

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВПО РГУПС)
Тихорецкий техникум железнодорожного транспорта
(ТТЖТ – филиал РГУПС)

М.В Ивакина

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Электротехника и электроника

для специальности

22.02.06 Сварочное производство

Тихорецк
2015



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по
учебной работе:

« 01 »

09

2015г.

Н.Ю. Шитикова

Н.Ю. Шитикова

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и практических занятий по дисциплине Электротехника и электроника разработаны для студентов очной формы обучения на основе федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования специальности 22.02.06 Сварочное производство, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ № 360 от 21.04.2014г.

Организация-разработчик: Тихорецкий техникум железнодорожного транспорта – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ТТЖТ – филиал РГУПС)

Разработчик:

М.В. Ивакина, преподаватель ТТЖТ - филиала РГУПС

Рецензенты:

Е.В. Горн, преподаватель ТТЖТ-филиала РГУПС

Л.Л. Михеева, преподаватель ТТЖТ - филиала РГУПС

Рекомендованы цикловой комиссией № 6 «Общепрофессиональные дисциплины». Протокол заседания № 1 от 01.09.2015 г

Введение

Методические рекомендации по проведению лабораторных работ и практических занятий разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом по специальности 22.02.06 «Сварочное производство», рабочей программой учебной дисциплины «Электротехника и электроника».

Методическое пособие предусматривает 17 лабораторных работ и 4 практических работы, рассчитанных на 42 часа обучения.

Для проведения лабораторных работ учебную группу рекомендуется разделить на подгруппы по 2-5 человек. Перед началом работ проводится инструктаж по охране труда. После каждой работы студенты сдают отчет о выполненной работе. Лабораторные работы проводятся в учебном кабинете и полигоне, имеющие необходимое оборудование. Особое внимание необходимо уделять практической направленности выполнения лабораторных работ.

Для экономии времени, грамотного и качественного выполнения лабораторных работ, преподавателем заготавливаются бланки отчетов.

Оборудование и инструмент, необходимые для проведения лабораторных работ устанавливаются преподавателем.

Данное методическое пособие предназначено для преподавателей и студентов.

Инструктаж по охране труда

1. Запрещается прикасаться к токоведущим участкам схем, находящимся под напряжением.
2. Все переключения в схемах производить только при выключенном питании.
3. Вся аппаратура, используемая на рабочем месте, должна быть надежно заземлена.
4. При обнаружении любой неисправности необходимо отключить питание и доложить лаборанту или преподавателю.
5. Наличие напряжения на участках схем проверять только с помощью специальных индикаторов.
6. Доступ к узлам лабораторной установки, расположенным в корпусе или защищенном кожухе, возможен только с разрешения преподавателя или лаборанта и при выключенном питании.
7. Запрещается касаться движущихся частей установки.
8. Запрещается пользоваться приборами и оборудованием, не подлежащим применению в выполняемой работе и переносить приборы с одного рабочего места на другое.
9. Разбирать схему разрешается только после отключения питания.
10. Подавать питание в цепь можно только с разрешения преподавателя.
11. Запрещено производить любые переключения в стенде, не предусмотренные инструкцией.

Практическая работа №1 **Расчет батареи конденсаторов**

Цель занятия: Приобретение навыков расчета емкости, заряда и рабочих напряжений батареи конденсаторов. Определить эквивалентную емкость батареи конденсаторов, заряд батареи и напряжение на каждом конденсаторе.

Краткие теоретические сведения

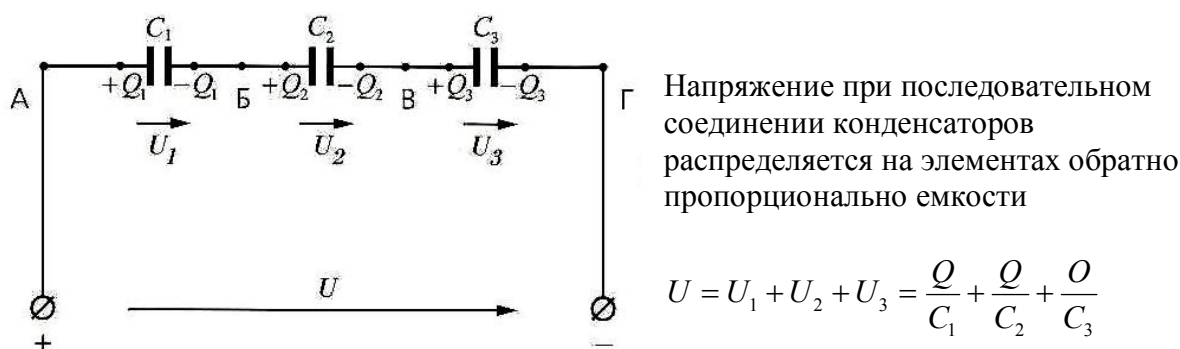
Конденсатор представляет собой устройство, способное накапливать электрические заряды. Простейшим конденсатором являются две металлические пластины (электроды), разделенные каким-либо диэлектриком.

Емкость C конденсатора определяется как отношение заряда q , накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов между его электродами (приложенному напряжению) U

$$C = \frac{Q}{U}$$

Конденсаторы можно соединять последовательно и параллельно.

Последовательное соединение конденсаторов



Заряд во всех последовательно соединенных конденсаторах накапливается одинаковый

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

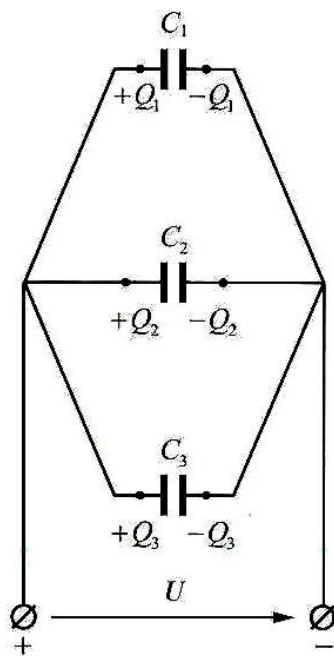
При последовательном соединении нескольких (например, трех) конденсаторов (рис. 1.5.4.) эквивалентная емкость

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

Параллельное соединение конденсаторов

Напряжение при параллельном соединении конденсаторов на каждом элементе образуется одинаковое

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$



Заряд на параллельно соединенных конденсаторах накапливается, пропорционально емкости конденсаторов

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = UC_1 + UC_2 + UC_3$$

При параллельном соединении конденсаторов (рис. 1.5.5.) их результирующая емкость

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Порядок выполнения

1. Начертите схему батареи конденсаторов согласно варианту задания.
2. Проанализируйте соединение элементов и участков цепи.
3. Определите эквивалентную емкость батареи, используя метод сворачивания цепи.
4. Определите общий заряд цепи.
5. Используя свойства последовательного и параллельного соединения конденсаторов, определите напряжение на каждом конденсаторе.

Данные для своего варианта выберите из таблицы 1.

Таблица – 1 Исходные данные к задачам №1-10

№ задачи	Схема	Емкость конденсаторов, мкФ					
		U, В	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
1	1	30	4	1	5	8	4
2	2	50	5	6	2	4	4
3	3	70	6	4	5	5	3
4	4	80	8	6	3	6	16
5	5	90	4	8	3	6	8
6	6	100	5	3	6	4	8
7	7	110	4	6	3	6	8
8	8	120	6	2	3	5	12
9	9	130	10	15	9	10	10
10	10	140	8	6	3	2	4

Схема 1

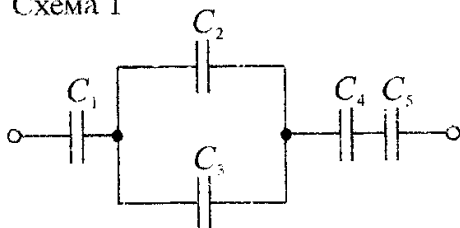


Схема 2

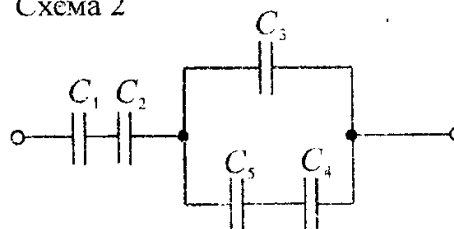


Схема 3

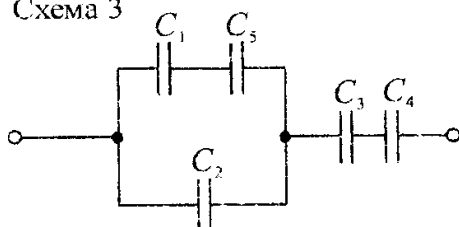


Схема 4

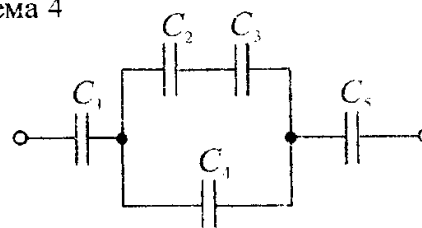


Схема 5

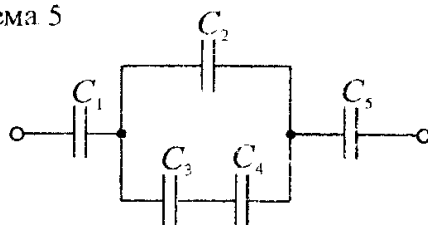


Схема 6

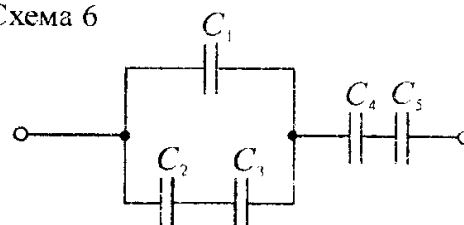


Схема 7

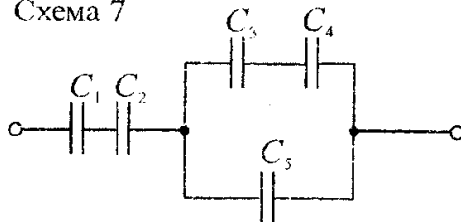


Схема 8

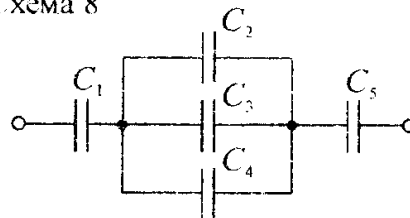


Схема 9

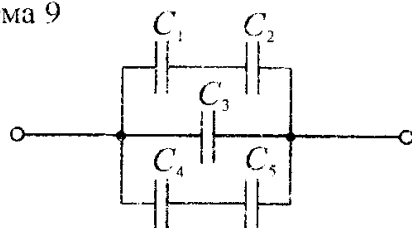
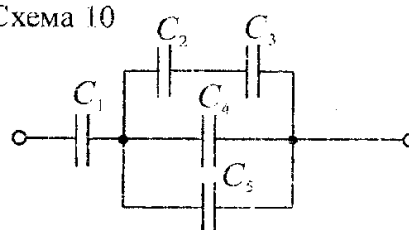


Схема 10



Содержание отчета

1. Принципиальная схема цепи, исходные данные согласно варианту
2. Расчет эквивалентной емкости батареи конденсаторов пошаговый.
3. Расчет заряда батареи конденсаторов
4. Расчет напряжения на обкладках всех конденсаторов.

Контрольные вопросы

1. Какая частица является носителем электрического заряда?
2. Два конденсатора соединены последовательно. Как изменится напряжение на первом конденсаторе, если увеличить емкость второго.
3. Два конденсатора соединены параллельно. Как изменится заряд на первом конденсаторе, если увеличить емкость второго
4. Как можно уменьшить силу взаимодействия зарядов в 4 раза?

Лабораторная работа №1

Изучение правил эксплуатации амперметра, вольтметра, ваттметра

Цель занятия: Изучить правила эксплуатации измерительных приборов, применяемых в лабораторных работах. Научиться проводить измерения тока, напряжения, мощности в электрических цепях.

Оборудование: комбинированный измерительный прибор, инструкционные карты, инструкция Правила эксплуатации измерительных приборов.

Краткие теоретические сведения

Для измерения электрических величин применяются электроизмерительные приборы:

- амперметр;
- вольтметр;
- ваттметр и другие.

При эксплуатации приборов следует знать и соблюдать правила эксплуатации.

А) До включения прибора проверить правильность установленного режима.

Б) При включении питания наблюдать за стрелками приборов, в случае зашкаливания питания немедленно отключить. Устранить причину замыкания.

В) При снятии показания с прибора отражение стрелки в зеркале должно совпадать со стрелкой.

1. Правила эксплуатации приборов в качестве амперметра:

А) переключатель прибора установить в положение mA.

Б) Прибор включается соблюдая полярность последовательно в разрыв цепи.

В) Перестановка измерительных шнуров без отключения питания запрещена.

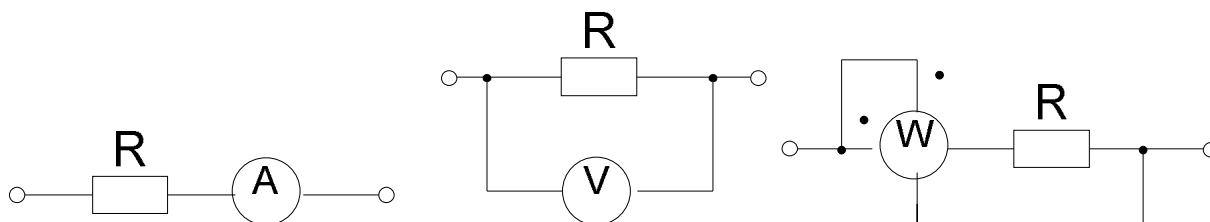
2. Правила эксплуатации приборов в качестве вольтметра:

А) переключатель прибора установить в положение V.

Б) Прибор включается соблюдая полярность параллельно всей цепи для измерения питания и параллельно участку для измерения падения напряжения.

В) Перестановка измерительных шнуров без отключения питания допускается.

Последовательное соединение элементов обеспечивает один и тот же проходящий по ним ток. Поэтому амперметр включается последовательно в участок цепи (рис 1(а)).



- а) б) в)
 Рисунок 1 Схемы включения измерительных приборов
 а - амперметра; б – вольтметра; в - ваттметра

Последовательное включение требует разрыва цепи, поэтому включение и переключение амперметра должно производиться только при отключенном питании.

Параллельное соединение элементов обеспечивает одно и то же напряжение на элементах. Поэтому вольтметр включается параллельно к участку цепи (рис 1(б)).

Ваттметр имеет две обмотки: токовую и обмотку напряжения. Токовая обмотка включается в цепь последовательно, обмотка напряжения - параллельно к участку. Причем, генераторные зажимы должны быть соединены (рис 1, (в)).

Постоянная прибора определяется по формуле.

$$C_I = \frac{I_H}{\alpha_H}$$

где I_H – предел измерения амперметра;

α_H – количество делений шкалы.

Показания прибора определяются по формуле.

$$I = C_I \cdot \alpha$$

где α – отклонение стрелки прибора по шкале.

Порядок выполнения

- Изучите правила эксплуатации измерительных приборов.
- Ответьте на предложенные вопросы.
- Закончите схему, предложенную на рисунке 2, соединив измерительные приборы, согласно правилам эксплуатации.
- Ознакомьтесь с лицевой панелью измерительного прибора. Определите постоянные прибора на различных пределах измерения амперметра и вольтметра.
- Определите показания прибора, при заданном отклонении стрелки и предела измерения прибора.

Контрольные вопросы

- Как включается в цепь амперметр. Поясните.
- Как включается в цепь вольтметр. Поясните.
- Каким должно быть сопротивление амперметра. Поясните.
- Каким должно быть сопротивление вольтметра. Поясните.
- Как отразится на работе цепи неправильное включение амперметра? Поясните.
- Как отразится на работе цепи неправильное включение вольтметра? Поясните.

Содержание отчета

- Изучил правила эксплуатации измерительных приборов.
- Ответил на вопросы:
 Амперметр включается в цепь _____.
 Вольтметр включается в цепь _____.
 Обмотки ваттметра включаются в цепь: токовая _____, напряжения _____.
- Закончил схему предложенную на рисунке 2, соединив измерительные приборы, согласно правилам эксплуатации.

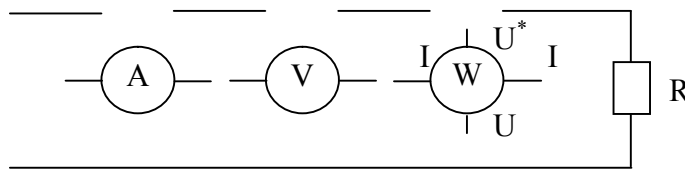


Рисунок 2 Схема с изображенными на ней измерительными приборами

4. Написал порядок подготовки комбинированного прибора к работе

5. Внес в таблицу пределы измерения и постоянную прибора.

Режим постоянного тока			
$I_{\text{НОМ}}, \text{мА}$	$C_I, \text{мА/дел}$	$U_{\text{НОМ}}, \text{В}$	$C_U, \text{В/дел}$

6. Определил показания прибора, если стрелка отклонилась на _____ делений, а предел измерения прибора установлен _____.

Выводы.

Лабораторная работа №2

Проверка свойств электрической цепи с последовательным и параллельным соединением резисторов.

Цель занятия: Экспериментально проверить справедливость закона Ома и свойств цепи с последовательным и параллельным соединением сопротивлений. Приобретение первичных навыков измерений в электрических цепях.

Оборудование: лабораторный стенд, резисторы, амперметр, вольтметр.

Краткие теоретические сведения

Закон Ома.

Сила тока I в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе E источника электрической энергии и обратно пропорционально полному сопротивлению R цепи.

$$I = \frac{E}{R}$$

Полное сопротивление цепи равно сумме обычно малого внутреннего сопротивления $r_{\text{вн}}$ источника электроэнергии и относительно большого сопротивления внешней цепи r , т.е.

$R = r_{\text{вн}} + r$. ЭДС источника:

$$E = IR = I(r_{\text{вн}} + r) = Ir_{\text{вн}} + Ir$$

где $Ir_{\text{вн}} = U_{\text{вн}}$ — внутреннее падение напряжения;

$Ir = U$ — внешнее напряжение на зажимах генератора.

Таким образом,

$$E = U_{\text{вн}} + U$$

т.е. ЭДС генератора равна сумме внутреннего падения напряжения в нем и напряжения на его зажимах.

При последовательном соединении условный конец первого приемника соединяется с условным началом второго, конец второго — с началом третьего т. д. На рисунке 3 приемники с сопротивлениями R_1, R_2, R_3 соединены последовательно и подключены к источнику энергии с напряжением U . По всем участкам последовательной цепи проходит один и тот же ток I . По закону Ома, напряжения на отдельных сопротивлениях

$$U_1 = IR_1, \quad U_2 = IR_2, \quad U_3 = IR_3$$

Таким образом, падения напряжения на последовательно соединенных сопротивлениях пропорциональны величинам сопротивлений. При $R_1 > R_2 > R_3$ напряжение $U_1 > U_2 > U_3$. Напряжения U_1, U_2, U_3 равны только при одинаковых сопротивлениях R_1, R_2, R_3 . При последовательном соединении приемников сумма напряжений на отдельных приемниках равна напряжению на зажимах цепи (II закон Кирхгофа), т.е

$$U_1 + U_2 + U_3 = U$$

Эквивалентное сопротивление трех последовательно соединенных сопротивлений

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

При параллельном соединении условный конец первого приемника соединяется с условным концом второго, начало первого — с началом второго т. д. На рисунке 3 приемники с сопротивлениями R_1, R_2, R_3 соединены параллельно и подключены к источнику энергии с напряжением U . На всех участках параллельной цепи действует одно и тоже напряжение U .

Токи в ветвях согласно закону Ома

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3};$$

Таким образом, сила тока на параллельно соединенных сопротивлениях обратно пропорциональна величинам сопротивлений. При $R_1 > R_2 > R_3$ токи $I_1 < I_2 < I_3$. Токи I_1, I_2, I_3 равны только при одинаковых сопротивлениях R_1, R_2, R_3 .

Эквивалентное сопротивление трех параллельно соединенных сопротивлений

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме 1 с последовательным соединением трех резисторов.

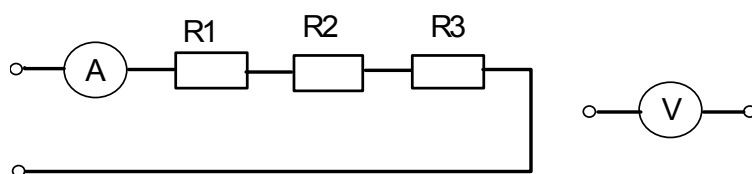
2. Установить напряжение на входе. Произвести измерение тока и напряжения на входе и на участках цепи. Результаты внести в таблицу 2.1 .
3. Изменить напряжение на входе и повторить пункт 2.
4. Проверить результаты путем расчетов.
5. Собрать цепь по схеме 2 с параллельным соединением трех резисторов.
6. Установить напряжение на входе. Произвести измерение тока и напряжения на входе и на участках цепи. Результаты внести в таблицу 2.2.
7. Изменить напряжение на входе и повторить пункт 6.
8. Проверить результаты путем расчетов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение последовательного соединения сопротивлений.
2. Как изменится эквивалентное сопротивление цепи при уменьшении сопротивления R_3 ?
3. Как изменится сила тока в цепи при уменьшении сопротивления R_3 ?
4. Как изменится напряжение на сопротивлении R_2 при уменьшении сопротивления R_3 ?
5. Какими должны быть результаты расчетов U_i и U ?

Содержание отчета

1. Собрать цепь по схеме 1



$R_1 =$

$R_2 =$

$R_3 =$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 =$$

2. Установить напряжение на входе. Произвести измерение тока и напряжения на входе и на участках цепи. Результаты внести в таблицу 2.1 .
3. Изменить напряжение на входе и повторить пункт 2.
4. Проверить результаты путем расчетов.

Таблица 2.1 – Результаты измерений и расчетов

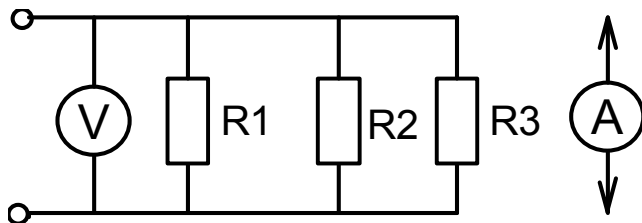
№	Результаты измерений					Результаты расчетов						
	U	U ₁	U ₂	U ₃	I	R	γ	R ₁	R ₂	R ₃	R`	$\gamma`$
	В	В	В	В	мА	Ом	%	Ом	Ом	Ом	Ом	%
1												
2												

Расчетные формулы для 1 и 2 опытов:

$$R = \frac{U}{I}; \gamma = \frac{R_T - R}{R_T} \cdot 100\%; R_1 = \frac{U_1}{I}; R_2 = \frac{U_2}{I}; R_3 = \frac{U_3}{I}; R' = R_1 + R_2 + R_3;$$

$$\gamma' = \frac{R_T - R'}{R_T} \cdot 100\%$$

1. Собрать цепь по схеме 2.



$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} =$$

2. Установить напряжение на входе. Произвести измерение тока и напряжения на входе и на участках цепи. Результаты внести в таблицу 2.2.
3. Изменить напряжение на входе и повторить пункт 6.
4. Проверить результаты путем расчетов.

. Таблица 2.2 – Результаты измерений и расчетов

№	Результаты измерений					Результаты расчетов						
	U	I	I_1	I_2	I_3	R	γ	R_1	R_2	R_3	R'	γ'
	В	А	А	А	А	Ом	%	Ом	Ом	Ом	Ом	%
3												
4												

$$R = \frac{U}{I}; \gamma = \frac{R_T - R}{R_T} \cdot 100\%; R_1 = \frac{U}{I_1}; R_2 = \frac{U}{I_2}; R_3 = \frac{U}{I_3};$$

$$R' = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}; \gamma' = \frac{R_T - R'}{R_T} \cdot 100\%$$

Выводы

Лабораторная работа №3

Определение потери напряжения в проводах и КПД линии электропередачи

Цель работы: Экспериментально определить влияние нагрузки на параметры линии электропередачи.

Оборудование: лабораторный стенд, потребители, амперметр, вольтметр, резистор – 2 шт, инструкционные карты.

Краткие теоретические сведения

При расчете проводов по допустимой потере напряжения обычно заданы: напряжение источника энергии U_1 , расстояние l от этого источника до места потребления энергии, сила тока I (или мощность P) приемников и напряжение U , необходимое для нормальной работы приемников (например, ламп накаливания, электродвигателей и т.д.). Задачей расчета проводов является выбор их сечения, при котором обеспечивается нормальное рабочее напряжение (номинальное напряжение) на зажимах приемников электроэнергии. Определим сопротивление обоих проводов линии:

$$R_{\text{пр}} = \rho \frac{2l}{S} = \frac{2l}{\gamma S}$$

где $\gamma = 1/\rho$ — удельная проводимость материала проводов.

Напряжение источника U_1 равно напряжению приемника энергии U плюс потеря напряжения в проводах ΔU , т.е. $U_1 = U + \Delta U$. Отсюда напряжение на приемнике энергии $U = U_1 - \Delta U$

Потерю напряжения в проводах определим по закону Ома:

$$\Delta U = IR_{\text{пр}} = \frac{I^2 l}{\gamma S}$$

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме и подключить ее к источнику постоянного напряжения.

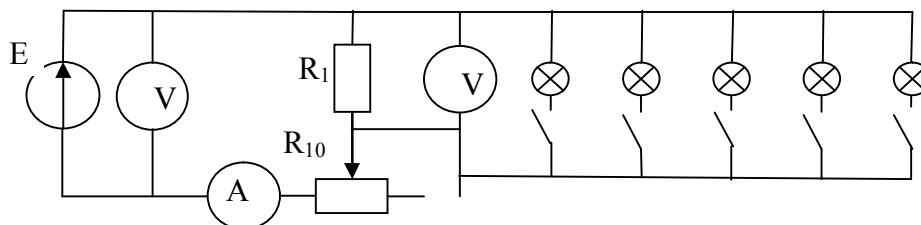


Рисунок 5 – Схема линии электропередачи с потребителями

2. Включить стенд и подать напряжение в схему от источника E_2 .
3. Изменяя число ламп от 0 до 5 записать показание приборов в таблицу
4. Длина линии определяется по одному из значений сопротивления линии R и заданными γ и S .
5. По результатам измерений рассчитать параметры линии электропередачи, согласно предложенным формулам.

$$\Delta U = U_1 - U_2, \quad \Delta U\% = \Delta U \cdot 100\% / U_2, \quad \Delta P = \Delta U \cdot I, \quad R = \Delta U / I, \\ \eta = U_2 \cdot 100\% / U_1, \quad l = 0,5 R \gamma S$$

6. По результатам измерений и расчетов постройте графики зависимости $\eta = f(I)$, $U_2 = f(I)$, $\Delta U = f(I)$

Контрольные вопросы

1. Как увеличение количества потребителей и их мощности отразится на общем сопротивлении потребителей?
2. Как увеличение количества потребителей и их мощности отразится на величине тока в общей неразветвленной части цепи?
3. Как величина потребляемого тока влияет на падение напряжения в проводах?
4. Как увеличение количества потребителей и их мощности отразится на величине напряжения в потребителях?

Содержание отчета

1. Собрал цепь по схеме.
2. Включил стенд и подал напряжение в схему от источника E_2 _____.
3. Изменяя число ламп от 0 до 5 записал показание приборов в таблицу
4. Длина линии определил по одному из значений сопротивления линии R и заданными $\gamma =$ _____ и $S =$ _____.

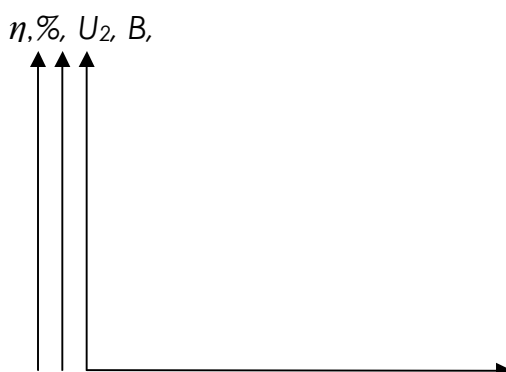
Таблица 4 – Результаты измерений и расчетов.

№	Замеры				Расчеты							
	п	I, мА	U ₁ , В	U ₂ , В	ΔU , В	ΔU , %	ΔP , Вт	R, Ом	η , %	γ , м/Ом мм ²	S, мм ²	L, км
1												
2												
3												
4												
5												
6												

5. По результатам измерений рассчитал параметры линии электропередачи, согласно формулам.

$$\Delta U = U_1 - U_2, \quad \Delta U\% = \Delta U \cdot 100\% / U_2, \quad \Delta P = \Delta U \cdot I, \quad R = \Delta U / I, \\ \eta = U_2 \cdot 100\% / U_1, \quad l = 0,5 R \gamma S$$

6. По результатам измерений и расчетов построил графики зависимости $\eta = f(I)$, $U_2 = f(I)$, $\Delta U = f(I)$



Выводы.

Практическая работа №2

Расчет простой цепи постоянного тока

Цель занятия: Приобретение навыков расчета электрической цепи постоянного тока. Расчет цепи постоянного тока со смешанным соединением сопротивлений, определение эквивалентного сопротивления цепи, токов и мощности участков цепи.

Краткие теоретические сведения

Метод эквивалентных преобразований

Метод эквивалентных преобразований используется в случае, если цепь содержит лишь один источник электрической энергии.

Последовательность действий:

1. С помощью эквивалентных преобразований сводят схему к одному эквивалентному сопротивлению, подключенному к источнику.
2. Уточняют первый неизвестный ток (потребляемый схемой от источника).
3. С помощью обратных преобразований, постепенно восстанавливают схему, попутно уточняя неизвестные токи и напряжения.

Порядок выполнения

1. Начертите схему цепи согласно варианта задания.
2. Проанализируйте соединение элементов и участков цепи.
3. Определите эквивалентное сопротивление, используя метод эквивалентных преобразований.
4. Определите общий ток цепи.
5. Используя свойства последовательного и параллельного соединения сопротивлений, определите ток и мощность рассеивания на каждом резисторе.

Данные для своего варианта выберите из таблицы 1.

В таблице 1.2 согласно номеру варианта задана электрическая схема.

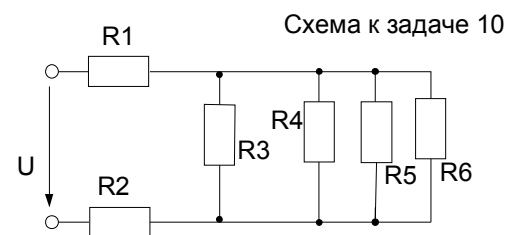
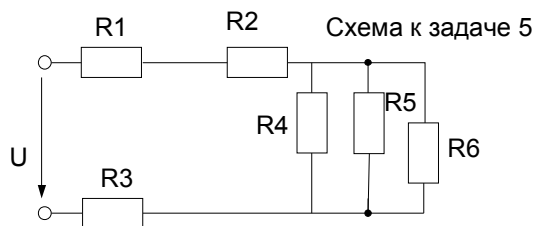
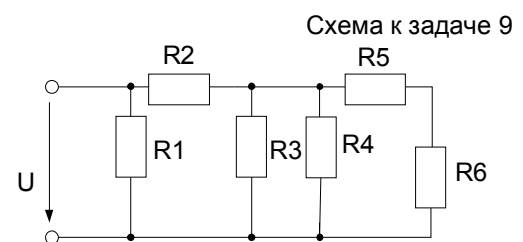
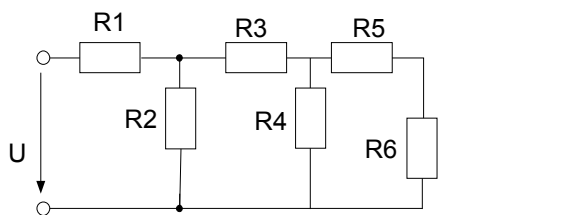
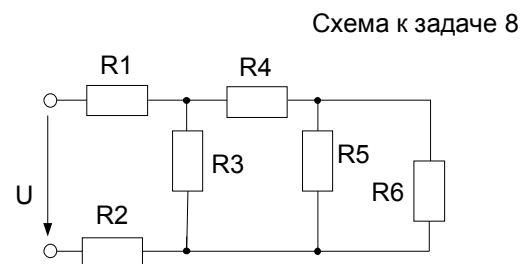
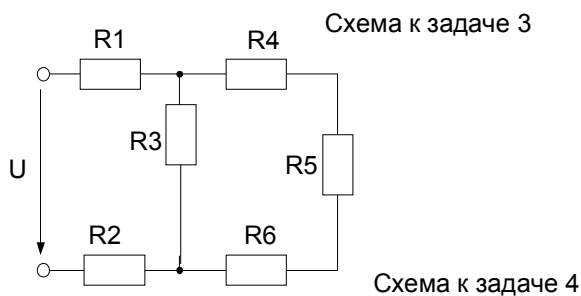
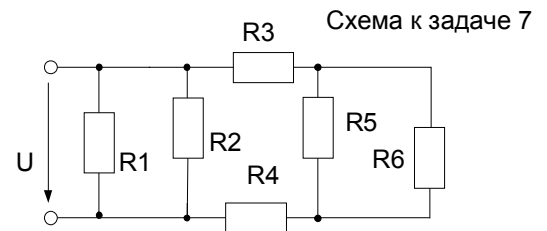
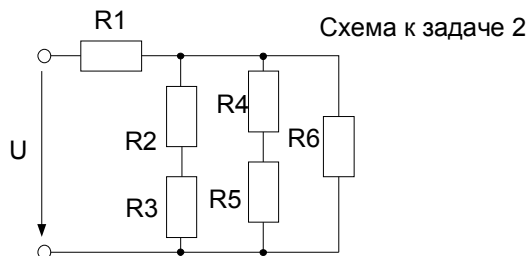
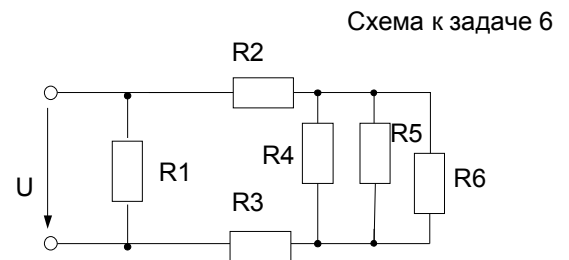
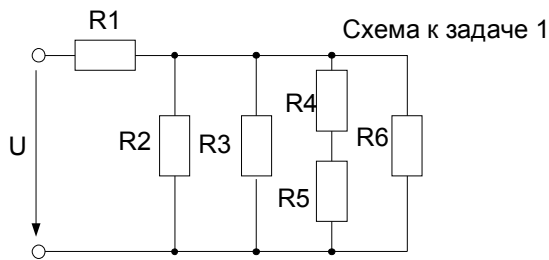
Величины сопротивлений и один из параметров (ток или напряжение) заданы в той же таблице.

Определить эквивалентное сопротивление цепи, а также силу тока в каждом резисторе, мощность потребляемую цепью. Показать направления токов во всех ветвях цепи.

Таблица 1.2

№ задачи	Номер рисунка	Сопротивление резисторов						Заданный параметр
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	
1	1.1	2	4	12	3	5	8	$U = 100\text{В}$
2	1.2	4	2	6	6	10	4	$U_5 = 18\text{В}$

3	1.3	4	15	10	5	10	5	$I_5 = 4 \text{ A}$
4	1.4	4	10	4	15	15	20	$I_1 = 50 \text{ A}$
5	1.5	3	6	6	12	12	8	$U_2 = 36 \text{ B}$
6	1.6	15	16	10	14	6	4	$U = 120 \text{ B}$
7	1.7	60	3	6	16	9	8	$U_3 = 30 \text{ B}$
8	1.8	15	12	12	10	40	5	$U = 42 \text{ B}$
9	1.9	20	6	40	30	25	5	$U_1 = 120 \text{ B}$
10	1.10	0	30	5	30	30	18	$U = 110 \text{ B}$



Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы электрической цепи?

-

1. Магнитная цепь разбивается на ряд участков с одинаковым поперечным сечением S , выполненном из однородного материала.

2. Намечается путь прохождения средней магнитной линии (на рис. 4.7 показано пунктиром).

3. Т.к. магнитный поток на всех участках цепи остается постоянным, то магнитная индукция $B = \Phi / S$ на каждом из участков и напряженность магнитного поля H

неизменны. Это позволяет сравнительно просто определить значение $\oint H dL$ для контура, образованного средней магнитной линией, а следовательно, найти искомую величину намагничивающей силы, поскольку $F = \oint H dL$.

Запишем интеграл $\oint H dL$ в виде суммы интегралов с границами интегрирования, совпадающими с началом и концом каждого участка цепи. Тогда

$$\oint H dL = \int_a^b H_1 dL + \int_b^c H_2 dL + \int_c^a H_3 dL = H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_{\text{воз}} \delta = I W$$

где: L_1 и L_2 – длины ферромагнитных участков цепи [м].
 δ – ширина воздушного зазора, [м].

4. Значения H_1 и H_2 определяют по известным величинам магнитной индукции B с помощью кривых намагничивания, соответствующих ферромагнитных материалов.

А для воздушного зазора

$$H_{\text{воз}} = \frac{B_{\text{воз}}}{\mu_0} = \frac{B_{\text{воз}}}{4\pi \times 10^{-7}} = 8 \times 10^5 B_{\text{воз}} \text{ А/м.}$$

Обратная задача

Задано:

1. Геометрические размеры магнитной цепи;
2. Характеристики ферромагнитных материалов;
3. Намагничивающая сила обмотки F .

Требуется определить магнитный поток Φ .

$$\Phi = \mu_s S \frac{I W}{L} = \frac{I W}{\frac{L}{\mu_s S}} = \frac{F}{R_{\text{ж}}}$$

Непосредственное использование формулы для определения магнитного потока Φ оказывается невозможным, поскольку магнитное сопротивление цепи переменное и само зависит от величины магнитного потока. Такие задачи решаются методом последовательного приближения в следующем порядке. Задаются рядом произвольных значений магнитного потока в цепи и для каждого из этих значений определяют необходимую намагничивающую силу обмотки так, как это делается при решении прямой задачи.

По полученным данным строят кривую $\Phi(F)$ – вебер-амперную характеристику. Имея эту зависимость, нетрудно для заданного значения намагничивающей силы найти величину магнитного потока.

Для оценки необходимого значения Φ можно пренебречь сопротивлением ферромагнитного участка и посчитать поток, который получится под действием намагничивающей силы F при сопротивлении воздушного участка. Это значение Φ заведомо больше расчетного.

Остальные значения можно давать меньше.

$$\Phi = \frac{F}{R_{\text{магн}}} = \frac{F}{\frac{b}{S \times 4\pi \times 10^{-7}}}$$

Задание на практическую работу №3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ_{12} , мм	0,1									1
δ_{13} , мм		0,5	0,5	1	0,5			0,5		0,5
δ_{24} , мм		0,5	0,5			0,1			0,5	
δ_{34} , мм	0,1						0,1			
$l_1 = l_4$, мм	150	160	200	120	135	130	130	150	200	180
$l_2 = l_3$, мм	100	120	150	130	150	130	130	200	180	120
a_1 , мм	20	20	30	40	35	30	30	25	30	25
a_2 , мм	15	20	20	30	30	35	40	20	20	20
a_3 , мм	15	30	20	30	30	35	35	25	20	20
a_4 , мм	20	30	20	40	30	25	30	30	25	30
b , мм	15	20	25	30	25	30	30	20	30	25
Φ , Вб	$1,54 \cdot 10^{-4}$			$1,2 \cdot 10^{-4}$				$1,54 \cdot 10^{-4}$		
B_δ , Тл		0,1			0,1	0,15	0,15		0,1	
H_δ , А/м			$12 \cdot 10^5$							$10 \cdot 10^5$
I , А	10			10		6		12		5
W , витки		500	450		500		600		400	

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию магнитной цепи
2. Определить количество однородных участков и длины их средних линий.
3. Определить площадь поперечного сечения магнитопровода на однородных участках.
4. Площадь поперечного сечения магнитопровода на однородных участках.
5. На основании одного известного параметра, определить магнитную индукцию на однородных участках магнитопровода.
 - А) на ферромагнитных участках по кривым первоначального намагничивания
 - Б) в воздушных зазорах по формуле зависимости B от H
6. Определение магнитодвижущей силы в магнитопроводе.
7. Определение силы тока в обмотке (Число витков в обмотке).
8. Магнитное сопротивление магнитопровода с воздушным зазором.
9. Магнитодвижущая сила в магнитопроводе без воздушных зазоров

(исключить участки в воздушных зазорах)

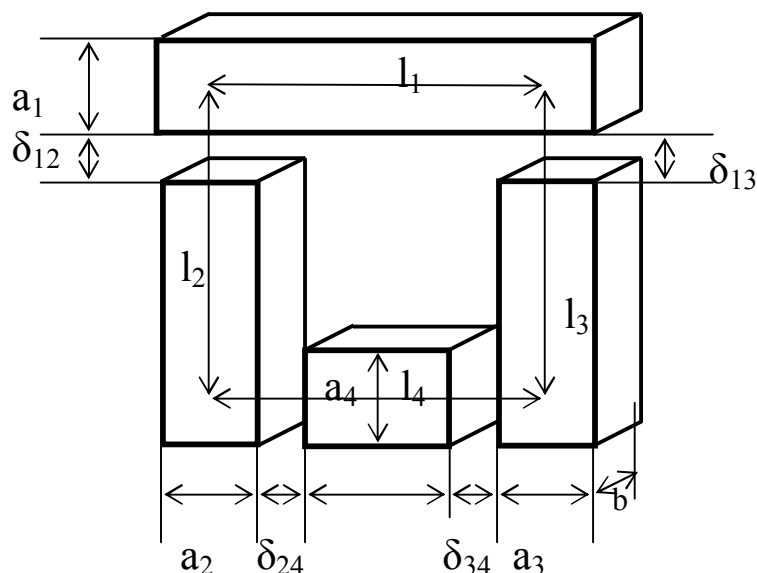
10. Сила тока в обмотке (Число витков в обмотке) без воздушных зазоров.
11. Магнитное сопротивление магнитопровода без воздушного зазора.

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение магнитному полю?
- 2 Назовите основные характеристики магнитного поля?
- 3 Назовите основные элементы магнитной цепи?
- 4 Приведите аналогию между законами Ома и Кирхгофа для электрических и магнитных цепей?
- 5 Как воздействует магнитное поле на проводники с токами?

Содержание отчета

1. Изобразить конструкцию магнитной цепи согласно варианту



2. Определить количество однородных участков и длины их средних линий.
3. Определить площадь поперечного сечения магнитопровода на однородных участках.
4. Площадь поперечного сечения магнитопровода на однородных участках.
$$S = a \cdot b, \text{ м}^2$$
5. На основании одного известного параметра, определите магнитную индукцию на однородных участках магнитопровода.

$$B = \Phi / S, \quad \Phi = B_{\delta} S_{\delta}, \quad B_{\delta} = H_{\delta} \mu_0$$

А) на ферромагнитных участках по кривым первоначального намагничивания

Б) в воздушных зазорах по формуле зависимости B от H

$$H = B / \mu_0$$

6. Магнитодвижущая сила в магнитопроводе.

$$IW = H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_3 L_3 + H_4 L_4$$

7. Сила тока в обмотке (Число витков в обмотке).

$$I = IW / W; \quad W = IW / I$$

8. Магнитное сопротивление магнитопровода с воздушным зазором.

$$R_M = IW / \Phi$$

9. Магнитодвижущая сила в магнитопроводе без воздушных зазоров

$$IW_1 = H_1 L_1 + H_2 L_2 + \dots \text{ (исключить участки в воздушных зазорах)}$$

10. Сила тока в обмотке (Число витков в обмотке) без воздушных зазоров.

11. Магнитное сопротивление магнитопровода без воздушного зазора.

$$R_M = IW / \Phi$$

ВЫВОД о влиянии воздушного зазора на магнитное сопротивление магнитопровода.

Лабораторная работа №4

Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением резистора и катушки индуктивности

Цель занятия: Экспериментально проверить влияние индуктивности катушки на параметры цепи переменного тока.

Оборудование: лабораторный стенд: резистор, катушка индуктивности, амперметр, вольтметр, омметр; инструкционные карты.

Краткие теоретические сведения

Реальная катушка любого электротехнического устройства имеет два параметра: активное сопротивление r и индуктивность L . Поэтому в схеме замещения реальную катушку можно представить активным r и реактивным L элементами, соединенными последовательно. Мгновенное значение тока в цепи с последовательным соединением активного сопротивления r и индуктивности L зависит не только от приложенного напряжения u , сопротивления r , но и от возникающей в цепи ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

Напряжение $U_a = I r$ называется *активным напряжением*, а $U_L = L \frac{di}{dt}$ - *реактивным*.

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме.

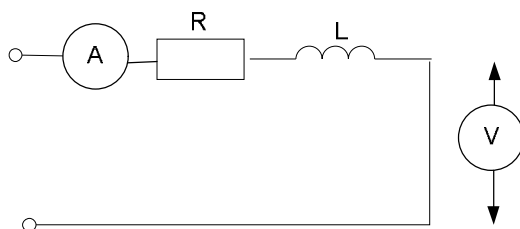


Рисунок 6 – Схема электрической цепи

2. Установить регулятор индуктивности L1.1 в положение 3. Подключить к катушке омметр. Измерить активное сопротивление катушки при разомкнутой цепи в положении регулятора L1.1 - 3, 4, 5, 6. Записать r_K в таблицу.

Подать на вход цепи напряжение 50 В. Провести измерения тока I и напряжения всей цепи U и на участках U_R , U_K .

Увеличить индуктивность катушки. Произвести замеры, установив регулятор индуктивности в положение L1.1 - 3, 4, 5, 6. Данные записать в таблицу.

3. Рассчитать параметры цепи, используя расчетные формулы. Результаты расчетов занести в таблицу.

Полное сопротивление цепи $Z = \frac{U}{I};$

Активное сопротивление резистора $R = \frac{U_R}{I};$

Активное сопротивление цепи $R_{ОБ} = R + r_K;$

Индуктивное сопротивление цепи $X_K = \sqrt{Z^2 - R_{ОБ}^2}$

Индуктивность катушки $L = \frac{X_K}{2 \cdot \pi \cdot f}$

Коэффициент мощности цепи $\cos \varphi = \frac{R_{ОБ}}{Z}$

Угол сдвига фаз между током и напряжением $\varphi = \arccos \frac{R_{ОБ}}{Z};$

Активная мощность цепи $P = I^2 R_{ОБ};$

Реактивная мощность цепи $Q = I^2 X_K;$

Полная мощность цепи $S = U I$

4. По результатам измерений построить векторные диаграммы токов и напряжений

Контрольные вопросы

1. Какими сопротивлениями обладает катушка индуктивности?
2. Как можно изменить индуктивность катушки?
3. Как увеличение индуктивности катушки отражается на ее сопротивлении? Обоснуйте.
4. Как увеличение индуктивности катушки отражается на величине тока в цепи? Обоснуйте.
5. Как увеличение индуктивности катушки отражается на мощности активной, реактивной и полной? Обоснуйте.

Содержание отчета

1. Собрал цепь по схеме.
2. Установил регулятор индуктивности L1.1 в положение 3. Подключил к катушке омметр. Измерил активное сопротивление катушки при разомкнутой цепи в положении регулятора L1.1 - 3, 4, 5, 6. Записал r_k в таблицу.
3. Подал на вход цепи напряжение _____. Провел измерения тока I и напряжения всей цепи U и на участках U_R , U_K .
4. Увеличил индуктивность катушки. Произвел замеры, установив регулятор индуктивности в положение L1.1 - 3, 4, 5, 6. Данные записал в таблицу.

Таблица 6 – Результаты измерений и расчетов.

№	Замеры						Расчеты									
	f	U	U_R	U_K	I	r_k	Z	R	R_{OB}	X_K	L	$\cos\varphi$	φ	P	Q	S
	Гц	В	В	В	А	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Гн		град	Вт	ВАр	ВА
1																
2																
3																
4																

5. Рассчитал параметры цепи, используя расчетные формулы. Результаты расчетов записал в таблицу.

$Z =$ - _____
 $R =$ - _____
 $R_{OB} =$ - _____
 $X_K =$ - _____
 $L =$ - _____
 $\cos \varphi =$ - _____
 $\varphi =$ - _____
 $P =$ - _____
 $Q =$ - _____
 $S =$ - _____

6. По результатам измерений построил векторные диаграммы токов и напряжений.

Масштаб $m_I = \underline{\hspace{2cm}}$, $m_U = \underline{\hspace{2cm}}$



Выводы.

Лабораторная работа №5

Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением резистора и конденсатора

Цель занятия: Экспериментально проверить влияние емкости конденсатора и частоты тока на параметры цепи.

Оборудование: лабораторный стенд: резистор, конденсатор, амперметр, вольтметр,; инструкционные карты.

Краткие теоретические сведения

Если к источнику переменного тока подключить конденсатор, то в цепи появится ток. Способность конденсатора пропускать переменный ток объясняется тем, что под действием переменного синусоидального напряжения конденсатор периодически заряжается и разряжается, вследствие чего происходит перемещение электрических зарядов в проводниках, соединяющих конденсатор с источником тока. Соотношение фаз тока и напряжения представлено на рис. 1.8. *В цепи с емкостью ток опережает по фазе напряжение на 90° .* Закон Ома для цепи переменного тока с емкостью определяет действующее значение силы тока:

$$I = \frac{U}{X_C}$$

Величина $X_C = \frac{1}{\omega C}$ называется емкостным сопротивлением. Она обратно пропорциональна частоте тока в цепи и емкости конденсатора. Измеряется в омах (Ом).

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме.

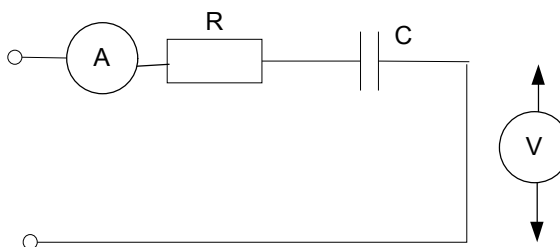


Рисунок 7 – Схема электрической цепи

2. Установить емкость 6 мкФ.
3. Подать на вход цепи напряжение. Провести измерения тока I и напряжения всей цепи U и на участках U_C , U_R .
4. Изменяя емкость произвести измерения тока I и напряжения всей цепи U и на участках U_C , U_R . Данные записать в таблицу.
5. Рассчитать параметры цепи, используя расчетные формулы. Результаты расчетов занести в таблицу.

$$Z = \frac{U}{I}; \quad R = \frac{U_R}{I}; \quad X_C = \frac{U_C}{I}; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \quad \varphi = \arccos \frac{R}{Z}$$

$$P = I^2 R; \quad Q = I^2 X_C; \quad S = U I$$

6. По результатам построить векторные диаграммы токов и напряжений в масштабе.

Контрольные вопросы

1. Какими сопротивлениями обладает катушка индуктивности?
2. Как можно изменить индуктивность катушки?
3. Как увеличение индуктивности катушки отражается на ее сопротивлении? Обоснуйте.
4. Как увеличение индуктивности катушки отражается на величине тока в цепи? Обоснуйте.
5. Как увеличение индуктивности катушки отражается на мощности активной, реактивной и полной? Обоснуйте.
- 6.

Содержание отчета

1. Собрал цепь по схеме.
2. Установил емкость 6 мкФ.
3. Подал на вход цепи напряжение. Провел измерения тока I и напряжения всей цепи U и на участках U_C , U_R .
4. Изменяя емкость произвел измерения тока I и напряжения всей цепи U и на участках U_C , U_R . Данные записал в таблицу.

Таблица 7 – Таблица результатов измерений и расчетов.

№	Замеры						Расчеты								
	f	U	U _R	U _C	I	C	Z	R	X _C	cosφ	φ	P	Q	S	

	Гц	В	В	В	А	мкФ	Ом	Ом	Ом		град	Вт	ВАр	ВА
1														
2														
3														
4														

5. Рассчитал параметры цепи, используя расчетные формулы. Результаты расчетов занес в таблицу.

$Z =$ _____ -

$R =$ _____ -

$X_C =$ _____ -

$\cos \varphi =$ _____ -

$\varphi =$ _____ -

$P =$ _____ -

$Q =$ _____ -

$S =$ _____ -

6. По результатам построить векторные диаграммы токов и напряжений в масштабе.

Масштаб $m_I =$ _____, $m_U =$ _____

_____ → _____ →

_____ →

Вывод.

Лабораторная работа №6

Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением резистора, катушки индуктивности и конденсатора. Резонанс напряжений

Цель занятия: получение резонанса напряжений в цепи переменного тока и исследование свойств цепи в режиме резонанса.

Оборудование: лабораторный стенд, резистор, катушка индуктивности, конденсатор, мультиметры, инструкционные карты.

Краткие теоретические сведения

Резонанс напряжений возникает в цепи, состоящей из активного сопротивления, индуктивности и емкости при равенстве ее реактивных сопротивлений $X_L = X_C$. Добиться этого при неизменной частоте переменного тока можно, изменяя индуктивность катушки L или емкость конденсатора C .

Полное сопротивление цепи при резонансе $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$ равно активному сопротивлению R . Оно остается неизменным при любых частотах переменного тока в цепи. Индуктивная U_L и емкостная U_C составляющие напряжения взаимно уравниваются и полное напряжение источника равно активному напряжению цепи U_a . Под действием напряжения цепи при минимальном сопротивлении в цепи возникает наибольший ток. При этом он совпадает по фазе с напряжением цепи, угол φ становится равным нулю.

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме.

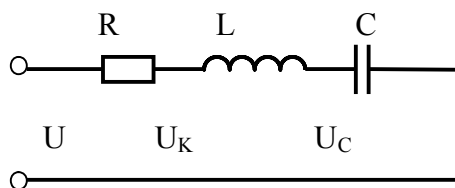


Рисунок Схема электрической цепи

Установить переключатель катушки L_1 , в положение (0,9 – 1 Гн), установить емкость $C = 12$ мкФ.

2. Включить стенд и подать напряжение с регулятора так, чтобы в цепи установился резонанс, т.е. $U_C = U_L$. Показания приборов занести в таблицу.

3. Отключить конденсатор $C = 12$ мкФ. Изменяя емкость конденсатора (6-20) мкФ, показания приборов записать в таблицу. Индуктивность катушки во всех опытах остается неизменной.

4. Расчетные формулы: $R = \frac{U_R}{I}$; $X_L = \frac{U_L}{I}$; $L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}$; $X_C = \frac{10^6}{314 \cdot C}$;

$$Z = \frac{U}{I}; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \quad \varphi = \arccos \frac{R}{Z}; \quad P = I^2 R = U_R I;$$
$$Q_L = I^2 X_L; \quad Q_C = I^2 X_C; \quad Q = Q_L - Q_C; \quad S = U I$$

5. По результатам построить векторные диаграммы токов и напряжений для трех различных режимов цепи

Контрольные вопросы

1. Что такое резонанс напряжений?
2. Назовите условия возникновения резонанса напряжений.
3. Назовите свойства цепи в режиме резонанса напряжений.

4. Какими приборами и как можно обнаружить резонанс напряжений?
5. По каким признакам следует определить опыт соответствующий режиму резонанса электрической цепи?

Содержание отчета

1. Собрал цепь по схеме.
2. Установил переключатель катушки L_1 , в положение (0,9 – 1 Гн), установил емкость $C = 12$ мкФ.
3. Включил стенд и подал напряжение с регулятора так, чтобы в цепи установился резонанс, т.е. $U_C = U_L$. Показания приборов занес в таблицу.
4. Отключил конденсатор $C = 12$ мкФ. Изменяя емкость конденсатора (6-20) мкФ, показания приборов записал в таблицу. Индуктивность катушки во всех опытах остается неизменной.

Таблица 8 – Таблица результатов измерений и расчетов.

№	Результаты измерений						Результаты расчетов											
	U	U _R	U _L	U _C	I	C	R	X _L	L	X _C	Z	P	cosφ	φ	Q _L	Q _C	Q	S
	В				А	мкФ	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Вт		град	ВАр	ВАр	ВАр	ВА
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		

5. По результатам измерений произвел расчет всех параметров цепи, указанных в таблице. Расчетные формулы:

$Z =$ - _____
 $R =$ - _____
 L _____
 $X_L =$ - _____
 $X_C =$ - _____
 $\cos \varphi =$ - _____
 $\varphi =$ - _____
 $P =$ - _____
 $Q_L =$ - _____
 $Q_C =$ - _____
 $Q =$ - _____
 $S =$ - _____

6.

2. По результатам построил векторные диаграммы токов и напряжений для трех различных режимов цепи Масштаб по напряжению $M_U =$ _____

$X_L < X_C$

$X_L > X_C$

Вывод

Лабораторная работа №7

Исследование цепи переменного тока с параллельным соединением катушки индуктивности и конденсатора. Резонанс токов

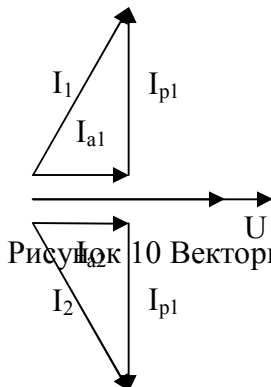
Цель занятия: исследовать резонанс токов. Снять и построить резонансные кривые при переменной емкости.

Оборудование: лабораторный стенд, резистор, катушка индуктивности, конденсатор, амперметр, вольтметр, инструкционные карты

Краткие теоретические сведения

При параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора в цепи возникает резонанс токов при равенстве реактивных составляющих $I_{p1} = I_{p2}$. Активные составляющие токов в параллельных ветвях I_{a1} и I_{a2} совпадают по фазе с приложенным напряжением U , а реактивные I_{p1} и I_{p2} , сдвинутые на 180° , полностью компенсируют друг друга. Общий ток цепи $I = I_{a1} + I_{a2}$. При этом угол сдвига фаз общего тока цепи и напряжения равен нулю. Так как $I_{p1} = Ub_1$, $I_{p2} = Ub_2$, то при резонансе $Ub_1 = Ub_2$ или $b_1 = b_2$. Следовательно, при резонансе токов реактивная проводимость катушки равна реактивной проводимости конденсатора.

I_{p1}



Векторная диаграмма токов и напряжений в режиме резонанса токов

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме.

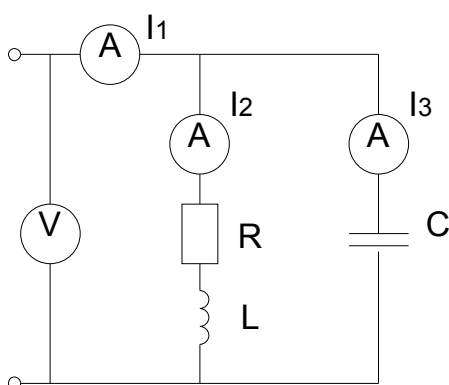


Рисунок 11 Схема электрической цепи

2. Установить индуктивность катушки по заданию преподавателя.
3. Отключить конденсатор, подать в цепь напряжение по заданию преподавателя, измерить напряжение и силу тока на резисторе. Определить сопротивление резистора

$$R = \frac{U}{I_2}$$

4. Установить емкость конденсатора по заданию преподавателя. С помощью регулятора напряжения добиться резонанса токов, т.е. $I_2 \approx I_3$. Отключить конденсатор, показания приборов записать в таблицу.
5. Изменяя емкость конденсатора, записать показания приборов в четырех точках (при различных значениях емкости конденсатора).
6. Рассчитать параметры цепи, представленные в таблице, по расчетным формулам.

$$X_C = \frac{10^6}{314C}; \quad g = ry_K; \quad y_K = \frac{I_2}{U}; \quad y = \frac{I_1}{U}; \quad \omega = 314 \text{ c}^{-1}; \quad b_L = \sqrt{y_K^2 + g^2};$$

$$b_C = \frac{I_3}{U}; \quad b = (b_L - b_C); \quad P = UI_1 \cos \varphi; \quad \cos \varphi = \frac{g}{y}; \quad \sin \varphi = \frac{b}{y}; \quad I_{ak} = Ug$$

$$I_L = Ub_L; \quad I_3 = I_C; \quad S = UI_1; \quad Q = S \sin \varphi$$

7. По данным таблицы построить графики зависимостей

$$I = f(C), \quad I_{ak} = f(C), \quad I_C = f(C), \quad I_L = f(C), \quad \cos \varphi = f(C), \\ P = f(C), \quad Q = f(C), \quad S = f(C),$$

8. Построить векторные диаграммы для трех различных режимов цепи
 $b_C < b_L$; $b_C \approx b_L$; $b_C > b_L$

Контрольные вопросы

1. Что такое резонанс токов?
2. Назовите условия возникновения резонанса токов.

3. Назовите свойства цепи в режиме резонанса токов.
4. По каким признакам следует определить опыт, соответствующий режиму резонанса электрической цепи?

Содержание отчета

1. Собрал цепь по схеме.
2. Установил индуктивность катушки $L = \underline{\hspace{2cm}}$ Гн.
3. Отключил конденсатор, подал в цепь напряжение $U = \underline{\hspace{2cm}}$ В, измерил напряжение и силу тока на резисторе. Определил сопротивление резистора

$$R = \frac{U}{I_2} =$$
4. Установил емкость конденсатора $C = \underline{\hspace{2cm}}$ мкФ. С помощью регулятора напряжения добился резонанса токов, т.е. $I_2 \approx I_3$. Отключил конденсатор, показания приборов записал в таблицу.
5. Изменяя емкость конденсатора, записал показания приборов в четырех точках (при различных значениях емкости конденсатора).

Таблица 9 – Результаты замеров и расчетов

№	Замеры					Расчеты															
	U	I ₁	I ₂	I ₃	C	r	P	X _C	Y _K	b _L	b _C	b	Y	cosφ	sinφ	φ	I _{ак}	I _L	Q	S	g
	B	A			мкФ	Ом	Вт	Ом	Ом ⁻¹						град	A		вар	ВА	Ом ⁻¹	
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					

6. Рассчитал параметры цепи, представленные в таблице, по расчетным формулам.

$$X_C = \frac{10^6}{314C}; \quad g = r y_K; \quad y_K = \frac{I_2}{U}; \quad y = \frac{I_1}{U}; \quad \omega = 314 \text{ с}^{-1}; \quad b_L = \sqrt{y_K^2 + g^2};$$

$$b_C = \frac{I_3}{U}; \quad b = (b_L - b_C); \quad P = UI_1 \cos \varphi; \quad \cos \varphi = \frac{g}{y}; \quad \sin \varphi = \frac{b}{y}; \quad I_{ак} = Ug$$

$$I_L = Ub_L; \quad I_3 = I_C; \quad S = UI_1; \quad Q = S \sin \varphi$$

7. Построил векторные диаграммы для трех различных режимов цепи. Масштаб $M_I = \underline{\hspace{2cm}}$
 $b_C < b_L$; $b_C \approx b_L$; $b_C > b_L$

Вывод.

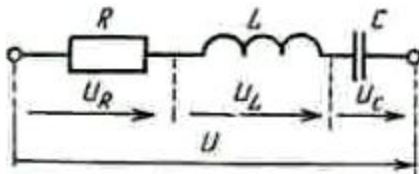
Практическая работа №4

Расчет цепи переменного тока

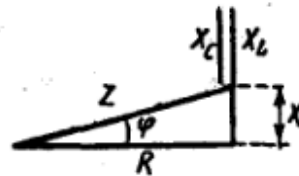
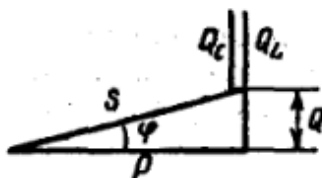
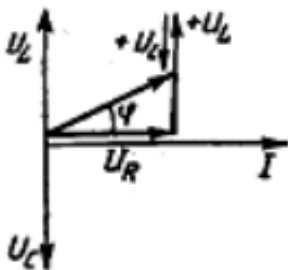
Цель работы: приобретение навыков аналитического и графического расчета параметров цепи переменного тока с последовательным соединением элементов.

Краткие теоретические сведения

В цепи создаваемые током падения напряжений $U_R=IR$, $U_L=IX_L$, $U_C=IX_C$ противодействуют напряжению источника U . Совместное противодействие U_L и U_C называют реактивным напряжением U_p .



Из векторной диаграммы на которой U_L опережает ток, а U_C отстает от тока по фазе на 90° , наглядно видно, что при последовательном соединении индуктивности и емкости напряжения на них находятся в противофазе.



Реактивная мощность цепи равна разности индуктивной и емкостной мощностей.

Разделив стороны треугольника напряжений (выраженные в единицах напряжения) на ток, получаем треугольник сопротивлений, из которого $X=X_L-X_C$ и $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$.

Реактивное сопротивление цепи равно разности индуктивного и емкостного сопротивлений.

Почему же берется не сумма, а разность между реактивными сопротивлениями X_L и X_C и мощностями Q_L и Q_C ? Это можно объяснить тем, что между катушкой и конденсатором происходит обмен энергиями, при котором мгновенные значения ЭДС самоиндукции e_L катушки (обуславливающей X_L и Q_L) и напряжения конденсатора u_C (обуславливающего X_C и Q_C) в любой момент времени направлены навстречу друг другу. Так, в момент, когда конденсатор заряжается, возрастающее напряжение конденсатора u_C направлено противоположно току (мешая зарядке), и ток уменьшается (при полной зарядке конденсатора он станет равным нулю). Уменьшение тока вызывает ЭДС самоиндукции e_L в катушке, которая стремится, по закону Ленца, увеличить ток. В результате u_C и u_L направлены навстречу друг другу и энергия магнитного поля катушки посредством ЭДС e_L преобразуется в энергию конденсатора. При разрядке конденсатора все происходит наоборот: уменьшающееся напряжение конденсатора u_C совпадает по направлению с током, увеличивая его, а возрастающий ток наводит e_L , направленную, по правилу Ленца, противоположно току. В результате u_C и e_L направлены навстречу друг другу и энергия конденсатора идет на создание магнитного поля катушки.

Порядок выполнения

1. Начертите схему цепи и рассчитайте ее параметры.
2. Рассчитайте сопротивление элементов и цепи в целом.

3. Рассчитайте силу тока
4. Рассчитайте мощность цепи: активную, реактивную, полную.
5. Коэффициент мощности цепи
6. Определите напряжение на участках цепи.
7. Выберите масштаб и постройте векторную диаграмму.
8. На векторной диаграмме графически определите напряжение на заданном участке цепи.
9. Аналитически определите напряжение на заданном участке цепи.

Контрольные вопросы

1. Чему равно реактивное напряжение, если $U_L = 80\text{В}$, $U_C = 60\text{В}$:
а) 140 В? б) 100В? в) 20В?
2. Чему равна реактивная мощность цепи:
а) $Q = Q_L + Q_C$? б) $Q = Q_L - Q_C$?
3. Чему равно реактивное сопротивление цепи:
а) $X = X_L + X_C$? б) $X = X_L - X_C$?
4. Может ли при этом напряжение на катушке стать больше напряжения источника?
а) да; б) нет

Порядок выполнения

1. Электрическая принципиальная схема цепи согласно варианту и исходные данные.
2. Расчет сопротивлений элементов и цепи в целом.

Индуктивные сопротивления элементов $X_{L1} = 2\pi f L_1$ и т.д.

Емкостные сопротивления элементов $X_{C1} = \frac{1}{2\pi f C_1}$ и т.д.

Индуктивное сопротивление цепи $X_L = X_{L1} + X_{L2} + \dots$

Емкостное сопротивление цепи $X_C = X_{C1} + X_{C2} + \dots$

Полное сопротивление цепи $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

3. Рассчитайте силу тока $I = \frac{U}{Z}$

4. Рассчитайте мощность цепи: активную, реактивную, полную.

Активная мощность $P = I^2 R$

Индуктивная мощность $Q_L = I^2 X_L$

Емкостная мощность $Q_C = I^2 X_C$

Реактивная мощность цепи $Q = Q_L - Q_C$

Полная мощность цепи $S = IU$

5. Коэффициент мощности цепи $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$

6. Определите напряжение на участках цепи.

$$U_{R1} = IR_1, \quad U_{L1} = IX_{L1}, \quad U_{C1} = IX_{C1}, \quad \text{и т.д.}$$

Выберите масштаб и постройте векторную диаграмму.

7. На векторной диаграмме графически определите напряжение на заданном участке цепи.

$$U_{AB} = I_{Uab} m_U$$

8. Аналитически определите напряжение на заданном участке цепи.

$$U_{AB} = \sqrt{U_{Rab}^2 + (U_{Lab} - U_{Cab})^2}$$

Вывод

Лабораторная работа №8

Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии «звездой»

Цель занятия: Установить соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями при различной нагрузке фаз. Выявить роль нейтрального провода, построить векторные диаграммы.

Оборудование: Лабораторный стенд, амперметр, вольтметр, потребители

Краткие теоретические сведения

Три синусоидальные ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутые по фазе на 120° , образуют 3х-фазную симметричную систему.

При соединении 3х-фазной цепи звездой потребители включаются между линейным и нулевым проводом.

В соответствии с первым законом Кирхгофа: $\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$

1. Токи в соединительных проводах – I_L – линейные токи ($\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$)

2. Токи в нагрузках – I_Φ – фазные токи.

3. Напряжения на нагрузках – U_Φ – фазные напряжения.

4. Напряжения между соединительными проводами – U_L – линейные напряжения.

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B$$

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C$$

$$\vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A$$

При симметричной нагрузке $Z_A = Z_B = Z_C$ и тогда $I_0 = 0$. Так как ток, протекающий по нулевому проводу равен нулю, то нулевой провод не нужен.

При симметричной нагрузке в соединении звездой можно использовать 3х проводную схему. Это бывает сравнительно редко, например при питании 3х фазного двигателя или трансформатора.

При осветительной нагрузке, которая часто бывает несимметричной, нулевой провод необходим, и поэтому используется 4х проводная схема. В случае несимметричной нагрузки обрыв нулевого провода приводит к изменению фазных напряжений и их несимметричности, что недопустимо.

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме, включить одинаковое количество потребителей в фазы.

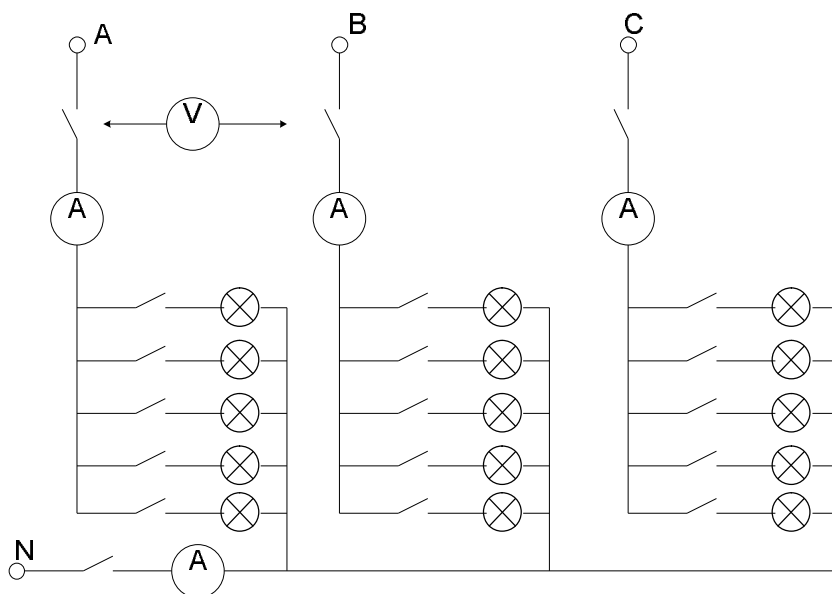


Рисунок 12 Схема электрической цепи

2. Измерить токи в каждой фазе при включенном и выключенном нулевом проводе.
3. Измерить линейные и фазные напряжения в цепи, результаты измерений занести в таблицу.
4. Проверить соотношение $U_L = \sqrt{3} U_\Phi$
5. Собрать цепь по схеме, включить разное количество потребителей в фазах и повторить п. 2 и 3.
6. По результатам измерений построить векторные диаграммы для симметричной нагрузки с нулевым проводом и для несимметричной нагрузки с нулевым проводом.

Контрольные вопросы

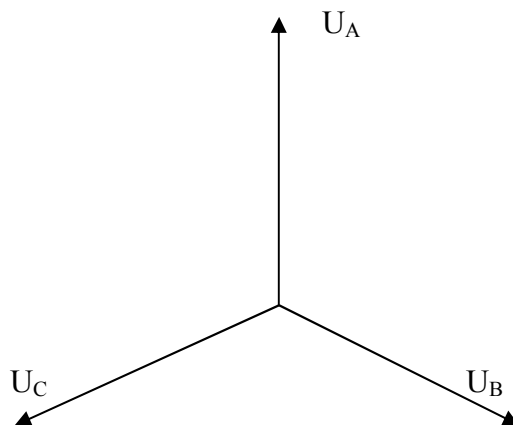
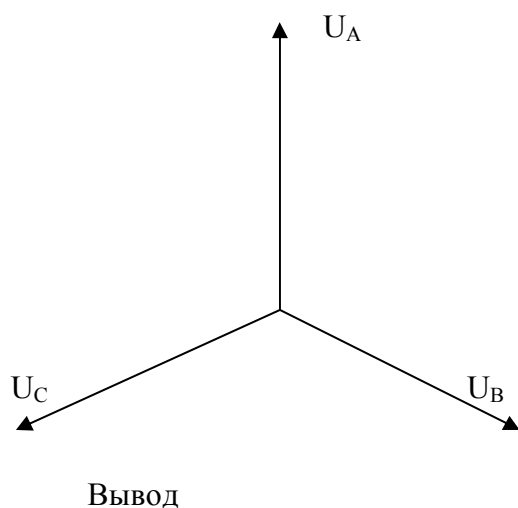
1. Как соединить потребители звездой?
2. Каким будет напряжение на каждом потребителе при соединении их звездой?
3. Как по величине фазных и линейных напряжений определить вид соединения потребителей?
4. Назовите роль нулевого провода в симметричной цепи.
5. Назовите роль нулевого провода в несимметричной цепи.

Содержание отчета

1. Собрал цепь по схеме, включил одинаковое количество потребителей в фазах.
2. Измерил токи в каждой фазе при включенном и выключенном нулевом проводе.
3. Измерил линейные и фазные напряжения в цепи, результаты измерений занес в таблицу.
4. Проверил соотношение $U_L = \sqrt{3} U_\Phi$ _____.
5. Собрал цепь по схеме, включил разное количество потребителей в фазах и повторил п. 2 и 3. В фазе А количество потребителей _____, в фазе В количество потребителей _____, в фазе С количество потребителей _____.
6. По результатам измерений построил векторные диаграммы для симметричной нагрузки с нулевым проводом и для несимметричной нагрузки с нулевым проводом.

Таблица 10 – Таблица измерений

Нагрузка	Нейтраль	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$I_A, мА$	$I_B, мА$	$I_C, мА$	$I_0, мА$
Симметрич.	Вкл										
	Выкл										
Несимметрич	Вкл										
	Выкл										



Лабораторная работа №9

Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии «треугольником»

Цель занятия: установить соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями при различной нагрузке фаз. Построить векторные диаграммы.

Оборудование Лабораторный стенд, амперметр, вольтметр, потребители

Краткие теоретические сведения

При соединении трехфазной цепи треугольником начало каждой обмотки соединяется с концом другой.

1. Токи в соединительных проводах – линейные токи: I_A, I_B, I_C
2. Токи в нагрузках – фазные токи: I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}
3. Напряжения на нагрузках – фазные напряжения.
4. Напряжения между соединительными проводами – линейные напряжения.

При соединении треугольником $U_L = U_\phi$; $I_L = \sqrt{3} I_\phi$

$$\begin{aligned}\vec{I}_A &= \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA} \\ \vec{I}_B &= \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB} \\ \vec{I}_C &= \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}\end{aligned}$$

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме, включить одинаковое количество потребителей в фазах.

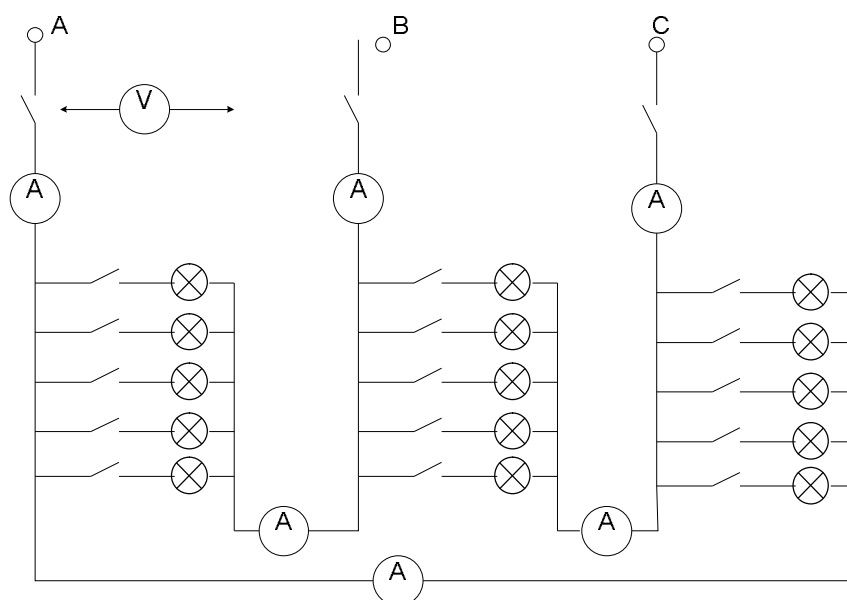


Рисунок 13 Схема электрической цепи

2. Измерить токи в каждой фазе и в каждом линейном проводе при включенном и выключенном линейно проводе С, результаты измерений занести в таблицу.
3. Измерить линейные напряжения в цепи, результаты измерений занести в таблицу.
4. Проверить соотношение $I_L = \sqrt{3} I_\Phi$
5. Собрать цепь по схеме, устанавливая в фазах разные потребители и повторить п. 2 и 3.
6. По результатам измерений построить векторные диаграммы для симметричной и для несимметричной нагрузки с включенным линейным проводом С.

Контрольные вопросы

1. Как соединить потребители треугольником?
2. Каким будет напряжение на каждом потребителе при соединении их треугольником?
3. Как по величине фазных и линейных напряжений определить вид соединения потребителей?
4. Как обрыв линейного провода отразится на параметрах симметричной цепи?
5. Как обрыв линейного провода отразится на параметрах несимметричной цепи?

Содержание отчета

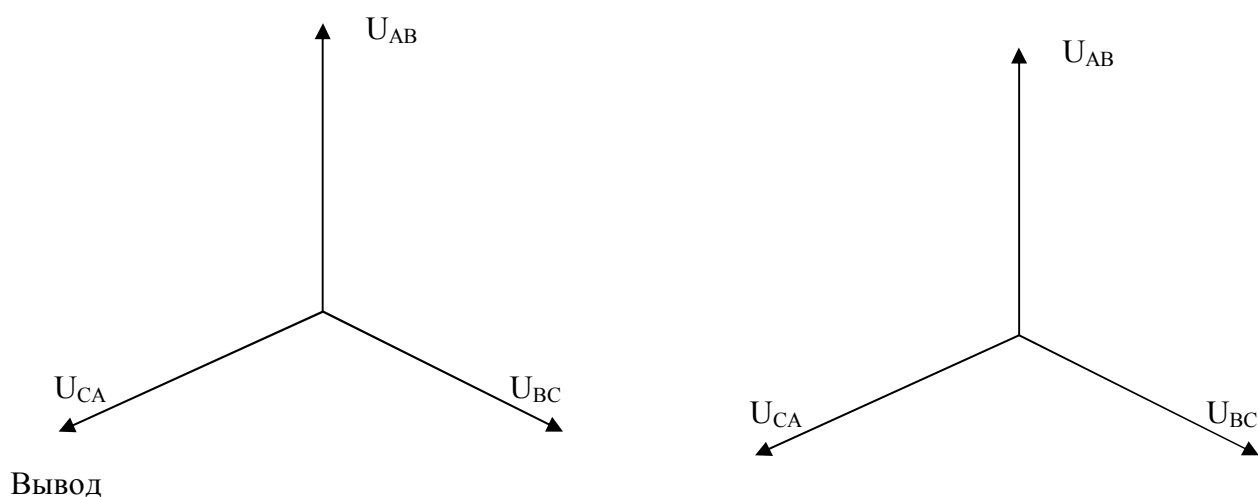
1. Собрал цепь по схеме, включил одинаковое количество потребителей в фаза
2. Измерил токи в каждой фазе и в каждом линейном проводе при включенном и выключенном линейно проводе С, результаты измерений занес в таблицу.

3. Измерил линейные напряжения в цепи, результаты измерений занес в таблицу.
4. Проверил соотношение $I_L = \sqrt{3} I_\Phi$
5. Собрал цепь по схеме, устанавливая в фазах разные потребители и повторить п. 2 и 3.

Таблица 11 – Результаты измерений

Нагрузка	Линейн. провод С	$I_{AB},$ мА	$I_{BC},$ мА	$I_{CA},$ мА	$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$I_A,$ мА	$I_B,$ мА	$I_C,$ мА
Симметрич.	Вкл									
	Выкл									
Несимметрич.	Вкл									
	Выкл									

7. По результатам измерений построил векторные диаграммы для симметричной и для несимметричной нагрузки с включенным линейным проводом С.



Лабораторная работа №10

Испытание однофазного трансформатора

Цель работы: исследование работы трансформатора в рабочем режиме, определить коэффициент полезного действия трансформатора с различной нагрузкой.

Оборудование: инструкционные карты, лабораторный стенд

Краткие теоретические сведения

Трансформатор – это статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения, но той же частоты.

Основными конструктивными элементами трансформатора являются магнитопровод и обмотки. Магнитопровод служит для усиления основного магнитного потока и обеспечения магнитной связи между обмотками.

В работе рассматривается двухобмоточный силовой трансформатор. Первичная обмотка подключается к источнику переменного тока с напряжением U_1 , а вторичная – к потребителю. Ток I_1 , возникающий в первичной обмотке, создает переменный магнитный поток Φ , который, сцепляясь с витками обмоток, индуцирует в них ЭДС с действующими значениями:

$$E_1 = 4.44W_1f\Phi_m \text{ и } E_2 = 4.44W_2f\Phi_m,$$

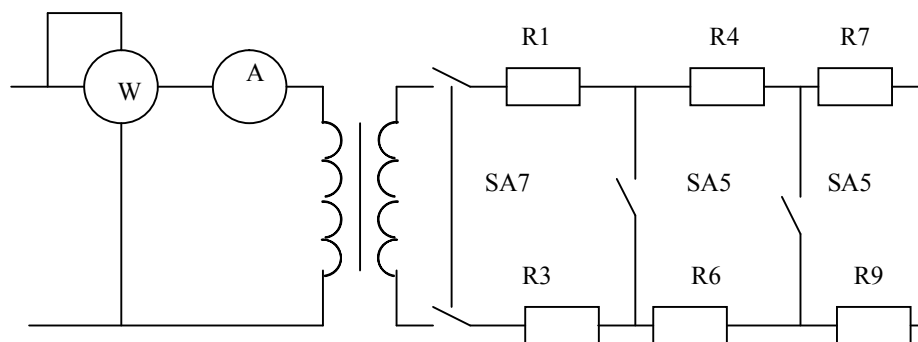
где Φ_m -амплитуда магнитного потока; f - частота переменного тока; W_1, W_2 - число витков обмоток.

Порядок выполнения работы

1. Паспортные данные трансформатора.

S_H	U_{H1}	U_{H2}	I_{H1}	I_{H2}	R_1	R_4	R_7	R_3	R_6	R_9
ВА	В	В	мА	мА	кОм	кОм	кОм	кОм	кОм	кОм
100	220	110	0,45	0,91	10	10	10	10	10	10

2. Собрать цепь по схеме 1 и подключить ее к источнику переменного тока.



3. Включить автоматический выключатель «Сеть». Установить резисторы «Задание частоты» и «Задание напряжения» на панели «Режим работы инвертора» в крайнее левое положение. Включить инвертор. Резистором «Задание частоты» установить частоту 50Гц. Резистором «Задание напряжения» установить номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора 220В. Снять показания рА2, рV2, рW2 (первичная цепь), рV1, рА1 (вторичная цепь). Данные занести в таблицу.

4. Включить SA1. Переключатель SA5 включить в крайнее левое положение. Снять показания приборов рА2, рV2, рW2 (первичная цепь), рV3, рА3 (вторичная цепь). Сопротивление нагрузки в этом случае $R_H = R_1 + R_4 + R_7 + R_9 + R_6 + R_3$ (номиналы взять из паспортных данных стенда либо измерить при отключенном стенде).

5. SA5 перевести в среднее положение. Снять показания приборов рА2, рV2, рW2 (первичная цепь), рV3, рА3 (вторичная цепь). Сопротивление нагрузки в этом случае $R_H = R_1 + R_4 + R_6 + R_3$.

6. SA5 перевести в крайнее правое положение. Снять показания приборов рА2, рV2, рW2 (первичная цепь), рV3, рА3 (вторичная цепь). Сопротивление нагрузки в этом случае $R_H = R_1 + R_3$. Вывести SA5 в крайнее левое положение. Выключить SA1. Выключить инвертор. Установить резисторы «Задание частоты» и «Задание напряжения» на панели

«Режим работы инвертора» в крайнее левое положение. Выключить автоматический выключатель.

Положение переключателя SA5	I_1 , мА	U_1 , В	P_1 , Вт	I_2 , мА	U_2 , В	P_2 , Вт	β	η
SA7 разомкнут (холостой ход)								
SA5 – крайнее левое положение								
SA5 – среднее положение								
SA5 – крайнее правое положение								

Расчетные формулы: мощность потребителя $P_2 = U_2 \cdot I_2$;

Коэффициент нагрузки $\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$; коэффициент полезного действия $\eta = \frac{P_2}{P_1}$

7. График зависимости КПД η трансформатора от коэффициента нагрузки β .

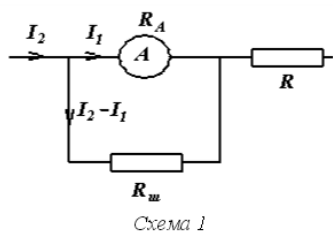
ВЫВОД

Лабораторная работа №11

Расширение пределов измерения вольтметра и амперметра

Цель работы: ознакомление с методами расширения пределов измерений амперметра и вольтметра и созданием комбинированных приборов

При расширении пределов измерения амперметров и вольтметров используются законы последовательно и параллельного соединения проводников.



Пусть имеется амперметр с внутренним сопротивлением R_A и пределом измерения I_1 . Необходимо расширить его до I_2 , т.е. в n_1 раз, где

$$n_1 = \frac{I_2}{I_1}.$$

Выполним это с помощью шунта, то есть параллельно соединенного проводника. Для нахождения сопротивления шунта $R_{ш}$ воспользуемся законами параллельного соединения для случая протекания по цепи предельного тока I_2 , учитывая, что через амперметр нельзя пропускать ток, больше I_1 .

Напряжения на шунте и миллиамперметре одинаковы, следовательно,

$$I_1 R_A = (I_2 - I_1) R_{ш} = (n_1 - 1) I_1 R_{ш},$$

Откуда

$$R_{ш1} = \frac{R_1}{n_1 - 1}$$

Таким образом, сопротивление шунта должно быть в $(n-1)$ раз меньше внутреннего сопротивления прибора.

Пусть имеется вольтметр с внутренним сопротивлением R_V и пределом измерения U_1 . Необходимо расширить предел измерения до U_2 , т.е. в n_2 раз, где

$$n_2 = \frac{U_2}{U_1}$$

Выполним это с помощью дополнительного сопротивления R_d , подключив его последовательно с вольтметром. Для нахождения R_d воспользуемся законами последовательного соединения для случая измерения предельного напряжения U_2 и, учитывая, что к вольтметру не может быть приложено напряжение больше U_1 .

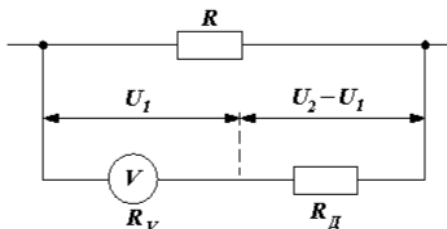


Схема 2

Ток, текущий через вольтметр и добавочное сопротивление одинаков, поэтому $IR_V + IR_d = U_2 = n_2 U_1 = n_2 IR_V$, откуда $R_d = R_V(n_2 - 1)$.

Таким образом, величина дополнительного сопротивления должна быть в 1) раз больше внутреннего сопротивления

($n_2 - 1$) прибора.

Используя рассмотренные теоретические представления, можно с помощью измерительного прибора, например, миллиамперметра, измерять токи и напряжения в достаточно широких пределах, т.е. демонстрировать возможность создания многопредельных комбинированных приборов

Порядок выполнения

1. Изготовление амперметра

Зная R_A , рассчитать сопротивление шунта $R_{ш}$, необходимого для расширения предела измерения миллиамперметра в $n_1 = 100$ раз.

$$R_{ш} = \pm \text{Ом}, \quad \delta R_{ш} = \%$$

Изготовить шунт из медной проволоки. Для этого, воспользовавшись формулой

$$R_{ш} = \frac{\rho l}{S}, \text{ откуда } l = \frac{\pi R_{ш} d^2}{4\rho}$$

где ρ – удельное сопротивление меди,

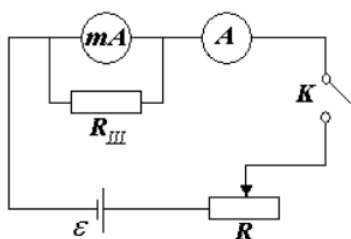
S – площадь сечения провода, определить необходимую длину l шунта. Добавить к расчетной длине ≈ 3 см (для присоединения шунта к миллиамперметру), зачистить концы провода от лака и присоединить шунт к миллиамперметру.

$$\rho = 75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$d =$ мм – диаметр проволоки.

$l =$ м

Правильность расчета и изготовления шунта проверить путем сравнения показаний шунтированного прибора с контрольным амперметром в проверочной схеме.



УКАЗАНИЕ: предварительно определите пределы измерения и цены делений контрольного и полученного шунтированием амперметров.

Миллиамперметр: $I_{\max mA} =$ А, $c_{mA} =$ А/дел
 Шунтированный миллиамперметр: $I_{\max ш} =$ А, $c_{ш} =$ А/дел
 Контрольный амперметр: $I_{\max A} =$ А, $c_A =$ А/дел
 Показания шунтированного миллиамперметра $I_{mA} =$ дел. = А
 Показания контрольного амперметра $I_A =$ дел. =
 Относительная разница показаний

$$\delta I = \frac{|I_A - I_{mA}|}{I_A} \cdot 100\%$$

Вывод:

2. Изготовление вольтметра

Использовать миллиамперметр для измерения напряжения.

Определить предел измерения прибора по напряжению $U_{\max mA} = I_{\max mA} R_A$,

где $I_{\max mA}$ – собственный предел измерения по току, а R_A – внутреннее сопротивление миллиамперметра. $U_{\max mA} =$ В

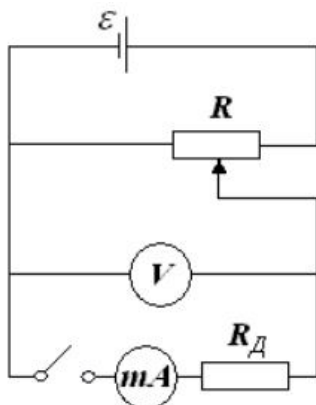
Расширить предел измерения прибора по напряжению в $n_2 = 10$ раз,

Рассчитав добавочное сопротивление по формуле

$$R_d = \pm \quad \text{Ом}, \quad \delta R_d = \quad \%$$

В качестве добавочного сопротивления использовать магазин сопротивлений

Правильность определения добавочного сопротивления оценить путем сравнения показаний полученного вольтметра с показаниями контрольного вольтметра в проверочной схеме.



УКАЗАНИЕ: предварительно определите пределы измерения и цены делений контрольного и изготовленного вами вольтметров.

Миллиамперметр: $U_{\max mA} =$ В, $c_m =$ В/дел

Миллиамперметр с доб. сопротивлением: $U_{\max д} =$ В, $c_d =$ В/дел

Контрольный вольтметр: $U_{\max V} =$ В, $c_V =$ В/дел

Показания миллиамперметра с доб. сопротивлением: $U_{mA} =$ дел = В

Показания контрольного вольтметра $U_V =$ дел. = В

Относительная разница показаний

$$\delta U = \frac{|U_V - U_{mA}|}{U_V} \cdot 100\%$$

Вывод:

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Ома для участка и полной цепи, правила Кирхгофа.
2. Определите пределы измерения, цену деления и чувствительность предложенного вам прибора.
3. Что такое класс точности прибора?
4. Как рассчитать максимальную абсолютную погрешность прибора? Ответ поясните конкретными примерами.
5. Как рассчитать максимальную относительную погрешность прибора при любом положении стрелки?
6. В чем заключается метод определения внутреннего сопротивления миллиамперметра, используемый в данной лабораторной работе?
7. Каково назначение шунтов и дополнительных сопротивлений?
8. Укажите возможные источники систематических и случайных ошибок при выполнении работы, оцените вклад каждого из них в конечный результат.

Лабораторная работа №12

Испытание двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Цель работы - осуществление пуска и изучение способов изменения направления вращения двигателя, технических данных, методов регулирования частоты вращения, основных свойств, а также характеристик двигателя.

Краткие теоретические сведения

Свойства двигателей постоянного тока существенно зависят от того, как изменяется их магнитный поток с изменением нагрузки на валу. Эта зависимость определяется схемой включения их обмоток возбуждения. Различают двигатели параллельного (шунтовые), последовательного (серийные), смешанного (компаундные) возбуждений.

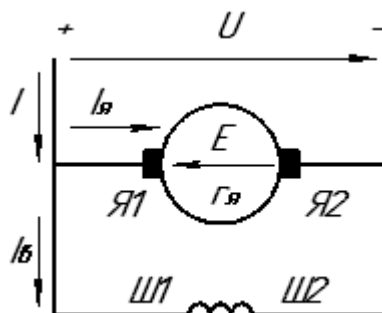
В данной работе изучается двигатель параллельного возбуждения, который часто включают по схеме, представленной на рис.2. Как видно из рис.2, его обмотку возбуждения Ш1 - Ш2 включают в сеть постоянного напряжения параллельно обмотке якоря Я1 - Я2. Важной особенностью двигателя параллельного возбуждения является то, что его ток возбуждения не зависит от механической нагрузки двигателя:

$$I_B = \frac{U}{r_B}.$$

Если не учитывать некоторого изменения магнитного потока Φ вследствие реакции якоря, то при $I_B = \text{const}$ можно считать $\Phi = \text{const}$.

На практике, например в электроприводах прокатных станов, используют и другую схему включения двигателя параллельного возбуждения: обмотку возбуждения и обмотку якоря двигателя питают от разных источников постоянного напряжения. Это делают для того, чтобы иметь возможность независимо регулировать напряжение на зажимах якоря. При такой схеме включения двигателя ток возбуждения I_B также не зависит от момента на валу двигателя.

Особенность включения двигателя на лабораторном стенде (см. рис.1) - источник напряжения цепи возбуждения является регулируемым.



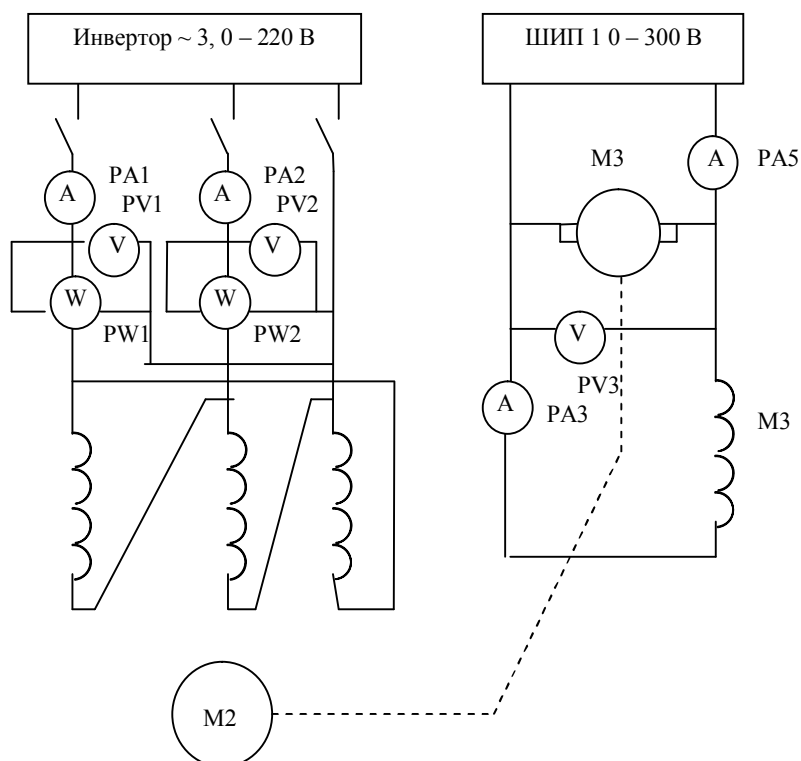
Порядок выполнения работы

1. Записать паспортные данные электрических машин.

Таблица 1 - Паспортные данные электрических машин

Тип машины	U	P	I	n _{ном}	ω	n _{мах}	ω	η	cosφ	f
	В	кВт	мА	об/мин	рад/с	об/мин	рад/с	%		Гц
Двигатель постоянного тока										
3-х фазный асинхронный двигатель										

2. Собрать цепь по схеме



2. Собрать электрическую цепь,

3. Пустить в ход двигатель, для чего:
- установить пусковой реостат R_{Π} в положение «стоп»;
 - регулировочный реостат R_B в цепи возбуждения полностью вывести ($R_B \min$);
 - включить автомат в цепи переменного тока и пакетный выключатель в цепи постоянного тока на лабораторном щите,
 - постепенно выводя пусковой реостат, пустить в ход двигатель.
4. Снять характеристику холостого двигателя. Опыт производится при постоянном номинальном напряжении и отключенном выключателе переменного напряжения на универсальном стенде.

Изменяя ток возбуждения от наибольшего значения до значения, при котором частота вращения будет составлять 130% от номинальной, измерять частоту вращения электрическим тахометром (5-6 отсчетов). Полученные данные занести в табл. 10.

Таблица 10

№ п/п	I_B, A	$n, \text{мин}^{-1}$	Примечания
-------	----------	----------------------	------------

Снять рабочие характеристики двигателя. Опыт проводится при постоянном номинальном напряжении и постоянном токе возбуждения двигателя.

Убедиться, что движок лабораторного автотрансформатора установлен на нулевом положении, включить выключатель $Q1$ переменного тока на универсальном стенде.

Увеличивая с помощью автотрансформатора ток в статоре асинхронной машины I_T от 0 до I_N , снять показания приборов (6-7 отсчетов). Полученные результаты внести в табл. 11.

Таблица 11

№ п/п	Измеренные величины				Вычисленные величины										
	U, B	I_D, A	I_B, A	$n, \text{мин}^{-1}$	I_T, A	I_A, A	E, B	$M_{\text{эм}}, H^*M$	M, H^*M	$P_1, Bт$	$P_0, Bт$	$P_A, Bт$	$P, Bт$	$P_A, Bт$	η

Формулы для расчета

- Ток якоря двигателя $I_A = I_D - I_B$,
- где I_D - ток двигателя,
 I_B - ток возбуждения двигателя.
- Противо-ЭДС якоря двигателя $E = U - R_A I_A$,
- где U - напряжение на двигателе,
 R_A - сопротивление цепи якоря двигателя (указано на рабочем месте).
- Электромагнитный момент двигателя

$$M_{\text{эм}} = \frac{60EI_A}{2\pi n},$$

- момент на валу $M = M_{\text{эм}} - M_0$,
- где M_0 - момент холостого хода (определяется при $I_T = 0$)
- Коэффициент полезного действия двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

где $P_1 = UI_{\text{Д}}$ - электрическая мощность, потребляемая двигателем из сети;

P_2 - мощность на валу (полезная мощность):

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P,$$

где $\sum \Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_{\text{я}} = \Delta P_{\text{В}} + \Delta P_{\text{М}} + \Delta P_{\text{МЕХ}} + \Delta P_{\text{я}}$ - суммарная

мощность потерь; $\Delta P_0 = \Delta P_{\text{В}} + \Delta P_{\text{М}} + \Delta P_{\text{МЕХ}}$ - сумма потерь на возбуждение, магнитных и механических потерь, которые для двигателя параллельного возбуждения принимается постоянной и определяется из опыта холостого хода

$$\Delta P_0 = UI_{\text{Д0}};$$

$\Delta P_{\text{я}} = R_{\text{я}} I_{\text{я}}$ - мощность электрических потерь в якоре (переменные потери).

6. Снять регулировочную характеристику. Изменяя ток в статоре асинхронного двигателя I_T от 0 до 5 А и поддерживая неизменной частоту вращения $n = n_{\text{ном}}$ при U_n , снять показания приборов (5-7 отсчетов). Полученные результаты внести в табл. 12.

Таблица 12

№ п/п	Измеренные величины			Вычисленные величины	Примечание
	$I_{\text{Д}}$, А	$I_{\text{В}}$, А	n , мин ⁻¹	$I_{\text{я}}$, А	

7. Вывести реостат $R_{\text{В}}$ в положение $R_{\text{В}} \text{ min}$, движок автотрансформатора установить в нулевое положение. Установить пусковой реостат $R_{\text{П}}$ в положение «стоп». Отключить пакетные выключатели на универсальном стенде и лабораторном щитке.

8. По данным таблиц 8-10 построить характеристику холостого хода $n(I_{\text{В}})$, рабочие характеристики $n(P_2)$, $I_{\text{Д}}(P_2)$, $M(P_2)$, $\eta(P_2)$, механическую $n(M)$ и регулировочную $I_{\text{В}}(I_{\text{я}})$.

9. На основании характеристик оценить свойства двигателя.

Контрольные вопросы

- Объяснить устройство и принцип действия двигателя параллельного возбуждения.
- Как классифицируются двигатели постоянного тока по способу возбуждения?
- Как возникает электромагнитный момент двигателя?
- Что такое реакция якоря и коммутация машины постоянного тока?
- Объясните процесс пуска двигателя в ход.
- Какими способами можно регулировать частоту вращения двигателя параллельного возбуждения и каковы преимущества и недостатки каждого из них?
- Объясните процесс саморегулирования двигателя.
- Как производится реверсирование двигателя?
- Сделать оценку двигателя, укажите преимущества и недостатки двигателя параллельного возбуждения.

Лабораторная работа №13

Определение параметров и характеристик полупроводникового диода.

Цель занятия: приобретение навыков работы с электронной и измерительной аппаратурой, исследование работы и особенностей полупроводникового диода, построение вольтамперной характеристики диода

Оборудование: комбинированный измерительный прибор мультиметр, инструкционные карты, стенд НТЦ-07, НТЦ-05, осциллограф.

Краткие теоретические сведения

Полупроводниковым диодом называют прибор с двумя выводами и одним электронно-дырочным переходом.

Таким образом, при прямом включении р-п перехода разность потенциалов на границах обедненного слоя (потенциальный барьер) уменьшается, а при обратном включении увеличивается.

Уменьшение потенциального барьера приводит к возрастанию диффузионного тока и уменьшению встречного дрейфового тока. Результирующий ток (его называют прямым) совпадает с диффузионным. Увеличение потенциального барьера приводит к уменьшению диффузионного тока и увеличению дрейфового. Результирующий ток р-п перехода и всей замкнутой цепи совпадает с дрейфовым током. Этот ток называют обратным.

Диффузионный ток создается основными носителями зарядов, а дрейфовый – не основными. Так как концентрация основных носителей на несколько порядков выше концентрации не основных, прямой ток в сотни и тысячи раз превышает обратный.

Таким образом, р-п переход, включенный в прямом направлении, пропускает электрический ток, а включенный в обратном – не пропускает.

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме 1 и подключить ее к источнику постоянного тока 1 В.

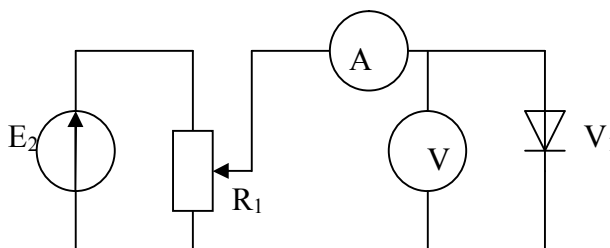


Рисунок 20 Схема электрической цепи

2. Ступенчато изменяя напряжение от 0 до величины, заданной преподавателем с помощью переменного резистора R13, снять показания приборов и результаты занести в таблицу.
3. Изменить полярность источника и повторить п.2.
4. Повторить пункты 1 - 3 с другим типом диода.
5. По результатам измерения построить вольтамперную характеристику диода и рассчитать сопротивление диода.

$$R = \frac{U}{I}$$

Контрольные вопросы

1. Какой прибор называется полупроводниковым диодом?
2. Основные свойства полупроводникового диода?
3. Охарактеризуйте сопротивление диода при прямой полярности напряжения на нем.
4. Охарактеризуйте сопротивление диода при обратной полярности напряжения на нем.
5. Как меняется сопротивление полупроводникового диода при изменении напряжения на нем?

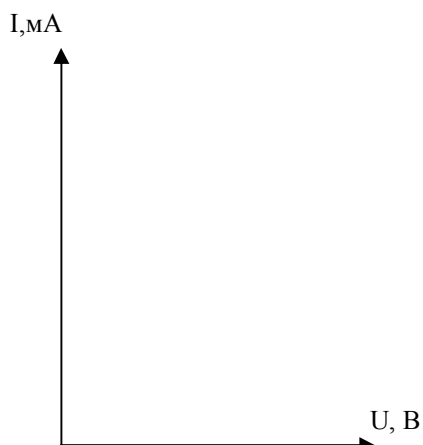
Содержание отчета

1. Собрал цепь по схеме 1 и подключил ее к источнику постоянного тока 1 В.
2. Ступенчато изменяя напряжение от 0 до величины, заданной преподавателем с помощью переменного резистора R13, снял показания приборов и результаты занес в таблицу.
3. Изменил полярность источника и повторил п.2.
4. Повторил пункты 1 - 3 с другим типом диода.
5. По результатам измерения построил вольтамперную характеристику диода и рассчитал сопротивление диода.

$$R = \frac{U}{I}$$

Таблица 16 - Результаты измерений и расчетов

№	Тип диода _____			Тип диода _____		
	U, В	I, mA	R, Ом	U, В	I, mA	R, Ом
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						



Вывод

Лабораторная работа №14

Исследование работы транзистора

Цель занятия: приобретение навыков работы с электронной и измерительной аппаратурой, исследование работы и особенностей биполярного транзистора, построение вольтамперной характеристики транзистора, определение его параметров.

Оборудование: лабораторный стенд, биполярный транзистор, мультиметр, инструкционные карты.

Краткие теоретические сведения

Транзистором называется электропреобразовательный полупроводниковый прибор с одним или несколькими электрическими переходами, позволяющий осуществлять усиление или генерирование электрических сигналов и имеющий три или более выводов.

Основным элементом транзистора (рис.35) является кристалл полупроводника, в котором с помощью примесей созданы три области с различной проводимостью. Если средняя область имеет электронную проводимость типа n , а две крайние — дырочную типа p , то такой транзистор принадлежит к типу $p-n-p$ в отличие от транзистора $n-p-n$, имеющего среднюю область с дырочной проводимостью, а две крайние — с электронной. Средняя часть кристалла служит основой для образования электронно-дырочных переходов и называется базой, или основанием. Крайняя левая область p , инжектирующая (эмитирующая) носители заряда, называется эмиттером, а другая область p , собирающая инжектированные носители заряда, — коллектором.

К основным характеристикам, которые дают представление о свойствах транзистора, относятся статические характеристики, отражающие зависимость между токами и напряжениями во входных и выходных цепях. Статические характеристики используются при расчете транзисторных схем, по ним определяют параметры транзистора при работе в различных режимах.

Порядок выполнения

1. Собрать цепь по схеме.

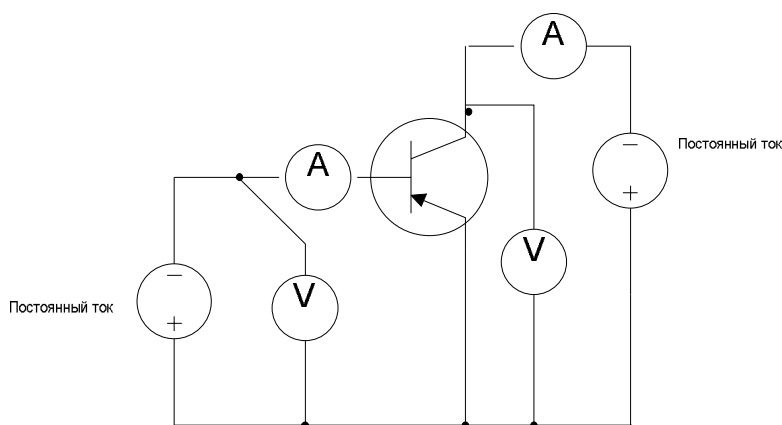


Рисунок 21 Схема электрической цепи

2. Подключить цепь к источникам напряжения, установить заданные величины напряжения на входе $U_{эб}$ и выходе $U_{кэ}$. Изменяя напряжение на входе, записать величину тока базы $I_б$ в таблицу 1 при различных значениях напряжения $U_{кэ}$.

3. Регулируя напряжение входного источника, установить величину тока базы по заданию преподавателя. Изменяя напряжение на выходе $U_{кэ}$, записать величину тока коллектора $I_к$ в таблицу 2.

4. Опыт 3 повторить при различных значениях тока базы.

5. По результатам измерений построить входную и выходную вольтамперные характеристики транзистора $I_б(U_{эб})$, $I_к(U_{кэ})$.

6. Определить параметры транзистора.

Коэффициент передачи тока.

$$K_I = \frac{I_K}{I_B}$$

Выходное сопротивление транзистора.

$$R_{ВЫХ} = \frac{U_{КЭ}}{I_K}$$

Входное сопротивление транзистора.

$$R_{ВХ} = \frac{U_{БЭ}}{I_B}$$

Контрольные вопросы

1. Назовите определение транзистора.
2. Как сопротивление транзистора зависит от тока базы?
3. Как ток базы зависит от напряжения на выходе $U_{кэ}$?
4. Опишите усилительные свойства транзистора.

Содержание отчета

1. Собрал цепь по схеме.
2. Подключил цепь к источникам напряжения, установил заданные величины напряжения на входе $U_{эб}$ и выходе $U_{кэ}$. Изменяя напряжение на входе, записал величину тока базы $I_б$ в таблицу 1 при различных значениях напряжения $U_{кэ}$.

3. Регулируя напряжение входного источника, установил величину тока базы по заданию преподавателя. Изменяя напряжение на выходе $U_{кэ}$, записал величину тока коллектора I_k в таблицу 2.
4. Опыт 3 повторил при различных значениях тока базы.

Таблица 17 – Таблица измерений входной ВАХ

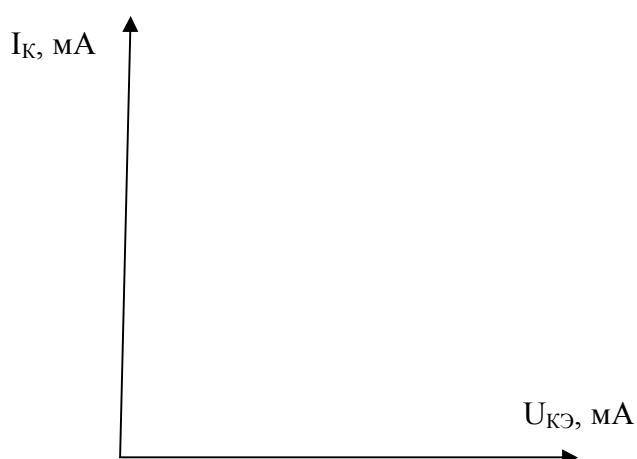
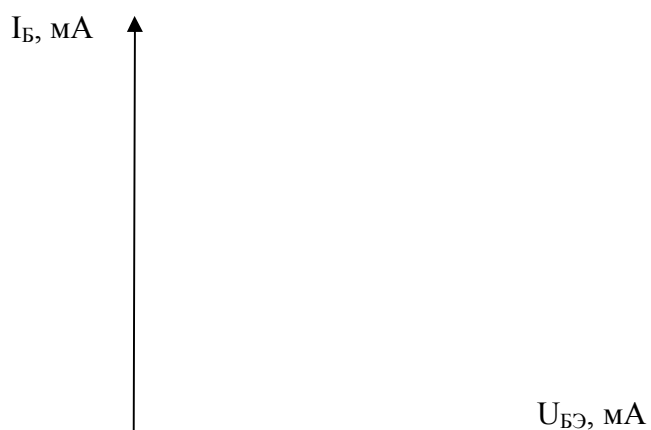
$U_{эб}, В$	$I_B, мА, \text{при } U_{кэ}, В$		
	0	5	10

Таблица 17
измерений входной ВАХ

– Таблица

$U_{кэ}, В$	$I_k, \text{при } I_B, мА$			

5. По результатам измерений построил входную и выходную вольтамперные характеристики транзистора $I_b(U_{эб}), I_k(U_{кэ})$.



6. Определил параметры транзистора.

Коэффициент передачи тока.

$$K_I = \frac{I_K}{I_B}$$

Выходное сопротивление транзистора.

$$R_{ВЫХ} = \frac{U_{КЭ}}{I_K}$$

Входное сопротивление транзистора.

$$R_{BX} = \frac{U_{БЭ}}{I_B}$$

Выводы

Лабораторная работа №15

Исследование работы схем выпрямления переменного тока

Цель занятия: 1) изучить принцип действия полупроводниковых диодов, однофазных выпрямителей и сглаживающих фильтров; 2) снять внешние характеристики выпрямителей; 3) научиться снимать осциллограммы и внешние характеристики выпрямителей.

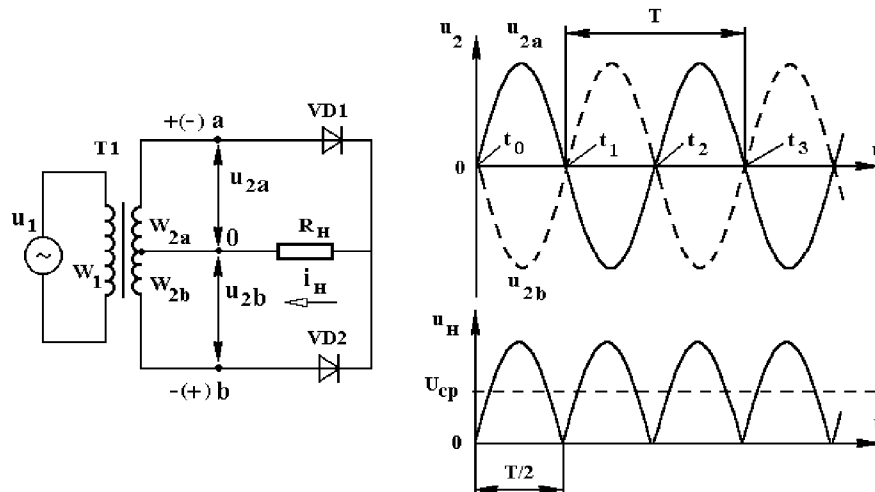
Краткие теоретические сведения

Выпрямителями называются устройства, преобразующие переменное напряжение или ток в постоянный с помощью электрических вентиляй. Основную часть этой задачи во всех выпрямителях решает вентильная группа, которая в современных схемах

выполняется на полупроводниковых вентилях: неуправляемых – диодах и полупроводимых– тиристорах, по какой– либо из известных схем.

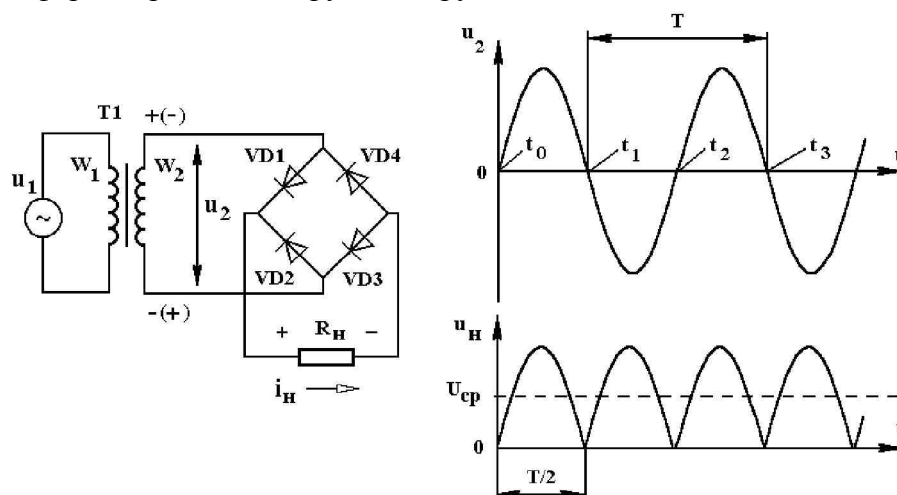
Однофазные выпрямители используются для питания потребителей небольшой мощности (десятки - сотни ватт).

Нулевая схема выпрямителя, т.е. с выводом «нулевой» - средней точки трансформатора Т1 и диаграммы ее рабочих напряжений показаны на рис. Верхняя диаграмма u_{2a} и u_{2b} соответственно представляет напряжения выходных полуобмоток W_{2a} и W_{2b} трансформатора, а нижняя - напряжение на нагрузке - u_H



Достоинством схемы является относительно малое количество диодов – 2, а недостатком – обязательное использование трансформатора, причем с выводом средней точки во вторичной обмотке.

Мостовая схема выпрямителя с диаграммами рабочих напряжений показана на рис. Она содержит входной согласующий трансформатор Т1 и четыре диода VD1-VD4, соединенных в мостовую ячейку, к одной диагонали которой подсоединена выходная обмотка трансформатора W_2 , а к другой нагрузка - R_H .



Достоинством мостовой схемы выпрямителя является возможность ее работы без трансформатора, если не требуется выполнения функции согласования по уровням входного и выходного напряжения. Недостатком считается использование относительно большого числа диодов – четырех.

Качество выпрямителя принято оценивать коэффициентом пульсаций, представляющим собой отношение амплитуды первой (основной) гармоники выпрямленного напряжения U_{1m} к постоянной составляющей U_{cp} :

$$p = \frac{U_{1m}}{U_{cp}}$$

Рассмотренные выше выпрямители имеют $p=0.67$. Между тем, для питания электронной аппаратуры требуется выпрямленное напряжение с более низким коэффициентом пульсации $10^{-2}, 10^{-3}$.

Для уменьшения пульсации выпрямленного напряжения применяются сглаживающие электрические фильтры. Простейший фильтр состоит из конденсатора, включенного параллельно нагрузке (рис. 5 а), или дросселя, включенного последовательно с нагрузкой (рис. 5 б).

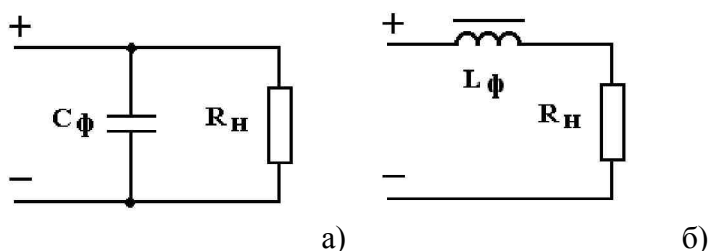


Рис.5

Порядок выполнения

1. Соберите схему двухполупериодного выпрямителя. Подключите осциллограф к исследуемой схеме. Зарисуйте осциллограммы
2. Меняя величину подстроечного резистора R от 100% до 0% (шаг изменения 20%) снимите и постройте внешнюю характеристику двухполупериодного выпрямителя без фильтра $U_n=f(I_n)$.
3. Подключите емкостный фильтр. Зарисуйте осциллограммы.
4. Меняя величину подстроечного резистора R от 100% до 0% (шаг 20%) снимите и постройте внешнюю характеристику двухполупериодного выпрямителя с фильтром $U_n=f(I_n)$.
5. Результаты измерений п. 2. и 4. занесите в таблицу (точность измерения – два знака после запятой):
6. Соберите схему мостового выпрямителя:
7. Повторите пункт 1, 2, 3.
8. Результаты измерений занесите в таблицу (точность измерения – два знака после запятой):
9. Постройте график внешней характеристики двухполупериодного и мостового выпрямителя

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство, принцип действия и вольтамперные характеристики полупроводниковых выпрямительных диодов.
2. Начертить схему и объяснить работу мостового выпрямителя.
3. Начертить схему и объяснить работу выпрямителя с выводом средней точки трансформатора.

4. Объяснить назначение и принцип действия сглаживающих L -, C -, и комбинированных LC - и RC - фильтров.
5. Объяснить ход внешних характеристик исследованных выпрямителей.

Содержание отчета

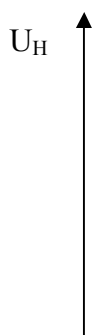
1. Схема двухполупериодного выпрямителя. осциллограммы
2. Меняя величину подстроечного резистора R от 100% до 0% (шаг изменения 20%) снял и построил внешнюю характеристику двухполупериодного выпрямителя без фильтра $U_H = f(I_H)$.
3. Подключил емкостный фильтр. Осциллограммы.
4. Меняя величину подстроечного резистора R от 100% до 0% (шаг 20%) снял и построил внешнюю характеристику двухполупериодного выпрямителя с фильтром $U_H = f(I_H)$.
5. Результаты измерений п. 2. и 4. занес в таблицу (точность измерения – два знака после запятой):

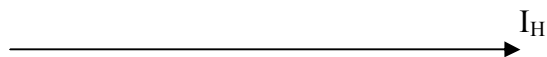
R, Ом	Без фильтра		С фильтром	
	I, мА	U, В	I, мА	U, В
1200 (100%)				
1000 (80%)				
800 (60%)				
600 (40%)				
400 (20%)				
200 (0%)				

6. Собрал схему мостового выпрямителя:
7. Повторите пункт 1, 2, 3.
8. Результаты измерений занес в таблицу (точность измерения – два знака после запятой):
- 9.

R, Ом	Без фильтра		С фильтром	
	I, мА	U, В	I, мА	U, В
1200 (100%)				
1000 (80%)				
800 (60%)				
600 (40%)				
400 (20%)				
200 (0%)				
200 (0%)				

10. Построил график внешней характеристики двухполупериодного и мостового выпрямителя





Выводы

Лабораторная работа №17

Исследование работы усилителя низкой частоты

Цель занятия: ознакомиться с устройством и принципом работы полупроводникового усилителя, определить точку покоя усилителя, рассчитать элементы усилителя

Оборудование: инструкционные карты, КИ Electronics Workbench

Краткие теоретические сведения

Усилитель — это устройство, преобразующее электрические колебания небольшой мощности, поступающие на вход, в электрические колебания большой мощности на выходе.

Схема стабильного усилителя с отрицательной обратной связью по постоянному току и делителем напряжения приведена на рис. 7.12. В этой схеме в цепи эмиттера включен стабилизирующий резистор $R_Э$, падение напряжения $U_Э$ на котором, пропорциональное току эмиттера $I_Э$, является обратным для перехода эмиттер — база (. Это означает, что в схеме существует отрицательная обратная связь по току, которая автоматически стабилизирует режим работы усилителя при изменениях параметров транзистора.

Возрастание тока $I_{К0}$ приведет к увеличению тока эмиттера $I_Э0$, а следовательно, и к увеличению падения напряжения $U_{RЭ}$ на резисторе $R_Э$. Увеличение $U_{RЭ}$, являющегося обратным по отношению к переходу эмиттер-база, приведет к уменьшению напряжения на эмиттерно-базовом переходе $U_{БЭ}$ и тока базы $I_{Б0}$, что вызовет уменьшение коллекторного тока $I_{К0}$. Наоборот, если по какой-либо причине коллекторный ток уменьшается, то уменьшается падение напряжения $U_{RЭ}$ на резисторе $R_Э$, что приведет к увеличению напряжения на эмиттерно-базовом переходе $U_{БЭ}$. При этом увеличивается ток базы, а следовательно, и ток коллектора. Чтобы не вводить обратную связь по переменному току и не снижать коэффициент усиления каскада, резистор $R_Э$ шунтируют конденсатором $C_Э$ достаточно большой емкости (десятки микрофарад).

Резисторы R_1 и R_2 составляют делитель напряжения, и ток делителя $I_д$ создает на них падения напряжения $U_1 = I_д R_1$ и $U_2 = I_д R_2$, представляющие собой источники питания для цепей эмиттера и коллектора. Сопротивление резисторов R_1 и R_2 подбирают так, чтобы ток делителя $I_д$ был больше тока, нормально потребляемого в цепях транзистора. При таком токе делителя повышается стабильность режима работы схемы, так как в этом случае изменения тока в цепях эмиттера и коллектора в процессе работы транзистора незначительно влияют на величину питающих напряжений. Вместе с тем, ток делителя нельзя выбирать слишком большим (а резисторы R_1 и R_2 — небольшими), так как это ведет к увеличению мощности, потребляемой делителем напряжения от источника питания. Кроме того, резистор R_2 шунтирует входное сопротивление усилителя, что уменьшает входной и выходной токи усилителя. Удовлетворительный результат дает компромиссное решение, при котором обеспечивается соответствующая стабилизация и коэффициент усиления. Резисторы R_1 и R_2 — порядка единиц и десятков килоом. Ток

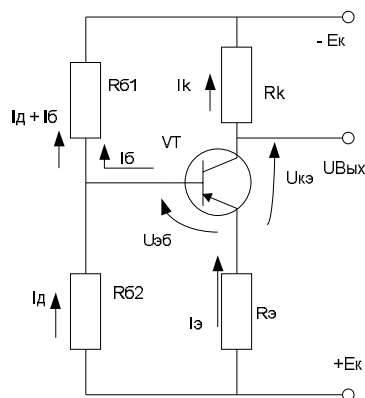
делится $(2...5)I_{B0}$, где I_{B0} — ток базы в заданной рабочей точке на динамической выходной характеристике.

Упрощенно сопротивление можно рассчитать так: резистор выбрать по известному току эмиттера $I_{Э0} = I_{K0} + I_{B0}$ и допустимому (или выбранному) падению напряжения на сопротивлении $R_Э$, которое составляет примерно $0,2E_K$. Сопротивление резисторов R_1 и R_2 находят по следующим выражениям:

$$R_1 = \frac{E_K - I_{Э0}R_Э - U_{БЭ}}{I_{B0} + I_П}; \quad R_2 = \frac{I_{Э0}R_Э + U_{БЭ}}{I_П}.$$

Порядок выполнения

1. Изучить устройство усилителя, определить назначение элементов усилительного каскада.



2. На предложенных вольтамперных характеристиках выбрать рабочую точку транзистора и записать ее параметры.

3. Рассчитать сопротивления цепи.

- сопротивление в цепи эмиттера (температурный стабилизатор)

$R_Э = 5 \text{ Ом}$,

- сопротивление в цепи коллектора

$$R_k = \frac{E_k - U_{кэ} - I_э R_э}{I_k}, \text{ где } I_э = I_k + I_б$$

- сопротивление в цепи базы

$$R_{б2} = \frac{U_{бэ} + I_э R_э}{I_б}, \text{ где } I_б = (3 \div 5) I_э$$

$$R_{б1} = \frac{E_k - (U_{бэ} + I_э R_э)}{I_б + I_э}$$

4. Собрать цепь, согласно рассчитанным значениям сопротивлений и проверить значения параметров точки покоя.

5. Полученные результаты работы занести в таблицу

Контрольные вопросы

1. Дайте определение усилителю.

2. По каким признакам классифицируют усилители?
3. Перечислите виды усилителей в зависимости от диапазона частот
4. Какие требования предъявляют к входному и выходному *сопротивлениям* усилителей?
5. Перечислите основные показатели усилителя.
6. Как определяется коэффициент усиления?

Содержание отчета

1. Изобразить электрическую принципиальную схему усилителя
2. На предложенных вольтамперных характеристиках выбрать рабочую точку транзистора и записать ее параметры.
3. Рассчитать сопротивления цепи.
 - сопротивление в цепи эмиттера (температурный стабилизатор)
 $R_3 = 5 \text{ Ом},$

- сопротивление в цепи коллектора

$$R_k = \frac{E_k - U_{кэ} - I_3 R_3}{I_k}, \text{ где } I_3 = I_k + I_6$$

- сопротивление в цепи базы

$$R_{62} = \frac{U_{эб} + I_3 R_3}{I_6}, \text{ где } I_6 = (3 \div 5) I_6$$

$$R_{61} = \frac{E_k - (U_{эб} + I_3 R_3)}{I_6 + I_6}$$

4. Собрать цепь, согласно рассчитанным значениям сопротивлений и проверить значения параметров точки покоя.

5. Полученные результаты работы занести в таблицу

	I_k	$U_{кэ}$	I_6	I_d	$U_{эб}$	U_H
Результаты расчетов						
Результат измерения						

ВЫВОД

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основные источники

1. И.А. Данилов Общая электротехника с основами электроники. – М. Высшая школа, 2008
2. М.В. Немцов, М.Л. Немцова. Электротехника и электроника. – М. «Академия», 2010
3. Л. А. Частоедов. Электротехника. Учебное пособие для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. М.: УМК МПС России, 2008 г

Дополнительные источники

- 1.Ф. Е. Евдокимов. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 2010г.
- 2.А. Н. Гуркин. Электротехника. Учебное иллюстрированное пособие. М.: УМК МПС России, 2012г.
- 3.Компьютерная обучающая программа «Электротехника». М.: УМК МПС России, 2010г.
- 4.Т. Ф. Березкина и др. Задачник по общей электротехнике с основами электроники. М.: Высшая школа, 2010 г.
- 5.С.Д. Дунаев. Электроника, микроэлектроника и автоматика. М.: Маршрут, 2013 г.

Электронные образовательные ресурсы

1. Электрические машины постоянного тока: компьютерная обучающая программа. М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008.
2. Электротехника (постоянный ток) : компьютерная обучающая программа. М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008.
3. С.Д. Дунаев Электроника, микроэлектроника и автоматика - Электронный учебник, – УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте – 2008
4. Г.Н. Акимов Электронная техника - Электронный учебник, – УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте – 2008