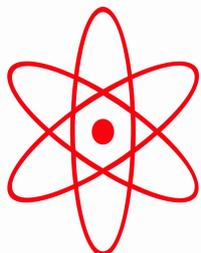


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБО-
РАТОРНОЙ РАБОТЫ



ФЭЛ-1

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И
ПАРАЛЛЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ**

Тула, 2009 г

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Цель работы: Изучение установившихся вынужденных колебаний в цепях переменного тока. Получение зависимостей амплитуды тока (при параллельном включении элементов контура) и напряжения на конденсаторе (при последовательном включении элементов контура) колебательного контура от частоты электродвижущей силы внешнего источника. Построение амплитудно-частотных характеристик колебательных контуров с последовательным и параллельным соединениями их элементов.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Электрический колебательный контур.

Колебательная система, используемая в радиотехнических устройствах, представляет собой электрическую цепь, состоящую из емкости C , индуктивности L и активного сопротивления R .

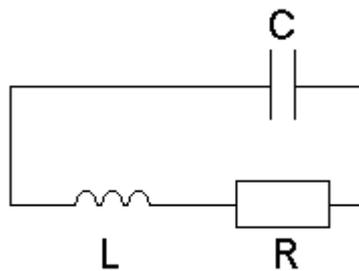


Рис. 1. Электрический колебательный контур.

Наличие сопротивления R обуславливает потери электрической энергии в контуре. Такой контур является затухающим гармоническим осциллятором, для которого справедливо следующее дифференциальное уравнение свободного колебательного процесса:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\delta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0, \quad (1.1)$$

где q – заряд конденсатора, $2\delta = \frac{R}{L}$ (δ - коэффициент затухания контура);

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - круговая частота свободных электрических колебаний контура.

С течением времени свободный колебательный процесс в контуре будет затухать. Для получения незатухающих колебаний необходимо непрерывно по-

полнять запас энергии контура, чтобы скомпенсировать потери. С этой целью контур подключается к генератору переменного тока. Незатухающие колебания, возникающие в контуре, называются вынужденными, поскольку их частота определяется частотой генератора. В этом случае дифференциальное уравнение колебательного процесса примет вид:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\delta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = F_0 \cos \omega t \quad (1.2)$$

В настоящей задаче исследуются вынужденные колебания в колебательном контуре, элементами которого являются конденсатор C , индуктивность L и активное сопротивление R , соединенные последовательно (рис. 1,а) или параллельно (рис. 1,б) с источником питания. При этом в качестве источника питания используется либо генератор переменной ЭДС $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ (рис. 1,а), либо генератор переменного тока $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ (рис. 1,б).

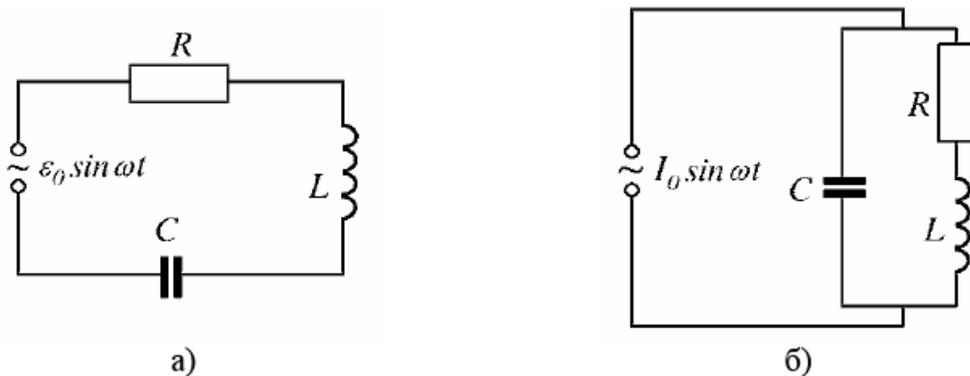


Рис. 1. Электрические схемы последовательного (а) и параллельного (б) контуров

Последовательное соединение элементов контура.

Рассмотрим электрическую цепь, включающую в себя внешний источник, ЭДС которого меняется по гармоническому закону $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ конденсатор C , индуктивность L и активное сопротивление R (см. рис. 1а). Записывая закон Кирхгофа для этой цепи, получим уравнение вынужденных колебаний в контуре:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{C} = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega t) \quad (1.3)$$

где I - ток, протекающий в контуре; q - заряд на пластине конденсатора; ε_0 - амплитуда напряжения источника ЭДС; ω - частота источника ЭДС. Так как сила тока $I = \frac{dq}{dt}$, то уравнение (1.3) можно записать в следующем виде

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega t) \quad (1.4)$$

Разделим обе части уравнения (1.4) на L и введя обозначения

$$\frac{R}{2L} = \delta, \quad \frac{1}{LC} = \omega_0^2 \quad (1.5)$$

где ω_0 - собственная частота колебательного контура в отсутствие затухания, δ - коэффициент затухания колебаний.

С учетом обозначений (1.5) уравнение (1.4) может быть преобразовано к следующему виду:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\delta \cdot \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 \cdot q = \frac{\varepsilon_0}{L} \cdot \sin \omega t. \quad (1.6)$$

Для установившихся колебаний решение этого уравнения будет выглядеть следующим образом:

$$q = q_0 \cdot \sin(\omega t - \theta), \quad (1.7)$$

где

$$q_0 = \frac{\varepsilon_0}{L \cdot \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \delta^2}} \quad (1.8)$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{2\omega \delta}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (1.9)$$

Используя выражение (1.7) для q , можно установить закон изменения тока в цепи:

$$I = \frac{dq}{dt} = q_0 \cdot \omega \cos(\omega t - \theta) = q_0 \cdot \omega \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (2.0)$$

где $\varphi = \theta - \frac{\pi}{2}$ - разность фаз между ЭДС и током в цепи, $I_0 = q_0 \omega$ - амплитуда колебаний силы тока в цепи а:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\omega \delta} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (2.1)$$

С учетом (1.8) можно записать выражение для зависимости амплитуды тока в цепи от частоты ЭДС:

$$I_0 = q_0 \omega = \frac{\omega \cdot \varepsilon_0}{L \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4 \omega^2 \delta^2}} = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (2.2)$$

Из формулы (2.2) видно, что амплитудное значение силы тока зависит от частоты ω . Рассмотрим полученные результаты подробнее. При $\omega = 0$ амплитуда тока $I_0 = 0$. С ростом частоты I_0 возрастает и при $\omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ амплитуда тока достигает максимального значения $I_{0\max} = \frac{\varepsilon_0}{2\delta L} = \frac{\varepsilon_0}{R}$, разность фаз φ при этом равна нулю. При дальнейшем увеличении частоты I_0 уменьшается, и при $\omega \rightarrow \infty$ амплитуда тока $I_0 \rightarrow 0$. В итоге зависимость $I_0(\omega)$ имеет вид, представленный на рис. 2 (для двух значений активного сопротивления). Эта зависимость получила название амплитудночастотной характеристики контура.

Из рис. 2 видно, что чем меньше R (меньше коэффициент затухания δ), тем больше I_0 и тем «острее» максимум кривой.

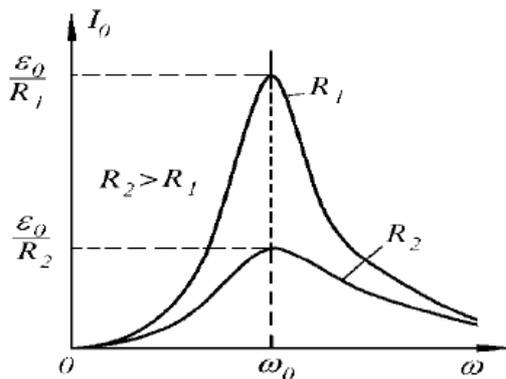


Рис. 2. Зависимость I_0 от частоты ω для двух значений R .

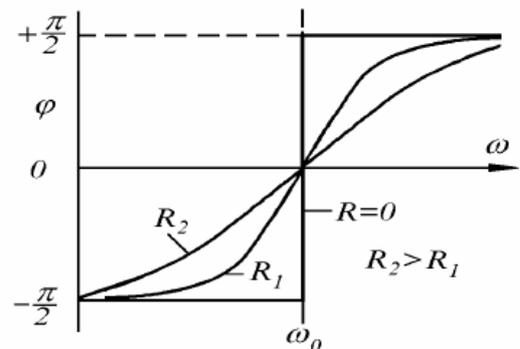


Рис. 3. Зависимость φ от частоты ω для двух значений R .

На рис.3 приведены зависимости разности фаз между ЭДС и током в цепи φ от частоты ω . Видно, что при частотах, близких к нулю, разность близка к $-\frac{\pi}{2}$ (говорят, что напряжение отстает по фазе от тока на $\frac{\pi}{2}$), при больших частотах разность фаз стремится к $+\frac{\pi}{2}$ (напряжение опережает ток по фазе на $\frac{\pi}{2}$). При частоте $\omega = \omega_0$ разность фаз равна нулю. Из рис.3 видно, что чем меньше R , тем быстрее изменение φ вблизи частоты $\omega = \omega_0$, в предельном случае при $R = 0$ фаза изменяется скачком при $\omega = \omega_0$.

Найдем теперь зависимость напряжения на конденсаторе $U_C = \frac{q}{C}$ от частоты ω . Так как $q = \int Idt$, то, проинтегрировав выражение (2.0), получим:

$$U_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int I_0 \sin(\omega t - \varphi) dt = -\frac{I_0}{\omega C} \cos(\omega t - \varphi) = U_{C_0} \sin(\omega t - \varphi_C) \quad (2.3)$$

где

$$U_{C_0} = \frac{\varepsilon_0}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (2.4)$$

- амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе, $\varphi_C = \left(\varphi + \frac{\varphi}{2}\right)$ - разность фаз между ЭДС и напряжением на конденсаторе. При $\omega = \omega_0$ получим:

$$U_{C_0} = \frac{\varepsilon_0}{\omega_0 CR} \approx \frac{\varepsilon_0}{\frac{1}{\sqrt{LC}} CR} = \varepsilon_0 \cdot \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \varepsilon_0 \cdot Q, \quad (2.5)$$

где $Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ - добротность контура. Значение добротности характери-

зует величину потерь энергии в контуре - чем меньше потери, тем больше добротность. Из формулы (2.5) видно, что при $\omega = \omega_0$ напряжение на конденсаторе в Q раз больше ЭДС источника. Это явление носит название резонанса напряжений. Можно показать, что амплитуда колебаний напряжения на индуктивности $U_{L_0} = L \frac{dI}{dt}$ при $\omega = \omega_0$ также будет равна $\varepsilon_0 \cdot Q$, но при этом напряжение на индуктивности будет меняться в противофазе с напряжением на конденсаторе.

Из формулы (2.4) можно найти частоту ω_C , при которой напряжение на конденсаторе будет максимальным. Для этого надо решить уравнение $\frac{dU_{C_0}}{d\omega} = 0$. После несложных, но громоздких преобразований можно получить:

$$\omega_C = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{R}{L}\right)^2} = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} < \omega_0 \quad (2.6)$$

и

$$U_{C_0}(\omega_C) = \frac{\varepsilon_0}{CR \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \quad (2.7)$$

При $Q \gg 1$ можно записать $\omega_C \approx \omega_0$, а $U_{C_0}(\omega_C) = \varepsilon_0 \cdot Q$.

По определению, добротность $Q = \frac{\pi}{\theta}$ где θ - логарифмический декремент затухания свободных колебаний в контуре. В свою очередь, $\theta = \delta T$, где

$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$ (затухание мало, поэтому $\omega_0^2 \gg \delta^2$), и после несложных преоб-

разований можно получить формулу $Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$. Также для добротности часто

приводят формулу $Q = 2\pi \cdot \frac{W}{\Delta W}$, где W - энергия, запасенная в контуре, ΔW — потери энергии в контуре за период колебаний.

Таким образом, измеряя напряжение на конденсаторе на резонансной частоте, можно определить добротность контура Q . На рис. 4 приведен вид зависимости амплитуды напряжения на конденсаторе от частоты ЭДС внешнего источника.

При $\omega = 0$ $U_{C0} = \varepsilon_0$, по мере увеличения частоты U_{C0} растет и при $\omega = \omega_0$ достигает своего максимального значения $(U_{C0})_{max} \approx \varepsilon_0 \cdot Q$ после чего начинается монотонное убывание напряжения до нуля. Обратим внимание на тот факт, что частота ω_c , при которой амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе максимальна, несколько меньше частоты ω_0 , для которой максимальна амплитуда силы тока.

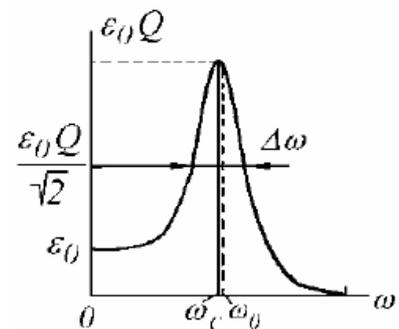


Рис. 4. Вид резонансной кривой для напряжения на конденсаторе.

Обычно вводится понятие ширины резонансной кривой $\Delta\omega$ - это диапазон частот, для которых амплитуда напряжения отличается от амплитуды напряжения в резонансе не более, чем в $\sqrt{2}$ раз.

Можно показать, что для $\Delta\omega \ll \omega_0$ справедливо соотношение $\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}$

или $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$. Таким образом, определяя ширину резонансной кривой, можно также найти добротность контура Q .

График зависимости разности фаз между напряжением источника ЭДС и напряжением на конденсаторе будет иметь такой же вид, как на рис. 3, только «приподнятый» на $\frac{\pi}{2}$, т. к. $\varphi_c = \varphi + \frac{\pi}{2}$. Иными словами, в точке резонанса, когда ток и напряжение источника совпадают по фазе, напряжение на конденсаторе будет отставать по фазе от напряжения источника на $\frac{\pi}{2}$.

Напряжение на конденсаторе всегда (а не только при резонансе) отстает по фазе от тока, протекающего через конденсатор, на $\frac{\pi}{2}$, в свою очередь, напряжение на индуктивности всегда опережает по фазе ток на $\frac{\pi}{2}$.

Параллельное соединение элементов контура.

Для изучения явлений, наблюдаемых при параллельном соединении элементов контура (рис. 1,б), воспользуемся широко применяемым для расчета цепей переменного тока методом комплексных амплитуд.

Известно, что любой гармонический сигнал:

$$x = x_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.1)$$

можно представить в комплексном виде:

$$X = \text{Im}(x_0 \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}) = \text{Im}(x_0 \cdot e^{j\varphi} \cdot e^{j\omega t}) = \text{Im}(X_0 \cdot e^{j\omega t}) \quad (3.2)$$

где знак Im означает, что берется только мнимая часть выражения, заключенного в скобки; $X_0 = x_0 e^{j\varphi}$ - комплексная амплитуда гармонического сигнала.

Представление гармонического сигнала в комплексном виде позволяет упростить рассмотрение процессов, происходящих в цепях переменного тока. Так как частота ω одна и та же для всех колебаний в цепи, то множитель $e^{j\omega t}$ можно не указывать, в этом случае закон Ома может быть записан не для мгновенных значений тока и напряжения в цепи, а для их комплексных амплитуд:

$$U = Z \cdot I \quad (3.3)$$

где U и I - комплексные амплитуды колебаний напряжения и тока в цепи соответственно; Z - комплексное сопротивление цепи, называемое импедансом. Если участок цепи содержит только активное сопротивление R , либо только конденсатор емкостью C , либо только катушку индуктивности L , то соответствующие выражения для импеданса имеют вид:

$$Z_R = R, \quad Z_C = \frac{1}{i\omega C}, \quad Z_L = i\omega L. \quad (3.4)$$

Зная эти соотношения и применяя законы Кирхгофа к цепям переменного тока, можно сформулировать следующее правило для расчета комплексного сопротивления цепи: поставить в соответствие каждому элементу цепи его комплексное сопротивление, а затем использовать правила вычисления суммарного сопротивления цепи для постоянного тока, т. е. при последовательном соединении сопротивления складываются, при параллельном - складываются обратные величины (проводимости).

Значение импеданса в общем виде может быть представлено в следующем виде:

$$Z = X + jY = |Z| \cdot e^{j\varphi} \quad (3.5)$$

где X и Y — соответственно активная и реактивная составляющие

комплексного сопротивления; $|Z| = \sqrt{X^2 + Y^2}$ - модуль импеданса;
 $\varphi = \arctg\left(\frac{Y}{X}\right)$ - фазовая характеристика импеданса.

Применим полученные соотношения для расчета цепи с параллельным соединением элементов контура (рис. 1,б). Импеданс цепи находится из следующего соотношения:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R + j\omega L} + j\omega C \quad (3.6)$$

или

$$Z = \frac{R + i\omega L}{1 + i\omega C \cdot (R + i\omega L)} = \frac{R + i\omega L}{1 - \omega^2 CL + i\omega CR} \quad (3.7)$$

Умножая числитель и знаменатель (3.7) на $(1 - \omega^2 CL) - j(\omega CR)$, получаем:

$$Z = \frac{R + j\omega \cdot [L(1 - \omega^2 LC) - CR^2]}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 R^2} \quad (3.8)$$

При равенстве мнимой части импеданса нулю, т. е. при выполнении соотношения:

$$L(1 - \omega^2 LC) - CR^2 = 0 \quad (3.9)$$

сопротивление цепи эквивалентно омическому.

Решая уравнение (3.9) относительно ω , получаем:

$$\hat{\omega}^2 = \frac{L - CR^2}{L^2 C} = \omega_0^2 - R^2 \frac{C}{L} \cdot \omega_0^2 \approx \omega_0^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{Q^2}\right) \quad (3.10)$$

где $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - собственная частота незатухающих колебаний в контуре;

$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ - добротность контура.

Можно показать, что в этом случае модуль импеданса принимает **максимальное значение**, равное:

$$|Z| = \frac{L}{CR} \approx RQ^2 \quad (3.11)$$

В настоящей работе для изучения резонанса в параллельном колебательном контуре используется генератор переменного тока $I(t) = I_0 \cdot e^{j\omega t}$, где I_0 — амплитудное значение силы тока. Тогда значение комплексной амплитуды падения

напряжения на контуре находится из соотношения:

$$U_0 = Z \cdot I_0 = |Z| \cdot I_0 \cdot e^{i\varphi}, \quad (3.12)$$

где

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega \cdot [L(1 - \omega^2 LC) - CR^2]}{R}$$

- разность фаз между падением напряжения на контуре и током.

Для частоты $\hat{\omega}$ падение напряжение на контуре будет максимальным:

$$\hat{U}_0 = \frac{L}{CR} I_0$$

а общий ток цепи минимален.

Можно рассчитать комплексную амплитуду силы тока, протекающего через конденсатор в этом случае (при $Q \gg 1$):

$$\hat{I}_{0C} = \frac{\hat{U}_0}{Z_C} = \frac{L}{CR} \cdot I_0 \cdot i\hat{\omega}C \approx i \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot I_0 \approx iQ \cdot I_0. \quad (3.13)$$

Таким образом, ток, протекающий через конденсатор, по модулю в Q раз больше тока, даваемого генератором. Это явление носит название резонанса тока. Присутствие мнимой единицы в выражении (3.13) означает, что ток через конденсатор и ток от генератора отличаются по фазе на $\frac{\pi}{2}$.

Если активное сопротивление контура R равно нулю (идеальный контур), то результирующее значение тока $I_{вн}$ во внешней цепи контура будет равно нулю, т. е. сопротивление идеального параллельного колебательного контура при резонансе бесконечно велико ($Z_{рез} = \infty$). Для проверки данного соотношения достаточно подставить выражение для $\hat{\omega}$ (3.10) в формулу (3.8) с учетом равенства активного сопротивления нулю $R=0$. В реальном контуре часть энергии расходуется в активном сопротивлении, т. е. в контуре могут существовать только затухающие колебания и результирующий ток во внешней цепи не равен нулю, но достигает своего минимального значения.

На рис.5 приведены резонансные кривые тока во внешней цепи I и напряжения параллельного колебательного контура U_K .

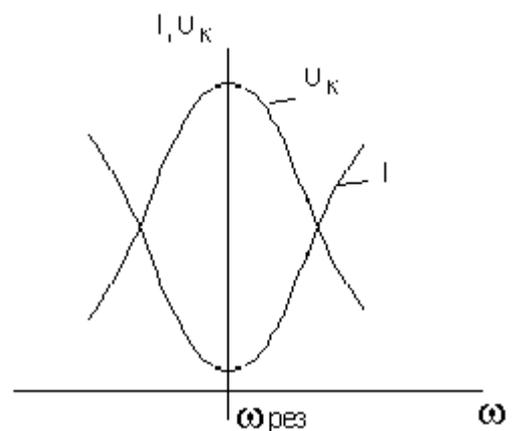


Рис.5. Резонансные кривые тока во внешней цепи I и напряжения U_K параллельного колебательного контура.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование явления резонанса проводится на экспериментальной установке ФЭЛ-1 по схемам, изображенным на рис. 6 а) и б).

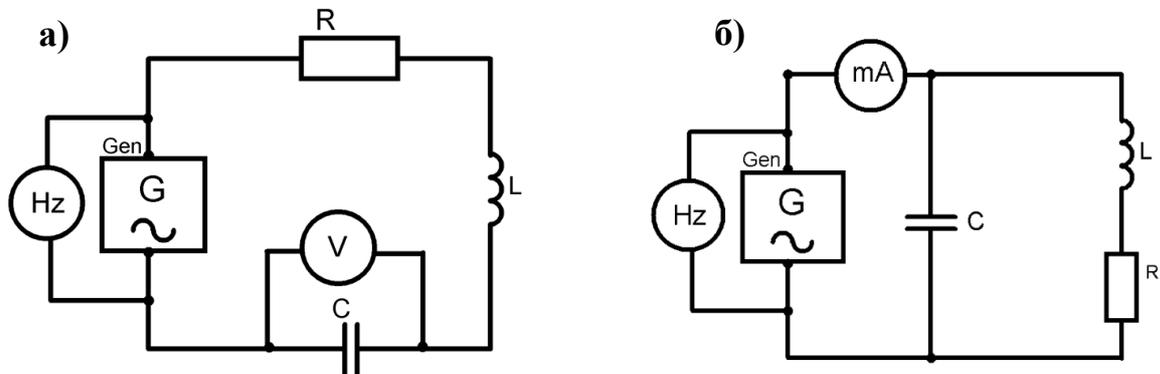


Рис.6. Принципиальные блок-схемы для изучения явления резонанса в последовательном и параллельном колебательном контуре.

Напряжение синусоидальной формы поступает на последовательный рис. 6 а) либо параллельный рис. 6 б) колебательный контур. Выбор эксперимента осуществляется при выключенном генераторе (кнопка «ГЕНЕРАТОР» должна быть отжата — в противном случае появится предупреждение) с помощью кнопки «РОД РАБОТЫ», символ * на дисплее указывает на текущее положение переключателя. Для начала эксперимента следует нажать кнопку «ENTER». Кнопки «РОД РАБОТЫ» и «ENTER» выполняют также функцию переключения диапазонов цифрового генератора «ДИАПАЗОН». Для возвращения к меню выбора эксперимента служит кнопка «ESC». Для **надежного срабатывания кнопки необходимо удерживать нажатыми в течение 1 секунды**. Установка параметров контура осуществляется ручками C, L и R так же при отключенном генераторе. Текущее значение параметров отображается на ЖКД LCD индикаторе. Генератор позволяет подавать на контур переменное синусоидальное напряжение в диапазоне частот от 100 Гц до 20 кГц. Для переключения поддиапазонов используются кнопки «ДИАПАЗОН». Текущее значение частоты измеряется специальным частотомером с точностью не хуже ± 5 Гц и выводится на индикатор. Измеренное значение напряжения на конденсаторе для последовательного контура и значение тока во внешней цепи для параллельного контура измеряется чувствительными цифровыми измерительными приборами (точность показаний вольтметра не хуже чем $\pm 0,005$ В, точность показаний миллиамперметра не хуже чем $\pm 0,005$ mA). В пределах точности измерительных приборов допускается нестабильность показаний.

Порядок выполнения.

1. Перед началом работы ознакомится с принципиальными схемами установки, разобраться в назначении ручек и кнопок учебного модуля. Проверить целостность сетевого провода.

2. Включить установку в сеть ~ 220 В. Поставить переключатель «СЕТЬ» в положение «ВКЛ» при этом должен загореться сигнальный индикатор «сеть». Кнопка «ГЕНЕРАТОР» должна отжата, генератор выключен.

3. Пользуясь интерактивным меню, отображаемом на дисплее прибора, выбрать необходимый эксперимент (**обычно первый опыт — изучение резонанса в последовательном контуре**). Для перемещения по пунктам меню служит кнопка «РОД РАБОТЫ». Текущее положение отображается на дисплее символом «*».

4. Для начала эксперимента нажать кнопку «ENTER».

5. Установить емкость, индуктивность и активное сопротивление контура с помощью соответствующих ручек на передней панели учебной установки (ручки R, L, C). Текущее значение параметров отображается на дисплее. **Значение активного сопротивления катушки самоиндукции $r=50$ Ом, при расчетах его следует прибавлять к активному сопротивлению цепи R.** Для первого эксперимента рекомендуется установить следующие значения параметров контура: $L \approx 50$ мГн; $C \approx 13$ нФ; $R \approx 30$ Ом.

6. Определить теоретическое значение резонансной частоты для напряжения на конденсаторе по формуле, легко получаемой из (2.6):

$$\nu_{C \text{ теор}} = \frac{\omega_C}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{2} \left(\frac{R}{L}\right)^2}}{2\pi}$$

И теоретическое значение добротности контура по формуле:

$$Q_{\text{экс}} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

7. Включить генератор, нажав кнопку «ГЕНЕРАТОР».

8. Снять зависимость амплитуды напряжения на конденсаторе U_{C0} от частоты источника ЭДС ν (амплитудно-частотную характеристику контура) в пределах приблизительно ± 2000 Гц от резонансной частоты. Определить шаг изменения частоты генератора, обеспечивающее достаточно детальное измерение зависимости $U_{C0}(\nu)$, особенно в области резонанса.

9. Построить резонансную кривую $U_{C0}(\nu)$. Кривая должна иметь вид аналогичный рисунку 2.

10. Определить по графику экспериментальное значение резонансной

частоты $(\nu_C)_{\text{экс.}}$, ширину графика $\Delta \nu_C$ на высоте $\frac{(U_{C0})_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$ (на высоте в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем при резонансе см. рис. 4) и экспериментальное значение добротности контура по формуле:

$$Q_{\text{экс.}} = \frac{\nu_C}{\Delta \nu}$$

11. Сравнить полученные вами экспериментальные значения величин с предварительными теоретическими расчетами.
12. Выключить генератор, отжав кнопку «ГЕНЕРАТОР».
13. Установить другое значение активного сопротивления контура ($R \approx 200 \text{ Ом}; 500 \text{ Ом}; 800 \text{ Ом}$) и повторить пп. 6-11.
14. Отжать кнопку «ГЕНЕРАТОР» и установить другие параметры L и C контура и повторить пп. 6-11.
15. Отжать кнопку «ГЕНЕРАТОР», выключив встроенный генератор.
16. Нажать кнопку «ESC» и выйти в меню выбора эксперимента.
17. Выбрать другой контур для изучения (второй опыт — параллельный контур).
18. Установить необходимые параметры контура (R, L, C) для проведения эксперимента. Для первого эксперимента рекомендуется установить следующие значения параметров контура: $L \approx 50 \text{ мГн}; C \approx 13 \text{ нФ}; R \approx 30 \text{ Ом}$.
19. Рассчитать теоретически резонансную частоту контура по формуле получаемой из выражения (3.10):

$$(\nu_{\text{рез}})_{\text{теор}} = \frac{\omega_0 \sqrt{\left(1 - R^2 \frac{C}{L}\right)}}{2\pi}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

20. Включить генератор, нажав кнопку «ГЕНЕРАТОР».
21. Снять зависимость амплитуды силы тока во внешней цепи I от частоты источника ЭДС ν в пределах приблизительно $\pm 2000 \text{ Гц}$ от резонансной частоты. Определить шаг изменения частоты генератора, обеспечивающее достаточно детальное измерение зависимости $I(\nu)$, особенно в области резонанса.
22. Построить резонансную кривую $I(\nu)$. Кривая должна иметь вид аналогичный рисунку 5.
23. Определить по графику экспериментальное значение резонансной частоты $(\nu_{\text{рез}})_{\text{экс.}}$ и сравнить его с теоретическим расчетом.
24. Отжать кнопку «ГЕНЕРАТОР», выключив встроенный генератор.
25. Изменить параметры контура R, L, C и провести снятие резонансной кривой при других параметрах, повторяя пп. 19-23.

26. По окончании работы выключить установку, поставив переключатель «СЕТЬ» в положение «выкл», при этом должен погаснуть сигнальный светодиод «сеть» и вынуть сетевую вилку из розетки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. При каких условиях возникает резонанс в электрическом колебательном контуре?
2. От чего зависит амплитуда силы тока в электрическом колебательном контуре при резонансе?
3. Могут ли возникнуть колебания в контуре, состоящем из сопротивления и конденсатора, а так же сопротивления и индуктивности?
4. От чего зависит период собственных колебаний в контуре?
5. В каком контуре возникает резонанс токов?
6. При каком условии может возникнуть резонанс напряжений в последовательном колебательном контуре?
7. Какие физические величины изменяются при колебаниях в электрическом колебательном контуре?
8. Чему равно сопротивление контура при резонансе напряжений?
9. От каких физических величин зависит сопротивление параллельного колебательного контура при резонансе?
10. Как изменится резонансная частота колебательного контура, если его индуктивность возрастёт (уменьшится)?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Г.С. Горелик. Колебания и волны – М. – Л.: Госиздат. технико- теоретической литературы, 1950. – С.79 – 101.
2. Л.А. Аксенович, И.И. Ракитина. Физика. Колебания и волны.- Мн: Дизайн ПРО, 1997. – С. 60 – 62.
3. Н.И. Максимов, В.С. Попов. Теоретическая электротехника. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1958. – С. 356 – 361, 400 – 408.
4. И.Е. Иродов. Электромагнетизм (основные законы), 2001г., глава 11
5. А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. Курс физики, 2000, главы 27 и 28.
6. Т.И. Трофимова. Курс физики, 1985, глава 18
7. И.В. Боднарь, Л.Г. Березуцкий «Методическое пособие к лабораторным работам по курсу ФХОМКиТ РЭС и ЭВС». Мн.; БГУИР, 1997 г.
8. Б. Ф. Алексеев, К. А. Барсуков «Лабораторный практикум по физике: Учебное пособие для студентов вузов», М., Высш. шк., 1988 г.

ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ,

НПО учебной техники «ТУЛАНАУЧПРИБОР»