

Министерство образования и науки Российской Федерации
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**Нижекамск
2011**

УДК 621.3

А 62

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Рецензенты:

Ахметсагиров Р.И., кандидат технических наук, доцент;

Биктагиров В.В., кандидат химических наук, доцент.

Амирова, С.С.

А 62 Распределительные сети систем электрического снабжения : методические указания / С.С. Амирова, Н.И. Чекунов, В.М.Булатова. - Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2011. - 36 с.

Предназначены для студентов очного и заочного отделений, изучающих дисциплину «Распределительные сети систем электрического снабжения».

УДК 621.3

© Амирова С.С., Чекунов Н.И.,

Булатова В.М., 2011

© Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2011

Техника безопасности при проведении лабораторных работ

Лабораторные стенды в лаборатории ЭСПП по условиям электробезопасности, согласно ПУЭ, относятся к электроустановкам до 1000 В.

При нарушении правил эксплуатации установок лабораторные стенды могут стать источником электрического тока, который способен поражать обслуживающий персонал.

Тело человека обладает электропроводностью, а поэтому при соприкосновении с неизолированными элементами стенда, находящегося под напряжением, через тело человека проходит электрический ток. Он может вызвать термические ожоги либо нанести «электрический удар», при этом поражается нервная, сердечная или дыхательная система организма человека. Последствия поражения электрическим током бывают тяжелыми и могут привести к смертельному исходу.

Поэтому студенты в лаборатории должны соблюдать правила техники безопасности:

- студент, находясь в лаборатории должен быть предельно дисциплинированным и предельно внимательным;
- выполнять все указания преподавателя и лаборанта;
- находиться непосредственно у лабораторного стенда;
- запрещается делать какие-либо включения в распределительных щитах, включать схему под напряжение без разрешения преподавателя, касаться вращающихся частей электрических машин;
- одежда не должна иметь свободно свисающих концов, а прическа или головной убор должны исключать возможность «свисания» прядей волос;
- если схема содержит конденсаторы, то после ее отключения необходимо их разрядить, замкнув накоротко;
- при работе с лабораторной установкой, находящейся под напряжением, студент должен стоять на изоляционных резиновых ковриках;
- обо всех случаях неисправности в работе установки необходимо доложить преподавателю.

Порядок проведения лабораторных работ

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен:

- тщательно изучить содержание работы и порядок ее выполнения;
- повторить теоретический материал, связанный с выполнением данной работы;
- подготовить таблицы с необходимым количеством граф для занесения результатов наблюдений и вычислений.

Студент должен иметь отдельную рабочую тетрадь для записей материалов по выполняемым работам, необходимым для составления отчета о проделанной работе.

Лабораторные работы выполняются бригадами, обычно по 3-5 человек. В последующих работах обязанности членов бригады должны меняться так, чтобы все члены бригады приобретали навыки по различным видам работ.

Лабораторная работа засчитывается, если отчет содержит необходимые схемы, таблицы и графики, выполненные правильно и аккуратно, и если студент ответил правильно на все вопросы преподавателя. Кроме того, студент должен знать назначение всех элементов схемы и уметь объяснить порядок действия при выполнении любого эксперимента в лабораторной работе.

Лабораторная работа № 1

Исследование параметров установившегося режима работы трансформатора

Цель работы: приобретение практических навыков работы с электрическими схемами, определение параметров установившегося режима работы трансформатора.

Программа исследования

1. Ознакомиться с устройством трансформатора.
2. Собрать схему электрических соединений (рис. 1).
3. Составить принципиальную схему.
4. Используя результаты опытов построить зависимость величины напряжения и КПД от характера нагрузки ($\cos \varphi$) и коэффициента нагрузки β .
5. Составить отчет и сделать заключение о проведенной работе.

Номинальные данные исследуемого трансформатора:

$$P_{ном} = 80 \text{ Вт}; U_{ном_1} = 220 \text{ В}; U_{ном_2} = 220 \text{ В}; i_X, \% - 24;$$

$$U_K, \% = 10; \eta = 0,9.$$

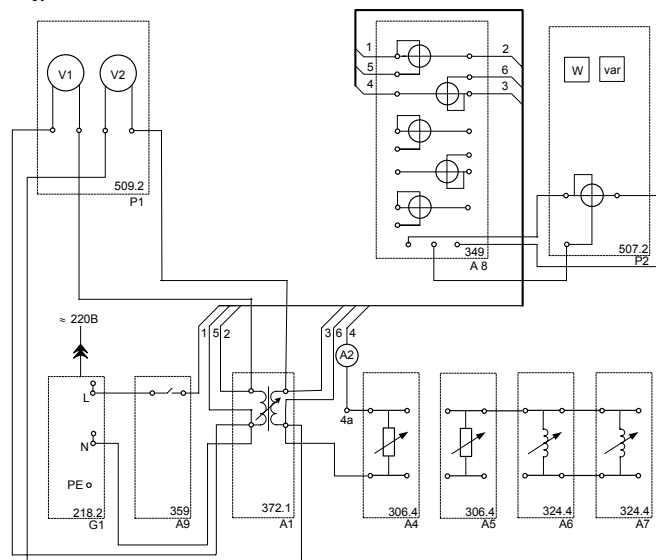


Рисунок 1 - Схема электрических соединений

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем по заданию преподавателя значение коэффициента трансформации трансформатора A1.
- Установите переключателями по заданию преподавателя параметры нагрузок A4...A7.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и измерителя мощностей P2.
- Активизируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель A9.
- С помощью мультиметров, включенных как вольтметры блока P1 измеряйте напряжения до и после исследуемого трансформатора A1.
- Меняя положение переключателя коммутатора A8, с помощью измерителя P2 измеряйте величины потоков активной и реактивной мощностей до и после исследуемого трансформатора A1 и по ним определяйте потери активной и реактивной мощностей в нем.
- По завершении эксперимента отключите источник G1, выключатели «СЕТЬ» измерителя мощностей P2 и блока мультиметров P1.
- Результаты эксперимента занесите в таблицы № 1 – 3.

Таблица 1- Параметры установившегося режима трансформатора

Активная нагрузка												
$P_H, \%$	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U_1, B												
U_2, B												
P_1, Bm												
P_2, Bm												
Q_1, BAp												
Q_2, BAp												
I_2, A												
S_1, BA												
S_2, BA												
$\cos \varphi_2$												
$\eta, \%$												
$\Delta P_T, Bm$												
$\Delta Q_T, BAp$												

Таблица 2 – Параметры установившегося режима трансформатора

Индуктивная нагрузка										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$Q_L, \%$										
$P_H, \%$										
U_1, B										
U_2, B										
P_1, Bm										
P_2, Bm										
Q_1, BAp										
Q_2, BAp										
I_2, A										
S_1, BA										
S_2, BA										
$\cos \varphi_2$										
$\eta, \%$										
$\Delta P_r, Bm$										
$\Delta Q_r, BAp$										

Таблица 3 – Параметры установившегося режима трансформатора

Активно-индуктивная нагрузка										
$P_H, \%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$Q_L, \%$										
U_1, B										
U_2, B										
P_1, Bm										
P_2, Bm										
Q_1, BAp										
Q_2, BAp										
I_2, A										
S_1, BA										
S_2, BA										
$\eta, \%$										
$\Delta P_T, Bm$										
$\cos \varphi_2$										
$\Delta Q_T, BAp$										

Теоретические сведения

С увеличением нагрузки трансформатора напряжение на его вторичной обмотке изменяется. Это изменение выражается графически внешними характеристиками $U_2 = f(\beta)$. Вид внешних характеристик зависит от характера нагрузки и величины коэффициента мощности $\cos \varphi_2$.

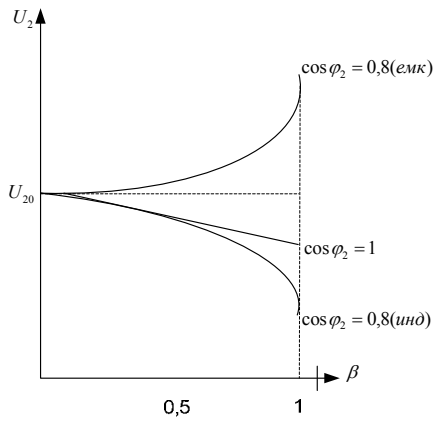


Рисунок 2 - Внешняя характеристика $U_2 = f(\beta)$

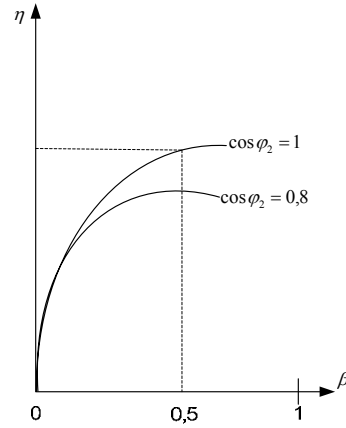


Рисунок 3 - Внешняя характеристика $\eta = f(\beta)$

Для построения внешних характеристик (рис.2) необходимо снять не менее пяти значений напряжения U_2 при различных значениях коэффициента нагрузки $\beta = I_2 / I_{2\text{НОМ}}$.

Для построения графика $\eta = f(\beta)$ при активной, индуктивной и активно-индуктивной нагрузках (рис.3) используют следующее выражение:

$$\eta = (P_1 - \Delta P_T) / P_1.$$

Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия трансформатора.
2. Что такое коэффициент трансформатора и как его определить опытным путем?
3. Для чего проводят опыт Х.Х. трансформатора?
4. Для чего проводят опыт К.З.?
5. Почему трансформатор не работает в сетях постоянного тока?
6. Назовите способы охлаждения трансформатора.
7. Объясните принцип регулирования напряжения под нагрузкой.
8. Перечислите виды защит в трансформаторе.
9. Объясните поведение характеристик $U_2(\beta)$ и $\eta(\beta)$ при различных характерах нагрузки.

Литература

1. Кацман, М.М. Электрические машины / М.М. Кацман. - М. : Высшая школа, 2000.
2. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. - М.: Высшая школа, 2000.

Лабораторная работа №2

Измерение параметров установившегося режима работы линии электропередачи

Цель работы: приобретение практических навыков моделирования линии электрической передачи с различными характерами нагрузки.

Программа исследования

1. Используя полученные теоретические значения начертить схемы замещения ЛЭП.
2. Собрать схему электрических соединений (Рис.4).
3. Составить принципиальную схему на основании схемы (Рис.4).
4. Сделать замеры параметров исследуемой схемы, заполнить таблицы и произвести необходимые теоретические расчеты.
5. Построить графики зависимости потерь в линии $\Delta P_{\text{Л}}$, $\Delta Q_{\text{Л}}$, $\Delta S_{\text{Л}}$ от величины активной и индуктивной нагрузок.
6. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

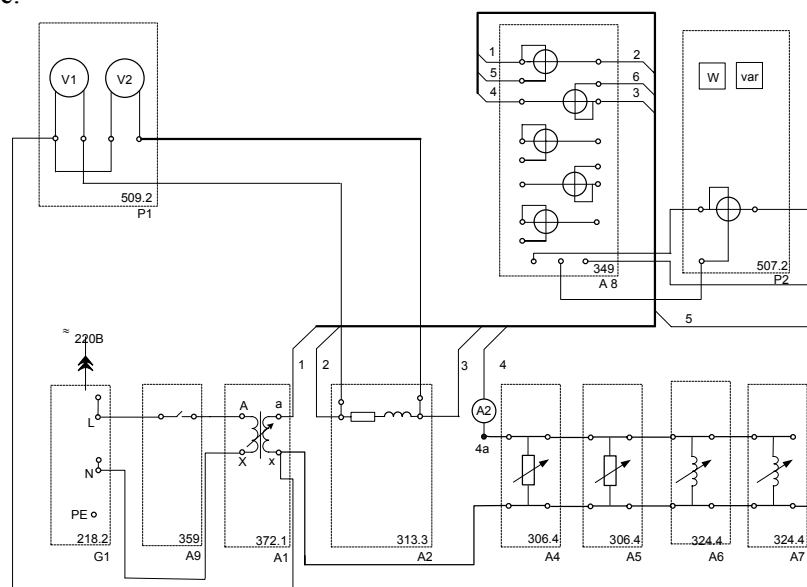


Рисунок 4 - Схема электрических соединений

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что стенд отключен от сети.
- Соедините гнездо защитного заземления с гнездом «РЕ» однофазного источника питания G1.
- Соберите схему согласно рисунку 4.
- Установите активную нагрузку согласно таблице 4.
- Включите источник G1.
- Включите выключатель «Сеть» блоков P1 и P2.
- Активируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель A9.
- Снимайте показания приборов и заносите их в таблицу 4.
- Отключите активную нагрузку и подключите индуктивную, изменяя ее величину, показания занесите в таблицу 4.
- Отключите питание стенда.
- Постройте графики зависимости потерь в $\Delta P_{\text{л}} = f(I_2)$, $\Delta Q_{\text{л}} = f(I_2)$, $\Delta S_{\text{л}} = f(I_2)$.
- Сделайте обоснованные выводы.

Теоретические сведения

Электрическими линиями с распределенными параметрами называются такие линии, в которых для одного и того же момента времени ток и напряжение непрерывно изменяются при переходе от одной точки (сечения) линии к другой, соседней точке.

Эффект непрерывного изменения тока и напряжения вдоль линии имеет место вследствие того, что линии обладают распределенными продольными и поперечными сопротивлениями.

Продольные сопротивления образованы активными сопротивлениями проводов линии и индуктивностями двух противостоящих друг другу участков линии длиной dx .

Поперечные сопротивления состоят из сопротивлений утечки, появляющейся вследствие несовершенства изоляции между проводами линии и емкостей, образованных противостоящими друг другу элементами (участками) линии.

Линию с распределенными параметрами называют однородной, если все продольные и поперечные сопротивления линии одинаковой длины равны друг другу.

Кроме того, линии с распределенными параметрами можно распределить на линейные и нелинейные, в зависимости сопротивления от величины протекающего по линии тока.

Разобьем линию на участки длиной dx (рис.5), где x – расстояние, отсчитываемое от начала линии.

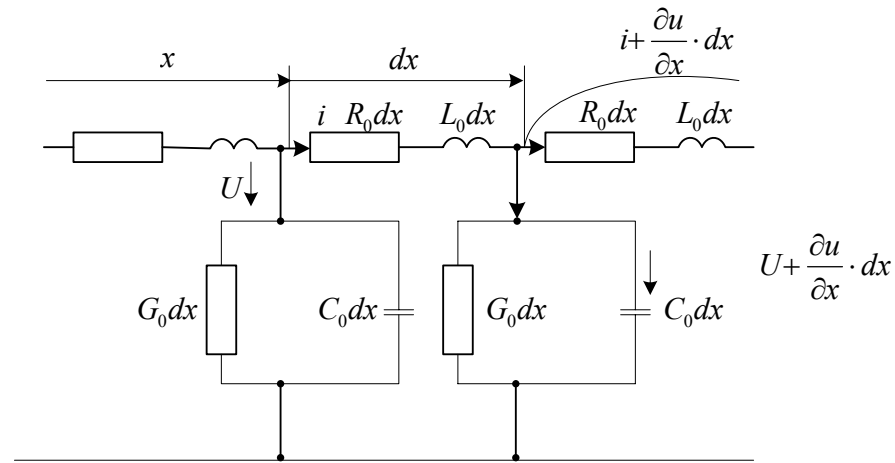


Рисунок 5 - Схема замещения линии с распределенными параметрами

На длине dx активное сопротивление равно $R_0 dx$, индуктивное $L_0 dx$, проводимость утечки $G_0 dx$ и емкостное $C_0 dx$.

Если для некоторого момента времени t ток в начале рассматриваемого участка равен i , то в результате утечки через поперечный элемент ток в конце участка для того же момента времени равен $i + \frac{\partial i}{\partial x} \cdot dx$, где $\frac{\partial i}{\partial x}$ – скорость изменения тока в направлении x . Скорость, умноженная на расстояние dx , является приращением тока на пути dx . Аналогично и для напряжения.

Согласно второму закону Кирхгофа имеем уравнение:

$$-U + R_0 dx \cdot i + L_0 dx \cdot \frac{\partial i}{\partial t} + U + \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dx = 0$$

После упрощения и деления уравнения на dx получим:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = L_0 \cdot \frac{\partial i}{\partial t} + R_0 \cdot i \quad (1)$$

По первому закону Кирхгофа:

$$i = di + i + \frac{\partial i}{\partial x} \cdot dx \quad (2)$$

Ток di равен сумме токов, проходящих через проводимость $G_0 dx$ и ее емкость $C_0 dx$:

$$di = (u + \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dx) \cdot G_0 dx + \frac{\partial}{\partial t} \cdot C_0 dx \cdot (u + \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dx)$$

Пренебрегаем слагаемыми второго порядка малости, тогда:

$$di = u \cdot G_0 dx + C_0 dx \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3)$$

Подставим (3) в (2), упростим и поделим уравнение на dx :

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 \cdot u + C_0 \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4)$$

Уравнения (1) и (4) являются основными дифференциальными уравнениями для линий с распределенными параметрами.

Таблица 4 – Параметры установившегося режима трансформатора

№ n / n	V_1 , В	V_2 , В	R_{Σ} , Ом	L_{Σ} , Гн	R_H , %	L_H , %	C_H , %	P_1 , Вт	Q_1 , Вар	P_2 , Вт	Q_2 , Вар	A_2 , А	ΔP_{Σ} , Вт	ΔQ_{Σ} , Вар	ΔS_{Σ} , ВА
1			50	0,3	10	—	—								
2			50	0,3	20	—	—								
3			50	0,3	30	—	—								
4			50	0,3	40	—	—								
5			50	0,3	50	—	—								
6			50	0,3	60	—	—								
7			50	0,3	70	—	—								
8			50	0,3	80	—	—								
9			50	0,3	90	—	—								
10			50	0,3	100	—	—								
1			50	0,3	—	10	—								
2			50	0,3	—	20	—								
3			50	0,3	—	30	—								
4			50	0,3	—	40	—								
5			50	0,3	—	50	—								
6			50	0,3	—	60	—								
7			50	0,3	—	70	—								
8			50	0,3	—	80	—								
9			50	0,3	—	90	—								
10			50	0,3	—	100	—								
1			50	0,3	—	—	10								
2			50	0,3	—	—	20								
3			50	0,3	—	—	30								
4			50	0,3	—	—	40								
5			50	0,3	—	—	50								
6			50	0,3	—	—	60								
7			50	0,3	—	—	70								
8			50	0,3	—	—	80								
9			50	0,3	—	—	90								
10			50	0,3	—	—	100								
1			50	0,3	—	—	—								
2			50	0,3	—	—	—								
3			50	0,3	—	—	—								
4			50	0,3	—	—	—								
5			50	0,3	—	—	—								
6			50	0,3	—	—	—								
7			50	0,3	—	—	—								
8			50	0,3	—	—	—								
9			50	0,3	—	—	—								
10			50	0,3	—	—	—								

Контрольные вопросы

1. Какие параметры ЛЭП определяются при их расчете?
2. Дайте определение энергетической системе.
3. Дайте определение электроэнергетической системе.
4. Какие вопросы должны рассматриваться при проектировании систем электроснабжения?
5. На какие категории делятся электроприемники в отношении надежности электроснабжения?
6. Дать характеристику каждой категории электроприемников.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2009. – 488 с.
2. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения / В.П. Шеховцов. – М.: ФОРУМ – ИНФА – М, 2007. – 214 с.

Лабораторная работа №3
Измерение параметров установившегося режима
разомкнутой сети

Цель работы: приобретение практических навыков с мнемосхемой; составление принципиальных схем на их основе; определение параметров разомкнутой распределительной сети.

Программа исследования

1. Ознакомиться со схемой электрических соединений (рис.6).
2. Составить принципиальную схему распределительной сети.
3. Собрать схему электрических соединений.
4. Произвести необходимые замеры согласно таблицам 5, 6 и построить соответствующие графики.
5. Сделать соответствующие выводы и ответить на контрольные вопросы.

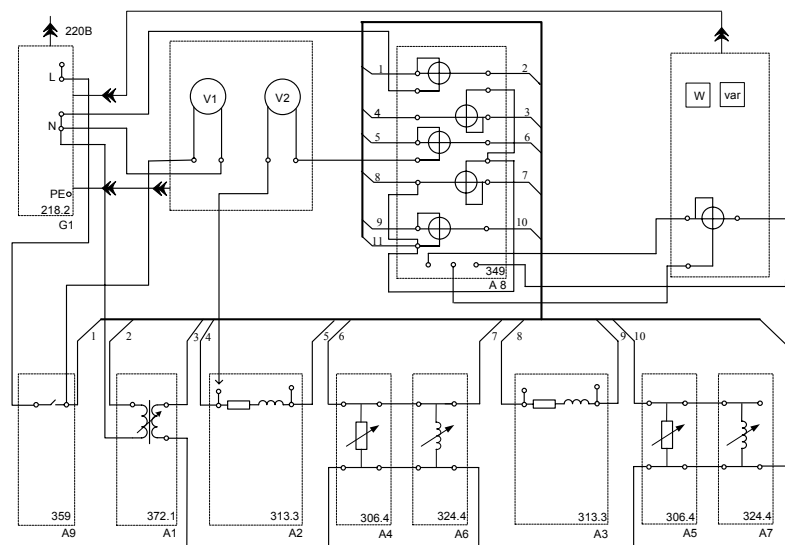


Рисунок 6 - Схема электрических соединений

Указания по проведению экспериментов

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1.
- Установите переключателями желаемые параметры моделей A2, A3 линий электропередачи и нагрузок A4...A7 согласно таблице 5.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и измерителя мощностей P2.
- Активизируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель A9.
- С помощью мультиметров, включенных как вольтметры, блока P1 измеряйте напряжения в интересующих точках исследуемой сети.
- Меняя положение переключателя коммутатора A8, с помощью измерителя P2 определяйте величины активной и реактивной мощностей в интересующих точках исследуемой распределительной сети.
- По завершении эксперимента отключите источник G1, выключатели «СЕТЬ» измерителя мощностей P2 и блока мультиметров P1.
- Данные эксперимента занесите в таблицы 5 и 6.
- Постройте графики зависимости потерь мощности и напряжения от нагрузки.

Теоретическая часть

Под распределительными понимаются сети, к которым непосредственно могут присоединяться приемники ($U_{ном}$ до 20 кВ). Такие сети имеют структуру дерева.

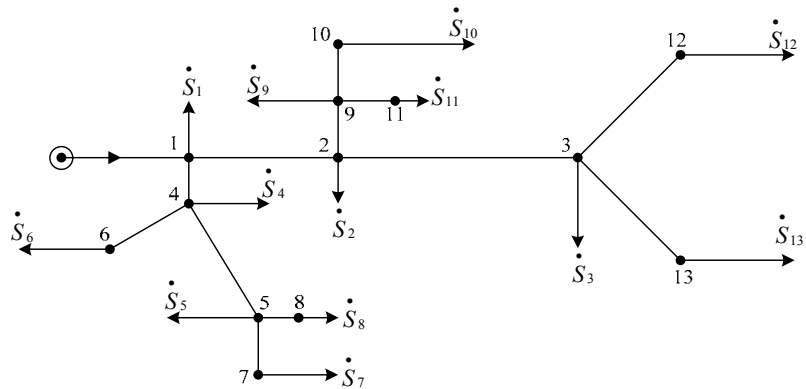


Рисунок 7 - Пример замкнутой распределительной сети

При расчете разомкнутых распределительных сетей принимаются следующие допущения:

- в схемах замещения сети не учитываются емкостные проводимости воздушных линий;
- распределение потоков активной и реактивной мощности в сети определяется без учета потерь мощности в элементах сети;
- потери мощности и напряжения, а также токи в отдельных элементах сети определяются не по истинным напряжениям в узлах, а по номинальному напряжению.

В соответствии с первым допущением каждый элемент сети замещается своим полным сопротивлением.

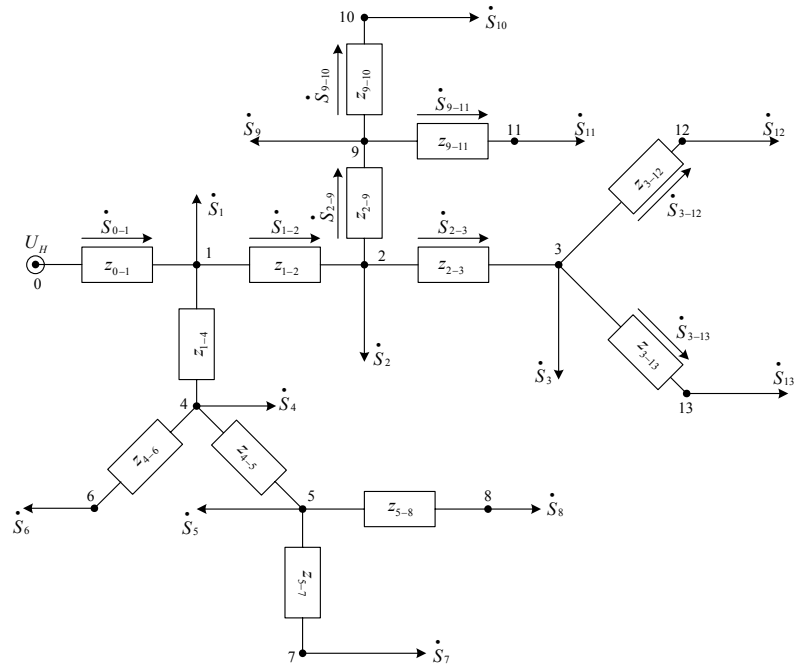


Рисунок 8 - Схема замещения распределительной сети

Второе допущение позволяет без значительных трудностей определить распределение потоков мощности по элементам сети.

Так, по линии, связывающей пункты нагрузки 3-12, осуществляется электроснабжение одного пункта нагрузки (12), поэтому

$S_{3-12} = S_{12}$. По линии 2-3 осуществляется электроснабжение пунктов 3-12-13, поэтому $S_{23} = S_3 + S_{12} + S_{13}$. Наконец, по линии 0-1 осуществляется электроснабжение всех пунктов нагрузки, поэтому $S_{01} = \sum_{i=1}^{13} S_i$.

В соответствии с третьим допущением потери мощности и напряжения в элементах электрической цепи между узлами i и j определяются по формулам:

$$\Delta S_{ij} = \Delta P_{ij} + \Delta Q_{ij} = \frac{(S_{ij})^2}{U_H^2} (R_{ij} + jx_{ij})$$

$$\Delta U_{ij} = \frac{P_{ij} \cdot R_{ij} + Q_{ij} x_{ij}}{U_H}$$

Задачей электрического расчета распределительных сетей обычно является:

- определение токов в элементах сети для их проверки или выбора по допустимому нагреву;
- определение максимальных потерь напряжения в сети для сравнения с допустимыми потерями напряжения;
- определение суммарных потерь активной и реактивной мощности и потерь энергии за год.

Провести необходимые замеры и заполнить таблицу 5 и 6.

Методика проведения лабораторной работы

После соединения аппаратуры в соответствии со схемой электрических соединений и составления принципиальной схемы:

1. Произвести нумерацию приборов и нагрузок;
2. Согласно таблице 5, изменяя активную и реактивную нагрузки, снять показания приборов и занести их в таблицу 5;
3. Произвести необходимые вычисления;
4. Построить графики $\Delta P_1 = f(S_{H1})$, $\Delta P_2 = f(S_{H1})$, $\Delta U_{1-2} = f(S_{H1})$;
5. Согласно таблице 6, изменяя активную и реактивную нагрузки снять показания приборов и занести их в таблицу 6;
6. Произвести необходимые вычисления и построить графики $\Delta P_3 = f(S_{H2})$, $\Delta U_{2-3} = f(S)$.

Таблица 5 – Параметры установившегося режима разомкнутой сети

Измеряемые величины														Вычисляемые величины					
№п/п	$\overline{P_{H_2}}_{Br}$	$\overline{Q_{H_2}}_{BAr}$	$\overline{P_2}_{Br}$	$\overline{P_3}_{Br}$	$\overline{Q_2}_{BAr}$	$\overline{Q_3}_{BAr}$	$\overline{U_{21}}$	$\overline{U_{24}}_{B}$	$\overline{U_{23}}_{B}$	$\Delta P_1 _{Br}$	$\Delta P_2 _{Br}$	$\Delta U_{1-2} _B$	$\overline{S_{H_2}}_{B^*A}$						
1	3	3																	
2	6	6																	
3	9	9																	
4	12	12																	
5	15	15																	
6	18	18																	
7	21	21																	
8	24	24																	
9	27	27																	
10	30	30																	

Таблица 6 – Параметры установившегося режима разомкнутой сети

№ п/п	Измеряемые величины						Вычисляемые величины			
	$P_{H2,Br}$	$Q_{H2,BAr}$	P_4,Br	P_5,Br	Q_4,BAr	Q_5,BAr	$U_{23,B}$	$\Delta P_{3,Br}$	$\Delta U_{2-3,B}$	S_{H2,B^*A}
1	3	3								
2	6	6								
3	9	9								
4	12	12								
5	15	15								
6	18	18								
7	21	21								
8	24	24								
9	27	27								
10	30	30								

Контрольные вопросы

1. Какие сети называются распределительными?
2. Какие допущения принимаются при расчете разомкнутых распределительных сетей?
3. По какому принципу строится схема замещения распределительной сети?
4. Перечислите основные типы потребителей электрической энергии.
5. Назовите способы защиты потребителей электрической энергии.
6. Классификация электрических сетей.
7. Параметры качества электрической энергии.
8. Пути повышения коэффициента активной мощности.
9. Чем отличаются $\cos \varphi$ от $\tan \varphi$?

Литература

1. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / под общ. ред. А.А. Федорова. - М. : Энергия, 1973.
2. Правила устройства электроустановок. - М. : КНОРУС, 2009. – 444 с.

Лабораторная работа № 4

Снятие статической характеристики мощности по напряжению батареи конденсаторов

Цель работы: приобретение практических навыков с мнемосхемой; составление принципиальных схем на их основе; снятие статической характеристики мощности по напряжению батареи конденсаторов.

Программа исследования

1. Ознакомление со схемой электрических соединений (рис.9).
2. Составить принципиальную схему.
3. Собрать схему электрических соединений.
4. Произвести необходимые замеры согласно таблице 7 и построить соответствующие графики.
5. Подключить осциллограф к зажимам нагрузки и проследить процесс заряда конденсатора.
6. Сделать обоснованные выводы и ответить на контрольные вопросы.

Указания по проведению экспериментов

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель А9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора А1.
- Установите переключателем желаемые параметры модели А2 линии электропередачи и емкостной нагрузки А12.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров Р1 и измерителя мощностей Р2.
- Активизируйте используемый мультиметр.
- Включите выключатель А9.

- Варьируя коэффициент трансформации трансформатора A1, изменяйте напряжение U на емкостной нагрузке A12 (батареи конденсаторов) и заносите показания мультиметра, включенного как вольтметр, блока P1, а также ваттметра измерителя P2 (реактивную мощность Q, потребляемую емкостной нагрузкой A12 (батареи конденсаторов) в таблицу 7.

Таблица 7 - Статистические параметры эксперимента

U, В										
Q, ВАр										

- По завершении эксперимента отключите источник G1, выключатели «СЕТЬ» измерителя мощностей P2 и блока мультиметров P1.

- Используя данные таблицы 7 постройте искомую статическую характеристику по напряжению $Q=f(U)$ батареи конденсаторов.

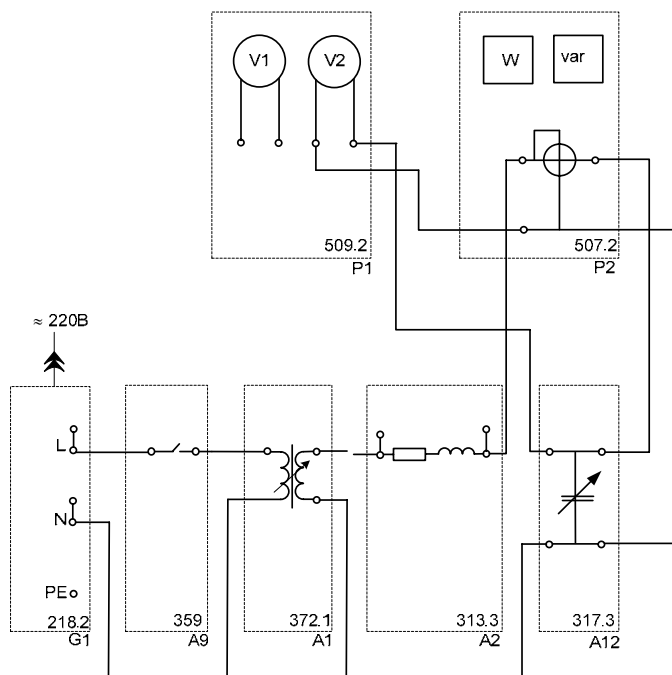


Рисунок 9 - Схема электрических соединений

Теоретические сведения

Емкостным (отражающим запасание электрической энергии) называют элемент (рис. 10, а), характеризуемый зависимостью $q(u)$ (заряда q от напряжения u), или кулон-вольтной характеристикой (рис. 10, б).

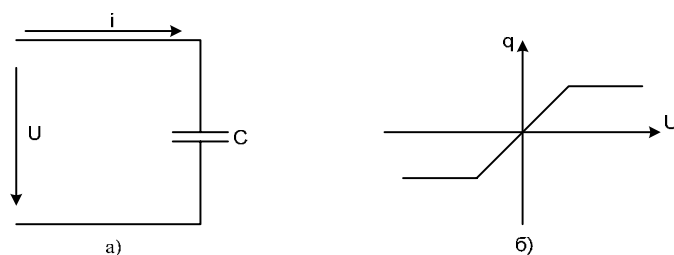


Рисунок 10 - Условное обозначение конденсатора и его кулон-вольтная характеристика

Для линейного конденсатора $q(t) = C_U(t)$ и связь тока с напряжением

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}.$$

Обратная зависимость имеет вид:

$$U(t) = U_{C(0)} + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d(\tau)$$

Энергия электрического тока, запасаемая в конденсаторе за время $(0, t)$

$$W_C = \frac{CU^2(t)}{2}$$

Идеальные элементы электрической цепи преобразуют форму электрических сигналов (напряжений, токов) в соответствии с их математическими моделями. В качестве иллюстрации определим напряжения идеального пассивного линейного емкостного элемента при токе, имеющего форму треугольного импульса (рис.11).

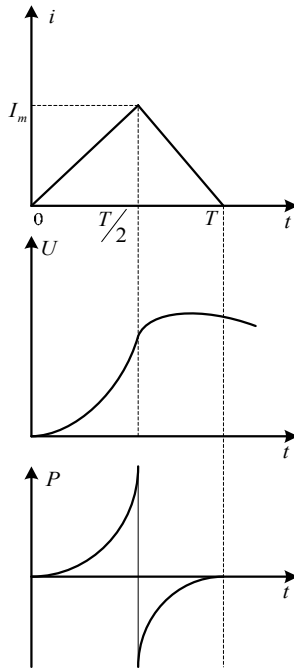


Рисунок 11 - Графическое изображение напряжения идеального пассивного линейного емкостного элемента

Аналитическое описание импульса имеет вид:

$$i(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, t > T; \\ 2I_m \frac{t}{T}, & 0 < t < \frac{T}{2}; \\ 2I_m(1 - \frac{t}{T}), & \frac{T}{2} < t < T. \end{cases}$$

Если принять $U_{C(0)} = 0$, получим выражение напряжения:

$$U_{c(t)} = \begin{cases} U_m (\frac{t}{T})^2, & 0 < t < \frac{T}{2}; \\ U_m \left[-\frac{1}{2} + 2\frac{t}{T} - (\frac{t}{T})^2 \right], & \frac{T}{2} < t < T; \\ \frac{U_m}{2}, & t > T. \end{cases}$$

где $U_m = I_m \frac{T}{C}$.

Кривые напряжения и тока отличаются, т.е. емкостной элемент искажает сигнал. Кроме того, наблюдается накопление заряда, приводящее к наличию напряжения на емкости после окончания импульса тока.

Контрольные вопросы

1. Какую функцию в электрической схеме осуществляет конденсатор?
2. Приведите схему блока питания электронной схемы с использованием конденсатора.
3. Какие типы конденсаторов вам известны?
4. Как измерить емкость конденсатора?
5. Для чего после снятия напряжения конденсатор необходимо разрядить и как это осуществить?
6. Чем отличаются конденсаторы по конструкции?

Литература

1. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / под общ. ред. А.А.Федорова. - М. : Энергия, 1973.
2. Правила устройства электроустановок. - М. : КНОРУС, 2009. – 444 с.

Лабораторная работа №5
Влияние компенсации реактивной мощности с помощью
конденсаторной батареи на параметры установившегося режима
разомкнутой распределительной электрической сети

Цель работы: приобретение практических навыков монтажа, исследование влияния статистических конденсаторов на параметры электрической сети.

Программа исследования

1. На основании схемы электрических соединений составить принципиальную схему.
2. Собрать на стенде схему электрических соединений (рис.12).
3. Произвести необходимые замеры, расчеты, заполнить таблицу 8.
4. Построить графики $Q = f(\cos \varphi)$, $S = f(\cos \varphi)$
 $\Delta P = f(\cos \varphi)$ (потери мощности в сети);
5. Составить отчет и сделать обоснованные выводы.

Указания по проведению экспериментов

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электрического питания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1.
- Установите переключателями желаемые параметры моделей A2, A3 линий электропередачи и нагрузок A4...A7 и A12.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и измерителя мощностей P2.
- Активизируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель A9.

- С помощью мультиметров, включенных как вольтметры, блока P1 измеряйте напряжения в интересующих точках исследуемой сети.
- Меняя положение переключателя коммутатора A8, с помощью измерителя P2 измеряйте величины активной и реактивной мощностей в интересующих точках исследуемой распределительной сети.
- Измерения проводите при различных значениях мощности емкостной нагрузки A12 (батареи конденсаторов).
- Сравнивая результаты измерений, сделайте выводы о влиянии компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи на параметры установившегося режима работы разомкнутой распределительной электрической сети.
- По завершении эксперимента отключите источник G1, выключатели «СЕТЬ» измерителя мощностей P2 и блока мультиметров P1.

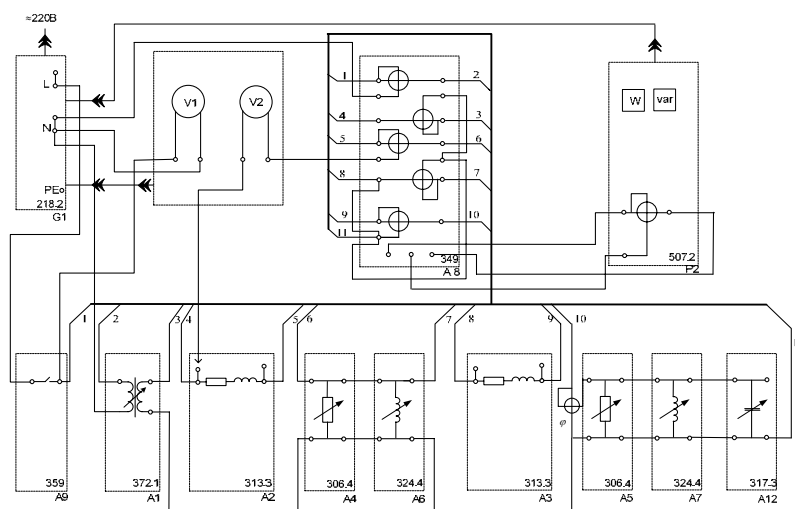


Рисунок 12 - Схема электрических соединений

Теоретические сведения

Мероприятия по уменьшению потребления реактивной мощности:

- 1) упорядочение технологического процесса, ведущее к улучшению энергетического режима работы оборудования;
- 2) замена мало загруженных асинхронных электродвигателей меньшей мощности;
- 3) понижение напряжения у двигателей, систематически работающих с малой нагрузкой;
- 4) ограничение холостого хода двигателя;
- 5) применение синхронных двигателей вместо асинхронных той же мощности в случаях, когда это возможно по условиям технологического процесса;
- 6) повышение качества ремонта электрических двигателей;
- 7) замена и перестановка мало загруженных трансформаторов.

Для компенсации реактивной мощности могут быть применены синхронные компенсаторы, конденсаторы и имеющиеся в эксплуатации синхронные двигатели.

Высокая удельная стоимость (руб/кВАр) синхронных компенсаторов обуславливает применение их только на крупных предприятиях.

Конденсаторы – специальные емкости, предназначенные для выработки реактивной мощности. По своему действию они эквивалентны перевозбужденному синхронному компенсатору и могут работать лишь как генераторы реактивной мощности.

Обычно батареи конденсаторов включают в сеть трехфазного тока по схеме треугольника. Конденсаторы по сравнению с другими источниками реактивной мощности обладают рядом преимуществ:

- малые потери активной мощности (0,0025-0,005 кВт/кВАр);
- простотой эксплуатации.

Среди недостатков конденсаторов следует отметить зависимость генерируемой или реактивной мощности от напряжения:

$$Q = U^2 \omega C \cdot 10^{-3} \text{ кВар.}$$

Применение синхронных двигателей в условиях промышленных предприятий может быть целесообразным в следующих случаях:

- установка синхронных двигателей вместо асинхронных на приводных механизмах, где это возможно по технологическим условиям;
- установка синхронных двигателей большей мощности, чем требует приводной механизм.

Таблица 8 - Измеряемые и вычисляемые величины

Измеряемые величины											
C, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Q_1 , ВАр											
P_2 , Вт											
Q_2 , ВАр											
P_3 , Вт											
Q_3 , ВАр											
P_4 , Вт											
Q_4 , ВАр											
P_5 , Вт											
Q_5 , ВАр											
$\cos \varphi$											
U_{4-9} , В											

Вычисляемые величины											
ΔP_{4-9} , ВАр											
ΔU_{4-9} , В											
S , ВА											

Контрольные вопросы

1. Изобразите векторные диаграммы тока и напряжения при активной, емкостной и индуктивной нагрузках.
2. Изобразите векторную диаграмму поясняющую процесс компенсации реактивной мощности.
3. Чем отличается индивидуальная от общей компенсации реактивной мощности?
4. Назовите причины возникновения в сети избытка реактивной мощности индуктивного характера.
5. К чему приводит избыток реактивной мощности в сети?
6. Перечислите пути повышения $\cos \varphi$.

Литература

1. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / под общ. ред. А.А. Федорова. - М. : Энергия, 1973.
2. Правила устройства электроустановок. - М.: КНОРУС, 2009. – 444 с.

Содержание

Техника безопасности при проведении лабораторных работ	3
Порядок проведения лабораторных работ.....	3
Лабораторная работа №1. Исследование параметров установившегося режима работы трансформатора.....	5
Лабораторная работа №2. Исследование параметров установившегося режима работы линии электрической передачи.....	12
Лабораторная работа №3. Исследование параметров установившегося режима разомкнутой сети.....	18
Лабораторная работа №4. Снятие статической характеристики мощности по напряжению батареи конденсаторов.....	25
Лабораторная работа №5. Влияние компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи на параметры установившегося режима разомкнутой распределительной электрической сети.....	30

Учебное издание

Амирова С.С.
Чекунов Н.И.
Булатова В.М.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Сдано в набор 07.04.2011.
Подписано в печать 27.09.2011.
Бумага писчая. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 2,25. Тираж 100.
Заказ №30.

НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», г. Нижнекамск, 423570,
ул. 30 лет Победы, д. 5а.