

Росжелдор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)
Техникум
(Техникум ФГБОУ ВО РГУПС)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных и практических работ.

ОП.03 Электротехника.

для специальности

23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог.

Базовая подготовка среднего профессионального образования

Ростов на Дону
2016

Рассмотрена
Предметной (цикловой)
комиссией
«Общепрофессиональных и
социально-экономических
дисциплин»

Протокол № 1

от 30.08 2016 г.

Методические указания по
организации самостоятельной
работе разработаны на основе
рабочей программы дисциплины
«Электротехника» для
специальности 23.02.06 Техническая
эксплуатация подвижного состава
железных дорог

Председатель ЦМК:
Родионов С.А.

Заместитель директора по
УМР

Разработчик: Соболева М. И., преподаватель техникума ФГБОУ ВО РГУПС.

Рекомендована объединенной методической комиссией техникума ФГБОУ ВО
РГУПС.

Заключение ОМК № 1 от «26» сентября 2016 г.

Содержание

1. Пояснительная записка
2. Требования, предъявляемые к технике безопасности
3. Указания по выполнению лабораторных и практических работ.
4. **Лабораторная работа № 1.** Проверка закона Ома для участка цепи.
5. **Лабораторная работа № 2.** Проверка свойств электрической цепи последовательно соединенных сопротивлений.
6. **Лабораторная работа № 3.** Определение отрывной силы электромагнита.
7. **Лабораторная работа № 4.** Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления и индуктивности.
8. **Лабораторная работа № 5.** Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления и емкости.
9. **Лабораторная работа № 6.** Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления, индуктивности и емкости. Резонанс напряжений.
10. **Лабораторная работа № 7.** Исследование цепи трехфазного тока при соединении приемников «звездой».
11. **Лабораторная работа № 8.** Измерение тока и напряжения электроизмерительными приборами различных систем и оценка результатов.
12. **Практическая работа № 1.** Расчет магнитной цепи.
13. **Практическая работа № 2.** Расчет неразветвленной цепи.
14. **Практическая работа № 3.** Расчет погрешностей электрических измерений и измерительных приборов.

1. Пояснительная записка

Методические указания для проведения лабораторных и практических занятий составлены применительно к программе дисциплины «Электротехника».

Лабораторные работы студенты должны выполнять самостоятельно под руководством преподавателя с использованием конспекта лекций и методических указаний.

В учебном пособии описаны меры обеспечения безопасности при эксплуатации лабораторного оборудования, подробно описана структура и правила эксплуатации лабораторных стендов, электрические схемы выполнены по ГОСТ, которые понадобятся при составлении отчетов по лабораторным и практическим занятиям.

Лабораторные и практические работы по дисциплине «Электротехника» позволяют экспериментально проверить основные положения теории, приобрести навыки по сборке электрических схем. Участие в экспериментах вырабатывает у студентов практические навыки по методике проведения опытов и обработке их результатов. По полученным результатам лабораторного исследования, студенты, должны научиться оценивать достоинства и недостатки электротехнических устройств, возможность их использования для нужд железнодорожного транспорта.

Лабораторные работы выполняются на 2 курсе в 3 семестре .

Предусмотрено выполнение следующих лабораторных и практических работ:

1. **Лабораторная работа № 1.** Проверка закона Ома для участка цепи.
2. **Лабораторная работа № 2.** Проверка свойств электрической цепи последовательно соединенных сопротивлений.
3. **Лабораторная работа № 3.** Определение отрывной силы электромагнита.
4. **Лабораторная работа № 4.** Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления и индуктивности.
5. **Лабораторная работа № 5.** Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления и емкости.
6. **Лабораторная работа № 6.** Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления, индуктивности и емкости. Резонанс напряжений.
7. **Лабораторная работа № 7.** Исследование цепи трехфазного тока при соединении приемников «звездой».
8. **Лабораторная работа № 8.** Измерение тока и напряжения электроизмерительными приборами различных систем и оценка результатов.
9. **Практическая работа № 1.** Расчет магнитной цепи.
10. **Практическая работа № 2.** Расчет неразветвленной цепи.
11. **Практическая работа № 3.** Расчет погрешностей электрических измерений и измерительных приборов.

2 Требования, предъявляемые к технике безопасности.

К самостоятельной работе на лабораторном оборудовании допускаются лица,

прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Для обеспечения безопасности работающих при эксплуатации оборудования должны быть выполнены следующие требования:

- стенды и приборы должны быть надёжно заземлены;
- запрещается заменять съёмные элементы и производить пайку соединений, находящихся под напряжением;
- запрещается устанавливать предохранители, номиналы которых не соответствуют документации;
- запрещается пользоваться неисправной аппаратурой и инструментом;
- измерение напряжения на токоведущих частях изделия с напряжением более 36 В необходимо производить, пользуясь резиновыми ковриками и изолированными щупами;
- применяемые резиновые коврики и перчатки должны иметь отметку о дате очередной проверки;
- все операции, связанные с установкой переносных приборов и измерениями, должны исключать касание токоведущих частей;
- при проверке электрических цепей необходимо предварительно эти цепи обесточить и проверить отсутствие напряжения вольтметром.

Винт заземления на корпусе изделия соединить с контуром заземления изолированным медным проводом с площадью сечения не менее 1,5 мм².

Включение питания изделия производить только после разрешения преподавателя.

Сборку и разборку схем лабораторных работ производить только при отключённом электропитании изделия.

3. Указания по выполнению лабораторных работ.

1. Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен

тщательно изучить содержание работы; повторить теоретический материал, связанный с выполнением данной работы; подготовить таблицы для занесения результатов наблюдений и вычислений.

2. Лабораторные работы выполняются группами по 4—5 человек.

3. Каждый студент обязан выполнять правила внутреннего распорядка лаборатории и строго соблюдать требования техники безопасности.

4. Каждая лабораторная работа проводится на определенном рабочем месте. Смена рабочего места, перестановка приборов, аппаратов с одного рабочего места на другое может быть допущена только с разрешения преподавателя.

5. Перед началом выполнения лабораторной работы нужно ознакомиться с оборудованием стенда.

6. Включать источник питания к собранной цепи можно только с разрешения преподавателя. Перед любым переключением в цепи или на время отыскания повреждений в монтаже питание следует отключать.

7. Результаты лабораторной работы необходимо показывать преподавателю до разборки цепи.

8. Разборка цепи производится с разрешения преподавателя.

4. Лабораторная работа № 1.

Проверка закона Ома для участка цепи.

Цель: Опытным путем убедиться в справедливости закона Ома для участка цепи.

Оборудование и приборы: Реостат, включенный по схеме потенциометра, регулируемый резистор, амперметр постоянного тока, вольтметр постоянного тока, соединительные провода.

Порядок выполнения

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис.1.1.

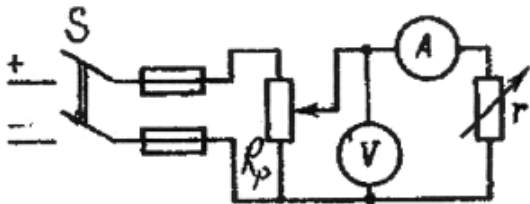


Рис.1.1

2. Установить движок потенциометра в нулевое положение (напряжение на резисторе r при включенном рубильнике отсутствует).

3. После проверки схемы преподавателем включить рубильник и, изменяя напряжение в цепи потенциометром от 0 до 50В через каждые 10В, снять показания приборов и записать их в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

№ опытов	Показания приборов		Результаты расчетов		Примечание
	U , В	I , А	r' , Ом	γ , %	
1					$r = \dots$ Ом
2					
3					
4					
5					

4. Для каждого измерения вычислить сопротивление r —Ш и погрешность измерения $\gamma = r - r' / r \cdot 100\%$.

5. В электрической цепи, собранной по схеме рис.1.1 менять сопротивление резистора r и, поддерживая одинаковое напряжение на нем с помощью потенциометра, измерять ток.

Результаты наблюдения занести в таблицу 1.2.

№ опытов	U , В	I , А	r , Ом	Примечание
1				$U = \dots$ В
2				
3				
4				

6. Выключить рубильник.

7. Построить графики зависимости $I = f(U)$ при $r = \text{const}$ и $I = f(r)$ при $U = \text{const}$.

8. Результаты измерений, расчетов показать преподавателю; после его разрешения разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

Содержание отчета: схема включения приборов, таблицы с результатами измерений и расчетов, графики зависимости $I = f(U)$ при $r = \text{const}$ и $I = f(r)$ при $U = \text{const}$, выводы о справедливости закона Ома для участка цепи.

Контрольные вопросы

1. Какова цель лабораторного занятия?
2. Что называется резистором?
3. Виды резисторов.
4. Какую зависимость устанавливает закон Ома для участка цепи?
5. Что называется электрическим током?
6. Какое сопротивление называется линейным?

5. Лабораторная работа № 2.

Проверка свойств электрической цепи последовательно соединенных сопротивлений.

Цель: Опытным путем проверить основные соотношения между электрическими величинами в простой цепи постоянного тока с несколькими резисторами, включенными последовательно.

Оборудование и приборы: Три резистора, три амперметра постоянного тока, переносный вольтметр постоянного тока, соединительные провода.

Порядок выполнения

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2.1.

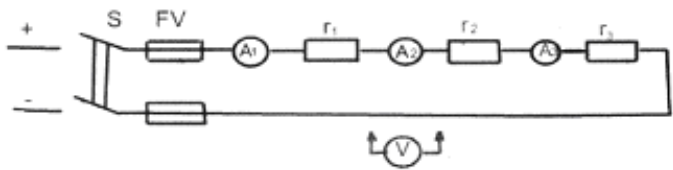


Рис.2.1

2. После проверки схемы преподавателем включить рубильник и, присоединяя провода вольтметра к зажимам резисторов (r_1, r_2, r_3), измерить напряжение на каждом резисторе и всей цепи. Показания амперметра и вольтметров записать в таблицу 2.1.

№ п/п	Участок цепи	V, В	I, А	P, Вт	r, Ом	Примечание
1	Резистор r_1					
2	Резистор r_2					
3	Резистор r_3					
4	Вся цепь					
1	Резистор r_1					Замкнуть накоротко резистор r_2
2	Резистор r_2					
3	Резистор r_3					
4	Вся цепь					

3. По полученным данным определить мощность и сопротивление каждого резистора и всей цепи. Результаты расчетов занести в таблицу 2.1.

4. Убедиться в том, что $V = V_1 + V_2 + V_3$ $P = V_1$

$r = r_1 + r_2 + r_3$ $P = \frac{V}{I}$

$P = P_1 + P_2 + P_3$

и что по всем участкам проходит ток одинаковой величины.

5. Замкнуть накоротко резистор r_2 (соединить зажимы этого резистора проводником малого сопротивления) и повторить измерения, указанные в п.2.

Результаты наблюдений занести в таблицу 2.1.

6. Отключить резистор r_3 и убедиться в том, что ток прекращается во всех резисторах, включенных последовательно.

7. Результаты измерений и расчетов показать преподавателю; после его разрешения разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

Содержание отчета: схема включения приборов, таблица с результатами измерений и расчетов, выводы о свойствах последовательной цепи, подтвержденных опытами.

Контрольные вопросы

1. Какова цель лабораторного занятия?
2. Какое соединение резисторов называется последовательным?
3. Какая цепь называется неразветвленной?
4. Как можно определить сопротивление резистора?
5. Какое сопротивление называется эквивалентным? Чему оно равно?
6. Как можно определить мощность резистора и всей цепи?

6. Лабораторная работа № 3.

Определение отрывной силы электромагнита.

Цель работы: Опытным путем проверить справедливость формулы подъёмной силы электромагнита.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 3.1

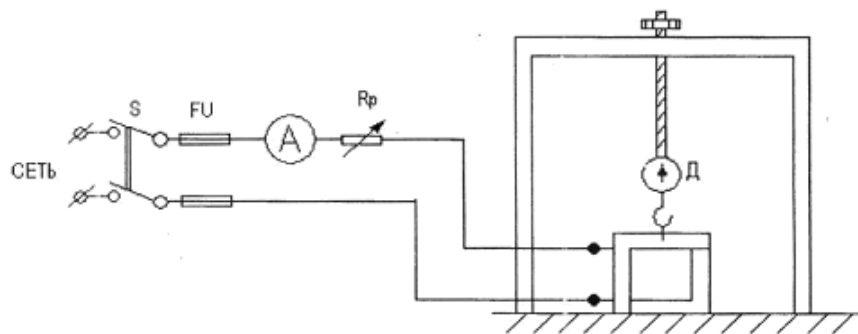


Рис.3.1

2. После проверки схемы преподавателем включить рубильник и перемещением движка реостата установить ток $I = 0,5 \text{ A}$. с помощью штурвала оторвать якорь от полюсов электромагнита. Наибольшее показание динамометра (F) записать в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Показания приборов				Результаты расчетов			Примечание
I	F	l	S	H	B	F	W=250 витков
A	кг	см	см ³	A/см	Тл	кг	

3. Выключить рубильник.
4. Вычислить площадь полюсов электромагнита $s(\text{см}^2)$ и длину средней линии магнитопровода - $l(\text{см})$.
5. Вычислить напряженность магнитного поля

$$H = I\omega/l \text{ (A/см)}$$

6. По кривой намагничивая стали определить магнитную индукцию - $B \text{ (Тл)}$
7. Вычислить отрывную силу электромагнита по формуле

$$F' = 4 \cdot 10 \text{ B}^2 \cdot S \text{ (кг)}$$

Результаты вычислений записать в табл.3.2 . Результаты расчета (F') сравнить с результатами полученными из опыта (F)

8. Между полюсами электромагнита и якорем поместить в один слой лист бумаги (толщина листа $l=0,07$ мм) и произвести действия, указанные в п. 2.

Определить отрывную силу при 2, 3, 4 и 5 листах бумаги между якорем и полюсами электромагнита. Показания динамометра записать в табл. 3.3.

Таблица 3.3

№ опытов	Величина воздушного зазора l	F
	мм	кг
1		
2		
3		
4		
5		

9. Выключить рубильник.

10. По полученным данным построить график зависимости отрывной силы от величины воздушного зазора $F = f(l)$.

11. Вывод: Назначение, устройство и принцип действия электромагнита.

Контрольные вопросы

1. Какова цель занятия?
2. Что называется электромагнитом?
3. Что называется подъемной и отрывной силой электромагнита?
4. От чего зависит отрывная сила электромагнита?
5. Применение электромагнитов.

7. Лабораторная работа № 4.

Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления и индуктивности.

Цель: Опытным путем проверить основные свойства цепи переменного тока, обладающей активным сопротивлением и индуктивностью.

Оборудование и приборы: Катушка индуктивности, амперметр переменного тока, вольтметр переменного тока, ваттметр переменного тока, соединительные провода.

Порядок выполнения

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 4.1.

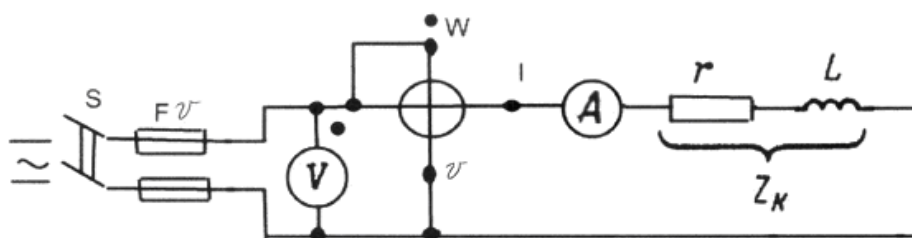


Рис. 4.1

2. После, проверки схемы преподавателем включить рубильник и установить в цепи наибольшую величину тока (катушка без сердечника). Постепенно вводить сердечник в катушку, останавливаясь на тех значениях тока, которые удобны для отсчета.

Показания приборов при каждом опыте записать в таблицу 4.2

Таблица 4.2

	Показания приборов			Результаты расчётов								
	U , В	I , А	P , Вт	Z , Ом	r , Ом	X_L , Ом	L , г	$\cos\varphi$	U_r , В	U_L , В	Q , вар	S , ВА
1												
2												
3												
4												
5												

3. Выключить рубильник.

4. Вычислить сопротивление $Z = \frac{U}{I}$; $r = \frac{P}{I^2}$; $X_L = \sqrt{Z^2 - r^2}$;

индуктивность $L = \frac{X_L}{2\pi f}$; напряжение $U_r = I \cdot r$, $U_L = I \cdot X_L$, мощности $Q = U_L \cdot I$,

$S = U \cdot I$.

5. Построить векторную диаграмму напряжений, тока и треугольник сопротивлений для первого и пятого опытов.

6. Результаты измерений и расчетов показать преподавателю; после его разрешения разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

Содержание отчета: Схема включения приборов, таблица с результатами измерений и расчетов, векторной диаграммы токов и напряжений, треугольник сопротивлений, вывод о том, как влияет положение ферромагнитного сердечника в катушке на величины L , X_L , Z , I , $\cos\varphi$, P , Q , S .

Контрольные вопросы

1. Какова цель занятия?
2. Что представляет собой катушка индуктивности в электрической схеме замещения?
3. Формула закона Ома.
4. Изобразить треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей и дать пояснения.
5. Виды мощностей и единицы их измерений.
6. Формулы для расчета коэффициента мощности $\cos\varphi$.

8. Лабораторная работа № 5.

Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления и емкости.

Цель: Опытным путем проверить основные свойства цепи переменного тока с последовательным соединением резистора и конденсатора.

Оборудование и приборы: Регулируемый резистор, батарея конденсаторов, амперметр переменного тока, три вольтметра переменного тока, ваттметр переменного тока, соединительные провода.

Порядок выполнения

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 5.1

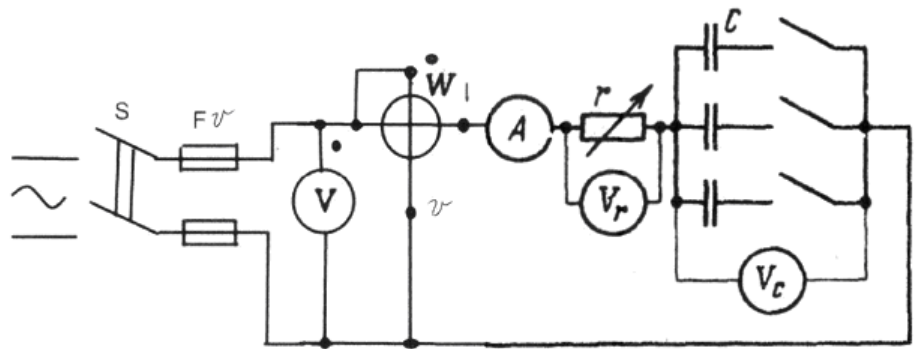


Рис.5.1

2. После, проверки схемы преподавателем включить рубильник и снять показания приборов при следующих условиях:

- а) при неизменном активном сопротивлении и изменении емкости - 2 наблюдения;
- б) при неизменной емкости и изменении активного сопротивления - 2 наблюдения.

3. Показания приборов занести в таблицу 5.2

Таблица 5.2

	Показания приборов					Результаты расчетов							
	U_r , В	U_c , В	U , В	I , А	P , Вт	Z , Ом	r , Ом	X_c , Ом	C , мкФ	P , Вт	Q , вар	S , ВА	$\cos\varphi$
1													
2													

4. Выключить рубильник.
5. Для каждого опыта вычислить:

сопротивление $Z = \frac{U}{I}$; $r = \frac{U_r}{I}$; $X_c = \frac{U_c}{I}$;

ёмкость $C = \frac{10^6}{2\pi f X_c}$;

мощность $P = U_r \cdot I$; $Q = U_c \cdot I$; $S = U \cdot I$; $\cos\varphi = \frac{P}{S}$.

Результаты вычислений записать в таблицу 5.2

6. Для первого опыта построить векторную диаграмму тока, напряжений и треугольник сопротивлений.

7. Результаты измерений и расчетов показать преподавателю; после его разрешения разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

Содержание отчета: Схема включения приборов, таблица с результатами измерений и расчетов, векторной диаграммы токов и напряжений, треугольник сопротивлений, вывод о том, как влияет изменение сопротивления реостата и емкости батареи конденсаторов на величину тока и мощности.

Контрольные вопросы

1. Какова цель занятия?
2. Что представляет собой реальный конденсатор в электрической схеме замещения?
3. Формула закона Ома.
4. Изобразить треугольники напряжений, сопротивлений, мощности: и дать пояснения.
5. Виды мощностей и единицы их измерений.
6. Формулы для расчета $\cos\varphi$.

9. Лабораторная работа № 6.

Исследование цепи переменного тока с последовательным включением активного сопротивления, индуктивности и емкости. Резонанс напряжений.

Цель работы: изучить явления и законы цепей однофазного переменного тока при последовательном соединении активного сопротивления индуктивности и емкости в различных режимах работы.

Порядок выполнения работы:

При выполнении этой работы нужно быть особенно осторожным, т.к. на зажимах катушки и конденсатора возникает высокое напряжение в момент резонанса.

1. Собрать электрическую цепь по схеме на рис.6.1 и показать её преподавателю для проверки.

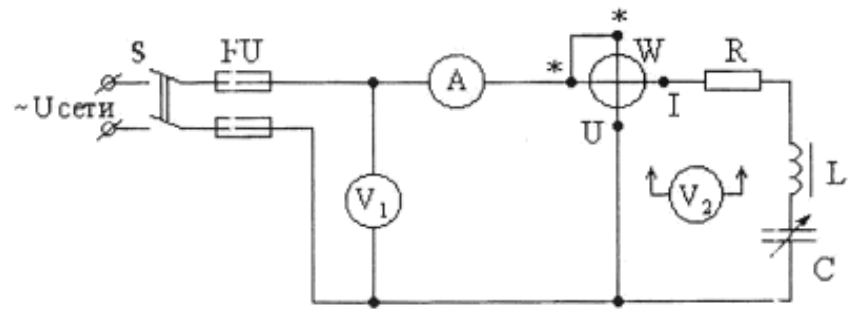


Рис. 6.1

2. Включить рубильник S и шесть раз, изменяя емкость конденсатора, измерить напряжение источника вольтметром V_1 и напряжение на каждом элементе цепи вольтметром V_2 . Ток в цепи определить по показанию амперметра A, а величину активной мощности по показанию ваттметра W. Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

№№	Измерения	Расчет
----	-----------	--------

Контрольные вопросы:

- 1) При каких условиях в цепи возникает резонанс напряжений?
- 2) Пояснить причину названия «резонанс напряжений»
- 3) Нарушится ли режим резонанса, если изменить величину активного сопротивления цепи?
- 4) Как вычислить частоту собственных колебаний контур?

10. Лабораторная работа № 7.

Исследование цепи трехфазного тока при соединении приемников «звездой».

Цель: Практическим путем проверить соотношения между электрическими величинами в цепи трехфазного тока при соединении приемников «звездой».

Оборудование приборы: Три реостата с ограничителем: R_A , R_B , R_C ; четыре амперметра переменного тока; вольтметр переменного тока; выключатель; соединительные провода.

Порядок выполнения.

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис.7.1.

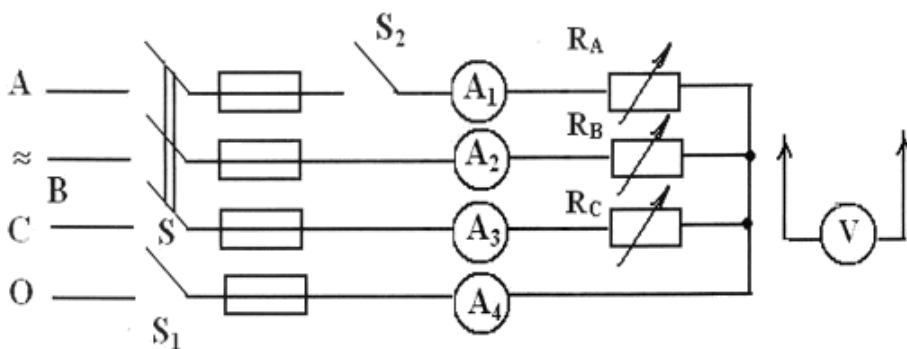


Рис. 7.1

2. После проверки схемы преподавателем включить трехполюсный рубильник и установить симметричную нагрузку фаз. Разомкнуть выключатель S_1 и замкнуть выключатель S_2 . Измерить фазные и линейные токи и напряжения. Результаты измерения записать в таблицу 7.2.

3. Создать произвольно несимметричную нагрузку фаз и повторить действия, указанные в п. 2. Показания приборов записать в таблицу 7.2.

4. Для 4-го опыта построить векторную диаграмму напряжений и токов, приняв определенный масштаб.

Графически определить ток в нулевом проводе и сравнить с показанием амперметра в нулевом проводе.

Таблица 7.2

№ опы- тов	I_A , А	I_B , А	I_C , А	I_0 , А	U_A , В	U_B , В	U_C , В	U_{AB} , В	U_{BC} , В	U_{CA} , В	Примечание
1											Симметричная нагрузка без нулевого провода
2											Симметричная нагрузка с нулевым проводом
3											Несимметричная нагрузка без нулевого провода
4											Несимметричная нагрузка с нулевым проводом

Контрольные вопросы

1. Какова цель занятия?
2. Какое соединение обмоток называется звездой?
3. Какое напряжение называется фазным? Линейным? Их соотношение.
4. Соотношение между линейными и фазными токами.
5. Какая нагрузка называется симметричной?
6. Роль нулевого провода и его применение.

11. Лабораторная работа № 8.

Измерение тока и напряжения электроизмерительными приборами различных систем и оценка результатов.

Цель работы: выполнить оценку точности электрических измерений приборами различных измерительных систем.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме на рис. 8.1 и показать её преподавателю для проверки. Включить последовательно с нагрузкой несколько амперметров различных систем и разных классов точности.

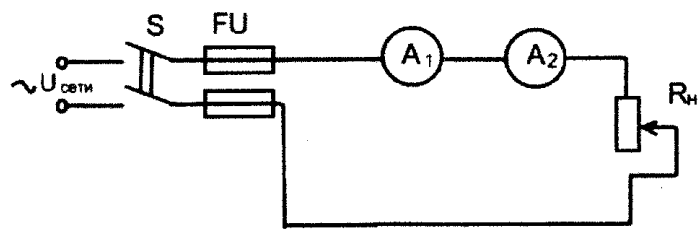


Рис.8.1

2. Изменяя 3 раза величину тока в цепи реостатом R_n , записать показания амперметров A_1 и A_2 в таблицу 8.2. Предварительно в таблицу 8.2 занести основные технические характеристики этих амперметров.

Таблица 8.2

№ прибора	Тип прибора	Марка прибора	Измерительная система	Класс точности	Измерения		
					I_1, A	I_2, A	I_3, A
A_1							
A_2							

3. Собрать электрическую цепь по схеме на рисунке 8.3 и показать её преподавателю для проверки. Включить параллельно несколько вольтметров различных измерительных систем и разных классов точности.

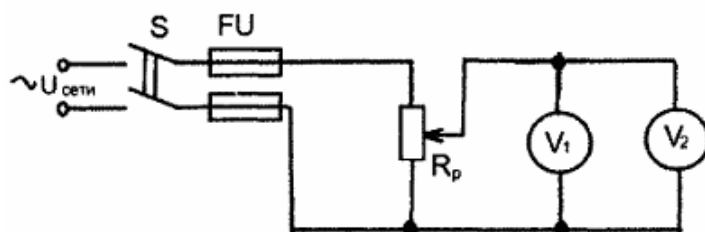


Рис.8.3

4. Изменяя 3 раза величину напряжения регулировочным реостатом R_p , заносим показания вольтметров V_1 и V_2 в таблицу 8.4. Предварительно в неё занести технические характеристики этих вольтметров.

Таблица 8.4

№ прибора	Тип прибора	Марка прибора	Измерительная система	Класс точности	Измерения		
					$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$
V_1							
V_2							

Вывод: Сравнить показание амперметров и вольтметров различных измерительных систем и классов точности и сделать вывод о возможности их применения для рабочих или лабораторных измерений.

Контрольные вопросы

1. На чем основан принцип действия приборов магнитоэлектрической системы?
2. На чем основан принцип действия приборов электромагнитной системы?
3. На чем основан принцип действия приборов электродинамической системы?
4. Какая измерительная система обеспечивает большую точность измерения в цепях постоянного тока?
5. Какая измерительная система обеспечивает большую точность измерения в цепях переменного тока?

12. Практическая работа № 1.

Расчет магнитной цепи.

Краткие сведения из теории.

Магнитное поле является особым видом материи, которое проявляет себя способностью воздействовать на проводники с током, а так же намагничивать некоторые вещества, то есть передавать им свойства магнита.

Возникновение магнитного поля обусловлено протеканием электрического тока, а электрический ток движущихся зарядов, обусловлен наличием электрического поля.

Поэтому всегда следует учитывать одновременное существование электрического и магнитного поля, а так же то, что электрический ток в проводе и магнитное поле вокруг него есть неразрывно связанные явления.

В соответствие с современными исследованиями, в ферромагнитных материалах (веществах, основу которых составляет железо) имеются области самопроизвольного намагничивания в определенном направлении. Внутри этих областей, состоящих из элементарных ориентированных контуров, магнитное поле очень велико, напряженность составляет порядка $1 \cdot 10^9$ А/м. Если ферромагнетик не намагничен, то области самопроизвольного намагничивания в металле расположены беспорядочно и отсутствует их результирующее поле. Под действием внешнего магнитного поля происходит перестройка этих областей в направлении намагничивания и ферромагнетик, намагничиваясь, с помощью своих областей, ориентированных по направлению магнитных силовых линий, создает свое магнитное поле многократно превышающее величину внешнего поля.

При температуре выше точки Кюри области самопроизвольного намагничивания разрушаются, и ферромагнитные материалы теряют свои магнитные свойства. Как видно из изложенного, гипотеза Вебера лишь отчасти противоречит современным исследованиям.

Для того чтобы характеризовать способности магнитного поля оказывать силовое действие на проводник с током рассмотрим характеристики магнитного поля: магнитную индукцию, магнитный поток, магнитную проницаемость, напряженность и напряжение магнитного поля.

Магнитная индукция представляет собой интенсивность магнитного поля в каждой его точке. Это векторная величина, которая определяет силу, действующую на движущуюся частицу со стороны магнитного поля. Направление ее вектора в каждой точке совпадает с направлением поля.

На рис.1.1. Показан опыт, с помощью которого можно определить величину магнитной индукции и направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.

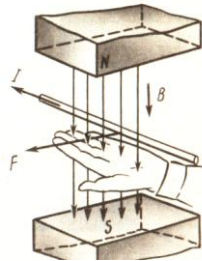


Рис. 1.1. Правило левой руки

Этот опыт провел Ампер, который поместил в магнитное поле проводник и пропустил по нему ток. Протекая по проводнику, этот ток создал вокруг проводника магнитное поле, направление которого можно определить правилом буравчика, или штопора. Поле проводника, взаимодействуя с внешним полем, созданным магнитами, создает результирующее поле, которое выталкивает проводник с током. Направление силы, действующей на проводник с током, определяется правилом левой руки, которое гласит: *если расположить левую руку так, чтобы магнитные линии пронизывали ладонь, а вытянутые четыре пальца указывали направление тока в проводнике, то отогнутый большой палец укажет направление действия электромагнитной силы.*

Сила F , с которой магнитное поле действует на проводник с током длиной l , пропорциональна магнитной индукции B ,

$$F = B I l$$

Отсюда следует определение магнитной индукции: *магнитная индукция есть величина, численно равная силе, которая действует на проводник с током равным 1 ампер, длиной*

$l = 1$ метр, помещенный в однородное магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям.

Однородным называется магнитное поле, во всех точках которого векторы магнитной индукции имеют одинаковую величину и параллельны друг другу.

Полученная формула будет верна лишь в том случае, когда проводник с током расположен перпендикулярно магнитным линиям однородного магнитного поля. Если проводник с током находится в магнитном поле, под каким либо углом α по отношению к магнитным линиям, то сила, действующая на проводник, равна $F = B I l \sin \alpha$.

Магнитная индукция величина векторная. Единица измерения магнитной индукции – Тесла (Тл)

$$[B] = \frac{F}{I \cdot l} = \frac{Н}{А \cdot м} = \frac{Дж / м}{А \cdot м} = \frac{Дж}{А \cdot м^2} = \frac{В \cdot с}{м^2} = \frac{Вб}{м^2} = Тл$$

Магнитным потоком называется поток вектора магнитной индукции, пронизывающего участок площадью S .

Для однородного магнитного поля, если вектор магнитной индукции перпендикулярен поверхности площадки, величина потока определяется выражением

$$\Phi = B \cdot S$$

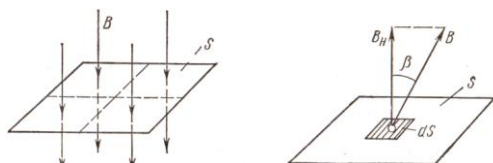


Рис. 1.2. Определение магнитного потока

Для определения магнитного потока в неоднородном поле вначале задаются элементарной площадкой dS и находят нормальную составляющую вектора магнитной индукции на элементарной площадке $B_n = B \cos \beta$

Где β – угол между нормалью к площадке dS и вектором магнитной индукции

Тогда магнитный поток через эту элементарную площадку dS

$$d\Phi = B_n \cdot dS$$

Магнитный поток через всю поверхность S равен сумме элементарных потоков

$$\Phi = \int_S B_n dS$$

Размерность магнитного потока - Вебер (Вб)

$$[\Phi] = [B \cdot S] = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{Вб}}{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}} = \text{Вб}$$

Интенсивность магнитного поля зависит от среды (вещества), в которой оно возникает. В этом случае говорят о магнитной проницаемости среды, то есть о возможности окружающей среды влиять на величину магнитной индукции. Магнитной проницаемостью среды называется способность этой среды влиять на величину магнитного потока, ее пронизывающего.

По магнитной проницаемости вещества делятся на три группы:

1. *Диамагнитные вещества*, к ним относятся вода, водород, кварц, серебро, медь и т.д. Эти вещества незначительно уменьшают пронизывающее их внешнее магнитное поле.
2. *Парамагнитные вещества* (алюминий, кислород, воздух и прочее). Эти вещества способны незначительно увеличивать внешнее магнитное поле.
3. *Ферромагнитные вещества* (железо, никель, кобальт и некоторые сплавы) усиливают многократно пронизывающее их магнитное поле.

Магнитные свойства среды характеризуются абсолютной магнитной проницаемостью, которая определяется выражением

$$\mu_a = \mu_0 \cdot \mu$$

Здесь $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Генри / метр (Гн/м) - магнитная постоянная, или абсолютная магнитная проницаемость вакуума; $\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}$ - относительная магнитная проницаемость, которая показывает, во сколько раз индукция поля, созданная током в данной среде, больше или меньше, чем в вакууме, и является *безразмерной величиной*. Для *диамагнитных веществ* μ незначительно меньше единицы, например для меди $\mu = 0,999995$. Для парамагнитных веществ μ незначительно больше единицы, например для воздуха $\mu = 1,0000031$. В практических расчетах эти вещества принимаются равными единице. Для ферромагнитных материалов μ является функцией от тока, создающего магнитное поле, и достигает больших значений ($10^2 - 10^5$). Ферромагнитные материалы широко используются в электротехнике для усиления магнитных полей в электрических машинах и аппаратах.

Напряженность можно представить как интенсивность магнитного поля с учетом абсолютной магнитной проницаемости используемого материала.

$$H = \frac{B}{\mu_a}$$

При расчете магнитных цепей величину напряженности магнитного поля определяют из экспериментальных кривых или по специальным таблицам, зависимости $H = f(B)$.

Единица измерения напряженности

$$|H| = \frac{B}{\mu_a} = \frac{в \cdot сек \cdot м}{м^2 \cdot ом \cdot сек} = \frac{А}{м}$$

Напряженность магнитного поля, как и магнитная индукция, величина векторная. Направление вектора напряженности магнитного поля в средах с одинаковыми магнитными свойствами во всех направлениях совпадает с направлением магнитного поля в данной точке.

Магнитное напряжение - U_M , для магнитных полей, аналогично электрическому напряжению, для электрических полей.

Если напряженность магнитного поля одинакова во всех точках данной магнитной линии, как например в однородном магнитном поле (рис.1.1.4,а), то магнитное напряжение между двумя точками этой магнитной линии равно произведению напряженности магнитного поля и участка длины магнитной линии

$$U_M = H l$$

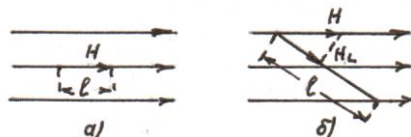


Рис. 1.3. магнитное напряжение

В более общем случае, когда точки не находятся на одной магнитной линии (рис.1.3.,б) магнитное напряжение можно определить из выражения

$$U_M = H_l l$$

где H_l – проекция вектора напряженности H на отрезок l .

В общем случае, когда в различных точках пути l напряженность магнитного поля не одинакова, то выражение для магнитного напряжения определяется формулой

$$U_M = \int_l H_l dl$$

Причем в отличие от электростатического поля величина U_M зависит от выбранного пути между начальной и конечной точками.

Если приходится иметь произвольный замкнутый контур, то магнитное напряжение, вычисленное по замкнутому контуру, называется *намагничивающей силой* (н.с.) или *магнитодвижущей силой* (МДС) и обозначается буквой F .

$$F = \oint H_l dl$$

Размерность магнитного напряжения

$$[U_M] = [H l] = \text{А/м} \cdot \text{м} = \text{А}.$$

То есть магнитное напряжение измеряется в амперах.

Магнитная цепь представляет собой сочетание ферромагнитных магнитопроводов и воздушных зазоров, через которые распространяется магнитный поток.

В большинстве электротехнических устройств магнитный поток замыкается по цепи, состоящей из нескольких участков, например k . В пределах каждого из этих участков напряженность магнитного поля можно считать постоянной. В этом случае МДС будет равна сумме произведений напряженностей поля на длины соответствующих участков магнитной цепи

$$\sum I = I_w = H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots + H_k l_k = \sum_{i=1}^k H_i l_i$$

Это уравнение выражает закон полного тока для магнитной цепи.

Целью расчета магнитной цепи чаще всего является определение МДС, требуемой для получения необходимой магнитной индукции, например, магнитной индукции в воздушном зазоре электрической машины. Основой для расчета является закон полного тока для магнитной цепи

$$\sum Hl = I_w$$

Цель работы: получить навыки решения прямой задачи расчета неразветвленной магнитной цепи; установить зависимость силы тока в катушке, необходимого для создания заданной подъемной силы электромагнита, от величины воздушного зазора.

Задание на практическую работу

Магнитопровод электромагнита показан на рис. 1.4. выполнен из электротехнической стали.

Магнитопровод состоит из сердечника длиной $L1$, якоря длиной $L2$ и двух воздушных зазоров $L01$ и $L02$. Длины участков магнитопровода даны по средней магнитной линии. Ширина участков магнитопровода $a1$ и $a2$, толщина b . Число витков обмотки w . Магнитный поток в магнитной цепи Φ . Сила притяжения якоря (подъемная сила электромагнита) F . Значения перечисленных параметров приведены в таблице 1.5..

Определить ток в катушке I , который необходим для создания заданной подъемной силы электромагнита.

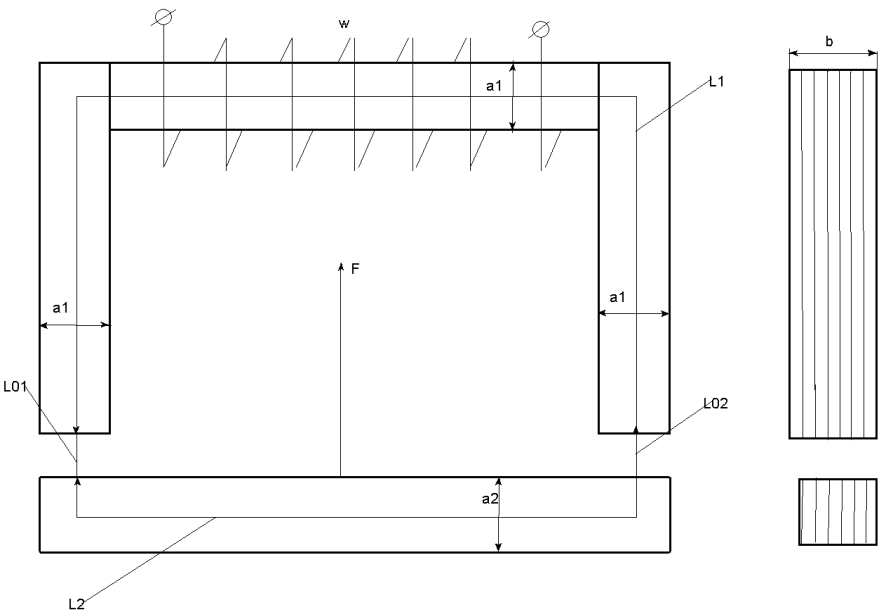


Рис. 1.4.

Таблица 1.5.

Вариант	L1,см	L2,см	a1,см	a2,см	b,см	L01 = L02,мм	w	F, Н
1, 11, 21	180	60	4	6,3	4	1	200	3500
2, 12, 22	200	70	3	4	4	1,5	210	2800
3, 13, 33	220	70	5	5,5	4	2	220	3000
4, 14, 24	240	80	5	4	5	1	230	3200
5, 15, 25	260	80	6	5	5	1,5	240	3500
6, 16, 26	280	80	5	6	5	2	250	3400
7, 17, 27	200	60	4	5	6	1	260	3800
8, 18, 28	160	50	5	4	6	1,5	270	3500
9, 19, 29	140	50	4	5	6	2	250	4000
10,20,30	150	50	6	5	7	1	240	3600
0	250	80	4	3	5	1	240	3000

Отформатировано:
Междустр.интервал: множитель 1,15
ин

Пример расчета для варианта 0.

1. Разбить магнитную цепь на участки, каждый из которых должен иметь по всей длине одинаковое сечение и одинаковый материал.

В данной цепи таких участков четыре: два участка из электротехнической стали и два воздушных зазора.

Длина и сечение участков магнитной цепи:

$$\begin{aligned} L1 &= 250 \text{ см} = 2,5 \text{ м}; & S1 &= a1 \cdot b = 4 \cdot 5 = 20 \text{ см}^2 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \\ L2 &= 80 \text{ см} = 0,8 \text{ м}; & S2 &= a2 \cdot b = 3 \cdot 5 = 15 \text{ см}^2 = 15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \\ L01 &= L02 = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}; & S01 &= S02 = S1 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \end{aligned}$$

2. Пользуясь формулой подъемной силы электромагнита, определить необходимую магнитную индукцию в сердечнике:

$$B1 = \sqrt{\frac{F}{8 \cdot 10^5 \cdot S1}} = \sqrt{\frac{3000}{8 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-4}}} = 1,37 \text{ Тл}$$

3. Магнитный поток в заданной магнитной цепи

$$\Phi = B1 \cdot S1 = 1,37 \cdot 20 \cdot 10^{-4} = 27,4 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

4. Поскольку в неразветвленной магнитной цепи Φ на всех участках одинаков, то магнитная индукция в якоре

$$B2 = \Phi / S2 = 27,4 \cdot 10^{-4} / 15 \cdot 10^{-4} = 1,83 \text{ Тл}$$

В воздушном зазоре $B0 = B1 = 1,37 \text{ Тл}$.

5. Напряженность магнитного поля для всех участков цепи.

5.1 В воздушном зазоре определить по формуле:

$$H0 = B0 / \mu_0 = 1,37 / 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,091 \cdot 10^6 \text{ А/м}$$

5.2. Для якоря и сердечника напряженность найти по кривой намагничивания электротехнической стали

-при $B1 = 1,37 \text{ Тл}$ --- $H1 = 1500 \text{ А/м}$

-при $B1 = 1,83 \text{ Тл}$ --- $H1 = 10000 \text{ А/м}$.

Задавшись направлением тока в катушке, показать на схеме направление векторов $H1$, $H2$, $H0$.

6. По второму закону Кирхгофа магнитодвижущая (намагничивающая) сила катушки равна сумме магнитных напряжений вдоль контура магнитной цепи:

$$I_w = \Sigma U_m = \Sigma H \cdot L.$$

Намагничивающая сила катушки электромагнита, необходимая для создания требуемой интенсивности магнитного поля, соответственно, заданной подъемной силы электромагнита:

$$I_w = H_1 L_1 + H_2 L_2 + 2 H_0 L_0;$$

$$I_w = 1500 \cdot 2,5 + 10000 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1,091 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 13932 \text{ A.}$$

7. При заданном числе витков катушки определить силу тока в катушке, необходимую для создания заданной подъемной силы электромагнита:

$$I = I_w / w = 13932 / 240 = 58,1 \text{ A.}$$

8. Определить ток в катушке, необходимый для удержания якоря в притяннутом состоянии с силой F , т. е. при $L_{o1} = L_{o2} = 0$:

$$I_w = H_1 L_1 + H_2 L_2 = 1500 \cdot 2,5 + 10000 \cdot 0,8 = 11750 \text{ A.}$$

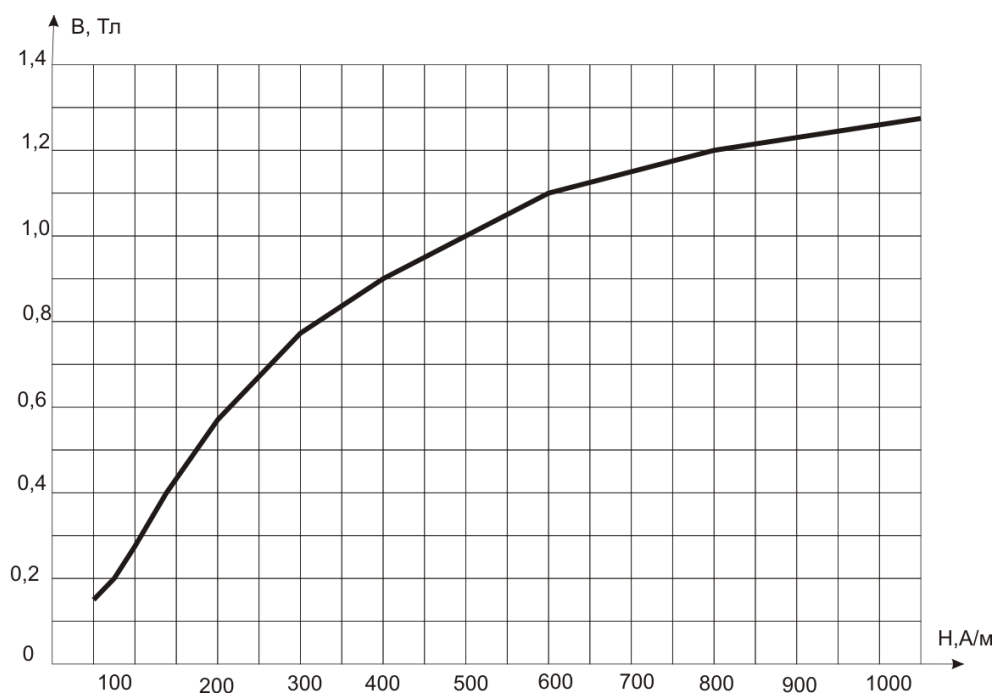
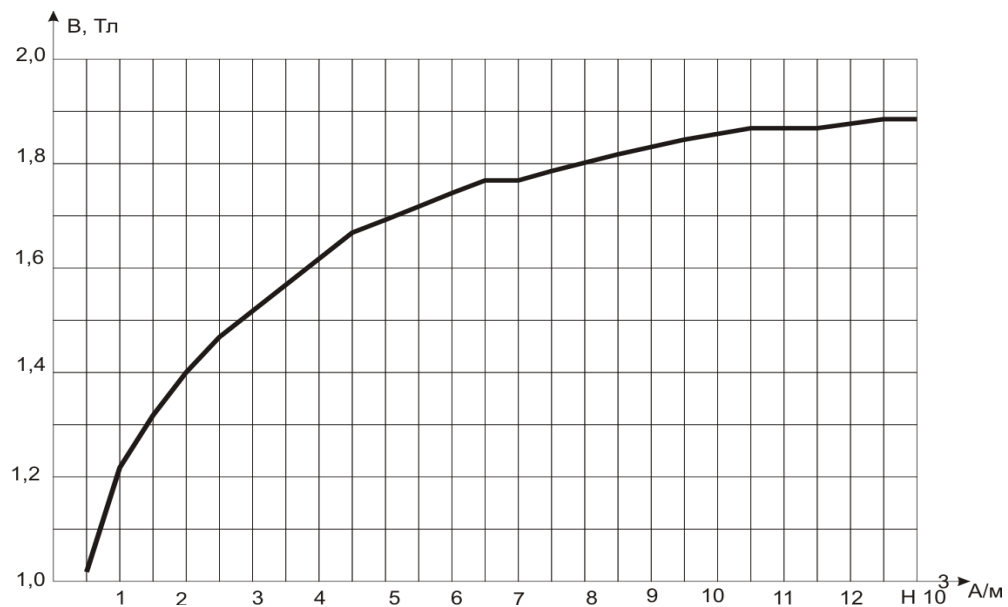
$$I = I_w / w = 11750 / 240 = 49 \text{ A.}$$

Вывод: пояснить, что такое магнитодвижущая сила катушки, от чего она зависит.

Контрольные вопросы.

1. Что называется магнитным полем?
2. Сформулируйте правило левой руки. В каких случаях это правило применяется?
3. Что такое магнитная цепь?
4. Сформулируйте законы Кирхгофа для магнитных цепей.

Кривые намагничивания электротехнической стали.



13. Практическая работа № 2.

Расчет неразветвленной цепи.

Краткие сведения из теории.

Все современные электростанции имеют сеть переменного тока. Переменный синусоидальный ток вытеснил применявшийся ранее постоянный ток, так как доказал свои явные преимущества над последним. Эти преимущества выражаются в следующем:

- простота и надежность машин переменного тока перед аналогичными машинами постоянного тока
- возможность путем трансформации иметь любое напряжение, необходимое для технических нужд
- возможность передавать электрическую энергию на большие расстояния при минимальных потерях энергии.
- простота получения постоянного тока, из переменного, в случае его необходимости, с помощью статических преобразователей.

Переменным называется электрический ток, изменяющийся по величине и направлению в течение времени.

Синусоидальным переменным током называется ток, изменение которого по величине и направлению повторяется периодически по синусоидальному закону.

Наименьший промежуток времени, за которое происходит полное колебание и возврат переменной величины в исходное состояние, называется периодом – T и измеряется в секундах [сек].

Величина, характеризующая число полных колебаний за одну секунду, имеет название частота и обозначается f .

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\text{сек}} = 1 \text{ Герц}$$

Промышленная частота переменного тока принятая в России – 50 герц.

Пример: промышленная частота тока в сети равна $f=50 \text{ Гц}$. Тогда период $T = 1/f = 0,02 \text{ сек}$.

Для получения синусоидального переменного тока в промышленности используются синхронные генераторы. Рассмотрим принцип действия простейшего генератора переменного тока.

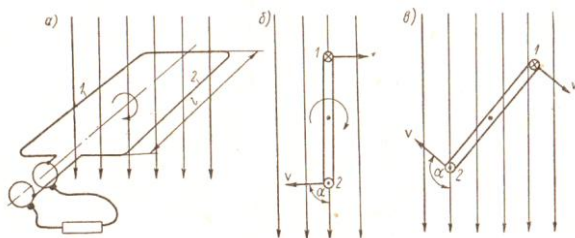


Рис.2.1. Получение переменного тока

Пусть имеется виток в форме рамки из медного провода, расположенный в однородном магнитном поле. Ось вращения витка перпендикулярна магнитным линиям поля. Если вращать рамку вокруг оси, как показано на рис.2.1. то в зависимости от ее положения в магнитном поле в каждой из сторон рамки будет индуцироваться переменная ЭДС. Величина этой ЭДС, по закону электромагнитной индукции определяется выражением

$$e = 2B l v \sin \alpha$$

Где α – угол между вектором магнитной индукции и вектором скорости проводника вращающейся рамки.

B – величина магнитной индукции, Тл

$2l$ – длина активной части проводника, то есть той его части, которая находится в магнитном поле, м.

v – окружная скорость витка, м / сек

Угол α за один полный оборот барабана изменяется от 0 до 360° , или в радианной мере на 2π радиан.

Скорость изменения угла α называется *угловой скоростью* и определяется как отношение угла α к времени t .

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \text{ рад/сек}$$

За полный оборот барабана, то есть за время полного периода T угол α изменился на величину 2π . Тогда

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Где f – частота переменной ЭДС.

Если принять, что при угле $\alpha = 90^\circ$ величина ЭДС будет максимальна, тогда

$$e = E_M \sin \alpha = E_M \sin \omega t$$

Переменный угол $\alpha = \omega t$ называется *фазой ЭДС*.

Текущие значения ЭДС в каждое мгновение времени называются *мгновенными значениями ЭДС* и обозначаются - e .

Значение E_M , являющаяся наибольшим значением ЭДС называется *амплитудной ЭДС*.

Если скорость вращения ротора, выраженной в оборотах в минуту, принять за n , то частота ЭДС будет равна $f = \frac{n}{60} p$, а значит, чтобы получить промышленную частоту 50 Гц, необходимо при одной паре полюсов ($p=1$) вращать ротор со скоростью $n = 3000$ об/мин, при двух парах полюсов ($p = 2$) скорость ротора должна быть $n = 1500$ об/мин, при трех парах полюсов ($p=3$) скорость вращения должна быть $n = 1000$ об/мин, и т.д.

Между угловой частотой вращения - ω и скоростью выраженной в оборотах в минуту - n имеется соотношение

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

Если замкнуть цепь витка, концы которого выведены к щеткам на внешнее

сопротивление (см. рис 2.1.), то в цепи будет протекать переменный ток, а на сопротивлении будет падение напряжения, выражение для которых будет подобным выражению для ЭДС

$$i = I_m \sin \alpha = I_m \sin \omega t = I_m \sin 2\pi f t$$

$$u = U_m \sin \alpha = U_m \sin \omega t = U_m \sin 2\pi f t$$

Указанные *мгновенные* выражения ЭДС, тока и напряжения называются так же *текущими* значениями.

Величины I_m, U_m, E_m — называют максимальными или *амплитудными* значениями.

В расчетах часто используют и так называемые *действующие* значения величин. Эти значения воспринимаются большинством электроизмерительных приборов и обозначаются символами без индексов — I, U, E . Для определения действующего значения тока, принимается переменный ток такой величины, который за время, равное одному периоду выделяет в сопротивлении такое же количество тепла, что и постоянный ток.

$$Q = I^2 r t$$

Действующие значения величин меньше своих амплитудных значений в $\sqrt{2}$ раза, поэтому

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m ; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m ; \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 E_m ;$$

Если начало периода синусоиды совпадает с началом отсчета времени и переходит в положительную часть ординаты, то такое состояние называется *началом периода*.

Если же синусоида смещена относительно начала координат, то тригонометрическое уравнение для ЭДС и тока принимает вид

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

Аргумент синуса ($\omega t + \psi$) измеряемый в радианах или градусах, называется *фазным углом* или *фазой*. Угол ψ определяет величину смещения синусоиды относительно начала координат и называется *начальной фазой*. Следовательно, начальная фаза — это электрический угол, определяющий значение синусоидального тока (напряжения, ЭДС и т.д.) в начальный момент времени (при $t = 0$). Начальная фаза ψ отсчитывается по оси ωt от начала синусоиды до начала координат.

Поэтому при $\psi > 0$ начало синусоиды сдвинуто влево, а при $\psi < 0$ — вправо, относительно начала координат.

Общий вид синусоидального напряжения и тока имеют вид

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

На рисунке 2.2 показано, что угол сдвига фаз между током и напряжением $\varphi = \psi_1 - \psi_2$

При сдвиге фаз *опережающей* называется та, у которой начало периода или положительная амплитуда достигается раньше, а другая, у которой те же значения достигаются позже, — называется *отстающей* по фазе.

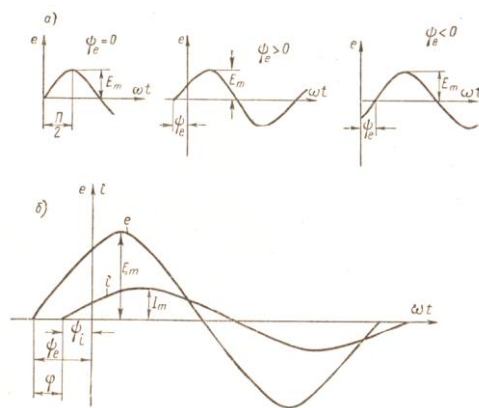


Рис.2.2 Графики синусоидальных ЭДС:

а) при $\psi_e = 0$; $\psi_e > 0$; $\psi_e < 0$; б) временные диаграммы e и i со сдвигом фаз

Применение векторных диаграмм при исследовании и расчете цепей переменного тока позволяет наглядно представлять рассматриваемые процессы и упрощать расчеты. Векторные диаграммы представляют собой совокупность векторов, изображающих действующие или амплитудные значения синусоидальных ЭДС и токов.

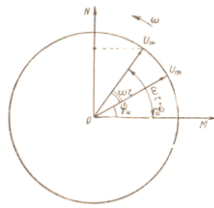


Рис. 2.3 Изображение синусоидальной функции u вращающимся вектором

Гармонически изменяющееся напряжение определяется выражением

$$u = U_M \sin(\omega t + \psi_u)$$

Расположим под углом ψ_u относительно оси ОМ вектор U_M , длина которого в произвольно выбранном масштабе равна амплитуде изображаемой величины (рис.9.3). Положительные углы будем откладывать в направлении против вращения часовой стрелки, а отрицательные – по часовой стрелке.

Пусть вектор U_M начиная с момента времени $t = 0$, вращается вокруг начала координат против часовой стрелки с постоянной угловой скоростью ω . В момент времени t вектор U_M повернется на угол ωt и будет расположен под углом $(\omega t + \psi_u)$ по отношению к оси ОМ.

Проекция этого вектора на ось ОН в выбранном масштабе равна мгновенному значению изображаемой функции

$$u = U_M \sin(\omega t + \psi_u)$$

Следовательно, величину, изменяющуюся гармонически во времени, можно изображать вращающимся вектором.

Если начальная фаза $\psi_u = 0$, когда $u = 0$, вектор U_M для времени $t = 0$ должен быть расположен на оси ОМ.

График зависимости любой переменной величины от времени называется временной диаграммой. Для гармонических величин по оси абсцисс удобнее откладывать не само время t , а пропорциональную ему величину ωt .

Обычно при расчете цепи нас интересует амплитудные или действующие значения ЭДС, токов или напряжений, а так же сдвиг по фазе относительно друг друга. При неизменной частоте вращения в любое мгновение времени вектора всех указанных величин находятся неподвижно друг относительно друга. Поэтому обычно рассматриваются неподвижные векторы так, чтобы диаграмма была наглядной. Такая диаграмма называется *векторной диаграммой*.

При расчете цепи переменного тока часто приходится производить сложение ЭДС, токов или напряжений одной и той же частоты.

Предположим, что требуется сложить две ЭДС $e_1 = E_{1M} \sin(\omega t + \psi_{1E})$ и $e_2 = E_{2M} \sin(\omega t + \psi_{2E})$

Такое сложение можно осуществить аналитически и графически. Последний способ наиболее нагляден и прост. На рис.2.4 показаны два вектора E_{1M} и E_{2M} и их сложение способом параллелограмма. Суммарный вектор E_M равен сумме векторов E_{1M} и E_2

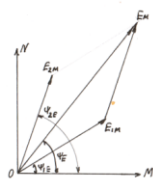


Рис 2.4. Графическое сложение двух синусоидальных ЭДС одинаковой частоты.

$$\mathbf{E_M} = \mathbf{E_{1M}} + \mathbf{E_{2M}}$$

В дальнейшем векторные величины будем выделять жирным шрифтом, как показано выше.

Вычитание векторов происходит аналогично сложению, лишь только вычитаемый вектор меняет свое направление на 180° .

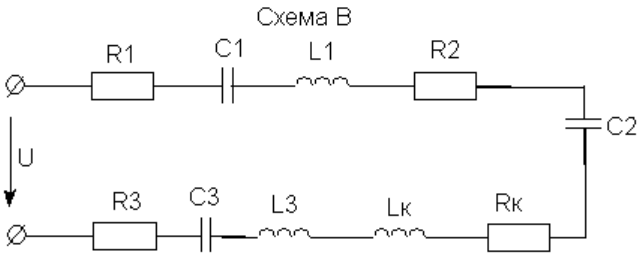
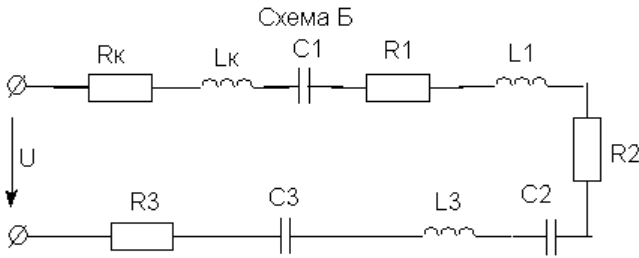
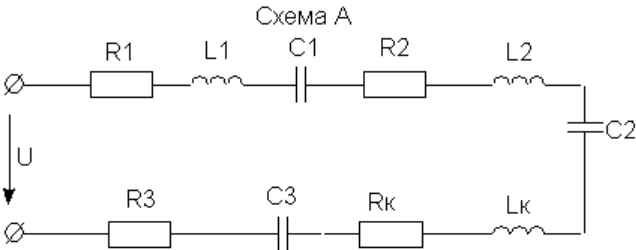
Цель работы: рассчитать электрическую цепь переменного тока с последовательным соединением активных и реактивных сопротивлений, построить векторную диаграмму

Задание на практическую работу

1. Вычертить схему согласно варианту задания
2. Выписать данные из таблицы 2.5. согласно варианту задания и рассчитать электрическую цепь

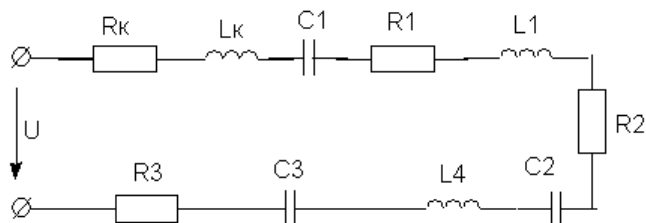
Таблица 2.5.

Вариант - схема	1- А 11-Б 21-В	2-А 12-Б 22-В	3-А 13-Б 23-В	4-А 14-Б 24-В	5-А 15-Б 25-В	6-А 16-Б 26-В	7-А 17-Б 27-В	8-А 18-Б 28-В	9-А 19-Б 29-В	10-А 20-Б 30-В	0
U, В	150	80	120	60	40	30	20	70	90	100	50
R1, Ом	40	3	40	4	2	4	2	4	5	4	4
R2, Ом	80	4	20	6	3	3	2	5	4	2	3
R3, Ом	30	6	30	10	2	3	3	3	2	3	3
Rк, Ом	50	3	50	4	5	6	4	2	3	5	6
L1,мГн	31,8	38	12,7	9,6	12,7	31,8	25,4	12,7	25,4	12,7	16
L2,мГн	15,9	16	15,9	15,9	12,7	19	6,4	9,5	25,4	15,9	38
Lк,мГн	12,7	9,6	16,0	12,7	15,9	19,1	12,7	6,4	9,6	15,9	19,1
C1,мкФ	106	531	106	796	637	796	531	796	1061	531	796
C2,мкФ	319	319	53	319	1061	796	796	796	796	398	531
C3,мкФ	637	796	133	531	1061	319	266	266	1592	319	531



Пример расчета для варианта 0.

1. Вычертить схему заданной цепи.



Исходные данные для расчета:

$U = 50 \text{ В}$	$L1 = 16 \text{ мГн}$
$R1 = 4 \text{ Ом}$	$L2 = 38 \text{ мГн}$
$R2 = 3 \text{ Ом}$	$Lk = 19,1 \text{ мГн}$
$R3 = 3 \text{ Ом}$	$C1 = 796 \text{ мкФ}$
$Rk = 6 \text{ Ом}$	$C2 = 531 \text{ мкФ}$
	$C3 = 531 \text{ мкФ}$

1. Реактивные сопротивления катушек и конденсаторов определить при частоте $f = 50 \text{ Гц}$.

$$XL1 = 2\pi \cdot f \cdot L1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ Ом}$$

$$XL2 = 2\pi \cdot f \cdot L2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 38 \cdot 10^{-3} = 12 \text{ Ом}$$

$$XLk = 2\pi \cdot f \cdot Lk = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ Ом}$$

$$Xc1 = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 796 \cdot 10^{-6}} = 4 \text{ Ом}$$

$$Xc3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C3} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 531 \cdot 10^{-6}} = 6 \text{ Ом}$$

$$Xc2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 531 \cdot 10^{-6}} = 6 \text{ Ом}$$

2. Полное сопротивление всей цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + (XL - XC)^2} = \sqrt{16^2 + (23 - 16)^2} = 17,5 \text{ Ом}.$$

$$\text{где } R = R1 + R2 + R3 + Rk = 4 + 3 + 3 + 6 = 16 \text{ Ом}$$

$$XL = XL1 + XL2 + XLk = 5 + 12 + 6 = 23 \text{ Ом}$$

$$XC = XC1 + XC2 + XC3 = 4 + 6 + 6 = 16 \text{ Ом}.$$

3. Действующее значение тока в цепи

$$I = U / Z = 50 / 17,5 = 2,9 \text{ А}$$

4. Сдвиг фаз тока, протекающего в цепи, и приложенного напряжения

$$\varphi = \arctg \frac{XL - XC}{R} = \frac{23 - 16}{16} = \arctg 0,4 = 22^\circ$$

5. Действующие значения напряжения на каждом элементе цепи

$$U_{r1} = I \cdot R_1 = 2,9 \cdot 4 = 11,6 \text{ В}$$

$$U_{r2} = I \cdot R_2 = 2,9 \cdot 3 = 8,7 \text{ В}$$

$$U_{r3} = I \cdot R_3 = 2,9 \cdot 3 = 8,7 \text{ В}$$

$$U_{rk} = I \cdot R_k = 2,9 \cdot 6 = 17,4 \text{ В}$$

$$U_{L1} = I \cdot X_{L1} = 2,9 \cdot 5 = 14,5 \text{ В}$$

$$U_{L2} = I \cdot X_{L2} = 2,9 \cdot 12 = 34,8 \text{ В}$$

$$U_{XLk} = I \cdot X_{Lk} = 2,9 \cdot 6 = 17,4 \text{ В}$$

$$U_{C1} = I \cdot X_{C1} = 2,9 \cdot 4 = 11,6 \text{ В}$$

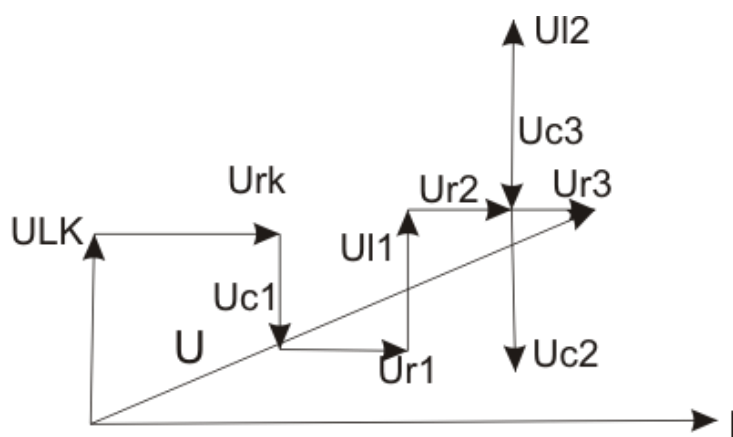
$$U_{C2} = I \cdot X_{C2} = 2,9 \cdot 6 = 17,4 \text{ В}$$

$$U_{C3} = I \cdot X_{C3} = 2,9 \cdot 6 = 17,4 \text{ В}$$

6. Построить векторную диаграмму тока и напряжения для заданной цепи. При этом для удобства построения вектора тока направить его по оси абсцисс, без учета его начальной фазы.

Задаем масштабы построения векторной диаграммы: $MI = 0,5 \text{ A/cm}$

$MU = 10 \text{ V/cm}$



Проверка: $U = MU \cdot IU = 10 \cdot 5 = 50 \text{ В}$

Расчет и построение векторной диаграммы выполнены верно.

7. Выписать полученные по векторной диаграмме значения угла сдвига по фазе тока и напряжения - $\varphi = 22^\circ$

Сравнить φ с результатом, полученным в п.4.

8. Определить напряжение, приложенное к цепи

$$U = \sqrt{U_r^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{46,4 + (66,7 - 46,4)^2} = 50,1 \text{ В}$$

где $U_r + U_{r1} + U_{r2} + U_{r3} + U_{rk} = 11,6 + 8,7 + 8,7 + 17,4 = 46,4 \text{ В}$

$$U_L = U_{L1} + U_{L2} + U_{Lk} = 14,5 + 34,8 + 17,4 = 66,7 \text{ В}$$

$$U_C = U_{C1} + U_{C2} + U_{C3} = 11,6 + 17,4 + 17,4 = 46,4 \text{ В}$$

Сравнить расчетную величину U с результатом, полученным по векторной диаграмме и с заданным значением.

Вывод: физическая сущность активного, индуктивного и емкостного сопротивлений в цепи переменного тока.

Контрольные вопросы.

1. Как изменится ток в цепи с индуктивностью, если частота тока уменьшится?
2. Какими формулами можно определить активную и реактивную мощности цепи?
3. Что такое коэффициент мощности и что он характеризует?
4. Какими формулами можно выразить активное и реактивное сопротивления цепи?

14. Практическая работа № 3.

Расчет погрешностей электрических измерений и измерительных приборов.

Краткие сведения из теории.

Основные метрологические понятия.

ИЗМЕРЕНИЕ – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Чтобы произвести измерения, т. е. сравнить измеряемую величину с единицей измерения, необходимо иметь эту величину – меру.

МЕРА – это средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. При измерениях используют не только меры, но и измерительные приборы, с помощью которых выполняют процесс сравнения измеряемой величины с единицей измерения.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР – средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем (ГОСТ 16263 – 70).

Электроизмерительные приборы подразделяют на две группы: приборы непосредственной оценки и приборы сравнения.

Приборы непосредственной оценки (амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры и т. д.) позволяют определить числовое значение измеряемой величины по отсчетному устройству.

Приборы сравнения (мосты, компенсаторы) применяют для сравнения измеряемой величины с мерой. Они используются для проведения более точных измерений.

ПОКАЗАНИЕ ПРИБОРА – это значение измеряемой величины, определяемое сделанным отсчетом и переводным множителем (например, ценой деления).

ОТСЧЕТ – это число, прочитанное по отсчетному устройству измерительного прибора (по шкале, цифровому табло).

Погрешности измерений.

При измерении не получается абсолютно точного значения измеряемой величины. Возникающие расхождения между измеренным и действительным значениями измеряемой величины называются *погрешностями*. Погрешности возникают вследствие несовершенства измерительных приборов, методов измерений, органов чувств человека и в результате случайных факторов. Погрешности бывают систематические и случайные.

Систематическими называются погрешности, возникающие вследствие недостатков в самих измерительных приборах, в методах измерений, неправильной установки прибора, а также несовершенства органов зрения, слуха человека, производящего измерения.

Случайными называются погрешности, возникающие в результате влияния окружающей среды на измерительный прибор, т. е. температуры, влажности и других, а также из – за ошибок в отсчете показаний приборов. Для уменьшения случайных погрешностей можно измерение данной величины произвести несколько раз и взять среднее значение этих результатов.

Различают следующие погрешности электрических измерений и измерительных приборов:

1. Абсолютной погрешностью ΔX называется разность между показанием прибора $X_{\text{изм}}$ и действительным значением измеряемой величины $X_{\text{действ.}}$.

$$\Delta X = X_{\text{изм.}} - X_{\text{действ.}}$$

Поправкой δX называется разность между действительным и измеренным значением

$$\delta X = X_{\text{действ.}} - X_{\text{изм.}}$$

Поправка может быть положительной и отрицательной и в сумме с показанием прибора дает действительное значение измеряемой величины. За действительное значение $X_{\text{действ.}}$ принимается показание образцового прибора

2. Относительной погрешностью $\gamma_{\text{отн.}}$ называется отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины и выражают в процентах.

$$\gamma_{\text{отн.}} = \Delta X / X_{\text{действ.}} \cdot 100\%$$

3. Приведенной погрешностью $\gamma_{\text{пр.}}$ называется отношение наибольшей абсолютной погрешности к нормирующему значению шкалы прибора $X_{\text{ном.}}$. Эта погрешность выражается в процентах.

$$\gamma_{\text{пр.}} = \Delta X_{\text{max}} / X_{\text{ном.}} \cdot 100\%, \text{ где}$$

ΔX_{max} – наибольшая возможная абсолютная погрешность при нормальных рабочих условиях (рабочее положение шкалы, температура 293К, отсутствие внешних магнитных полей, отсутствие вблизи прибора ферромагнитных масс и т. д.);

$X_{\text{ном.}}$ – нормирующее значение шкалы для прибора с односторонней шкалой равно верхнему пределу измерения, для прибора с двусторонней шкалой (с нулем посередине) – арифметической сумме верхних пределов измерения.

Наибольшее значение приведенной погрешности в рабочем диапазоне шкалы измерительного прибора называют основной приведенной погрешностью, выражают в процентах и называют класс точности. В соответствии с ГОСТ 9763 – 67 приборы подразделяются на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0.

4. Относительной погрешностью измерений $\gamma_{\text{отн.изм.}}$ называется отношение абсолютной погрешности к измеренному значению измеряемой величины $X_{\text{изм.}}$ и выражают в процентах.

$$\gamma_{\text{отн. изм.}} = \Delta X / x_{\text{изм}} \cdot 100\%.$$

Постоянная прибора (цена деления прибора) C есть величина, на которую необходимо умножить результат отсчета в делениях или миллиметрах шкалы, чтобы получить показание прибора

$C = \Delta X / \Delta \alpha$, единица измеряемой величины/град. или мм, где

ΔX – изменение значения измеряемой величины;

$\Delta \alpha$ – линейное или угловое перемещение указателя.

Величина, обратная постоянной прибора, называется чувствительностью прибора. Чувствительность прибора численно равна линейному или угловому перемещению указателя, соответствующему единице измеряемой величины.

$S = 1/C = \Delta \alpha / \Delta X$ град. или мм/единица измеряемой величины

Задание на практическую работу №1

Цель работы: Изучение методики построения графиков поправок. Определение класса точности электроизмерительного прибора.

Амперметр и вольтметр с пределами измерений, указанными в табл.1.1 и максимальным числом делений 150 и 100 соответственно, были поверены в точках:

:

Для амперметра 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 150;

Для вольтметра 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 делений.

Для своего варианта определить класс точности прибора и построить для него график поправок: $\Delta I = f(I)$ или $\Delta U = f(U)$

Показания образцового прибора в поверяемых точках приведены в табл.3.1

Данные поверки амперметра и вольтметра

Таблица 1.1

Номер варианта	Показания образцового прибора	Предел Измерен.
1	20,2; 39,1;58,9; 99,2; 139; 140; 145; 150 мА	150мА
2	31,0; 42,0; 50,9; 60,8; 71,1; 81,0; 90,5; 100мВ	100мВ
3	39 ,8; 80,1; 120,4; 159,7; 199,5; 240; 279,6; 300,3мА	300м А
4	74; 98; 104; 146; 170; 202; 220; 252 мВ	250мВ
5	102; 210; 305; 420; 525; 612;650; 755 мА	750мА
6	160; 215; 260; 305; 370; 410; 455; 505 мВ	500мВ
7	0,204; 0,396; 0,590; 0,815; 0,995; 1,20; 1,40; 1,5 А	1,5А
8	320; 418; 498; 612; 698; 805; 898; 999 мВ	1000мВ
9	0,399; 0,806; 1,205; 1,598; 1,999; 2,405; 2,8; 3,00А	3,0А
10	750; 900; 1100; 1520; 1690; 2100; 2240; 2405 мВ	2500мВ
11	1,1; 2,105; 3,11; 4,21; 5,31; 6,15;6,5; 7,3 А	7,5А
12	1,55; 1,98; 2,48; 2,95; 3,56; 4,05; 4,60; 4,98 В	5,0В
	1,25; 2,5; 3,75; 4,95; 6,20; 8,5; 8,7; 8,9А	9,0А
~ 14 1	3,25; 4,20; 5,06; 5,94; 7,08; 8,08; 8,91; 9,98В	10В
15	1,65; 3,35; 4,95; 5,75; 8,20; 11,25; 11,5; 11,9А	12А
16	4,40; 5,95; 7,20;8,96; 10,0; 12,35; 13,6;15,1В	15В
17	2,5; 3,40; 5,35; 6,25; 9,15; 10,05; 11,0; 11,9А	12А
18	9,85; 12,12; 15,65; 17,91; 20,00; 23,05; 27,2; 30В	30В
19	4,0; 8,5; 12,5; 15,9; 20,5; 25,1; 28,0; 30,0А	30А
20	15,4; 19,6; 24,75; 30,0; 35,2; 40,9; 45,6; 49,9В	50В
21	6,2; 12,9; 18,8; 25,0; 31,0; 42,1;43,05; 44,9В	45А
22	30,5; 41,0; 50,9; 60,6; 70,8; 80,5; 90,1; 99,0В	100В
23	8,9; 16,5; 25,1; 32,0; 42,6; 48,1; 58,1; 59,5А	60А
24	46,0; 59,2; 73,6; 90,9; 104,0; 122,5; 137; 149,5В	150В
25	12,0; 22,0; 30,5; 44,0; 55,0; 62,1; 63,5; 65,9А	75А
26	50,6; 70,0; 110,4; 130,7; 150,0; 180,6; 200, 0; 233,9мА	250мА
27	75,3; 99,6; 250,0; 370,5; 420,7; 500,0; 532,8; 580,5мВ	600мВ
28	37,9; 75,3; 120,4; 186,3; 210,9; 310,6; 358, 0; 386,9мА	400мА
29	1,32; 1,78; 2,41; 2,87; 3,44; 3,99; 4,69; 4,89А	5А
30	5,86; 7,2; 9,8; 10,22; 13,74; 15,5; 17,8; 19,3В	20В
0	2,5; 4,4; 6,35; 8,25 10,15; 11,1; 14,05; 14,9А	15А

Порядок выполнения работы для варианта 0

Исходные данные для расчета:

1. Амперметр имеет предел измерения $I_{ном} = 15\text{A}$ и максимальное число делений шкалы $\alpha_{мах} = 150$ делений;
2. Амперметр был поверен в точках 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 150 делений;
3. Показания образцового прибора в поверяемых точках:

Идейств.1 = 2,5A,
Идейств.2 = 4,4A,
Идейств.3 = 6,35A,
Идейств.4 = 8,25A,
Идейств.5 = 10,15A,
Идейств.6 = 11,1A,
Идейств.7 = 14,05A,
Идейств.8 = 14,09A.

Определить:

1. Класс точности прибора;
2. Построить график поправок $\Delta I = f(I)$.

Расчет

1. Определяем постоянную (цена деления) прибора

$$CI = I_{ном} / \alpha_{мах} = 15 / 150 = 0,1 \text{ В/дел.}$$

2. Определяем измеренное значение параметров в поверяемых точках по формуле
 $I_{изм.} = CI \cdot \alpha \text{ A.}$

Изм.1 = $CI \cdot \alpha_1 = 0,1 \cdot 20 = 2\text{A};$
Изм.2 = $CI \cdot \alpha_2 = 0,1 \cdot 40 = 4\text{A};$
Изм.3 = $CI \cdot \alpha_3 = 0,1 \cdot 60 = 6\text{A};$
Изм.4 = $CI \cdot \alpha_4 = 0,1 \cdot 80 = 8\text{A};$
Изм.5 = $CI \cdot \alpha_5 = 0,1 \cdot 100 = 10\text{A};$
Изм.6 = $CI \cdot \alpha_6 = 0,1 \cdot 120 = 12\text{A};$
Изм.7 = $CI \cdot \alpha_7 = 0,1 \cdot 140 = 14\text{A};$
Изм.8 = $CI \cdot \alpha_8 = 0,1 \cdot 150 = 15\text{A}.$

3. Определяем абсолютную погрешность измерения для каждой поверенной точки отдельно по формуле $\pm \Delta I = I_{изм.} - I_{действ. A.}$

$\Delta I_1 = I_{изм.1} - I_{действ.1} = 2 - 2,5 = -0,5\text{A};$
 $\Delta I_2 = I_{изм.2} - I_{действ.2} = 4 - 4,4 = -0,4\text{A};$
 $\Delta I_3 = I_{изм.3} - I_{действ.3} = 6 - 6,35 = -0,35\text{A};$
 $\Delta I_4 = I_{изм.4} - I_{действ.4} = 8 - 8,25 = -0,25\text{A};$
 $\Delta I_5 = I_{изм.5} - I_{действ.5} = 10 - 10,5 = -0,15\text{A};$
 $\Delta I_6 = I_{изм.6} - I_{действ.6} = 12 - 11,1 = 0,9\text{A};$
 $\Delta I_7 = I_{изм.7} - I_{действ.7} = 14 - 14,05 = -0,05\text{A};$
 $\Delta I_8 = I_{изм.8} - I_{действ.8} = 15 - 14,09 = 0,91\text{A}.$

4. Определяем класс точности прибора, вычисляя приведенную погрешность по формуле

$$\gamma_{пр.} = [\Delta I_{мах}] / I_{ном.} \cdot 100\% = 0,91 / 15 = 6\%$$

Класс точности прибора составляет 6, поэтому он относится к группе индикаторных приборов.

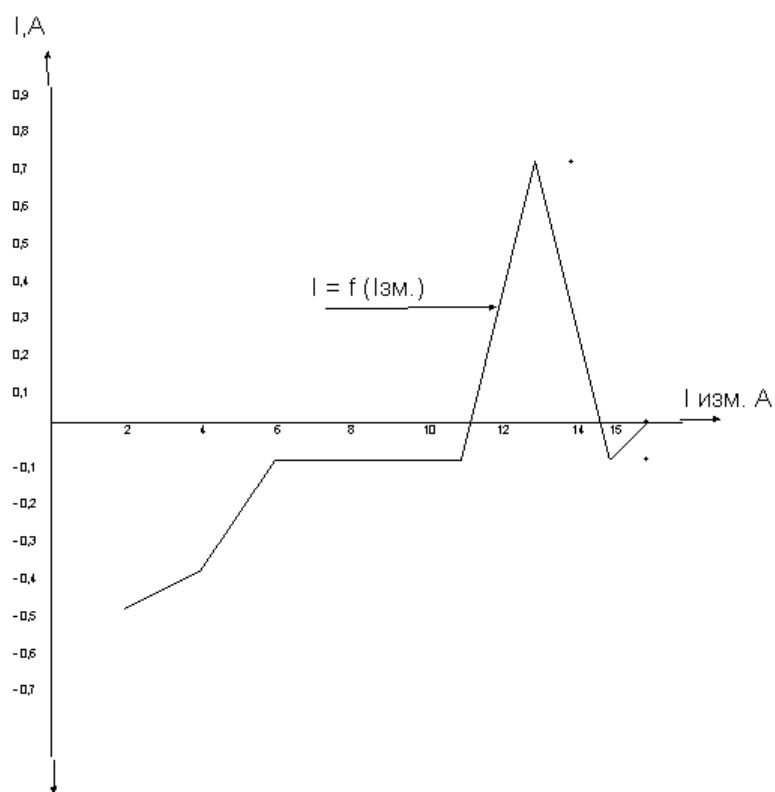
5. Выполнить построение графика поправок, задаваясь масштабами

соответствующих величин

Вывод: Сформулируйте понятие абсолютной, относительной и приведенной погрешности. Какую величину называют классом точности прибора.

$$M\Delta I = 0,1 \text{ A/см}$$

$$M_{\text{Изм.}} = 1 \text{ A/см}$$



Контрольные вопросы

1. Чем характеризуется точность измерения?
2. Что такое класс точности и какой погрешностью его определяют?
3. Как классифицируют приборы по классу точности?
4. Что определяет относительная погрешность измерения?