Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественные и математические науки»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к лабораторной работе «Однофазные цепи переменного тока»
для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическоеобеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

Очной, очно-заочной и заочной формы обучения

Энгельс 2025

Лабораторная работа 3.1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРА, ИНДУКТИВНОЙ КАТУШКИ И КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: экспериментальное изучение линейной цепи синусоидального тока, состоящей из последовательно соединенных резистора, индуктивной катушки и конденсатора; изучение основных закономерностей в такой цепи; получение резонанса напряжений и изучение свойств цепи в этом режиме.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Рассмотрим цепь, состоящую из последовательно соединенных резистора *(R)*, индуктивной катушки (L, $R_к$) и конденсатора *C*. Схема цепи показана на рис.1.

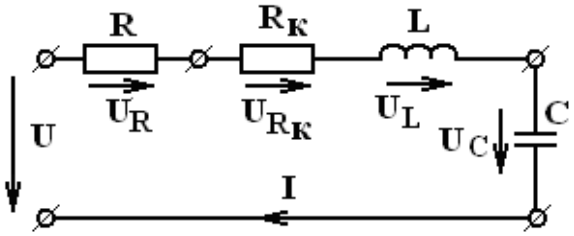


Рис.1. Последовательное соединение элементов R, L и C

Пусть цепь включена на синусоидальное напряжение $u = U_m \sin \omega t$, начальная фаза которого равна нулю. Тогда по цепи потечет ток, амплитуда которого будет определяться амплитудой напряжения U_m и полным сопротивлением цепи *Z*, а начальная фаза тока будет зависеть от соотношений реактивных сопротивлений индуктивности X_L и емкости X_C. Возможны три случая: если $X_L > X_C$, то ток отстает от напряжения на угол φ; если $X_L < X_C$, то ток опережает напряжение на угол φ, при $X_L = X_C$ ток и напряжение совпадают по фазе, $\varphi = 0$, цепь находится в режиме резонанса напряжений.

Зависимость между, действующими значениями тока *I* и напряжения *U* определяется законом Ома

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{(R + R_{\hat{E}})^2 + (X_L - X_C)^2}},$$

где $X_L = \omega L = 2\pi f L$, Ом,

$X_C = \dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{2\pi f C}$, Ом.

Угол сдвига фаз между *U* и *I* определяется формулами:

$$\cos\varphi = \frac{R + R_{\hat{E}}}{Z}; \quad tg\varphi = \frac{X_L - X_C}{R + R_{\hat{E}}}.$$

Связь между током в цепи и напряжениями на отдельных участках и на зажимах цепи наглядно представляется векторными диаграммами.

Для построения диаграммы для заданной цепи записывают по второму закону Кирхгофа уравнение равновесия напряжений в векторной форме, а затем по уравнению строят диаграмму.

Для цепи (рис.1) уравнение равновесия напряжений в векторной форме имеет вид $\overline{U} = \overline{U_R} + \overline{U_{R_{\hat{E}}}} + \overline{U_L} + \overline{U_C}$. Для последовательной цепи построение диаграммы начинают с вектора тока, так как он является общим для всех элементов цепи. Вектор тока, в масштабе тока m_I = А/см, откладывают по оси абсцисс. Затем в масштабе напряжения m_U = В/см в соответствии с векторным уравнением откладывают все напряжения. Для цепи (рис.1), при условии $X_L > X_C$ векторная диаграмма показана на рис.2.

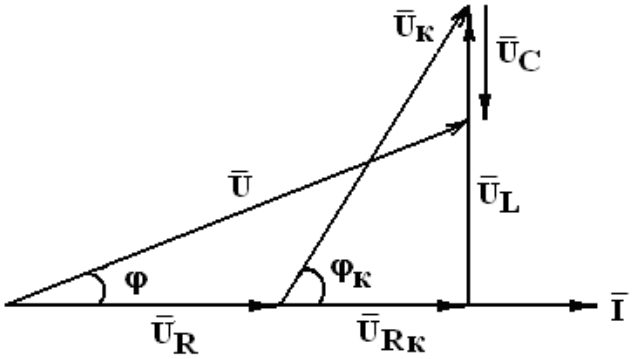


Рис. 2. Векторная диаграмма

При построении вектор напряжения $\overline{U_R} = R\,\overline{I}$ в масштабе m_U откладывают по направлению тока *I*, затем к концу вектора $\overline{U_R}$ прибавляют вектор напряжения на активном сопротивлении катушки $\overline{U_{R_{\hat{E}}}} = R_{\hat{E}} I$, затем к концу вектора $\overline{U_{R_{\hat{E}}}}$ прибавляют вектор напряжения на индуктивности $\overline{U_L} = x_L\,\overline{I}$. Этот вектор опережает ток на 90°. Вектор напряжения на емкости прибавляют к концу вектора $\overline{U_L}$, отстающим от тока на 90°. Вектор напряжения сети проводят из качала вектора $\overline{U_R}$ в конец вектора $\overline{U_C}$. При правильном построении длина вектора $\overline{U}$, умноженная на масштаб m_U, должна быть равна напряжению на зажимах цепи. Вектор напряжения на катушке равен геометрической сумме векторов $\overline{U_{R_{\hat{E}}}}$ и $\overline{U_L}$. Величина этого напряжения равна

$$U_{\hat{E}} = \sqrt{U_{R_{\hat{E}}}^2 + U_L^2}.$$

Векторные диаграммы для последовательной цепи при $X_L < X_C$ и $X_L = X_C$ показаны на рис. 3 а, б.

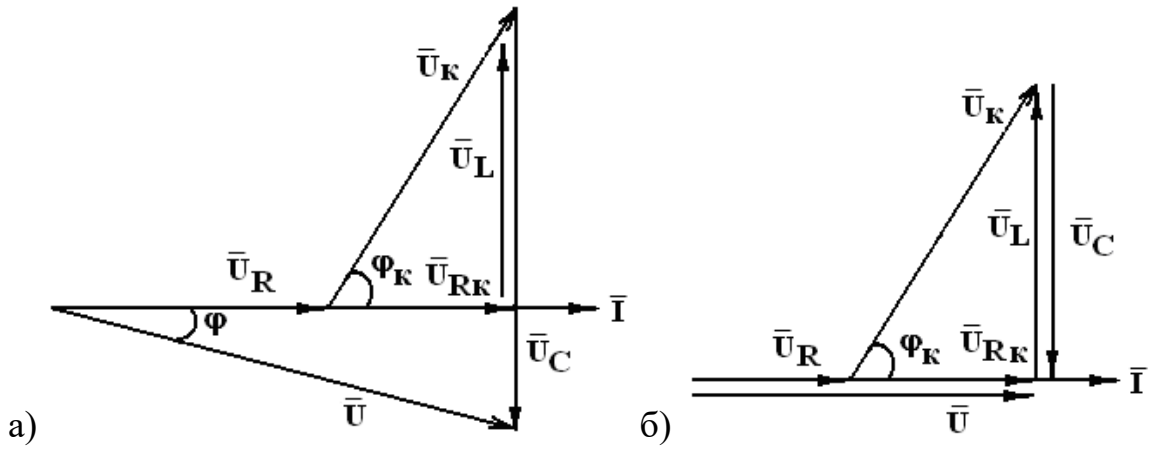


Рис. 3. Векторные диаграммы для последовательной цепи при $X_L < X_C$ и $X_L = X_C$

При исследовании последовательной цепи переменного тока обычно определяют изменение тока в цепи и напряжений на отдельных участках в зависимости от частоты сети или изменения одного или двух параметров цепи**.** Так, например, изменяя величину емкости в цепи, зависимости $I=f(C), U_L=f(C), U_C=f(C)$ будут иметь вид, показанный на рис.4.

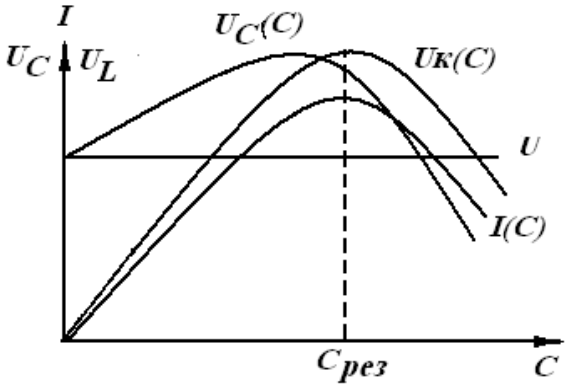


Рис. 4. Зависимость $I=f(C), U_L=f(C), U_C=f(C)$

Анализируя кривые, показанные на рис.4, можно указать, что с возрастанием емкости цепи напряжение U_C сначала увеличивается, начиная с напряжения сети (то есть при $C=0$ $U_C=U$**),** достигает максимума, а затем уменьшается, стремясь к нулю.

С увеличением емкости ток в цепи растет от нуля, достигает максимума при $C_{рез}$ и далее уменьшается Аналогично току изменяется напряжение на индуктивной катушке.

Максимальный ток в последовательной цепи, содержащей индуктивность и емкость, протекает в режиме резонанса напряжений**.** Это такой режим, при котором ток в цепи и напряжение сети совпадают по фазе. Резонанс напряжений возникает при условии, когда $X_L = X_C$.

В режиме резонанса напряжений выполняются следующие основные соотношения:

1. $Z = R + R_K$; 2. $\varphi = 0$; 3. $\cos\varphi = 1$;

4. $I = \dfrac{U}{R + R_K}$ - максимален для данной цепи;

5. $U_L = U_C$; 6. $U = U_R + U_{R_{\hat{E}}}$;

7. $Q = Q_L - Q_C = 0$; $Q_L = Q_C$;

8. $P = S = U \cdot I$;

9. $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$; ω_0, f_0 – угловая частота и соответствующая ей частота синусоидального тока и напряжений в цепи для случая резонанса.

Если $X_L > R + R_{\hat{e}}$, то в режиме резонанса напряжения на катушке и конденсаторе будут больше напряжения сети, что приводит к опасности пробоя изоляции в катушке или конденсаторе, поэтому в силовых цепях такой режим недопустим.

В радиотехнике, где абсолютные величины напряжений не велики, резонанс напряжений может использоваться для усиления сигнала. При $X_L >> R$; $U_L >> U$ сети.

Для цепи (рис.1) справедливы следующие соотношения для мощностей:

$Đ = I \cdot U \cdot \cos\varphi$ - активная мощность (***Вт, кВт)***;

$Q = I \cdot U \cdot \sin\varphi$ - реактивная мощность (***В·Ар; кВ·Ар***);

$S = I \cdot U$ - полная мощность (***В·А кВ·А***); или $Đ = rI^2$; $Q = Q_L - Q_C$; $Q_L = X_L I^2$; $Q_C = X_C I^2$; $S = \dfrac{P}{\cos\varphi} = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Описание экспериментальной установки

Исследование последовательной цепи проводится на лабораторном стенде под названием "Однофазный ток". На стенде имеется схема опыта, необходимые приборы, изображены схемы замещения резистора, индуктивной катушки и конденсатора. От каждого из элементов выведены два зажима, необходимые для сборки цепи. Схема опыта представлена на рис.5.

Для изменения величины емкости в цепи батарея конденсаторов имеет несколько тумблеров и два щеточных переключателя, позволяющих включать десятки или единицы микрофарад емкости. Суммарная емкость батареи конденсаторов - 110 мкФ.

Напряжение источника питания стенда 24 и 36 вольт.

Приборы и методика измерений

Амперметры и вольтметры, постоянно установленные на стенде, имеют электромагнитную систему измерительного механизма. Приборы измеряют действующие значения переменных величин. Класс точности приборов 1,5. Переносной многопредельный лабораторный ваттметр класса точности 0,5

ферродинамической системы. Он имеет три переключателя: переключатель тока, переключатель напряжения, переключатель рода работы (измерение тока, или измерение напряжения, или измерение мощности). Предел измерения ваттметра определяется положением его переключателей

$$P = I \cdot U,$$

где I - ток, на который установлен переключатель тока;

U - напряжение, на которое установлен переключатель напряжения.

Цена деления ваттметра определяется по формуле

$$C = \frac{P}{n} = \frac{I \cdot U}{n} \ Вт/дел;$$

где n - число делений шкалы прибора.

Мощность, измеряемая ваттметром, будет равна $P = C \cdot n'$, где n' - число делений шкалы, показываемое стрелкой прибора.

В данной лабораторной работе при измерениях используется метод непосредственного отсчета с прямыми однократными измерениями.

Точность прямых измерений оценивается определением абсолютной максимальной погрешности по формуле

$$\Delta A = \frac{A_m \cdot K}{100},$$

где A_m – верхний предел измерения прибора;

K - класс точности прибора.

Результат измерения записывается в виде

$A \pm \Delta A$,

где A - показание прибора.

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

1. Перед сборкой схемы убедитесь в том, что стенд отключен от сети. Ручка пакетного выключателя при этом находится в положении “откл”, а сигнальная лампа не горит.

2. Стенд включается только преподавателем или лаборантом после проверки схемы.

3. При измерениях не касайтесь оголенных токоведущих частей. Провода, подключенные к переносным приборам, держите за изолированные части.

4. Не прикасайтесь к зажимам отключенных конденсаторов, так как заряд на них может сохраняться длительное время.

5. По окончании измерений выключите стенд.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться со стендом и схемой опыта.

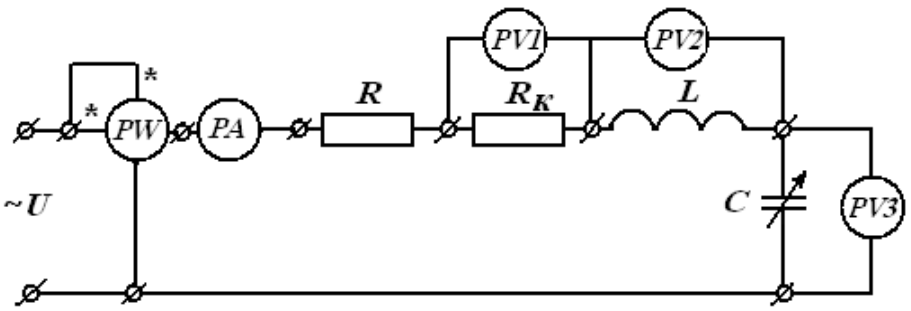


Рис. 5. Схема опыта

2. Собрать схему опыта (рис. 5).

3. Записать технические характеристики применяемых приборов, указав: наименование прибора, его марку, тип измерительного механизма, предел измерения, класс точности, заводской номер,

4. Собранную схему показать преподавателю для проверки. После проверки включить стенд в работу, при этом загорится сигнальная лампочка.

5. Изменяя величину емкости конденсаторов, добиться в цепи максимального тока; при этом должно выполняться условие $U_к > U_C$. При этом условии в цепи наступит резонанс напряжений.

Записать показания всех приборов в табл.1, в четвертой строке.

Таблица 1

№ п/п	Данные наблюдений							Результаты вычислений								
	U, В	**C, мкФ**	**I, А**	**U_R, В**	**$U_К$, В**	**U_C, В**	**P, Вт**	**R, Ом**	**$R_К$, Ом**	**X_C, Ом**	**X_L, Ом**	**$Z_К$, Ом**	**$\varphi_К$, °**	**Z, Ом**	**S, В·А**	**$\cos\varphi$**

6. Произвести измерения тока, мощности и напряжений на элементах цепи при трех значениях емкости батареи конденсаторов меньших, чем при резонансе. Данные занести в табл.1, строки 1÷3. При этом необходимо следить, чтобы при записи данных в табл.1 от первой строки (для $C = O$) к последней ($C = 110$ *мкФ*) емкость монотонно увеличивалась.

7. Произвести измерения тока, мощности и напряжения на элементах для трех значений емкости больших, чем при резонансе. Данные занести в табл.1,строки 5, 6, 7.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

1. По данным наблюдений вычислить величины:

R (Ом); R_K (Ом); L (Гн); X_L (Ом); X_C (Ом); Z_K (Ом); φ_K ; Z (Ом); $\cos\varphi$.

Вычисления провести для всех строк табл.1, имея в виду, что величины R; R_K; L; X_L; Z_K; φ_K - постоянные, поэтому их достаточно вычислить один раз для режима резонанса напряжений. Остальные величины - переменные, и их вычисления следует проводить для каждой строки табл.1. Вычисления проводить по формулам:

$$R_{\Sigma} = R + R_K = \frac{P}{I_{PE3}^2},$$

где P – мощность, измеряемая ваттметром *Вт;* I_{PE3} - ток в цепи в режиме резонанса.

$$R = U_R/I_{PE3},$$

где U_R - падение напряжения на резисторе в режиме резонанса.

$$R_K = R_{\Sigma} - R, \text{ Ом},$$

$$X_L = X_{C_{PE3}} = \frac{1}{\omega C_{PE3}} = \frac{1}{2\pi f C_{PE3}} = \frac{10^6}{314 C_{PE3}} \text{ Ом},$$

где f=50 Гц; C_{PE3} – в мкФ.

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_L^2}, \text{ Ом}; \quad \varphi_к = arctg\frac{X_L}{R_K}; \quad X_C = \frac{10^6}{314 \cdot C} \text{ Ом},$$

где C – текущее значение емкости в мкФ.

$Z = U/I$, где U – напряжение в начале цепи.

$\cos\varphi = R_{\Sigma}/z$.

2. По результатам наблюдений в одной и той же системе координат построить следующие кривые: $I = f(C)$; $U_к = f(C)$; $U_C = f(C)$.

3. По данным измерений и вычислений построить векторные диаграммы для трех случаев: а) $X_L > X_C$, б) $X_L = X_C$, в) $X_L < X_C$.

Конкретные значения X_C, для которых строятся векторные диаграммы, указываются преподавателем.

4. Произвести сценку погрешности измерения одной, из величин:

U, I, U_K, U_C, P.

Произвести оценку погрешности одной из вычисляемых величин

(по указанию преподавателя).

СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

Отчет оформляется каждым студентом на отдельном листе. Отчет должен содержать название лабораторной работы, формулировку цели работы, перечень применяемых приборов и их характеристики, результаты наблюдений и вычислений; формулы, используемые при вычислениях, графики и векторные диаграммы, выполненные на миллиметровой бумаге (или на бумаге в клеточку).

В отчете должны быть сведения по оценке точности измеряемых и вычисляемых величин.

Отчет заканчивается выводами по работе, в которых необходимо отразить: возникает ли в исследуемой цепи резонанс напряжений? Если да, то при какой емкости конденсаторов? Объяснить ход зависимостей $I = f(C)$; $U_к = f(C)$; $U_C = f(C)$, дать анализ векторным диаграммам, обратив особое внимание на угол сдвига между током в цепи и напряжением источника в зависимости от

соотношения X_L и X_C в цепи.

Указать основные источники погрешностей измерения и вычисления.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Примеры контрольных тестов, на которые необходимо ответить, чтобы получить допуск к выполнению лабораторной работы, приведены в приложении 1.

1. Сформулируйте цель работы и объясните порядок ее выполнения.

2. Дайте определение мгновенного, амплитудного, действующего и среднего значения синусоидально изменяющихся во времени величин. Каковы математические связи между этими величинами?

3. Изобразите схему цепи, в которой может наступить резонанс напряжений. Объясните за счет изменения каких параметров можно добиться резонанса напряжений в этой цепи.

4. Как определить, что в схеме наступил резонанс напряжений? Укажите признаки резонанса по показаниям приборов, включенных в схему.

5. Напишите соотношения, выполняющиеся при резонансе напряжений.

6. Начертите векторные диаграммы для цепи, содержащей последовательно соединенные активные сопротивления, индуктивную катушку и конденсатор для случаев:

а) $X_L > X_C$, б) $X_L = X_C$, в) $X_L < X_C$.

7. Определите величину X_C, X_L и L для f=50 Гц и C=40 мкФ в условиях резонанса напряжений.

8. Как определяются величины R_K, Z_K, R, φ_K, $\cos\varphi$ и Z?

9. Напишите соотношения и поясните физическое содержание понятий активной, реактивной и полной мощностей.

10. Напишите соотношение, выражающее закон Ома в цепи, содержащей последовательно соединенные резистор, индуктивную катушку и конденсатор.

11. Укажите значение резонанса напряжений в технике.

Литература

1. Скорняков, В. А. Общая электротехника и электроника : учебник для вузов / В. А. Скорняков, В. Я. Фролов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 176 с. — ISBN 978-5-8114-7262-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/156932 (дата обращения: 20.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для вузов / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — 11-е изд., стер. — Санкт-

Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-7115-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/155680 (дата обращения: 20.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Белов, Н. В. Электротехника и основы электроники : учебное пособие / Н. В. Белов, Ю. С. Волков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 432 с. — ISBN 978-5-8114-1225-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/168400 (дата обращения: 20.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Аполлонский, С. М. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле : учебное пособие / С. М. Аполлонский. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 592 с. — ISBN 978-5-8114-1155-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/168388 (дата обращения: 20.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Потапов, Л. А. Теоретические основы электротехники: краткий курс : учебное пособие / Л. А. Потапов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 376 с. — ISBN 978-5-8114-2089-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/168955 (дата обращения: 20.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Водовозов, А. М. Основы электроники : учебное пособие / А. М. Водовозов. — 2-е изд. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 140 с. — ISBN 978-5-9729-0346-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/124672 (дата обращения: 20.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Немировский, А. Е. Электроника : учебное пособие / А. Е. Немировский, И. С. Сергиевская, А. В. Иванов. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 200 с. — ISBN 978-5-9729-0264-4. — Текст : электронный // Лань :

электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/124611 (дата обращения: 20.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Время, отведенное на лабораторную работу

Подготовка к работе	1,0 акад.час
Выполнение работы	1,0 акад. час
Обработка результатов наблюдений и оформление отчета	2,0 акад. час

Лабораторная работа 3.2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРА, ИНДУКТИВНОЙ КАТУШКИ И КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: экспериментальное изучение основных закономерностей линейной цепи синусоидального тока, состоящей из параллельно соединенных: резистора, индуктивной катушки и конденсатора, при изменении параметров одной из ветвей. Получение резонанса токов и изучение свойств цепи в этом режиме.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Цепи с параллельными ветвями широко применяются в электротехнике, электронике и радиотехнике. Для расчета и анализа таких цепей применяют: метод векторных диаграмм, метод проводимостей, комплексный метод и другие.

Самым простым, но наименее точным является метод векторных диаграмм. Рассмотрим его применение на примере цепи с двумя ветвями. Пусть имеется цепь с двумя ветвями содержащая в одной ветви резистор и индуктивную катушку, а в другой - конденсатор (рис.6).

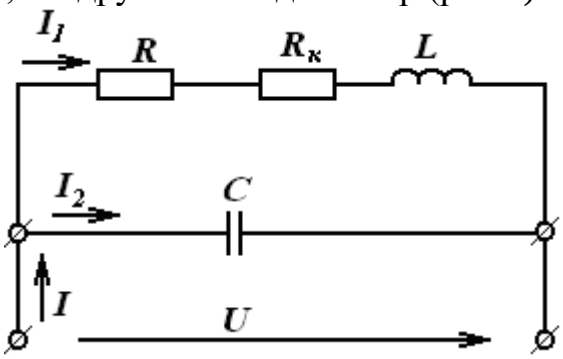


Рис.6. Схема электрической цепи с параллельным соединением ветвей

Токи параллельных ветвей определяют по закону Ома

$$I_1=U/Z_1;\ I_2=U/Z_2,$$

где $Z_1=\sqrt{(R+R_{\hat{E}})^2+X_L^2}$; $Z_2=X_C$ – полные сопротивления соответствующих ветвей.

Ток неразветвленной части цепи равен геометрической сумме токов параллельных ветвей:

$$\overline{I}=\overline{I}_1+\overline{I}_2\ .$$

По этому уравнению в масштабе строят векторную диаграмму и определяют из нее величину тока I и его фазовый сдвиг по отношению к напряжению сети U.

В цепях с параллельными ветвями построение векторной диаграммы

начинают с вектора напряжения $\overline{U}$, так как оно одинаково для всех ветвей. В масштабе напряжения m_U (В/см) из нулевой точки в положительном направлении оси абсцисс откладывается вектор напряжения $\overline{U}$. Затем в масштабе тока m_I (А/см) строятся соответствующие векторы токов параллельных ветвей.

Ток активно-индуктивной ветви I_1 отстает от напряжения на угол

$$\varphi_1 = arctg\frac{\tilde{O}_L}{R + R_{\hat{E}}};$$

поэтому вектор этого тока откладывают под углом φ_1, относительно вектора напряжения по часовой стрелке (рис.7).

Ток I_2 - емкостный ток. Он опережает напряжение на угол φ_2 = 90°. Вектор тока I_2 откладывают относительно напряжения против часовой стрелки под углом φ_C = 90°.

Геометрически складывая векторы токов $\overline{I_1}$ и $\overline{I_2}$ находят вектор тока $\overline{I}$ и угол φ на который этот ток сдвинут по фазе относительно напряжения.

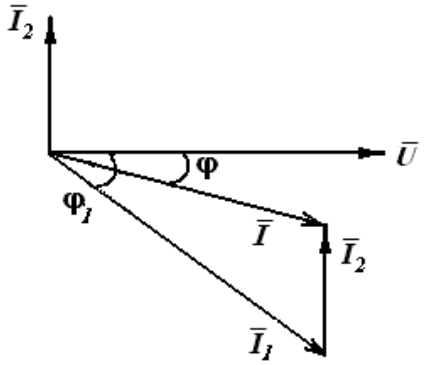


Рис. 7. Векторная диаграмма для параллельных ветвей

Для аналитического расчета и анализа цепей с параллельными ветвями применяют метод проводимостей. По этому методу расчет токов, напряжений и мощностей ведут не через сопротивления, а через проводимости: активную, реактивную и полную. Кроме того, векторы токов раскладывают на две составляющие, одна из которых называется активной и совпадает по фазе с напряжением, а вторая - реактивной и опережает напряжение (при емкостном характере) или отстает (при индуктивном характере) от него по фазе на 90°.

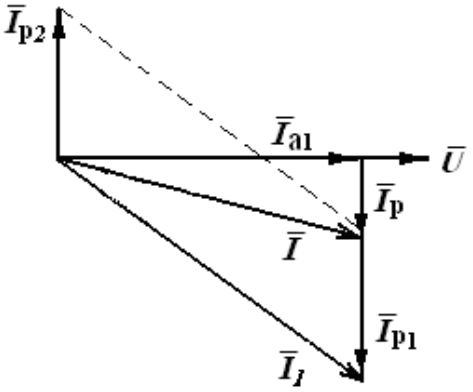


Рис. 8. Вектора активных и реактивных токов в параллельных ветвях

На диаграмме, изображенной на рис.8, показаны активные и реактивные составляющие токов для цепи, показанной на рис.6.

Ток I_2 - чисто емкостный, то есть реактивный, поэтому $I_2=I_{P2}$. Токи I_1 и I имеют одинаковые активные составляющие I_{a1} и I_a, но разные реактивные составляющие I_{P1}, I_{P2}.

По напряжению источника и параметрам цепи активная и реактивная составляющие тока любой ветви могут быть определены по следующим формулам, например для первой ветви:

$$I_{à1} = U \cdot g_1; \; I_{ð1} = U \cdot b_1$$

где $g_1 = \dfrac{R_1}{Z_1^2}$ - активная проводимость первой ветви, 1/Ом = См; $R_1=R+R_K$; $b_1 = \dfrac{X_L}{Z_1^2}$ - реактивная проводимость первой ветви, 1/Ом = См.

Ток первой ветви $I_1 = \sqrt{I_{a1}^2 + I_{p1}^2} = U \cdot Y_1$, где $Y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_1^2}$ - полная проводимость первой ветви, 1/Ом = См.

Аналогично определяют токи для других ветвей, для нашей схемы (рис.6).

$g_2=0$; $b_2 = -\dfrac{X_C}{Z_2^2} = \dfrac{-X_C}{X_C^2} = -\dfrac{1}{X_C}$.

Полная проводимость второй ветви

$Y_2 = \sqrt{g_2^2 + b_2^2} = \dfrac{1}{X_C}$.

Ток второй ветви $I_2 = U \cdot Y_2$.

Для тока не разветвленной части цепи реактивная составляющая $I_p = I_{p1} - I_{p2}$, а активная $I_{à} = I_{a1}$, тогда

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = U\sqrt{g^2 + b^2} = U \cdot Y,$$

где $g=g_1+g_2$ - активная, проводимость всей цепи; $b=b_1-b_2$ - реактивная проводимость всей цепи.

При нахождении реактивной проводимости всей цепи следует иметь в виду, что для индуктивных ветвей реактивная проводимость положительна, а для емкостных ветвей реактивная проводимость отрицательна. То же относится и к реактивным составляющим токов.

$Y = \sqrt{g^2 + b^2}$ - полная проводимость всей цепи.

Выражение $I = U \cdot Y$ представляет собой закон Ома для цепи с параллельным соединением ветвей.

Если цепь содержит несколько параллельно соединенных резисторов, индуктивностей и емкостей, то полная проводимость определится как

$Y = \sqrt{(\Sigma g)^2 + (\Sigma b_L - \Sigma b_C)^2}$.

Углы сдвига фаз соответствующих токов относительно входного напряжения U определяются соотношениями:

$$\varphi_1 = arctg\frac{b_L}{g_1};\ \varphi_2 = arctg\frac{b_C}{g_2};\ \varphi = arctg\frac{b}{g}.$$

Мощности могут быть определены через проводимости по выражениям:

-активная мощность $P = U^2 \cdot g$, Вт;

-реактивная мощность $Q = U^2 \cdot b$, ВАр;

-полная мощность $S = U^2 \cdot Y$, ВА.

Для цепей синусоидального тока с параллельными ветвями, содержащими в одной ветви индуктивность, а в другой - емкость, возможен резонанс токов. Это такой режим, при котором ток в не разветвленной части цепи и напряжение совладают по фазе. Условие резонанса токов - равенство реактивных проводимостей индуктивной и емкостной ветвей, то есть $b_L = b_C$. В режиме резонанса токов цепь обладает следующими свойствами:

$Y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2} = g$, то есть цепь обладает только активной проводимостью.

$\varphi = àrctg\frac{b}{g} = 0$ ток и напряжение совпадают по фазе.

$I = U \cdot Y = U \cdot g$ - ток в цепи имеет наименьшее значение. Если при b_L=b_C. и g=0, то общий ток цепи будет равен нулю.

S=P; Q = Q_L-Q_C = 0, то есть в цепь поступает только активная энергия, а внутри контура, образованного индуктивной и емкостной ветвями, идет непрерывный обмен реактивной энергией между индуктивностью и емкостью, без потребления ее от сети (в идеальном случае).

Резонанс токов широко применяется в электроустановках для повышения коэффициента мощности. С этой целью параллельно индуктивным приемникам электрической энергии подключают батарею конденсаторов, уменьшая тем самым реактивные токи, циркулирующие по проводам, и снижая потери энергии в проводах.

В радиотехнике резонанс токов применяется в заградительных фильтрах, не пропускающих токи определенной частоты.

В данной работе резонанс токов достигается изменением емкости. Изменение токов в цепи и коэффициента мощности (cosφ) показано на рис.9.

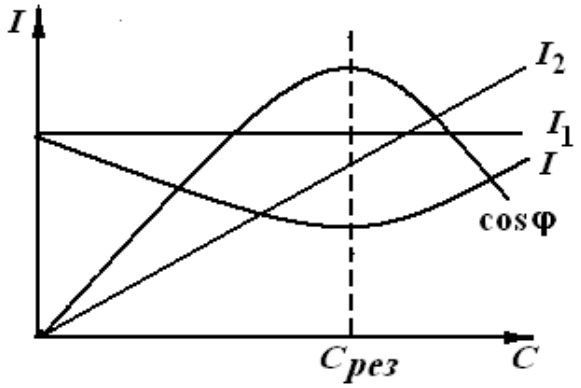


Рис. 9. Зависимость коэффициента мощности и токов в цепи с параллельными ветвями от емкости

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Описание экспериментальной установки

Исследование цепи переменного тока с параллельными ветвями проводится на том же стенде, тех же элементах и теми же приборами, что при исследовании последовательной цепи. Схема опыта дана на рис.10.

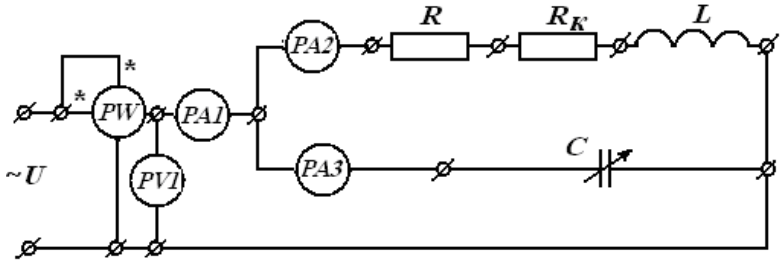


Рис. 10. Схема опыта при параллельном соединении ветвей

Приборы, методика измерений и требования безопасности труда те же, что и в предыдущей лабораторной работе 6.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Найти на панели стенда все приборы и элементы, необходимые для сборки схемы (рис. 10).

2. Собрать схему опыта (рис.10).

3. Записать технические характеристики приборов.

4. Собранную схему показать преподавателю для проверки. После включения стенда преподавателем приступить к наблюдениям.

5. Изменяя величину емкости конденсаторов, добиться в цепи минимального тока, следя за тем, чтобы одновременно выполнялось условие $I_2 > I_3$. Это и будет резонанс токов. Записать показания всех приборов в табл.2, в четвертой строке.

Таблица 2

№ п/п	Данные наблюдений						Результаты вычислений						
	U, В	C, мкФ	I_1, А	$I_к$, А	I_C, А	P, Вт	g, Ом	b_L, Ом	b_C, Ом	Y, Ом	S, В·А	$\cos\varphi$	φ, град

6. Произвести измерения тока, мощности и напряжения на элементах цепи при трех значениях емкости батареи конденсаторов меньших, чем при резонансе токов. Данные занести в табл.2, строки 1÷3 в возрастающем порядке для емкости.

7. Произвести измерения тока, мощности и напряжения для трех значений емкости больших, чем при резонансе токов, охватывая весь диапазон

емкостей стенда. Данные занести в табл.2, строки 5, 6, 7.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

1. По данным наблюдений вычислить величины:

g - активную проводимость всей цепи;

b_L - реактивную проводимость индуктивной ветви;

b_C - реактивную проводимость емкостной ветви;

Y - полную проводимость всей цепи;

S - полную мощность всей цепи;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности всей цепи;

φ - угол сдвига между напряжением и током в начале цепи.

Вычисления провести для всех строк табл.2, имея в виду, что величины g, b_L -постоянные, поэтому их вычисляют один раз для режима резонанса токов. Остальные величины - переменные и их следует вычислять для каждой строки табл.2. Вычисления проводить по формулам:

$g=P/U^2$;

$$b_L = b_{Cðåç} = \frac{1}{Õ_{Ñðåç}} = \frac{\frac{1}{1}}{2\pi \cdot f \cdot Cðåç} = \frac{\frac{1}{10^6}}{2\pi \cdot 50 \cdot Ñðåç}, \text{ Ом,}$$

где $C_{рез}$ - в микрофарадах;

$$b_C = \frac{1}{Õ_C};$$

$$Y = I_1 / U;\ S = U^2 Y;\ \cos\varphi = \frac{g}{Y};\ \varphi = \arccos\varphi.$$

2. По результатам наблюдений в одной и той же системе координат построить следующие кривые:

$$I_1=f(C);\ I_2=f(C);\ I_3=f(C);\ \cos\varphi=f(C).$$

3. По данным наблюдений построить векторные диаграммы для трех случаев:

а) $b_L>b_C$; б) $b_L=b_C$; в) $b_L<b_C$.

4. Произвести оценку погрешности измерения одной из величин: P; U, I_1, I_2, I_3. Произвести оценку погрешности вычисления одной из величин по указанию преподавателя.

СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать название лабораторной работы, формулировку цели работы, перечень применяемых приборов и их характеристики, результаты наблюдений и вычислений, формулы, используемые при вычислениях, графики и векторные диаграмм. В отчете должны быть сведения по оценке точности измеряемых и вычисляемых величин.

В выводах по работе отразить: возможен ли в данной цепи резонанс

токов? Если да, то при какой емкости батареи конденсаторов он возникает? Объяснить ход зависимостей $I_1=f(C)$; $I_2=f(C)$; $I_3=f(C)$; $\cos\varphi=f(C)$. Дать анализ векторных диаграмм, обратив внимание на угол сдвига между током цепи и напряжением источников в зависимости от соотношения b_L и b_C в цепи. Указать основные источники погрешностей измерения и вычисления.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Примеры контрольных тестов, на которые необходимо дать правильные ответы, приведены в приложении 2.

1. Сформулируете цель работа и объясните порядок ее выполнения.
2. Изобразите схему цепи, в которой может наступить резонанс токов. Объясните, за счет изменения каких параметров можно добиться резонанса токов.
3. Как определить, что в схеме наступил резонанс токов? Укажите признаки резонанса по показаниям приборов, включенных в схему.
4. Напишите соотношения, выполняющиеся при резонансе токов.
5. Начертите векторные диаграммы для цепи, исследуемой в лабораторной работе для трех случаев: а) $b_L>b_C$; б) $b_L=b_C$; в) $b_L<b_C$.
6. Напишите выражения для активной, реактивной и полной проводимости ветви и цепи в общем случае.
7. Изменяется ли показания ваттметра в схеме лабораторной работы при изменении емкости? Ответ пояснить.
8. Изобразите вид зависимостей $I_1(C)$; $I_2(C)$; $I_3(C)$ и дайте объяснение с помощью формул.
9. Напишите выражение активной, реактивной и полной мощности через проводимости цепи.
10. Какое значение имеет резонанс токов в технике?

Литература

1. Богданов, В. В. Электротехника : учебное пособие / В. В. Богданов, О. Б. Давыденко, Н. П. Савин, А. В. Сапсалев. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 148 с. - ISBN 978-5-7782-3954-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778239548.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Ермуратский, П. В. Электротехника и электроника / П. В. Ермуратский, Г. П. Лычкина, Ю. Б. Минкин. - Москва : ДМК Пресс, 2013. - 416 с. - ISBN 978-5-94074-894-6. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940748946.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.

3. Клепча, В. Ф. Электротехника. Лабораторный практикум : учеб. пособие / В. Ф. Клепча- 3-е изд. , стер. - Минск : РИПО, 2019. - 179 с. - ISBN 978-985-503-867-3. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789855038673.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
4. Марченко, А. Л. Электротехника : учебное пособие / А. Л. Марченко. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 236 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-017056-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1587594 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
5. Электротехника. В примерах и задачах : учебное пособие / Е. И. Алгазин, В. В. Богданов, А. В. Сапсалев [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Алгазина. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 128 с. - ISBN 978-5-7782-4287-6. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1869119 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
6. Гальперин, М. В. Электротехника и электроника : учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 480 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-00091-779-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2030904 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
7. Маркелов, С. Н. Электротехника и электроника : учебное пособие / С. Н. Маркелов, Б. Я. Сазанов. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 267 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014451-1. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/982772 (дата обращения: 18.09.2023). – Режим доступа: по подписке.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

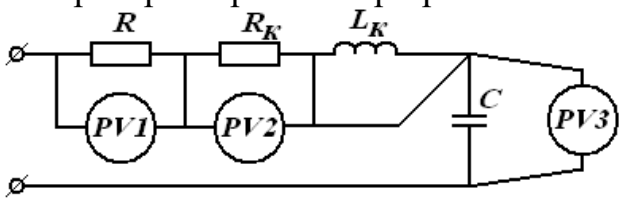
Примеры контрольных тестов для получения допуска к лабораторной работе 6 "Исследование однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора".

Резонанс напряжений 1.

1. Каково соотношение между действующим, амплитудным и средним значениями напряжений? Указать неправильный ответ.

1. $U<U_m$; 2. $U_m = \sqrt{2}U$; 3. $U<U_{cp}$; 4. $U_{cp}<U$.

2. Каково соотношение между показаниями вольтметров в схеме лабораторной работы при резонансе напряжений? Указать правильный ответ.



1. $U_2>U_3$
2. $U_2=U_3$
3. $U_2<U_3$

3. Какая из зависимостей для цепи с последовательным соединением *R, L, C* приведена на рисунке?

1. $I\ (C)$;
2. $U_R(C)$;
3. $U_к(C)$;
4. $U_C(C)$.

4. Какая из формул содержит ошибку?

1. $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$; 2. $P = rI^2$; 3. $P = \sqrt{S^2 + Q^2}$; 4. $P = S \cdot \cos\varphi$

5. Чему равна погрешность измерения мощности 5 Вт ваттметром с пределом измерения 100 Вт, если класс точности его равен 0,5? Указать правильный ответ.

1. 0,5%; 2. 1,0%; 3. 10%; 4. 5%.

Резонанс напряжений 2.

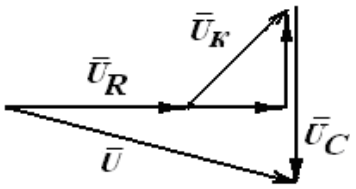
1. Какое из соотношений справедливо при резонансе напряжений?

1. $P=S$; 2. $P=Q$; 3. $Q=S$.

2. Какое из условий позволяет определить по приборам, что в схеме наступил резонанс напряжений?

1. $X_L=X_C$; 2. I=max; 3. $U_2=U_C$.

3. Для какого соотношения x_L и x_C приведена векторная диаграмма?



1. $X_L > X_C$
2. $X_L = X_C$
3. $X_L < X_C$

4. Чему равно реактивное сопротивление конденсатора емкостью 30 мкФ на частоте 50 Гц? Указать правильный ответ.

1. 1 Ом; 2. 10 Ом; 3. 100 Ом; 4. 1000 Ом.

5. Чему равна абсолютная погрешность измерения напряжения 10 В вольтметром с пределом измерения 50 В класса точности 1,5 ? Указать правильный ответ.

1. 1,5 В; 2. 1,0 В; 3. 0,75 В; 4. 0,5 В.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

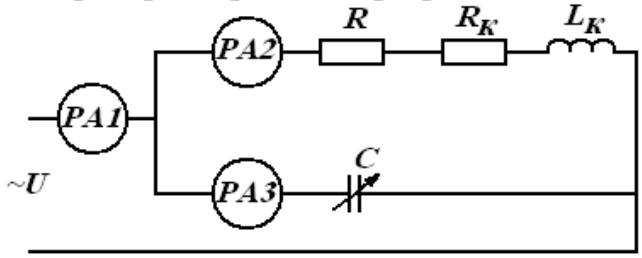
Примеры контрольных тестов для получения допуска к лабораторной работе 7 "Исследование однофазной цепи переменного тока с параллельным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора".

Резонанс токов 1

1. Каково соотношение между действующими амплитудными и средними значениями токов? Указать неправильный ответ.

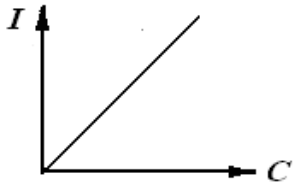
1. $I_{cp}<I_m$; 2. $I_{cp}>U$; 3. $U<U_m$; 4 $U_m=\sqrt{2}U$

2. Каково соотношение между показаниям амперметров в схеме лабораторной работы при резонансе токов? Указать неправильный ответ.



1. $I_1=0$;
2. $I_2>I_3$;
3. $I_2>I_1$.

3. Какая из зависимостей для цепи предыдущей задачи приведена ниже? Укажите правильный ответ.



1. $I_1(C)$
2. $I_2(C)$
3. $I_3(C)$

4. Какая из формул содержит ошибку?

1. $P = U^2 g$; 2. $Q = U^2 b$; 3. $Y = g + b$; 4. $I = U \cdot Y$

5. Амперметры какой системы не могут быть применены для измерения токов в цепи лабораторной работы?

1. Магнитоэлектрической. 2. Электромагнитной. 3.Электродинамической.

Резонанс токов 2

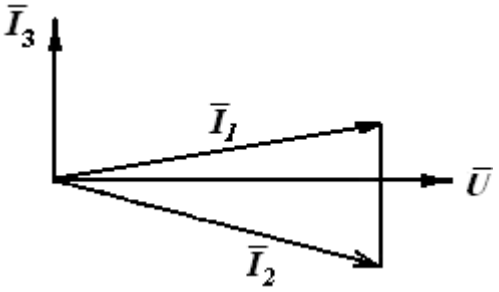
1. Какое из соотношений справедливо при резонансе токов? Указать неправильный ответ.

1. $I_L=I_C$; 2. $I=min$; 3. $P=Q$; 4. $b_L=b_C$.

2. В каком выражении допущена ошибка?

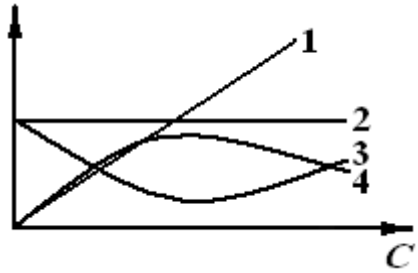
1. $g=\frac{R_1}{Z_1^2}$; 2. $b_1=\frac{X_1}{Z_1^2}$; 3. $Y_1=\sqrt{g_1^2+b_1^2}$; 4. $b=b_L+b_C$.

3. Для какого соотношения b_L и b_C приведена векторная диаграмма?



1. $b_L>b_C$;
2. $b_L=b_C$;
3. $b_L<b_C$;

4. Какая из зависимостей характеризует изменение cosφ в схеме лабораторной работы?



1.
2.
3.
4.

5. Какая из погрешностей определяет точность измерений?

1. Абсолютная; 2. Относительная; 3. Приведенная.

Методические указания составил _____/А.С. Мостовой/