

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
(ЭЛЕКТРОТЕХНИКА)**

Методические указания к лабораторным работам

Составители Л. Р. Куц, В. Н. Злобин, М. А. Першина, Н. Р. Горбунова, А. С. Кудашев



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2014

Волгоград
ВолгГАСУ
2014

УДК 621.3(076.5)
ББК31.2я73
И623

Инженерные системы зданий и сооружений (Электротехника) [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Л. Р. Куц, В. Н. Злобин, М. А. Першина, Н. Р. Горбунова, А. С. Кудашев. — Электронные текстовые и графические данные (701 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — Учебное электронное издание сетевого распространения. Систем. требования: РС 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Adobe Reader 6.0; Internet Explorer 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/online/> — Загл. с титул. экрана.

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Инженерные системы зданий и сооружений (Электротехника)» предназначены для студентов всех технических специальностей очной и заочной форм обучения. Содержание лабораторных работ охватывает цели выполнения работ, краткие теоретические сведения, описание лабораторной установки, электрические схемы и вопросы для самопроверки.

УДК 621.3(076.5)
ББК31.2я73

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	5
ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	
Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	6
Лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ	9
Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ	13
Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ «ЗВЕЗДОЙ»	17
Лабораторная работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ «ТРЕУГОЛЬНИКОМ»	22
Лабораторная работа № 6. ИЗМЕРЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	26
Лабораторная работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА	29
Библиографический список	32

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях инженер любого профиля не может активно содействовать совершенствованию технологического процессов без достаточно глубоких знаний основ электротехники и электроники. В связи с этим учебными планами технических высших учебных заведений предусмотрен курс электротехники и основ электроники, при изучении которых немаловажное значение имеет лабораторный практикум.

Правильное сочетание теоретических знаний с практикой позволяет обеспечить высокое качество подготовки выпускников. Лабораторные работы способствуют более глубокому усвоению основных теоретических положений изучаемых электротехнических устройств.

В процессе выполнения лабораторных работ создаются также определенные условия для получения студентами необходимых навыков в пользовании измерительными приборами и электрооборудованием. У студентов накапливается определенный опыт экспериментирования и развиваются аналитическое мышление, критический подход к результатам проведения эксперимента.

Лабораторные работы, рассмотренные в пособии, полностью соответствуют программам высших учебных заведений и позволяют всесторонне осветить основные вопросы, связанные с исследованием электрических цепей и электротехнических устройств. Каждая работа рассчитана на четыре академических часа. Первые два часа рекомендуется проводить в компьютерном классе с использованием программного продукта, включающего в себя краткие теоретические сведения по изучаемой теме, расчетную часть по индивидуальным заданиям и тестирование. Последующие два часа предполагается проводить в лаборатории.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные стенды являются действующими электроустановками и при определенных условиях могут стать источником опасности поражения электрическим током. Поэтому при работе в лаборатории электротехники во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и оборудования студент при выполнении лабораторных работ должен выполнять следующие правила внутреннего распорядка.

1. К работе в лаборатории допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности.
2. При работе в лаборатории запрещается приносить собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места.
3. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места без разрешения преподавателя и переходить от одного стенда к другому.

Для успешного выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться положениями:

- повторить соответствующий теоретический материал;
- внимательно ознакомиться с описанием работы и уяснить цели и задачи лабораторной работы;
- ознакомиться с объектом исследования, регулирующей и измерительной аппаратурой;
- подготовить в рабочей тетради соответствующие схемы, таблицы наблюдений.

Неподготовленные студенты к работе не допускаются.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

В процессе выполнения лабораторных работ необходимо соблюдение ряда требований.

1. Приступая к работе, необходимо помнить об опасности поражения электрическим током и быть осторожным.
2. Перед сборкой электрической цепи студенты должны предварительно ознакомиться с электрическим оборудованием и измерительными приборами, предназначенными для проведения лабораторной работы. При этом следует убедиться, что лабораторный стенд обесточен.
3. Следует осмотреть изоляцию соединительных проводов и убедиться в её исправности. Нельзя пользоваться проводами без наконечников.
4. Сборку цепи необходимо проводить в точном соответствии с заданием. При сборке схемы следует избегать пересечения проводов и обеспечить высокую надежность контактов всех разъемных соединений.
5. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю.
6. Включение электрической цепи под напряжение производится после проверки её преподавателем, с его разрешения и в его присутствии.
7. Запрещается оставлять действующую электроустановку без наблюдения.
8. При обнаружении неисправности в цепи, появлении специфичного запаха, повреждения оборудования или приборов необходимо немедленно отключить электропитание стенда и известить об этом преподавателя.
9. Перед включением регулируемого источника питания необходимо убедиться, что его ручка стоит в положении, соответствующем минимальному выходному напряжению.
10. При работе с мультиметром следует правильно выбирать род измеряемой величины, предел её измерения и гнезда для подключения щупов.
11. Если стрелка какого-либо прибора выходит за пределы шкалы, надо немедленно выключить источник питания, доложить преподавателю.
12. Разбирать электрическую цепь, а также переходить к сборке новой можно только по разрешению преподавателя.
13. Лабораторная работа считается выполненной только после утверждения её результатов преподавателем и приведения рабочего места в порядок.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы. Отчет по лабораторной работе выполняется в соответствии с требованиями ГОСТов.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- электрические схемы;
- таблицы результатов измерений;
- расчетные формулы, необходимые расчеты;
- графики или диаграммы;
- краткие выводы о проделанной работе.

По указанию преподавателя в отчете даются ответы на контрольные вопросы.

На следующем занятии студент должен представить руководителю оформленный отчет о проделанной работе и защитить работу.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы

1. Получить навыки сборки электрических цепей, включения в электрическую цепь измерительных приборов.
2. Изучить метод расчета цепи и определить требуемые параметры отдельных электроприемников и всей цепи.
3. Приобрести навыки экспериментального определения токов в разветвленной линейной цепи постоянного тока и изучить характер распределения потенциала по цепи с несколькими источниками.

Основные теоретические сведения

Сложными электрическими цепями являются многоконтурные разветвленные цепи, в которых произвольно размещены резисторы и источники ЭДС (рис. 1.1).

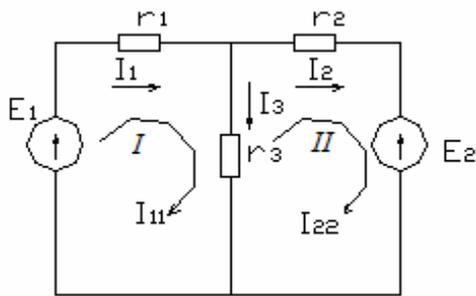


Рис. 1.1. Сложная электрическая цепь

В основе расчета сложных электрических цепей лежат законы Кирхгофа. Из существующих методов расчета наиболее часто применим метод контурных токов. Метод заключается в том, что вместо действительных токов в ветвях на основании второго закона Кирхгофа определяют *контурные токи* в независимых ветвях. Контурный ток – условный расчетный ток, который замыкается только по своему контуру, оставаясь неизменным по величине и направлению вдоль него. Согласно этому методу действительный ток в любой ветви, принадлежащей только одному контуру, численно равен контурному току; а в ветви, принадлежащей нескольким контурам, равен алгебраической сумме контурных токов, проходящих через эту ветвь.

Число уравнений равно числу независимых контуров $N=b - (y - 1)$, где b – число ветвей; y – число узлов.

Для схемы рис. 1 $N=3 - (2 - 1) = 2$.

Уравнения, составленные по второму закону Кирхгофа

$$E_1 = I_{11} (r_1 + r_2) - I_{22} r_3$$

$$E_2 = -I_{11} r_3 + I_{22} (r_2 + r_3),$$

здесь $(r_1 + r_3)$ и $(r_2 + r_3)$ – собственные сопротивления контуров I и II , r_3 – общее сопротивление контуров I и II .

Далее находят контурные токи и через них действительные токи ветвей:

$$I_1 = I_{11}; \quad I_2 = I_{22}$$

$$I_3 = I_{11} - I_{22}.$$

Для решения системы уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа целесообразно применять метод определителей и матриц. В этом случае уравнение для контурных токов записывают в обобщенном виде

$$E_{11} = I_{11} R_{11} - I_{22} R_{12}$$

R_{11} , R_{22} – собственные сопротивления контуров.

$$E_{22} = -I_{11} R_{21} + I_{22} R_{22}$$

$R_{12} = R_{21}$ – общее (взаимное) сопротивление,

Решая систему, например, методом Жордана – Гаусса, определяют контурные токи

$$I_k = \Delta_k / \Delta,$$

где Δ_k – частный определитель, Δ – определитель.

Таким образом, метод определителей заключается в составлении определителей системы и в нахождении по ним контурных токов. По контурным токам определяются истинные токи всех ветвей схемы.

Описание схемы электроустановки

Схема замещения исследуемой цепи приведена на рис. 1.2 и состоит из двух источников ЭДС E_1 , E_2 и шести резисторов $R_1...R_6$. Значение ЭДС E_2 фиксировано и равно 36 В, а значение ЭДС E_1 устанавливается согласно заданию с помощью рукоятки автотрансформатора T_3 .

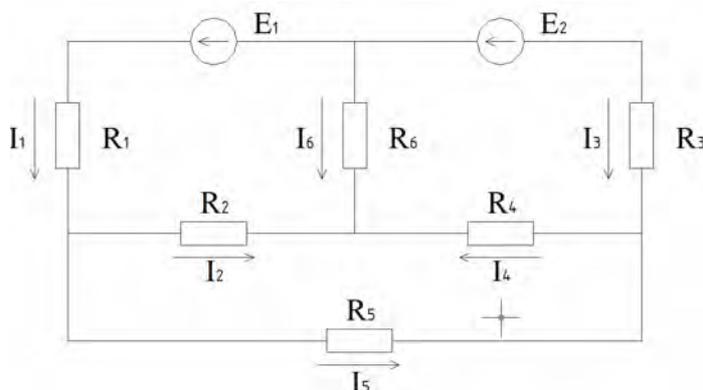


Рис. 1.2. Схема замещения цепи постоянного тока

Для удобства сборки электрической цепи пользуются монтажной схемой (рис. 1.3), на которой помимо элементов обозначены их выводы (зажимы), например, X1. Пунктирные линии между выводами элементов обозначают недостающие проводники, соединяющие собой отдельные элементы.

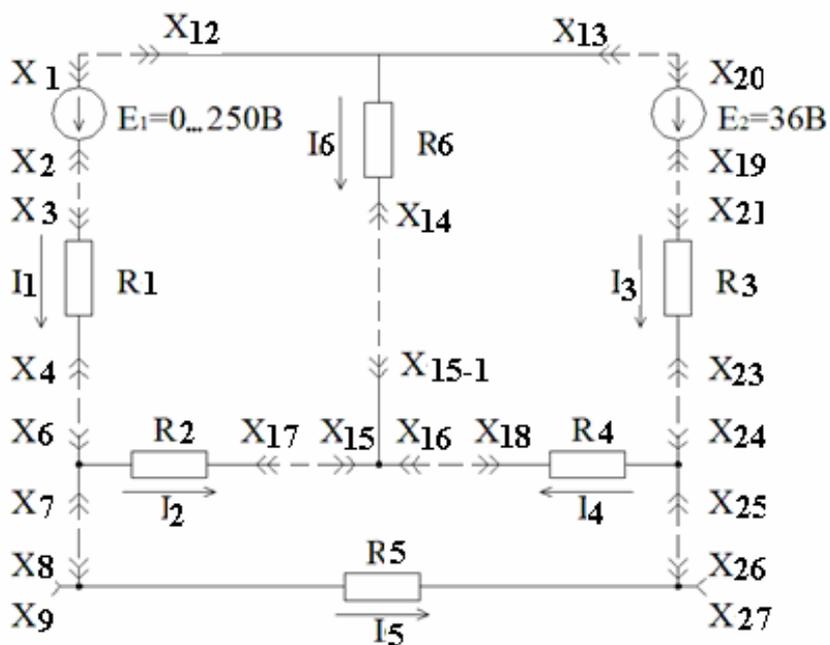


Рис. 1.3. Монтажная схема цепи постоянного тока

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с приборами и аппаратами экспериментальной установки.
2. Занести исходные данные согласно заданному варианту в подготовленную таблицу результатов расчетов и измерений.
3. Собрать схему в соответствии с рис. 1.3 и заданными параметрами, включив в нее измерительные приборы (на монтажной схеме цепи измерительные приборы (амперметры) не показаны). Предъявить схему преподавателю для проверки.
4. Подать напряжение на лабораторный стенд вводным автоматическим выключателем, при этом загорится сигнальная лампа Н2.
5. Рукояткой автотрансформатора ТЗ установить заданное значение ЭДС E_1 . Снять показания приборов. Результаты измерений занести в таблицу.
6. Отключить стенд в обратной последовательности.
7. Сравнить результаты измерений и расчета, определить погрешность измерений и сделать вывод.

Параметры исследуемой цепи

№ стендов	№ вариантов	E_1 , В	E_2 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом
1	1	20	36						
	2	24	36	22	27	74	26	75	39
	3	28	36						
	4	21	36						
2	5	25	36	74	27	28	74	30	37
	6	29	36						
	7	22	36						
3	8	26	36	39	145	38	69	144	37
	9	30	36						
	10	20	36						
4	11	24	36	47	40	57	70	52	51
	12	28	36						
	13	21	36						
5	14	25	36	300	58	69	29	76	48
	15	29	36						
	16	22	36						
6	17	26	36	57	81	45	40	32	48
	18	30	36						
	19	20	36						
7	20	24	36	36	68	46	48	56	44
	21	28	36						
	22	21	36						
8	23	25	36	72	69	85	48	59	45
	24	29	36						
	25	22	36						
9	26	26	36	44	69	48	56	47	36
	27	30	36						

Результаты расчетов измерений

Параметры схемы	$E_1, В$	$E_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$I_4, А$	$I_5, А$	$I_6, А$
Вычисленные значения								
Измеренные значения								
Относительная погрешность								

Контрольные вопросы

1. Объясните понятия: электрический ток, напряжение, ЭДС, мощность, узел, ветвь, контур.
2. Сформулируйте основные законы электротехники.
3. Назовите источники напряжения, охарактеризуйте их вольтамперные характеристики.
4. Объясните сущность метода контурных токов.
5. Назовите режимы работы цепи постоянного тока.
6. Определите баланс мощностей в цепи постоянного тока.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ

Цель работы

1. Приобрести навыки сборки простых электрических цепей.
2. Изучить свойства цепей при последовательном соединении активных и реактивных элементов.
3. Изучить метод расчета последовательной цепи однофазного переменного тока.
4. Построить векторные диаграммы напряжений и тока для заданной нагрузки.

Основные теоретические сведения

При подведенном напряжении $u = U_m \sin \omega t$ к последовательно соединенным элементам R, L, C (рис. 2.1а), не зависящим от величины напряжения на их зажимах и тока цепи, по цепи протекает синусоидальный ток $i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$, действующее значение которого определяется по закону Ома: $I \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{Z}$;

где Z – полное сопротивление цепи;

$X = X_L - X_C$ – разность индуктивного и емкостного сопротивлений, называемая реактивным сопротивлением;

$X_L = \omega L$ – индуктивное сопротивление;

$X_C = 1/\omega C$ – емкостное сопротивление.

Подведенное синусоидальное напряжение равно сумме синусоидальных напряжений на отдельных элементах:

$$u(t) = u_R(t) + u_L(t) + u_C(t)$$

или в геометрической форме для векторов действующих значений этих напряжений

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C.$$

Последнее соотношение говорит о том, что вектор действующего значения напряжения, приложенного к такой цепи, равен геометрической сумме векторов напряжений на отдельных её участках (рис. 2.1б, в). При этом согласно известному фазовому соотношению вектор напряжения на резисторе совпадает по фазе с вектором тока, на конденсаторе он отстает от вектора тока на 90° , а на катушке опережает вектор тока на 90° .

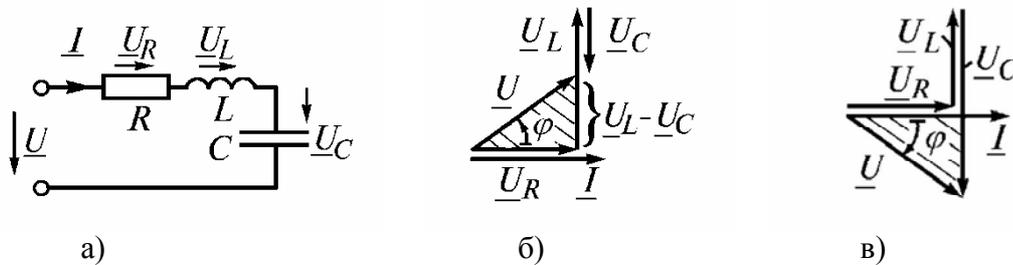


Рис. 2.1. Схема последовательного соединения элементов однофазной цепи и векторные диаграммы с учетом фазовых соотношений

Угол сдвига фаз между входным синусоидальным напряжением и потребляемым цепью током определен из треугольника напряжений или сопротивлений:

$$\varphi = \arctg \frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{X}{R}.$$

Если $X_L > X_C$, т.е. $X > 0$, то цепь имеет индуктивный характер. В этом случае $U_L > U_C$ (рис. 2.1б), а сдвиг фаз $\varphi > 0$. Если $X_L < X_C$, т.е. $X < 0$, то цепь имеет емкостный характер и сдвиг фаз $\varphi < 0$ (рис.2.1в).

Особый случай цепи, когда $X_L = X_C$. Такой режим называется резонансом напряжений, т.е. реактивное сопротивление $X = X_L - X_C = 0$. В этом случае цепь имеет чисто активный характер, а угол сдвига фаз $\varphi = 0$.

Активная мощность, поступающая в приемник

$$P = UI \cos \varphi = UI_a = U_a I = I^2 R = gU^2, \text{ Вт}$$

Активная мощность, потребляемая приемником, не может быть отрицательной, поэтому всегда $\cos \varphi > 0$.

Реактивная мощность характеризует собой энергию, которой обмениваются генератор и приемник. Она определяется максимальным значением мощности на участке цепи с реактивными элементами

$$Q = U_p I = I^2 X = U^2 b = I_p U, \text{ вар.}$$

Реактивная мощность цепи может быть положительной и отрицательной в зависимости от знака угла φ . При индуктивном характере входного сопротивления ($\varphi > 0$) реактивная мощность положительна, при емкостном характере ($\varphi < 0$) – отрицательна.

Произведение действующих значений тока и напряжения на входе цепи называется полной мощностью

$$S = UI, \text{ ВА}$$

Полная мощность является расчетной мощностью электрических установок (генераторов, трансформаторов и др.).

$$S^2 = U^2 I^2 = (UI \cos \varphi)^2 + (UI \sin \varphi)^2 = P^2 + Q^2;$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Описание схемы электроустановки

Схема для проведения опыта состоит из трех последовательно соединенных элементов: катушки индуктивности L , R_k , конденсатора C , который вводится в цепь ключами $S_{22} \dots S_{27}$, и резистора R_{10} (рис. 2.2). Схема получает питание от сети однофазного тока напряжением 220 В через автотрансформатор T_3 (рис.2. 3).

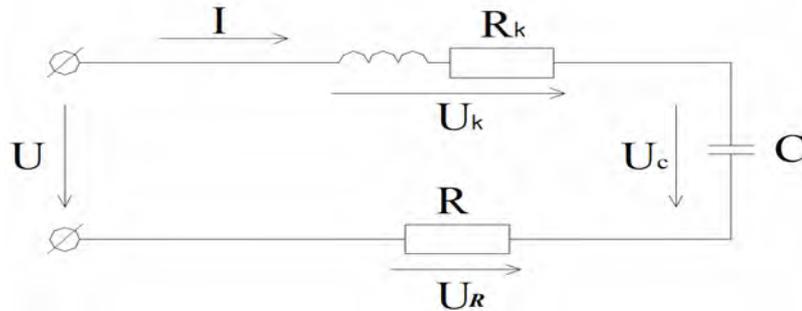


Рис.2.2. Схема замещения цепи

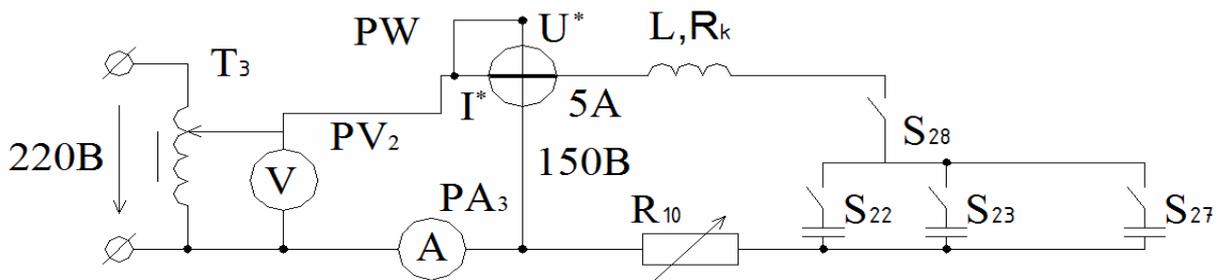


Рис. 2.3. Схема электрическая принципиальная однофазной цепи с последовательным соединением элементов

Сборку электрической цепи произвести по монтажной схеме (рис. 2.4).

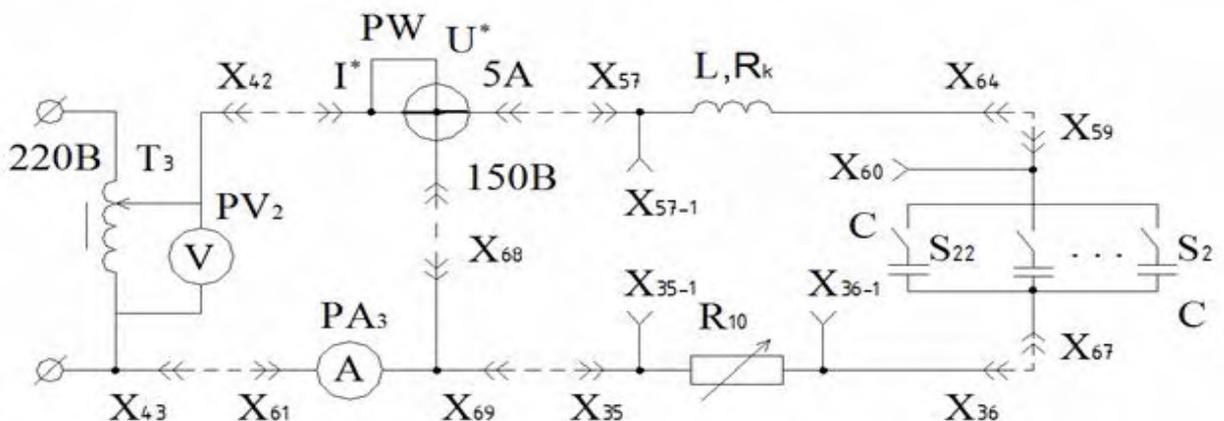


Рис. 2.4. Монтажная схема однофазной цепи с последовательным соединением элементов

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с приборами и аппаратами экспериментальной установки.
2. Занести исходные данные согласно заданному варианту в подготовленную таблицу и рассчитать величину емкости конденсатора.
3. Собрать схему в соответствии с 2.. 4 и заданными параметрами элементов $R10$ и C . Предъявить схему преподавателю для проверки.
4. Подать напряжение на лабораторный стенд вводным автоматическим выключателем, при этом загорится сигнальная лампа Н2.
5. Рукояткой автотрансформатора ТЗ установить заданное напряжение. Снять показания приборов, а также измерить падения напряжения на каждом элементе схемы. Результаты измерений занести в таблицу.
6. Отключить стенд в обратной последовательности.
7. Рассчитать параметры цепи: ток, падения напряжений на элементах, мощности, коэффициенты мощности элементов и всей цепи.
8. Сравнить результаты измерений и расчета, определить погрешность измерений и сделать вывод.
9. Построить векторную диаграмму напряжений в масштабе.

Параметры исследуемой цепи

№ стенов	№ вариантов	U , В	L , Гн	R_k , Ом	X , Ом	R , Ом
1	1	60	0,32	32	30	30
	2	80			-40	45
	3	100			-70	60
	4	110			80	30
2	5	120	0,59	52	60	45
	6	130			-70	60
	7	100			50	30
3	8	110	0,42	46	-40	45
	9	120			-60	60
4	10	70	0,29	28	20	30
	11	90			-50	45
	12	110			-80	60
5	13	100	0,46	49	70	30
	14	110			50	45
	15	120			-80	60
6	16	120	0,51	59	90	90
	17	130			-50	45
	18	140			-80	60
	19	60			10	30
7	20	80	0,26	24	-40	45
	21	100			-60	60
	22	100			70	30
8	23	120	0,82	56	50	45
	24	140			-80	60
	25	110			90	30
9	26	120	0,56	48	60	45
	27	130			-60	60

Результаты расчетов и измерений

Параметры схемы	U , В	I , А	P , Вт	U_K , В	U_C , В	U_R , В	Примечание
Вычисленные значения							$X_L =$ $X_C =$
Измеренные значения							$C =$ $Z_K =$
Относительная погрешность							$Z =$ $\cos\varphi =$ $\cos\varphi_K =$

Контрольные вопросы

1. Объяснить понятия активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.
2. Определить векторы токов и напряжений относительно друг друга на активном, индуктивном и емкостном сопротивлениях.
3. Какие энергетические процессы происходят на активном, индуктивном и емкостном сопротивлениях?
4. Объяснить, почему напряжение на катушке и конденсаторе, при последовательном их соединении может быть больше общего напряжения?
5. Что понимается под активной, реактивной и полной мощностью в цепи переменного тока?
6. Объяснить резонанс напряжений в цепях синусоидального тока. Как можно увеличить напряжение на индуктивном и емкостном элементах при неизменном токе цепи?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ

Цель работы

1. Научиться производить анализ цепи переменного синусоидального тока при параллельном соединении приемников.
2. Изучить метод расчета параллельной цепи однофазного переменного тока и определить требуемые параметры отдельных электроприемников и всей цепи.
3. Построить векторные диаграммы напряжения и токов для заданной нагрузки.

Основные теоретические сведения

В разветвленной электрической сети электроприемники z_1, z_2, z_3 находятся под одинаковым напряжением $u = U_m \sin \omega t$ и если они линейны, то в каждом из них устанавливается синусоидальный ток $i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$.

Действующее значение тока в любой из параллельных ветвей с параметрами r, L, C определяется как

$$I_i = \frac{U}{z_i},$$

где $z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$ – полное сопротивление цепи.

Угол сдвига фаз находят из соотношения

$$\varphi_i = \arctg \frac{x_i}{r_i}$$

В зависимости от знака реактивного сопротивления x_i угол φ может быть положительным или отрицательным.

Ток в неразветвленной части электрической цепи может быть определен как геометрическая сумма токов I_1, I_2, \dots, I_n отдельных приемников

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \dots + \vec{I}_n$$

Величину общего тока можно определить также по формуле

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$$

где I_a, I_p – соответственно активная и реактивная составляющие тока, определяемые из выражений:

$$I_a = I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 + \dots + I_n \cos \varphi_n$$

$$I_p = I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2 + \dots + I_n \sin \varphi_n$$

Общий ток может быть найден также из соотношения

$$I = U \sqrt{g^2 + b^2} = Uy$$

где g, b, y – соответственно эквивалентные активная, реактивная и полная проводимости разветвленной электрической цепи, определяемые как

$$g = \sum_1^n g_i = \sum_1^n \frac{r_i}{z_i^2}$$

$$b = \sum_1^n b_i = \sum_1^n \frac{x_i}{z_i^2}$$

где g_i, b_i – соответственно активная и реактивная проводимости отдельных электроприемников, входящих в схему параллельного соединения.

Описание схемы электроустановки

Схема для проведения опыта состоит из трех параллельно соединенных элементов: катушки индуктивности $R_k L_k$, конденсатора C и набора ламп накаливания, которые вводятся в цепь ключами $S_6 \dots S_{10}$ (рис. 3.1). Схема получает питание от сети однофазного тока напряжением 220 В через автотрансформатор ТЗ (рис. 3.2).

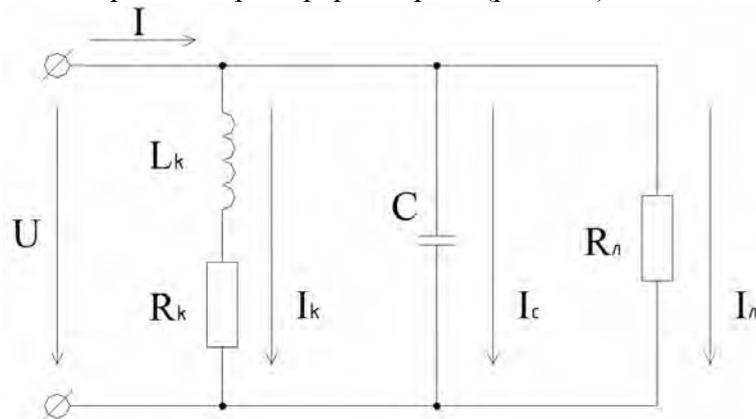


Рис.3.1. Схема замещения цепи

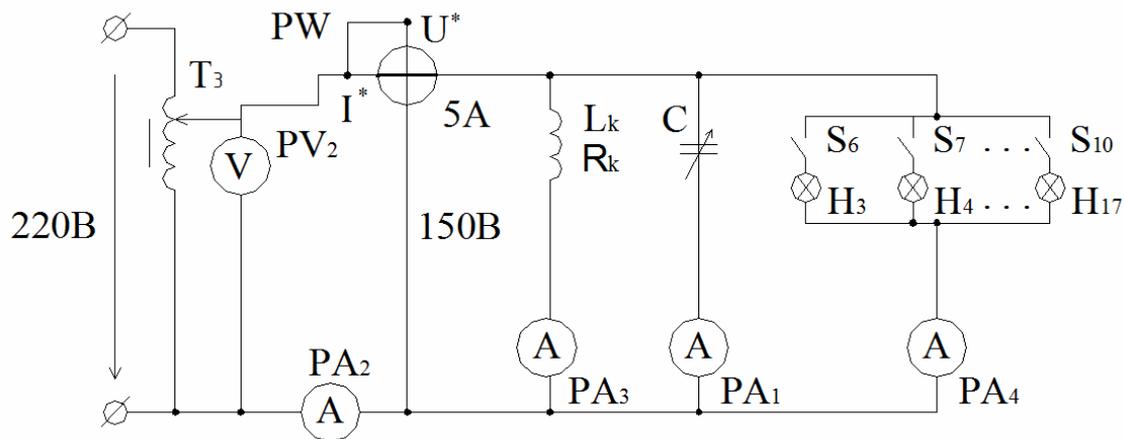


Рис.3.2. Схема электрическая принципиальная однофазной цепи с последовательным соединением элементов

Монтажная схема экспериментальной установки изображена на рис. 3.3.

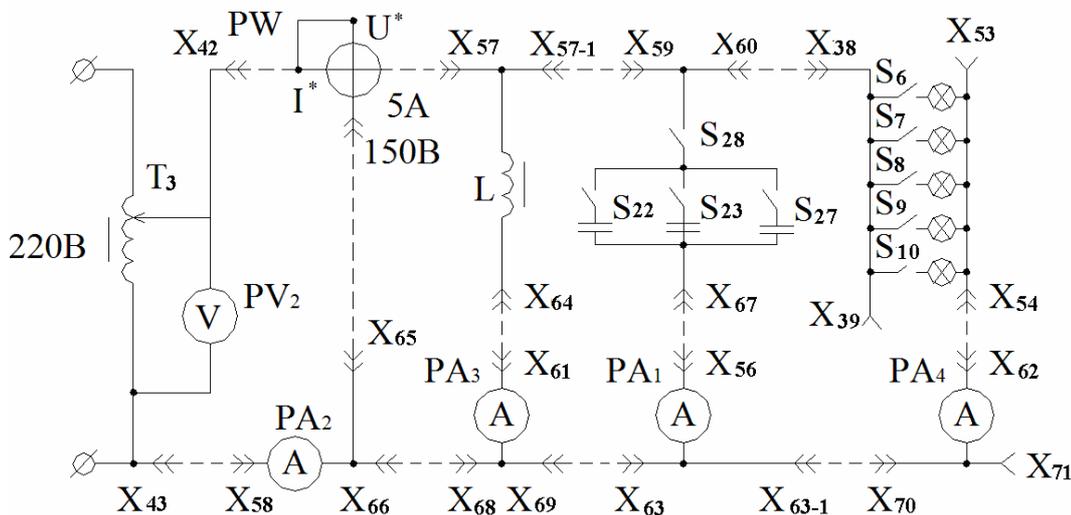


Рис.3.3. Монтажная схема однофазной цепи с параллельным соединением элементов

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с приборами и аппаратами экспериментальной установки.
2. Занести исходные данные согласно заданному варианту в подготовленную таблицу.
3. Собрать схему в соответствии с рис. 3.3 и заданными величиной емкости, количеством ламп. Предъявить схему преподавателю для проверки.
4. Подать напряжение на лабораторный стенд вводным автоматическим выключателем, при этом загорится сигнальная лампа Н2.
5. Рукояткой автотрансформатора Т3 установить заданное напряжение. Измерить значения токов в ветвях. Результаты измерений занести в таблицу.
6. Снять напряжение со стенда и отключить вводной автоматический выключатель.
7. Рассчитать параметры цепи: токи в ветвях и в неразветвленной части, мощности, коэффициенты мощности элементов и всей цепи, углы сдвига фаз.

8. Сравнить результаты измерений и расчета, определить погрешность измерений и сделать вывод.
9. Построить векторную диаграмму токов в масштабе.

Результаты расчетов и измерений

Параметры схемы	U, В	P, Вт	I _K , А	I _C , А	I _L , А	I, А	Примечание
Вычисленные значения							Q = S =
Измеренные значения							cosφ = cosφ _K =
Относительная погрешность							

Параметры исследуемой цепи

№ стенов	№ вариантов	U, В	L _K , Гн	R _K , Ом	C, мкФ	R _L , Ом	Количество ламп
	1	100			42	55	4
1	2	110	0,32	32	36	78	3
	3	120			30	120	2
	4	160			27	68	4
2	5	180	0,59	52	24	97	3
	6	200			21	153	2
	7	120			45	73	4
3	8	130	0,42	46	39	83	3
	9	140			33	130	2
	10	70			47	38	5
4	11	80	0,29	28	42	50	4
	12	90			36	70	3
	13	110			42	47	5
5	14	130	0,46	29	36	62	4
	15	150			30	90	3
	16	140			36	65	4
6	17	150	0,51	59	30	89	3
	18	160			24	135	2
	19	60			47	29	6
7	20	70	0,26	24	42	38	5
	21	80			37	50	4
	22	180			27	72	4
8	23	190	0,82	56	24	99	3
	24	200			21	153	2
	25	150			33	67	4
9	26	160	0,56	48	30	90	3
	27	170			24	142	2

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы определения величины общего тока в разветвленной цепи?
2. Как изменится общий ток и ток, потребляемый катушкой, если параллельно к ней подключить конденсаторную батарею, считая напряжение постоянным?
3. Сформулировать первый закон Кирхгофа для синусоидальной цепи

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ «ЗВЕЗДОЙ»

Цель работы

1. Исследовать симметричные и несимметричные режимы работы трехфазной цепи при соединении потребителей электроэнергии по схеме "звезда".
2. Проверить экспериментальным путем соотношения между токами и напряжениями симметричного и несимметричного трехфазного потребителя.
3. Исследовать влияние нейтрального провода на значения фазных напряжений при симметричной и несимметричной нагрузке в четырехпроводной трехфазной системе.
4. Научиться строить векторные диаграммы напряжений и токов трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке фаз.

Основные теоретические сведения

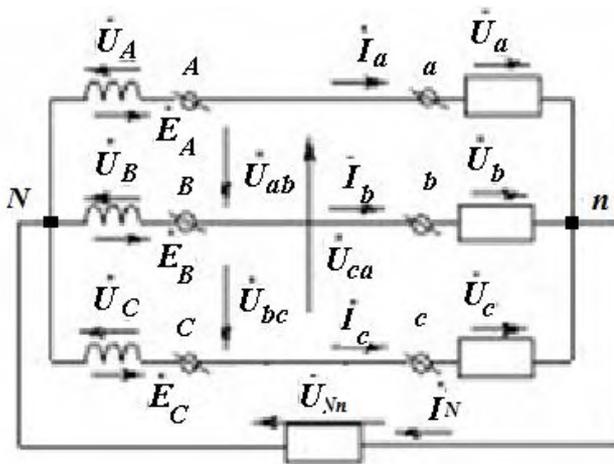


Рис.4.1. Схема трехфазной цепи с источником и приемником, включенными по схеме «звезда»

(нейтральный) провод, предназначенный для поддержания одинаковых значений фазных напряжений на всех трех фазах потребителя. По нулевому проводу может протекать уравнительный ток I_N , называемый нулевым или нейтральным током.

Трехфазная система переменного тока предназначена для питания симметричных трехфазных приемников (асинхронные и синхронные двигатели) и однофазных несимметричных приемников (осветительные приборы, бытовая электроаппаратура).

Чтобы в трехфазной системе можно было одновременно пользоваться двумя различными напряжениями (например, 380 В – для питания электродвигателей и 220 В – для питания однофазных приемников) применяют четырехпроводную систему электроснабжения.

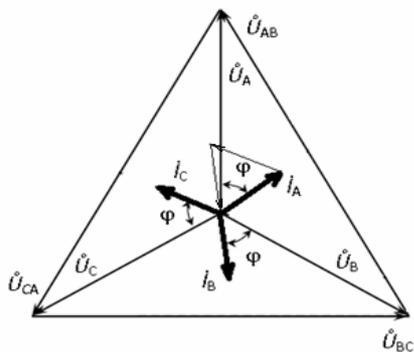
Четырехпроводная трехфазная система имеет четыре провода: три линейных, по которым протекают линейные токи I_A, I_B, I_C и один нулевой

При соединении фаз приемника в «звезду» концы фаз приемника x, y, z , соединяются вместе, образуя нейтральную точку n , а начала фаз a, b, c подключают к линейным проводам (рис. 4.1).

В этом случае линейный провод и фаза приемника соединены последовательно, поэтому фазный ток I_ϕ и линейный ток I_L одинаковы $I_\phi = I_L$.

Напряжение между линейными проводами (например, U_{AB}) оказывается в $\sqrt{3}$ раз больше, чем фазное напряжение источника питания U_A, U_B или U_C : $U_L = \sqrt{3}U_\phi$.

Если трехфазная система приемника **симметричная** (все сопротивления и мощности фазных потребителей одинаковы), то по всем трем фазам протекают одинаковые по величине токи, сдвинутые по фазе относительно друг друга на 120° . Напряжения на всех фазах потребителя также отличаются друг от друга только по начальной фазе на 120° (рис.4.2). Ток в нейтральном проводе I_N при этом равен нулю.



При **несимметричной** нагрузке токи каждой фазы (в каждом линейном проводе) отличаются друг от друга не только начальной фазой, но и величиной. По нейтральному проводу при этом протекает ток, вектор которого на основании первого закона Кирхгофа равен геометрической сумме векторов фазных токов $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_N$.

Обрыв нейтрального провода (трехпроводная система) при несимметричной нагрузке приводит к изменению напряжений на всех фазах потребителей и появлению напряжения смещения нейтрали U_{nN} (рис. 4.3). Положение точки «n» на векторной диаграмме при измеренных значениях напряжений на фазах U_A, U_B и U_C может быть определено

Рис. 4.2. Векторная диаграмма токов и напряжений цепи при симметричной нагрузке потребителей

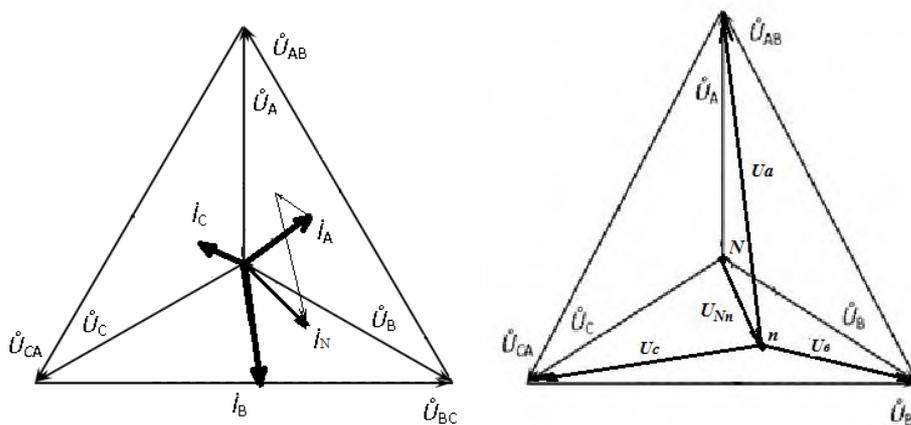


Рис.4.3. Векторные диаграммы токов и напряжений трехфазной цепи для несимметричной нагрузки с нулевым проводом и без него

Описание схемы электроустановки

Схема для проведения опыта представляет собой трехфазный приемник, который получает питание от четырехпроводной сети трехфазного тока A, B, C, N (рис. 4.4, 4.5).

В качестве нагрузки использованы лампы накаливания, коммутируемые ключами $S_{11} \dots S_{19}$.

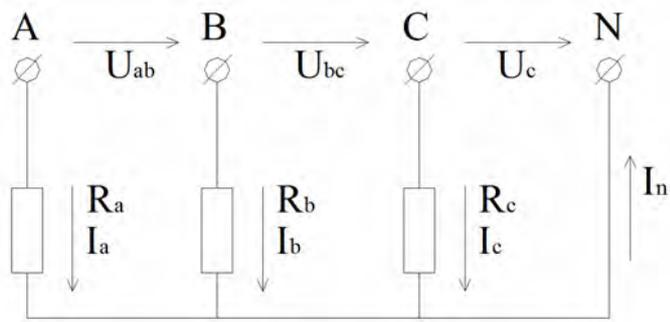


Рис. 4.4. Схема замещения цепи

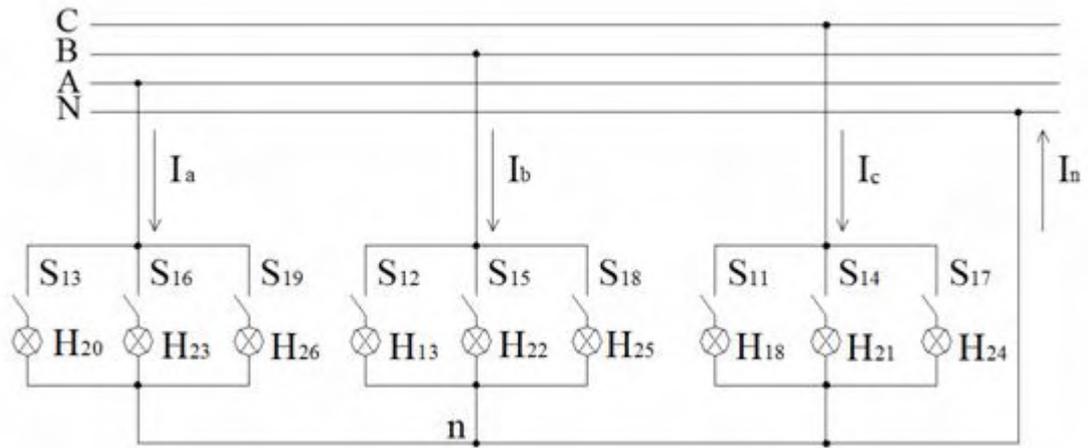


Рис. 4.5. Принципиальная схема цепи

Монтажная схема экспериментальной установки изображена на рис. 4.6.

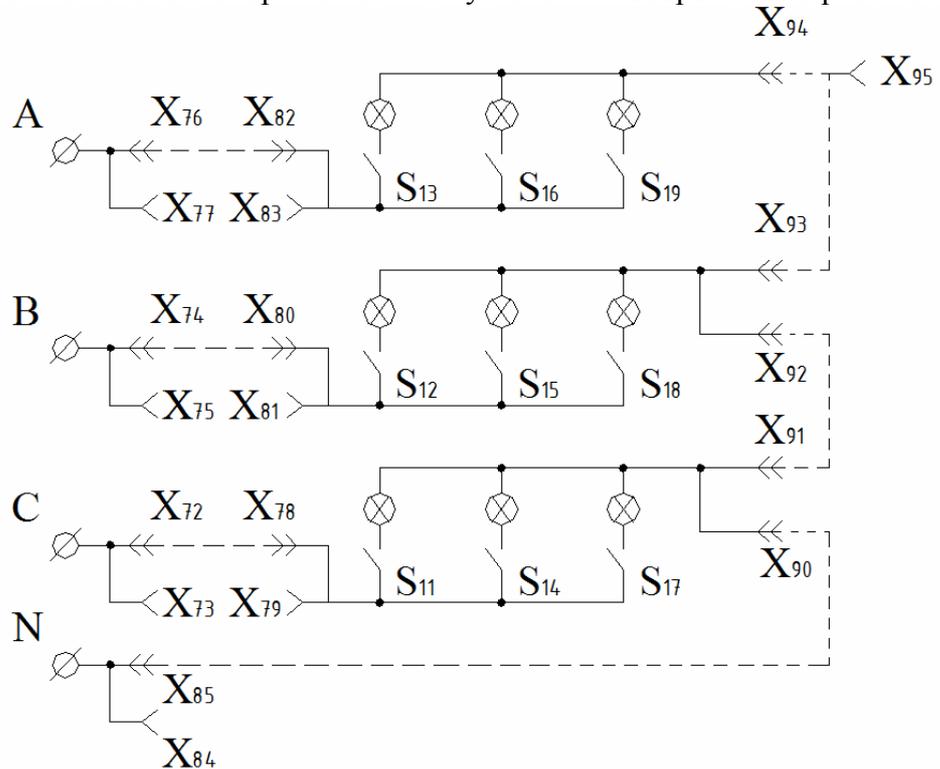


Рис. 4.6. Монтажная схема цепи

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратами экспериментальной установки.
2. Занести исходные данные согласно заданному варианту в подготовленную таблицу.
3. Собрать схему в соответствии с рис. 4.5, 4.6 и заданным количеством ламп. Для снятия показаний токов и напряжений в фазах приемника при сборке схемы ввести в цепь соответствующие приборы. Предъявить схему преподавателю для проверки.
4. Подать напряжение на лабораторный стенд вводным автоматическим выключателем, при этом загорится сигнальная лампа Н2.
5. Снять показания приборов. Результаты измерений занести в таблицу.
6. Снять напряжение со стенда и отключить стенд вводным автоматическим выключателем.
7. Произвести обрыв нейтрального провода, отсоединив его от зажимов X_{90} , X_{85} . Повторить пункты 4...6.
8. Рассчитать параметры цепи: фазные и линейные токи, фазные напряжения, ток в нейтральном проводе и смещение нейтрали.
9. Сравнить результаты измерений и расчета, определить погрешность измерений и сделать вывод.
10. Построить векторные диаграммы токов и напряжений в масштабе при наличии и обрыве нейтрального провода.

Параметры исследуемой цепи

№ стенда	№ варианта	Линейное напряжение U_L , В	Количество ламп в фазах, шт			R_A , Ом	R_B , Ом	R_C , Ом
			N_A	N_B	N_C			
1	1	36	1	2	3	24,6	12,3	8,2
	2	36	2	3	1	12,3	8,2	24,6
	3	36	3	1	2	8,2	24,6	12,3
2	4	36	0	2	3	∞	12,3	8,2
	5	36	2	3	0	12,3	8,2	∞
	6	36	3	0	2	8,2	∞	12,3
3	7	36	1	2	2	24,6	12,3	12,3
	8	36	2	2	1	12,3	12,3	24,6
	9	36	2	1	2	12,3	24,6	12,3
4	10	36	0	1	2	∞	24,6	12,3
	11	36	1	2	0	24,6	12,3	∞
	12	36	2	0	1	12,3	∞	24,6
5	13	36	1	3	3	24,6	8,2	8,2
	14	36	3	3	1	8,2	8,2	24,6
	15	36	3	1	3	8,2	24,6	8,2
6	16	36	0	3	3	∞	8,2	8,2
	17	36	3	3	0	8,2	8,2	∞
	18	36	3	0	3	8,2	∞	8,2

Продолжение таблицы								
7	19	36	0	2	2	∞	12,3	12,3
	20	36	2	2	0	12,3	12,3	∞
	21	36	2	0	2	12,3	∞	12,3
8	22	36	0	1	3	∞	24,6	8,2
	23	36	1	3	0	24,6	8,2	∞
	24	36	3	0	1	8,2	∞	24,6
9	25	36	2	3	3	12,3	8,2	8,2
	26	36	3	3	2	8,2	8,2	12,3
	27	36	3	2	3	8,2	12,3	8,2

Результаты расчетов и измерений

Параметры схемы		Линейные напряжения			Фазные напряжения			Линейные (фазные) токи			Ток в нейтральном проводе, I_N
		$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$U_A,$ В	$U_B,$ В	$U_C,$ В	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	
С нейтральным проводом	Расчет										
	Измерение										
Без нейтрального провода	Расчет										
	Измерение										

Контрольные вопросы

1. Какое соединение называется звездой?
2. Каково соотношение между фазным и линейным напряжениями трехфазного источника питания при соединении его обмоток по схеме «звезда»?
3. Какое соотношение между фазными и линейными токами при соединении в «звезду»?
4. Для чего применяют нейтральный провод?
5. Как определить величину тока в нейтральном проводе, если известны токи потребителя?
6. Почему при несимметричной нагрузке обрыв нейтрального провода является аварийным режимом?

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ
СОЕДИНЕНИИ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ «ТРЕУГОЛЬНИКОМ»

Цель работы

1. Исследовать симметричные и несимметричные режимы работы трехфазной цепи при соединении потребителей электроэнергии по схеме "треугольник".
2. Проверить экспериментальным путем соотношения между токами и напряжениями симметричного, несимметричного трехфазного потребителя и при обрыве линейного провода.
3. Научиться строить векторные диаграммы напряжений и токов трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке фаз.

Основные теоретические сведения

В связи с тем, что значительная часть приемников, включаемых в трехфазные цепи, бывает несимметричной, очень важно на практике, например, в схемах с осветительными приборами, обеспечивать независимость режимов работы отдельных фаз. Кроме четырехпроводной цепи, подобными свойствами обладают и трехпроводные при соединении фаз приемника в «треугольник», когда конец одной фазы соединяется с началом другой и т.д. (рис. 5.1). Следует помнить, что схема включения обмоток трехфазного генератора не предопределяет схему соединения нагрузки. Так, при соединении фаз генератора в звезду нагрузка может быть соединена в звезду с нейтральным проводом, в звезду без нейтрального провода или в треугольник.

При соединении трехфазной нагрузки треугольником линейные напряжения оказываются равными фазным напряжениям $U_{\phi} = U_{Л}$.

Фазный ток каждого электроприемника, входящего в соединение треугольником, равен $I_{\phi} = U_{\phi} / Z_{\phi}$.

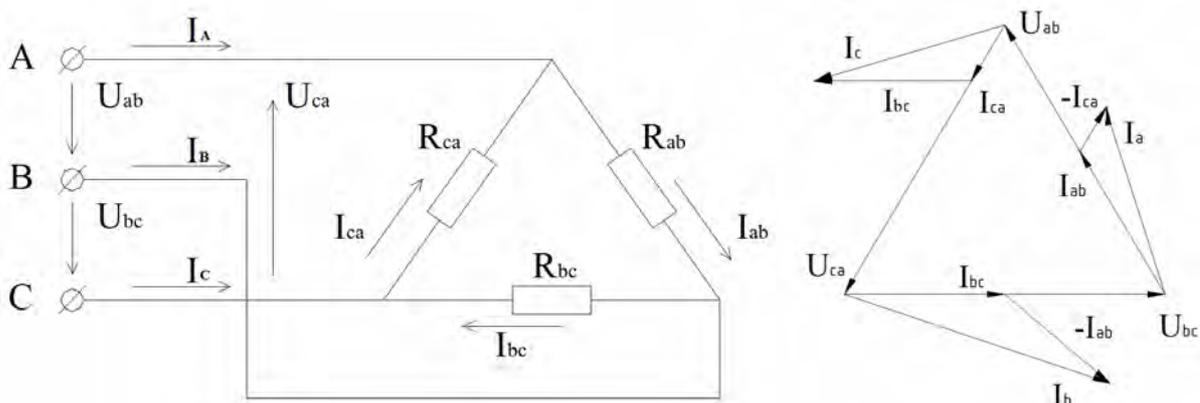


Рис. 5.1. Схема трехфазной цепи с приемником, включенным по схеме «треугольник» и векторная диаграмма токов и напряжений при несимметричной нагрузке

Связь между линейными и фазными токами выражается уравнениями, записанными на основании первого закона Кирхгофа в комплексной или векторной форме:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}$$

При **симметричной** нагрузке ($Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$) фазные токи всех фаз одинаковы $I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_{\phi}$ и сдвинуты относительно своих фазных напряжений на одинаковые углы

$$\varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca} = \varphi_{\phi}.$$

Линейные токи в $\sqrt{3}$ раз больше, чем токи в фазах потребителя: $I_{л} = \sqrt{3} I_{\phi}$.

Фазные токи равны по величине и отличаются друг от друга по фазе на 120° . То же самое относится и к линейным токам.

При **несимметричной** ($Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$) нагрузке нарушается равенство фазных и линейных токов (5.1).

Следует отметить, что изменение нагрузки в одной из фаз сказывается на изменении двух линейных токов, но не влияет на величины фазных напряжений и токов двух других, а также третьего линейного тока.

При обрыве одного из линейных проводов, например фазы А, нормальный режим работы установки нарушается. Электроприемники фазы *bc* будут находиться под нормальным фазным напряжением, а приемники фаз *ab*, *bc* окажутся последовательно соединенными и будут питаться от этого напряжения. Если их сопротивления равны ($Z_{ab} = Z_{ca}$), то напряжение U_{bc} распределится между ними поровну и оба потребителя окажутся под напряжением, сниженным на 50% по отношению к номинальному. Если их сопротивления не равны, то напряжение U_{bc} распределится между ними прямо пропорционально величинам Z_{ab} , Z_{ca} , в результате чего фаза с меньшей нагрузкой окажется под большим напряжением, а фаза с большей нагрузкой – под меньшим.

Описание схемы электроустановки

Схема для проведения опыта представляет собой трехфазный приемник с активной нагрузкой, который получает питание от трехпроводной сети трехфазного тока. Принципиальная схема установки приведены на рис.5.2.

В качестве нагрузки использованы лампы накаливания, коммутируемые ключами $S_{11} \dots S_{19}$.

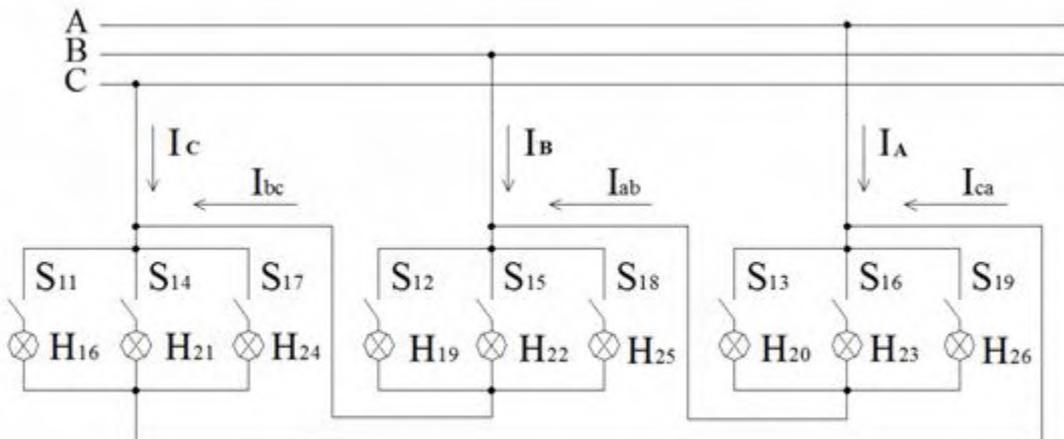


Рис.5.2. Принципиальная схема цепи

Монтажная схема экспериментальной установки изображена на рис. 5.3.

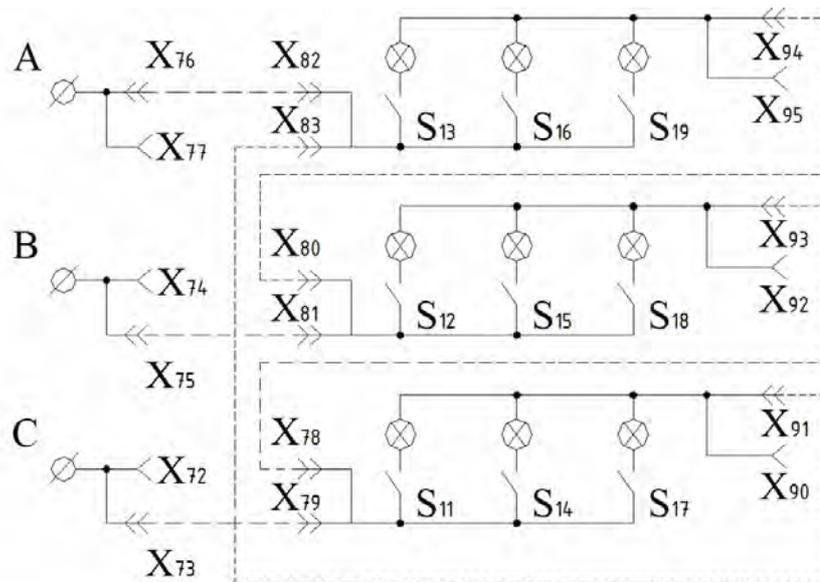


Рис. 5.3. Монтажная схема электрической цепи

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратами лабораторной установки.
2. Занести исходные данные согласно заданному варианту в подготовленную таблицу.
3. Собрать схему в соответствии с рис. 5.2, 5.3 и заданным количеством ламп. Для снятия показаний токов и напряжений в фазах приемника при сборке схемы ввести в цепь соответствующие приборы. Предъявить схему преподавателю для проверки.
4. Подать напряжение на лабораторный стенд вводным автоматическим выключателем, при этом загорится сигнальная лампа Н2.
5. Снять показания приборов. Результаты измерений занести в таблицу.
6. Отключить стенд вводным автоматическим выключателем.
7. Произвести обрыв фазы А, отсоединив проводник от клеммы X76 (рис. 3), и снять показания с приборов. Результаты измерений занести в таблицу.
8. Рассчитать параметры цепи: токи в ветвях и в неразветвленной части, мощности, коэффициенты мощности элементов и всей цепи, углы сдвига фаз.
9. Сравнить результаты измерений и расчета, определить погрешность измерений и сделать вывод.
10. Построить в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений при наличии трех линейных проводов и при обрыве одного из них.

Результаты расчетов и измерений

Параметры схемы	$U_{ab},$ В	$U_{bc},$ В	$U_{ca},$ В	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	$I_{ав},$ А	$I_{вс},$ А	$I_{са},$ А
Расчетные значения									
Измеренные значения (общий случай)									
Измеренные значения (обрыв линии)									

Параметры исследуемой цепи

№ стенов	№ вариантов	Линейное напряжение $U_L, В$	Количество ламп в фазах, шт			$R_{ab}, Ом$	$R_{bc}, Ом$	$R_{ca}, Ом$
			N_{ab}	N_{bc}	N_{ca}			
1	1	36	1	2	3	32,0	16,0	10,7
	2	36	2	3	1	16,0	10,7	32,0
	3	36	3	1	2	10,7	32,0	16,0
2	4	36	0	2	3	∞	16,0	10,7
	5	36	2	3	0	16,0	10,7	∞
	6	36	3	0	2	10,7	∞	16,0
3	7	36	1	2	2	32,0	16,0	16,0
	8	36	2	2	1	16,0	16,0	32,0
	9	36	2	1	2	16,0	32,0	16,0
4	10	36	0	1	2	∞	16,0	16,0
	11	36	1	2	0	32,0	16,0	∞
	12	36	2	0	1	16,0	∞	32,0
5	13	36	1	3	3	32,0	10,7	10,7
	14	36	3	3	1	10,7	10,7	32,0
	15	36	3	1	3	10,7	32,0	10,7
6	16	36	0	3	3	∞	10,7	10,7
	17	36	3	3	0	10,7	10,7	∞
	18	36	3	0	3	10,7	∞	10,7
7	19	36	0	2	2	∞	16,0	16,0
	20	36	2	2	0	16,0	16,0	∞
	21	36	2	0	2	16,0	∞	16,0
8	22	36	0	1	1	∞	32,0	32,0
	23	36	1	1	0	32,0	32,0	∞
	24	36	3	0	1	32,0	∞	32,0
9	25	36	2	3	3	16,0	10,7	10,7
	26	36	3	3	2	10,7	10,7	16,0
	27	36	3	2	3	10,7	16,0	10,7

Контрольные вопросы

1. Каким образом три однофазных потребителя соединяют в треугольник?
2. В каком соотношении находятся фазные и линейные напряжения симметричного потребителя, соединенного в «треугольник»?
3. Всегда ли справедливы при соединении в треугольник соотношения $\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}$?
4. Всегда ли при соединении в треугольник справедливо соотношение $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$?
5. Как отразится отключение одной фазы потребителя на режим работы других фаз и на режим работы всей трехфазной цепи, соединенной в треугольник?
6. Как следует подключать вольтметр, чтобы измерить фазное и линейное напряжения трехфазного потребителя?

ИЗМЕРЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы

1. Исследовать работу трехфазного асинхронного двигателя совместно с конденсаторами различной мощности.
2. Проверить экспериментальным путем зависимость коэффициента мощности от мощности конденсаторов, соотношения между токами в линии и двигателе до и после компенсации.
3. Научиться строить векторные диаграммы токов с учетом компенсации реактивной мощности.

Основные теоретические сведения

Мощность источника $S_{ист}$ и мощность потребителя $P_{потр}$ связаны через коэффициент мощности соотношением $s_{ист} = \frac{P_{номп}}{\cos \varphi_{номп}}$. Очевидно, что чем меньше $\cos \varphi_{номп}$, тем большей мощности должен быть источник для питания этого потребителя, т.е. тем больше его габариты, вес, расход металлов и стоимость.

Ток в цепи потребителя определяется по формуле: $I = \frac{P_{номп}}{U \cos \varphi_{номп}}$. Как видно из формулы, чем меньше коэффициент мощности, тем больше ток потребителя, тем больший ток проходит по проводам линии электропередачи, тем больше потери энергии в этой линии и меньше КПД ее и всей системы. Кроме того, увеличение тока требует для его передачи проводов большего сечения, а значит большего расхода цветных металлов.

Таким образом, низкое значение коэффициента мощности потребителя приводит к неполному использованию генераторов, линий электропередачи и другого электротехнического оборудования, которое бесполезно загружается реактивным (индуктивным) током. Эта составляющая тока обуславливает также увеличение потерь электроэнергии во всех токопроводящих частях и уменьшение КПД потребителя и всей системы.

В России установлен минимально допустимый коэффициент мощности, не менее 0,8. Однако $\cos \varphi$ большинства энергетических потребителей меньше этой нормы. Например, $\cos \varphi$ асинхронных двигателей в зависимости от нагрузки составляет 0,2...0,85; трансформаторов – 0,5...0,9; выпрямителей – 0,7...0,85 и т.п. Следовательно, коэффициент мощности этих потребителей необходимо повышать.

На практике это достигается путем правильного выбора мощности электродвигателей переменного тока и трансформаторов, рациональной эксплуатации их без недогрузки и работы вхолостую. Эти меры называют *естественными*.

В тех случаях, когда естественные меры не могут обеспечить оптимальной величины реактивной мощности установки, принимают *искусственные* меры для ее компенсации.

Большинство потребителей представляют собой нагрузку активно-индуктивного характера, поэтому для улучшения $\cos \varphi$ параллельно с ними подключаются конденсаторы (рис. 6.1). За счет тока конденсатора уменьшается угол φ и увеличивается $\cos \varphi$ установки. Благодаря этому источник частично или полностью освобождается от поставки реактивной мощности в цепь. При этом уменьшается ток всей цепи.

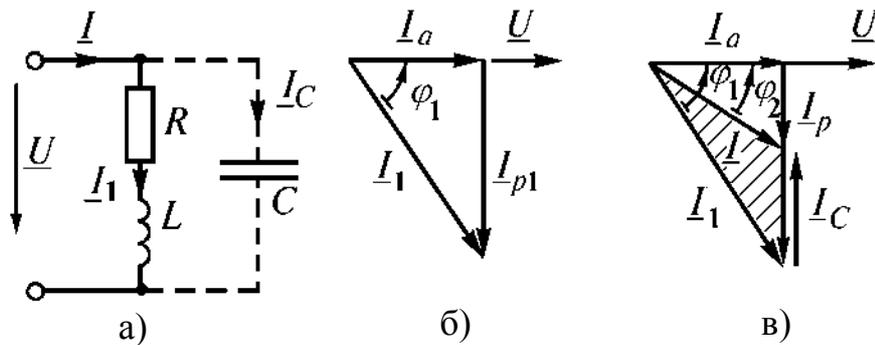


Рис.6.1. Принципиальная схема цепи с активно-индуктивной нагрузкой и конденсатором, векторные диаграммы токов цепи до и после компенсации

Емкость конденсатора можно рассчитать при помощи векторной диаграммы токов (рис 1).

$$I_C = I_{p1} - I_{p2} = I_a \operatorname{tg} \varphi_1 - I_a \operatorname{tg} \varphi_2 = \omega C U .$$

Учитывая, что $P = UI_a$, емкость конденсатора

$$C = \frac{I_a}{\omega U} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) .$$

Полная компенсация реактивной мощности имеет место при резонансе токов (при равенстве реактивной индуктивной составляющей тока в катушке I_p и емкостного тока I_C). Однако технико-экономические расчеты показывают, что полная компенсация не является оптимальной, так как компенсационное устройство оказывается более сложным и дорогим, чем при некоторой оптимальной величине реактивной мощности. Поэтому осуществляют неполную компенсацию сдвига фаз.

Описание схемы электроустановки

Установка состоит из параллельно соединенных трехфазного асинхронного двигателя (R-L нагрузка) и конденсатора C (рис. 6.2).

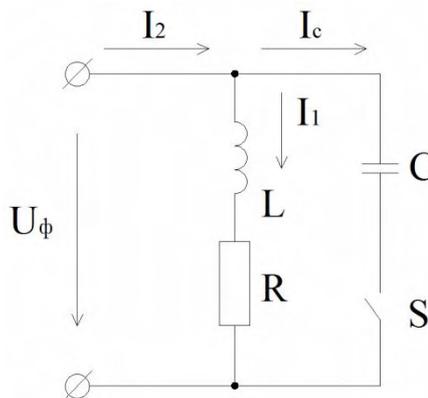


Рис. 6.2. Принципиальная схема установки

Напряжение в цепь подается ключом S_1 (рис. 6.3). Для измерения тока, напряжения и коэффициента мощности в цепь включены соответствующие измерительные приборы. Схема получает питание от сети трехфазного тока напряжением 380 В.

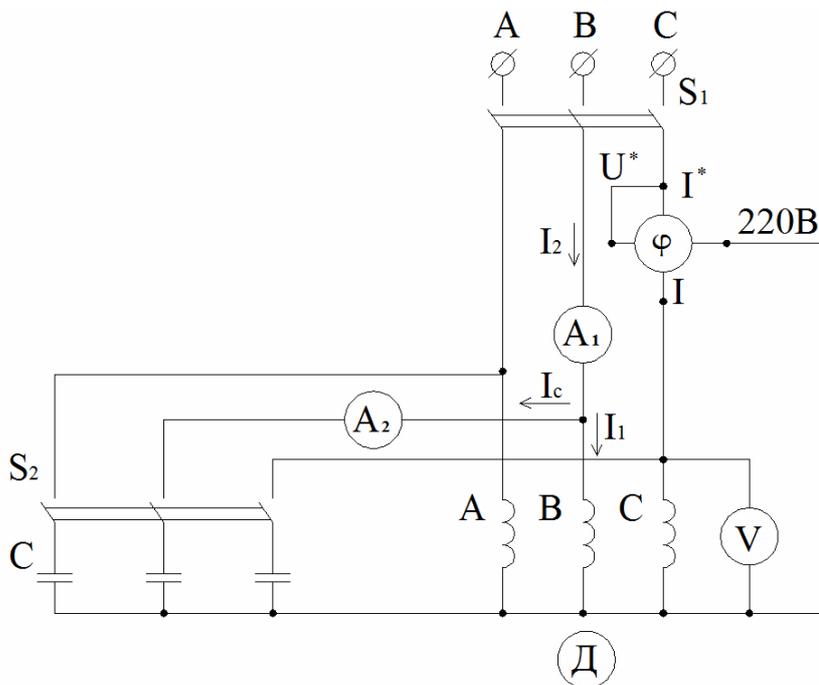


Рис. 6.3. Принципиальная схема цепи

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратами экспериментальной установки.
2. Собрать схему в соответствии с рис. 6.3 и заданной преподавателем величиной емкости. Предъявить схему преподавателю для проверки.
3. Подать напряжение на лабораторный стенд вводным автоматическим выключателем, при этом загорится сигнальная лампа Н2.
4. Включить ключ S_1 и снять показания приборов. Результаты измерений занести в таблицу.
5. Выключить ключ S_1 .
6. Повторить пункты 4, 5 при различных значениях емкости конденсатора.
7. Отключить стенд в обратной последовательности.
8. Рассчитать параметры цепи: токи в ветвях и в неразветвленной части, мощности, коэффициенты мощности элементов и всей цепи, углы сдвига фаз.
9. Сравнить результаты измерений и расчета, определить погрешность измерений и сделать вывод.
10. Построить векторную диаграмму токов в масштабе.

Результаты измерений

Без компенсации				
$U_\phi, В$	$I_1, А$	$\cos\varphi_1$	$\varphi_1, \text{град}$	
С компенсацией				
$C, \text{мкФ}$	$I_2, А$	$I_c, А$	$\cos\varphi_2$	$\varphi_2, \text{град}$

Контрольные вопросы

1. С какой целью повышают коэффициент мощности цепи?
2. Как можно определить коэффициент мощности цепи?
3. Как изменятся величина тока, потребляемого из сети, и активная мощность

- цепи, если параллельно активно-индуктивному потребителю включить конденсатор?
4. Какое явление называется резонансом токов? Составьте условие резонанса токов и объясните изменением каких параметров можно достичь режим резонанса.

Лабораторная работа № 7

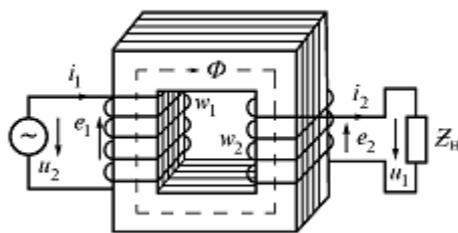
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы

1. Изучить конструкцию и принцип действия однофазного трансформатора.
2. Исследовать работу однофазного трансформатора в режимах холостого хода, нагрузки и короткого замыкания.
3. Построить характеристики однофазного трансформатора.

Основные теоретические сведения

Трансформатор – статический электромагнитный аппарат, преобразующий параметры электрической энергии и передающий эту энергию из одной цепи в другую. Чаще всего трансформатор используют для преобразования электрической энергии переменного тока одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения той же частоты.



Трансформатор имеет не менее двух изолированных друг от друга обмоток w_1 w_2 , размещенных для усиления магнитной связи на магнитопроводе, собранном из листов электротехнической стали толщиной 0,35...0,5 мм (рис. 7.1). Обмотка, к зажимам которой подводится электрическая энергия, называется первичной; обмотка, на зажимы которой включаются потребители – вторичной.

Рис. 7.1. Устройство трансформатора Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. При включении трансформатора в сеть в магнитопроводе возникает магнитный поток Φ , который, сцепляясь с обеими обмотками, наводит в них ЭДС e_1 и e_2 . Отношение ЭДС обмоток называется коэффициентом трансформации

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k$$

Коэффициент трансформации можно определить с достаточной точностью, измерив при холостом ходе трансформатора (вторичная обмотка разомкнута) напряжения на зажимах первичной и вторичной обмоток

$$k \approx \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}$$

В режиме холостого хода (х.х.) трансформатор потребляет из сети электрическую энергию, которая идет на потери в сердечнике (в стали) из-за перемагничивания магнитопровода и вихревых токов. Из опыта х.х. определяют ток х.х., потери в стали и коэффициент трансформации. Ток и мощность холостого хода для силовых трансформаторов нормируются ГОСТом. Чем меньше эти величины, тем экономичнее трансформатор. Опыт холостого хода позволяет определить состояние сердечника трансформатора.

При опыте короткого замыкания (к.з.) вторичная обмотка замкнута накоротко через амперметр, к первичной подводится такое пониженное напряжение, при котором в обеих обмотках устанавливаются номинальные для них токи. Это пониженное напряжение называют напряжением короткого замыкания U_k и составляет 2,5...10% от $U_{1ном}$. Напряжение и мощность короткого замыкания при номинальном первичном токе для силовых трансформаторов нормируются ГОСТом. Из опыта к.з. определяют внутреннее падение напряжения в трансформаторе; активное, реактивное и полное сопротивления трансформатора.

Коэффициент полезного действия трансформатора представляет собой отношение активной мощности, отдаваемой трансформатором P_2 , к потребляемой из сети P_1

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%.$$

КПД трансформатора зависит от его загрузки β , с увеличением которой от сначала резко возрастает, а затем его рост замедляется. Максимум КПД достигает при таком значении β_{max} , когда потери в обмотках становятся равными потерям в стали.

С увеличением тока нагрузки от холостого хода до номинального значения напряжение на зажимах вторичной обмотки понижается из-за увеличения падения напряжения на внутреннем сопротивлении трансформатора. Процентное изменение напряжения трансформатора

$$\Delta U, \% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100,$$

где U_{20} – вторичное напряжение холостого хода;

U_2 – вторичное напряжение трансформатора в режиме нагрузки.

Работа трансформатора описывается рабочими характеристиками, в т. ч. зависимостью $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ при $U_{1ном} = const$, $\cos \varphi_2 = const$,

где $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ – активная мощность трансформатора, отдаваемая нагрузке.

Рабочие характеристики снимаются для выбора оптимальной зоны работы трансформатора.

Описание схемы электроустановки

Схема для проведения опыта состоит из исследуемого однофазного трансформатора T_5 типа ОСО с техническими данными: $S_{ном} = 0,25$ кВт, $U_{1ном} = 220$ В, $U_{2ном} = 36$ В, нагрузочных ламп накаливания, управляемых ключами $S_{11} \dots S_{19}$, и измерительных приборов (рис. 7.2). Напряжение на стенд подается с помощью ЛАТРа.

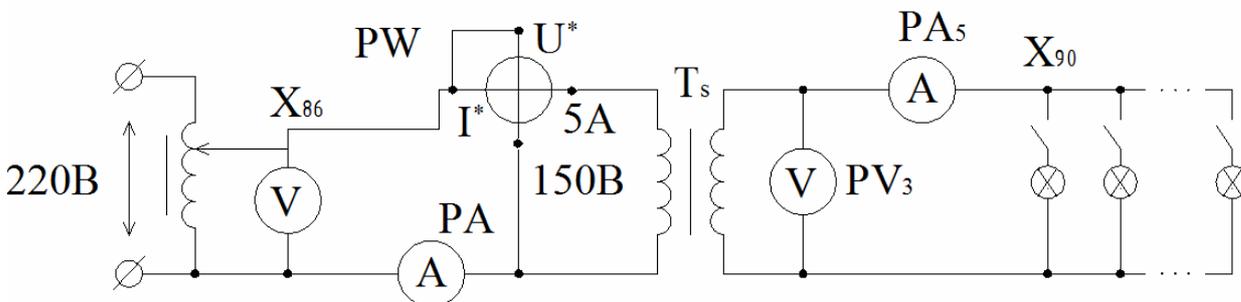


Рис. 7.2. Принципиальная схема установки

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратами экспериментальной установки.
2. Собрать схему в соответствии с рис. 7.2 для проведения опыта холостого хода (ключи разомкнуты). Предъявить схему преподавателю для проверки.
3. Подать напряжение на лабораторный стенд вводным автоматическим выключателем, при этом загорится сигнальная лампа Н2.
4. Рукояткой автотрансформатора Т3 установить номинальное напряжение на первичной обмотке трансформатора Т5. Снять показания приборов. Результаты измерений занести в таблицу.
5. Для проведения опытов в режиме нагрузки, управляя ключами S11...S19, вводить поочередно в цепь вторичной обмотки Т5 лампы накаливания. Результаты измерений занести в таблицу.
6. Снизить до нуля первичное напряжение U_1 на испытуемом трансформаторе Т5 и ключами S11...S19 отключить нагрузку. Вторичную обмотку закоротить на амперметр РА5. Предъявить схему преподавателю для проверки.
7. Для проведения опыта короткого замыкания рукояткой автотрансформатора Т3 установить пониженное напряжение на первичной обмотке трансформатора Т5, при котором в обмотках установятся номинальные токи. Снять показания приборов. Результаты измерений занести в таблицу.
8. Снять напряжение со стенда и отключить вводной автоматический выключатель.
9. Рассчитать параметры трансформатора и его эквивалентной схемы.
10. Построить зависимости η , ΔU , $\cos\varphi$ от мощности P_2 .

Таблица результатов и измерений

№ п/п	Кол-во ламп	Измеренные значения				Вычисленные значения			
		I_1 , А	P_1 , Вт	U_2 , В	I_2 , А	P_2 , Вт	η , %	$\cos \varphi_1$	dU_2 %
1	0								
2	1								
3	2								
4	3								
5	4								
6	5								
7	6								
8	7								
9	8								
10	9								
11	к.з.								

Примечание:

η – коэффициент полезного действия трансформатора

$\cos \varphi_1$ – коэффициент мощности трансформатора

$\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности осветительной нагрузки ($\cos \varphi_2 = 1$)

dU_2 % – процентное изменение напряжения U_2 трансформатора

к.з. – опыт короткого замыкания

Контрольные вопросы

1. Что показывает коэффициент трансформации?
2. От каких величин зависят магнитные и электрические потери в трансформаторе (потери в стали и меди)?
3. Когда наступает максимум КПД трансформатора?
4. В каких целях используют величины, полученные из опытов х.х. и к.з.?

Библиографический список

1. В. В. Кононенко. Электротехника и электроника : Учебное пособие для вузов / Кононенко В. В., Мишкович В. В., Муханов В. В. и др.; под ред. В. В. Кононенко. – Ростов н /Д : Феникс, 2004. – 752 с.
2. А. С. Касаткин. Электротехника.6 Учебное пособие / Касаткин А. С., Немцов М. В. – М. : ВШ, 2000. – 542 с.
3. Электротехника и электроника в задачах и примерах: методические указания к изучению курса и расчету задач / сост. В. Н. Злобин, А. С. Кудашев, В. В. Лукин, М. А. Першина ; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград : ВолгГАСУ , 2008. 40 с.
4. Электротехнический справочник : В 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / под ред. В.Г. Герасимова и др. М.: изд. МЭИ, 2003.
5. Александров К.К. Электротехнические чертежи и схемы: Производственно-практическое пособие: сб. документов / К.К.Александров, Е.Г. Кузьмина. — М. : изд-во МЭИ, 2004.
6. Балаков Ю.Н. Проектирование схем электроустановок : Уч. пособие для вузов / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. М. : изд-во МЭИ, 2005.
7. Усатенко С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД. Справочник / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. — М.: Издательство стандартов, 1989.

План выпуска учеб.-метод. документ. 2014 г., поз. 63

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 28.07.2014.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 2,6. Объем данных 701 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru