов, но и убедиться, как влияет порядок чередования фаз, схема соединения обмоток и др. на группу соединения. Высокое напряжение трансформатора моделируется напряжением 127 В, а низкое – 36 В. Трансформаторы Т1 и Т2 подключаются к питающей сети через выключатели. Модель предусматривает возможность изменения порядка чередования фаз на стороне высокого напряжения трансформатора.

2.3. План работы

1. Ознакомиться с инструкцией к лабораторной работе и схемами модели трехобмоточного трансформатора.

2. Изучить расположение выводов обмоток высокого и низкого напряжений.

3. Собрать схему соединения обмоток и произвести определение группы соединения трансформатора для заданного преподавателем варианта методом фазометра при различном порядке чередования фаз.

4. Собрать схему соединения обмоток и определить группу трансформатора для заданного варианта методом двух вольтметров.

5. Составление отчета о лабораторной работе.

Примечание. Варианты соединения обмоток приведены в табл. 2.2.

2.4. Техника безопасности при выполнении работы

При выполнении работы подавать напряжение на лабораторную установку можно только с разрешения преподавателя. Все пересоединения в схеме разрешается делать только при отключении трансформаторов или всей установки от сети. Во время выполнения работы необходимо соблюдать общие правила техники безопасности в соответствии с инструкцией по технике безопасности при работе в лабораториях кафедры «Электрические станции».

2.5. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему соединения обмоток трансформатора Т1 по заданному варианту и схему измерения (см. рис. 2.3). Включить питание модели. По направлению движения стрелки фазометра определить порядок чередования фаз сети и питания трансформатора (прямой или обратный).

Если порядок чередования фаз обратный, то отключить питание модели и изменить порядок чередования фаз на прямой. Для удобства проверки порядка чередования фаз расцветка питающих проводов на стенде соответствует расцветке фаз.

Нужно помнить, что при всех опытах на фазометре должен быть прямой порядок чередования фаз, который не должен изменяться при изменении чередования фаз на трансформаторе.

2. При прямом порядке чередования фаз нажатием кнопки на крышке фазометра определить с его помощью угловой сдвиг между линейными напряжениями высокой и низкой сторон всех линейных напряжений, т.е. группу соединения трансформатора. Отключить питание трансформатора Т1.

Примечания: а) при измерении угла сдвига фазометром нужно понимать, что он показывает фазовый сдвиг между фазным напряжением U_A и исследуемым однофазным, т.е. при отсутствии фазового сдвига между напряжениями U_{AB} и U_{ab} фазометр покажет 330° . Поэтому угол 330° следует принимать за начало отсчета, если определять фазовый сдвиг по отношению к линейному напряжению U_{AB} . Следует определить фазовый сдвиг между U_A (U_{AB}) и U_{ab} , U_{bc} и U_{ca} . Результаты записать в табл. 2.2;

б) начало вектора (а) исследуемого напряжения следует подсоединять к зажиму, отмеченному звездочкой.

Таблица 2.2

Порядок чередования фаз трансформатора	Угол фазового сдвига между напряжениями			Группа соединения
	$U_{A(AB)} \wedge U_{ab}$	$U_{A(AB)} \wedge U_{bc}$	$U_{A(AB)} \wedge U_{ca}$	
<i>A, B, C</i>				
<i>A, C, B</i>				
<i>C, A, B</i>				

3. Для этой же схемы соединения изменить порядок чередования фаз трансформатора Т1 (*B* на *C*), включить питание Т1 и определить фазовый сдвиг между теми же напряжениями фазометром. Отключить питание Т1.

4. Восстановить прямой порядок чередования фаз и изменить порядок чередования фаз трансформатора: *A* на *B*, *B* на *C* и *C* на *A*. Определить фазовый сдвиг между напряжениями фазометром.

5. По результатам измерений согласно пунктам 2, 3 и 4 определить группы соединения трансформатора, получаемые в каждом случае путем построения векторных диаграмм по значениям замеренных углов.

6. Собрать схему соединения обмоток Т2 по заданному преподавателем варианту. Подсоединить к стороне высокого напряжения трансформатора фазометр и включить питание трансформатора. С помощью фазометра установить на Т2 прямой порядок чередования фаз.

7. Собрать схему на рис. 2.1 для заданного варианта и произвести определение группы соединения методом двух вольтметров путем измерения напряжений U_{AB} ; U_{ab} ; U_{bB} ; U_{bC} ; U_{cb} вольтметром со шкалой 0-300 В. Результаты измерений записать в табл. 2.3. Отключить питание модели от сети. Рассчитать эти же напряжения по формулам табл. 2.7.

Таблица 2.3

Схема и группа соединения трансформатора Т2	Напряжение	U_{AB}	U_{cb}	U_{bB}	U_{bC}	U_{cb}	K
	Измеренное						
	Рассчитанное						

8. Для случаев п. 2, 3 и 7 построить векторные диаграммы трансформатора в соответствии с его группами соединения. Составить отчет.

Таблица 2.4

Варианты схем и групп соединения трансформаторов, рекомендуемые для исследования

№	Схема и группа соединения трансформатора	Соединение обмоток высокого и низкого напряжения		
1	$\Delta / \Delta - 0$	$X - B$ $x - b$	$Y - C$ $y - c$	$Z - A$ $z - a$
2	$\Delta / Y - 11$	$X - b$	$y - c$ $x - y - z$	$Z - A$
3	$\Delta / Y - 5$	$X - B$	$y - c$ $a - b - c$	$Z - A$

Таблица 2.5

Трехфазные двухобмоточные трансформаторы

Схема соединения обмоток		Диаграмма векторов		Условные обозначения
ВН	НН	ВН	НН	
				$Y_0/\Delta-11$
				Y/Y_0-0

Таблица 2.6

Трехфазные трехобмоточные трансформаторы

Схема соединения обмоток			Диаграмма векторов			Условные обозначения
						$Y_0/\Delta/\Delta-11-11$

Таблица 2.7

Формулы для расчета величины напряжений для различных групп соединения трансформаторов

Группа соединения	Возможные соединения обмоток	U_{b-B}	U_{b-C}	U_{c-B}
0	$Y/Y; \Delta/\Delta$	$U_{\text{нн}}(K-1)$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1-K+K^2}$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1-K+K^2}$
11	$Y/\Delta; \Delta/Y$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1+K^2}$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$
9	$Y/\Delta; \Delta/Y$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1+K^2}$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$
5	$Y/\Delta; \Delta/Y$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1+K^2}$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$
8	$Y/Y; \Delta/\Delta$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{нн}}(K+1)$	$U_{\text{нн}}\sqrt{1-K+K^2}$

2.6. Содержание отчета

1. Схемы соединения обмоток трансформаторов каждого варианта и измерительные схемы.
2. Результаты измерения и расчета величины напряжений, а также величины угла фазового сдвига, измеренные фазоуказателем для рассматриваемых случаев. Результаты измерений и расчета оформить в табл. 2.2 и 2.3.
3. Векторные диаграммы напряжений Т1 для рассматриваемых случаев и совмещенную векторную диаграмму напряжений высокой и низкой сторон трансформатора Т2.

2.7. Контрольные вопросы

1. Какой принцип положен в основу определения группы соединения трансформатора?
2. Какие методы определения группы соединения могут применяться в условиях эксплуатации и какой из них самый простой?
3. При каких схемах соединения обмоток ВН и НН образуются четные и нечетные группы?
4. Каким путем из четной группы можно получить нечетную группу, и наоборот?
5. В чем суть метода определения групп соединения с помощью двух вольтметров?
6. Как изменить группу соединения обмоток на 6 часов?
7. Какие схемы соединения обмоток применяются для силовых трансформаторов в энергосистемах?
8. В чем суть метода определения группы соединения с помощью фазометра?

Литература: [1], с. 175-178, 181-183, 188-201, 250-254, 290-299;
[2], с. 386-389.

ФАЗИРОВКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы: изучение способов фазировки силовых трансформаторов напряжением до 1000 В и свыше 1000 В в условиях эксплуатации.

3.1. Теоретические сведения

Фазировка силовых трансформаторов осуществляется после монтажа или после капитального ремонта, в процессе которых могли произойти изменения в первичных цепях трансформатора, что приводит к изменению его группы соединения обмоток. Суть фазировки заключается в проверке тождественности фаз присоединяемого трансформатора с фазами действующей установки.

Фазировка производится в месте разрыва фазированной цепи и действующей установки. Таким местом разрыва цепи могут быть разъединители, рубильники, автоматы и т.д. Как правило, фазировка производится в условиях синхронной работы подключаемого трансформатора и действующей электроустановки. Перед фазировкой производится проверка симметрии напряжений на каждой из фазированных сторон. Если асимметрия напряжений составляет более 10 %, то фазировка не производится, а выясняются и устраняются причины, вызывающие асимметрию напряжений.

Фазировка трансформаторов на напряжение до 1000 В может производиться с помощью вольтметра, рассчитанного на двойное линейное напряжение установки, или контрольной лампы.

При напряжении свыше 1000 В для фазировки используются измерительные трансформаторы напряжения. При напряжении до 10 кВ могут применяться переносные трансформаторы напряжения, а свыше 10 кВ – только стационарные. Измерения при фазировке целесообразно производить при помощи одного и того же измерительного устройства.

При фазировке могут быть два случая: фазированная установка с заземленной нейтралью на фазированной стороне с сетью, в которой имеется трансформатор с заземленной нейтралью, и фазированная установка, не имеющая заземленной нейтрали.

В первом случае показания измерительного прибора обеспечиваются, так как имеются пути протекания тока через измерительный прибор (рис. 3.1). Во втором случае необходимо предварительно создать электрическую цепь для протекания тока. Это достигается соединением между собой двух противоположащих проводников временной перемычкой или включением ножа разъединителя (рис. 3.2).

Такое соединение не вызывает вредных последствий, так как между фазами не создается короткозамкнутой цепи.

После того как обеспечены показания измерительного прибора, производится фазировка, состоящая из трех основных операций:

1) проверка симметрии напряжений на каждой из фазуемых сторон (шесть измерений между фазами U_{a1-b1} ; U_{a1-c1} ; U_{b1-c1} ; U_{a2-b2} ; U_{a2-c2} ; U_{b2-c2} на рис. 3.1-3.2). Асимметрия по напряжениям не должна превышать 10%. В случае если асимметрия более 10%, то устраняются причины, которые ее вызывают;

2) определяются концы проводников, расположенные на разных фазуемых сторонах, между которыми измерительный прибор показывает отсутствие напряжения. Если эти концы не находятся непосредственно друг против друга, то производятся изменения в монтаже соединительных проводников так, чтобы получить правильное расположение фаз;

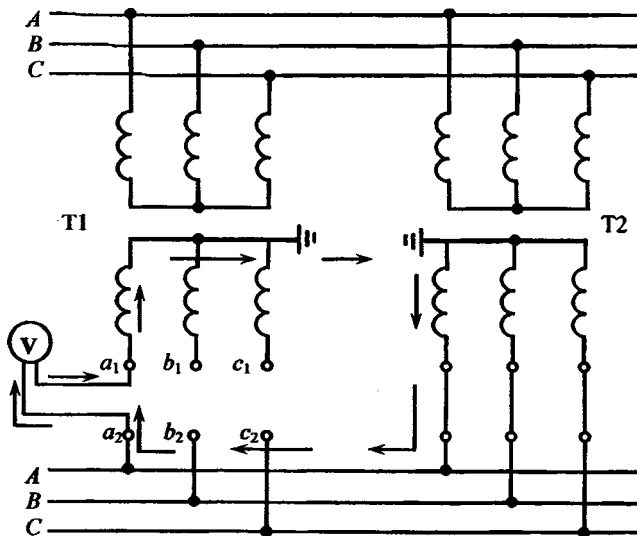


Рис. 3.1. Путь протекания токов при фазировке трансформаторов с заземленными нейтралью на фазуемой стороне

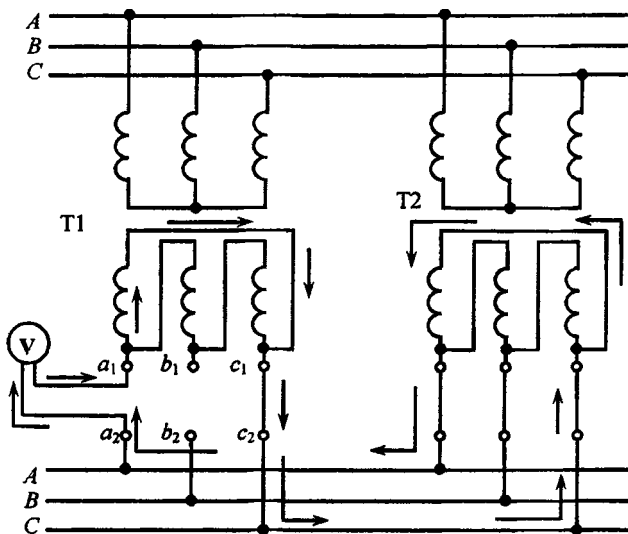


Рис. 3.2. Путь протекания токов при фазировке трансформаторов с изолированными нейтральями

3) производится проверка совпадения фаз путем поочередного измерения напряжения между фазами $U_{a_1-a_2}$; $U_{a_1-b_2}$; $U_{a_1-c_2}$; $U_{b_1-b_2}$; $U_{b_1-a_2}$; $U_{b_1-c_2}$; $U_{c_1-c_2}$; $U_{c_1-b_2}$; $U_{c_1-a_2}$.

При измерении напряжения между одноименными фазами должны получиться нулевые показания, а при остальных шести — линейное напряжение. При отсутствии заземленных нейтралей измерение напряжения между концами, где установлена перемычка, не производится, а при остальных измерениях должны получиться такие же значения, как отмечено выше.

При фазировке трансформаторов, не имеющих заземленных нейтралей, требуется установка временной перемычки. Для успешного проведения фазировки целесообразно на основе измерений напряжений между фазами и концами фазуемых цепей строить диаграммы напряжений. Пример таких диаграмм приведен на рис. 3.3.

Их анализ показывает, что при фазировке таких трансформаторов могут быть следующие случаи:

1. Есть три нулевых показания. Однако два из них равны нулю между выводами b_1-c_2 и c_1-b_2 (рис. 3.3, а). В этом случае проводники, подсоединенные к выводам b_2 и c_2 , меняют между собой.

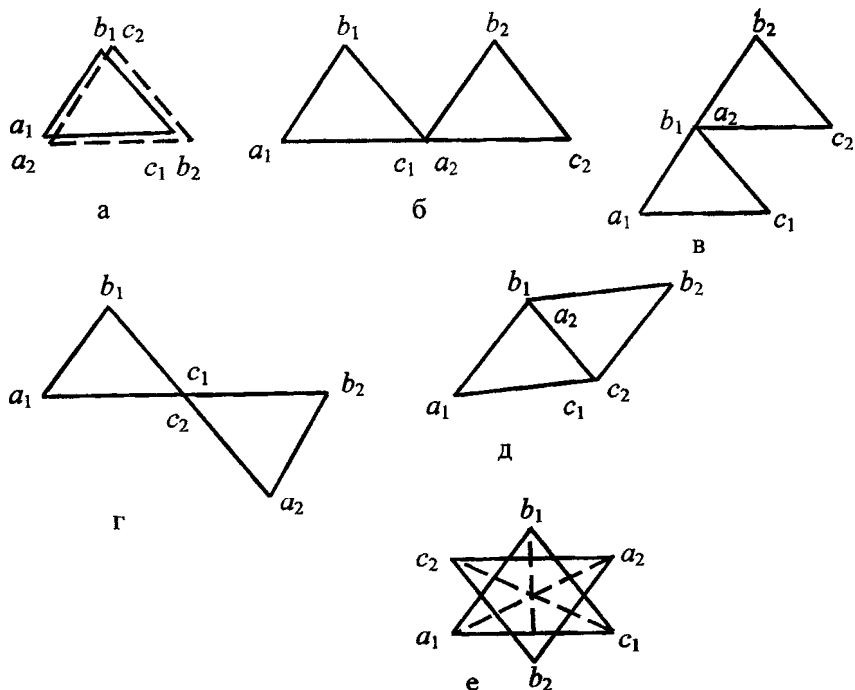


Рис. 3.3. Векторные диаграммы напряжений при фазировке трансформаторов со схемой "треугольник" на фазидуемой стороне

2. Показаний с нулевыми значениями нет. При одном измерении между фазидуемыми концами получено линейное напряжение, при втором – двойное линейное напряжение (рис. 3.3, б, в). В этом случае перемычка переносится на концы, между которыми измерено линейное напряжение (между b_1 и b_2 для случая на рис. 3.3, б и между c_1 и c_2 на рис. 3.3, в), и фазировка продолжается.

3. Показаний с нулевыми значениями нет или имеется только одно (рис. 3.3, г, д). Другие измерения дают показания, примерно в 2,0 или в 1,7 раза превышающие номинальные линейные напряжения. Такие диаграммы могут получаться при фазировке на стороне треугольника трансформаторов с нечетными группами соединений обмоток ($Y/\Delta - 11$ или $Y/\Delta - 5$ и т.д.). В этом случае $\Delta a_2b_2c_2$ надо зеркально отобразить относительно нужной стороны (относительно a_2b_2 на рис. 3.3, г или a_2c_2 на рис. 3.3, д). Это достигается путем замены порядка чередования фаз с прямого на обратный (замена A на

B или *B* на *C*), или наоборот, на стороне *Y* трансформатора. После замены порядка чередования фаз фазировка продолжается.

4. Показаний с нулевыми значениями нет, а векторная диаграмма имеет вид, как на рис. 3.3, е. Такие векторные диаграммы получаются при фазировке трансформаторов на стороне треугольника через измерительные трансформаторы напряжения. В этом случае, как и на рис. 3.3, д, следует $\Delta a_2b_2c_2$ отобразить путем изменения порядка чередования фаз *B* на *C* или *C* на *A* на стороне *Y* трансформатора и продолжать фазировку.

Фазировка на стационарных трансформаторах напряжения производится при напряжении 10 кВ и более в установках, где имеются распределительные устройства (с двумя системами сборных шин, с двумя секциями и другие) с измерительными трансформаторами напряжения, подсоединенными к шинам или секциям. Перед фазировкой силовых трансформаторов первоначально производится фазировка измерительных. Порядок фазировки измерительных трансформаторов определяется схемой первичных соединений распределительного устройства. Перед фазировкой трансформаторов напряжения осуществляется подвод проводов от этих трансформаторов на отдельный щиток так, чтобы концы цепи одного трансформатора были расположены против цепей другого, как показано на рис. 3.4. Как правило, одна из вторичных обмоток шинных трансформаторов напряжения имеет схему соединения "звезда с заземленной нейтралью", то при их фазировке всегда имеется путь для протекания токов через измерительный прибор без установки временной перемычки. После окончания монтажа измерительной схемы производится фазировка трансформаторов напряжения в следующей последовательности (применительно к рис. 3.4, когда трансформатор Т2 после монтажа вводится в работу, а Т1 – включен, т.е. включены выключатели В1, В2 и разъединители Р1, Р2, Р7):

– включается разъединитель Р6, т.е. измерительный трансформатор ТН2;

– вводится в работу секционный выключатель В5 путем включения разъединителей Р5, Р6 и затем В5;

– фазировются трансформаторы напряжения по рассмотренному выше способу до тех пор, пока измерительный прибор не даст нулевые показания между противоположащими зажимами, а между всеми другими – линейные значения напряжения;

– после окончания фазировки из работы выводится секционный выключатель В5, отключаются все присоединения от секции П за исключением ТН2 и вводится в работу Т2 путем включения Р3, В3, Р4 и В4;

– проверяется фазировка измерительных трансформаторов напряжения (косвенно осуществляется фазировка силовых трансформаторов Т1 и Т2). Если зажимы, между которыми ранее получены нулевые показания, расположены друг против друга, то монтаж первичных цепей силовых трансформаторов выполнен правильно и фазировка закончена. Если же зажимы, между которыми получают нулевые показания, не будут лежать друг против друга, то необходимо произвести изменения в монтаже первичной цепи трансформатора Т2 так, чтобы получить нужные результаты.

3.2. Моделирование процесса фазировки силовых трансформаторов на физической модели

Наиболее просто изучить операции при фазировке силовых трансформаторов можно на физической модели распределительного устройства (РУ). В этом случае возможно проследить порядок проведения всех коммутационных операций в схеме РУ, ознакомиться с фазировкой как силовых, так и измерительных трансформаторов, правильно наметить порядок изменения чередования фаз, т.е. изменение монтажа первичных цепей. Физическая модель работы включает в себя РУ низкого напряжения, два трансформатора, собранных из группы однофазных трансформаторов типа ТН-36-220/127-50 со схемой соединения обмоток Y / Δ , а также РУ высокого напряжения с секционированной системой шин на высоком напряжении и двумя измерительными трансформаторами. Высокое напряжение моделируется напряжением 220 В. Силовые трансформаторы модели в обоих РУ совмещены. В схеме модели (см. рис. 3.4) разъединители показаны условно. Монтаж электрической схемы модели РУ выполнен в соответствии с включенным положением разъединителей. В связи с этим при фазировке трансформаторов операции с разъединителями не производятся. Для изменения порядка чередования фаз при фазировке трансформаторов в модели предусмотрено изменение монтажа первичной цепи трансформатора Т2 РУ на вводах обеих обмоток. Для измерения напряжений при фазировке используется вольтметр переменного тока со шкалой 0-75 В или 0-150 В.

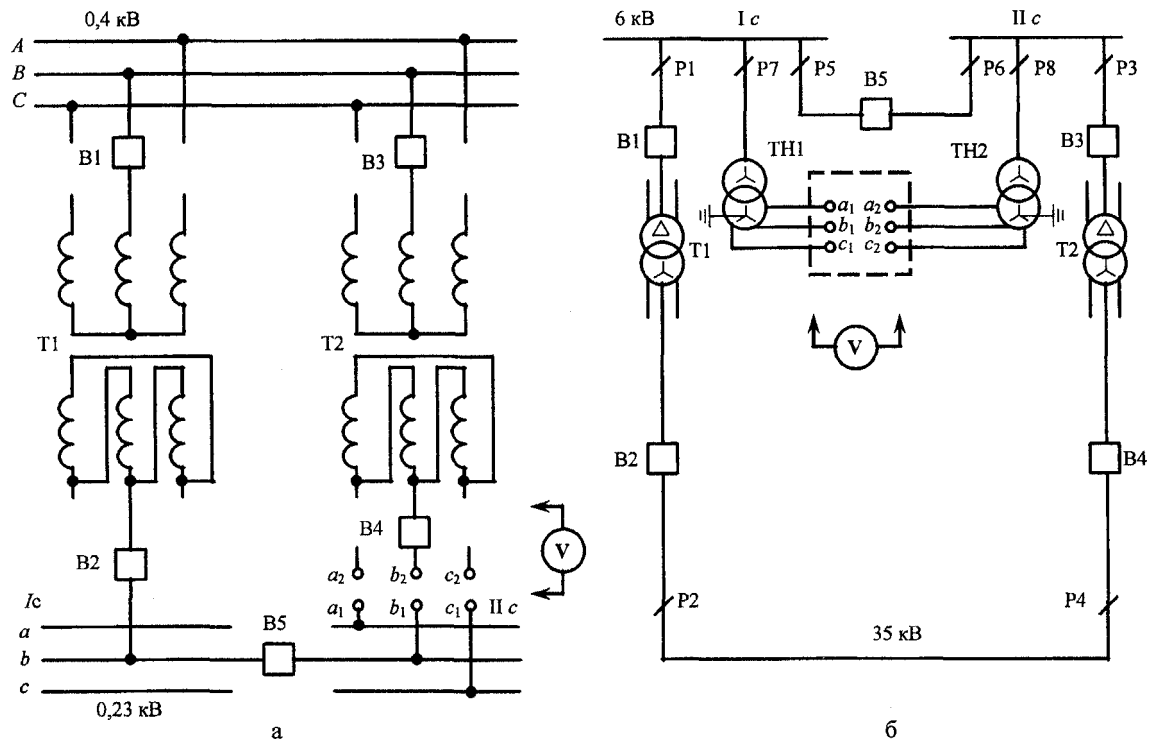


Рис. 3.4: а – схема РУ низкого напряжения; б – схема РУ высокого напряжения

3.3. План работы

1. Ознакомиться с инструкцией к лабораторной работе и схемами модели распределительных устройств.
2. Изучить расположение выключателей модели РУ, силовых и измерительных трансформаторов и их выводов.
3. Сфазировать силовые трансформаторы РУ низкого напряжения.
4. Сфазировать измерительные трансформаторы РУ высокого напряжения с последующей фазировкой силовых трансформаторов.
5. Составить отчет о лабораторной работе.

3.4. Техника безопасности при выполнении работы

Перед включением питания модели все выключатели в схемах РУ должны быть в отключенном положении.

При выполнении работы подавать напряжение на лабораторную установку можно только с разрешения преподавателя. Все пересоединения в схеме разрешается делать только при отключении установки от сети или при отключенном положении выключателя, подающего напряжение на соответствующие проводники. Во время выполнения работы необходимо соблюдать общие правила техники безопасности в соответствии с инструкцией по технике безопасности при работе в лабораториях кафедры "Электрические станции".

3.5. Порядок выполнения работы

1. Собрать схемы РУ низкого и высокого напряжения. Для этого подсоединить проводники первичной и вторичной обмоток трансформатора Т2 обоих РУ и ТН2 к гнездам по вариантам, заданным преподавателем (варианты подсоединения проводников заданы в табл. 3.2, 3.3). Установить временную перемычку между любыми противоположными зажимами (a_1-a_2 или b_1-b_2 и т.д.). Включить питание модели от сети. Включить выключатели В3, В4 и В5 РУ низкого напряжения.

2. Произвести измерение симметрии линейных напряжений обоих трансформаторов РУ низкого напряжения на фазлируемой стороне путем измерения и сопоставления между собой линейных напряжений U_{a1-b1} ; U_{b1-c1} ; U_{c1-a1} ; U_{a2-b2} ; U_{b2-c2} ; U_{c2-a2} . Результаты записать в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Трансформатор Т1			Трансформатор Т2		
U_{a1-b1}	U_{b1-c1}	U_{c1-a1}	U_{a2-b2}	U_{b2-c2}	U_{c2-a2}

Варианты подсоединения проводников к гнездам трансформатора Т2

Таблица 3.2

Для РУ низкого напряжения

№ варианта		1	2	3	4	5
		Для РУ низкого напряжения				
Трансформатор Т2	обмотка Δ	1-белый	1-зеленый	1-желтый	1-зеленый	1-белый
		2-желтый	2-белый	2-зеленый	2-желтый	2-зеленый
		3-зеленый	3-желтый	3-белый	3-белый	3-желтый
	обмотка Y	1-зеленый	1-желтый	1-белый	1-желтый	1-зеленый
		2-желтый	2-белый	2-зеленый	2-белый	2-белый
		3-белый	3-зеленый	3-желтый	3-зеленый	3-желтый

Таблица 3.3

Для РУ высокого напряжения

№ варианта		1	2	3	4	5
		Для РУ высокого напряжения				
Трансформатор Т2	обмотка Δ	1-белый	1-зеленый	1-зеленый	1-белый	1-желтый
		2-желтый	2-белый	2-желтый	2-зеленый	2-зеленый
		3-зеленый	3-желтый	3-белый	3-желтый	3-белый
	обмотка Y	1-желтый	1-белый	1-желтый	1-зеленый	1-зеленый
		2-белый	2-зеленый	2-зеленый	2-желтый	2-белый
		3-зеленый	3-желтый	3-белый	3-белый	3-желтый
ТН2	обмотка Y-0	a2-зеленый	a2-желтый	a2-белый	a2-зеленый	a2-белый
		v2-белый	v2-зеленый	v2-желтый	v2-желтый	v2-зеленый
		c2-желтый	c2-белый	c2-зеленый	c2-белый	c2-желтый

По результатам табл. 3.1 определить величину асимметрии линейных напряжений фазиремых трансформаторов.

Произвести измерения напряжения на выводах (все выводы) U_{a1-b2} , U_{a1-c2} , U_{b1-b2} , U_{b1-c2} , U_{c1-c2} , U_{c1-b2} , U_{c1-a2} , U_{a1-a2} . Результаты измерений записать в табл. 3.4.

3. По результатам измерений напряжений (табл. 3.1 и 3.4) построить совмещенную векторную диаграмму напряжений обоих трансформаторов.

Примечание. По значениям трех линейных напряжений Т1 (три стороны треугольника) строится Δ линейных напряжений Т1. Затем к нему до-

страивается Δ Т2. Положение вершин Δ Т2 находят через значения соответствующих напряжений. Так, вершину b_2 можно определить через значения: $U_{a_1-b_2}$ и $U_{c_1-b_2}$. Она будет лежать на пересечении дуг окружностей соответствующих радиусов ($U_{a_1-b_2}$ и $U_{c_1-b_2}$) с центрами a_1 и c_1 .

4. По результатам анализа построенных диаграмм и измерений напряжений установить, какие должны быть произведены изменения в монтаже цепей трансформатора (требуется перенести временную перемычку на другие выводы или изменить порядок чередования фаз на одной из сторон трансформатора Т2).

5. Произвести правильные изменения в монтаже первичных цепей трансформатора Т2 и произвести фазировку трансформаторов. Результаты записать в табл. 3.4 или 3.5. Изменения в монтаже цепей трансформатора будут произведены правильно, если по результатам измерений напряжений будет выполнено совпадение фаз трансформаторов. Записать, какие проводники подключены к соответствующим гнездам на обоих обмотках Т2.

Таблица 3.4

Результаты измерений для РУ НН

Соединение проводников обмоток Т2 РУ								
Y	1-				Δ	1-		
	2-					2-		
	3-					3-		
$U_{a_1-b_2}$	$U_{a_1-c_2}$	$U_{b_1-b_2}$	$U_{b_1-a_2}$	$U_{b_1-c_2}$	$U_{c_1-c_2}$	$U_{c_1-b_2}$	$U_{c_1-a_2}$	$U_{a_1-a_2}$

Таблица 3.5

Результаты измерений для РУ ВН

Соединение проводников обмоток Т2 и ТН2								
Y	1-				Δ	1-	1-	
	2-					2-	Y_0 2-	
	3-					3-	3-	
$U_{a_1-b_2}$	$U_{a_1-c_2}$	$U_{b_1-b_2}$	$U_{b_1-a_2}$	$U_{b_1-c_2}$	$U_{c_1-c_2}$	$U_{c_1-b_2}$	$U_{c_1-a_2}$	$U_{a_1-a_2}$

6. После окончания фазировки трансформаторов РУ низкого напряжения отключить выключатели В5, В4 и В3 этого РУ.

7. Включить выключатель В5 РУ высокого напряжения (В3 и В4 должны быть в отключенном положении) и произвести фазировку измерительных трансформаторов напряжения ТН1 и ТН2 в соответствии с пунктами 2-4.

8. Отключить выключатель В5 и включить выключатели В4 и В3 РУ высокого напряжения. Произвести фазировку силовых трансформаторов Т1 и Т2 РУ высокого напряжения в соответствии с пунктами 2-5.

9. Отключить все выключатели питания модели и проводники от гнезд Т2 и ТН2 в обоих РУ.

10. Составить отчет.

3.6. Содержание отчета

1. Схемы фазировки трансформаторов (см. рис. 3.1, 3.2 и 3.4).

2. Варианты подсоединения проводников к зажимам трансформаторов и результаты измерений напряжений для всех проведенных случаев фазировки. Результаты измерений оформить в табл. 3.1.

3. Векторные диаграммы напряжений при фазировке, для рассмотренных случаев построенные по результатам измерений с их анализом (где должна устанавливаться перемычка или как должен быть изменен порядок чередования фаз первичных или вторичных цепей трансформатора Т2).

3.7. Контрольные вопросы

1. Назвать условия параллельной работы трансформаторов.

2. К чему приводит включение на параллельную работу трансформаторов, имеющих различные группы соединения?

3. При фазировке на какой стороне и каких трансформаторов обеспечивается показание измерительных приборов?

4. Из каких основных операций состоит фазировка?

5. Для чего при фазировке по результатам измерений требуется строить векторные диаграммы?

6. Куда следует переносить временную перемычку, если между одними фазируемыми концами линейное напряжение, а между другими – двойное линейное?

7. В чем особенность фазировки силовых трансформаторов напряжением 10 кВ и более на стационарных трансформаторах напряжения?

8. Какова должна быть последовательность всех операций при фазировке трансформаторов РУ на стороне, где имеется двойная система шин?

9. Какие измерительные приборы могут применяться при фазировке трансформаторов до 1000 В и выше 1000 В?

Литература: [1], с. 24-25, 29-31, 203-210;

[2], с. 389-395.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРИВОДОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучение методики эксплуатационных испытаний электромагнитных приводов выключателей.

4.1. Теоретические сведения

Высоковольтные выключатели в значительной мере определяют надежность эксплуатации распределительных устройств и безопасность их обслуживания. Поэтому выключатели в процессе монтажа, после его окончания и в условиях эксплуатации подлежат проверке, опробованию и наладке в соответствии с требованиями Правил устройств электроустановок (ПУЭ).

Основной характеристикой любого выключателя является его коммутационная способность, т.е. способность выключателя многократно включать и отключать номинальные токи нагрузки и токи коротких замыканий.

В значительной степени коммутационная способность выключателя обеспечивается правильным функционированием приводного устройства.

Приводное устройство должно не только включать или отключать выключатель, но и выполнять эти операции с определенной скоростью.

Скорость движения контактов выключателей непосредственно не влияет на их коммутационную способность, но отклонение значений скоростей от требуемых может вызвать повреждение контактов и самого выключателя за счет роста ударных нагрузок при больших скоростях в момент включения или затяжное горение дуги при снижении скорости.

На скорость движения контактов выключателя с электромагнитным приводом существенное значение оказывает величина напряжения питания электромагнитов привода. Так, при пониженном напряжении отключающий электромагнит может не создать необходимого усилия для освобождения механизма свободного расцепления, т.е. выключатель при этом не отключится.

В случае включения выключателя на пониженном напряжении питания включающий электромагнит может не обеспечить требуе-

мого усилия для включения и выключатель будет поврежден в результате длительного горения дуг на его контактах. При повышенном напряжении резко возрастет усилие и механизм удержания выключателя во включенном состоянии может отказать.

Любой отказ выключателя приводит или к развитию аварии, или отказу электроснабжения.

В этой связи после монтажа или ремонта выключателя с электромагнитным приводом проверяется правильность его функционирования при разных нормированных уровнях напряжения питания электромагнитов. Для электромагнита включения – $1,1U_{н}; U_{н}; 0,8U_{н}$, а для отключающего электромагнита – $1,2U_{н}; U_{н}; 0,65U_{н}$. При этом заключение о правильности и надежности функционирования выключателя можно сделать путем сопоставления измеренных времен включения и отключения выключателя и скорости движения его контактов с заводскими данными. Если результаты испытаний отличаются менее чем на 10 % от данных завода-изготовителя, то можно утверждать, что выключатель будет надежно включаться и отключаться.

Время включения и отключения выключателя вместе с приводом измеряют при помощи электросекундомера (схема измерения показана на лабораторном стенде). Скорости движения контактов выключателя измеряют при помощи вибрографа. Последний используется в качестве отметчика времени.

Виброграф (элемент 3 лабораторной установки) состоит из сердечника, катушки, подвижного якоря с укрепленным на нем карандашом и корпуса. К обмотке вибрографа подводится переменный ток промышленной частоты напряжением 12 В. При этом колебания якоря с карандашом повторяются через 0,01 с и записываются на бумажной ленте, прикрепленной к тяге выключателя или специальной планке, связанной с подвижным контактом.

Виброграф включают одновременно с подачей команды на включение или отключение выключателя. Полученную графическую запись движения, называемую виброграммой, расшифровывают. Для этого виброграмму разбивают на участки между двумя смежными максимумами виброграммы (рис. 4.1) и на каждом из них подсчитывают среднюю скорость движения $v_{ср}$ по формуле

$$v_{ср} = \frac{\Delta S_i}{\Delta t}, \text{ м/с,}$$

где ΔS_i – длина i -го участка, см;

Δt – время движения на участке, равное 0,01 с.

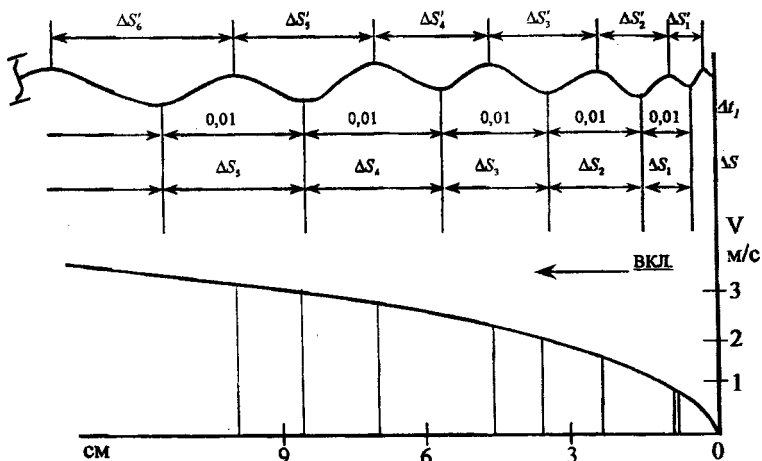


Рис. 4.1

На рис. 4.1 показано разбиение диаграммы на участки по положительным и отрицательным амплитудам, что позволяет определять среднюю скорость на перекрывающихся интервалах пути движения.

Рассчитанные таким образом значения средних скоростей относят к середине соответствующих участков и по ним строят зависимость скорости движения контактов от пути $v_{cp} = f(s)$. Построенные зависимости скорости сравнивают с типовыми.

По полученной зависимости дополнительно можно определить время движения подвижного контакта:

- от начала движения до полного включения выключателя;
- от начала движения до входа в гасительное устройство;
- прохождения в неподвижном контакте выключателя;
- причину отклонения скорости движения контактов от требуемых значений (износ деталей, дефекты в сборке, неправильная регулировка натяжения отключающих пружин и др.).

4.2. Описание лабораторной установки

Исследуемый выключатель ВМП-10 с приводом ПЭ-11 смонтирован на выкатной тележке шкафа КРУ-10.

Схема управления выключателем смонтирована на лабораторном стенде. Напряжение переменного и постоянного тока подводится к испытательному стенду и приводу гибкими кабелями (шлейфами).

Для изменения уровня напряжения, питающего электромагниты привода, на стенде установлены добавочные сопротивления R1-R5 и переключатели S2 и S1.

На крайнем полюсе выключателя снята крышка бачка и установлено приспособление для измерения скорости движения подвижного контакта. Стойка 1 приспособления закреплена к полюсу выключателя. На верхней части стойки установлен виброграф 3. Внутри стойки проходит шток, который нижним концом ввернут в гнездо на подвижном контакте выключателя, а на его верхней части закреплена планка 2 с бумагой.

4.3. План работы

1. Ознакомиться с инструкцией к лабораторной работе, схемой управления выключателем, конструкцией приспособления.

2. Снять виброграммы движения контактов выключателя при его включении и отключении. Одновременно электросекундомером замерить время включения и отключения выключателя.

3. Расшифровать виброграммы и построить $v_{\text{cp}} = f(S)$.

4. Заполнить табл. 4.1. Сравнить измеренные величины с данными завода-изготовителя и дать свое заключение.

Таблица 4.1

Выключатель ВМП-10 с приводом ПЭ-11	Время от подачи импульса до момента, с		Наименование операции	Скорость движения контактов, м/с	
	замыкания контактов	размыкания контактов		максимальная	в момент замыкания (при вкл.) или раз- мыкания (при откл.) контактов дугогаси- тельных камер
Каталожные величины	0,3	0,1	включение	4,1	3,6
			отключение	5,0	4,5
Результаты испытаний			включение		
			отключение		

4.4. Техника безопасности

1. При выполнении работы следует соблюдать "Инструкцию по технике безопасности при работе в лабораториях кафедры "Электрические станции".

2. Смену бумажных лент виброграмм необходимо производить после отключения установки от сети.

4.5. Порядок выполнения работы

1. Закрепить бумагу на планке.
2. Установить виброграф так, чтобы карандаш касался середины бумажной ленты.
3. Подсоединить выпрямитель схемы управления к сети переменного тока.
4. Установить шлейфы питания в соответствии со схемой стенда.
5. Проверить соответствие ключа управления положению выключателя.
6. Переключатель $S1$ установить в положение, указанное преподавателем.
7. Включить питание от сети.
8. Включить тумблеры $SN1$, $SN2$, $SN5$.
9. Ключом управления SA включить выключатель.
10. Отключить тумблеры $SN1$, $SN2$, $SN5$.
11. Отключить питание от сети.
12. Снять записанную виброграмму, на ней сделать запись "вкл", указать направление движения планки и величину напряжения питания электромагнита включения. Записать время включения, измеренное электросекундомером.
13. Снять виброграмму при отключении выключателя в соответствии с пунктами 6-11 (переключатель $S2$ установить в положение, указанное преподавателем, и вместо тумблера $SN2$ включить тумблер $SN3$).

4.6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Виброграммы и построенные графики скоростей при включении и отключении выключателя для заданных значений напряжения питания электромагнитов привода.
3. Результаты исходных данных и расчетов оформить в табл. 4.1.
4. Заключение о надежности работы выключателя.

4.7. Контрольные вопросы

1. От чего зависит надежность работы выключателя?
2. Чем вызывается необходимость нормирования скорости движения контактов?
3. Как измеряются скорость движения контактов и время включения и отключения выключателя?
4. Как устроен виброграф?
5. Почему величина напряжения управления приводом влияет на величину скорости движения контактов?
6. Как расшифровывается виброграмма?
7. Какие дефекты и как конкретно их можно выявить по снятой виброграмме?
8. Какие измерения необходимо выполнить, чтобы сделать заключение об исправности выключателя и надежности его работы?

Литература: [2], с. 445-452;

[4], с. 139-146.

ОПЕРАТИВНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В СХЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Переключения в электрических схемах электростанций и подстанций производятся в связи с изменением оперативного состояния оборудования или схемы первичных соединений. Они осуществляются путем перемены положения коммутационных аппаратов, предназначенных для включения и отключения оборудования. Все операции при этом выполняются оперативным персоналом в определенной последовательности, обусловленной схемами первичных и вторичных соединений, назначением коммутационных аппаратов, режимами работы оборудования и другими причинами. Ошибки при переключениях приводят к тяжелым авариям, опасным для обслуживающего персонала и оборудования.

Цель работы состоит в изучении организации и порядка производства переключений в схемах электрических соединений станций и подстанций.

5.1. Краткие теоретические сведения

Электрическое оборудование станций и подстанций участвует в едином процессе производства, передачи и распределения электрической энергии электросистемы. Любые изменения в схемах станций и подстанций являются наиболее ответственным моментом в работе оперативного персонала, требующего централизованного диспетчерского руководства.

Для предупреждения ошибочных действий персонала при производстве переключений в схемах станций и подстанций Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) электрических станций и сетей установлен строгий порядок организации и производства переключений.

ПТЭ установлены:

- способ отображения состояния главной схемы электрических соединений установки в любой момент времени;
- порядок выдачи, регистрации и исполнения распоряжений на переключения;
- порядок действий при выполнении переключений.

Состояние главных схем электрических соединений станций и подстанций в любой момент времени отображается на оперативных схемах (или схемах-макетах).

Под оперативными схемами понимают чертежи, на которых указывается основное оборудование установки. Выключатели и разъединители при этом показываются в их действительном положении на данный момент времени. Здесь же отмечаются включенные заземляющие ножи разъединителей, места наложения заземлений и закороток.

Оперативные схемы хранятся на щитах управления станций и подстанций. Они составляются дежурным персоналом. Все изменения состояния оборудования установки немедленно вносятся в оперативную схему.

Переключения в электроустановках производятся лицами оперативного персонала, знающими правила производства переключений, прошедшими проверку знания схем, расположения оборудования, правил техники безопасности и допущенными к оперативной работе.

Переключения выполняются по распоряжению вышестоящего дежурного персонала. Только в неотложных случаях при угрозе жизни людей, аварийном состоянии оборудования, стихийном бедствии допускается выполнение переключений без распоряжения диспетчера, но с последующим его уведомлением.

Распоряжения на переключения содержат последовательность операций и их конечную цель. Они могут быть переданы лично или по телефону. Лицо, получившее распоряжение, повторяет его и после подтверждения отдающего распоряжение, что задание понято правильно, записывает его содержание в оперативный журнал. Порядок предстоящих операций уточняется по оперативной схеме, и при необходимости составляется бланк переключений.

Бланк переключений является оперативным документом, определяющим содержание задания и последовательность выполнения операций. В нем в технологической последовательности записываются действия с коммутационными аппаратами, цепями оперативного тока, устройствами релейной защиты и автоматики, операции проверки отсутствия напряжения, наложения и снятия заземлений и др. Составленный бланк номеруется, проверяется и подписывается лицом, производящим операции, и лицом, контролирующим правильность их выполнения.

Без бланка переключений выполняются несложные переключения, имеющие полную механическую блокировку и, следовательно,

малую вероятность неправильных действий. Кроме того, без бланка производится переключения при ликвидации аварий.

Переключения производятся двумя лицами. Контролирует операции старший по должности, выполняет – младший. Контролирующее лицо по бланку переключений зачитывает очередную операцию, исполнитель повторяет содержание операции и после разрешения выполняет ее. Каждая выполненная операция отмечается в бланке. Ответственность за правильность операций несут оба лица. При возникновении сомнений в правильности операций переключения приостанавливаются, выясняются сомнения у лица, отдающего распоряжение на переключения, и после уточнения доводятся до конца.

По окончании переключений делается запись в оперативном журнале. Лицо, отдающее распоряжение на переключения, уведомляется об окончании операций и выполненных изменениях в схеме электрических соединений.

Правильная последовательность операций при переключениях обуславливается схемами первичных и вторичных соединений, особенностями расположения оборудования, принципами построения блокировочных устройств между разъединителями и выключателями и др. При этом под операциями понимаются действия, направленные на изменение положения коммутационных аппаратов первичных схем, а также устройств вторичной коммутации.

Операции в цепях вторичной коммутации производятся с тем, чтобы режимы работы устройств защиты и автоматики соответствовали режимам первичных цепей. Они выполняются путем изменения положения накладок, переключателей, испытательных блоков и т.п. как непосредственно в цепях устройств РЗА, так и в цепях их питания. Каждая из операций во вторичных цепях должна производиться своевременно, с тем чтобы оборудование станций или подстанций всегда было защищено от повреждений при коротких замыканиях устройствами РЗА.

5.2. Содержание лабораторной работы

1. Изучить схемы электрических соединений станций, представленные в лаборатории.
2. Составить оперативную схему одной из станций для режима, указанного преподавателем.
3. Разработать бланк переключений в соответствии с заданием преподавателя.
4. Составить отчет о работе.

5.3. Описание лабораторной установки

Для выполнения лабораторной работы используются схемы станций типа КЭС и ТЭЦ, представленные в лаборатории. Принятые цвета различных частей схем соответствуют:

красный – частям с номинальным напряжением 110 кВ;

зеленый – частям генераторного напряжения;

темно-голубой – сети собственных нужд 6 кВ;

черный – сети собственных нужд 0,4 кВ;

коричневый – частям схем напряжением 330 кВ;

желтый – 750 кВ.

На схемах не указаны места установки и количество измерительных трансформаторов, заземляющих ножей на разъединителях и др. Эти сведения, а также схемы соединений токовых цепей и цепей напряжения, питающих устройства РЗА, приводятся в альбоме принципиальных схем распределительных устройств, выдаваемом при выполнении работы.

5.4. Методические указания, пояснения и порядок выполнения работы

Для выполнения лабораторной работы необходимо получить у преподавателя альбом принципиальных схем распределительных устройств и задание на переключения.

В задании на переключения указывается состояние оборудования конкретной станции (режим ее работы) и цель переключений. По этим данным выполняющие работу составляют оперативную схему станции. Она вычерчивается на отдельном листе и в последствии прикладывается к отчету.

Форма оперативной схемы приведена на рис. 5.1.

Для разработки бланка переключений устанавливаются коммутационные аппараты, изменение положения которых обуславливается целью переключений, и намечается очередность выполнения операций. По принципиальным схемам РУ намечаются операции, которые необходимо выполнять с устройствами РЗА для того, чтобы режим их работы соответствовал режиму первичных цепей. После этого уточняется последовательность операций в первичной схеме и составляется бланк. Форма бланка переключений приведена на рис. 5.2.

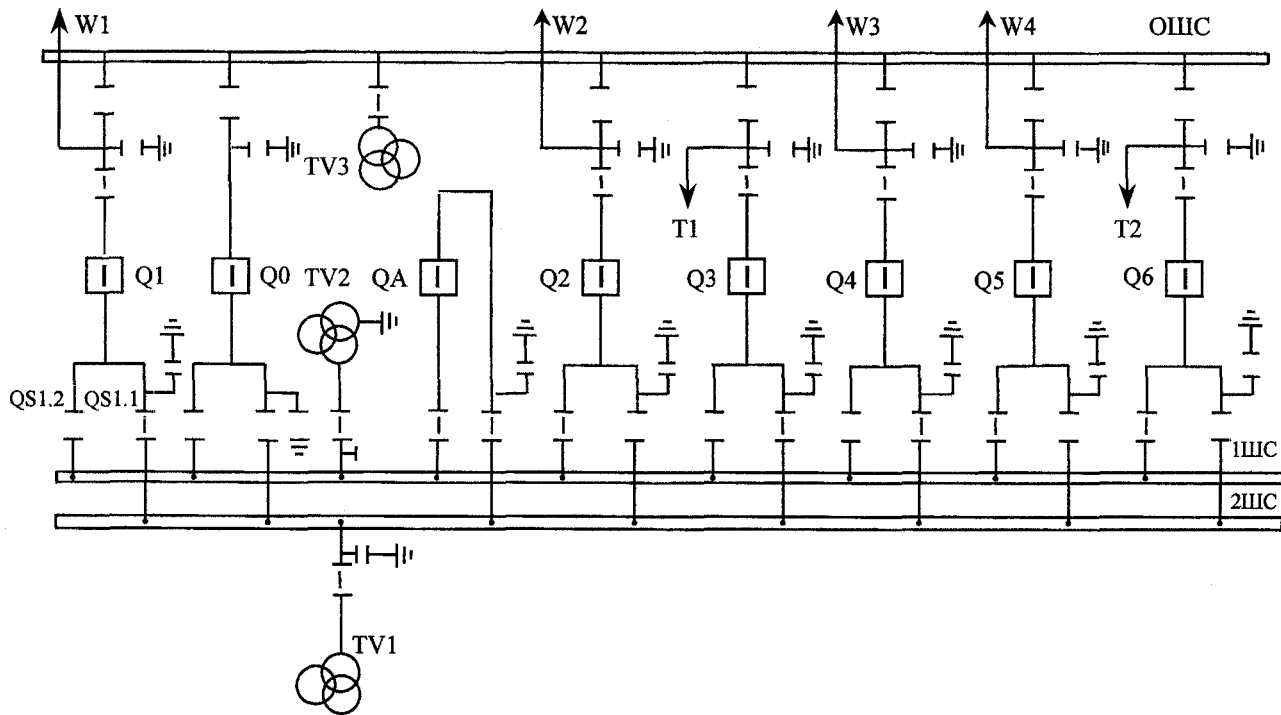


Рис. 5.1. Оперативная схема распределительного устройства 110 кВ

БЛАНК ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ № _____

Заполняется чернилами

Электростанция
Подстанция

Начало _____ ч _____ мин
Конец _____ ч _____ мин

« _____ » _____ 20 __ г

Задание _____ *Отключить и вывести в ремонт 1 СШ 110 кВ*

Последовательность производства операций:

1. Включить рубильник нарушения фиксации присоединений в схеме цепей оперативного постоянного тока дифзащиты шин ОРУ-110 кВ.
2. Снять предохранители с оперативных цепей управления шиносоединительным выключателем QA.
3. Проверить включенное положение шиносоединительного выключателя QA.
4. Включить шинный разъединитель II системы шин QS 1.2 выключателя Q1.
5. Отключить шинный разъединитель I системы шин QS 1.1 выключателя Q1.
6. Включить шинный разъединитель II системы шин QS 3.2 выключателя Q3.
7. Отключить шинный разъединитель I системы шин QS 3.1 выключателя Q3.
8. Включить шинный разъединитель II системы шин QS 4.2 выключателя Q4.
9. Отключить шинный разъединитель I системы шин QS 4.1 выключателя Q4.
10. Проверить по амперметру отсутствие перетока через шиносоединительный выключатель QA и установить предохранители в оперативных цепях его управления.
11. Отключить шиносоединительный выключатель QA.
12. Отключить шинный разъединитель I системы шин шиносоединительного выключателя QAS1.
13. Отключить шинный разъединитель трансформатора напряжения TVI.
14. Отключить автоматические выключатели и рубильники в цепях вторичного напряжения трансформатора напряжения TVI.
15. Включить заземляющие ножи шинного разъединителя трансформатора напряжения TVI.

Бланк заполнил и переключения производит _____
Подпись _____

Бланк проверил и переключения контролирует _____
Подпись _____

Рис. 5.2

При разработке последовательности операций руководствуются следующими положениями.

В цепях, имеющих выключатели, при отключении цепи выключатель отключается первым, а при включении включается последним. Сами операции с выключателями производятся дистанционно со щитов управления.

Операции с разъединителями выполняются только при отключенном положении выключателя. Для предупреждения самопроизвольного или ошибочного включения выключателя при действиях с разъединителями необходимо зафиксировать отключенное положение выключателя, а операции с разъединителями выполнять только после визуальной проверки действительного состояния выключателя на месте его установки.

Фиксирование положения выключателя осуществляется отключением питания его цепей управления. Состояние выключателя на месте установки проверяется по положению приводного механизма (по механическим указателям).

Нарушение этих правил приводит к разрыву или включению разъединителем тока нагрузки и возникновению на его контактах электрической дуги, опасной для оборудования и людей. Последствия коммутирования тока нагрузки зависят от места установки разъединителя. При возникновении дуги, например, на шинном разъединителе она может переброситься на сборные шины, что вызовет их повреждение и отключение. При дуге на линейном разъединителе она может быть ликвидирована отключением выключателя и авария не распространится на всю установку.

В этой связи при переключениях необходимо соблюдать определенную очередность действий с разъединителями. Вначале выполняется операция с тем разъединителем, при ошибочном действии с которым возникшая дуга не приведет к развитию аварии. После этого включаются или отключаются другие разъединители данной цепи.

ПТЭ разрешается отключение и включение разъединителями:

– нейтралей трансформаторов и дугогасительных реакторов при отсутствии в сети замыканий на землю;

– токов конкретных величин, значения которых устанавливаются ПУЭ (в зависимости от напряжения и типа разъединителей). Кроме того, разрешается отключать или включать под напряжением и током разъединитель, зашунтированный выключателем или другим разъединителем.

Включение разъединителей ручным приводом производится решительно и быстро, но без удара в конце хода ножа. Отключение выполняется медленно, с тем чтобы при появлении дуги быстро включить его обратно. Во время переключений запрещается выводить из действия блокировки между разъединителями и выключателями.

Операции с устройствами релейной защиты и автоматики должны производиться своевременно. Ввод в работу, вывод из работы, изменение режима устройств РЗА осуществляются различной аппаратурой вторичных цепей. Эта аппаратура устанавливается в положения, при которых режимы работы защит и автоматики будут согласованы с режимами работы оборудования первичной схемы.

При производстве переключений для вывода оборудования в ремонт должны быть выполнены требования Правил техники безопасности (ПТБ) при эксплуатации электроустановок электрических станций и подстанций. Эти требования направлены на обеспечение безопасных условий проведения ремонтных работ и заключаются в следующем.

С оборудования должно быть снято напряжение. Отключение напряжения должно производиться таким образом, чтобы оборудование со всех сторон было отделено видимым разрывом от частей установки, находящихся под напряжением. При этом необходимо предотвратить возможность появления на отключенном оборудовании напряжения за счет обратной трансформации от трансформаторов напряжения или силовых трансформаторов.

Приводы коммутационных аппаратов, которыми может быть подано напряжение к месту работы, запираются в отключенном положении и на них вывешиваются плакаты "Не включать – работают люди". Токоведущие части фаз отключенного оборудования соединяются между собой и заземляются. Заземления устанавливаются непосредственно на токоведущих частях оборудования. При делении ремонтируемой установки на части заземления устанавливаются на каждой ее части. Непосредственно установка заземлений осуществляется после подсоединения заземляющего проводника к земле и проверки с помощью специального указателя напряжения отсутствия напряжения на токоведущих частях, подлежащих заземлению.

Для безопасности проведения ремонта часть установки, где размещается выделенное оборудование, ограждается. Ограждения устанавливаются таким образом, чтобы предупредить приближение или прикосновение работающих к ближайшим частям установки,

оставшихся под напряжением. На ограждениях вывешиваются плакаты "Стой – высокое напряжение", "Не влезай – убьют".

5.5. Техника безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдать требования инструкции по технике безопасности при работе в лабораториях кафедры "Электрические станции".

5.6. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Оперативная схема установки до переключений.
3. Задание на переключения.
4. Заполненный бланк переключений.

5.7. Контрольные вопросы

1. Кому разрешается производство переключений в электроустановках?
2. Почему переключения в схемах станций и подстанций должны быть согласованы с режимом работы энергосистемы?
3. Как производятся переключения?
4. Какая схема используется для разработки последовательности операций при переключениях?
5. Какую роль выполняет блокировка между разъединителями и выключателями при переключениях и почему ее нельзя выводить из действия при переключениях?
6. Кто несет ответственность за правильность выполнения переключений?
7. В чем состоит особенность переключений при выводе оборудования в ремонт?
8. Назовите и поясните последовательность операций при выводе в ремонт выключателя линии и замене его обходным.
9. Назовите последовательность операций при выводе в ремонт среднего выключателя в схеме с полутора выключателями на цепь.
10. Назовите последовательность операции при выводе из работы системы шин в РУ с двумя рабочими и одной обходной системами шин.

Литература: [6], с. 356-382;

[7], с. 531-545.

ВЫБЕГ И САМОЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Цель работы: исследование процесса индивидуального выбега электропривода агрегата и процессов его разбега при самозапуске двигателей секции собственных нужд.

6.1. Теоретические сведения

Одним из основных мероприятий, обеспечивающим надежную работу механизмов собственных нужд электростанций, является обеспечение их самозапуска после перерыва питания собственных нужд и восстановления напряжения на секции собственных нужд. Перерывы питания вызываются отключением источников рабочего питания из-за их повреждения или повреждения шин ГРУ, к которым они подключены, отключением блока при повреждении его элементов, ошибочным или самопроизвольным отключением рабочего источника питания, потерей возбуждения на генераторе или короткими замыканиями во внешней сети или сети собственных нужд. Под действием момента сопротивления (вращающий момент двигателя равен нулю, так как $U = 0$) двигатели начинают тормозиться и скорость вращения их уменьшается. За счет запасенной электромагнитной энергии магнитный поток в двигателе уменьшается по экспоненциальному закону. В этом режиме остаточное напряжение на зажимах статора двигателя, обусловленное индуктированной в статоре ЭДС, затухает, как и поток ротора.

В зависимости от причин исчезновения напряжения выбег электродвигателей собственных нужд может быть групповым или индивидуальным. Если перерыв питания не обусловлен короткими замыканиями во внешней сети или сети собственных нужд, то происходит групповой выбег. На секцию собственных нужд электростанции подключаются двигатели механизмов определенного сочетания, обладающие своими характеристиками, что позволяет установить закономерности группового торможения. После отключения источника питания на шинах собственных нужд сохраняется остаточное напряжение, генерируемое двигателями. Часть двигателей

агрегатов, имеющих большие механические и электромагнитные постоянные времени, начинает при этом работать асинхронными генераторами, а остальные двигатели питаются от них. Магнитные потоки каждого двигателя в таком режиме затухают примерно с одинаковой скоростью, и продолжительность затухания результирующего напряжения на шинах составляет 1,0-1,5 с в зависимости от типа электростанции. Частота затухающего напряжения тоже уменьшается вместе с торможением двигателей примерно по линейному закону со скоростью 4-7 Гц/с, что вызывает изменение угла фазового сдвига между векторами остаточного напряжения секции и напряжения питающей сети.

При коротком замыкании во внешней сети или сети собственных нужд, если напряжение на секции понижается до нуля, происходит индивидуальный выбег электродвигателей. В первый момент двигатели будут посылать к месту короткого замыкания ток, который будет затухать по мере снижения магнитных потоков двигателей. Одновременно будет снижаться скорость вращения механизмов, подобно тому, как это происходит при выбеге после отключения двигателя от сети.

Для иллюстрации на рис. 6.1 приведены кривые индивидуального выбега отдельных механизмов собственных нужд блока 200 МВт, представляющие собой зависимости скорости вращения двигателей от времени после отключения двигателей.

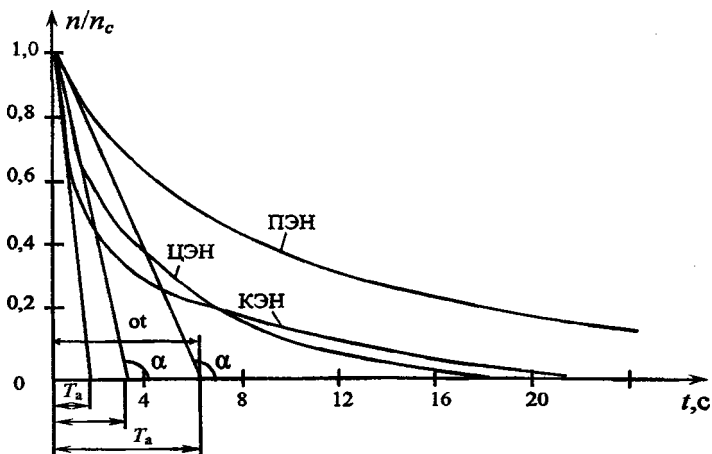


Рис. 6.1. Кривые индивидуального выбега отдельных механизмов собственных нужд блока 200 МВт

Основным уравнением, определяющим скорость вращения двигателей при выбеге и разбеге, является уравнение движения. В относительных единицах (о.е.) оно имеет вид

$$m_{\text{изб}} = -T_a \frac{ds}{dt}, \quad (6.1)$$

где $m_{\text{изб}} = m_{\text{дв}} - m_c$;

$m_{\text{дв}}$ – вращающий электромагнитный момент, действующий на вал двигателя, зависящий от величины напряжения и его частоты, о.е.;

m_c – момент сопротивления механизма с учетом потерь, о.е.;

$$T_a = \frac{GD^2 n_c^2}{364 P_H} \text{ – механическая постоянная времени агрегата;}$$

$$s = \frac{n_c - n}{n_c} \text{ – скольжение двигателя;}$$

n_c – синхронная скорость;

n – скорость вращения двигателя.

Так как после отключения двигателя от сети $m_{\text{дв}} = 0$, то после интегрирования уравнения (6.1) получим следующую формулу для определения скольжения (скорости вращения двигателя) при индивидуальном выбеге:

$$\int_{s_0}^s ds = \frac{1}{T_a} \int_0^t m_c dt; \quad s = \frac{1}{T_a} \int_0^t m_c dt + s_0, \quad (6.2)$$

где s_0 – начальное значение скольжения двигателя при выбеге.

Если момент сопротивления механизма не зависит от скорости его вращения, т.е. $m_c = \text{const}$, то скольжение будет равно

$$s = \frac{1}{T_a} \int_0^t m_c dt + s_0; \quad s_0 \leq s \leq 1, \quad (6.3)$$

а скорость вращения

$$n = (1 - s)n_0 = \left(1 - \frac{1}{T_a} m_c t + s_0\right)n_0; \quad n_c \geq n \geq 0. \quad (6.4)$$

Из анализа выражения (6.4) следует, что скорость вращения механизмов с постоянным моментом сопротивления изменяется во

времени по линейному закону и двигатели, имеющие на своем валу больший момент сопротивления, снижают свою скорость быстрее. При одинаковых моментах сопротивления быстрее снижается скорость вращения у двигателей, имеющих меньшую механическую постоянную. Кривые выбега механизмов с $m_c = \text{const}$, рассчитанные по (6.4), приведены на рис. 6.2.

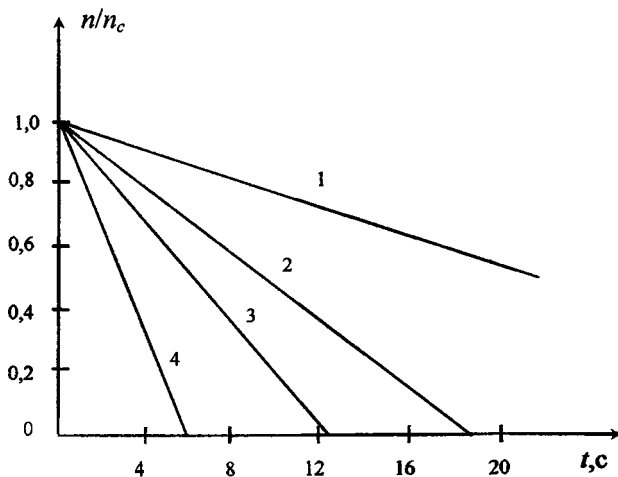


Рис. 6.2. Кривые выбега механизмов с постоянным моментом сопротивления ($m_{c1} < m_{c2} < m_{c3} < m_{c4}$)

Преобладающее число механизмов собственных нужд электростанций (тягодутьевые установки, различные насосы и др.) обладает моментом сопротивления, зависящим от скорости их вращения. В этом случае расчет кривых выбега по (6.2) ... (6.4) связан со значительными трудностями (требуется графический или другой метод решения уравнения (6.2)). Возникают трудности и в расчете самих моментов сопротивления (особенно тягодутьевых машин и различных насосов). Поэтому в условиях эксплуатации кривые выбега механизмов получают опытным путем. Из кривых выбега можно определить величину механической постоянной времени агрегата (T_a) и величину момента сопротивления (m_c).

Постоянную времени можно определить как длину подкасательной, касательная которой проводится к кривой выбега в точке с ко-

ординатами $(0, n_c)$. Длина подкасательной определяется величиной отрезка, отсеченной касательной на оси времени, и равна

$$ot = \left| \frac{n(0, n_c)}{dn/dt(0, n_c)} \right| = \frac{n_c T_a}{n_c m_c} = \frac{T_a}{m_c} = T_a,$$

т.е. касательная отсекает на оси времени отрезок, равный величине T_a (величина момента сопротивления для $t = 0$ в относительных единицах равна 1).

Величину момента сопротивления агрегата для любой скорости можно определить через $\operatorname{tg} \alpha$, т.е. производную от кривой выбега по времени. Так как $\operatorname{tg} \alpha = \frac{dn}{dt}$, а $\frac{dn}{dt} = \frac{m_c}{T_a} n_c$, то $m_c = \frac{T_a}{n_c} \operatorname{tg} \alpha$.

Проводя касательную к любой точке кривой выбега со скоростью n и измерив угол α , можно найти величину сопротивления агрегата в относительных единицах для этой скорости.

Кривые выбега и полученные из них значения скорости вращения, постоянной времени и момента сопротивления позволяют анализировать поведение двигателей при кратковременных колебаниях напряжения в сети, пусках и процессах группового самозапуска, который наступает после восстановления напряжения на шинах собственных нужд.

Скорость вращения и скольжение двигателя при пусках и разбеге в процессе группового самозапуска определяется по формулам, полученным из решения уравнения (6.1):

$$s = - \left[\frac{1}{T_a} \int_0^t (m_{дв} - m_c) dt - s_H \right];$$

$$n = \left[1 + \frac{1}{T_a} \int_0^t (m_{дв} - m_c) dt - s_H \right] \cdot n_c,$$

где s_H — начальное значение скольжения двигателя при разбеге.

К моменту восстановления напряжения скорость вращения различных механизмов неодинакова и самозапуск электродвигателей происходит каскадно. Двигатели механизмов с легкими условиями пуска (циркуляционные, конденсатные и др. насосы) разворачиваются пер-

выми, а затем разворачиваются двигатели вентиляторов, дымососов, питательных насосов и др., имеющих тяжелые условия пуска. При этом самозапуск двигателей происходит при пониженном напряжении на секции. Так как с уменьшением скорости вращения сопротивление двигателя тоже уменьшается, а потребляемый ток увеличивается, то при групповом самозапуске падение напряжения на трансформаторе или реакторе собственных нужд от протекания пусковых токов двигателей получается значительным. Величина падения напряжения зависит от количества самозапускаемых двигателей, их скорости вращения и сопротивления реактора или трансформатора. В связи с этим время восстановления скорости вращения двигателей тоже зависит от многих факторов (длительности КЗ и перерыва питания, мощности питающего трансформатора, количества и состава самозапускаемых агрегатов и т.д.), и в условиях эксплуатации его расчет не производят, а проводят натурные испытания самозапуска механизмов.

Самозапуск двигателей считается успешным, если за время восстановления скорости вращения не произойдет их отключение технологическими защитами и не будет чрезмерного нагрева двигателей. Как показали испытания, проведенные в энергосистемах, за интегральный критерий успешности самозапуска электродвигателей собственных нужд может быть принята максимально допустимая продолжительность восстановления напряжения на шинах после действия АВР. Для электростанций среднего давления она не должна превышать 35 с, высокого давления с поперечными связями – 25 с и для блочных электростанций высокого давления – 20 с.

6.2. Моделирование процесса выбега и самозапуска механизма собственных нужд

Наиболее просто можно исследовать процесс выбега и самозапуска механизма собственных нужд на физической модели. В этом случае имеется возможность проследить характер изменения скорости вращения самого электродвигателя при индивидуальном выбегае и групповом разбегае. Схема физической модели приведена на рис. 6.3. Напряжение питания собственных нужд 6 кВ в схеме модели заменено на 220 В. Исследуемым агрегатом собственных нужд является асинхронный короткозамкнутый электродвигатель мощностью 0,8 кВт с номинальной скоростью вращения 950 об/мин, нагружаемый постоянным моментом сопротивления. Момент сопротивления создается за счет сил трения тормозной ленты о шкив на валу двига-

теля. Величина момента сопротивления (ток двигателя) регулируется путем натяжения тормозной ленты (вращением зажима, установленного на крышке шкива двигателя). Для контроля тока двигателя предусматривается амперметр. Измерение скорости вращения двигателя производится по величине напряжения, генерируемого тахогенератором. Последний приводится во вращение исследуемым двигателем, и величина напряжения тахогенератора будет пропорциональна скорости вращения двигателя. Напряжение после выпрямления подается на вход вертикальных пластин осциллографа.

Индивидуальный выбег двигателя при коротком замыкании в сети моделируется отключением источника питания от шин собственных нужд.

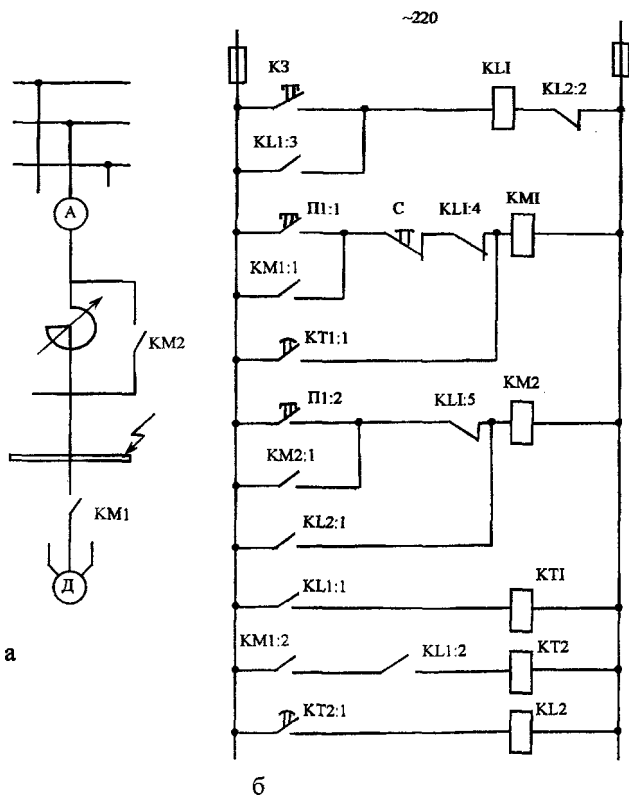


Рис. 6.3. Схема для моделирования процессов выбега и самозапуска механизмов собственных нужд:

а – схема модели; б – схема управления моделью

Процесс разбега двигателя при групповом самозапуске может происходить с различной начальной скоростью вращения и различной величиной напряжения на зажимах двигателя, обусловленной падением напряжения на трансформаторе (реакторе) собственных нужд, и его продолжительности.

Длительность выбега, определяющая начальную скорость двигателя при разбеге, в схеме задается уставкой длительности перерыва питания (на реле КТ1) (суммарное действие релейной защиты и АВР). Если время после начала выбега достигает длительности уставки перерыва питания, то источник питания подключается к шинам собственных нужд. Величина напряжения на зажимах двигателя (количество самозапускаемых двигателей, мощность трансформатора и т.д.) регулируется величиной сопротивления реактора включаемого в цепь статора двигателя при разбеге. Реактор в модели позволяет регулировать напряжение на зажимах двигателя в пределах от U_n до $0,8U_n$ (уставка величины напряжения при самозапуске). Количество самозапускаемых механизмов с легкими условиями пуска моделируется уставкой продолжительности величины снижения напряжения при самозапуске (КТ2).

При выбеге агрегата, обусловленного коротким замыканием, скорость вращения падает и на экране осциллографа можно наблюдать кривую выбега, а при подключении источника питания – кривую разбега. Задаваясь на модели различной величиной сопротивления реактора, длительностями уставок перерыва питания и продолжительности снижения напряжения, при самозапуске можно исследовать процесс разбега двигателя при групповом самозапуске в зависимости от быстродействия АВР питания собственных нужд, мощности трансформатора и количества самозапускаемых двигателей.

Управление физической моделью при исследовании выбега и разбега осуществляется по схеме на рис. 6.3, б. Отключение питания осуществляется кнопкой "Стоп" (С) или релейной защитой при коротком замыкании (кнопкой "КЗ"). При отключении кнопкой "Стоп" питание не восстанавливается, и в этом случае происходит полный выбег двигателя. При отключении кнопкой "КЗ" питание восстанавливается через заданное время перерыва питания (реле КТ1), т.е. разбег двигателя начинается с пониженным напряжением, т.к. в его цепь включается реактор (контактор КМ2 отключен). После срабатывания реле КТ2 и КЛ2 (истечение длительности величины снижения напряжения при самозапуске) реактор шунтируется и двигатель питается номинальным напряжением.

Для удобства визуального наблюдения и снятия кривой выбега и разбега величина напряжения тахогенератора (скорость вращения двигателя), подаваемая на вход пластин осциллографа, регулируется потенциометром, включенным на выход выпрямителя.

6.3. План работы

1. Ознакомиться с инструкцией к лабораторной работе и схемами модели и управления.
2. Изучить расположение органов управления и регулировки модели и осциллографа.
3. Для варианта, заданного преподавателем, записать величины уставок длительности перерыва питания, величины снижения напряжения при самозапуске и его длительности. Величины уставок заданы в приложении.
4. Снять кривые индивидуального выбега нагруженного и ненагруженного двигателя при отключении питания и кривые разбега и выбега для заданного варианта.
5. Определить из кривых выбега и разбега механическую постоянную времени, момент сопротивления и начальную скорость при самозапуске двигателя.
6. Составить отчет о лабораторной работе.

6.4. Техника безопасности при выполнении работы

При выполнении работы подавать напряжение на лабораторную установку можно только с разрешения преподавателя. Установку величины уставок реле времени производить при отключении питания модели штыревым разъемом на щитке питания. После установки уставок необходимо закрыть реле времени защитными крышками.

Во время выполнения работы необходимо соблюдать общие правила техники безопасности в соответствии с инструкцией по технике безопасности при работе в лабораториях кафедры "Электрические станции".

6.5. Порядок выполнения работы

1. Включить питание модели и осциллографа от сети. Дать осциллографу прогреться 5 мин.
2. Ручками управления осциллографа ("длительность развертки", "усилитель", "баланс" и др.) произвести балансировку осциллографа

и установить нужную скорость движения луча по экрану (настройка осциллографа осуществляется в соответствии с его инструкцией по эксплуатации).

3. Кнопкой "Пуск" (П) включить двигатель. Подать на вход усилителя осциллографа напряжение от тахогенератора (скорость вращения двигателя) и отрегулировать его величину. Установить нагрузку двигателя по амперметру 2,5...2,6 А.

4. При возвращении луча осциллографа в начало шкалы экрана кнопкой "Стоп" (С) отключить двигатель и снять визуально кривую индивидуального выбега. Уровень сигнала на экране осциллографа при отключении принять за номинальную скорость (в о.е. за единицу). Фиксировать визуально величину уровня через каждые 1-2 см развертки. Зная длительность развертки (с/см), путь луча (см) можно пересчитать в масштабе времени.

5. Включить двигатель кнопкой "Пуск" и установить нагрузку по амперметру 2,9...3 А. Выполнить пункт 4 для данной нагрузки.

6. Отключить питание модели и двигателя. Установить на модели требуемые величины уставок перерыва питания, напряжения при самозапуске и др. для заданного варианта в табл. 6.1. Включить питание модели и осциллографа. Дать осциллографу прогреться и произвести его настройку в соответствии с п. 2. Включить двигатель кнопкой "Пуск". При возвращении луча в начало шкалы экрана включить кнопку "КЗ". Снять кривую выбега и разбега для данного варианта, визуальную фиксируя уровень сигнала на экране осциллографа. Отключить двигатель кнопкой "Стоп". Отключить питание модели и осциллографа.

Таблица 6.1

Величины уставок для вариантов

№ варианта	Напряжение питания при самозапуске	Длительность снижения величины напряжения при самозапуске, с	Длительность перерыва питания, с
1	U_n	3,0	3,0
2	U_n	3,0	4,0
3	U_n	2,5	3,5
4	$0,8 U_n$	3,0	2,0
5	$0,8 U_n$	1,5	0,5
6	$0,8 U_n$	3,0	2,5
7	$0,8 U_n$	2,5	1,5
8	$0,8 U_n$	1,0	5,0

7. Построить кривые выбега и разбега, определить из них постоянную времени, момент сопротивления, начальную скорость при разбеге и составить отчет.

Примечание. Если кривые выбега и разбега не вмещаются в шкалу экрана или получаются неудобными для наблюдения, то можно изменить положение ручек длительности развертки так, чтобы замедлить или ускорить ход луча.

6.6. Содержание отчета

1. Цель работы, дифференциальное уравнение движения и его решения для случая индивидуального выбега и разбега.

2. Построенные кривые индивидуального выбега и разбега при групповом самозапуске.

3. Схему модели, необходимые данные уставок для заданного варианта и определенные из кривых выбега T_b , m_c и начального значения скорости двигателя при разбеге. Результаты исходных данных и расчетов оформить в табл. 6.2.

Таблица 6.2

№ варианта	T_b , 1/с	m_c , о.е.	t перерыва питания, с	U питания, о.е.	i снижения величины напряжения при самозапуске, с	n начальная скорость, о.е.

6.7. Контрольные вопросы

1. Что собой представляют кривые индивидуального выбега и для каких целей их снимают в эксплуатации?

2. Чем обусловлено остаточное напряжение на секции собственных нужд после отключения источника питания и как оно изменяется во времени?

3. Когда наступает групповой и индивидуальный выбег механизмов собственных нужд и чем отличаются процессы при выбегах?

4. Как определяются постоянная времени и момент сопротивления механизма из кривой выбега?

5. Что является критерием успешности самозапуска механизмов собственных нужд электростанций?

6. Как зависит время разбега двигателя от длительности перерыва питания и величины напряжения на зажимах двигателя?

7. Чем вызвано снижение напряжения на зажимах двигателей при их групповом самозапуске?

8. Какие имеются методы решения уравнения движения двигателя для случаев, когда момент сопротивления механизма зависит от его скорости вращения?

9. От чего зависит продолжительность выбега и разбега электродвигателя?

Литература: [2], с. 267-291;

[8], с. 451-456, 460-467.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИКИ НАЛАДКИ ЦЕПЕЙ ВТОРИЧНОЙ КОММУТАЦИИ

Цель работы: изучение общих принципов и методов наладки вторичных устройств электрооборудования.

7.1. Теоретические сведения о принципах и методах наладки цепей вторичной коммутации

Целью наладки вторичных устройств является проверка и настройка аппаратуры управления, сигнализации, измерения, защиты и автоматики. При этом проверяется правильность логического построения связей между всеми элементами устройства, правильность выполнения этих связей и функционирования устройств.

Наладка схем вторичной коммутации начинается с ознакомления с однолинейными схемами первичных цепей. При этом обращается внимание на территориальное размещение оборудования схемы: трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, выключателей, разъединителей и другого основного оборудования, куда подключаются элементы вторичных цепей.

Ознакомившись с первичными схемами и территориальным расположением оборудования, приступают к проверке и анализу принципиальных схем проекта, в которых заложена вся логика работы вторичных устройств.

Аналізу предшествует подборка проектных и заводских схем. Проектные схемы состоят из принципиальных, схем заполнения, кабельных связей и кабельных журналов, монтажных схем, схем вспомогательных шин и их связей. К заводским схемам относятся монтажные схемы заводских устройств: панелей, пультов, шкафов, сборок, ячеек КРУ и других устройств заводского изготовления, которые имеют свой внутренний монтаж элементов электрооборудования и в проекте не приводятся.

Аналізу вначале подвергаются принципиальные схемы общих устройств, схемы постоянного тока, центральной сигнализации, блокировок разъединителей и др. Затем приступают к анализу схем отдельных присоединений. При этом убеждаются в том, что маркировка элементов вторичных цепей выполнена в соответствии с обозна-

чениями первичных цепей, а выбранная проектом аппаратура соответствует всем требованиям к силовому оборудованию (обеспечение надежной защиты цепей при повреждениях в них, соответствие номинальному напряжению оперативных цепей и т.д.).

При анализе принципиальных схем выявляется, как работает схема в нормальном режиме, при перегрузках и в аварийном режиме, что произойдет при перегорании предохранителей или срабатывании автоматов во вторичных цепях трансформаторов напряжения и др. Обращается внимание, в каком положении находятся элементы оперативных цепей защит и управления при отключенных и включенных коммутационных аппаратах и какие изменения произойдут после срабатывания того или иного элемента схемы. При анализе выявляется также, какие имеются устройства сигнализации и блокировок и как они будут работать при срабатывании тех или иных элементов оперативных цепей и переключениях коммутационных аппаратов. При этом очень важно выяснить назначение каждого контакта, резистора и других элементов схемы, а также правильность выбора их номинальных параметров.

По проверенным принципиальным схемам и по поясняющим схемам кабельных связей проверяются кабельные журналы, комплектность кабелей и монтажные схемы.

Проверке монтажных схем всегда предшествует составление развернутой принципиально-монтажной схемы. На этой схеме все соединения между элементами должны выполняться в той последовательности, как это имеет место в действительности. Такая схема составляется на основе принципиальной и монтажной схем. На развернутой схеме указываются номера клемм ряда зажимов, номера контактов реле, номера выводов обмоток реле, пускателей и др., которые соединены между собой в соответствии с принципиальной и монтажной схемами.

После этого приступают к проверке монтажа панелей, пультов и отдельных устройств автоматики и управления. Такая проверка производится с помощью "пробника". В качестве пробника может служить омметр или электрическая лампочка с элементом питания. Перед проверкой отсоединяют от проверяемых устройств на панелях и пультах контрольные и силовые кабели внешних связей и разрывают внутренние связи на панели, которые могут создать обходную электрическую цепь для пробника. Монтажная схема должна в точности соответствовать фактическому монтажу и маркировке.

Проверку производят по последовательной цепочке, от полюса к полюсу, от фазы к фазе по развернутой принципиально-монтажной схеме, делая на ней, как правило, цветными карандашами отметки на всех элементах, сверенных с монтажной схемой.

Все элементы, все отходящие проводники, все катушки, все контакты на принципиально-монтажной схеме к концу проверки должны иметь соответствующую окраску (если все они подвергались проверке).

После проверки монтажа панелей и отдельных устройств приступают к проверке кабельных связей. Проверка начинается со сверки с проектом маркировки кабелей, сечения и их количества. При отсоединении жил кабелей надо следить за тем, чтобы они не повреждались и чтобы не выпадали маркировочные бирки. Прозвонку коротких кабелей связи можно производить при помощи пробника, а для длинных связей или связей с другими помещениями удобнее пользоваться телефонными трубками. Проверяемые жилы кабеля и земля будут служить двухпроводной парой для передачи электрических сигналов. При прозвонке надо следить за точным соответствием маркировки монтажной схеме.

После проверки кабельных связей измеряют мегаомметром сопротивление изоляции каждой жилы относительно земли и других жил. Величина сопротивления изоляции жил кабеля не нормируется. Удовлетворительным считают кабель, у которого измеренные сопротивления не ниже 10 МОм, при этом не должно быть большой разницы в состоянии изоляции различных жил (более 3-4 кратной). Исправные кабели подсоединяют к панели по проверенным и исправленным монтажным схемам.

После проверки всех панелей и всех кабельных связей производят сборку цепей (кроме подсоединения к панельным шинкам) и тщательный осмотр всех участков, сборок и т.д. На панели управления у предохранителей или автоматов объединяются «плюс» и «минус» отдельно цепей управления, цепей сигнализации, измерения и защит. Затем в течение 1 мин проводят испытание всех цепей напряжением 1000 В переменного тока. До и после испытания производится измерение сопротивления изоляции в собранной схеме каждого из перечисленных устройств. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм.

После этого восстанавливается нормальная схема питания цепей, подается оперативное напряжение на схему и производится ее опробование.

7.2. Описание лабораторной установки и методические указания к выполнению работы

Лабораторная установка состоит из одного шкафа комплектной трансформаторной подстанции типа КТП-СН-0,5 (шкаф № 4) распределительного устройства собственных нужд 0,4 кВ. Шкаф предназначен для питания электродвигателя и содержит два блока – силовой блок (БС) и релейный блок (БР). В силовом блоке расположен автомат (В), магнитный пускатель (ПМ) и штепсельный разъем силового блока (ШРС). В релейном блоке расположены реле контроля напряжения (РВ), реле фиксации команд (РФ), штепсельный разъем (ШР) и клеммники, расположенные на правой и левой боковинах. На дверке релейного блока установлены кнопки управления магнитным пускателем и лампы сигнализации положения автомата и магнитного пускателя.

На рис. 7.1 приведена принципиальная электрическая схема управления электродвигателем, питаемым от шкафа. Монтажные схемы штепсельного разъема, реле РВ и РФ передней дверки и рядов зажимов релейного блока показаны на рис. 7.2-7.5, а монтажные схемы штепсельного разъема магнитного пускателя и рядов зажимов автоматического выключателя силового блока – на рис. 7.6-7.8.

Для правильной ориентировки в назначении и связях отдельных элементов монтажной схемы, для надлежащего выполнения присоединения проводов и кабелей при монтаже, для удобного и легкого производства проверок, испытаний и замен все элементы монтажных схем маркируются, т.е. обозначаются условными обозначениями – марками. Так, для элементов схемы на рис. 7.2 принята следующая маркировка: 0102 (ШР), 0101 (РВ), 0105 (РФ), 0107 (ЛК), 0108 (ЛЗ), 0109 (ЛЛК), 0110 (ЛЛЗ), 0111 (КВ), 0112 (КО), 05 (ШРС), 04 (ПМ), ОК (ряды зажимов релейного блока), ОКА и ОКБ (ряды зажимов выключателя). Поэтому провод, уходящий с 12-го зажима реле РФ на 10-й зажим реле РЗ, маркируется у реле РФ – 0101.10, а у РВ – 0105.12 (первые четыре цифры – номер монтажной единицы, к которой этот провод уходит, последние – номер зажима). На клеммниках кроме указанной маркировки монтажных единиц может применяться дополнительно буквенная маркировка. Например, если будет маркировка ОК1 АЮ1 РФ7, то это означает, что с первой клеммы клеммника I уходит провод цепи АЮ1 на 7-й зажим реле фиксации команд РФ. Номера цепей в этом случае указываются на принципиальной схеме.

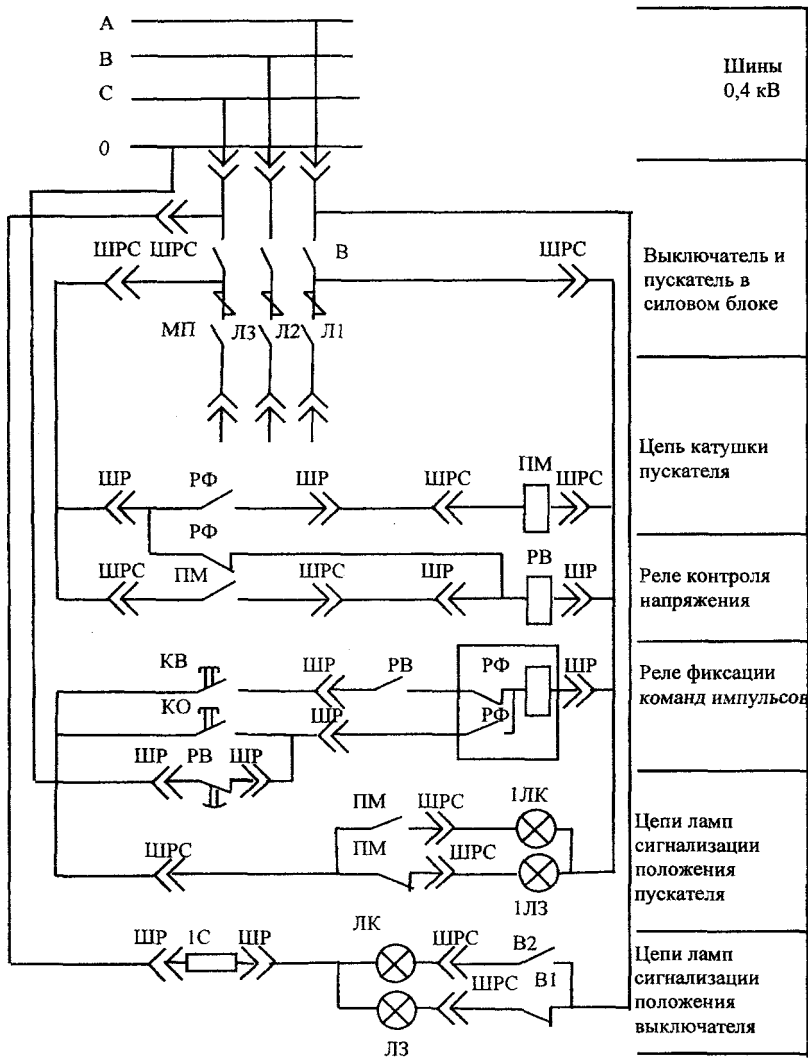


Рис. 7.1. Принципиальная схема управления электродвигателем

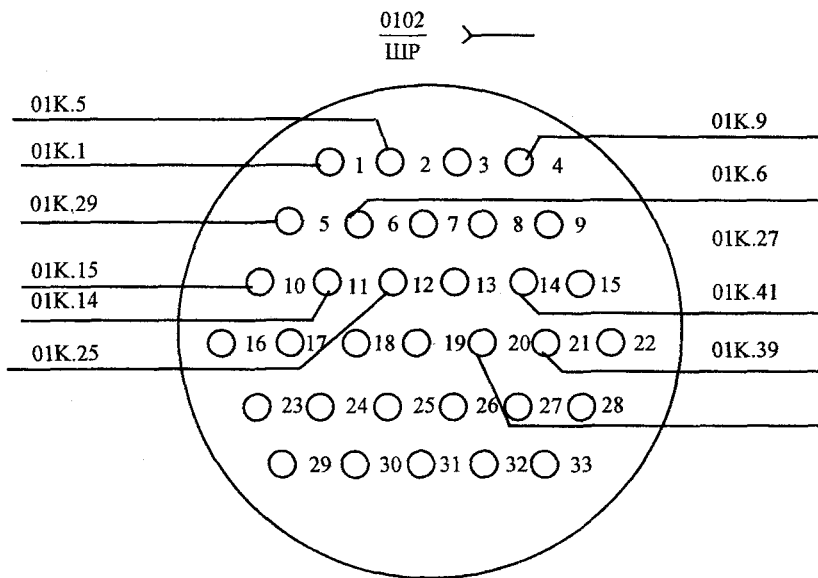
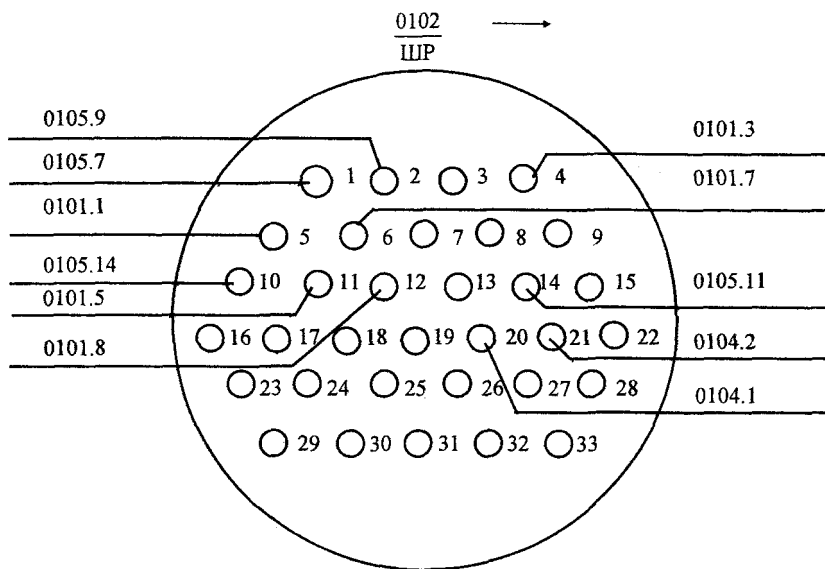


Рис. 7.2. Монтажная схема штепсельного разъема релейного блока

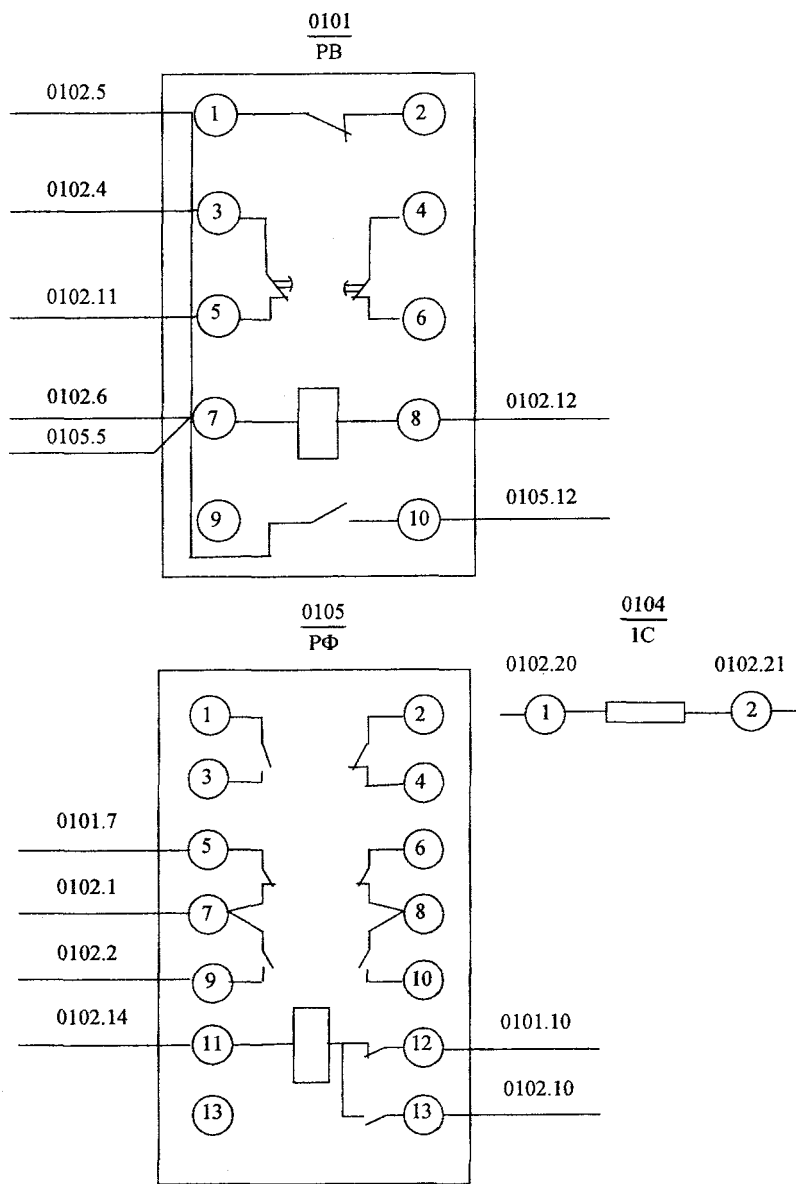


Рис. 7.3. Монтажные схемы реле и сопротивления релейного б/

ОК

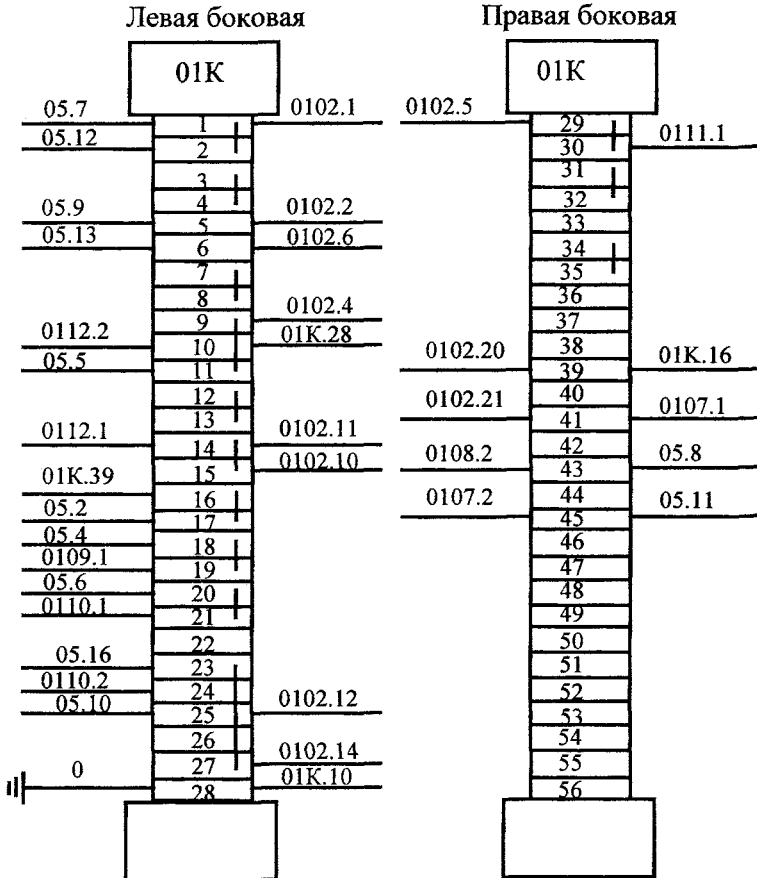
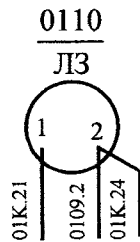
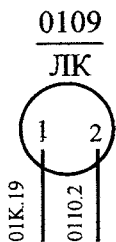
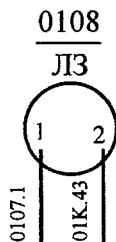
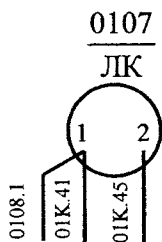
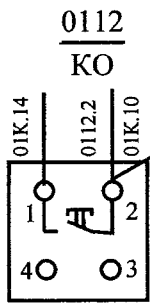
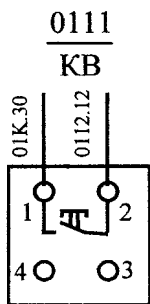


Рис. 7.4. Монтажная схема рядов зажимов релейного блока



Монтажные схемы ламп сигнализации



Монтажные схемы кнопок управления

Рис. 7.5. Монтажные схемы дверки релейного блока

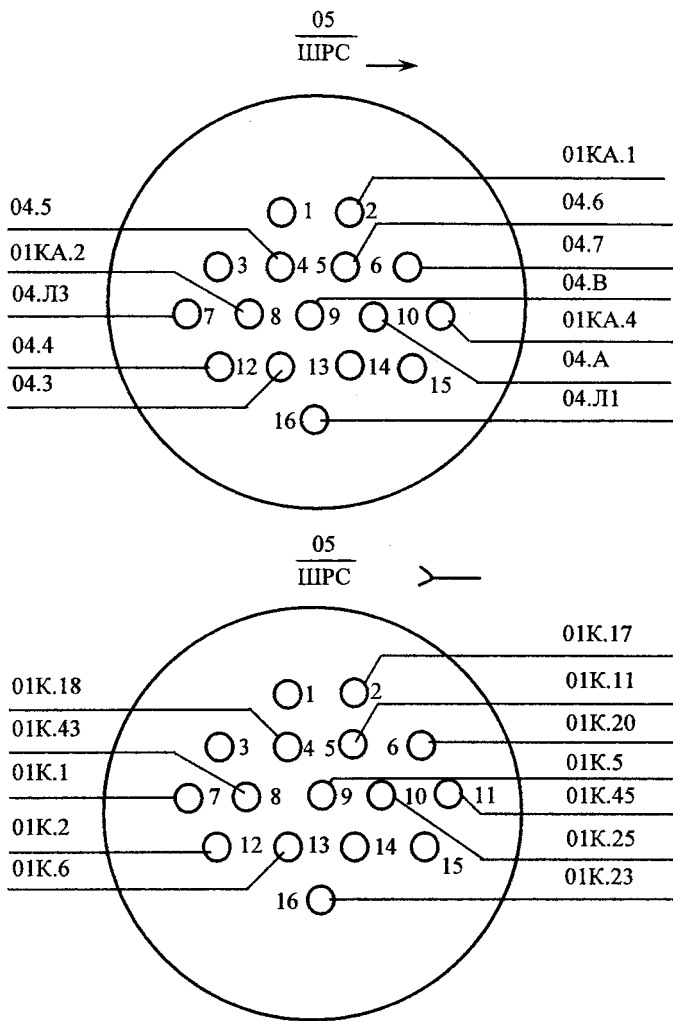


Рис. 7.6. Монтажная схема штепсельного разъема силового блока

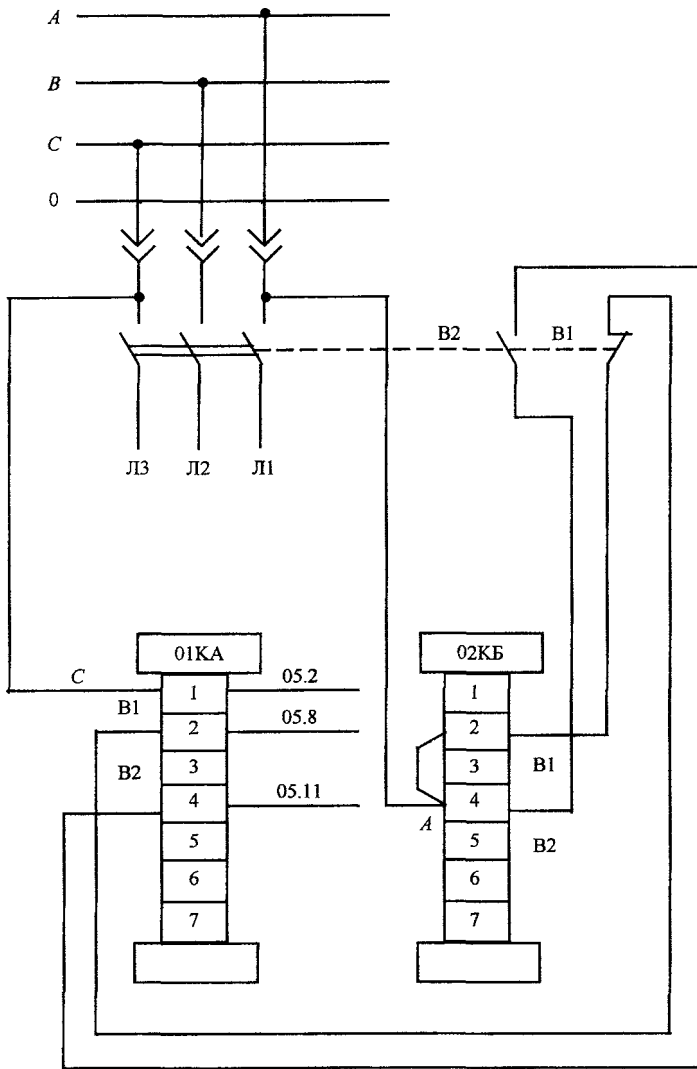


Рис. 7.7. Монтажная схема выключателя

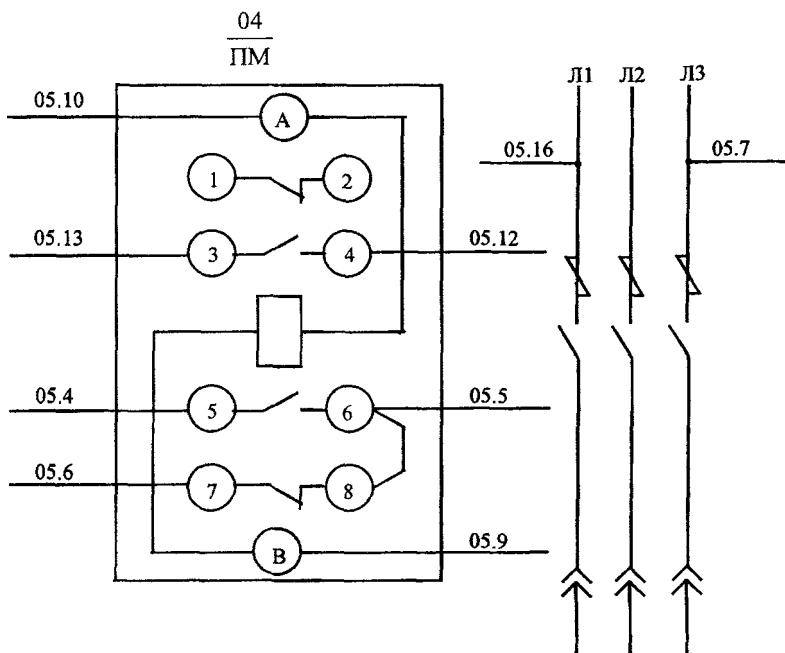


Рис. 7.8. Монтажная схема магнитного пускателя

Порядок составления принципиально-монтажной схемы рассмотрим на примере составления такой схемы для цепи ламп сигнализации положения выключателя. Составление схемы производится последовательно по всей цепочке от полюса к полюсу.

Лампы сигнализации положения выключателя включены на междуфазное напряжение U_{AC} . Составление схемы начнем от фазы *C*. На монтажной схеме выключателя (см. рис. 7.7) с фазы *C* уходит провод к клемме I клеммника ОИКА. На принципиально-монтажной схеме (рис. 7.9) обозначаем эту клемму значком "х" и ставим номер 1. Нижний провод с этой клеммы имеет маркировку 05.2, т.е. этот провод уходит к монтажной единице 05 (ШРС) на второй зажим. Поэтому на схеме у ШРС ставим номер 2.

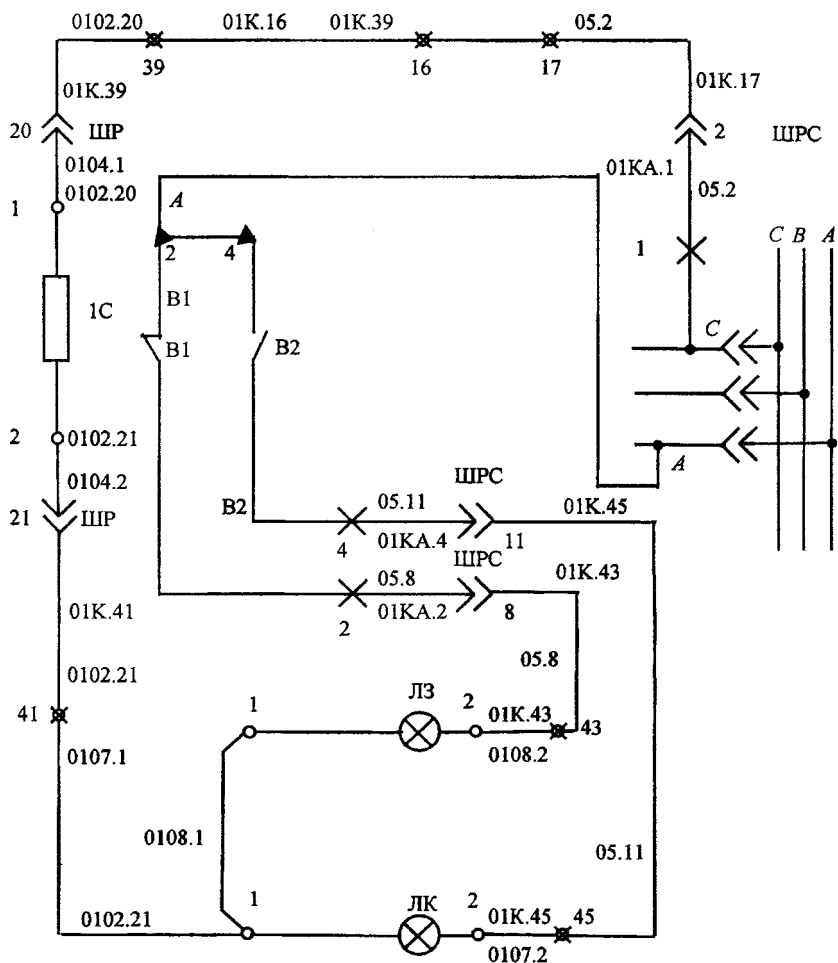


Рис. 7.9. Принципиально-монтажная схема цепи ламп сигнализации положения выключателя:

- × ряд зажимов 01КА выключателя
- ▲ ряд зажимов 02КБ выключателя
- ⊗ ряд зажимов релейного блока

В соответствии с принципиальной схемой ШРС соединен с ШР, который находится в релейном блоке. Такое соединение производится через клеммник в релейном блоке. Отыскиваем на клеммнике (см. рис. 7.4) провод, который уходит к ШРС 2. Он уходит с 17-й клеммы. Обозначаем ее значком "х" и цифрой 17. Клемма 17 имеет перемычку с клеммой 16. Отмечаем это на схеме. С клеммы 16 уходит провод на клемму 39, а с клеммы 39 – на ШР 20. Все это отмечаем на схеме. Провод, уходящий с 20-го зажима ШР, имеет маркировку 0104.1 (см. рис. 7.2), т.е. он уходит к сопротивлению 0104 на 1 зажим (см. рис. 7.3), а с зажима 2 сопротивления – на ШР 21. Пройдя таким образом всю цепочку до фазы А и обозначая все клеммы соответствующими символами и номерами, получим принципиально-монтажную схему цепи ламп сигнализации положения выключателя.

7.3. План работы

1. Ознакомиться с инструкцией к лабораторной работе, принципиальной и монтажными схемами установки.
2. Изучить территориальное расположение элементов принципиальной схемы и их маркировки.
3. Составить принципиально-монтажную схему одной из цепей схемы управления электродвигателя по заданию преподавателя.
4. Проверить правильность выполнения принципиально-монтажной схемы с помощью пробника.
5. Составить отчет о лабораторной работе.

7.4. Техника безопасности при выполнении работы

Во время выполнения работы необходимо соблюдать общие требования правил техники безопасности в соответствии с инструкцией по технике безопасности при работе в лабораториях кафедры "Электрические станции".

Выполнять лабораторную работу можно только в шкафу, указанном преподавателем. Категорически запрещается открывать другие шкафы распределительного устройства и касаться токоведущих частей. Подавать напряжение на лабораторную установку можно только с разрешения преподавателя.

7.5. Порядок выполнения работы

1. Изучить принципиальную схему первичных цепей и схему управления электродвигателем. Выяснить назначение всех элементов схем. Запомнить или выписать марки элементов схемы.

2. Изучить монтажные схемы и расположение оборудования, их рядов зажимов в силовом и релейном блоках.

3. Составить принципиально-монтажную схему заданной преподавателем цепи.

4. Произвести проверку правильности монтажа с помощью пробника. Составить отчет.

7.6. Содержание отчета

1. Цель работы и принципиальные схемы первичной цепи, подлежащей наладке.

2. Монтажные схемы той части оборудования, которая необходима для составления принципиально-монтажной схемы.

3. Марки оборудования схемы.

4. Принципиально-монтажную схему цепи и результаты проверки правильности монтажа.

7.7. Контрольные вопросы

1. Цель наладки вторичных устройств.

2. Организация работ при наладке вторичных устройств.

3. Почему наладке вторичных устройств предшествует ознакомление с первичными схемами?

4. Назначение и принцип маркировки монтажных схем.

5. Как составляется принципиально-монтажная схема?

6. Почему на принципиально-монтажной схеме делают отметки цветными карандашами?

7. Как проверить правильность подсоединения жил кабелей, соединяющих устройства, расположенные в разных помещениях?

8. С какой целью производится испытание изоляции вторичных устройств напряжением 1000 В?

9. Какая допустимая величина сопротивления изоляции собранной схемы управления?

10. Что является критерием правильности наладки вторичных устройств?

Литература: [4], с. 290-294, 314-318;
[9], с. 543-578;
[10], с. 375-411.

Литература

1. Алексеенко, Г.В. Параллельная работа трансформаторов и автотрансформаторов. – М.-Л.: Энергия, 1967.
2. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций / П.Г. Грудинский и [др.]. – М.: Энергия, 1974.
3. Булгаков, В.И. Группы соединения трансформаторов. – М.: ГЭИ, 1955.
4. Мусаэлян, Э.С. Наладка и испытание электрооборудования станций и подстанций. – М.: Энергия, 1979.
5. Нормы испытания электрооборудования. – М.: СПО ОРГРЭС, 1977.
6. Антипов, К.И. Пособие для изучения правил технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М.: Энергия, 1974.
7. Филатов, А.А. Переключения в электрических распределительных устройствах. – М.: Энергия, 1973.
8. Мотыгина, С.А. Эксплуатация электрической части тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1966.
9. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А.А. Васильева. – М.: Энергия, 1960.
10. Электрическая часть электростанций / Под ред. С.В. Усова. – Л.: Энергия, 1977.

Содержание

Лабораторная работа № 1.	
Методы проверки состояния электрооборудования и оценки возможности включения его в работу	3
Лабораторная работа № 2.	
Определение групп соединения силовых трансформаторов	11
Лабораторная работа № 3.	
Фазировка силовых трансформаторов	22
Лабораторная работа № 4.	
Эксплуатационные испытания электромагнитных приводов выключателей	33
Лабораторная работа № 5.	
Оперативные переключения в схемах электрических соединений станций и подстанций	39
Лабораторная работа № 6.	
Выбег и самозапуск электродвигателей механизмов собственных нужд электростанции	48
Лабораторная работа № 7.	
Изучение методики наладки цепей вторичной коммутации	60
Литература	75

Учебное издание

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

**Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности
1-43 01 01 «Электрические станции»**

Составители:

**ГЕРАСИМОВИЧ Александр Никанорович
МАЗУРКЕВИЧ Владимир Николаевич**

**Редактор Н.В. Артюшевская
Компьютерная верстка Л.Н. Юргилевич**

Подписано в печать 10.01.2006.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,5. Уч.-изд. л. 3,5. Тираж 80. Заказ 571.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.