

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Электрические системы»

НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-43 01 02
«Электроэнергетические системы и сети»

Минск
БНТУ
2012

УДК 621.31.07.(076.5)

ББК 31.26-08я7

Н23

С о с т а в и т е л и:

А.Л. Старжинский, А.А. Волков,

Ю.Д. Филипчик, В.С. Вилькин

Р е ц е н з е н т ы:

В.А. Булат, Ю.В. Макошко

Н23 Наладка и испытание электрооборудования: лабораторный практикум для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / сост.: А.Л. Старжинский [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – 71 с.

ISBN 978-985-525-885-9.

В лабораторном практикуме приведены десять инструкций выполнения лабораторных работ по основным разделам дисциплины «Наладка и испытание электрооборудования», изучаемой студентами специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети».

УДК 621.31.07.(076.5)

ББК 31.26-08я7

ISBN 978-985-525-885-9

© БНТУ, 2012

Введение

В данный лабораторный практикум включены десять лабораторных работ, предназначенных для изучения целого ряда вопросов, связанных с наладкой и испытанием электрооборудования: испытание силовых трансформаторов после ремонта, испытание контура заземления, плавких предохранителей, конденсаторов для повышения коэффициента мощности, исследование параллельной работы трехфазных двухобмоточных трансформаторов, исследование тиристорного регулятора напряжения и т. д.

Постановка и формулировка целей и задач, а также методы их решения соответствуют содержанию дисциплины «Наладка и испытание электрооборудования», изучаемой студентами специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети».

Практикум предназначен для изучения студентами основных приемов наладки и испытания электрооборудования.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНЫХ ДВУХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы: изучить условия включения трансформаторов на параллельную работу, принцип распределения нагрузки между параллельно работающими трансформаторами; получить практические навыки по включению трехфазных трансформаторов на параллельную работу.

Краткие теоретические сведения

Параллельной работой двух или более трансформаторов называется их совместная работа при включении первичных обмоток на общую первичную сеть и вторичных – на общую вторичную сеть.

Применение нескольких параллельно включенных трансформаторов вместо одного трансформатора эквивалентной мощности необходимо для обеспечения бесперебойного энергоснабжения в случае аварии в одном из трансформаторов или отключения его для ремонта. Кроме того, при работе подстанции с переменным графиком нагрузки в период малой мощности можно отключить один или несколько трансформаторов, для того чтобы уменьшить потери энергии.

Параллельная работа двухобмоточных трансформаторов допускается при следующих условиях: 1) трансформаторы должны иметь одинаковые коэффициенты трансформации, т. е. при одинаковых первичных напряжениях вторичные напряжения трансформаторов должны быть равны; 2) трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединения; 3) трансформаторы должны иметь одинаковые напряжения короткого замыкания (к.з.); 4) схема соединений при включении трансформаторов должна обеспечивать одинаковый порядок следования фаз как на стороне высокого напряжения (ВН), так и на стороне низшего напряжения (НН). Помимо этого рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей трансформаторов, включенных для параллельной работы, было не более 3:1. Нарушение первого и второго условий вызывает появление больших уравнивающих токов между обмотками трансформаторов, что ведет к чрезмерному их перегреву, т. е. делает совместную работу невоз-

можной. Что же касается третьего условия, то неравенство напряжений к.з. трансформаторов более 10 % от их среднего значения ведет к тому, что распределение нагрузки между трансформаторами становится в значительной степени непропорциональным их номинальным мощностям.

Равенство коэффициентов трансформации и напряжений к.з. обеспечивается подбором трансформаторов по их паспортным данным. Коэффициенты трансформации n_1 и n_2 не должны различаться более чем на $\pm 0,5$ % от их среднего значения:

$$\Delta n = \frac{n_1 - n_2}{n} \cdot 100 \leq \pm 0,5 \%,$$

где $n = \sqrt{n_1 \cdot n_2}$ – среднее геометрическое значение коэффициентов трансформации.

Напряжения к.з. не должны различаться более чем на ± 10 % от их среднего значения:

$$\Delta u_k = \frac{u_{k1} - u_{k2}}{u_k} \cdot 100 \leq \pm 10 \%,$$

где $u_k = \frac{u_{k1} + u_{k2}}{2}$ – среднее арифметическое значение напряжений к.з.

Прежде чем подключить трансформаторы на параллельную работу (рисунок 1.1), т. е. включить рубильник 3 при замкнутом рубильнике 1, необходимо провести фазировку трансформаторов, т. е. проверку соответствия фаз вторичных ЭДС трансформаторов Тр1 и Тр2. Для этого соединяют проводом одну пару противоположных клемм рубильника 3 и вольтметром V_0 измеряют напряжение между двумя несоединенными парами противоположных клемм рубильника 3. Если вторичные напряжения трансформаторов равны, их группы соединения одинаковы и порядок следования фаз у них один и тот же, то показания вольтметра V_0 равны нулю. В этом случае рубильник 3 можно замкнуть, т. е. включить трансформаторы на параллельную работу. Если же вольтметр V_0 показывает некоторое напряжение, то необходимо выяснить, какое из условий параллельной работы нару-

шено (обычно это нарушение одинакового порядка следования фаз), устранить его и вновь провести фазировку трансформаторов.

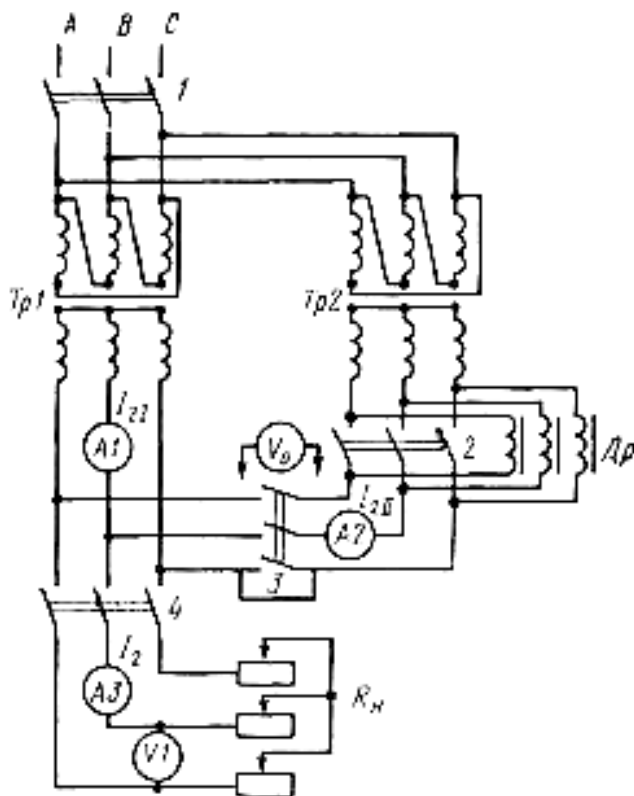


Рисунок 1.1 – Схема включения трехфазных двухобмоточных трансформаторов на параллельную работу

Порядок выполнения работы

1. Подготовка лабораторной установки к работе:
 - а) изучить схему на рисунке 1.2 и собрать схему на рисунке 1.3;
 - б) включить питание стенда;
 - в) кнопкой SB3 подать питание на катушку пускателя K2 (см. рисунок 1.2), контакты которой подключат испытуемые трансформаторы к трехфазной сети 380 В, 50 Гц;

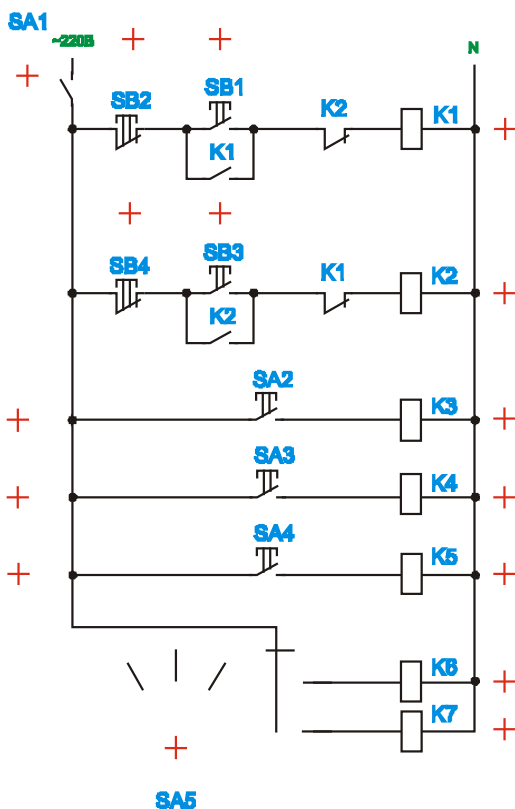


Рисунок 1.2 – Схема соединений стенда

г) включить SA2 – контакты пускателя K3 зашунтируют дроссели L1–L3; при выключенном SA6 вольтметр PV3 должен показывать значение 0.

2. Снятие внешней характеристики при $u_{k1} = u_{k2}$:

а) тумблером SA6 включить трансформаторы на параллельную работу;

б) выключателем SA7 подключить нагрузку;

в) установить переключатель SA5 в крайнее левое положение; нагрузка в этом случае симметрична: $R1 + R4 + R7 = R2 + R5 + R8 = R3 + R6 + R9$;

г) снять показания приборов PV1, PA1;

- д) установить переключатель SA5 в среднее положение; нагрузка в этом случае симметрична: $R1 + R4 = R2 + R5 = R3 + R6$;
- е) снять показания приборов PV1, PA1;
- ж) установить переключатель SA5 в крайнее правое положение; нагрузка в этом случае симметрична: $R1 = R2 = R3$;
- з) снять показания приборов PV1, PA1;
- и) перевести переключатель SA5 в крайнее левое положение.
3. Снятие внешней характеристики при $u_{k1} \neq u_{k2}$;
- а) переключателем SA2 обесточить катушку пускателя К3 – дроссели L1–L3 введены;
- б) снять показания приборов PV1, PA1;
- в) установить переключатель SA5 в среднее положение; нагрузка в этом случае симметрична: $R1 + R4 = R2 + R5 = R3 + R6$;
- г) снять показания приборов PV1, PA1;
- д) установить переключатель SA5 в крайнее правое положение; нагрузка в этом случае симметрична: $R1 = R2 = R3$;
- е) снять показания приборов PV1, PA1.
4. Отключение лабораторной установки:
- а) перевести переключатель SA5 в крайнее левое положение;
- б) выключить SA7;
- в) выключить SA6;
- г) кнопкой SB4 обесточить К2;
- д) выключить питание стенда.
5. Оценка параллельной работы трансформаторов с различными напряжениями короткого замыкания:
- а) получить у преподавателя вариант задания по нижеприведенной таблице;

Исходные данные о трансформаторах

№ варианта	S , кВ·А	S_{H1} , кВ·А	u_{k1} , %	S_{H2} , кВ·А	u_{k2} , %
1	420	320	5,5	100	4,5
2	420	240	6,0	180	5,4
3	450	250	4,5	200	5,5
4	1030	630	5,5	400	4,5
5	4300	2500	6,0	1800	5,5
6	10 300	6300	7,5	4000	6,5

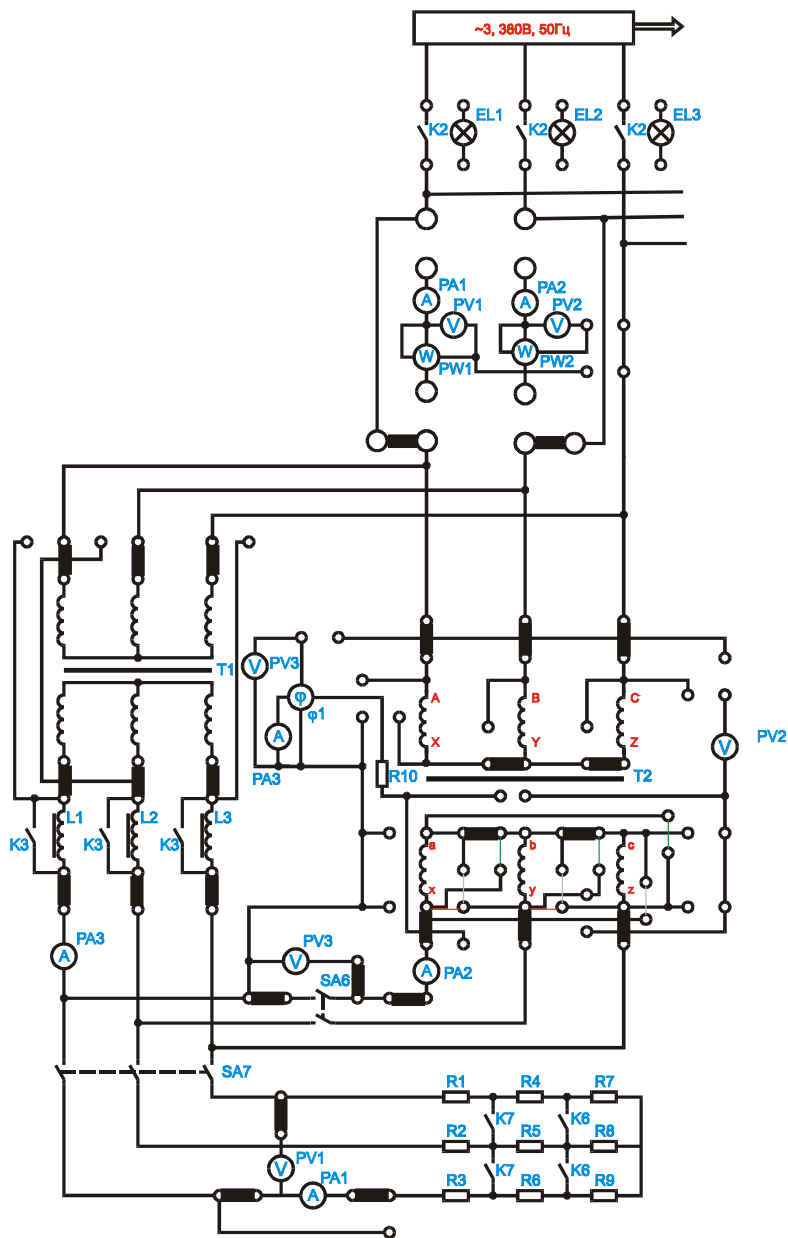


Рисунок 1.3 – Схема соединений лабораторной установки

б) определить распределение нагрузки между трансформаторами:

$$S_i = \frac{S}{u_{ki} \sum_{j=1}^n \frac{S_{i\hat{i}j}}{u_{kj}}} S_{i\hat{i}i},$$

- где S_i – нагрузка i -го параллельно работающего трансформатора;
 S – общая нагрузка всей параллельной группы;
 u_{ki} – напряжение короткого замыкания i -го трансформатора, %;
 $S_{i\hat{i}i}$ – номинальная мощность i -го трансформатора;
 u_{kj} – напряжение короткого замыкания j -го трансформатора, %;
 $S_{i\hat{i}j}$ – номинальная мощность j -го трансформатора;
 n – число параллельно работающих трансформаторов;
в) определить допустимую мощность нагрузки;
г) определить недоиспользованную мощность трансформаторов.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Условия включения трансформаторов на параллельную работу.
3. Результаты измерений и вычислений.
4. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. С какой целью применяют параллельную работу трансформаторов?
2. Каковы условия включения трансформаторов на параллельную работу?
3. Почему не допускается включение на параллельную работу трансформаторов с разными группами соединения?
4. Каковы допуски на различие коэффициентов трансформации и напряжений короткого замыкания для трансформаторов, включаемых на параллельную работу?

5. Что такое фазировка трансформаторов, для чего и как она выполняется?

6. От чего зависит распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами?

Литература

1. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – М.: Энергия, 1978. – С. 310–316.

2. Костенко, М.П. Электрические машины / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – Л.: Энергия, 1972. – Ч. 1: Машины постоянного тока. Трансформаторы. – С. 452–461.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией и техническими данными низковольтных предохранителей типов ПР-2, ПН2, ПНД-2, ПРС, НППН-60; снять времятоковую характеристику плавкой вставки и сравнить ее с расчетной.

Краткие теоретические сведения

Плавкими предохранителями называют электрический аппарат, который при токе, большем заданной величины, размыкает электрическую цепь путем расплавления плавкой вставки, непосредственно нагретой током до расплавления.

Предохранители можно классифицировать по степени закрытия плавкой вставки: 1) на предохранители с открытой плавкой вставкой (применяются редко); 2) предохранители с полузакрытым патроном; 3) предохранители с закрытым патроном, в которых отсутствует выброс пламени дуги при перегорании плавкой вставки. Предохранители с закрытым патроном могут быть с наполнителем и без него. В предохранителях с наполнителем дуга гасится в порошкообразном наполнителе, а в предохранителях без наполнителя – вследствие высокого давления газов в патроне.

Материалы для плавких вставок должны иметь малое удельное сопротивление, небольшую температуру плавления и, кроме того, должны быть стойкими к окислению. В современных предохранителях для плавких вставок обычно применяются медь, цинк, серебро. Медь по сравнению с цинком имеет малое удельное сопротивление, что позволяет применять плавкие вставки небольшого сечения. Однако медь имеет весьма высокую температуру плавления (около 1083 °С) и подвержена окислению. Серебро, как и медь, имеет малое удельное сопротивление и не окисляется, что обуславливает высокую стабильность пограничных токов серебряных вставок. Температура плавления серебра – 961 °С. В предохранителях с медными или серебряными вставками при небольших токах перегрузки возможен значительный нагрев патрона предохранителя и

его разрушение. Одним из способов снижения температуры плавления вставки является применение металлургического эффекта, когда на медную или серебряную вставку напаивают шарики из металла с низкой температурой плавления (олово, свинец). При нагреве от тока перегрузки шарик плавится и растворяет в себе металл вставки, что приводит в конечном счете к изменению сечения вставки и ее расплавлению в этом месте. Металлургический эффект способствует заметному снижению времени перегорания вставок при небольших токах перегрузки. К достоинствам цинковых вставок следует отнести помимо невысокой температуры плавления (419 °С) и неизменность их сечения при эксплуатации.

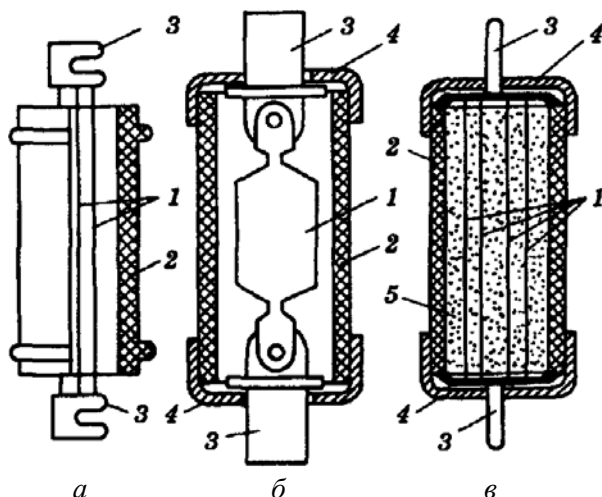
Выпускаемые в настоящее время высоковольтные предохранители с кварцевым наполнителем предназначены для защиты электрических цепей переменного тока (серии ПКТ) и трансформаторов напряжения (серии ПКН) на номинальное напряжение от 3 до 35 кВ. Предохранители серий ПКЭ предназначены для защиты силовых электрических цепей переменного тока и трансформаторов напряжения на номинальное напряжение 6 кВ и комплектных распределительных устройств экскаваторов и передвижных автоэлектростанций.

В условном обозначении предохранителя после обозначения серии первая цифра показывает номинальное напряжение (кВ), вторая и третья – пределы значения номинального тока патрона предохранителя (А), последняя цифра – номинальный ток отключения (кА).

Для наружной установки выпускаются предохранители выхлопного типа ПВТ. В этом предохранителе при перегорании плавкой вставки контактный нож освобождается и, откидываясь под действием своей пружины, тянет гибкую связь. В результате этого на месте перегоревшей плавкой вставки возникает дуга. Под действием дуги стенки винипластовых трубок выделяют газ, повышающий давление в трубке и создающий продольно-поперечное дутье. Гибкая связь под действием пружины и выделяющихся газов выбрасывается из патрона. После отключения между ножом и концом трубки образуется воздушный промежуток, обеспечивающий надежную изоляцию в месте разрыва.

Предохранители серии ПН2 с песчаным наполнителем выпускаются на номинальные токи от 40 до 1000 А и обладают высокой отключающей способностью – от 10 (при номинальном токе 1000 А) до 100 кА (при номинальном токе 40 А). Предохранители приме-

няются для защиты промышленного электрооборудования в сетях напряжением 500 В переменного и 440 В постоянного тока. Также в низковольтных сетях применяются разборные предохранители типа ПР-2. Некоторые разновидности предохранителей представлены на рисунке 2.1.



а – с открытой фарфоровой трубкой; *б* – разборный; *в* – с наполнителем:
 1 – плавкие вставки; 2 – изолирующая трубка; 3 – выводные детали;
 4 – колпачки; 5 – наполнитель

Рисунок 2.1 – Некоторые разновидности предохранителей

Основными параметрами предохранителей являются:

а) $I_{\text{ном.патр}}$ – номинальный ток патрона – максимальный ток, при котором токоведущие и контактные части нагреваются не выше допустимой температуры;

б) $I_{\text{ном.вст}}$ – номинальный ток вставки – длительный рабочий ток, при котором плавкая вставка не должна перегорать;

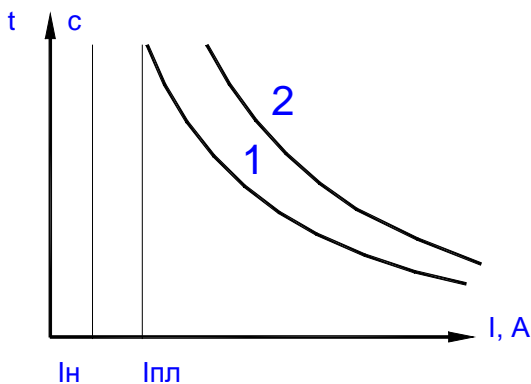
в) $I_{\text{ном.откл}}$ – предельный ток отключения предохранителя.

Полное время отключения цепи предохранителем складывается из времени нагрева вставки до плавления, времени перехода из твердого состояния в жидкое (плавление) и времени горения (гашения дуги):

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{нагр}} + t_{\text{пл}} + t_{\text{дуги}},$$

Зависимость полного времени отключения цепи плавким предохранителем от тока называют *времятоковой характеристикой*, или *защитной характеристикой*.

Предохранитель будет защищать объект лишь в том случае, если его защитная характеристика располагается несколько ниже защитной характеристики защищаемого объекта при любом значении тока в цепи (рисунок 2.2).



1 – характеристика предохранителя; 2 – характеристика объекта
Рисунок 2.2 – Времятоковые характеристики предохранителя

Крутизна защитной характеристики предохранителя определяет быстрдействие срабатывания предохранителя, а следовательно, надежность защиты.

Величина тока, при котором вставка предохранителя не перегорает в течение длительного времени, называют *пограничным током*.

Номинальный ток плавкой вставки должен быть меньше пограничного.

Для обычных предохранителей отключение 5–10-кратного тока происходит примерно за время 0,5–0,1 с, а 1,5–2-кратного тока – за 20–50 с.

Для цепей, требующих большего быстрдействия защиты, созданы специальные быстрдействующие предохранители (серия ПНБ), которые отключают 5–10-кратный ток за время не более 0,01 с, а 1,5–2-кратный ток – за 10 с.

В некоторых случаях требуется повышенная инерционность срабатывания предохранителя, например для защиты асинхронных двигателей с прямым пуском. Для таких цепей имеются специальные инерционные предохранители с двумя различными плавкими вставками, что обуславливает двухступенчатый вид защитной характеристики с различной крутизной.

Каждый тип предохранителя изготавливают на определенный номинальный наибольший ток, а плавкие вставки к нему делают на несколько значений номинального тока. Так, например, предохранитель на номинальный ток 60 А снабжают плавкими вставками на токи 15, 20, 25, 35, 45 и 60 А.

Выбор предохранителя производится по условиям:

$$U_{\text{ном.пр}} \geq U_{\text{с}};$$

$$I_{\text{ном.пр}} \geq I_{\text{р.мах}};$$

$$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{к.мах}},$$

где $U_{\text{ном.пр}}$ – номинальное напряжение предохранителя;

$U_{\text{с}}$ – номинальное напряжение сети;

$I_{\text{к.мах}}$ – максимальный ток короткого замыкания сети;

$I_{\text{р.мах}}$ – максимальный рабочий ток сети.

Плавкую вставку для инерционных предохранителей выбирают по длительно допустимому току линии

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{р.мах}},$$

где $I_{\text{ном.вст}}$ – номинальный ток вставки.

Для безынерционных предохранителей с учетом следующих условий:

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{р.мах}};$$

$$I_{\text{ном.вст}} = I_{\text{пуск}} / \alpha,$$

где $I_{\text{пуск}}$ – наибольший пусковой ток двигателя (принимается в расчетах по заводским данным);

α – коэффициент, зависящий от условий пуска (при нормальных условиях пуска разгон длится не более 10 с $\alpha = 2,5$, при тяжелых – до 40 с $\alpha = 1,6-2$).

Для цепей и присоединений, питающих m токоприемников, первое условие для выбора безынерционной плавкой вставки запишется в следующем виде:

первое условие

$$I_{\text{п.в.}} \geq k_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=m} I_{\text{раб.}i},$$

второе условие – суммой

$$I_{\text{п.в.}} \geq k_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=m-1} I_{\text{раб.}i} + \frac{I_{\text{п.в.}}^{\text{max}}}{\alpha},$$

где $I_{\text{п.в.}}^{\text{max}}$ – наибольшее значение пускового тока двигателя из группы m двигателей;

$\sum_{i=1}^{i=m-1} I_{\text{раб.}i}$ – сумма рабочих токов всех двигателей без одного,

имеющего наибольший пусковой ток.

Проверка по условиям короткого замыкания:

$$I_{\text{к.з}}^{(1)} / I_{\text{ном.вст}} = 3-4,$$

где $I_{\text{к.з}}^{(1)}$ – ток однофазного короткого замыкания.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения и конструкции низковольтных предохранителей по имеющимся образцам, плакатам и справочной литературе.

2. Снять времятоковую характеристику медной круглой вставки для различных сечений вставок.

Для снятия данной характеристики необходимо собрать схему рисунк 2.3.

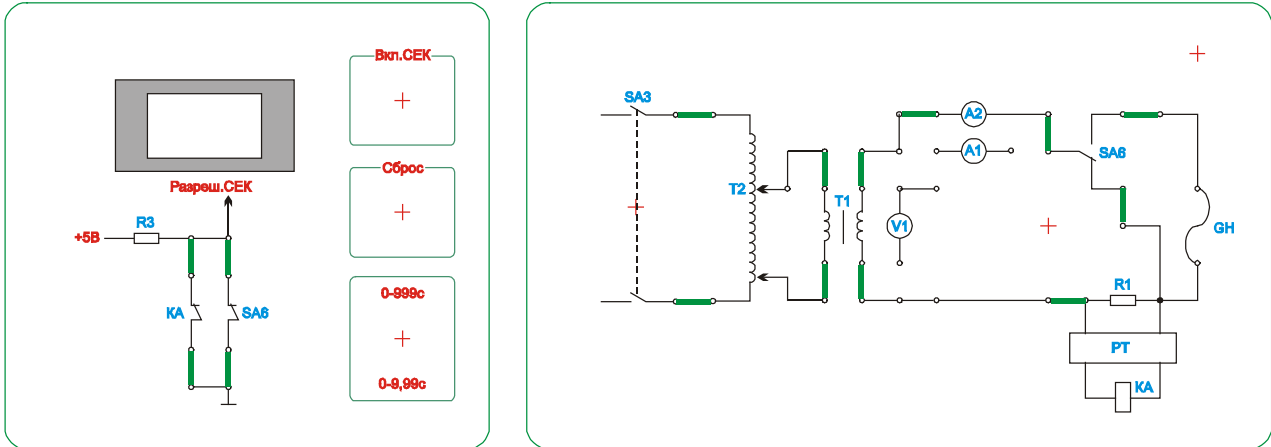


Рисунок 2.3 – Схема установки для исследования плавких вставок предохранителя

В держатель предохранителя установить плавкую вставку на 0,5–1,0 А (при отсутствии последних рекомендуется напаивать отрезки одножильного медного провода необходимого сечения на неисправную плавкую вставку). Включить секундомер тумблером «Вкл. СЕК». При ненулевых показаниях секундомера произвести сброс одноименной кнопкой. Тумблер SA6 должен находиться в нижнем положении, при котором ток нагрузки через предохранитель не протекает. Включить тумблером ЛАТР и постепенно увеличивая напряжение, подаваемое на понижающий трансформатор Т1, установить необходимую величину тока. Зафиксировать показания приборов. Затем тумблером SA6 переключить цепь на исследуемый предохранитель ГН. Секундомер начнет отсчет и остановится при перегорании нити предохранителя. Записать показания секундомера и затем обнулить индикаторы кнопкой «Сброс». Повторить опыт при различных величинах тока. Данные занести в таблицу.

Результаты измерений

Ток нагрузки I_n , А							
Показание секундомера t , с							

3. По данным опыта п. 2 построить в одном масштабе времятоковые характеристики, сравнить их и сделать выводы.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема установки для исследования плавких вставок предохранителя.
4. Результаты измерений.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение предохранителей.
2. Требования к материалу для плавких вставок.

3. Назначение металлургического эффекта в предохранителях.
4. Особенности работы предохранителя при «пограничном» токе.
5. Основные параметры предохранителей.
6. Схема включения предохранителей в защищаемую цепь.
7. Устройство и работа фибрового предохранителя типа ПР-2.
8. Устройство и работа кварцевых предохранителей типов ПН-2 и ПК-10.
9. Устройство и работа стреляющего предохранителя типа ПС-35МУ1 или ПСН-35.
10. Устройство и работа серийного управляемого предохранителя (стреляющего) на 35 кВ типа УПС-35У1.
11. Причины возникновения перенапряжений в кварцевых предохранителях, например типа ПК-10, и работа с ними.
12. Токоограничивающий эффект кварцевых предохранителей и его технико-экономическая эффективность.
13. Безынерционные и инерционные плавкие вставки. Их достоинства и недостатки.
14. Выбор предохранителей для защиты трансформаторов.
15. Выбор предохранителей для защиты двигателей.
16. Выбор предохранителей для защиты магистральных линий промышленных предприятий.
17. Выбор предохранителей для защиты электропроводки в жилых домах, общественных зданиях и во взрыво- и пожароопасных помещениях.
18. «Металлургический эффект», его физическая сущность, область применения.
19. Причины, по которым кварцевый предохранитель на 10 кВ типа БК-10 нельзя использовать вместо такого же предохранителя типа ПК-6 в сетях 6 кВ.
20. Причины выполнения плавких вставок в предохранителях ПК-6 и ПК-10 в виде спирали.
21. Времятоковые характеристики предохранителей и зоны их разброса.
22. Выбор предохранителей с учетом зон разброса их времятоковых характеристик.

Литература

1. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие для вузов / Б.И. Кудрин, В.В. Прокопчик. – Минск: Высшэйшая школа, 1988. – 357 с.
2. Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие для вузов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

ИСПЫТАНИЕ КОНТУРА ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Цель работы: изучить методику расчета заземлителя; измерить сопротивление заземлителя.

Краткие теоретические сведения

Заземление – это преднамеренное электрическое соединение металлических частей электроустановки с заземляющим устройством. При этом под *заземляющим устройством* понимается совокупность заземления и заземляющих проводов.

Заземлители представляют собой металлический проводник или группу проводников, находящихся в соприкосновении с землей.

Различают защитное и рабочее заземление, естественные и искусственные заземлители.

Под *рабочим заземлением* понимается заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки.

Защитное заземление частей электроустановки применяется с целью обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала.

К *естественным заземлителям* относятся железобетонные фундаменты зданий, опор, отдельно стоящих молниеотводов.

Расчет заземления по существу сводится к расчету заземлителя, т. к. заземляющие проводники принимаются по ПУЭ с учетом механической прочности и стойкости к коррозии: из меди – сечением не менее 4 мм^2 , из алюминия – сечением не менее 6 мм^2 , из стали – диаметром 5 мм, если заземляющие проводники прокладываются в здании, вне зданий – диаметром 6 мм, в земле – диаметром 10 мм.

Расчет защитного заземлителя производится в следующем порядке.

1. В соответствии с ПУЭ устанавливают допустимое сопротивление заземлителя R_z , которое в любое время года должно быть: для ВЛ – 0,4 кВ – $R_z \leq 30 \text{ Ом}$; для ВЛ – 10 кВ – $R_z \leq 10 \text{ Ом}$; для ТП – 10/0,4 кВ – $R_z \leq 4 \text{ Ом}$; для п/ст – 110 кВ – $R_z \leq 0,5 \text{ Ом}$. Причем, если заземлитель является общим для установок на различное на-

пряжение, то за расчетное сопротивление заземлителя принимают наименьшее из допустимых.

2. Предварительно намечается расположение заземлителей: в ряд, по контуру и т. п. Задаются геометрией стержней и расстоянием между стержнями. Для искусственных заземлителей принимается сталь.

В соответствии с ПУЭ наименьшие размеры стальных заземлителей допускается принимать следующими:

- диаметр круглых (прутковых) заземлителей, мм: неоцинкованных – 10, оцинкованных – 6;
- сечение прямоугольных заземлителей – 48 мм²;
- толщина прямоугольных заземлителей – 4 мм;
- толщина полок угловой стали – 4 мм.

3. Определяется сопротивление искусственного заземлителя $R_{и}$.

В электроустановках выше 1 кВ с изолированной нейтралью сопротивление $R_{и}$ при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года должно быть не более:

при использовании заземляющего устройства (ЗУ) одновременно для электроустановок напряжением до 1 кВ

$$R_{\text{з}} = 125 \cdot I_{\text{дз}}^{-1} \leq R_{\text{з}}$$

где $I_{\text{рз}}$ – расчетный ток замыкания на землю, А;

при использовании ЗУ только для электроустановок выше 1 кВ

$$R_{\text{з}} = 250 \cdot I_{\text{дз}}^{-1} \leq R_{\text{з}}$$

В электроустановках напряжением выше 1 кВ с глухозаземленной нейтралью сопротивление $R_{и}$ принимается равным допустимому $R_{\text{з}}$.

При наличии естественных заземлителей с сопротивлением $R_{\text{е}}$ искусственное сопротивление находится по формуле

$$R_{\text{з}} = \frac{R_{\text{а}} \cdot R_{\text{е}}}{R_{\text{а}} + R_{\text{е}}}$$

4. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтальных $\rho_{\text{гг}}$ и вертикальных $\rho_{\text{вв}}$ заземлителей:

$$\rho_{\delta\bar{a}} = \rho_{\delta} \cdot k_{i\bar{a}};$$

$$\rho_{\delta\hat{a}} = \rho_{\delta} \cdot k_{i\hat{a}},$$

где ρ_y – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$k_{пг}$, $k_{пв}$ – табличные повышающие коэффициенты для горизонтальных и вертикальных электродов, которые зависят от климатической зоны (для климатической зоны 3 $k_{пг} = 2$ и $k_{пв} = 1,4$).

5. Определяется сопротивление растеканию тока одного вертикального электрода $R_{овз}$. При электроде из стали круглого профиля и зарытого в землю

$$R_{i\hat{a}y} = \frac{\rho_{\delta\hat{a}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\hat{a}} \cdot k_{e\hat{a}}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\hat{a}}}{d_{\hat{a}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right),$$

где d_b – диаметр одного вертикального электрода длиной l_b , м;

t – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м;

$k_{ив}$ – табличный коэффициент использования вертикального электрода (зависит от конструкции заземлителя и расположения электродов).

6. Определяется ориентировочное число вертикальных электродов N при предварительно принятом коэффициенте использования $k_{ив}$ и длине полосы горизонтального электрода l :

$$N = R_{i\hat{a}y} \cdot R_{e}^{-1},$$

$$l_r = N \cdot l,$$

где l – расстояние между вертикальными электродами, м.

7. Определяется сопротивление растеканию тока одного горизонтального электрода для круглого профиля диаметром d_r :

$$R_{\delta\bar{a}y} = \frac{\rho_{\delta\bar{a}}}{k_{e\bar{a}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot l_{\bar{a}}} \cdot \ln \left(\frac{l_{\bar{a}}^2}{d_{\bar{a}} \cdot t_{\bar{a}}} \right),$$

где t_r – глубина заложения горизонтального электрода, м;

b – ширина полосы длиной l_r , м;

$k_{ит}$ – табличный коэффициент использования горизонтального электрода (определяется числом вертикальных электродов N).

8. Уточняется необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом проводимости горизонтальных соединительных электродов

$$R_{\hat{a}\hat{y}} = \frac{R_{\delta\hat{a}\hat{y}} \cdot R_{\hat{e}}}{R_{\delta\hat{a}\hat{y}} - R_{\hat{e}}}.$$

9. Определяется число вертикальных электродов с учетом уточненного сопротивления $R_{вэ}$ по формуле

$$N = R_{оэз} \cdot R_{вэ}^{-1}$$

с последующим округлением числа N до целого числа.

10. Принимается окончательное число вертикальных электродов из условия их размещения с последующим уточнением длины полосы горизонтального электрода l_r .

Существует ряд способов измерения сопротивления защитного заземления. Наиболее простым, удобным и достаточно точным является метод амперметра-вольтметра. Сущность его состоит в следующем. Измеряется ток I_x , проходящий через заземляющее устройство, и напряжение по отношению к достаточно удаленной точке земной поверхности – зонду (рисунок 3.1).

Вспомогательный заземлитель B и зонд $З$ устанавливаются на таком расстоянии друг от друга и от испытуемого защитного заземления R_x , чтобы их поля растекания не накладывались. Измеряемый ток I_x проходит через испытуемое защитное заземление R_x (заземлитель). Падение напряжения на этом защитном заземлении измеряется вольтметром V .

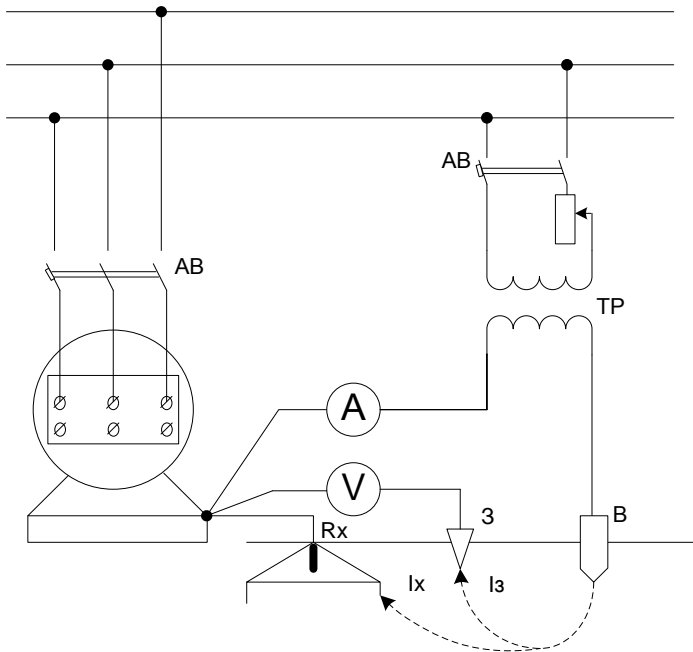


Рисунок 3.1 – Схема измерения сопротивления заземления

Порядок выполнения работы

По заданию преподавателя студенты рассчитывают заземлитель. При этом учитывается тип грунта и материал, из которого изготовлены заземлители. Расчетное сопротивление заземлителя должно соответствовать требованиям ПУЭ.

Испытание заземляющего устройства производится с помощью омметра на примере заземления стенда в лабораторных условиях.

Произвести осмотр технического состояния заземляющего устройства стенда:

- а) произвести внешний осмотр;
- б) проверку наличия цепи между корпусом стенда и контуром заземления лаборатории;
- в) измерить сопротивление заземляющего устройства (от корпуса стенда до шины заземления на силовом щите лаборатории);

г) сделать заключение о соответствии заземляющего устройства нормам ПУЭ;

д) рассчитать заземление для КТП-10/0,4 кВ.

Расчетное задание

Рассчитать заземление для КТП-10/0,4 кВ, установленного в сельской местности при отсутствии естественных заземлителей (климатическая зона 3). В качестве вертикальных электродов искусственных заземлителей принять стальные стержни диаметром $d_{\text{в}} = 10$ мм и длиной $l_{\text{в}} = 3$ м. Электроды заземления погружаются в грунт через каждые $l = 3$ м методом ввертывания. К верхним концам вертикальных электродов приваривается горизонтальный электрод из стальной полосы шириной $b = 40$ мм. Коэффициент использования вертикальных электродов $k_{\text{ив}}$ принять равным 0,42, а для горизонтальных – $k_{\text{гг}} = 0,27$. Наибольший ток замыкания на землю $I_{\text{рз}}$ электрической сети 10 кВ, а также глубина прокладки стальной полосы $t_{\text{г}}$, удельные сопротивления земли $\rho_{\text{рв}}$ и $\rho_{\text{рг}}$ соответственно для вертикальных электродов и горизонтальных приведены в таблице. Вариант задания задается преподавателем в соответствии с таблицей. При этом первая цифра варианта указывает на величину тока $I_{\text{рз}}$, вторая – на глубину прокладки стальной полосы $t_{\text{г}}$, третья и четвертая цифры – соответственно на удельное сопротивление грунта для вертикального $\rho_{\text{рв}}$ и горизонтального $\rho_{\text{рг}}$ электродов. При расчете заземления следует учесть, что допустимое сопротивление $R_{\text{з}}$ для электрической сети напряжением до 1 кВ не должно превышать 4 Ом, а для сети напряжением выше 1 кВ и с изолированной нейтралью трансформаторов – не более 10 Ом. Результаты расчета представить рисунком, располагая заземлители по периметру площадки КТП.

Исходные данные

Цифра варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{\text{рз}}$, А	12	15	17	20	24	27	30	35	22
$t_{\text{г}}$, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,95	0,85	0,75
ρ , Ом·м	100	150	200	250	300	350	400	450	500

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
2. Схема измерения сопротивления заземления.
3. Результаты измерений.
4. Расчетное задание.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы измерения сопротивления заземлителя? Нарисовать электрическую схему одного из них.
2. Для чего проводят измерение сопротивления петли фаза «нуль»?
3. На каком принципе основаны защитные функции заземления?
4. Чем обусловлен способ рабочего заземления нейтралей генераторов и трансформаторов?
5. В чем состоят особенности электрической сети напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью?
6. Назовите достоинства и недостатки сети напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью.

Литература

1. Короткевич, М.А. Эксплуатация электрических сетей: учебник / М.А. Короткевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 364 с.: ил.
2. Гук, Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций: учебное пособие для вузов / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.: ил.

ИСПЫТАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОСЛЕ РЕМОНТА

Цель работы: изучить назначение и устройство трансформатора; изучить методику испытания трансформатора.

Краткие теоретические сведения

Трансформатор – это устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной системы переменного тока в другую (с другим значением номинального напряжения). Область применения трансформаторов очень широка, чем и объясняется их конструктивное разнообразие и большой диапазон мощностей.

Трансформатор состоит из магнитопровода, на котором размещен каркас с навитыми на него обмотками (две и более). Обмотка, на которую подают напряжение питания называется первичной. Остальные обмотки, с которых снимается преобразованное напряжение называются вторичными.

Магнитопровод трансформаторов изготавливается из стальных листов, изолированных друг от друга лаковой изоляцией или оксидными пленками. Это позволяет понизить потери мощности от вихревых токов, вызывающих нагрев магнитопровода.

По конфигурации магнитопровода трансформаторы подразделяют на стержневые и броневые. В *стержневых трансформаторах* обмотки размещены на стержнях магнитопровода и охватывают его. В *броневых трансформаторах* магнитопровод охватывает обмотки, как бы «бронирует» их. Горизонтальные части магнитопровода, неохваченные обмотками, называют нижним и верхним ярмом.

Трансформаторы большой и средней мощности обычно изготавливают стержневыми, так как они проще по конструкции и имеют лучшие условия охлаждения обмоток.

Броневые магнитопроводы используются в маломощных трансформаторах.

Первичную обмотку располагают как можно ближе к магнитопроводу для повышения его КПД, а вторичные обмотки через изо-

ляционную пропитанную бумагу (для исключения вероятности электрического контакта первичной обмотки со вторичными цепями) вплотную к первичной для улучшения магнитной связи между ними.

По способу охлаждения трансформаторы делятся на сухие и масляные. *Сухие трансформаторы* имеют естественное воздушное охлаждение, которое может быть использовано только для трансформаторов малой мощности. При увеличении мощности увеличивается интенсивность тепловыделения и нагрев обмоток. Чтобы обеспечить допустимую для изоляции температуру нагрева, применяют более интенсивные способы отвода тепла. Для этого магнитопровод с обмотками помещают в специальный бак, заполненный трансформаторным маслом. Масло является одновременно и изолятором, и теплоносителем, т. е. изолирующей и охлаждающей средой. Интенсивность охлаждения обеспечивается за счет большей по сравнению с воздухом теплопроводности. Это пример естественного масляного охлаждения. В трансформаторах большой мощности масло принудительно охлаждают. Такие системы называют *системами с принудительным масляным охлаждением*. Для масляных трансформаторов характерно применение расширителей (они обеспечивают отвод излишков масла в свободную полость, ограничивающую его взаимодействие с влажным атмосферным воздухом), вызванное зависимостью объема масла от температуры, т. е. от величины нагрузки трансформатора.

В процессе эксплуатации трансформаторы требуют периодического обслуживания. Для сухих трансформаторов ввиду простоты их конструкции обслуживание заключается в удалении пыли с клеммных колодок и проверке состояния контактов. Обязательным является проверка сопротивления изоляции обмоток между ними и каждой обмоткой и корпусом, так как изоляция обмоток трансформаторов относительно легко подвергается изменениям под влиянием температуры, влажности, загрязнения и т. д. Происходит старение изоляции, что отрицательно влияет на ее качество, электрическую прочность. По этой причине контроль за качеством должен быть периодическим.

Согласно ПУЭ измерение сопротивления изоляции силовых и осветительных электроустановок, работающих при номинальном напряжении 127–660 В, производят мегомметром с напряжением 1000 В. Допустимые нормы сопротивления изоляции трансформа-

торов указывают в ТУ или ГОСТ. Для электрических машин напряжением до 1000 В сопротивление изоляции обмоток должно составлять не менее 0,5 МОм. Его измеряют между отдельными обмотками, а также между каждой обмоткой и корпусом электрической машины.

Трансформаторы, прошедшие ремонт, должны быть подвергнуты тщательной проверке на сопротивление изоляции и соответствие паспортным данным. Замер сопротивления изоляции проводится при отключенных первичных и вторичных цепях, а проверка рабочих параметров исследуется в опытах холостого хода и при работе под нагрузкой.

Порядок выполнения работы

В работе исследуется однофазный силовой трансформатор Т2. При выключенном стенде с помощью измерительных приборов производится замер сопротивлений обмоток трансформатора и сопротивление изоляции этих обмоток. Эти значения сравниваются с паспортными данными, собирается схема-рисунок 4.1 и включается трансформатор. На холостом ходу и при номинальной нагрузке определяются напряжения и токи в первичной и вторичной обмотках и сравниваются с паспортными данными. При необходимости строится нагрузочная характеристика трансформатора.

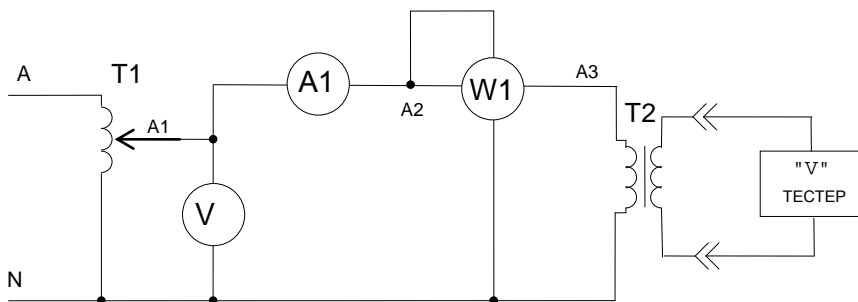


Рисунок 4.1 – Исследование трансформатора на холостом ходу

Схему-рисунок 4.1 собрать по монтажной схеме рисунка 4.4. Проверить правильность монтажа при помощи тестера. Перед подключением стенда к сети вывести регулятор ЛАТР в положение, соответ-

ствующее минимальному выходному напряжению. Запитать стенд и плавно увеличивая напряжение на выходе ЛАТР установить его величину, соответствующую номинальному. Снять показания приборов.

Схему-рисунок 4.2 работы трансформатора под нагрузкой (1-я обмотка) собрать по монтажной схеме рисунка 4.5. Проверить правильность монтажа при помощи тестера. Перед подключением стенда к сети вывести регулятор ЛАТР в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению. Запитать стенд и плавно увеличивая напряжение на выходе ЛАТР установить его величину, соответствующую номинальному. Снять показания приборов.

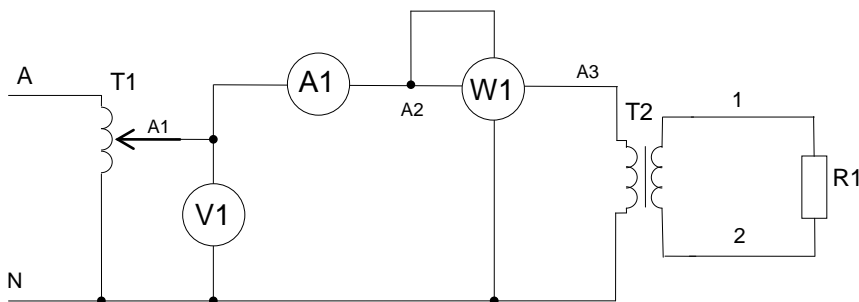


Рисунок 4.2 – Исследование трансформатора под нагрузкой (1-я обмотка)

Схему-рисунок 4.3 работы трансформатора под нагрузкой (2-я обмотка) собрать по монтажной схеме рисунка 4.6.

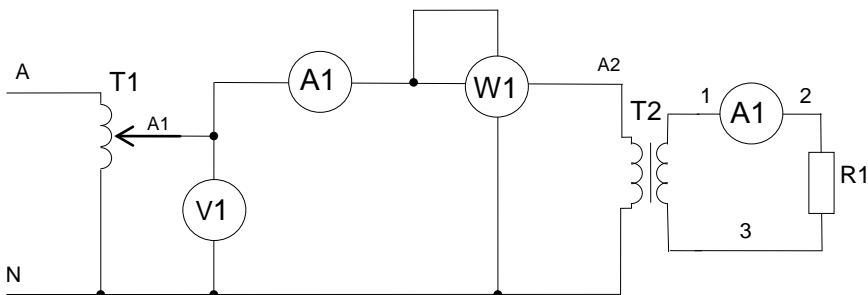


Рисунок 4.3 – Исследование трансформатора под нагрузкой (2-я обмотка)

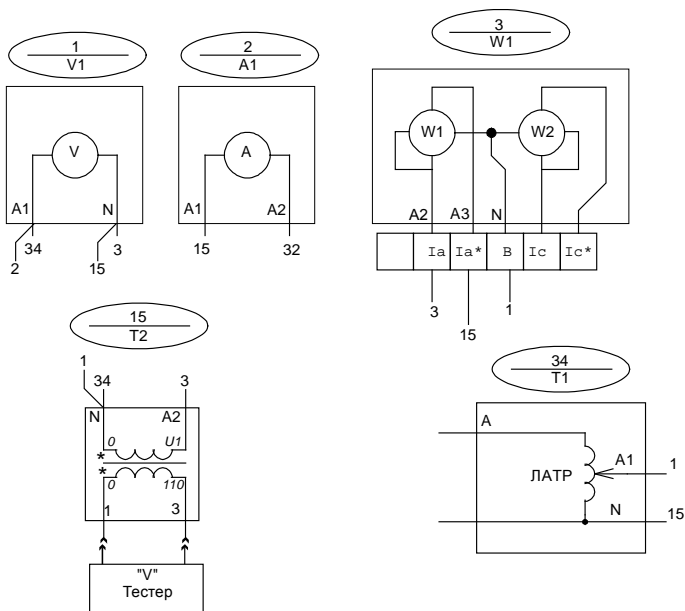


Рисунок 4.4 – Монтажная схема исследования трансформатора на холостом ходу

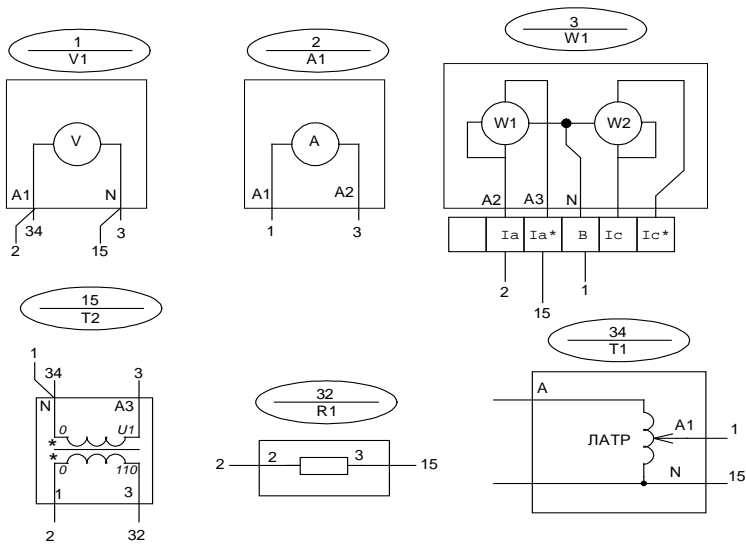


Рисунок 4.5 – Монтажная схема исследования трансформатора под нагрузкой (1-я обмотка)

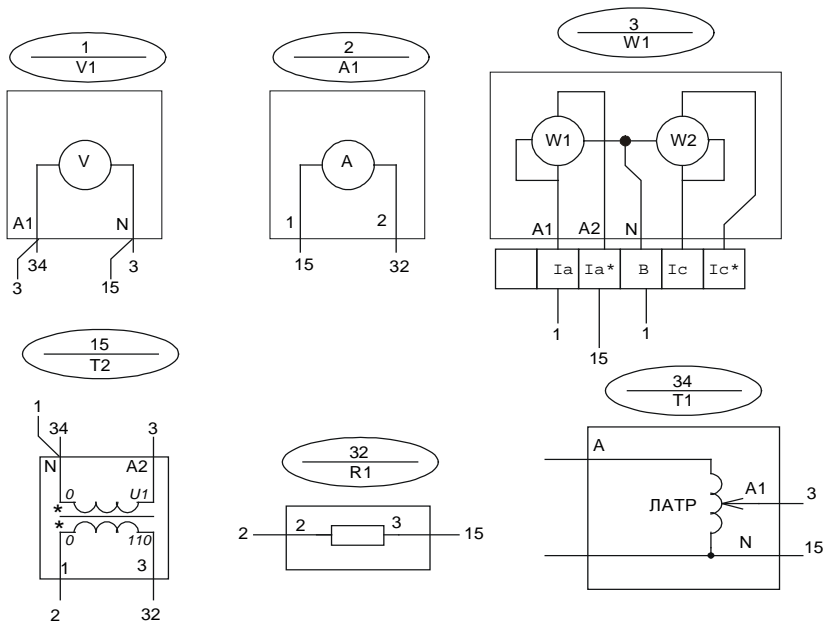


Рисунок 4.6 – Монтажная схема исследования трансформатора под нагрузкой (2-я обмотка)

Проверить правильность монтажа при помощи тестера. Перед подключением стенда к сети вывести регулятор ЛАТР в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению. Запитать стенд и плавно увеличивая напряжение на выходе ЛАТР установить его величину, соответствующую номинальному. Снять показания приборов. Данные занести в таблицу.

Результаты измерений

Режим работы	U_n , В	I , А	P , Вт
Холостой ход			
Нагрузка (1-я обмотка)			
Нагрузка (2-я обмотка)			

Сделать заключение об исправности трансформатора после ремонта на основании соответствия его параметров паспортным данным.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
2. Схемы испытания трансформатора.
3. Результаты измерений.
4. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры трансформатора подлежат проверке после ремонта?
2. В каких режимах следует проверять трансформатор?
3. Пояснить устройство магнитопроводов электрических машин и аппаратов.
4. Чем опасно нарушение изоляции между стальными пластинами магнитопровода?
5. Чем опасно нарушение изоляции между отдельными витками одной из обмоток трансформатора.
6. Какие неисправности можно выявить при проведении опыта по измерению потерь мощности холостого хода? К чему могут привести такие неисправности?
7. Что можно обнаружить при измерении сопротивления обмоток постоянному току? Почему опыт по измерению потерь мощности холостого хода выполняется до испытаний по измерению сопротивления обмоток постоянному току?
8. Что понимается под коэффициентом трансформации трансформатора?

Литература

1. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – М.: Энергия, 1978. – С. 310–316.
2. Костенко, М.П. Электрические машины: в 2 ч. / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – Л.: Энергия, 1972. – Ч. 1: Машины постоянного тока. Трансформаторы. – С. 452–461.
3. Гук, Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций: учебное пособие для вузов / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.: ил.

ИСПЫТАНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Цель работы: изучить влияние конденсаторов на коэффициент мощности электрической цепи; изучить методику расчета коэффициента мощности.

Краткие теоретические сведения

Прохождение реактивной мощности, пульсирующей между источниками питания и электроприемниками, сопровождается увеличением тока. Это вызывает дополнительные затраты на увеличение сечений проводников сетей и мощностей трансформаторов, создает дополнительные потери электроэнергии. Кроме того увеличиваются потери напряжения за счет реактивной составляющей, пропорциональной реактивной нагрузке и индуктивному сопротивлению, что понижает качество электроэнергии по напряжению.

Вследствие этого важное значение имеет компенсация реактивных нагрузок и повышение коэффициента мощности в системах электроснабжения промпредприятий. Под *компенсацией* имеется ввиду установка местных источников реактивной мощности, благодаря которым повышается пропускная способность сетей и трансформаторов, а также уменьшаются потери электроэнергии.

Для сохранения нормального напряжения при максимальной нагрузке необходимо соблюдение баланса реактивных мощностей, который достигается за счет мероприятий, снижающих потребление реактивной мощности предприятиями от энергосистемы.

Эти мероприятия разбиваются на мероприятия, не требующие специальных компенсирующих устройств и целесообразные во всех случаях и требующие установки специальных компенсирующих устройств для выработки реактивной мощности.

Наибольшее распространение в промпредприятиях получили конденсаторы. Мощность конденсатора пропорциональна квадрату напряжения, что следует учитывать при расчетах уровней напряжения сети:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U^2,$$

где f – частота электрической сети;

C – емкость конденсатора;

U – напряжение сети, кВ.

Конденсаторы включаются в сеть параллельно электроприемникам, вследствие чего такая компенсация носит название поперечной (параллельной) в отличие от продольной, при которой конденсаторы включаются в сеть последовательно.

Возможна также индивидуальная компенсация, когда конденсаторы наглухо подключаются к обмоткам отдельных электродвигателей или трансформаторов и коммутируются вместе с ними. Она может применяться для электроприводов, работающих в длительном режиме. Мощность конденсаторов в этом случае выбирается по реактивной мощности холостого хода.

Наряду с большими достоинствами (статические устройства, малые потери) конденсаторы имеют следующие недостатки: зависимость мощности от квадрата напряжения, что снижает устойчивость, а при особо неблагоприятных условиях может привести к лавине напряжения; сложность регулирования мощности; большие размеры при больших батареях; перегрев при повышении напряжения и наличии в сети высших гармоник, ведущих к выходу конденсатора из строя.

Порядок выполнения работы

1. Подготовка лабораторной установки к работе:

а) собрать электрическую схему согласно рисунку 5.1 для исследования повышения коэффициента мощности с использованием батареи конденсаторов (схема индивидуальной компенсации мощности); в качестве активно-индуктивной нагрузки используется асинхронный электродвигатель М1; подключение батареи конденсаторов производится выключателем SA1; ваттметр W1, W2 индицирует активную трехфазную мощность, потребляемую электродвигателем;

б) проверить с помощью тестера правильность сборки схемы;

в) после проверки преподавателем подать напряжение на стенд и включить автомат QF1.

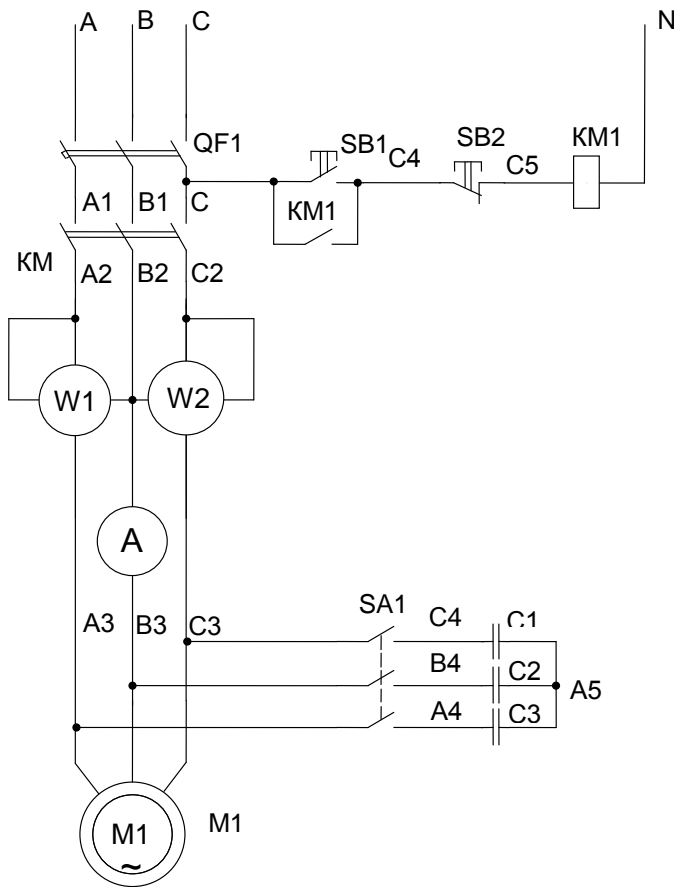


Рисунок 5.1 – Схема соединений лабораторной установки

2. Снятие показателей без конденсатора:

- а) при выключенном выключателе SA1 (рычажок в среднем положении) произвести запуск двигателя M1 черной кнопкой кнопочного поста SB1;
- б) зафиксировать показания амперметра A1 и трехфазного ваттметра W1, W2;
- в) тестером измерить фазное напряжение;
- г) данные занести в таблицу 5.1.

3. Снятие показателей при включении конденсатора:
- не отключая двигателя подключить батарею конденсаторов С1–С3 выключателем SA1 (рычажок в нижнем положении);
 - зафиксировать показания амперметра А1 и трехфазного ваттметра W1, W2;
 - тестером измерить фазное напряжение;
 - данные занести в таблицу 5.1.
4. Отключение установки:
- отключить электродвигатель красной кнопкой кнопочного поста SB1;
 - отключить автомат QF1 и обесточить стенд.
5. Провести вычисления полной мощности и сравнить значения коэффициента мощности в опыте без батареи конденсаторов и с ней.
- Полная мощность

$$S = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} .$$

Коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} .$$

Таблица 5.1 – Результаты измерений

Опыт	U_{ϕ} , В	I_{ϕ} , А	P , Вт	S , В·А	$\cos\varphi$
Без конденсаторных батарей С1–С3					
С конденсаторными батареями С1–С3					

6. Для заданного преподавателем варианта (таблица 5.2) определить изменение потерь активной мощности в электрической сети (рисунок 5.2) и тангенса угла при установке батареи конденсаторов в узле нагрузки. Напряжение в точке питания равно $U_1 = 10,5$ кВ. Линия выполнена сечением 70 мм^2 ($r_0 = 0,413 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,366 \text{ Ом/км}$). На понижающей подстанции установлен трансформатор ТМ-1000/10 ($U_k = 5,5 \%$, $\Delta P_k = 12,2 \text{ кВт}$, $\Delta P_x = 2,1 \text{ кВт}$, $I_x = 2,8 \%$).

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчета

Вариант	Длина, км	P , МВт	Q , Мвар	$Q_{\text{кy}}$, Мвар
1	8	0,6	0,8	0,3
2	10	0,7	0,7	0,2
3	12	0,5	0,9	0,4
4	14	0,7	0,5	0,2
5	16	0,6	0,7	0,4
6	18	0,5	0,8	0,5

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Достоинства и недостатки конденсаторных батарей.
3. Схема соединений лабораторной установки.
4. Результаты измерений и вычислений.
5. Расчетное задание.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие виды компенсирующих устройств применяют в электрических сетях и системах электроснабжения?
2. Почему установка компенсирующих устройств позволяет регулировать напряжение, снижать потери мощности и электроэнергии?
3. Как учитываются конденсаторные батареи в схемах замещения электрических сетей?
4. В чем заключается отрицательный регулирующий эффект батареи?
5. Какие достоинства у конденсаторных батарей по сравнению с другими компенсирующими устройствами?
6. Какие недостатки у конденсаторных батарей по сравнению с другими компенсирующими устройствами?

Литература

Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин – Ростов н/Д: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – С. 170–175.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Цель работы: изучить аппараты защиты осветительной сети; исследовать основные характеристики автоматического выключателя АП-50Б.

Краткие теоретические сведения

В качестве аппаратов защиты в осветительных сетях широко применяются предохранители и автоматические выключатели различных типов. *Автоматический воздушный выключатель (автомат)* – аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей. Как правило, автоматические выключатели выполняют функции защиты при коротких замыканиях, перегрузках, снижении или исчезновении напряжения, изменения направления передачи мощности или тока и т. п. Независимо от назначения, автоматы состоят из следующих основных узлов, показанных на рисунке 6.1.

Контактная система автоматов должна находиться под током не отключаясь весьма длительное время и быть способной выключать большие токи короткого замыкания. Широкое распространение получили двухступенчатые (главные и дугогасительные) и трехступенчатые (главные, промежуточные и дугогасительные) контактные системы.

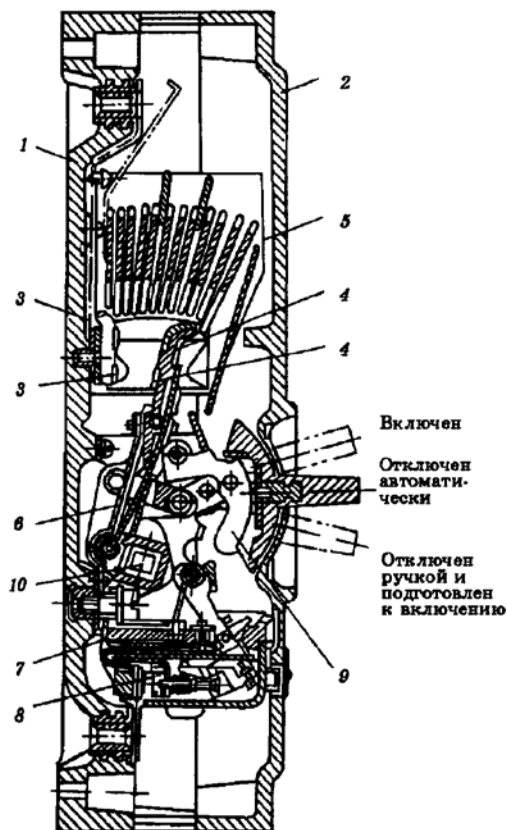
Дугогасительная система должна обеспечивать гашение дуги больших токов короткого замыкания в ограниченном объеме пространства. Задача дугогасительного устройства заключается в том, чтобы ограничить размеры дуги и обеспечить ее гашение в малом объеме. Распространение получили камеры с широкими щелями и камеры с дугогасительными решетками.

Привод в автомате служит для включения автомата по команде оператора. Отключение автоматов осуществляется отключающими пружинами.

Механизм свободного расцепления предназначен:

а) исключить возможность удерживания контактов автомата во включенном положении (рукояткой, дистанционным приводом) при наличии ненормального режима работы защищаемой цепи;

б) обеспечить моментальное отключение, т. е. не зависящую от операторов, рода и массы привода скорость расхождения контактов.



1 – основание; 2 – изолирующий кожух; 3, 4 – контактные накладки; 5 – дугогасительная решетка; 6 – гибкая токоведущая связь; 7, 8 – узлы расцепителей; 9 – механизм свободного расцепления; 10 – вал

Рисунок 6.1 – Схема автомата серии А3130

Механизм представляет собой систему шарнирно связанных рычагов, соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые связаны с отключающей пружиной. Механизм свободного расцепления позволяет автомату отключаться в любой момент времени, в том числе и в процессе включения, когда включающая сила воздействует на подвижную систему автомата.

При отключении автомата первыми размыкаются главные контакты и весь ток переходит в параллельную цепь дугогасительных

контактов с накладками из дугостойкого материала. На главных контактах дуга не должна возникать, чтобы они не обгорели. Дугогасительные контакты размыкаются, когда главные контакты расходятся на значительное расстояние. На них возникает электрическая дуга, которая выдувается вверх и гасится в дугогасительной камере.

Расцепители – элементы, контролирующие заданный параметр цепи и воздействующие через механизм свободного расцепления на отключение автомата при отклонении заданного параметра за установленные пределы.

В зависимости от выполняемых функций защиты расцепители бывают:

- а) токовые максимальные мгновенного или замедленного действия;
- б) напряжения – минимальное, для отключения автомата при снижении напряжения ниже определенного уровня;
- в) обратного тока – срабатывает при изменении направления тока;
- г) тепловые – работают в зависимости от величины тока и времени его протекания (применяются обычно для защиты от перегрузок);
- д) комбинированные – срабатывают при сочетании ряда факторов.

Блок-контакты служат для производства переключения в цепях управления блокировки, сигнализации в зависимости от коммутационного положения автомата.

Блок-контакты выполняются нормально открытыми (замыкающие) и нормально закрытыми (размыкающие).

Номинальный ток $I_{н.з}$, защищающего от перегрузки электромагнитного теплового или комбинированного расцепителя автоматов, выбирается по длительному расчетному току линии $I_{н.з} = I_{дл}$; ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя $I_{ср}$ определяется из соотношения:

$$I_{н\delta} = 1,25 \cdot I_{\delta\delta},$$

где $I_{ср}$ – максимальный кратковременный ток линии, который при отвлении к одиночному электродвигателю равен его пусковому току;

1,25 – коэффициент учитывает неточность в определении максимального кратковременного тока линии и разброс характеристик расцепителей.

Порядок выполнения работы

В данной работе производится исследование характеристики теплового расцепителя автомата АП-50Б (кроме защиты от перегрузок и токов короткого замыкания могут использоваться для пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, выпускаются в пластмассовом корпусе) QF1, ток уставки которого 1,6–2,5 А (см. маркировку самого аппарата, рисунок 6.2). Работа электромагнитного расцепителя ввиду больших токов срабатывания (16–25 А) не рассматривается.

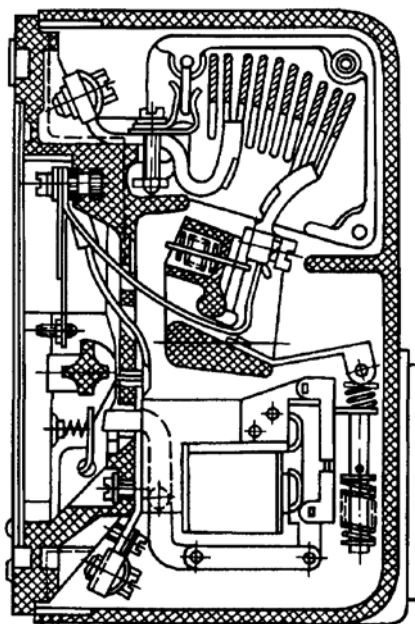


Рисунок 6.2 – Схема автомата АП-50Б

С разрешения преподавателя можно ознакомиться с устройством автоматического выключателя. Для этого при отсоединенном сетевом кабеле стенда нужно с помощью отвертки отвернуть два винта на крышке автомата и аккуратно снять ее, чтобы не выпали дугогасительные камеры. Ознакомиться с работой механизма и назначением узлов. Затем установить крышку на место.

Для выполнения работы собирается схема, представленная на рисунке 6.3. В качестве нагрузки используется катушка теплового расцепителя самого автомата.

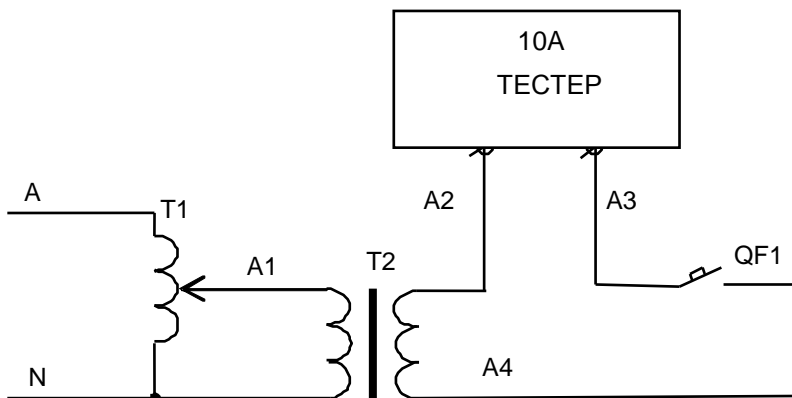


Рисунок 6.3 – Схема снятия характеристик срабатывания автоматического выключателя

Монтаж схемы осуществить по схеме монтажной (рисунок 6.4).

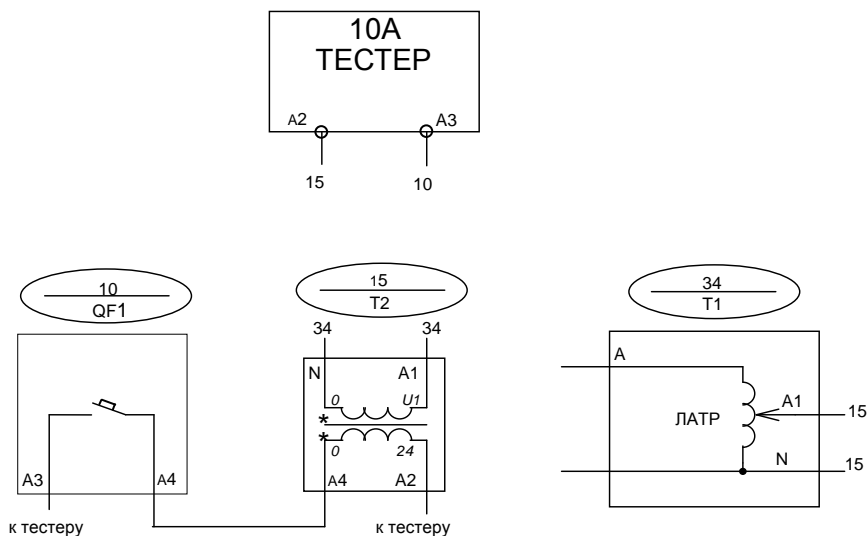


Рисунок 6.4 – Монтажная схема снятия характеристик срабатывания автоматического выключателя

Включается стенд и с помощью ЛАТР плавно от нулевого значения повышается напряжение до срабатывания автомата QF1. По тестеру, выставленному в положение измерения тока с пределом измерения 10 А, определяется ток срабатывания автомата.

Проверить с помощью тестера правильность сборки. Убедиться, что регулятор ЛАТР установлен в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению. После проверки преподавателем подать напряжение на стенд и включить автомат QF1. Плавно поворачивая регулятор ЛАТР увеличить ток через автомат QF1 до значения $1,3 \cdot I_n$. Засечь время срабатывания теплового расцепителя. Обесточить стенд и дать время остыть катушке теплового расцепителя (допускается для ускорения процесса охлаждения снять крышку автомата и при наличии возможности применения принудительного охлаждения). Повторить опыт при значениях тока нагрузки $1,5 \cdot I_n$, $1,7 \cdot I_n$. Данные занести в таблицу. Построить график $t = f(I_n)$.

Результаты измерения

I_n	$1,3I_n$	$1,4I_n$	$1,5I_n$	$1,6I_n$	$1,7I_n$
t, c					

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема соединений лабораторной установки.
4. Результаты измерений.
5. График $t = f(I_n)$.
6. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие аппараты применяют для защиты осветительной сети?
2. Конструкция и принцип работы предохранителя?
3. Конструкция и принцип работы автоматического выключателя.
4. В чем принципиальное отличие в работе предохранителя и автоматического выключателя?

5. Какие существуют виды расцепителей автоматических выключателей. Каково их назначение?

6. На чем основан принцип селективности в работе аппаратов защиты?

7. Какие условия выбора аппаратов защиты осветительной сети?

Литература

Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие для вузов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕ РЕМОНТА

Цель работы: изучить методику испытания электродвигателя после ремонта.

Краткие теоретические сведения

Электродвигатель постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением широко применяют в промышленности, транспортных, крановых и других установках для привода механизмов, где требуется широкое плавное регулирование частоты вращения. Одна и та же электрическая машина может работать как в режиме двигателя, так и в режиме генератора. Это свойство электрической машины называют обратимостью.

Обмотка якоря электродвигателя (выводы Я1 и Я2 на стенде) имеет малое сопротивление, и если подать напряжение на нее без подключения обмотки возбуждения (выводы М1 и М2 на стенде), то произойдет короткое замыкание. Прямой пуск двигателя вызывает резкий бросок тока и, следовательно, резкий рывок вала, что неблагоприятно воздействует на рабочие механизмы. Поэтому при пуске электродвигателей обычно применяют либо плавный пуск (в регулируемых приводах плавно увеличивается напряжение), либо ступенчатый (в цепи якоря с выдержками времени шунтируются добавочные резисторы).

В процессе эксплуатации электродвигателя постоянного тока его узлы изнашиваются и требуют периодического обслуживания и ремонта. Двигатели постоянного тока имеют коллектор, на котором происходит коммутация секций обмоток якоря под напряжением, что вызывает искрение при переходе щетки на соседнюю ламель. Работа в таких условиях вызывает быстрый износ щеток и поверхности ламелей коллектора. Поэтому периодически необходимо производить осмотр коллектора и проверку состояния щеток. Изношенные и поврежденные щетки необходимо немедленно менять, а загрязнение коллектора угольным налетом от щеток может стать причиной роста

тока потребления двигателем и, следовательно, скорейшего износа коллектора. Немаловажное значение имеет и состояние механических узлов двигателя: целостность подшипников, наличие и своевременная замена в них смазки, а также чистота и отсутствие окислов на зажимах выводов двигателя и подводимых к нему проводов.

Обязательна и проверка сопротивления изоляции двигателя во избежание поражения электрическим током обслуживающего персонала. Изоляция обмоток электрических машин и проводов относительно легко подвергается изменениям под влиянием температуры, влажности, загрязнения и т. д. Происходит старение изоляции, что отрицательно влияет на ее качество и электрическую прочность. По этой причине контроль за состоянием изоляции должен быть периодическим.

Согласно ПУЭ измерение сопротивления изоляции силовых и осветительных электроустановок, работающих при номинальном напряжении 127–660 В, производят мегомметром с напряжением 1000 В. Допустимые нормы сопротивления изоляции для электрических машин, проводов и кабелей указывают в ТУ или ГОСТ. Для электрических машин напряжением до 1000 В сопротивление изоляции обмоток должно составлять не менее 0,5 МОм. Его измеряют между отдельными обмотками, а также между каждой обмоткой и корпусом электрической машины.

Поэтому после ремонта двигатель подвергают тщательному осмотру и проверке по всем пунктам.

Порядок выполнения работы

В данной работе исследуется электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением. Для этого при выключенном стенде с помощью измерительных приборов производится замер сопротивлений обмоток якоря и возбуждения и сопротивления изоляции этих обмоток. Измерения проводятся с помощью тестера или мегомметра при его наличии в лаборатории.

Для проверки рабочих параметров двигателя собирается схема (рисунок 7.1).

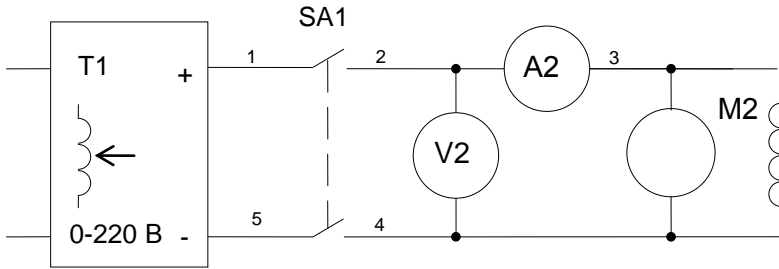


Рисунок 7.1 – Схема для проверки рабочих параметров двигателя

Схема монтируется по монтажной схеме (рисунок 7.2). Проверить правильность монтажа при помощи тестера. Подготовить стенд к работе от сети: вывести регулятор ЛАТР в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению, убедиться, что остальные аппараты, неиспользуемые в работе, не попадут под напряжение при включении стенда. После проверки схемы преподавателем запитать стенд от сети и подать в схему напряжение. Затем плавно увеличить выходное напряжение регулируемого источника постоянного напряжения с помощью ЛАТР до номинальной величины на двигателе (110 В).

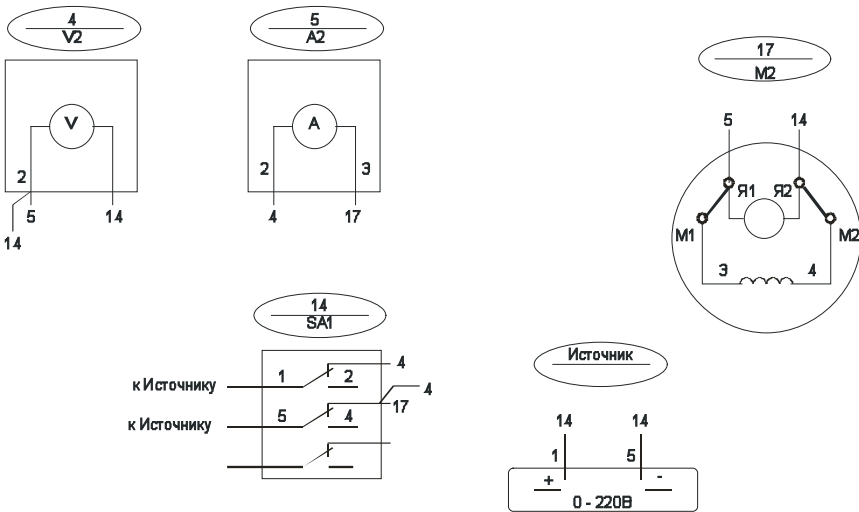


Рисунок 7.2 – Монтажная схема для проверки рабочих параметров двигателя

При номинальном значении питающего напряжения контролируется потребляемый ток и скорость вращения вала электродвигателя. Эти значения сравниваются с паспортными данными электродвигателя.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема соединений лабораторной установки.
4. Результаты измерений.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы двигателя постоянного тока.
2. Основное применение двигателя постоянного тока.
3. Основной недостаток двигателей постоянного тока.
4. В чем заключается программа пуска наладочных работ для двигателя постоянного тока?
5. По какому принципу устанавливаются щетки на машины постоянного тока?

Литература

Мусаэлян, Э.С. Наладка и испытание электростанций и подстанций / Э.С. Мусаэлян – М.: Энергия, 1979. – 464 с.

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОММУТАЦИОННЫМИ АППАРАТАМИ ПОСЛЕ МОНТАЖА

Цель работы: изучить методику проверки электрооборудования для управления работой электродвигателя; научиться по измерительным приборам контролировать режим работы двигателя.

Краткие теоретические сведения

Наиболее широкое распространение во всех отраслях промышленности, строительства и сельского хозяйства имеют асинхронные электродвигатели трехфазного тока с короткозамкнутым ротором. Электродвигатели характеризуются номинальными данными, которые указаны в их паспортах: мощностью, напряжением, током статора, кратностью пускового тока, коэффициентом мощности, частотой вращения ротора, номинальным вращающим моментом.

Смонтированный и установленный на рабочее место электродвигатель проверяют при работе вхолостую и под нагрузкой; при необходимости подвергают испытанию. Управление, регулирование и защиту электрических машин осуществляют с помощью электрических аппаратов. Аппараты, применяемые для управления электрическими цепями, подразделяют на неавтоматические и автоматические. К *автоматическим аппаратам* относятся: контакторы, магнитные пускатели, автоматические выключатели, которые управляются дистанционно или действуют автоматически при изменении установленного режима работы электродвигателей или питающей сети.

Перед началом наладки пускорегулирующей автоматики асинхронного электродвигателя необходимо выполнить анализ схем подключения, который заключается в проверке принципиальных схем общих устройств, при наличии схем постоянного тока, схем отдельных присоединений.

Анализ принципиальных схем проводится в следующем порядке:
– выявляется назначение каждого элемента и контакта схемы, а также правильность выбора их номинальных величин и мощности элементов;

– выявляется как работает схема в нормальном (рабочем) режиме, при перегрузках и в аварийных режимах, что произойдет в ней при перегорании предохранителя или срабатывании автоматических выключателей;

– обращается внимание на нормальное положение переключателей и контактов реле.

К основным неисправностям монтажа вторичных устройств управления можно отнести:

- использование не того типа аппаратуры и контактов;
- обрыв в цепях управления;
- наличие ложных цепей в управлении;
- ошибки в подключении монтажных проводов.

К обязательным испытаниям электродвигателя после монтажа относятся:

– измерение сопротивления обмоток статора постоянному току; с учетом поправки на температуру это сопротивление должно соответствовать паспортным значениям, а при их отсутствии – данным, одинаковым для всех трех фаз;

– измерение сопротивления изоляции обмоток статора мегомметром по отношению друг к другу и корпуса; при этом сопротивление изоляции должно быть не ниже 0,5 МОм при температуре 10–30 °С.

Порядок выполнения работы

Записать паспортные данные асинхронного электродвигателя (см. табличку на корпусе электродвигателя) и ознакомиться с пусковой аппаратурой (записать их полное обозначение и основные данные).

Для выполнения работы необходимо собрать электрическую схему, приведенную на рисунке 8.1.

Исследования в данной работе производятся на основе асинхронного электродвигателя М1. Для управления его работой используются следующие коммутационные аппараты: автоматический выключатель QF1 – для подключения схемы управления к питающему напряжению и защиты от токов короткого замыкания; магнитный пускатель КМ1 – для подключения обмотки статора двигателя к питающему напряжению; тепловое реле КА1.1 и КА1.2 – для защиты двигателя от длительных перегрузок; кнопки кнопочного поста SB1.1 и SB1.2 – для пуска и останова двигателя.

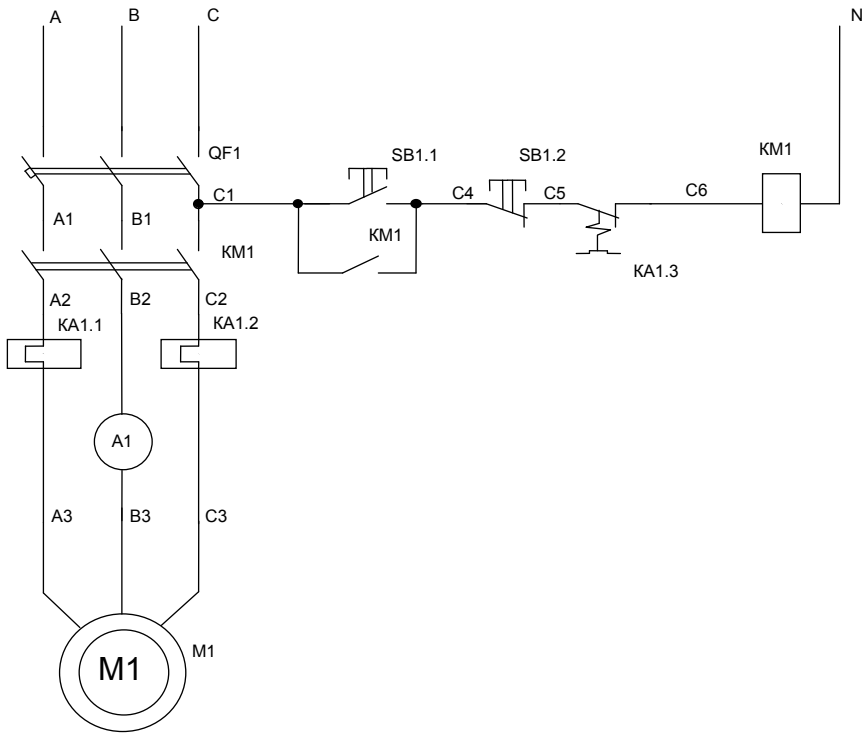


Рисунок 8.1 – Схема управления электродвигателем

Контроль за током в фазах, фазным напряжением, потребляемой активной мощностью и скоростью вращения вала электродвигателя производится по приборам: амперметром А1, вольтметром V1, ваттметром W1 и тахометром n . Контроль за работой коммутационных аппаратов производится визуально.

Сборка схемы выполняется по монтажной схеме рисунка 8.2.

Ознакомьтесь с расположением аппаратов на панели стенда. По монтажной схеме на рисунке 8.2 смонтировать схему управления двигателем М1 (см. рисунок 8.1). С помощью тестера проверить монтаж схемы при отключенном питании стенда. После проверки преподавателем произвести проверку работы схемы при поданном напряжении питания. Снять показания амперметра. Тестером измерить все фазные и линейные напряжения. Зафиксировать показания.

Сделать заключение о правильности выбора пускорегулирующей аппаратуры и аппаратов защиты. Обосновать выводы.

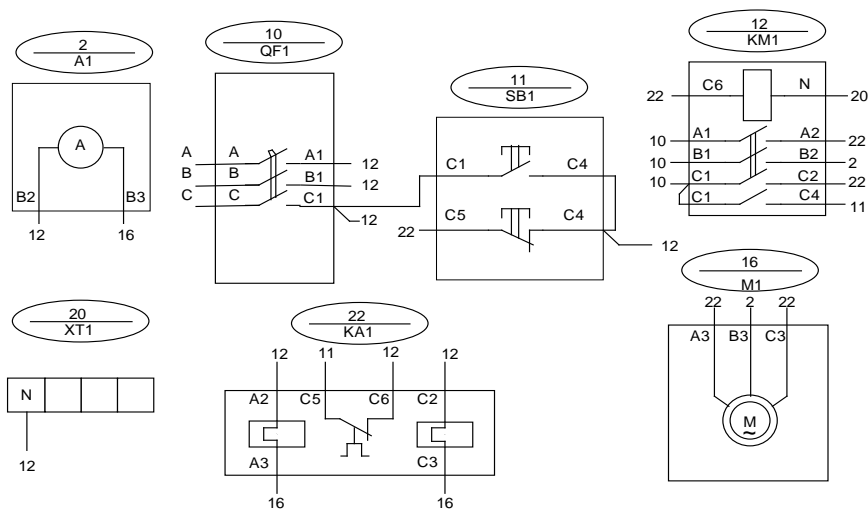


Рисунок 8.2 – Монтажная схема включения аппаратов управления электродвигателем

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема соединений лабораторной установки.
4. Результаты измерений.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие аппараты относятся к пускорегулирующей аппаратуре?
2. В каких режимах проверяют электродвигатель после монтажа?
3. Какое назначение автоматического выключателя QF1 и теплового реле KA1 в схеме (см. рисунок 8.1).
4. Конструкция и принцип действия магнитных пускателей.

5. Конструкция и принцип действия автоматических выключателей.

6. О чем говорит случай, если сопротивление изоляции одной из фаз обмотки статора по отношению к корпусу или к другой обмотке меньше нормативного?

7. О чем говорит случай, если сопротивление постоянному току одной из фаз обмотки больше (меньше) сопротивления других фаз?

Литература

Мусаэлян, Э.С. Наладка и испытание электростанций и подстанций / Э.С. Мусаэлян – М.: Энергия, 1979. – 464 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: ознакомиться с техническими данными и изучить конструкцию контакторов и магнитных пускателей переменного тока; исследовать магнитные пускатели переменного тока.

Краткие теоретические сведения

Контакторы – это коммутационные аппараты, предназначенные для частых включений и отключений электрических цепей при нормальных режимах работы. Контакторы применяются в цепях напряжения до 500 В переменного тока и 600 В постоянного тока.

Контакторы подразделяют:

а) на электромагнитные, которые срабатывают при помощи электромагнита;

б) постоянного тока – линейные и ускорения;

в) переменного тока промышленной частоты;

г) переменного тока повышенной частоты (до 10 кГц).

Контакторы, служащие для замыкания или размыкания электрических цепей, называют *линейными*, а контакторы, служащие для закорачивания отдельных ступеней пускового реостата, – *ускорения*.

Основные узлы любого электромагнитного контактора:

– электромагнитный механизм;

– главные контакты;

– дугогасительное устройство;

– блок-контакты.

Принцип действия контакторов заключается в следующем: при подаче напряжения на обмотку электромагнита якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительная система обеспечивает быстрое гашение дуги. Вспомогательный блок-контакт используется для согласования работы с другими аппаратами.

Контакторы переменного тока обладают высоким коэффициентом возврата (0,6–0,7), что дает возможность осуществить защиту объекта от падения напряжения.

Промышленностью выпускаются следующие основные серии контакторов переменного тока:

а) контакторы серии КТ на номинальные токи 75, 150, 300 и 600 А и номинальные напряжения 380 В и 500 В.

б) контакторы серии КИ предназначены в основном для установки в магнитных пускателях на токи 60, 100 и 150 А и напряжением 380 В.

Контакторы выполняют свои функции удовлетворительно, если напряжение на зажимах катушки

$$U = (0,85-1,1) \cdot U_{\text{ном}}.$$

Снижение напряжения ниже $0,85 U_{\text{ном}}$ уменьшает силу, удерживающую якорь, в результате чего при некотором напряжении отпадения $U_{\text{отп}}$, происходит отрыв якоря от полюсов. Наименьшее напряжение $U_{\text{ср}}$, при котором происходит включение контактора, называют *напряжением срабатывания*.

Отношение $K = U_{\text{отп}} / U_{\text{ср}}$ называют *коэффициентом возврата*.

Механической характеристикой контактора называют зависимость механических противодействующих сил от величины рабочего зазора

$$F_{\text{мех}} = f(\delta).$$

Противодействующие силы в электромагнитных контакторах создаются с помощью пружин.

Магнитный пускатель – это контактор переменного тока, предназначенный для дистанционного управления и защиты от понижения напряжения питающей сети и токов перегрузки асинхронных двигателей малой и средней мощности.

Основным узлом магнитного пускателя, как контактора, является электромагнит переменного тока, приводящий в действие систему с контактами.

Обычно в магнитных пускателях применяют трехполюсный контактор переменного тока, имеющий три главных замыкающих контакта и от одного до четырех вспомогательных, блокировочных или блок-контактов.

В кожух магнитного пускателя, кроме контактора, часто встраивается тепловое реле, выполняющее токовую защиту с выдержкой времени, зависящей от величины тока.

Выбор магнитного пускателя и контакторов производится:

а) по номинальному напряжению сети

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{сети}},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение катушки магнитного пускателя;

б) номинальному току нагрузки

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.нагр}},$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток магнитного пускателя, контактора для конкретного режима работы;

в) мощности двигателя исполнительного механизма;

г) режиму работы;

д) числу включений в час;

е) номинальному напряжению контактов аппарата

$$U_{\text{ном.конт}} \geq U_{\text{сети}};$$

ж) времени включения и отключения.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство, назначение контакторов и магнитных пускателей и их систем.

2. Для исследования свойств магнитного пускателя переменного тока ПМЛ-110 с номинальным напряжением катушки 110 В и частотой 50 Гц необходимо собрать схему согласно рисунку 9.1.

Включить стенд, затем источник питания 24 В и далее ЛАТР. Увеличивая величину подаваемого напряжения контролировать показания приборов и зафиксировать их в момент, когда якорь втянется в катушку. Зафиксировать величину резко изменившегося тока. Довести напряжение до номинальной величины 110 В и вновь замерить ток в катушке. Затем уменьшать напряжение до момента отпускания якоря. Зафиксировать величину тока и напряжения в этот момент (в моменты переключения ЛАТР придерживать пальцем кнопку якоря пускателя, обеспечивая его притянутое положение на момент

кратковременного обесточивания катушки). Данные занести в таблицу 9.1. Повторить опыт несколько раз. Во избежание перегрева катушки пускателя не допускать длительной работы катушки с невтянутым якорем, а также необходимо делать паузу между опытами.

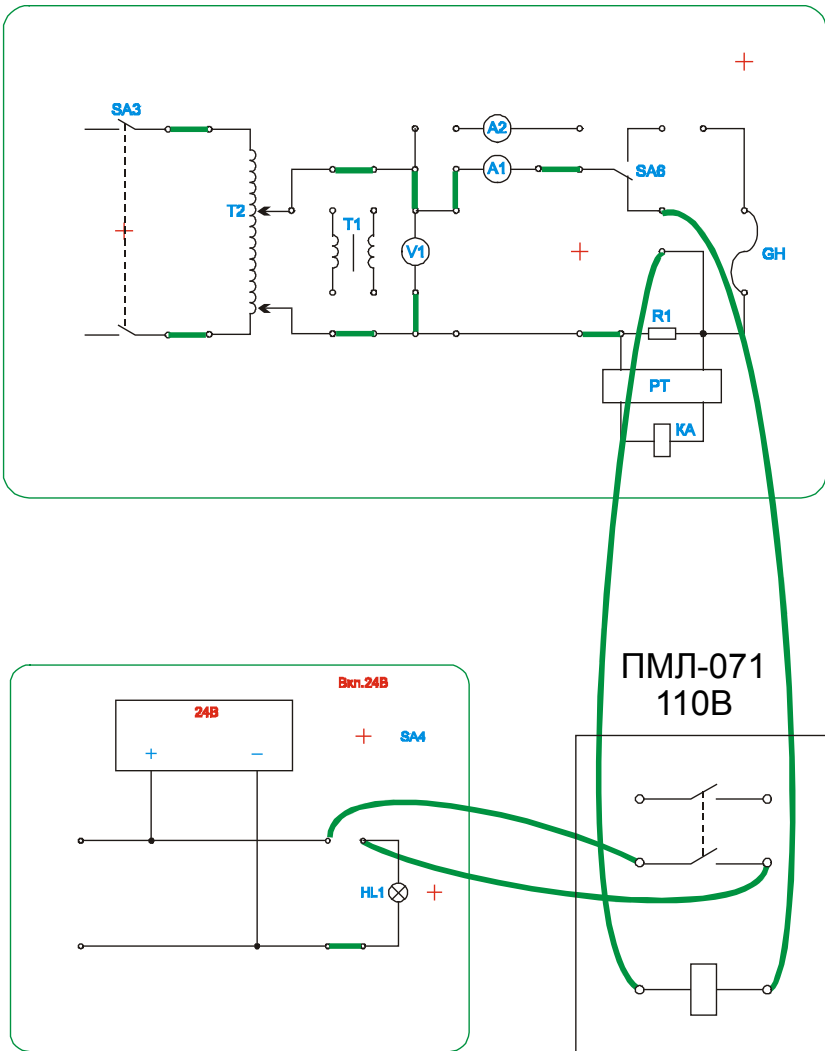


Рисунок 9.1 – Схема для исследования свойств магнитного пускателя переменного тока

Таблица 9.1 – Результаты измерений

Напряжения срабатывания $U_{ср}$, В					
Ток при невтянутом якоре в опыте на включение $I_{ср}$, А					
Ток при втянутом якоре в опыте на включение $I_{вкл}$, А					
Напряжение возврата $U_{в}$, В					

3. Произвести расчет параметров пускателя по следующим формулам:

коэффициент возврата

$$K_{в} = U_{в} / U_{ср};$$

кратность пускового тока к номинальному

$$k = I_{ср} / I_{ном};$$

номинальная полная мощность катушки

$$S_{ном} = U_{ном} \cdot I_{ном};$$

пусковая полная мощность катушки

$$S_{п} = I_{ср.ном} \cdot U_{ном}.$$

4. Для исследования свойств промежуточных реле постоянного тока с номинальным напряжением катушки 24 В необходимо собрать схему согласно рисунку 9.2.

Далее работа выполняется аналогично приведенной выше (напряжение, подаваемое на катушку реле, изменяется ЛАТР). Результаты измерений занести в таблицу 9.2 и произвести расчеты как и в предыдущем опыте (кроме номинальной и пусковой полной мощности).

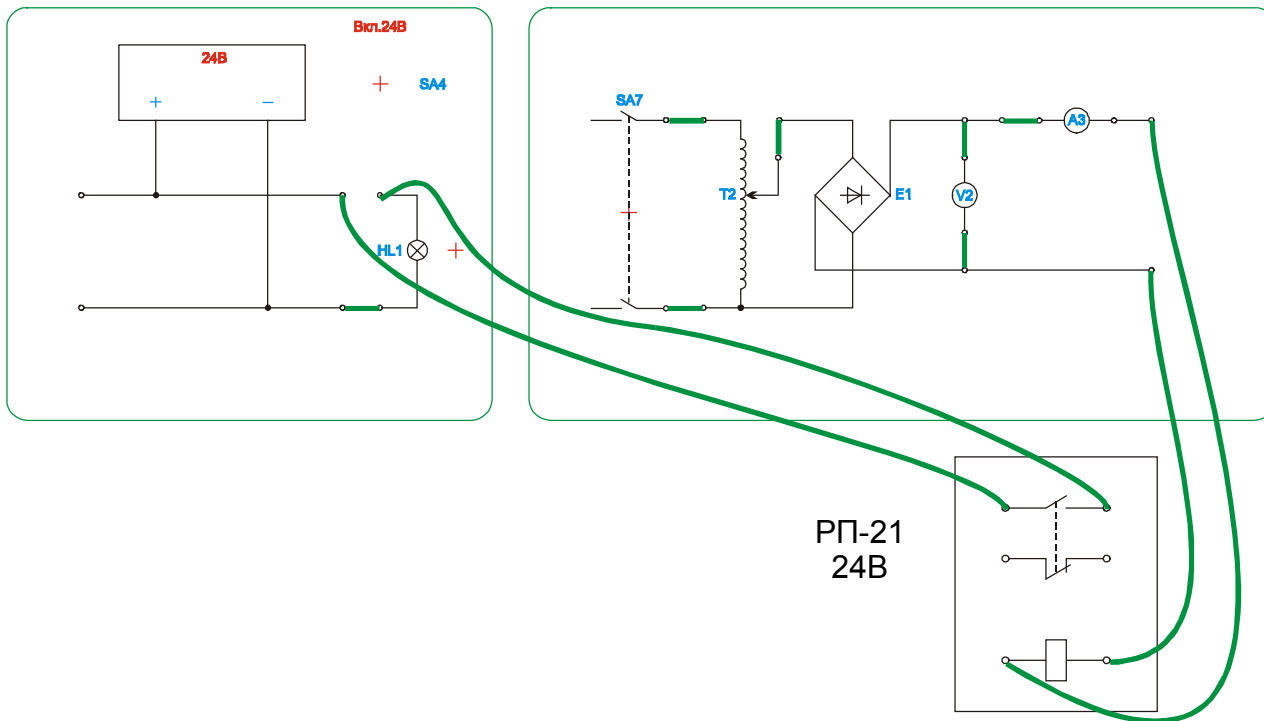


Рисунок 9.2 – Схема для исследования свойств промежуточных реле постоянного тока

Таблица 9.2 – Результаты измерений

Напряжения срабатывания $U_{ср}$, В					
Ток при невтянутом якоре в опыте на включение $I_{ср}$, А					
Ток при втянутом якоре в опыте на включение $I_{вкл}$, А					
Напряжение возврата $U_{в}$, В					

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема соединений лабораторной установки.
4. Результаты измерений.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение контакторов и магнитных пускателей.
2. Конструкции контакторов и магнитных пускателей.
3. Назначение теплового реле в магнитном пускателе.
4. Нарисовать схему управления пуском асинхронного двигателя с помощью магнитного пускателя.
5. В чем заключается ревизия коммутационной аппаратуры низкого напряжения?
6. Какое минимально допустимое сопротивление изоляции силовых и вторичных цепей коммутационной аппаратуры низкого напряжения?
7. Для чего служит экономический резистор в контакторах без защелки?
8. Как определить коэффициент возврата контактора?

Литература

Мусаэлян, Э.С. Наладка и испытание электростанций и подстанций / Э.С. Мусаэлян. – М.: Энергия, 1979. – 464 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПЯЖЕНИЯ

Цель работы: изучить принцип действия тиристорных регуляторов напряжения; исследовать схему управления тиристорного регулятора напряжения; исследовать свойства тиристорного регулятора как электрического аппарата.

Краткие теоретические сведения.

Тиристором называют полупроводниковый прибор с тремя или более $n-p$ -переходами. Он может находиться в одном из двух устойчивых состояний: низкой проводимости (закрыт) или высокой (открыт). Структура, условное графическое и буквенное обозначения тиристора, его вольтамперная характеристика даны на рисунке 10.1.

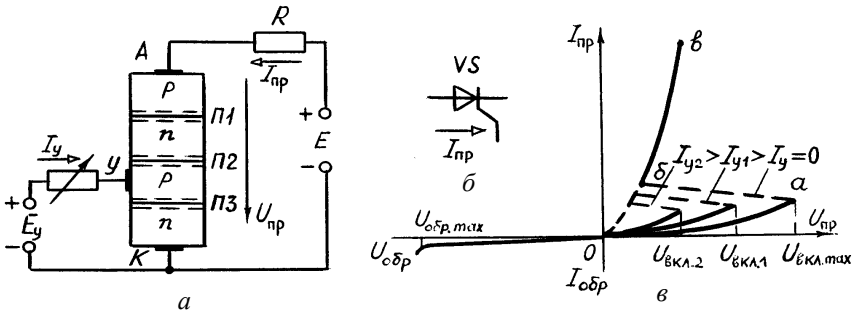


Рисунок 10.1 – Структура, условное графическое и буквенное обозначения тиристора

Основу прибора составляет кристалл кремния, в котором созданы четыре слоя с разными типами электропроводности. Внешний p -слой называют *анодом* (А), внешний n -слой – *катодом* (К), а два внутренних слоя – *базами*. Одна из баз имеет вывод – *управляющий электрод* (У).

При прямом включении (анод положителен по отношению к катоду) переходы П1 и П3 смещены в прямом направлении,

П2 – в обратном. До тех пор пока П2 закрыт, прямой ток практически равен нулю (участок oa характеристики, см. рисунок 10.1, ϵ). При некотором значении прямого напряжения, равном $U_{\text{вкл.макс}}$, за счет перераспределения зарядов в области баз переход П2 открывается (точка a). Сопротивление его быстро уменьшается (участок ab), и тиристор работает на участке $b\epsilon$ характеристики, которая подобна вольтамперной характеристике ВАХ диода.

Напряжение включения $U_{\text{вкл.макс}}$ можно уменьшить введением добавочных носителей заряда в любой из слоев, прилегающих к переходу П2. Добавочные носители заряда на рисунок 10.1, a вводятся в слой p от вспомогательной управляющей цепи с независимым источником E_y . При увеличении тока управления I_y характеристика (см. рисунок 10.1, ϵ) смещается влево (к естественной прямой ветви ВАХ диода). Тиристор остается во включенном состоянии, пока протекающий через него ток больше критического, называемого *током удержания* $I_{\text{уд}}$. Как только $I_{\text{пр}}$ станет меньше $I_{\text{уд}}$, тиристор закрывается.

Следует отметить, что после включения тиристора объемные заряды в области перехода П2 будут компенсированы основным током, если он больше тока $I_{\text{уд}}$, и тогда ток управления I_y не нужен. Поэтому для снижения потерь в тиристоре он управляется короткими импульсами I_y .

При обратном включении тиристора (анод отрицателен по отношению к катоду) закрыты два перехода П1 и П3 и тиристор тока не проводит. Во избежание пробоя необходимо, чтобы обратное напряжение было меньше $U_{\text{обр.макс}}$.

Основные параметры, используемые при выборе тиристорov:

- предельно допустимый анодный ток в открытом состоянии тиристора $I_{\text{пр.макс}}$;
- предельно допустимое обратное напряжение $U_{\text{обр.макс}}$;
- предельно допустимое прямое напряжение в закрытом состоянии тиристора $U_{\text{пр.макс}}$;
- ток удержания $I_{\text{уд}}$.

Маломощные тиристоры применяют в релейных схемах и маломощных коммутирующих устройствах. Мощные тиристоры используют в управляемых выпрямителях, инверторах и различных преобразователях.

Схема тиристорного регулятора напряжения дана на рисунке 10.2.

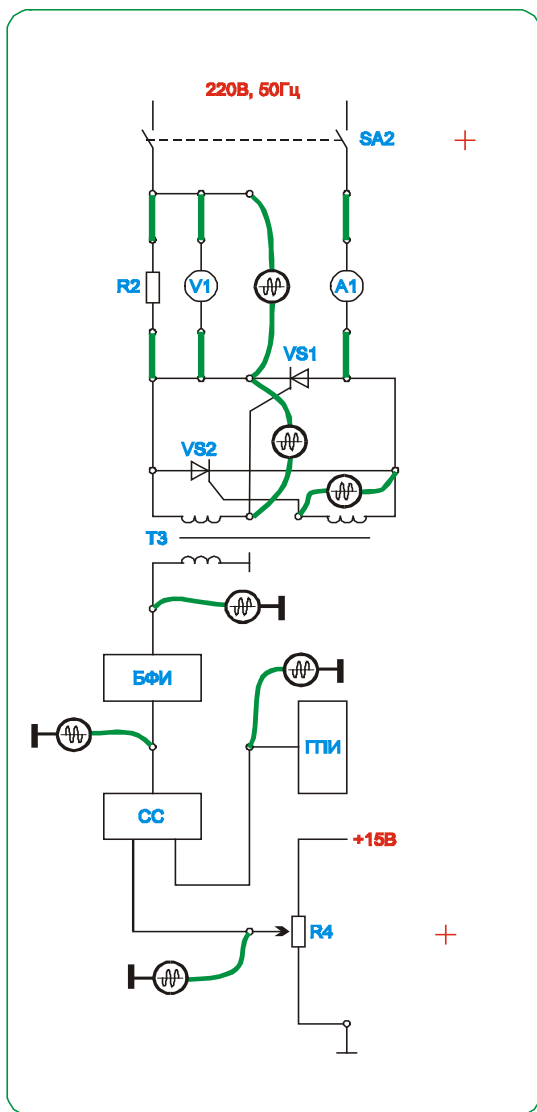


Рисунок 10.2 – Схема для исследования тиристорного регулятора напряжения

Силовая часть представляет собой тиристорную пару, в которой тиристоры включены встречно. Управление величиной напряжения

на нагрузке (вольтметр $V1$), а следовательно, и током нагрузки (амперметр $A1$) достигается управлением угла отпирания тиристоров. При этом осциллограмма, снимаемая с нагрузки, имеет вид, представленный на рисунке 10.3. При $\alpha = \pi$ тиристоры практически закрыты и на нагрузке нет напряжения, а при $\alpha = 0$ – полностью открыты и напряжение на нагрузке имеет вид полных полувольт и соответствует максимальному значению, получаемому от выпрямителя.

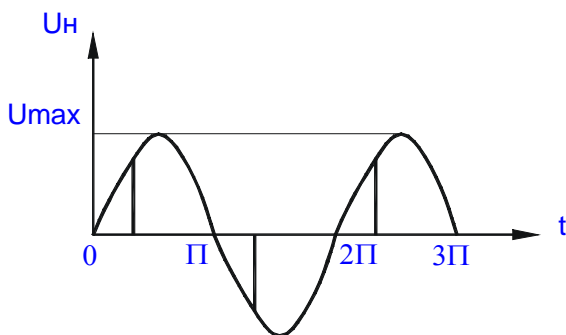


Рисунок 10.3 – Осциллограмма тиристорного преобразователя

Управление углом отпирания тиристоров осуществляет схема управления, формирующая синхронизированные с сетевым напряжением импульсы управления, передаваемые на управляющие электроды тиристоров через импульсные трансформаторы, позволяющие произвести гальваническую развязку силовых цепей преобразователя от цепей управления. Синхронизация импульсов управления с сетевым напряжением достигается путем формирования в блоке ГПИ из пониженного синусоидального напряжения импульсов пилообразной формы (рисунок 10.4).

Последние поступают в блок сравнения CC , равно как и напряжение задания, снимаемое с потенциометра $R4$. В результате сравнения этих величин блок CC формирует прямоугольные импульсы, скважность которых зависит от положения движка потенциометра $R4$, что показано на рисунке 10.4. Последние и управляют углом отпирания тиристоров, преобразуясь в блоке формирования импульсов БФИ для передачи через обмотки импульсного трансформатора $T3$.

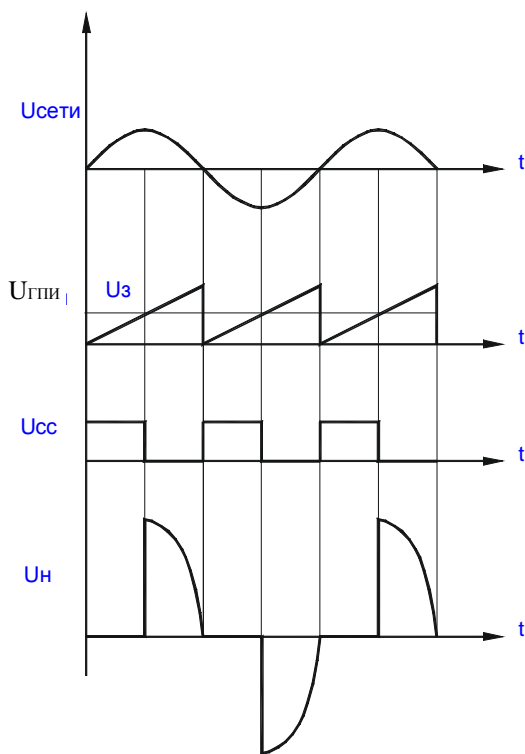


Рисунок 10.4 – Осциллограммы тиристорного регулятора напряжения в различных точках исследуемой схемы

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему согласно рисунку 10.2.
2. Включите сетевой выключатель, проверьте наличие напряжения в сети по свечению индикаторной лампы. Затем включите напряжение питания тумблером SA2.
3. Снять осциллограммы сигналов на выходе блоков ГПИ, СС, БФИ и на нагрузке в нескольких положениях потенциометра R4, в том числе при минимальном и максимальном напряжении на нагрузке (точки подключения осциллографа показаны на рисунке 10.2, подключение осциллографа к нагрузке следует производить через делитель напряжения). Напряжение на движке R4 измерять тестером

либо осциллографом. По осциллограммам определите соответствующие углы отпирания тиристором.

4. Снимите регулировочную характеристику тиристорного регулятора напряжения $U_n = f(U_3)$. U_3 измерять с помощью тестера.

5. Для двух-трех значений U_3 по двум точкам снимите выходные характеристики $U_n = f(I_n)$.

6. По окончании опыта отключить тумблер SA2 и сетевой выключатель.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема соединений лабораторной установки.
4. Результаты измерений. Экспериментальные характеристики.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные параметры и характеристики тиристора?
2. Устройство и принцип работы тиристора, вид его вольтамперной характеристики.
3. Как влияет ток управления на работу тиристора?
4. Принцип действия системы управления тиристорным регулятором напряжения.
5. С какой целью применяется гальваническая развязка силовых и управляющих цепей?
6. Для чего необходима синхронизация управляющих импульсов с сетевым напряжением?

Литература

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники: учебник / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1996. – 638 с.: ил.
2. Поссе, А.В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока / А.В. Поссе. – Л.: Энергия, 1973. – 303 с.
3. Мусаэлян, Э.С. Наладка и испытание электростанций и подстанций / Э.С. Мусаэлян. – М.: Энергия, 1979. – 464 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНЫХ ДВУХОБОМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	4
Лабораторная работа № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ	12
Лабораторная работа № 3 ИСПЫТАНИЕ КОНТУРА ЗАЗЕМЛЕНИЯ.....	22
Лабораторная работа № 4 ИСПЫТАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОСЛЕ РЕМОНТА	29
Лабораторная работа № 5 ИСПЫТАНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ	36
Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.....	41
Лабораторная работа № 7 ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕ РЕМОНТА	48
Лабораторная работа № 8 ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОММУТАЦИОННЫМИ АППАРАТАМИ ПОСЛЕ МОНТАЖА	52
Лабораторная работа № 9 ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	57
Лабораторная работа № 10 ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ	64

Учебное издание

НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-43 01 02
«Электроэнергетические системы и сети»

Составители:

СТАРЖИНСКИЙ Алексей Леонидович
ВОЛКОВ Александр Анатольевич
ФИЛИПЧИК Юрий Дмитриевич
ВИЛЬКИН Владислав Станиславович

Редактор Т.В. Кипель

Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 16.04.2012.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,13. Уч.-изд. л. 3,23. Тираж 100. Заказ 336.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.