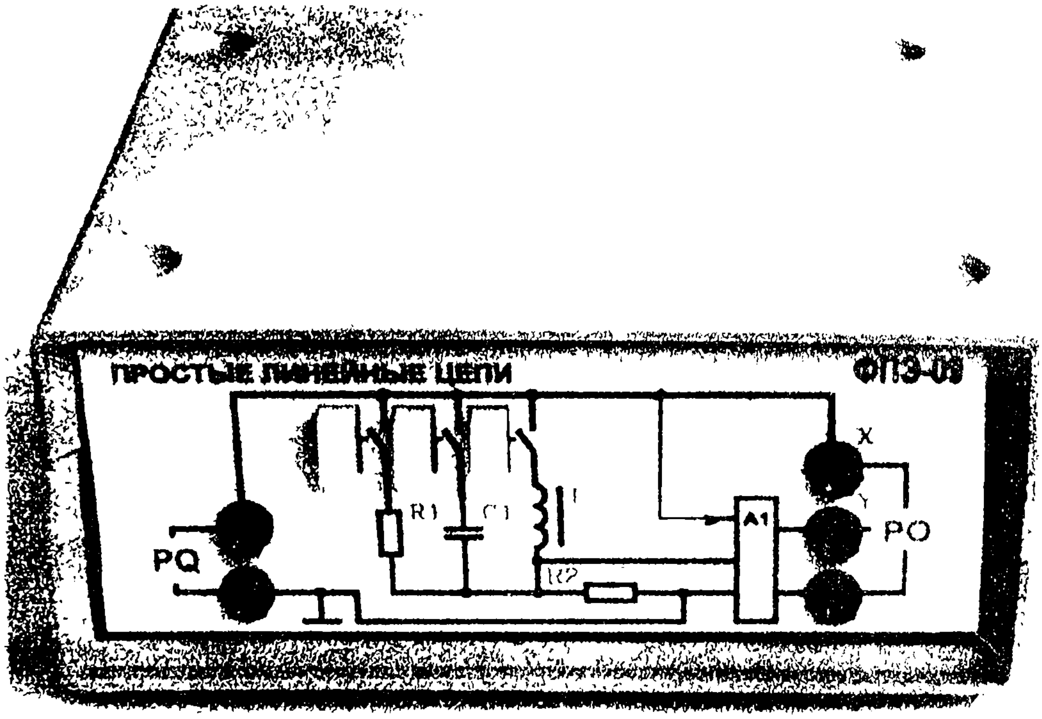
Лабораторная работа 2.06

Изучение электрических процессов в простых линейных цепях при действии гармонической электродвижущей силы



Работа ФПЭ-09. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОСТЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ

Цель работы:

1) изучение электрических процессов в цепях, состоящих из последовательно соединенных элементов: а) двух резисторов (цепь RR), б) резистора и конденсатора (цепь RC), в) резистора и катушки индуктивности (цепь RL);

2) измерение коэффициента передачи цепей RR, RC, RL; изучение зависимости коэффициента передачи цепей RC и RL от частоты входного сигнала;

3) оценка параметров цепей R, C, L;

4) определение разности фаз между колебаниями тока в изучаемых цепях и входным напряжением.

ВВЕДЕНИЕ

Цепь переменного электрического тока представляет собой ряд соединенных между собой в той или иной последовательности элементов, в которых возбуждаются токи одним или несколькими источниками ЭДС.

Все элементы электрической цепи обладают сопротивлением. Это сопротивление может быть двух видов: активное или реактивное. Если при прохождении тока через элемент происходит только необратимое превращение электрической энергии в теплоту, то его сопротивление называют активным. Если же подобной потери электрической энергии не происходит, сопротивление элемента называют реактивным.

Элемент цепи с активным сопротивлением называется резистором. Реактивным сопротивлением – емкостным и индуктивным – обладают соответственно конденсаторы и катушки индуктивности.

Элементы цепи называются идеальными, если они обладают только одним видом сопротивления – активным, емкостным или индуктивным. Для идеальных элементов справедливы соотношения:

$$U_R = RI \qquad R = const; \qquad (9.1)$$

$$U_C = \frac{1}{C} q = \frac{1}{C}\int I dt \qquad C = const; \qquad (9.2)$$

$$U_L = -E_S = L\frac{dI}{dt} \qquad L = const, \qquad (9.3)$$

где R – сопротивление резистора; C – емкость конденсатора; L – индуктивность катушки; U_R , U_C , U_L – падения напряжения (или просто напряжения) на соответствующих элементах; I – ток через элемент; q – заряд конденсатора; $E_S = -L\frac{dI}{dt}$ – ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке индуктивности при прохождении через нее переменного тока.

Элементы цепи могут быть линейными и нелинейными. Если сопротивление элемента не зависит от величины тока в цепи или от напряжения на элементе, то такой элемент называется линейным. Электрические цепи, составленные из линейных элементов, также называются линейными. В линейных цепях электрические процессы описываются линейными алгебраическими или дифференциальными уравнениями. Этому условию, например, отвечают выражения (9.I) – (9.3). Электрические процессы в линейных цепях называются установившимися (стационарными), если закон изменения всех токов и напряжений совпадает с точностью до постоянной величины с законом изменения внешней ЭДС, действующей в цепи. Если это условие не выполняется, процессы называются переходными.

При анализе электрических процессов в цепях переменного тока к мгновенным значениям тока можно применять законы Ома и Кирхгофа и другие правила, установленные для постоянного тока, если переменный ток является квазистационарным. Условие квазистационарности означает, что мгновенные значения переменного тока практически одинаковы на всех участках цепи. Это условие выполняется для медленно изменяющегося тока, когда его мгновенное значение не успевает измениться за время распространения электрического процесса вдоль цепи. Если T – характерное время изменения мгновенного значения тока, а τ – время распространения электрического процесса вдоль цепи протяженностью l со скоростью v (равной по порядку величины скорости распространения электромагнитного возмущения $c = 3 \cdot 10^8$ м/с), то условие квазистационарности запишется в виде $\tau \ll T$.

В дальнейшем будем полагать, что элементы цепи являются идеальными и, в соответствии с соотношениями (9.I) – (9.3), линейными.

Электрические процессы будем считать установившимися, а переменные токи - квазистационарными.

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных резистора R, емкости C и индуктивности L (рис.9.I). Допустим, что источник переменной ЭДС (генератор) не обладает внутренним сопротивлением R_r и создает на входе цепи напряжение U, равное его ЭДС E. Такое допущение всегда можно сделать, включив сопротивление генератора R_r в состав рассматриваемой электрической цепи.

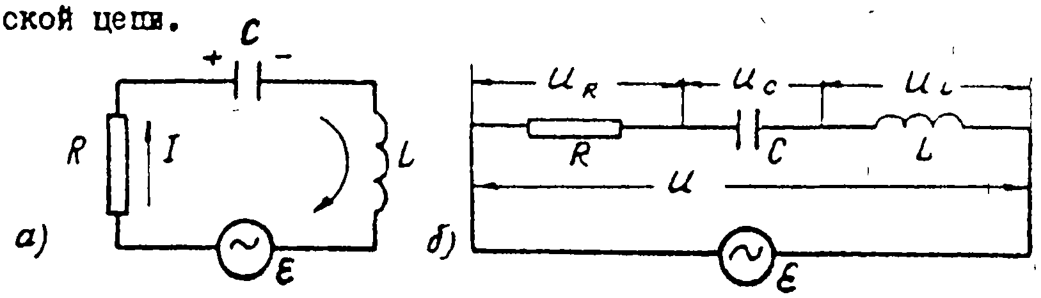


Рис. 9.I

Положим далее, что генератор с гармонической ЭДС

$$E = E_0 \cos \omega t \qquad (9.4)$$

создает в стационарном состоянии в цепи ток

$$I = I_0 \cos (\omega t - \varphi) , \qquad (9.5)$$

где $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ - круговая частота колебаний ЭДС и тока; T - период колебаний; φ - угол сдвига фазы тока относительно фазы ЭДС; E_0 - амплитуда ЭДС; I_0 - амплитуда тока.

Найдем, чему равны амплитуда I_0 и сдвиг фазы φ тока, если известны параметры цепи R, C, L и уравнение для ЭДС (9.4). Одновременно определим, какой вид имеет величина Z, равная отношению амплитуды ЭДС к амплитуде тока: $Z = \frac{E_0}{I_0}$.

Эта величина (по аналогии с законом Ома для замкнутой цепи постоянного тока) называется полным сопротивлением цепи переменного тока.

На основании второго правила Кирхгофа для контура на рис.9.I,а можем записать $U_R + U_C = E_s + E$ или (рис. 9.I,б)

$$U_R + U_C + U_L = E , \qquad (9.6)$$

т.е. сумма напряжений на отдельных элементах контура равна в каждый момент времени внешней ЭДС, действующей в контуре.

Учитывая соотношения (9.I) - (9.3), имеем

$$IR + \frac{1}{C}\int I dt + L\frac{dI}{dt} = E . \qquad (9.7)$$

Подстановка в уравнение (9.7) выражений (9.4), (9.5) и выполнение операций интегрирования и дифференцирования приводит это уравнение к виду

$$I_0 R\cos(\omega t-\varphi)+\frac{I_0}{\omega C}\sin(\omega t-\varphi)-I_0\omega L\sin(\omega t-\varphi)=E_0\cos\omega t .$$

Используя далее соотношения

$$\sin(\omega t-\varphi)=\cos\left(\omega t-\varphi-\frac{\pi}{2}\right), \quad -\sin(\omega t-\varphi)=\cos\left(\omega t-\varphi+\frac{\pi}{2}\right),$$

окончательно получим

$$I_0 R\cos(\omega t-\varphi)+\frac{I_0}{\omega C}\cos\left(\omega t-\varphi-\frac{\pi}{2}\right)+I_0\omega L\cos\left(\omega t-\varphi+\frac{\pi}{2}\right)=E_0\cos\omega t. \quad (9.8)$$

Из уравнения (9.8) можно сделать ряд выводов.

Выпишем из этого уравнения выражения для напряжений U_R, U_C, U_L и рассмотрим их совместно с выражением (9.5) для тока I :

$$\left.\begin{aligned}
U_R&=U_{0R}\cos(\omega t-\varphi), &&\text{где} \quad U_{0R}=I_0 R ;\\
U_C&=U_{0C}\cos\left(\omega t-\varphi-\frac{\pi}{2}\right), &&\text{где} \quad U_{0C}=\frac{I_0}{\omega C} ;\\
U_L&=U_{0L}\cos\left(\omega t-\varphi+\frac{\pi}{2}\right), &&\text{где} \quad U_{0L}=I_0\omega L .
\end{aligned}\right\} \quad (9.9)$$

Сравнивая фазы напряжений U_R, U_C и U_L с фазой тока I, видим, что:

1) напряжение на резисторе U_R совпадает по фазе с током I ;

2) напряжение на емкости U_C отстает по фазе от тока I на угол $\frac{\pi}{2}$;

3) напряжение на индуктивности U_L опережает по фазе ток I на угол $\frac{\pi}{2}$.

Далее найдем отношения амплитуд напряжений U_{0R}, U_{0C}, U_{0L} к амплитуде тока I_0 :

$$\frac{U_{0R}}{I_0}=R; \quad \frac{U_{0C}}{I_0}=\frac{1}{\omega C}, \quad \frac{U_{0L}}{I_0}=\omega L . \quad (9.10)$$

Формулы (9.10) определяют величины, которые называются соответственно активным, реактивным емкостным и реактивным индуктивным сопротивлениями. Емкостное сопротивление обозначается через X_C, индуктивное – через X_L. Из формул (9.10) следует, что активное сопротивление цепи переменного тока равно сопротивлению цепи для постоянного тока, т.е. омическому сопротивлению R, реактивные же сопротивления

$$X_C=\frac{1}{\omega C} ; \quad X_L=\omega L . \quad (9.11)$$

Перейдем к основной задаче: нахождению выражений, определяющих амплитуду тока I_0, сдвиг по фазе φ тока относительно ЭДС и полное сопротивление Z цепи, изображенной на рис. 9.I.

Уравнение (9.8) позволяет решить эту задачу, при этом методы решения могут быть различные. Воспользуемся графическим способом представления гармонических колебаний - методом векторных диаграмм. В этом методе гармоническим величинам (напряжениям, токам) сопоставляются вращающиеся векторы. Для этого на плоскости выбирают произвольное начало координат O и проводят ось X. Изучаемую гармоническую величину изображают вектором, построенным из начала координат. Длина вектора равна (в выбранном масштабе) амплитуде гармонической величины, а угол между вектором и осью X равен углу начальной фазы. Вектор равномерно вращается вокруг точки O с угловой скоростью ω в направлении против часовой стрелки. При этом проекция вектора на ось X в любой момент времени равна мгновенному значению гармонической величины, изменяющейся со временем по закону косинуса.

В соответствии со сказанным левую часть уравнения (9.8) можно рассматривать как сумму проекций векторов, изображающих напряжения U_R, U_C и U_L, а правую часть - как проекцию вектора, изображающего суммарное напряжение $U = E = U_R + U_C + U_L$. Поскольку при сложении векторов сумма проекций слагаемых равна проекции суммы, то можно найти геометрическую сумму векторов, изображающих напряжения U_R, U_C, U_L, и приравнять эту геометрическую сумму вектору, изображающему напряжение $U = E$. Другими словами, вместо алгебраического равенства (9.8) можно рассматривать векторное равенство

$$(\overrightarrow{I_0 R}) - \left(\overrightarrow{\frac{I_0}{\omega C}}\right) + (\overrightarrow{I_0 \omega L}) = \overrightarrow{E_0}, \qquad (9.12)$$

что значительно упрощает нахождение амплитуды I_0 и сдвига фаз φ. На рис. 9.2, а, б построены векторные диаграммы для момента времени $t = 0$, соответствующие уравнениям (9.8) и (9.12).

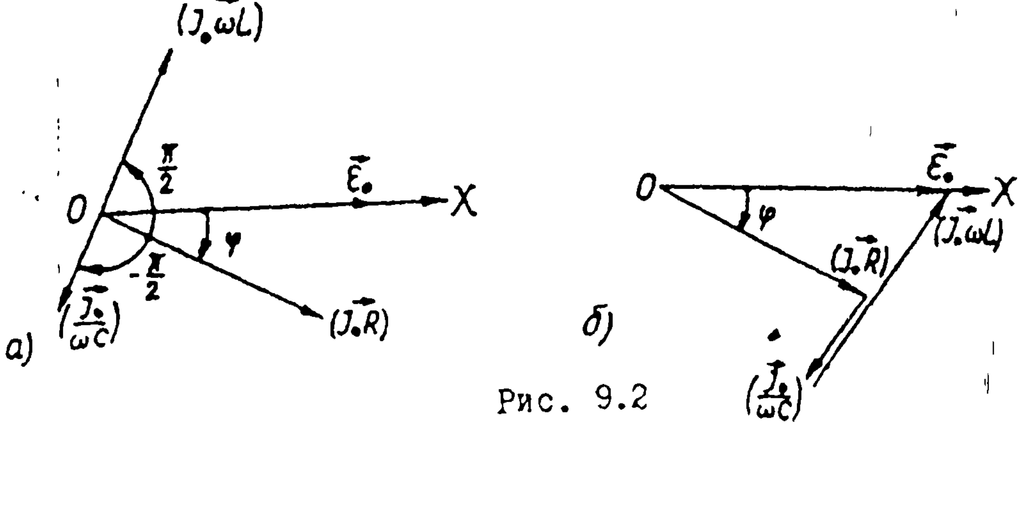


Рис. 9.2

Основным параметром, характеризующим изучаемые цепи, является коэффициент передачи цепи K, представляющий собой отношение амплитуды напряжения на выходе цепи U_{01} к амплитуде напряжения на ее входе U_0:

$$K = \frac{U_{01}}{U_0} . \qquad (9.17)$$

Напряжение на выходе цепи U_1 равно падению напряжения на резисторе R_2:

$$U_1 = IR_2 , \qquad (9.18)$$

т.е. прямо пропорционально току в цепи I и находится в одинаковой с ним фазе. На основании соотношения (9.18) коэффициент передачи цепи можно записать в виде

$$K = \frac{I_0 R_2}{U_0} . \qquad (9.19)$$

Из соотношения (9.18) следует, что для измерения угла сдвига фаз между током в цепи I и входным напряжением U достаточно измерить угол сдвига фаз между напряжениями U_1 и U.

Для схем, изображенных на рис. 9.3, найдем аналитический вид выражений для коэффициента передачи цепи K и угла сдвига фаз φ. Для этого воспользуемся формулами (9.13), (9.14) и (9.19), подставляя в них соответствующие каждой схеме значения сопротивлений, напряжений и токов.

1. Цепь RR: $R = R_1 + R_2$; $X_L = 0$; $X_C = 0$; $E_0 = U_0$.

Из (9.13)

$$I_0 = \frac{U_0}{R_1 + R_2} . \qquad (9.20)$$

Из (9.14)

$$\varphi = 0 . \qquad (9.21)$$

Из (9.19) и (9.20)

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2} . \qquad (9.22)$$

2. Цепь RC: $R = R_1$; $X_L = 0$; $X_C = \frac{1}{\omega C}$; $E_0 = U_0$.

Из (9.13)

$$I_0 = \frac{U_0 \omega C}{\sqrt{1 + (R_2 \omega C)^2}} . \qquad (9.23)$$

Из (9.14)

$$\varphi = -arctg \frac{1}{R_2 \omega C} . \qquad (9.24)$$

Из рис. 9.2,б следуют соотношения:

$$\mathcal{E}_0^2 = I_0^2 R^2 + I_0^2\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2; \qquad tg\,\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R},$$

откуда

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \tag{9.13}$$

$$\varphi = arctg\,\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}; \tag{9.14}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \tag{9.15}$$

Видим, что колебания тока в цепи отстают по фазе от колебаний ЭДС на угол φ, зависящий от частоты и определяемый согласно (9.14). Можно также сказать, что напряжение U во внешней цепи, содержащей последовательно соединенные R, C и L, опережает по фазе ток на угол φ, определяемый выражением (9.14). Полное сопротивление цепи Z, в соответствии с (9.15), также зависит от частоты и может быть записано в виде

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}, \tag{9.16}$$

где $X = X_L - X_C$ – полное реактивное сопротивление цепи. Из формулы (9.16) следует, что активное и реактивное сопротивления цепи складываются геометрически.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

В работе исследуются электрические процессы в цепях, состоящих из следующих последовательно соединенных элементов: а) двух резисторов с сопротивлениями R_1 и R_2 (цепь RR, рис. 9.3,а); б) резистора R_2 и конденсатора C (цепь RC, рис. 9.3,б); в) резистора R_2 и катушки индуктивности L (цепь RL, рис. 9.3,в).

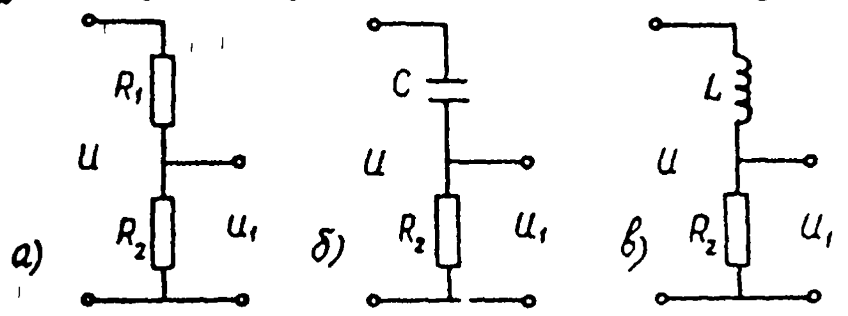


Рис. 9.3

Из (9.19) и (9.23)

$$K = \frac{R_2 \omega C}{\sqrt{1 + (R_2 \omega C)^2}} . \quad (9.25)$$

При высоких частотах ($\omega \to \infty$): $I_0 \approx \frac{V_0}{R_2}$; $\varphi \approx 0$; $K \approx 1$.

Этот результат соответствует тому, что в цепи закорочен конденсатор C .

При низких частотах ($\omega \to 0$):

$$I_0 = V_0 \omega C ; \quad \varphi \approx -\frac{\pi}{2} ; \quad K \approx R_2 \omega C = 2\pi R_2 C \nu \quad (9.26)$$

Этот результат соответствует тому, что в цепи закорочен резистор R_2 .

3. Цепь RL : $R = R_2$; $X_L = \omega L$; $X_C = 0$; $E_0 = V_0$.

Из (9.13)

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{R_2^2 + (\omega L)^2}} . \quad (9.27)$$

Из (9.14)

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R_2} . \quad (9.28)$$

Из (9.19) и (9.27)

$$K = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (\omega L)^2}} . \quad (9.29)$$

При высоких частотах ($\omega \to \infty$):

$$I_0 \approx \frac{V_0}{\omega L} ; \quad \varphi \approx \frac{\pi}{2} ; \quad K \approx \frac{R_2}{\omega L} = \frac{R_2}{2\pi L} \cdot \frac{1}{\nu} . \quad (9.30)$$

Это соответствует тому, что в цепи закорочен резистор R_2 .

При низких частотах ($\omega \to 0$) $I_0 \approx \frac{V_0}{R_2}$; $\varphi \approx 0$; $K \approx 1$.

Это соответствует тому, что в цепи закорочена индуктивность L.

Полученные результаты могут быть использованы для экспериментального определения параметров цепей R , C , L .

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

На рис. 9.4 приведена электрическая схема:

1. ФПЭ-09 – модуль.
2. PQ – генератор.
3. PO – осциллограф.
4. ИП – источник питания.

В кассете ФПЭ-09 собраны изучаемые электрические цепи (рис. 9.5). В нем находится также коммутатор А, применение которого позволяет наблюдать на экране однолучевого осциллографа одновременно два синусоидальных сигнала. Напряжение со входа изучаемой цепи подается на "ВхI" коммутатора, а напряжение с выхода изучаемой цепи - на "Вх2" коммутатора. С выхода коммутатора исследуемые напряжения подаются на вход Y осциллографа.

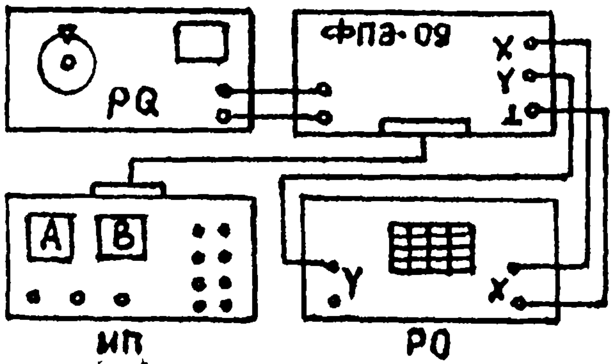


Рис. 9.4

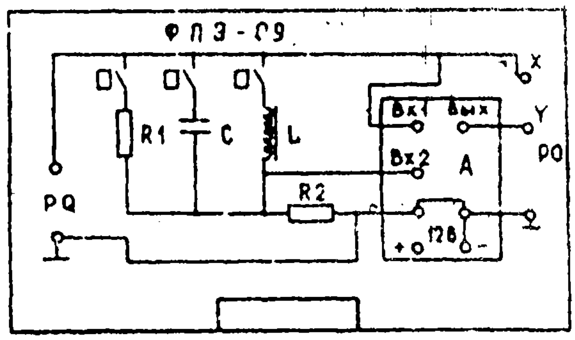


Рис. 9.5

Генератор PQ является источником гармонической ЭДС. Выходное напряжение и частоту генератора можно менять в широких пределах.

Осциллограф PO служит для измерения амплитуд напряжений на входе и выходе цепи, а также для измерения угла сдвига фаз между током в цепи и входным напряжением.

Источник питания ИП предназначен для питания схемы коммутатора.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением заданий ознакомиться с описаниями приборов, используемых в данной установке.

ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ

I. Установить исходное положение кнопочных переключателей на панели модуля ФПЭ-09 : все кнопки отжаты.

2. Установить органы управления на панелях осциллографа PO в положение, обеспечивающее измерение амплитуды и развертку во времени переменного напряжения. Тумблер сигнала синхронизации развертки установить в положение синхронизации внешним сигналом.

3. Подготовить к работе генератор PQ и источник питания ИП.

4. Собрать схему, изображенную на рис. 9.4.

5. После проверки схемы преподавателем или лаборантом присоединить все приборы к сети ~ 220 В. Включить приборы тумблерами "Сеть". Дать приборам прогреться в течение 3 - 5 мин.

6. Установить следующие параметры выходного сигнала генератора: частота – 20 кГц, напряжение – около 2 В.

7. Установить размах колебаний напряжения генератора на экране осциллографа в пределах примерно 2/3 экрана подбором коэффициента отклонения K_y канала вертикального отклонения осциллографа.

8. Получить устойчивое изображение сигнала генератора на экране.

9. Установить такую длительность развертки, при которой на экране наблюдается 2 – 3 периода исследуемого сигнала.

10. Отрегулировать окончательно вертикальный размер изображения сигнала генератора на экране осциллографа с помощью ручки плавной регулировки выходного напряжения генератора. Этот размер изображения сигнала генератора рекомендуется поддерживать постоянным при всех измерениях.

Задание I. Изучение электрических процессов в цепи, содержащей два резистора

1. Замкнуть с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ–09 ветвь, содержащую резистор R_1.

2. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение двух исследуемых сигналов.

3. Зарисовать наблюдаемые колебания на миллиметровой бумаге. Убедиться, что угол сдвига фаз между током в цепи и входным напряжением равен нулю.

4. Произвести измерение амплитуд напряжений на входе и выходе цепи. Для этого измерить величину амплитуды каждого сигнала в делениях шкалы экрана и умножить полученные значения на коэффициент отклонения K_y канала вертикального отклонения осциллографа.

При измерении напряжений с помощью осциллографа, используемого в данной работе, рекомендуется устанавливать такое значение коэффициента отклонения K_y, при котором размер изображения сигнала по вертикали составляет не менее двух делений шкалы экрана.

5. Рассчитать значение коэффициента передачи цепи K по формуле (9.17).

6. Определить величину сопротивления резистора R_1 по формуле (9.22).

7. Оценить погрешности измерения коэффициента передачи цепи и сопротивления резистора R_1.

8. Данные измерений и вычислений занести в табл. 9.1.

Таблица 9.I

U_0			U_{01}			$K=\frac{U_{01}}{U_0}$	ΔK	R_1, Ом	φ град
U_0, дел	K_y, В/дел	U_0, В	U_{01}, дел	K_y В/дел	U_{01} В				

Задание 2. Изучение электрических процессов в цепи, содержащей резистор и конденсатор

1. Замкнуть с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ-09 ветвь, содержащую конденсатор С.

2. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение двух исследуемых сигналов.

3. Зарисовать колебания, наблюдаемые на экране осциллографа при частоте генератора 20 кГц.

4. Определить угол сдвига фаз между током в цепи и входным напряжением при частоте 20 кГц. Для этого измерить в делениях шкалы экрана осциллографа сдвиг по времени Δt между изображениями двух исследуемых сигналов и период колебаний T (рис. 9.6). Разность фаз рассчитать по формуле

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} 360 \ (\text{град}). \quad (9.31)$$

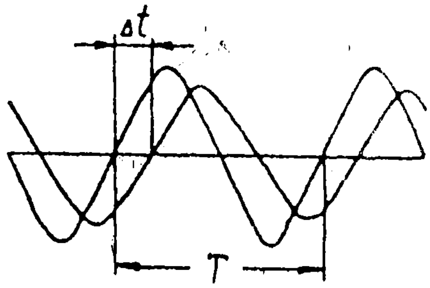


Рис. 9.6

5. Повторить пп. 3,4 при частоте генератора 80 кГц.

6. Провести измерение амплитуд напряжений на входе и выходе цепи при различных значениях частоты генератора ν (по методике, описанной в п.4 задания I). Частоту генератора менять в пределах от 20 до 80 кГц сначала с интервалом 5 кГц (до 40 кГц), а затем с интервалом 10 кГц.

7. Рассчитать значения коэффициента передачи цепи K по формуле (9.17) для всего исследованного диапазона частот.

8. Построить график зависимости коэффициента передачи цепи RC от частоты входного напряжения $K = f(\nu)$.

9. С помощью графика $K = f(\nu)$ оценить величину емкости конденсатора C. Для этого воспользуемся линейным участком графика, который описывается формулой (9.26). Определив тангенс угла наклона линейного участка и приравняв его угловому коэффициенту зависимости (9.26), получим соотношение $tg\alpha = 2\pi R_2 C$, откуда

$$C = \frac{tg\alpha}{2\pi R_2}.$$

10. Рассчитать разность фаз φ по формуле (9.24) при двух значениях частоты генератора: 20 и 80 кГц. Сравнить результаты расчета с результатами непосредственного измерения угла φ.

11. Данные измерений и вычислений занести в табл. 9.2.

Таблица 9.2

ν	U_0			U_{01}			$K=\frac{U_{01}}{U_0}$	C,	Δt,	T,	$\varphi_{изм}$,	$\varphi_{расч}$,
10^4 Гц	U_0, дел	K_y, В/дел	U_0, В	U_{01}, дел	K_y, В/дел	U_{01}, В		Ф	дел	дел	град	град

Задание 3. Изучение электрических процессов в цепи, содержащей резистор и катушку индуктивности

1. Замкнуть с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ-09 ветвь, содержащую катушку индуктивности L.

2. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение двух исследуемых сигналов.

3. Зарисовать колебания, наблюдаемые на экране осциллографа при частоте генератора 30 кГц.

4. Определить угол сдвига фаз между током в цепи и входным напряжением при частоте 30 кГц. Для этого измерить в делениях шкалы экрана осциллографа сдвиг по времени Δt между изображениями двух исследуемых сигналов и период колебаний T (см. рис. 9.6). Разность фаз рассчитать по формуле (9.31).

5. Повторить пп. 3,4 при частоте генератора 100 кГц.

6. Провести измерение амплитуд напряжений на входе и выходе цепи при различных значениях частоты генератора ν (по методике, описанной в пункте 4 задания 1). Частоту генератора менять в пределах от 30 до 100 кГц с интервалом 10 кГц.

7. Рассчитать значения коэффициента передачи цепи K по формуле (9.17) для всего исследованного диапазона частот.

8. Построить график зависимости $K = f\left(\frac{1}{\nu}\right)$.

9. С помощью графика $K = f\left(\frac{1}{\nu}\right)$ оценить величину индуктивности катушки L. Для этого воспользоваться линейным участком графика, который описывается формулой (9.30). Определив тангенс угла наклона линейного участка и приравняв его угловому коэффициенту за-

висимости (9.30), получим соотношение $tg\,\alpha = \frac{R_2}{2\pi L}$,
откуда $L = \frac{R_2}{2\pi\, tg\,\alpha}$.

10. Рассчитать разность фаз φ по формуле (9.28) при двух значениях частоты генератора: 30 и 100 кГц. Сравнить результаты расчета с результатами непосредственного измерения угла φ.

11. Данные измерений и вычислений занести в табл. 9.3.

Таблица 9.3

ν, 10^4 Гц	$\frac{1}{\nu}$, 10^{-5} c^{-1}	V_0			V_{01}			$K=\frac{V_{01}}{V_0}$	L, Гн	Δt, дел	T, дел	$\varphi_{изм}$ град	$\varphi_{расч}$ град
		V_0, дел	K_y В/дел	V_0 В	V_{01} дел	K_y В/дел	V_{01} В						

Контрольные вопросы

1. Какой ток называется квазистационарным? Напишите условие квазистационарности.

2. Получите выражение: а) для емкостного сопротивления; б) для индуктивного сопротивления.

3. Постройте векторную диаграмму для цепи, содержащей последовательно соединенные: а) R и C; б) R и L. Определите с помощью векторной диаграммы для каждой цепи полное сопротивление Z и сдвиг фаз между током и ЭДС.

4. Получите выражение для коэффициента передачи цепи для схемы, состоящей: а) из R и C; б) из R и L.

5. Как в работе проводится оценка: а) величины емкости конденсатора C; б) величины индуктивности катушки L?

Литература: [2], гл.XXI, с. 465...473; гл.XII, с. 269-270;
[1], § 88, 91, 92; [4], с. 305.