

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

Хазанова С.В., Нежданов А.В., Голиков О.Л.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР: ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Практикум

Рекомендовано методической комиссией физического факультета для
студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки
11.03.04 – Электроника и наноэлектроника
28.03.01 – Нанотехнологии и микросистемная техника

Нижний Новгород
2021

УДК 621.37/39 (077)

ББК 32.84 р

М25

М25 Хазанова С.В., Нежданов А.В., Голиков О.Л. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ: Практикум. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского 2021. – 20 с.

Данная работа является частью лабораторного практикума по курсу “Теоретические основы электро- и радиотехники”. В ней детально рассмотрены электрические колебания в последовательном и параллельном колебательных контурах при импульсном и гармоническом воздействиях. Практикум предназначен для студентов бакалавриата физического факультета ННГУ, обучающихся по направлениям 11.03.04 – Электроника и наноэлектроника и 28.03.01 – Нанотехнологии и микросистемная техника.

Рецензент:

зав. лабораторией. НИФТИ ННГУ

доктор физ.-мат. наук, В.Г. Шенгуров

Ответственный за выпуск:
председатель методической комиссии ФзФ ННГУ,
к.ф.-м.н., доцент Перов А.А.

УДК 621.37/39 (077)

ББК 32.84 р

© Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, 2021

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Реакция колебательного контура на ступенчатое воздействие	4
1.1. Последовательный колебательный контур	4
1.2. Параллельный колебательный контур	9
2. Реакция колебательного контура на гармоническое воздействие	11
2.1. Последовательный колебательный контур	11
2.2. Параллельный колебательный контур	14
3. Задания	17
Указания к составлению отчета	18
Вопросы для самоконтроля	19
Литература	19

ВВЕДЕНИЕ

Колебательным контуром называют электрическую цепь, состоящую из элементов, способных запасать электрическую и магнитную энергию, и в которой могут возбуждаться электрические колебания. Эквивалентная схема простейшего колебательного контура состоит из емкости, индуктивности и сопротивления.

Колебательные контуры нашли широчайшее применение в радиоэлектронике в качестве различных частотно-избирательных систем. Для данных систем характерно резкое изменение амплитуды отклика цепи (реакция) при достижении определенного значения частоты внешнего воздействия, определяемого параметрами цепи. Явление резкого возрастания амплитуды отклика называется амплитудным резонансом.

В теории цепей часто используется и другое определение резонанса. Под резонансом понимают такой режим работы электрической цепи, при котором реактивная составляющая входного сопротивления равна нулю, другими словами, отсутствует сдвиг фаз между напряжением и током на входе колебательного контура. Такой резонанс называют фазовым. Частота фазового и амплитудного резонанса зависит от способа соединения элементов цепи а, также, от выходного сопротивления цепи.

Простейшей электрической цепью, в которой наблюдается явление резонанса, является одиночный колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора, соединенных в замкнутую цепь. Различают последовательный и параллельный колебательные контуры (рис. 1). В последовательном колебательном контуре источник энергии, конденсатор и катушка индуктивности включаются последовательно. В параллельном колебательном контуре эти элементы включены параллельно.

1. Реакция колебательного контура на ступенчатое воздействие

В качестве источника сигнала выступает источник ступенчатой ЭДС

$$e(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ E, & t \geq 0 \end{cases}$$

1.1. Последовательный колебательный контур

Последовательное соединение источника и элементов R, L, C образуют замкнутый контур (рис. 1).

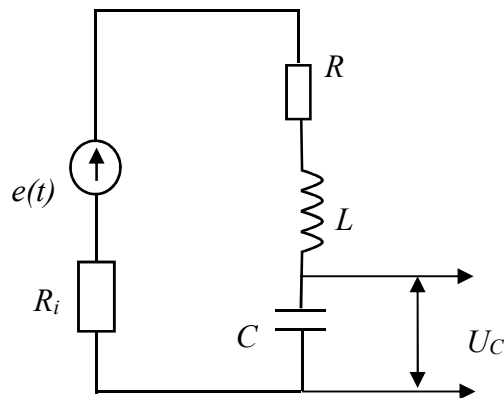


Рис. 1. Принципиальная схема последовательного колебательного контура.

R_i – внутреннее сопротивление источника ЭДС.

Будем считать, что при последовательном соединении элементов источник должен представлять собой источник постоянного ЭДС. При этом сопротивление источника должно быть много меньше сопротивления контура, следовательно, $R_i \ll R$.

Запишем закон Кирхгофа для данного последовательного контура (при $t \geq 0$) имеет вид:

$$U_L + U_R + U_C = E \quad (1)$$

Используя компонентные уравнения, связывающие токи и напряжения на элементах цепи, запишем для тока в контуре:

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt + iR = E \quad (2)$$

После дифференцирования (2) по времени, получаем

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{C} i + R \frac{di}{dt} = \frac{dE}{dt} = 0 \quad (3)$$

Введем обобщенные параметры контура:

частоту $\omega_0^2 = 1/LC$; коэффициент затухания $\alpha = R/2L$ и перепишем (3) в виде:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\alpha \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = 0 \quad (4)$$

Решение находят в виде суммы экспонент: $i(t) = Ae^{\gamma_1 t} + Be^{\gamma_2 t}$

После подстановки экспонент $Ae^{\gamma_1 t}$, $Be^{\gamma_2 t}$ в исходное уравнение и дифференцирования можно получить характеристическое уравнение:

$$\gamma^2 + 2\alpha\gamma + \omega_0^2 = 0, \quad (5)$$

корни однородного характеристического уравнения в общем случае имеют вид

$$\gamma_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}, \quad (6)$$

A и B – произвольные постоянные, определяемые из начальных условий. Эти условия вытекают из того, что ток в цепи, содержащей энергоемкие элементы, не может измениться скачком, иначе понадобился бы источник энергии с бесконечной мощностью.

Определим начальные условия.

Первое условие: при $t = 0_+$

$$i_L = i_C = 0 \quad (7)$$

Второе условие, вытекающее из (2) и (7):

$$\text{при } t = 0_+, \quad L \frac{di}{dt} = E. \quad (8)$$

(0_+ - момент времени сразу после включения ступеньки.)

Используя данные начальные условия, получим для A и B :

$$\begin{cases} A + B = 0 \\ \gamma_1 A + \gamma_2 B = \frac{E}{L} \end{cases}, \text{ отсюда } A = -B = \frac{E}{L(\gamma_1 - \gamma_2)}$$

Подставляя в уравнение (6), получим:

$$i(t) = \frac{E}{L(\gamma_1 - \gamma_2)} (e^{\gamma_1 t} - e^{\gamma_2 t}) \quad (9)$$

В зависимости от соотношения α и ω_0 возможны три случая:

а) $\alpha^2 > \omega_0^2$; **б)** $\alpha^2 = \omega_0^2$; **в)** $\alpha^2 < \omega_0^2$.

В случае **а)** решение имеет вид

$$i(t) = \frac{E}{2L\beta} e^{-\alpha t} (e^{\beta t} - e^{-\beta t}) \quad \text{где } \beta = \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

Ток в контуре аperiodически затухает (Рис. 2а)

В случае **б)** при условии $\alpha = \omega_0$ корни одинаковы $\gamma_1 = \gamma_2 = -\alpha$, данный случай соответствует т.н. критическому затуханию. Запишем для тока

$i(t) = \frac{0}{0}$. Раскрывая эту неопределенность по Лопиталю, получаем:

$$i(t) = \frac{E}{L} e^{-\alpha t} t$$

Ток, как и в случае **а)**, аperiodически затухает, причем возврат к состоянию равновесия происходит быстрее, чем в случае **а)**.

На рис.2 приведены зависимости тока от времени для всех трех случаев.

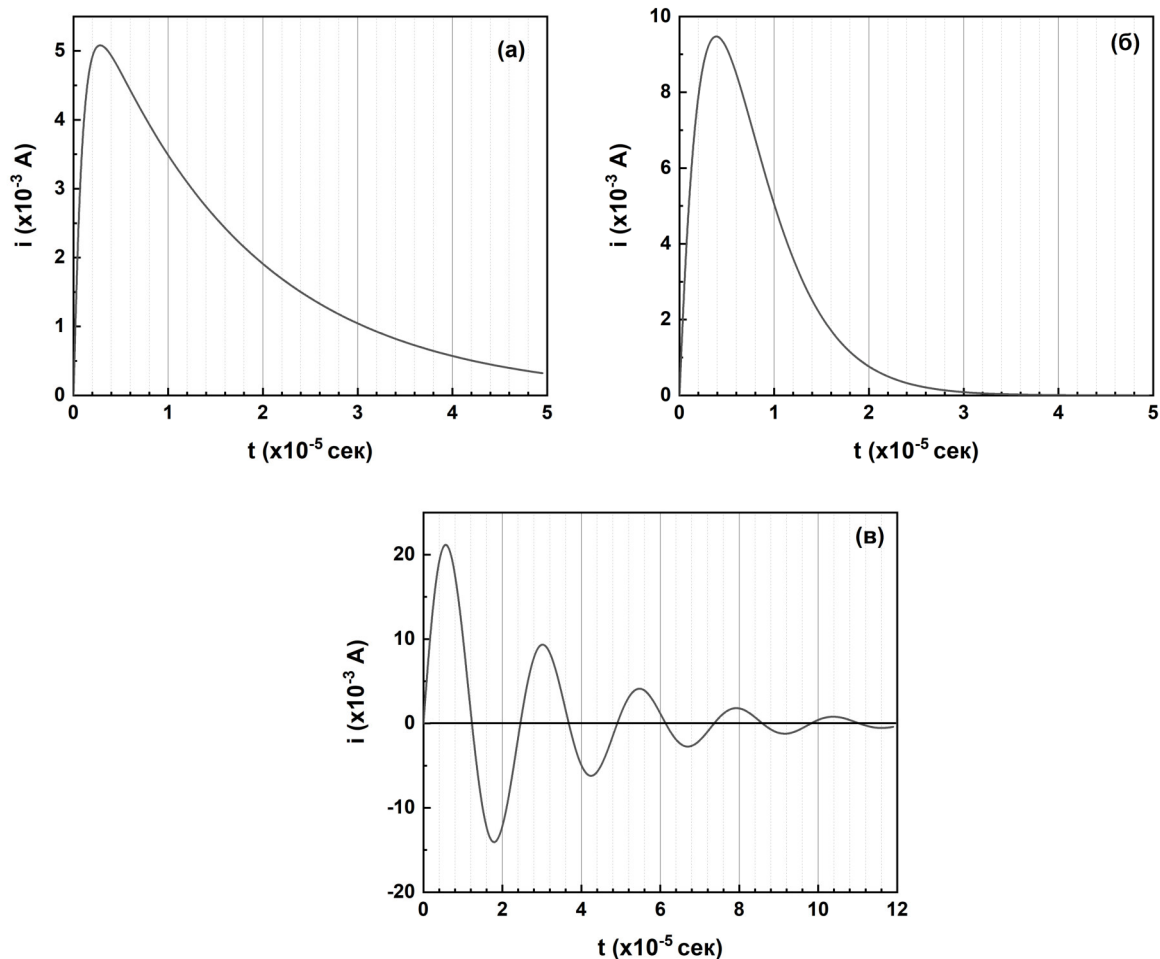


Рис. 2. Осциллограмма тока в колебательном контуре при ступенчатом воздействии напряжения для случаев а), б), в).

Рассмотрим случай **в)** $\omega_0 > \alpha$. В данном случае решение характеристического уравнения (5) содержит два комплексно-сопряженных корня.

$$\gamma_1 = -\alpha + j\omega; \gamma_2 = -\alpha - j\omega,$$

где
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

Решением однородного уравнения является периодическая функция, соответствующая возникновению в контуре собственных колебаний. Тогда из решения (9), с учетом формулы Эйлера получаем

$$i(t) = \frac{E}{2Lj\omega} e^{-\alpha t} (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}) = \frac{E}{\omega L} e^{-\alpha t} \sin \omega t \quad (11)$$

В контуре возникают колебания на определенной частоте ω (см. рис. 2 в):
Падение напряжения на сопротивлении в случае **в)** имеет следующий вид.

$$U_R = R \cdot i = \frac{E \cdot R}{\omega L} e^{-\alpha t} \cdot \sin \omega t \quad (12)$$

Падение напряжения на конденсаторе и индуктивности также имеет вид затухающих колебаний, но с другой начальной фазой (см. рис. 3). На рис.3 приведены напряжения на элементах L и C только для случая **в**).

Во всех случаях, время затухания тока по порядку величины близко к $1/\alpha$.

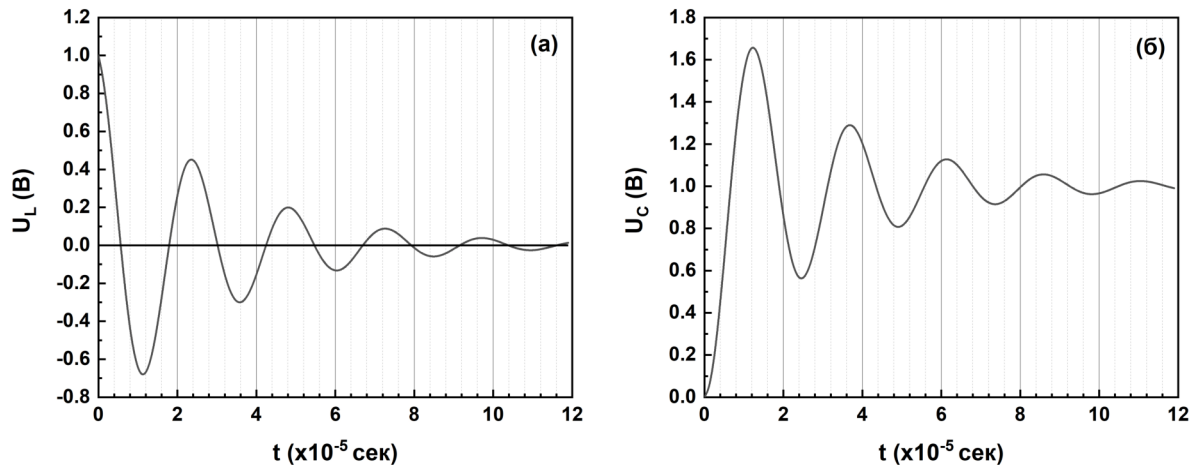


Рис 3. Напряжение на индуктивности и емкости (U_L и U_C) в последовательном колебательном контуре при ступенчатом воздействии.

Наряду с коэффициентом затухания, в технике и радиотехнике широко используется понятие добротности колебательной системы и характеристическое сопротивление контура $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Добротность Q определяется как отношение энергии, запасенной в контуре W к энергии потерь за период W_n на частоте фазового резонанса, умноженное на 2π .

$$Q = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{W}{W_n} \quad (13)$$

$$Q = \omega_0 \frac{\frac{LI_m^2}{2}}{\frac{I_m^2 R}{2}} = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{\omega_0}{2\alpha} = \frac{\rho}{R}$$

Таким образом, в приложении к последовательному колебательному контуру:

$$Q = \frac{\omega_0}{2\alpha}.$$

Можно видеть, что добротность равна отношению емкостного или индуктивного импеданса контура на частоте фазового резонанса к сопротивлению потерь в контуре R . Также, очевидно, что чем выше данное отношение, тем больше колебаний контура мы будем наблюдать в течение периода.

1.2. Параллельный колебательный контур

Теперь рассмотрим схему параллельного колебательного контура, подключенного к источнику ступенчатой ЭДС (рис. 4). В самом контуре учтем только потери, связанные с диэлектриком в конденсаторе.

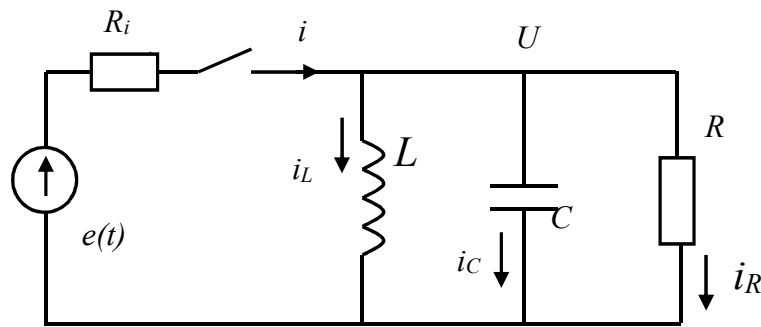


Рис. 4. Расчетная эквивалентная схема параллельного колебательного контура.

Для описания работы параллельного контура, удобнее воспользоваться законом Кирхгофа для токов, втекающих и вытекающих из определенного узла. Тогда для $t \geq 0$ запишем.

$$i = i_L + i_C + i_R = \frac{1}{L} \int_0^t U dt + C \frac{dU}{dt} + \frac{U}{R} \quad (14)$$

$$e(t) = iR_i + U \quad (15)$$

Подставляя (14) в (15) и дифференцируя по t , получаем:

$$R_i \left(C \frac{d^2 U}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{dU}{dt} + \frac{U}{L} \right) + \frac{dU}{dt} = 0 \quad (16)$$

Вводя параметры $2\alpha = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_i} \right)$ и $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$, получаем уравнения, аналогичные уравнению (4), полученные для тока при последовательном соединении.

При параллельном соединении емкости и индуктивности, на частоте фазового резонанса возникает так называемый резонанс токов. Для того чтобы форма резонансной кривой был более резкой, в качестве источника должен выступать идеализированный источник постоянного тока (или генератор тока). Рассмотрим предельный случай питания колебательного контура от генератора тока. Сопротивление такого источника должно быть много больше максимального сопротивления контура ($R_i \gg R$). Тогда $2\alpha = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R} \right)$

После второго дифференцирования перепишем (16) в виде

$$\frac{d^2U}{dt^2} + 2\alpha \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 U = 0, \quad (17)$$

общее решение данного уравнения выглядит также как и для последовательного контура:

$$U(t) = Ae^{\gamma_1 t} + Be^{\gamma_2 t}, \quad (18)$$

где γ_1 и γ_2 – корни характеристического уравнения $\gamma_{1,2} = \alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$

В качестве начальных условий используем предположение, что на емкости напряжение не может измениться скачком, тогда используя начальные условия, запишем общее решение (18) в виде:

$$U(t) = \frac{E}{C(\gamma_1 - \gamma_2)} \cdot (e^{\gamma_1 t} - e^{\gamma_2 t}) \quad (19)$$

Из сопоставления (9) и (19) следует, что качественно напряжение на параллельном контуре ведет себя так же как ток в последовательном контуре. Возможны два режима: 1) при $\alpha \geq \omega_0$ аperiодическое затухание, 2) при $\omega_0 > \alpha$ корни характеристического контура являются комплексно сопряженными, в контуре возникают собственные колебания с затухающей амплитудой.

Существенное отличие заключается во влиянии сопротивления источника R_i . В последовательном контуре с увеличением R_i колебания затухают быстрее, в параллельном же контуре наоборот – чем больше R_i тем медленнее затухают колебания.

2. Реакция колебательного контура на гармоническое воздействие

Заменяем источник ступенчатой ЭДС на источник гармонических колебаний

$$e(t) = E_m \cos \omega_c t$$

2.1. Последовательный колебательный контур

Тогда, после включения гармонической ЭДС закон Кирхгофа для напряжений перепишем в виде

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + iR = E_m \cos \omega_c t \quad (20)$$

После дифференцирования:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = -E_m \omega_c \sin \omega_c t \quad (21)$$

Решение неоднородного уравнения складывается из общего решения однородного, которое совпадает с уравнением (3) и (4) и описывает переходные процессы, и частного решения неоднородного уравнения (21), описывающего установившийся гармонический процесс с частотой внешнего воздействия ω_c . После окончания переходных процессов, ток и падение напряжения на элементах удобнее всего находить методом комплексных амплитуд.

Входное сопротивление контура на частоте ω_c :

$$Z_{BX} = R + j \left(\omega_c L - \frac{1}{\omega_c C} \right)$$

Комплексная амплитуда тока

$$\dot{I}_m = \frac{E_m}{Z} = \frac{E_m}{R + j\left(\omega_c L - \frac{1}{\omega_c C}\right)} = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega_c L - \frac{1}{\omega_c C}\right)^2}} \cdot \exp(i\varphi), \quad (22)$$

$$\text{где } \varphi = -\operatorname{arctg} \frac{\left(\omega_c L - \frac{1}{\omega_c C}\right)}{R}$$

Входное сопротивление последовательного контура имеет минимальное значение на частоте фазового резонанса $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Комплексные амплитуды напряжений на каждом элементе последовательной цепи:

$$\begin{aligned} \dot{U}_L = \dot{I}_m j\omega_c L &= \frac{E_m \omega_c L}{\sqrt{R^2 + \left(\omega_c L - \frac{1}{\omega_c C}\right)^2}} \cdot \exp j\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right), \\ \dot{U}_C = \dot{I}_m \frac{1}{j\omega_c C} &= \frac{E_m}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\omega_c L - \frac{1}{\omega_c C}\right)^2}} \cdot \exp j\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right), \\ \dot{U}_R = \dot{I}_m R &= \frac{E_m R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega_c L - \frac{1}{\omega_c C}\right)^2}} \cdot \exp j\varphi \end{aligned} \quad (23)$$

Итак, зависимости модулей амплитуд напряжения от частоты носят немонотонный (резонансный) характер, особенно сильно выраженный при малых потерях (R) (рис.5). При этом зависимость фазы от частоты на каждом элементе имеет монотонный вид. Условия фазового резонанса достигается в случае, когда частота внешнего воздействия равна резонансной частоте $\omega_c = \omega_0$. Частоты, соответствующие фазовому и амплитудному резонансам, как правило, близки и в некоторых случаях могут совпадать. Примеры амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик напряжений на всех элементах контура в случае ($\alpha^2 < \omega_0^2$), рассмотренном ранее в пункте 1.1., приведены на рис.5.

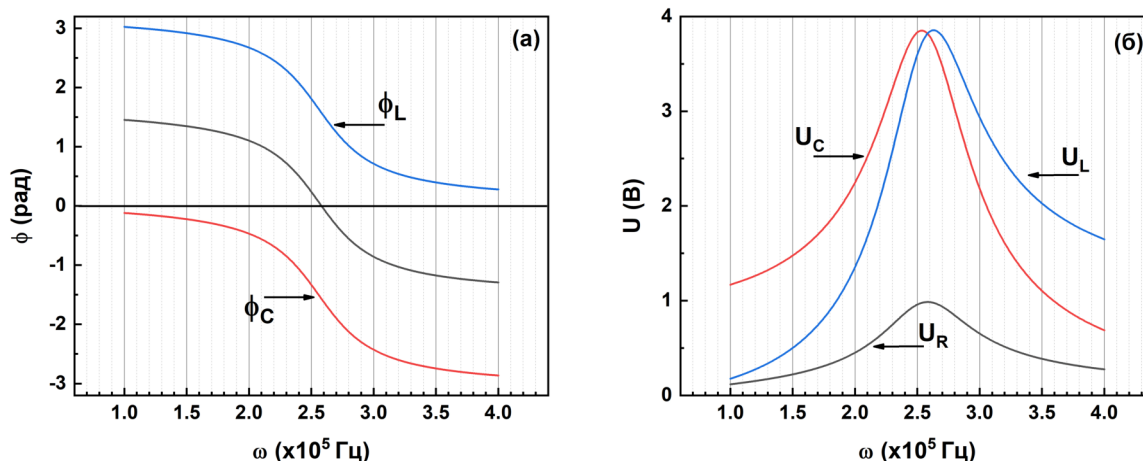


Рис. 5. АЧХ и ФЧХ последовательного колебательного контура при снятии сигнала поочередно с индуктивности, емкости, сопротивления.

Амплитудный и фазовый резонанс совпадают по частоте только в том случае, когда выходным элементом является сопротивление (элемент, обладающий активной мощностью). В случае, когда выходным является реактивный элемент (емкость или индуктивность), частота амплитудного и фазового резонанса не совпадают. При этом на емкости он наблюдается чуть раньше, на индуктивности чуть позже по частоте.

Отношение модулей амплитуд напряжения на различных элементах цепи при $\omega_c = \omega_0$ определяются следующими соотношениями (см. (23)):

$$\frac{|U_L|}{|U_C|} = 1; \quad \frac{|U_L|}{|U_R|} = \frac{\omega_0 L}{R} = Q, \text{ где } Q \text{ – значение добротности}$$

Детальный анализ показывает, что частота амплитудного резонанса на емкости и на индуктивности сдвинуты друг относительно друга:

$$\omega_{C \max} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}; \quad \omega_{L \max} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}};$$

Очевидно, что с ростом добротности максимумы сближаются и при $Q \geq 10$ с большой точностью $\omega_0 \approx \omega_{L \max} \approx \omega_{C \max}$, резонансные кривые при этом становятся более ярко выраженными.

2.2. Параллельный колебательный контур

При гармоническом воздействии закон Кирхгофа для токов запишем как

$$\frac{1}{L} \int_0^t U dt + C \frac{dU}{dt} + \frac{U}{R} = e(t) = \frac{E_m}{R_i} \cos \omega_c t \quad (24)$$

Записав уравнения, аналогичные (14) и (15), дифференцируя и вводя параметры α и ω_0 , получим:

$$\frac{d^2 U}{dt^2} + 2\alpha \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 U = -\frac{E_m \omega_c}{R_i C} \sin \omega_c t \quad (25)$$

$$2\alpha = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_i} \right) \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Длительность переходного процесса будет по-прежнему определяться решением однородного уравнения (17) и величинами α и ω_0 . А вынужденные колебания, устанавливающиеся после завершения переходных процессов удобнее исследовать методом комплексных амплитуд. Комплексная амплитуда напряжения на контуре:

$$\dot{U}_m = \frac{E_m}{R_i \left[\left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R} \right) + j \left(\omega_c C - \frac{1}{\omega_c L} \right) \right]} \quad (25)$$

Максимум $|\dot{U}_m|$ будет наблюдаться на частоте фазового резонанса $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ и

составляет $\frac{E_m}{\left(1 + \frac{R_i}{R} \right)}$. Аналогично пункту 1.2. рассматриваем предельный случай

питания колебательного контура от генератора тока ($R_i \gg R$), тогда

$$\dot{U}_m = \frac{\dot{I}_m}{\frac{1}{R} + j \left(\omega_c C - \frac{1}{\omega_c L} \right)} = \frac{I_m}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega_c C - \frac{1}{\omega_c L} \right)^2}} \cdot e^{i\varphi} \quad (26)$$

Очевидно, что модуль амплитуды напряжения, снимаемого с контура, достигает максимального значения $I_m R$ на частоте фазового резонанса. Входное

сопротивление параллельного колебательного контура на резонансной частоте, в отличие от последовательного соединения, максимально. При параллельном соединении реактивных элементов форма амплитудно-частотной резонансной кривой имеет симметричный вид, частота амплитудного и фазового резонанса совпадает.

3. Роль колебательного контура в радиотехнической цепи

Важной характеристикой контура является его избирательная способность, т.е. способность выделять сигналы с частотой, близкой к резонансной ω_0 , в то время как сигналы с частотой, удаленной от ω_0 , имеют практически нулевую амплитуду на элементах контура. Поэтому, чаще всего, колебательный контур выступает в радиотехнической цепи в качестве фильтра. Для характеристики избирательной способности контура вводится понятие полосы пропускания Π . Π - интервал частот, при которых амплитуда сигнала уменьшается по отношению к максимальной в $\sqrt{2}$ раз.

Оценим полосу пропускания исходя из резонансной характеристики тока для достаточно добротного контура ($\alpha^2 \ll \omega_0^2$) на примере последовательного соединения, в случае, когда выходным элементом является сопротивление.

$$\text{В максимуме: } |I_m| = \frac{E_m}{R}$$

Используя формулу для комплексной амплитуды тока (22) на нижней частоте полосы пропускания запишем:

$$|I_m(\omega_1)| = \frac{E_m}{\sqrt{2}R} = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2}}$$

$$\text{Следовательно, } R^2 + \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2 = 2R^2 \Rightarrow \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2 = R^2$$

$$\text{Или } \omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C} = \pm R, \text{ откуда } \omega_1^2 + 2\alpha\omega_1 - \omega_0^2 = 0, \text{ где } \alpha = R/2L$$

$$\omega_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2} \approx -\alpha + \omega_0, \quad \omega_1 - \omega_0 \approx -\alpha = -\frac{\omega_0}{2Q},$$

Аналогично получаем для верхней частоты полосы пропускания ω_2 :

$$\omega_2 - \omega_0 \approx \alpha = \frac{\omega_0}{2Q} \quad \Pi = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q}.$$

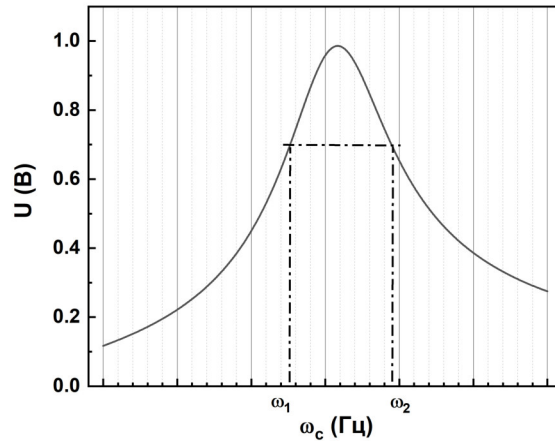


Рис. 6. АЧХ колебательного контура при снятии сигнала с сопротивления.

В случае параллельного соединения полоса пропускания, как и в случае последовательного контура определяется как $\Pi = \frac{\omega_0}{Q}$. Чем выше добротность контура, тем выше избирательные качества цепи.

3. Задания

1. Собрать последовательный колебательный контур, включив минимальное R_i и подключить его к импульсному генератору. Выбрав максимальную длительность импульса, добиться устойчивой картины на экране осциллографа, снимая напряжение последовательно с R , C , L . По полученным осциллограммам определить длительность переходного процесса τ , коэффициент затухания α , частоту фазового резонанса, добротность. Сравнить полученные экспериментальные результаты с расчетом. Объяснить возможные причины расхождения.
2. Подключите колебательный контур к генератору периодических колебаний и исследуйте фазочастотные и амплитудно-частотные характеристики, снимая напряжение поочередно с R , C , L . Определите частоту фазового резонанса, добротность, полосу пропускания. Сравните с результатами предыдущего задания и назовите причины возможных расхождений.
3. Собрать параллельный колебательный контур из тех же элементов L и C . Параллельное сопротивление не включать. По указанию руководителя работы включить сопротивление R_i . Затем подключить контур к генератору импульсов и, наблюдая переходные процессы напряжения на контуре, определить длительность переходного процесса, коэффициент затухания α , добротность Q , собственную частоту ω_0 и сопоставить ее с полученной ранее.
4. Исследовать АЧХ и ФЧХ параллельного колебательного контура. Определить добротность и полосу пропускания.

Указания к составлению отчета

Отчет должен включать теоретическую часть с расчетом величин, которые будут экспериментально исследоваться.

В экспериментальной части отчета привести графики АЧХ и ФЧХ, рассчитанные для конкретных величин R , L , C и нанести на них экспериментальные точки.

В разделе «Обсуждение результатов» из экспериментальных результатов определить резонансную частоту, характеристическое сопротивление и добротность контура, указать на возможные причины расхождения расчета и эксперимента. Связать результаты измерений на импульсном и на гармоническом сигналах.

В разделе «Выводы» кратко сформулировать основные результаты работы.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие электрические цепи относят к колебательным контурам?
2. В чем суть физического явления резонанса? Какое определение резонанса принято в радиотехнике?
3. Как может повлиять неидеальность источника энергии на результаты измерения? Что такое идеальный генератор тока, напряжения?
4. Что называют добротностью контура?
5. Как связаны добротность, характеристическое сопротивление и омическое сопротивление контура?
6. Поясните энергетические процессы, происходящие в колебательном контуре.

Литература

1. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники М:Радио и связь 1990г. Раздел 2.7.
2. Зевеке Г.В. и др. Основы теории цепей. М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники М: Высшая школа 1988 Раздел 5.3 и 6.