

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Петрозаводский филиал ПГУПС

ОДОБРЕНО

на заседании цикловой комиссии
протокол № 12 от 15.06.2017
Председатель цикловой комиссии:

Девел (И. Сесимо)

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО

А.В. Калько А.В. Калько
«15» 06 2017 г.

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ
для выполнения лабораторных работ

По учебной дисциплине «Электротехника и электроника»

Специальность: 23.02.01 Организация перевозок и управление на
транспорте

Разработчик: преподаватель Агеева Надежда Владимировна

2017 г.

Лабораторная работа № 1

Исследование зависимости сопротивления реальных проводников от их геометрических параметров и удельных сопротивлений материалов

Цель:

Определить удельное сопротивление проводника и сравнить его с табличным значением.

Краткие сведения из теории:

Отношение напряжения U между концами металлического проводника, являющегося участком электрической цепи, к силе тока I в цепи есть величина постоянная:

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

Эту величину R называют *электрическим сопротивлением проводника*. Электрическое сопротивление измеряется в Омах. Электрическим сопротивлением 1 Ом обладает такой участок цепи, на котором при силе тока 1 А напряжение равно 1 В:

$$1 \text{ Ом} = \frac{1\text{В}}{1\text{А}}$$

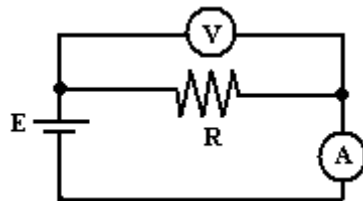
Опыт показывает, что электрическое сопротивление проводника прямо пропорционально его длине L и обратно пропорционально площади S поперечного сечения проводника:

$$R = \rho \frac{L}{S}.$$

Постоянный для данного вещества параметр ρ называется удельным электрическим сопротивлением вещества. Удельное сопротивление измеряется в Ом · мм²/м.

Порядок выполнения работы:

1. Соберите на монтажном столе электрическую схему, показанную на рисунке 1.
Рисунок 1



1

2. Выберите материал проводника согласно заданию преподавателя, установите значения длины и площади поперечного сечения.

Например: никель, $L = 100\text{м}$, $S = 0,1 \text{ мм}^2$.

Материал:

длина $L =$

площадь поперечного сечения $S =$

3. Определите экспериментально с помощью мультиметра напряжение на проводнике.

Для этого необходимо подключить параллельно проводнику мультиметр в режиме постоянного напряжения, соблюдая полярность.

Запишите показания мультиметра в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта	Задано	Измерено			Рассчитано	
	Длина, L, м	Напряжение U, В	Сила тока I, А	Сопротивление, R _{омметра} , Ом	Сопротивление, R, Ом	Удельное сопротивление ρ, Ом · мм ² /м
1						
2						
3						
4						
5						

4. Определите экспериментально с помощью мультиметра силу тока в цепи.

Для этого необходимо включить мультиметр в режиме измерения постоянного тока последовательно в цепь, соблюдая полярность.

Запишите показания мультиметра в таблицу 1.

5. Рассчитайте сопротивление проводника по формуле:

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

6. Определите удельное сопротивление материала, выведя его из формулы:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

где R – активное сопротивление реального проводника,

L - длина реального проводника,

S – площадь поперечного сечения реального проводника.

Результаты расчётов запишите в таблицу 1.

7. Прделайте пункты 3 – 6 изменяя длину, но, не изменяя площадь поперечного сечения и материал проводника.

Результаты измерений запишите в таблицу 1.



8. По выполненной работе сделайте выводы и ответьте на вопросы.

Выводы:

Контрольные вопросы:

1. Как будет изменяться ток в обмотке ротора по мере раскручивания ротора? _____

2. Чем отличается двигатель с фазным ротором от двигателя с короткозамкнутым ротором? Почему? Отчет поясните. _____

3. Почему магнитопровод двигателя набирают из тонких листов электротехнической стали, изолированных лаком друг от друга? _____

4. Может ли ротор асинхронного двигателя раскрутиться до частоты вращения магнитного поля? _____

5. Как изменится ток в обмотке ротора при увеличении механической нагрузки на валу двигателя? Ответ поясните. _____

6. Каким образом осуществляют ступенчатое регулирование частоты вращения асинхронного двигателя? _____

8. Найдите среднее значение удельного сопротивления и сравните его с табличным значением.

Удельное электрическое сопротивление среднее $\rho_{ср} =$

Удельное электрическое сопротивление табличное $\rho_{табл} =$

9. Измерьте сопротивление проводника непосредственно с помощью омметра. Для этого необходимо подключить параллельно проводнику мультиметр в режиме сопротивления, соблюдая полярность.

Запишите показания мультиметра в таблицу 1.

Сравните полученные результаты:

10. Сформулируйте выводы о проделанной работе и ответьте на контрольные вопросы.

Выводы:

Контрольные вопросы:

1. Что называют удельным сопротивлением проводника? _____

2. Как зависит сопротивление проводника от его длины? _____

3. По какой формуле можно рассчитать удельное сопротивление проводника? _____

4. В каких единицах измеряется удельное сопротивление проводника? _____

5. Выведите зависимость удельного сопротивления проводника от удельной проводимости.

6. От чего зависит электрическое сопротивление? _____

7. Какие устройства называются резисторами и реостатами? _____

КАРТОЧКА – ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1

№ варианта	Материал	Сечение S, мм ²	Длины L, м
1.	Алюминий	0,1	10, 20, 30, 50, 60
2.	Висмут	0,3	15, 25, 40, 60, 80
3.	Вольфрам	0,5	13, 22, 30, 50, 100
4.	Железо	0,7	10, 20, 30, 50, 60
5.	Золото	1	15, 25, 40, 60, 80
6.	Константан	0,1	13, 22, 30, 50, 100
7.	Латунь	0,3	10, 20, 30, 50, 60
8.	Манганин	0,5	15, 25, 40, 60, 80
9.	Медь	0,7	13, 22, 30, 50, 100
10.	Молибден	1	10, 20, 30, 50, 60
11.	Никель	0,1	15, 25, 40, 60, 80
12.	Нихром	0,3	13, 22, 30, 50, 100
13.	Олово	0,5	10, 20, 30, 50, 60
14.	Платина	0,7	15, 25, 40, 60, 80
15.	Свинец	1	13, 22, 30, 50, 100
16.	Серебро	0,1	10, 20, 30, 50, 60
17.	Цинк	0,3	15, 25, 40, 60, 80

6. Рассчитайте по формулам:

- полезную механическую мощность на валу двигателя:

$$P_2 = \frac{M_n \cdot n_2}{0,975};$$

где M_n – момент на валу (по шкале тормоза) в кгм;

n_2 – скорость вращения ротора.

- коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I};$$

- коэффициент полезного действия (КПД):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \%;$$

- относительное скольжение:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \%;$$

где $n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$ – скорость вращения магнитного поля статора ($n_1 = 1500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$),

$p = 2$ – число пар полюсов статора.

Результаты расчетов занесите в таблицу 2.

7. По результатам работы постройте графики зависимости:

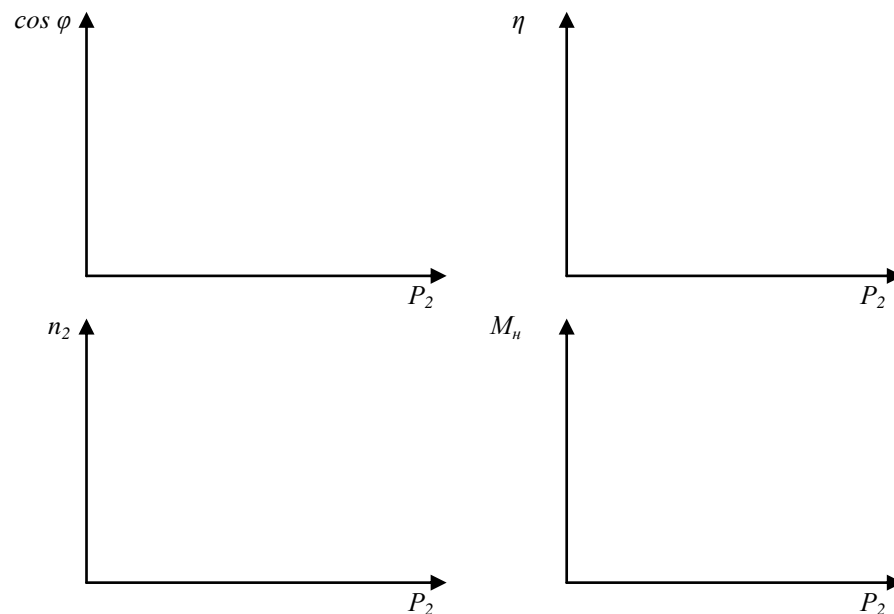
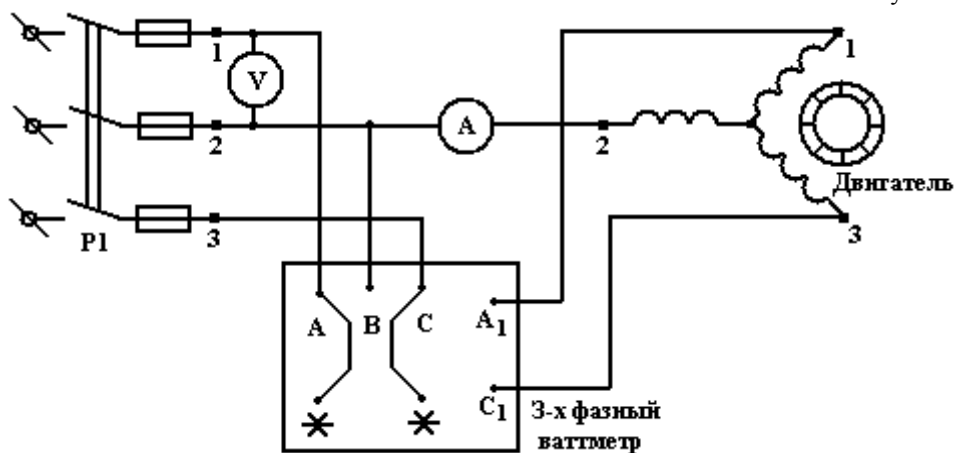


Рисунок 2



2. Данные всех приборов и машин занесите в таблицу 1.

3. После проверки схемы преподавателем, включите схему. Плавно нагружая двигатель с помощью реостата до номинального значения $P_1 = 2000$ Вт снять характеристики двигателя. Данные опыта занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	Измерено					Рассчитано			
	U, В	I, А	P ₁ , Вт	n ₂ , об/мин	M _n , кг/м	P ₂ , Вт	S, %	cos φ	η, %
1. х.х.			300	1495					
2			500						
3									
4									
5									
6									
7									
8			1500						

4. Разгрузить двигатель, приведя реостат в начальное положение. После чего выключить его.

5. Выполнить реверсирование электродвигателя, для чего следует изменить направление вращения магнитного поля статора. Для этого надо поменять местами два провода, подходящих к обмотке статора двигателя от сети: C₁ и C₂. Убедиться, что направление вращения ротора изменилось на противоположное.

Лабораторная работа № 2

Исследование основных соотношений в цепи постоянного тока с последовательным и параллельным соединением приёмников

Цель:

Убедиться в справедливости закона Ома и первого закона Кирхгофа. Проанализировать основные соотношения в цепи постоянного тока.

Краткие сведения из теории:

Постоянным называется ток величина и направление, которого не изменяется с течением времени.

Закон Ома для участка цепи:

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

Закон Ома для всей цепи:

$$I = \frac{E}{R + R_{\text{вт}}}$$

Способы соединения приёмников:

Последовательное	Параллельное	Смешанное
$I = I_1 = I_2 = I_3$	$I = I_1 + I_2 + I_3$	
$U = U_1 + U_2 + U_3$	$U = U_1 = U_2 = U_3$	
$R = R_1 + R_2 + R_3$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	

Первый закон Кирхгофа:

Сумма токов, направленных к узлу электрической цепи, равна сумме токов, направленных из него.

Или:

Алгебраическая сумма токов ветвей для любого узла электрической цепи равна нулю:

$$\sum I = 0$$

Порядок выполнения работы:

I. Исследование основных соотношений в цепи с последовательным соединением приёмников

1. Соберите электрическую схему, указанную на рисунке 1.

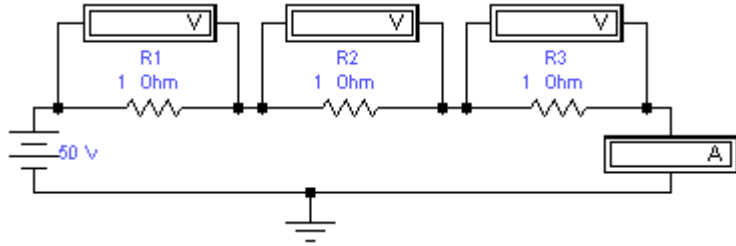


Рисунок 1

2. Вольтметры и амперметр переведите в режим ДС (двойной щелчок мышью открывает окно).

3. Установите значения параметров согласно заданию преподавателя. Показания приборов занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта	Задано			Измерено			Рассчитано			
	U, В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	I, А	U ₁ , В	U ₂ , В	U ₃ , В	R _{общ.} , Ом	U _{общ.} , В
1										
2										
3										

4. Измените номинал второго резистора, в соответствии с заданием преподавателя.

Показания приборов занесите в таблицу 1.

5. Закоротите резистор R₂, как показано на рисунке 2.

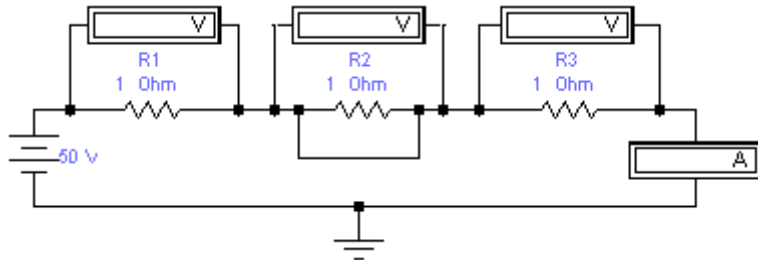


Рисунок 2

Показания приборов занесите в таблицу 1.

Оборудование:

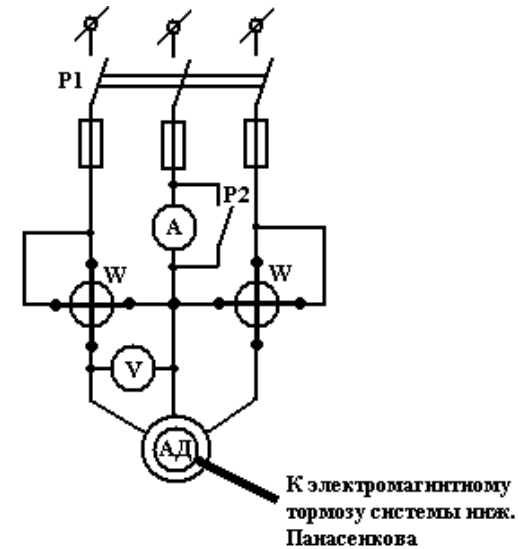
Таблица 1

Наименование	Тип	Заводской номер	Технические данные
1. Асинхронный двигатель			P _н = кВт; n _н = об/мин; cos φ =
2. Электромагнитный тормоз	Панасенкова		M = 0 – 2 кгс
3. Ваттметр			P _н = кл.точн. =
4. Амперметр			I _н = кл.точн. =
5. Вольтметр			U _н = кл.точн. =
6. Тахометр			N = 0 – 1500 об/мин
7. Тумблер (рубильник) однополюсный	ТВ - 2		I = 2 А; U = 220 В
8. Рубильник (автомат) трёхполюсный			
9. Устройство для питания катушек электромагнитного тормоза	ВК - 50		I = 50 А; U = 110 В

Порядок выполнения работы:

1. Соберите электрическую схему, показанную на рисунке 1 и монтажную схему включения электроизмерительных приборов, показанную на рисунке 2.

Рисунок 1



Лабораторная работа № 9

Снятие рабочих характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель:

1. Изучить основные свойства асинхронного двигателя.
2. Опытным путём снять и построить рабочие характеристики.
3. Приобрести навыки управления двигателем.

Краткие сведения из теории:

Трёхфазный асинхронный двигатель имеет обмотку статора, подключаемую к трёхфазной сети переменного тока и обмотку ротора, которая может быть выполнена по двум вариантам: короткозамкнутая и фазная.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на использовании вращающегося магнитного поля. При включении двигателя в сеть трёхфазного тока в статоре образуется вращающееся магнитное поле, силовые линии которого пересекают стержни или катушки обмотки ротора. При этом, согласно закону электромагнитной индукции, в обмотке ротора индуцируется ЭДС, пропорциональная частоте перемещения силовых линий. Под действием индуцированной ЭДС в короткозамкнутом роторе возникают значительные токи.

В соответствии с законом Ампера на проводники с током, находящиеся в магнитном поле, действуют механические силы, стремящиеся устранить причину, вызывающую индуцированный ток, т.е. пересечение стержней обмотки ротора силовыми линиями вращающегося поля. Таким образом, возникшие механические силы будут раскручивать ротор в направлении вращения поля, уменьшая скорость пересечения стержней обмотки ротора магнитными силовыми линиями.

Механической характеристикой двигателя называется зависимость его скорости от развиваемого момента ω (М) или усилия ν (F).

Электромеханической характеристикой называется зависимость скорости двигателя от тока ω (I).

Скольжением называют разность $n_1 - n_2$, т.е. частоту вращения магнитного поля относительно ротора. Скольжение зависит от момента нагрузки на валу двигателя.

Скольжение в долях частоты вращения поля определяется по формуле:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \%$$

При неподвижном роторе $s = 1$. При $0 < s < 1$ машина работает в режиме двигателя, частота вращения ротора n_2 меньше или равна частоте вращения магнитного поля статора n_1 . Если $n_2 > n_1$, то машина перейдёт в режим работы генератора переменного тока.

6. Ответьте на вопросы:

- Как изменяется эквивалентное сопротивление цепи при увеличении одного из сопротивлений? _____

- Как при этом изменяется сила тока? _____

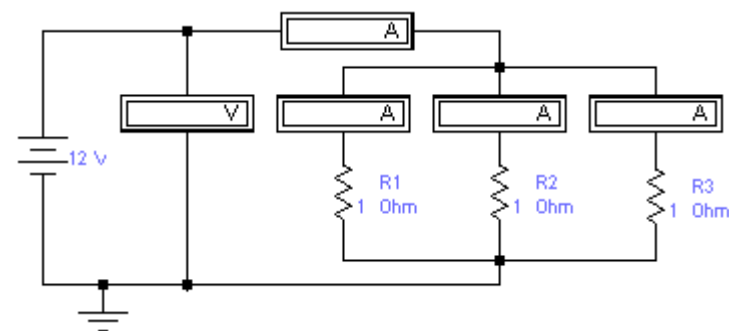
- Как изменяется падение напряжения на каждом резисторе? _____

- Ответьте на те же вопросы, при условии, что сопротивление одного из резисторов уменьшили. _____

II. Исследование основных соотношений в цепи с параллельным соединением приёмников

7. Соберите электрическую схему, указанную на рисунке 3.

Рисунок 3



8. Вольтметр и амперметры переведите в режим ДС.

9. Установите значения параметров согласно заданию преподавателя. Показания приборов запишите в таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	Задано			Измерено				Рассчитано		
	U, В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	I, А	I ₁ , А	I ₂ , А	I ₃ , А	R _{общ} , Ом	I _{общ} , А
1										
2										
3										

10. Измените номинал второго резистора, в соответствии с заданием преподавателя.

Показания приборов запишите в таблицу 2.

11. Отключите один из резисторов.
Показания приборов запишите в таблицу 2.

12. Ответьте на вопросы:

- Как изменяется общее сопротивление, если в схему добавить ещё один резистор? _____

- Как при этом изменяется сила тока? _____

- Составьте уравнение для данной схемы по первому закону Кирхгофа

13. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

Выводы:

8. По данным опыта постройте регулировочную характеристику:



9. По выполненной работе сделайте выводы и ответьте на вопросы.

Выводы:

Контрольные вопросы:

1. С какой целью применяют принудительное охлаждение машины постоянного тока? _____

2. Какая ЭДС индуцируется в витках обмотки генератора постоянного тока? _____

3. Каково основное назначение коллектора? _____

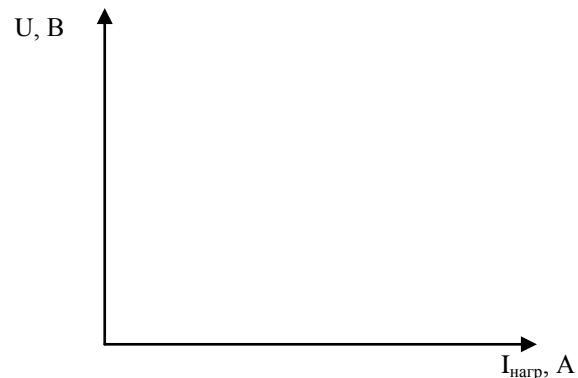
4. Чем определяется ЭДС при холостом ходе генератора последовательного возбуждения? _____

5. Как должен изменяться магнитный поток, сцеплённый с витком, чтобы в витке индуцировалась постоянная ЭДС? _____

Продолжение таблицы 3

№ опыта	U, В	I _{нагр} , А	I _{возб} , А
4			
5			
6			
7			
8			

6. По данным опыта постройте внешнюю характеристику:



III. Снятие регулировочной характеристики

7. Снятие регулировочной характеристики производить в той же последовательности, что и снятие внешней характеристики, поддерживая напряжение на зажимах генератора постоянным на протяжении всего опыта с помощью R_{рег} (согласно заданию преподавателя). Данные замеров занесите в таблицу 4.

Таблица 4

№ опыта	U = const, В	I _{нагр} , А	I _{возб} , А
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

КАРТОЧКА – ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2

I. Исследование основных соотношений в цепи с последовательным соединением приёмников

№ варианта	U, В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₂ ' , Ом
1	50	25	12	18	87
2	60	20	15	20	75
3	80	45	17	13	68
4	90	30	20	10	63
5	100	35	23	26	80
6	110	10	25	15	58
7	120	25	27	33	85
8	130	40	30	15	72
9	50	35	26	16	95
10	60	10	24	14	86
11	80	25	21	30	45
12	90	40	18	21	59
13	100	25	17	27	63
14	110	20	15	22	88
15	120	45	13	26	74

II. Исследование основных соотношений в цепи с параллельным соединением приёмников

№ варианта	U, В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₂ ' , Ом
1	80	35	23	18	35
2	120	20	27	20	47
3	100	45	17	13	36
4	110	25	20	10	41
5	130	20	15	26	39
6	50	10	25	15	47
7	120	25	17	33	35
8	90	40	12	15	45
9	50	35	26	16	41
10	60	30	24	14	36
11	110	25	15	30	49
12	80	40	18	21	32
13	100	25	21	27	44
14	60	10	30	22	58
15	90	45	13	26	43

Лабораторная работа № 3

Исследование опытным путём законов электромагнитной индукции

Цель:

Опытным путём проверить основные законы электромагнитной индукции.

Краткие сведения из теории:

Магнитное поле – одна из двух сторон электромагнитного поля, характеризующаяся воздействием на электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду частицы и её скорости.

В проводнике с током и вокруг него возникает магнитное поле. Оно может возникать не только вокруг проводников с током, но и при движении любых заряженных частиц и тел, а также при изменении электрического поля.

Свойства магнитного поля:

- оказывает силовое воздействие на движущиеся в нем заряженные тела и на неподвижные проводники с электрическим током;
- способно намагничивать ферромагнитные тела;
- возбуждать ЭДС в проводниках, которые перемещаются в магнитном поле.

Характеристики магнитного поля:

- магнитная индукция $B = \frac{F}{I \cdot l}$;
- магнитный поток $\Phi = B \cdot S$;
- абсолютная магнитная проницаемость $\mu_a = \mu_0 \cdot \mu_r$;
- относительная магнитная проницаемость μ_r ;
- магнитная постоянная μ_0
- напряжённость магнитного поля $H = \frac{B}{\mu_a}$.

Правило буравчика (для прямолинейного проводника): если поступательное движение буравчика совпадает с направлением тока в проводе, то вращение рукоятки буравчика укажет направление магнитных силовых линий.

Правило буравчика для катушки с током: если рукоятку буравчика вращать по направлению тока в витках, то его поступательное движение совпадёт с направлением магнитных линий внутри катушки.

Правило правой руки (для определения направления ЭДС индукции): если ладонь правой руки нужно расположить так, чтобы магнитные линии входили в неё, а отогнутый под прямым углом большой палец указывал направление движения проводника, то выпрямленные четыре пальца руки укажут направление индуцированной ЭДС.

Правило левой руки: если ладонь левой руки расположить так, чтобы магнитные линии входили в неё, а четыре выпрямленных пальца совпадали с направлением тока, то отогнутый под прямым углом большой палец укажет направление силы.

2. Данные всех приборов и машин занесите в таблицу 1.

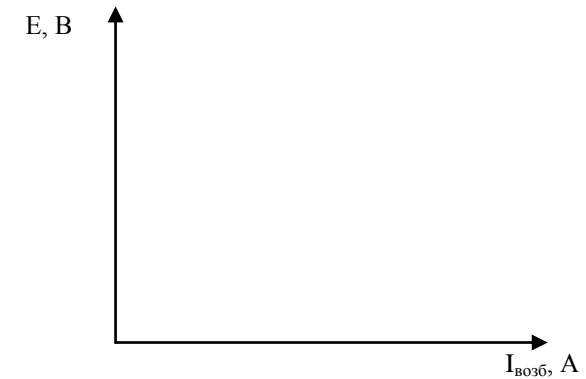
I. Снятие характеристики холостого хода

3. После проверки схемы преподавателем, включите схему. Плавно изменяя ток возбуждения $I_{возб}$, с помощью реостата $R_{рез}$ снять показания амперметра и вольтметра. Данные замеров занесите в таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	$I_{возб}$, А	$E_{восх}$, В	$E_{нисх}$, В
1			↑
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8		↓	

4. По данным опыта постройте характеристики холостого хода:



II. Снятие внешней характеристики

5. Включить двигатель и с помощью реостата $R_{рез}$ установить на зажимах генератора номинальное напряжение U_n , согласно заданию преподавателя. Плавно увеличивая ток нагрузки I_n , включая поочередно соответствующие тумблеры снять показания амперметров и вольтметра. Данные замеров занесите в таблицу 3.

Таблица 3

№ опыта	U, В	$I_{нагр}$, А	$I_{возб}$, А
1			
2			
3			

В любой машине чётко выделяются подвижная (ротор) и неподвижная (статор) части. Часть машины, в которой индуцируется электродвижущая сила (ротор), называют якорем, а часть машины, в которой создаётся магнитное поле возбуждения (статор) – индуктором.

Работа электрической машины характеризуется взаимодействием двух направленных навстречу друг другу вращающихся моментов, один из которых создаётся механическими, а другой – электромагнитными силами. Кроме того, работа двигателя и генератора характеризуется взаимодействием напряжения сети и ЭДС, возникающей в обмотке якоря.

Различают генераторы независимого возбуждения и генераторы с самовозбуждением.

В генераторах независимого возбуждения основной магнитный поток создаётся либо постоянным магнитом, либо электромагнитом (обмоткой возбуждения), питаемым от источника постоянного тока.

В генераторах с самовозбуждением питание обмотки главных полюсов осуществляется напряжением самого генератора. При этом отпадает необходимость в отдельном источнике энергии. В зависимости от схемы включения обмотки возбуждения различают генераторы параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.

Основные характеристики генераторов:

- холостого хода – зависимость ЭДС генератора от тока возбуждения при постоянной частоте вращения якоря и отключённой нагрузке $E = f(I_e)$;
- внешняя характеристика – зависимость нагрузки на зажимах генератора от тока нагрузки при постоянной частоте вращения и постоянном сопротивлении цепи возбуждения $U = f(I)$;
- регулировочная характеристика – зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при постоянных частоте вращения и напряжении на зажимах генератора $I_e = f(I)$.

Порядок выполнения работы:

1. Соберите электрическую схему, показанную на рисунке 1.

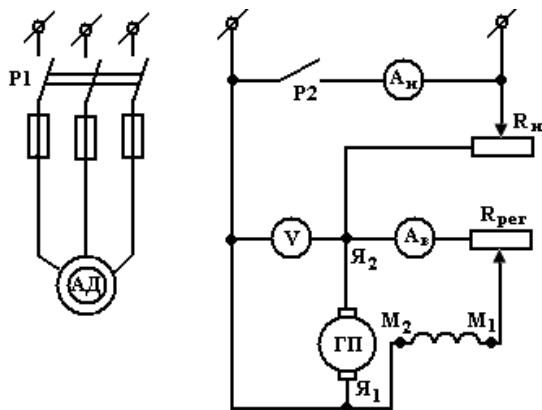


Рисунок 1.

Оборудование:

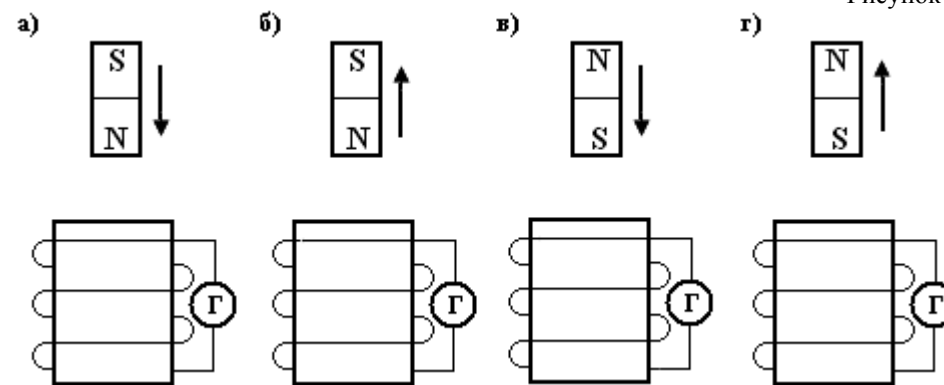
1. Аккумуляторная батарея
2. Гальванометр
3. Реостат
4. Полосовой постоянный магнит
5. Индукционная катушка с сердечником

Порядок выполнения работы:

1. Проверка законов электромагнитной индукции

1. Вводя в катушку постоянный электромагнит, как показано на рисунке 1, замерьте отклонения стрелки гальванометра и запишите результаты измерений.

Рисунок 1



- Рис. а) -

- Рис. б) -

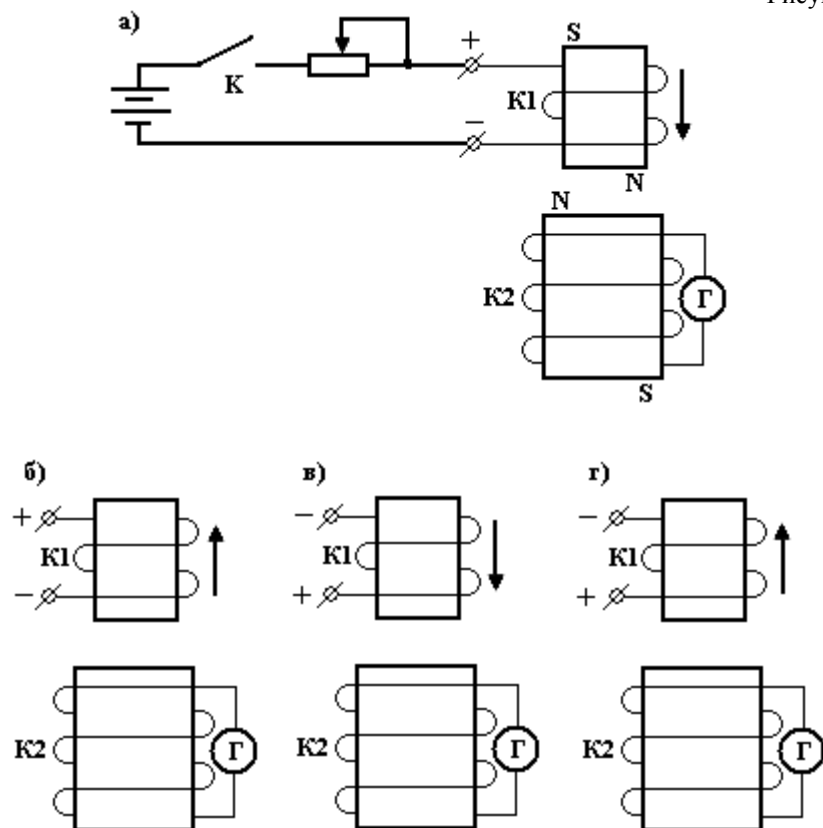
- Рис. в) -

- Рис. г) -

II. Изучение явления самоиндукции

2. Изучите явление самоиндукции, используя две индукционные катушки, как показано на рисунке 2. Запишите результаты наблюдений.

Рисунок 2



• Рис. а) -

• Рис. б) -

Лабораторная работа № 8

Снятие характеристик генератора постоянного тока с параллельным возбуждением

Цель:

1. Изучить основные свойства генератора постоянного тока.
2. Ознакомиться с методами снятия характеристик холостого хода, внешней и регулировочной.
3. Опытным путём снять и построить характеристики.
4. Приобрести навыки управления генератором постоянного тока.

Оборудование:

Таблица 1

Наименование	Тип	Заводской номер	Технические данные
1. Генератор постоянного тока параллельного возбуждения			$P_n =$ кВт; $U_n =$ В; $I_n =$ А.
2. Приводной двигатель			$P_n = 1$ кВт; $U_n = 220 / 380$ В.
3. Вольтметр			$U_n =$ кл. точн. =
4. Амперметр цепи нагрузки			$I_n =$ кл. точн. =
5. Амперметр цепи возбуждения			$I_n =$ кл. точн. =
6. Реостат регулировочный	РСП		$R_n =$
7. Реостат нагрузочный	РП		$R_n = 10$ Ом
8. Пусковая аппаратура	ПМЕ		$U = 380$ В; $P = 1$ кВт.
9. Соединительные провода			

Краткие сведения из теории:

По назначению электрические машины постоянного тока делятся на генераторы и двигатели.

Генераторы вырабатывают электрическую энергию, поступающую в энергосистему; **двигатели** создают механический вращающий момент на валу, который используется для привода различных механизмов.

Электрические машины обратимы, т.е. одна и та же машина может работать и как генератор, и как двигатель.

6. Рассчитайте абсолютную и приведённую погрешности и результаты расчётов занесите в таблицу 2.

7. Сформулируйте выводы о проделанной работе и ответьте на вопросы.

Выводы:

Контрольные вопросы:

1. Какой прибор используется для измерения электрической мощности, электрической энергии? _____

2. Как включаются в электрическую цепь амперметр и вольтметр? _____

3. Какое сопротивление должны иметь амперметр и вольтметр? _____

4. Как классифицируются приборы по принципу действия? _____

5. Каковы основные единицы в СИ? _____

6. Как включаются обмотка напряжения и токовая обмотка ваттметра? _____

7. К какой системе относятся приборы (амперметры, вольтметры) на лабораторном стенде? _____

3. Измените направление тока в катушке *KI* и результаты наблюдений запишите в отчёт:

- Рис. в) -

- Рис. г) -

4. Сформулируйте выводы о проделанной работе и ответьте на вопросы.

Выводы:

Контрольные вопросы:

1. Электромагнитная индукция - _____

2. Явление самоиндукции - _____

3. Правило Ленца - _____

4. Взаимной индукцией называется _____

Лабораторная работа № 4

Исследование основных соотношений в цепи переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и индуктивности

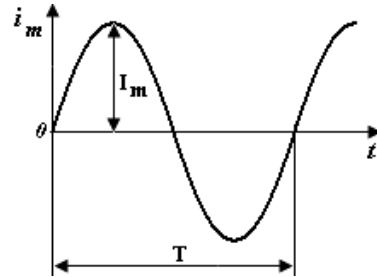
Цель:

Опытным путём убедиться в справедливости закона Ома. Установить зависимость индуктивного сопротивления от частоты. Установить зависимость полного сопротивления от частоты.

Краткие сведения из теории:

Переменным током называется ток, величина и направление которого изменяется с течением времени.

Наиболее распространён синусоидальный ток $i = I_m \cdot \sin \omega t$, график которого показан на рисунке. Он изменяется по значению и направлению. Одно его направление условно считают положительным, другое – отрицательным. Токи положительного направления откладывают выше оси абсцисс, а отрицательного – ниже.



Параметры переменного тока:

- мгновенное значение тока i , А
- амплитудное значение тока I_m , А
- действующее значение тока I , А
- циклическая частота f , Гц
- угловая частота ω , рад/с
- угол сдвига фаз φ

Связь между величинами:

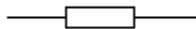
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Сопротивления в цепи переменного тока:

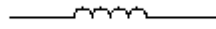
Активное



R ,

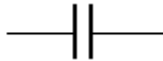
Реактивные

индуктивное



$X_L = \omega \cdot L$

емкостное



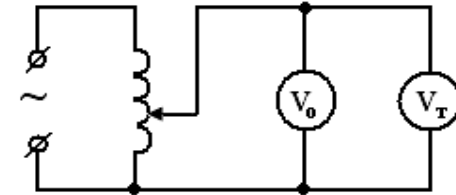
$X_C = \frac{1}{\omega C}$

Таблица 1

№ опыта	технического	Показания амперметра				Погрешность		Среднее значение поправки
		образцового				абсолютная Δ , А	приведённая γ , %	
		ход вверх	ход вниз	среднее значение, А	деление			
деление	А	деление	А					

4. Соберите на лабораторном стенде электрическую схему, показанную на рисунке 2.

Рисунок 2



5. Изменяя положение подвижного контакта реостата, выполните пять замеров величины напряжения технического и образцового вольтметров. Запишите показания приборов в таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	технического	Показания вольтметра				Погрешность		Среднее значение поправки
		образцового				абсолютная Δ , В	приведённая γ , %	
		ход вверх	ход вниз	среднее значение, В	деление			
деление	В	деление	В					

Классификационные признаки погрешности результатов измерений:

1. Причина ошибки. Суммарная погрешность результата любого измерения в общем случае складывается из трёх составляющих:

- а) инструментальная составляющая;
- б) методическая составляющая;
- в) субъективная составляющая.

2. Способ выражения погрешности.

а) абсолютная погрешность Δ (дельта) – это разность между измеренным X и истинным $X_{ист}$ (или действительным $X_{д}$, т.е. полученным более точным прибором) значениями измеряемой величины;

б) относительная погрешность δ (дельта малая) – отношение абсолютной погрешности к действительному $X_{д}$ (или измеренному X) значению, выраженное в процентах.

3. Зависимость погрешности от значения измеряемой величины X . Погрешности подразделяются на аддитивные, мультипликативные и линейные.

4) Характер проявления погрешности.

- а) систематическая;
- б) случайная.

Порядок выполнения работы:

1. Соберите на лабораторном стенде электрическую схему, показанную на рисунке 1.

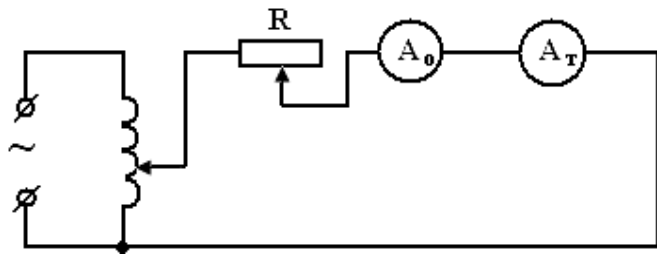


Рисунок 1

2. Изменяя положение подвижного контакта реостата, выполните пять замеров силы тока технического и образцового амперметров. Запишите показания приборов в таблицу 1.

3. Рассчитайте абсолютную и приведённую погрешности по формулам:

$$\Delta = X - X_n$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} \cdot 100\%$$

где X_n – номинальная величина прибора (верхний предел его измерения). Результаты расчетов занесите в таблицу 1.

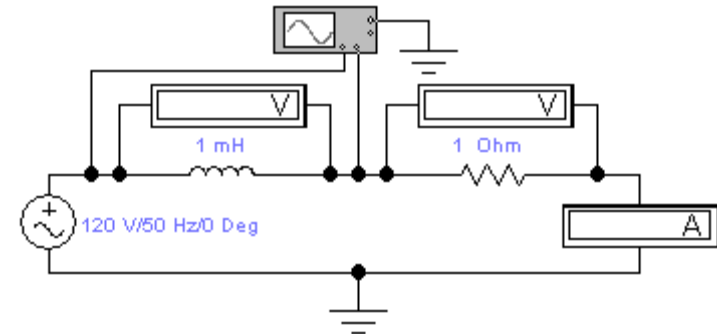
Цепь с активным сопротивлением и индуктивностью:

Схема цепи	Векторная диаграмма	Треугольник сопротивлений
Полное сопротивление	Угол сдвига фаз	Мощности
$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$ $\sin \varphi = \frac{X}{Z}$	Активная $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ Реактивная $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ Полная $S = U \cdot I$

Порядок выполнения работы:

1. Соберите электрическую схему, показанную на рисунке 1.

Рисунок 1



2. Вольтметры и амперметры переведите в режим АС (двойной щелчок мышью открывает окно).

3. Установите значения параметров согласно заданию преподавателя. Для проведения второго опыта увеличьте напряжение в два раза. Показания приборов занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта	Задано				Измерено			Рассчитано			
	U, В	f, Гц	L, мГн	R, Ом	U _R , В	U _L , В	I, А	X _L , Ом	Z, Ом	P, Вт	Q, ВАр
1											
2											

4. Ответьте на вопросы:

- Как изменяется индуктивное сопротивление цепи при увеличении напряжения? _____

- Как изменяется полное сопротивление цепи при увеличении напряжения? _____

- Как при этом изменяется активная и реактивная мощности? _____

- Ответьте на те же вопросы, при условии, что напряжение уменьшили. _____

5. Изменяя частоту, подводимого к контуру напряжения, проследите за изменением X_L , I , Z .

Установите следующие значения частоты:

$f_1 = 500$ Гц,

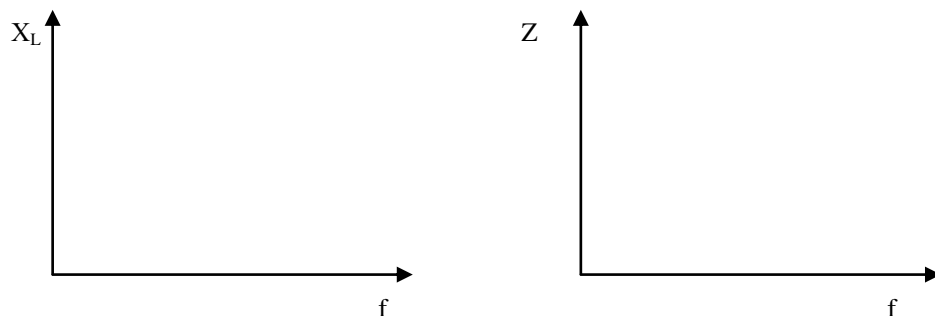
$f_2 = 1000$ Гц.

Показания приборов занесите в таблицу 2

Таблица 2

№ опыта	Задано				Измерено			Рассчитано			
	U, В	f, Гц	L, мГн	R, Ом	U _R , В	U _L , В	I, А	X _L , Ом	Z, Ом	P, Вт	Q, ВАр
1		500									
2		1000									

6. По результатам работы постройте графики зависимости $X_L = f(f)$, $Z = f(f)$.



7. Ответьте на вопросы:

- Как изменяется индуктивное сопротивление цепи при увеличении частоты? _____

Лабораторная работа № 7

Проверка технического амперметра и вольтметра.

Цель: Практически ознакомиться с проверкой технического амперметра и вольтметра методом сравнения с образцовыми приборами.

Краткие сведения из теории:

Метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, способах достижения требуемой точности.

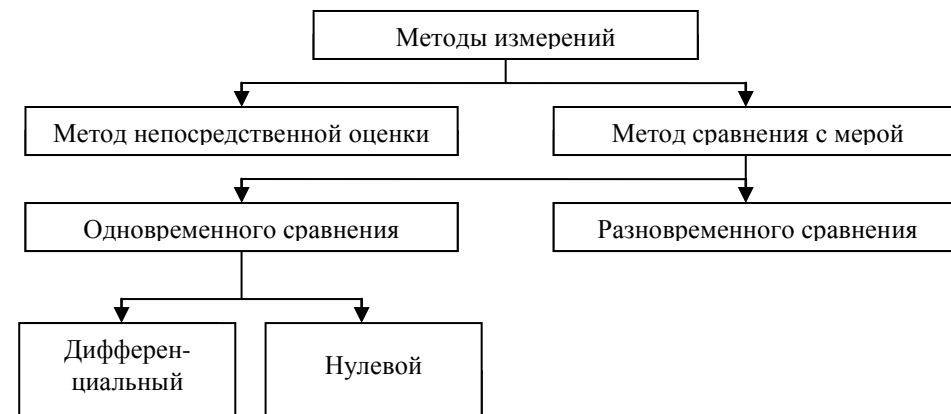
Измерением называют процесс нахождения значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств (средств измерений).

Средство измерений (СИ) – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики.



Виды измерений: прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Методом измерений называют совокупность приемов использования физических принципов и средств измерений.



2. Какие напряжения называются линейными и какие фазными? _____

3. Какая связь между фазными и линейными напряжениями? _____

4. Перечислите способы соединения приёмников энергии. _____

5. Каково назначение нулевого провода в четырёхпроводной сети? _____

6. К чему приведёт обрыв нулевого провода при несимметричной нагрузке? _____

КАРТОЧКА – ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 6

№ варианта	U, В	f, Гц	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом
1	80	50	120	240	360
2	90	50	100	200	300
3	100	50	150	200	250
4	110	50	110	150	190
5	120	50	130	200	270
6	80	50	150	200	250
7	90	50	110	160	210
8	100	50	120	150	180
9	110	50	100	150	200
10	120	50	150	210	270
11	80	50	160	200	240
12	90	50	170	200	230
13	100	50	140	190	140
14	110	50	130	180	230
15	120	50	170	220	270

- Как изменяется полное сопротивление цепи при увеличении частоты? _____

- Как при этом изменяется активная и реактивная мощности? _____

- Ответьте на те же вопросы, при условии, что частоту уменьшили. _____

8. Измените в первом опыте величину индуктивности, увеличив её в два раза; а во втором опыте – величину активного сопротивления, увеличив её в два раза и проследите за изменениями X_L , I, Z.

Показания приборов занесите в таблицу 3.

Таблица 3

№ опыта	Задано				Измерено			Рассчитано			
	U, В	f, Гц	L, мГн	R, Ом	U _R , В	U _L , В	I, А	X _L , Ом	Z, Ом	P, Вт	Q, ВАр
1											
2											

9. Сравните полученные результаты с результатами измерений таблицы 1 (опыт 1) и ответьте на вопросы:

- Как изменяется индуктивное сопротивление цепи при увеличении индуктивности? _____

- Как изменяется полное сопротивление цепи при увеличении индуктивности? _____

- Как при этом изменяется активная и реактивная мощности? _____

- Ответьте на те же вопросы, при условии, что активное сопротивление увеличили _____

10. Включите осциллограф. На осциллографе необходимо установить следующие значения:

Time base - 0,01 s / Div

Channel A - 20 V / Div

Channel B - 20 V / Div

Перенесите в отчёт временную диаграмму.

11. Постройте векторную диаграмму напряжений и токов в масштабе.

12. Сформулируйте выводы о проделанной работе и ответьте на вопросы.

Выводы:

5. При неравномерной нагрузке снимите показания приборов с нулевым проводом и без него.

Показания приборов занесите в таблицу 1.

6. Разомкните ключ 1, снимите показания приборов при обрыве линии А.

Показания приборов занесите в таблицу 1.

7. Рассчитайте величины активных мощностей и их значения занесите в таблицу.

8. Постройте в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов при неравномерной нагрузке с нулевым проводом и найдите ток в нулевом проводе.

$$I_0 = I_A + I_B + I_C =$$

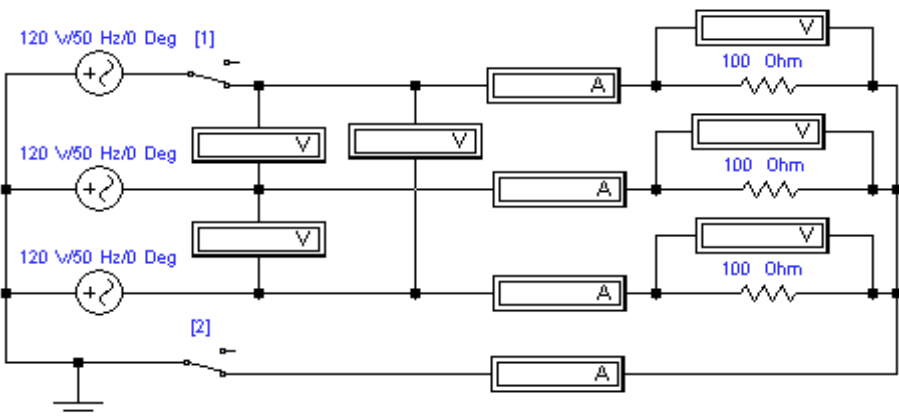
9. Сформулируйте выводы о проделанной работе и ответьте на вопросы.

Выводы:

Контрольные вопросы:

1. Перечислите способы соединения обмоток генератора.

Рисунок 1



4. При равномерной нагрузке снимите показания приборов с нулевым проводом и без него (для отключения нулевого провода разомкните ключ 2). Показания приборов занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Виды соединений	Измерено										Рассчитано			
	I_0 , А	I_A , А	I_B , А	I_C , А	U_A , В	U_B , В	U_C , В	U_{AB} , В	U_{BC} , В	U_{AC} , В	P_A , Вт	P_B , Вт	P_C , Вт	P , Вт
Равномерная нагрузка	Без нулевого провода													
	С нулевым проводом													
Неравномерная нагрузка	Без нулевого провода													
	С нулевым проводом													
	Обрыв линии													

Контрольные вопросы:

1. Что такое активное сопротивление? _____

2. Что такое реактивное сопротивление? _____

3. Каким сопротивлением обладает катушка индуктивности в цепи постоянного тока? _____

4. Каким сопротивлением обладает катушка индуктивности в цепи переменного тока? _____

КАРТОЧКА – ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4

№ варианта	U, В	f, Гц	L, мГн	R, Ом
1	20	50	25,4	3
2	30	50	19,1	4
3	40	50	31,8	5
4	50	50	38,1	6
5	60	50	24,6	7
6	80	50	21,9	8
7	90	50	27,7	9
8	70	50	34,2	3
9	20	50	26,3	4
10	30	50	32,8	5
11	40	50	28,1	6
12	50	50	30,5	7
13	60	50	28,2	8
14	70	50	18,9	9
15	80	50	19,5	10

Лабораторная работа № 5

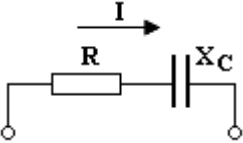
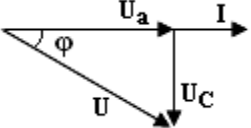
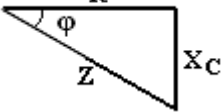
Исследование основных соотношений в цепи переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и ёмкости

Цель:

Опытным путём убедиться в справедливости закона Ома. Установить зависимость ёмкостного сопротивления от частоты. Установить зависимость полного сопротивления от частоты.

Краткие сведения из теории:

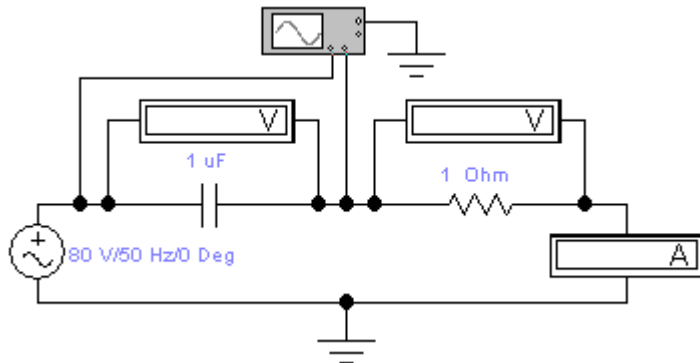
Цепь с активным сопротивлением и индуктивностью:

Схема цепи	Векторная диаграмма	Треугольник сопротивлений
		
Полное сопротивление	Угол сдвига фаз	Мощности
$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$ $\sin \varphi = \frac{X}{Z}$	Активная $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ Реактивная $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ Полная $S = U \cdot I$

Порядок выполнения работы:

1. Соберите электрическую схему, показанную на рисунке 1:

Рисунок 1



Лабораторная работа № 6

Исследование работы 3-х фазной цепи при соединении потребителей энергии в «звезду».

Цель:

Ознакомиться с работой 3-х фазной системы переменного тока, с методами измерения фазных и линейных токов и напряжений. Проверить соотношения между током и напряжением при соединении потребителей энергии в «звезду». Выяснить роль нулевого провода в 4-х проводной системе 3-х фазного тока.

Краткие сведения из теории:

Трёхфазной системой переменного тока или просто **трёхфазной системой** называется цепь или сеть переменного тока, в которой действуют три ЭДС одинаковой частоты, но взаимно смещённые по фазе на одну треть периода.

Трёхфазной симметричной системой ЭДС называется система трёх переменных ЭДС одной амплитуды и частоты, сдвинутых по фазе на 120° .

Основное свойство симметричных трёхфазных систем синусоидальных величин заключается в том, что алгебраическая сумма их мгновенных значений в любой момент времени равна нулю:

$$e_A + e_B + e_C = 0;$$

$$i_A + i_B + i_C = 0.$$

Мощность трёхфазной цепи равна сумме мощностей трёх фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

При симметричной нагрузке активные мощности фаз приёмника

$$P_A = P_B = P_C = P_\phi = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi$$

При соединении приёмников энергии звездой

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \quad \text{и} \quad I_\phi = I_L.$$

Следовательно, активная мощность трёхфазной цепи определяется по формуле

$$P = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi.$$

Порядок выполнения работы:

1. Соберите электрическую схему, показанную на рисунке 1.

2. Вольтметры и амперметры переведите в режим АС (двойной щелчок мышью открывает окно).

3. Установите значения приборов согласно заданию преподавателя:

$$U = \quad R_1 = \quad R_3 =$$

$$f = \quad R_2 =$$

9. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

Выводы:

КАРТОЧКА – ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5

№ варианта	U, В	f, Гц	C, мкФ	R, Ом
1	80	50	398	3
2	90	50	531	4
3	100	50	318	5
4	110	50	381	6
5	120	50	246	7
6	80	50	249	8
7	90	50	277	9
8	100	50	342	3
9	110	50	263	4
10	120	50	328	5
11	80	50	284	6
12	90	50	305	7
13	100	50	282	8
14	110	50	189	9
15	120	50	195	10

2. Вольтметры и амперметры перевести в режим АС (двойной щелчок мышью открывает окно).

3. Установите значения приборов согласно заданию преподавателя. Для проведения второго опыта увеличьте напряжение в два раза. Показания приборов занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта	Задано				Измерено			Рассчитано			
	U, В	f, Гц	C, мкФ	R, Ом	U _R , В	U _C , В	I, А	X _C , Ом	Z, Ом	P, Вт	Q, ВАр
1											
2											

4. Ответьте на вопросы:

- Как изменяется ёмкостное сопротивление цепи при увеличении напряжения? _____

- Как изменяется полное сопротивление цепи при увеличении напряжения? _____

- Как при этом изменяется активная и реактивная мощности? _____

- Ответьте на те же вопросы, при условии, что напряжение уменьшили. _____

5. Изменяя частоту, подводимого к контуру напряжения, проследите за изменениями X_c, I и Z.

Установите следующие значения частоты:

f₁ = 100 Гц

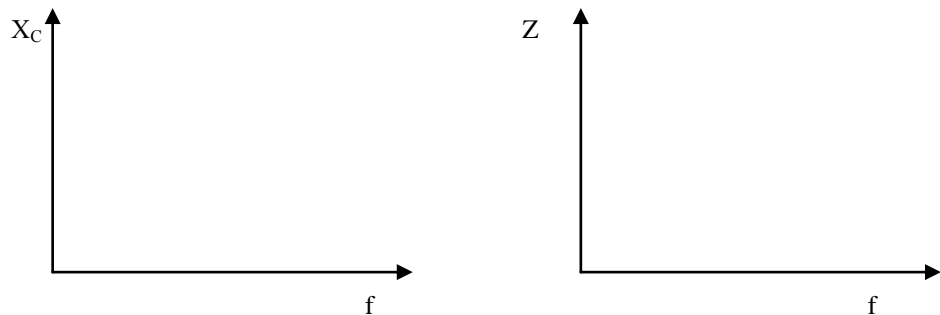
f₂ = 200 Гц.

Показания приборов занесите в таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	Задано				Измерено			Рассчитано			
	U, В	f, Гц	C, мкФ	R, Ом	U _R , В	U _C , В	I, А	X _C , Ом	Z, Ом	P, Вт	Q, ВАр
1		100									
2		200									

6. По результатам работы построить график зависимости $X_C = f(f)$, $Z = f(f)$.



7. Ответьте на вопросы:

- Как изменяется ёмкостное сопротивление цепи при увеличении частоты? _____

- Как изменяется полное сопротивление цепи при увеличении частоты? _____

- Как при этом изменяется активная и реактивная мощности? _____

- Ответьте на те же вопросы, при условии, что частоту уменьшили. _____

8. Измените величину ёмкости, увеличив её в два раза; величину активного сопротивления, увеличив её в два раза и проследите за изменениями X_C , I и Z . Показания приборов занесите в таблицу 3.

Таблица 3

№ опыта	Задано				Измерено			Рассчитано			
	U, В	f, Гц	C, мкФ	R, Ом	U _R , В	U _C , В	I, А	X _C , Ом	Z, Ом	P, Вт	Q, ВАр
1											
2											

9. Сравните полученные результаты с результатами измерений таблицы 1 (опыт 1) и ответьте на вопросы:

- Как изменяется ёмкостное сопротивление цепи при увеличении ёмкости? _____

- Как изменяется полное сопротивление цепи при увеличении ёмкости? _____

- Как при этом изменяется активная и реактивная мощности? _____

- Ответьте на те же вопросы, при условии, что активное сопротивление увеличили _____

7. Включите осциллограф. На осциллографе необходимо установить следующие значения:

Time base - 0,02 s / Div

Channel A - 100 V / Div

Channel B - 200 V / Div.

Перенесите в отчёт временную диаграмму.

8. Постройте векторную диаграмму напряжений и токов в масштабе.