

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра физики и методики преподавания физики

ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Методические указания

Составители: И.Н. Анисина, Т.И. Пискарёва

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящих в образовательную область «Инженерное дело, технологии и технические науки»

2-е издание, стереотипное

Оренбург
2020

УДК 621.3.011.7(076.5)

ББК 31.21я7

Ц 40

Рецензент – профессор, доктор физико-математических наук Н.А. Манаков

Ц 40 **Цепи переменного тока** : методические указания / составители: И.Н. Анисина, Т.И. Пискарева; Оренбургский гос. ун-т. – 2-е изд. стереотипное. – Оренбург : ОГУ, 2020. – 15 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по изучению цепей переменного тока. Работа включает теоретическое изложение материала, описание методики проведения опыта и контрольные вопросы для самоподготовки.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Физика» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящих в образовательную область «Инженерное дело, технологии и технические науки»

УДК 621.3.011.7(076.5)

ББК 31.21я7

© Анисина И.Н.,
Пискарева Т.И.,
составление, 2020

© ОГУ, 2020

Содержание

1 Лабораторная работа. Цепи переменного тока	4
1.1 Теоретические сведения	4
1.1.1 Переменный ток, текущий через резистор сопротивлением R	4
1.1.2 Переменный ток, текущий через катушку индуктивности L	5
1.1.3 Переменный ток, текущий через конденсатор ёмкостью C	7
1.1.4 Цепь переменного тока, содержащие последовательно включенные резистор, катушку индуктивности и конденсатор	8
1.2 Экспериментальная часть	10
1.2.1 Определение коэффициента самоиндукции	10
1.2.2 Определение емкости.....	12
1.2.3 Проверка закона Ома для цепи переменного тока.....	13
1.3 Контрольные вопросы.....	14
Список использованных источников	14

1 Лабораторная работа. Цепи переменного тока

Цель работы

1. Уяснить закономерности вынужденных электрических колебаний для линейных электрических цепей переменного тока.
2. Измерить коэффициенты самоиндукции и емкости конденсаторов.
3. Проверить справедливость закона Ома для цепи переменного тока.

1.1 Теоретические сведения

Вынужденные электромагнитные колебания можно рассматривать как протекание в цепи, содержащей резистор, катушку индуктивности и конденсатор, переменного тока. Переменный ток можно считать квазистационарным, т.е. для него мгновенные значения силы тока во всех сечениях цепи практически одинаковы, т.к. их изменения происходят достаточно медленно, а электромагнитные возмущения распространяются по цепи со скоростью равной скорости света. Для мгновенных значений квазистационарных токов выполняются закон Ома и вытекающие из него правила Кирхгофа, которые будут использованы применительно к переменным токам.

Рассмотрим последовательно процессы, происходящие на участке цепи, содержащем резистор, катушку индуктивности и конденсатор, к концам которого приложено переменное напряжение

$$U = U_m \cos \omega t, \quad (1)$$

где U_m – амплитуда напряжения.

1.1.1 Переменный ток, текущий через резистор сопротивлением R

Индуктивность и емкость в цепи отсутствуют ($L \rightarrow 0, C \rightarrow 0$) (рисунок 1).

При выполнении условия квазистационарности ток через резистор определяется законом Ома:

$$I = \frac{U}{R} = \left(\frac{U_m}{R} \right) \cos \omega t = I_m \cos \omega t,$$

где $I_m = \frac{U_m}{R}$ - амплитуда силы тока.

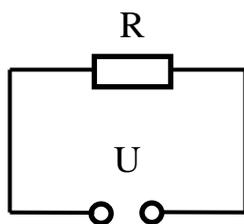


Рисунок 1 – Резистор в цепи переменного тока

Гармонически изменяю
помощи **векторных диаграмм**

На рисунке 2 дана вектор
напряжения U_m на резисторе (с

Рисун

1.1.2 Переменный ток, т

Сопротивление и емкост

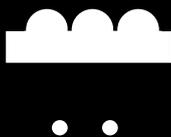


Рисунок 3 – К

Если в цепи приложен
переменный ток, в результате ч

Тогда закон Ома для рас

В нашем случае $R = 0$, п

$$U_m \cos \omega t - L \frac{dI}{dt} = 0,$$

откуда

$$L \frac{dI}{dt} = U_m \cos \omega t. \quad (2)$$

Так как внешнее напряжение приложено к катушке индуктивности, то

$$U_L = L \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

Есть падение напряжения на катушке. Из уравнения (2) следует, что

$$dI = \left(\frac{U_m}{L} \right) \cos \omega t dt.$$

После интегрирования, учитывая, что постоянная интегрирования равна нулю (так как отсутствует постоянная составляющая тока), получим

$$I = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t = \frac{U_m}{\omega L} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = I_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right), \quad (4)$$

где $I_m = \frac{U_m}{\omega L}$.

Величина

$$R_L = \omega L \quad (5)$$

называется **реактивным индуктивным сопротивлением**. Из (5) вытекает, что для постоянного тока ($\omega = 0$) катушка индуктивности не имеет сопротивления. Подстановка значения $U_m = \omega L I_m$ в выражение (2) с учетом (3) приводит к следующему значению падения напряжения на катушке индуктивности

$$U_L = U_{Lm} \cos \omega t = \omega L I_m \cos \omega t. \quad (6)$$

Сравнивая (4) и (6) видим, что падение напряжения U_L опережает по фазе ток I , текущий через катушку, на $\frac{\pi}{2}$.

Полученный выше результат можно изобразить на векторной диаграмме (рисунок 4).

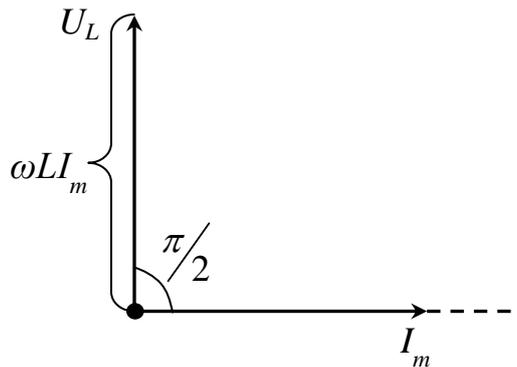


Рисунок 4 - Векторная диаграмма

1.1.3 Переменный ток, текущий через конденсатор ёмкостью C

Сопротивление и индуктивность в цепи отсутствуют ($R \rightarrow 0, L \rightarrow 0$) (рисунок 5).

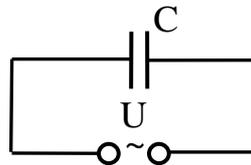


Рисунок 5 - Конденсатор в цепи переменного тока

Если переменное напряжение (1) приложено к конденсатору, то он все время перезаряжается, и в цепи течет переменный ток. Так как все внешнее напряжение приложено к конденсатору, а сопротивлением проводящих проводов можно пренебречь, то

$$\frac{q}{C} = U_C = U_m \cos \omega t.$$

Сила тока

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega C U_m \sin \omega t = I_m \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (7)$$

где $I_m = \omega C U_m = \frac{U_m}{1/(\omega C)}$.

Величина $R_C = \frac{1}{\omega C}$ называется **реактивным емкостным сопротивлением**. Для постоянного тока ($\omega = 0$) $R_C \rightarrow \infty$, т.е. постоянный ток через конденсатор течь не может. Падение напряжения на конденсаторе

$$U_C = U_{Cm} \cos \omega t = \frac{1}{\omega C} I_m \cos \omega t. \quad (8)$$

При сравнении (7) и (8) видно, что падение напряжения U_C отстает по фазе от текущего через конденсатор тока I на $\pi/2$. Это показано на векторной диаграмме (рисунок 6).

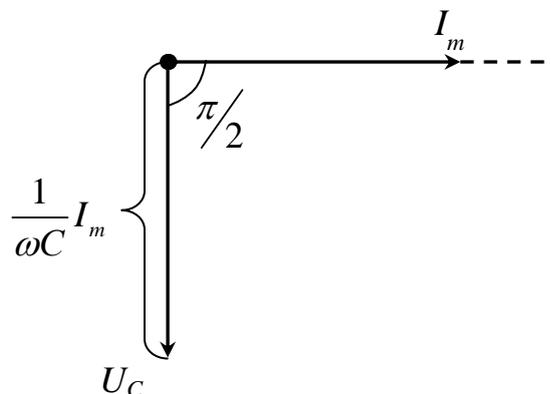


Рисунок 6 - Векторная диаграмма

1.1.4 Цепь переменного тока, содержащие последовательно включенные резистор, катушку индуктивности и конденсатор

На рисунке 7 представлен участок цепи, содержащий резистор сопротивлением R , катушку индуктивностью L и конденсатор емкостью C , к концам которого приложено переменное напряжение (1). В цепи возникает переменный ток, который вызовет на всех элементах цепи соответствующие падения напряжения U_R, U_L, U_C .

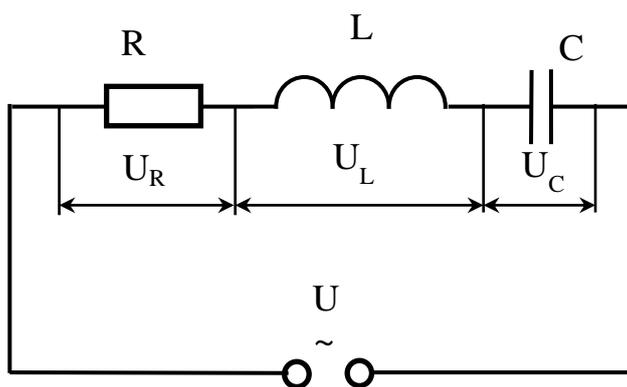


Рисунок 7 – Последовательное включение R, L и C в цепи переменного тока

На рисунке 8 представлена векторная диаграмма падений напряжений на резисторе (U_R), катушке (U_L) и конденсаторе (U_C). Амплитуда U_m приложенного напряжения должна быть равна векторной сумме амплитуд этих падений напряжений.

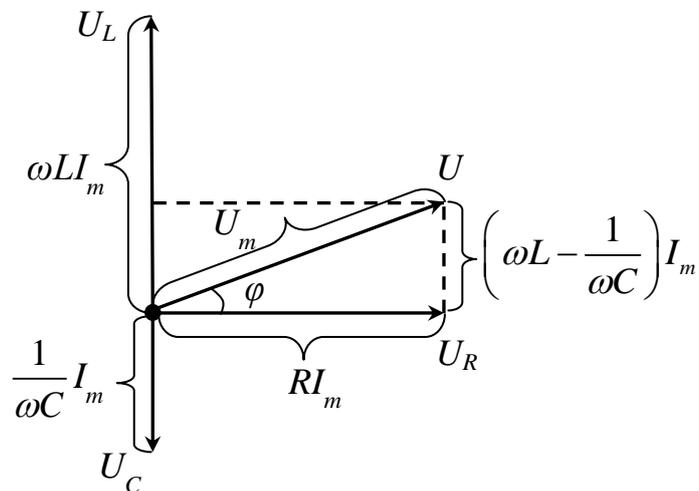


Рисунок 8 - Векторная диаграмма

Как видно из рисунка 8 угол φ определяет разность фаз между напряжением и силой тока. Из рисунка следует, что

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (9)$$

Из прямоугольного треугольника получаем

$$(RI_m)^2 + \left[\left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) I_m \right]^2 = U_m^2,$$

откуда амплитуда силы тока имеет значение

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}. \quad (10)$$

Следовательно, если напряжение в цепи изменяется по закону $U = U_m \cos \omega t$, то в цепи течет ток

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad (11)$$

где φ и I_m определяются соответственно формулами (9) и (10).

Величина

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2} \quad (12)$$

называется **полным сопротивлением** цепи или **импедансом**, а величина

$X = R_L - R_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ **реактивным сопротивлением**.

1.2 Экспериментальная часть

1.2.1 Определение коэффициента самоиндукции

Из (12) при $C \rightarrow \infty$ или отсутствии емкости в цепи имеем, что полное сопротивление цепи

$$R_0 = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

Отсюда следует, что коэффициент самоиндукции (индуктивность):

$$L = \frac{\sqrt{R_0^2 - R^2}}{\omega}, \quad (13)$$

где $R_0 = \frac{U_{\text{эфф}}}{I_{\text{эфф}}} = \frac{U}{I}$ - полное сопротивление катушки,

$R = \frac{U_{\text{пост}}}{I_{\text{пост}}}$ - активное сопротивление катушки (на постоянном токе),

$\omega = 2\pi\nu$ - круговая частота переменного тока ($\nu = 50$ Гц).

Определив величины R_0 , R и ω , можно найти коэффициент самоиндукции (индуктивность катушки) L . В данной работе измеряется индуктивность катушки без сердечника и с железным сердечником.

Для определения величины R_0 , первоначально собирают схему 1 (рисунок 9). Перед включением напряжения реостат должен находиться в крайнем левом положении.

После проверки схемы и включения напряжения реостатом устанавливают три различных напряжения U по вольтметру, отличающихся на 15...20 В, и отсчитывают соответствующие им значения силы тока I по амперметру. Затем вычисляют среднее значение полного сопротивления катушки R_0 и индуктивность катушки L .

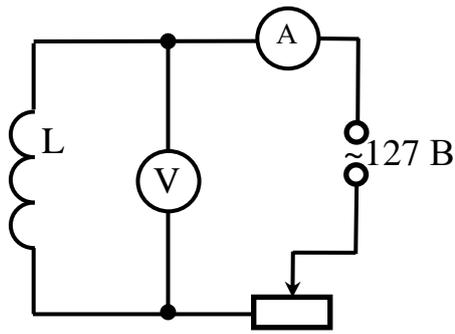


Схема 1

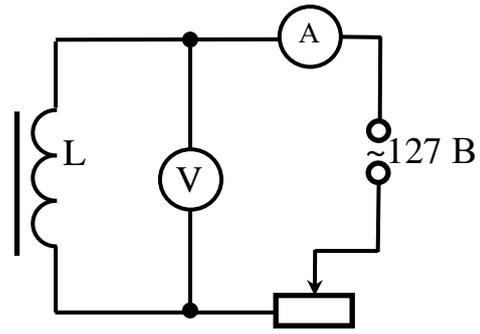


Схема 2

Рисунок 9

Результаты измерений и вычислений записывают в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

	№ опыта	U , В	I , А	R_0 , Ом	\bar{R}_0 , Ом	L , Гн
Без железного сердечника	1					
	2					
	3					
С железным сердечником	1					
	2					
	3					
$R = 110 \text{ Ом}, \nu = 50 \text{ Гц}$						

Аналогичные измерения и вычисления повторяют для схемы 2 (рисунок 9). Схема 2 отличается от схемы 1 наличием внутри катушки железного сердечника. Перед помещением в катушку сердечника схему необходимо обесточить и реостат установить в левое крайнее по схеме положение.

Определите угол φ для катушки с сердечником и без сердечника по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R}.$$

Сделайте выводы.

1.2.2 Определение емкости

Из формулы (12) при $L = 0$ или отсутствии индуктивности полное сопротивление цепи:

$$R_0 = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}.$$

Откуда следует, что емкость

$$C = \frac{1}{\omega \sqrt{R_0^2 - R^2}}, \quad (14)$$

где R_0 и R полное и активное сопротивление цепи.

В случае, когда напряжение измеряется непосредственно на обкладках конденсатора, формула (14) упрощается, так как активное сопротивление в цепи отсутствует ($R = 0$). В этом случае

$$C = \frac{1}{\omega R_0}. \quad (15)$$

$R_0 = \frac{U}{I}$ – полное сопротивление цепи.

Для определения емкости каждого конденсатора, а также емкости при их последовательном и параллельном соединении, собирают схемы 1, 2, 3 и 4 (рисунок 10).

Для каждой схемы производят по два отчета действующих значений напряжения U и тока I . Вычисляют величины R_0 , C и \bar{C} для каждой схемы. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

	№ опыта	$U, В$	$I, А$	$R_0, Ом$	$C, Ф$	$\bar{C}, Ф$
C_1	1					
	2					
C_2	1					
	2					
Последовательное соединение	1					
	2					
Параллельное соединение	1					
	2					

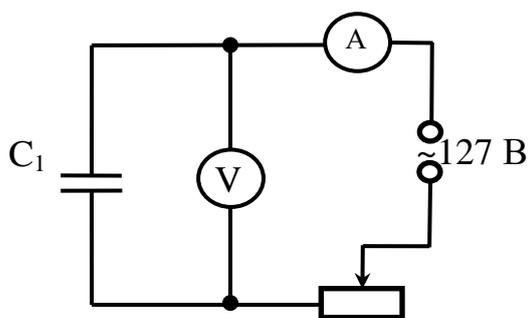


Схема 1

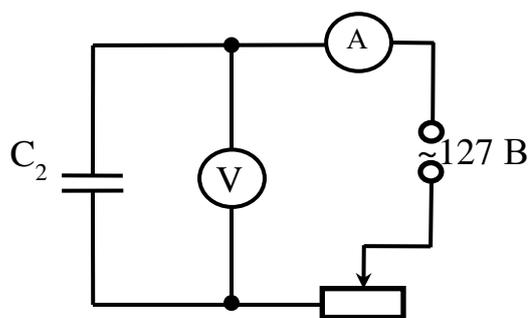


Схема 2

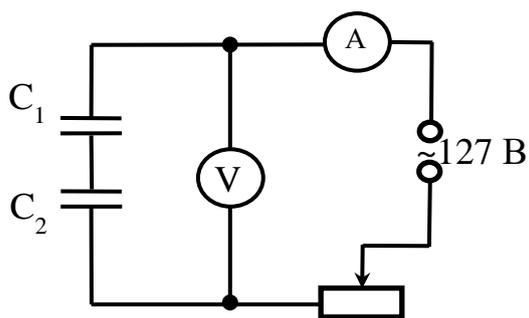


Схема 3

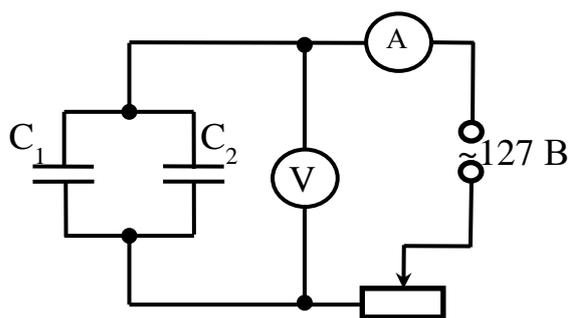


Схема 4

Рисунок 10

Сделайте выводы.

1.2.3 Проверка закона Ома для цепи переменного тока

Собрать схему на рисунке 11 и определить сопротивление R_0 для последовательного соединения R , L и C по показаниям вольтметра и амперметра:

$$R_0 = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Проверить справедливость закона Ома для переменного тока, подставив в формулу (12) значения R , L и C .

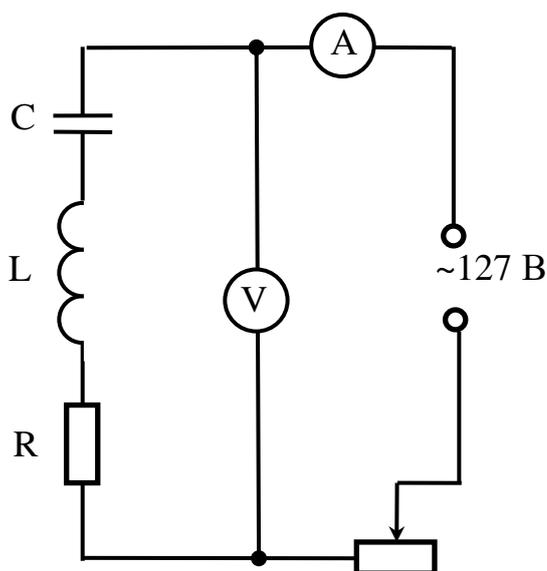


Рисунок 11

1.3 Контрольные вопросы

1. Какой ток называется переменным? Что такое синусоидальный ток?
2. Какие величины надо знать, чтобы написать уравнение синусоидальной ЭДС? Напишите такое уравнение в общем виде.
3. Что такое векторная диаграмма?
4. Чему равно действующее значение переменного тока?
5. Какое сопротивление называется активным, индуктивным, емкостным?
6. Какова зависимость между действующими значениями напряжения и тока в цепях с резистором, индуктивностью, емкостью?
7. Начертите векторные диаграммы для цепей с активным сопротивлением и емкостью, активным сопротивлением и индуктивностью?

Список использованных источников

1. Савельев, И. В. Курс общей физики [Текст] : учебное пособие / И. В. Савельев. – 5-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – (Лучшие классические учебники). – ISBN 978-5-8114-1206-8. Т. 2 : Электричество и магнетизм. – 2011. – 343 с.

2. Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] : учебное пособие для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений / Т. И. Трофимова. – 19-е изд., стер. – Москва : Академия, 2012. – 559 с.
3. Детлаф, А. А. Курс физики [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Высш. шк., 2000. – 718 с.
4. Сивухин, Д. В. Общий курс физики [Текст] : в 5 т.: учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин . – М. : Физматлит, 2002. – ISBN 5-9221-0229-X. – ISBN 5-89155-077-6 Т. 3 : Электричество. – , 2002. – 656 с.