

**ЛАБОРАТОРЬИЙ  
ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ**

**Лабораторная Работа 2.11Д**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ  
КОЛЕБАНИЯ  
В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОДИНОЧНЫХ  
LC- и LCR-КОНТУРАХ.**

*Е.Г. Апушкинский, И.Д. Веневцев, Т.Е. Гельгор*

**Работа 2.11Д**  
**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ**  
**ОДИНОЧНЫХ LC- и LCR-КОНТУРАХ.**

*Е.Г. Анушкинский, И.Д. Веневцев, Т.Е. Гельгор*

**Цель работы**

Определение характеристик колебательных контуров.

**Задачи**

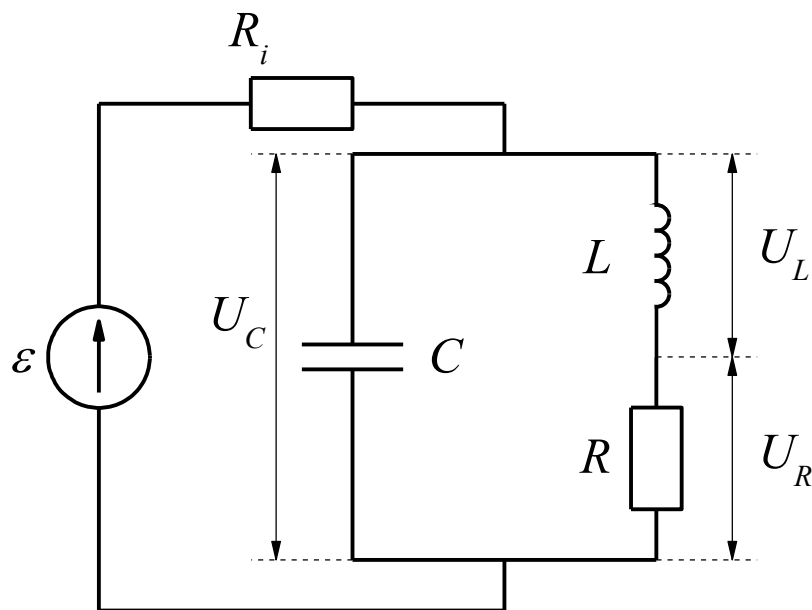
1. Снять зависимость напряжения на конденсаторе в LC- и LCR-контурах от частоты источника гармонических колебаний (резонансные кривые).
2. По экспериментальным данным п.1 определить резонансные частоты и добротности контуров.
3. Снять зависимость от времени амплитуды напряжения на конденсаторе в LC- и LCR-контурах для режима свободных затухающих колебаний.
4. По экспериментальным данным п.3 заново определить резонансные частоты и добротности контуров.
5. Сравнить результаты, полученные двумя способами.

**Введение**

Одиночный колебательный контур — это цепь, в которую входят емкость ( $C$ ), индуктивность ( $L$ ) и сопротивление ( $R$ ). В данной работе используется параллельное питание контура или параллельный контур (рис.1). В зависимости от параметров выходного сигнала генератора, в контуре будут возникать - либо свободные, либо вынужденные электромагнитные колебания. Если генератор выдает сигнал только в течение некоторого конечного промежутка времени, например, меандр или прямоугольный импульс, то после этого импульса в контуре будут происходить свободные электромагнитные колебания. Свободные колебания — это те колебания, которые совершаются в колебательной системе без внешней возбуждающей силы, т.е. предоставленной самой себе после выведения ее из состояния равновесия. Как в процессе свободных, так и вынужденных колебаний в контуре периодически изменяются во времени заряд  $q$  и напряжение на конденсаторе  $U_C$ , протекающий в контуре

ток  $I = dq/dt$ , напряжение на катушке индуктивности  $U_L$  и на сопротивлении  $U_R$ . В ходе колебаний происходит преобразование электрической энергии, запасённой в конденсаторе в магнитную энергию, запасённую в катушке индуктивности и наоборот. Часть энергии при этом рассеивается на сопротивлении при его нагреве, вызванным протеканием через него тока.

Для получения зависимости от времени напряжения на конденсаторе как при свободных, так и при вынужденных колебаниях рассмотрим схему, изображённую на рис.1.



*Рис.1. Параллельный LCR-контур*

Рассмотрим вначале **режим свободных колебаний**. Для его реализации будем считать, что до подключения генератора в контуре не было запасённой энергии, а подключаемый источник можно считать идеальным источником тока, который за короткое время сообщает конденсатору заряд  $q_0$  определяемый интегралом от тока источника за время действия этого импульса тока. Практически это можно сделать, подключив к контуру генератор прямоугольных импульсов, тогда во время действия импульса весь ток от этого генератора пойдет через емкость, т.к. активное сопротивление в цепи конденсатора очень мало и, следовательно, время его зарядки также очень мало. Ток через индуктивность мгновенно измениться не может, поэтому за короткое время зарядки конденсатора ток через индуктивность можно считать равным нулю.

Тогда, по окончании действия импульса тока, напряжение на конденсаторе будет  $U_C$ , ток через катушку и, следовательно, ток в контуре равен нулю. Этот момент времени  $t=0$  примем за начало отсчета свободных колебаний в контуре. Генератор за счет его большого внутреннего сопротивления можно считать отключенным от контура в интервале между импульсами, т.е. когда в контуре происходят свободные колебания. В режиме свободных колебаний по всем элементам контура протекает один ток  $I(t) = dq/dt$  и  $I(0) = 0$ . При этом напряжение на конденсаторе в некоторый момент времени  $U_C = q/C$ . Ток в катушке индуктивности меняется, т.к. через неё разряжается конденсатор и, следовательно, в контуре действует ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$ . Падение напряжения на сопротивлении согласно закону Ома  $U_R = IR$ .

Используя второе правило Кирхгофа, получаем:

$$U_C + U_R = \varepsilon_L \quad (1)$$

Подстановка даёт:

$$L \frac{dI}{dt} + IR + U_C = 0 \quad (2)$$

Теперь подставим  $I(t) = dq/dt$  и учтем, что  $q = CU_C$  и поделим уравнение на LC:

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{LC} U_C = 0 \quad (3)$$

Уравнение (3) — это линейное дифференциальное уравнение второго порядка относительно напряжения на конденсаторе. Введем новые обозначения:  $2\beta = R/L$  и  $\omega_0^2 = 1/LC$ . Величина  $\omega_0$  называется собственной частотой контура, а величина  $\beta$  — коэффициентом затухания. В новых обозначениях уравнение (3) примет вид:

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + 2\beta \frac{dU_C}{dt} + \omega_0^2 U_C = 0 \quad (4)$$

Начальные условия для данного уравнения будут следующими:

$$\begin{cases} U_C(0) = \frac{q_0}{C} = \frac{I_0 t_p}{C} = U_0 \\ \left. \frac{dU_C}{dt} \right|_{t=0} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

где  $q_0 = \int_0^{t_p} I(t) dt = I_0 t_p$  — начальный заряд конденсатора, который определяется средним значением тока в импульсе  $I_0$ , выдаваемом генератором,

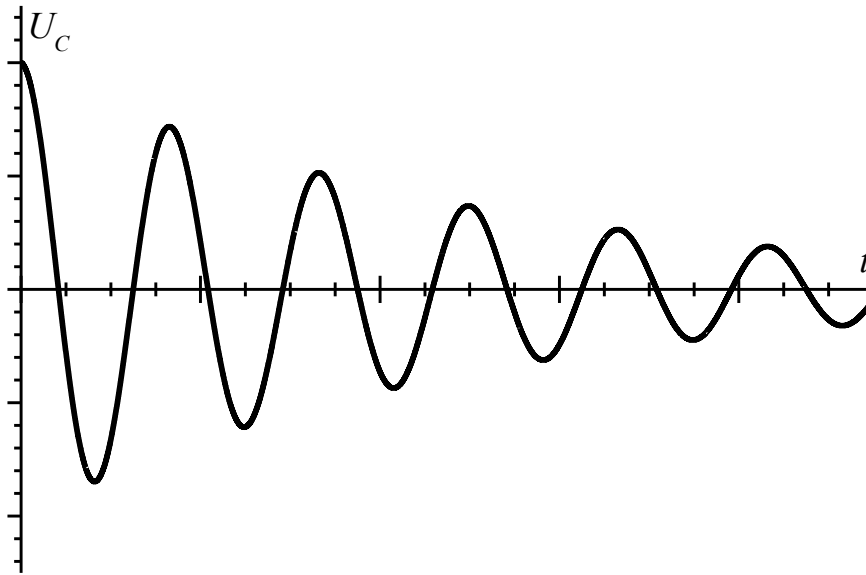
и длительностью этого импульса  $t_p$ .  $U_0$ , соответственно, – начальное значение напряжения на конденсаторе.

Решением уравнения (4) с начальными условиями (5) будет выражение [1]:

$$U_C(t) = U_0 e^{-\beta t} \cos \omega' t \quad (6)$$

где  $\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  – частота свободных затухающих колебаний.

На рис. 2 изображена функция  $U_C(t)$ , которую в этой работе необходимо будет наблюдать на экране осциллографа.



*Рис. 2. Зависимость напряжения на конденсаторе от времени для режима свободных колебаний в LCR – контуре*

Зависимость тока в контуре от времени можно найти, используя связь тока с зарядом на конденсаторе. Решением будет следующая функция:

$$I(t) = \frac{U_0}{\rho} e^{-\beta t} \sin(\omega' t + \arctg \frac{\beta}{\omega'}) = q_0 \omega_0 e^{-\beta t} \sin(\omega' t + \arctg \frac{\beta}{\omega'}) \quad (7)$$

где  $\rho = \sqrt{L/C}$  – волновое или характеристическое сопротивление контура.

Отметим, что  $\omega' \approx \omega_0$  если  $\omega_0 \gg \beta$ , т.е.  $\rho \gg R$ . Величину  $\tau = 1/\beta$ , обратную коэффициенту затухания, называют временем затухания. За это время амплитуда колебаний в контуре уменьшается в  $e$  раз. Величину, которая определяется формулой:

$$\lambda = \ln \frac{U_C(t)}{U_C(t+T)} = \beta T = \frac{T}{\tau} \quad (8)$$

где  $T$  – период колебаний, называют логарифмическим декрементом затухания.

Другая безразмерная величина, пропорциональная отношению энергии, запасенной в контуре, к количеству энергии, рассеянной за период колебаний, называется добротностью контура. Поскольку энергия пропорциональна квадрату амплитуды  $U_{cm}(t) = U_0 e^{-\beta t}$ , это определение в случае слабого затухания можно записать так:

$$Q = 2\pi \frac{(U_0 e^{-\beta t})^2}{(U_0 e^{-\beta t})^2 - (U_0 e^{-\beta(t+T)})^2} = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\beta T}} \approx \frac{2\pi}{2\beta T} = \frac{\pi}{\lambda} = \frac{\omega_0}{2\beta} = \frac{\rho}{R} \quad (9)$$

LC-контур является некоторой идеализацией, которую на практике получить не удастся, т.к. потери в контуре существуют всегда. Очевидно, что формулы для напряжения на конденсаторе и для тока в LC-контуре без потерь легко получаются из выражений (6) и (7) при  $\beta=0$ :

$$U_C(t) = U_0 \cos \omega' t \quad (10)$$

$$I(t) = \frac{U_0}{\rho} \sin \omega' t = q_0 \omega_0 \sin \omega' t \quad (11)$$

Теперь перейдем к **режиму вынужденных колебаний**, который реализуется в контуре (рис. 1), если источник вынуждающей силы  $\varepsilon(t)$  работает в режиме гармонических колебаний. В этом случае в контуре присутствуют колебания двух видов, как свободные затухающие, так и вынужденные гармонические колебания с частотой вынуждающей силы. Спустя достаточно большой интервал времени  $t \gg \tau$ , свободные колебания в LCR – контуре затухнут. В LC – контуре, естественно, нет, но LC – контур – это некоторая идеализация, которая не реализуется на практике, поэтому в общем виде рассматриваем именно LCR – контур. В нем считаем, что свободные колебания затухли, а в контуре имеет место установившийся режим вынужденных гармонических колебаний.

В узле (рис. 1), согласно первому правилу Кирхгофа, будет:

$$I(t) = I_C(t) + I_L(t) \quad (12)$$

где  $I(t)$  – ток, отдаваемый генератором. Учтем, что  $I_C(t) = C \frac{dU_C}{dt}$ , умножим левую и правую части уравнения (12) на  $L$  и продифференцируем (12) по  $t$ :

$$L \frac{dI}{dt} = LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + L \frac{dI_L}{dt} \quad (13)$$

Обратив внимание на то, что в рассматриваемом контуре для режима вынужденных гармонических колебаний  $U_C = I_L R - \varepsilon_L$  или же  $L \frac{dI_L}{dt} = U_C - I_L R$ , получим:

$$L \frac{dI}{dt} = LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + U_C - I_L R \quad (14)$$

Выразим из (12)  $I_L$ , подставим в (14), учтем связь тока через конденсатор с напряжением на нем и поделим полученное равенство на  $LC$ :

$$\frac{1}{C} \frac{dI}{dt} + \frac{R}{LC} I = \frac{d^2 U_C}{dt^2} + \frac{1}{LC} U_C + \frac{R}{L} \frac{dU_C}{dt}$$

с учетом введенных ранее обозначений получаем:

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + 2\beta \frac{dU_C}{dt} + \omega_0^2 U_C = \frac{1}{C} \frac{dI}{dt} + \frac{2\beta}{C} I \quad (15)$$

Будем считать, что рассматриваемый нами параллельный контур является нагрузкой источника гармонических колебаний с большим внутренним сопротивлением  $R_i$  (рис.1) у которого амплитуда тока  $I_0$  отдаваемого этим источником в контур не меняется при изменении частоты, т.е.  $I(t) = I_0 \sin \omega t$  или  $I(t) = \varepsilon(t)/R_i$ . Это достигается тогда, когда внутренне сопротивление источника  $R_i$  много больше сопротивления контура на любой частоте. Подставим этот ток в (15) и после дифференцирования соберем по известной тригонометрической формуле сумму синуса и косинуса с разными амплитудами в виде единственного синуса:

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + 2\beta \frac{dU_C}{dt} + \omega_0^2 U_C = \frac{I_0}{C} \sqrt{\omega^2 + 4\beta^2} \sin\left(\omega t + \arctg \frac{\omega}{2\beta}\right) \quad (16)$$

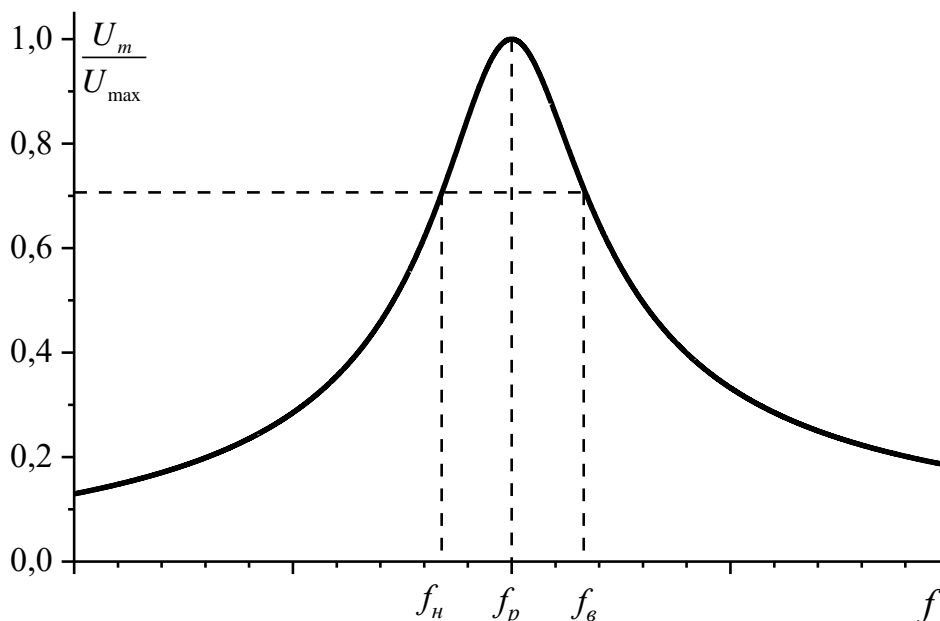
Уравнение (16) – это неоднородное линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами. Частное решение такого уравнения можно найти, следуя известным математическим процедурам [1]:

$$U_C(t) = U_m(\omega) \sin(\omega t - \varphi_0), \quad (17)$$

Выражение (17) также следует из того факта, что в режиме установившихся вынужденных колебаний свободные колебания уже перестали существовать и полным решением неоднородного уравнения, которое есть сумма общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения, будет только решение (17). При этом:

$$U_m(\omega) = \frac{I_0}{C} \frac{\sqrt{\omega^2 + 4\beta^2}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}} = I_0 \rho \frac{\sqrt{\frac{\omega^2}{\omega_0^2} + \frac{R^2}{\rho^2}}}{\sqrt{\left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2} - 1\right)^2 + \frac{\omega^2 R^2}{\omega_0^2 \rho^2}}} \quad (18)$$

Выражение (18) соответствует резонансной кривой, которая изображена на рис.3.



**Рис.3.** Резонансная кривая LCR – контура

Обратим внимание, что согласно первой формуле (18), амплитуда напряжения на конденсаторе будет зависеть от частоты и будет иметь максимум на частоте  $\omega_p$ , которую можно определить, приравняв нулю первую производную функции  $U_m(\omega)$  по  $\omega$ :

$$\omega_p^2 = \omega_0^2 \left( -\frac{R^2}{\rho^2} + \sqrt{1 + 2\frac{R^2}{\rho^2}} \right) \quad (19)$$

Как видно из (19) частота этого максимума не совпадает с частотой свободных колебаний LC – контура, однако, при  $R \ll \rho$  они практически неразличимы [2].

Введем теперь в рассмотрение еще одну характеристику контура, а именно ширину резонансной кривой:

$$\Delta\omega = \omega_в - \omega_н = 2\pi(f_в - f_н) \quad (20)$$

В последней формуле частоты  $f_н$  и  $f_в$  определяются по высоте резонансной кривой, соответствующей уровню  $1/\sqrt{2} \approx 0.707$  от максимальной высоты, которая достигается при резонансе, т.е. при частоте  $f_p$  (см. рис. 3).

Приняв, что  $R \ll \rho$ , из (9) и (20) учтя, что из (18) по уровню  $0,707 \omega_в \approx \omega_p \left(1 + R/2\rho\right)$  и  $\omega_н \approx \omega_p \left(1 - R/2\rho\right)$  окончательно получим:

$$(21)$$

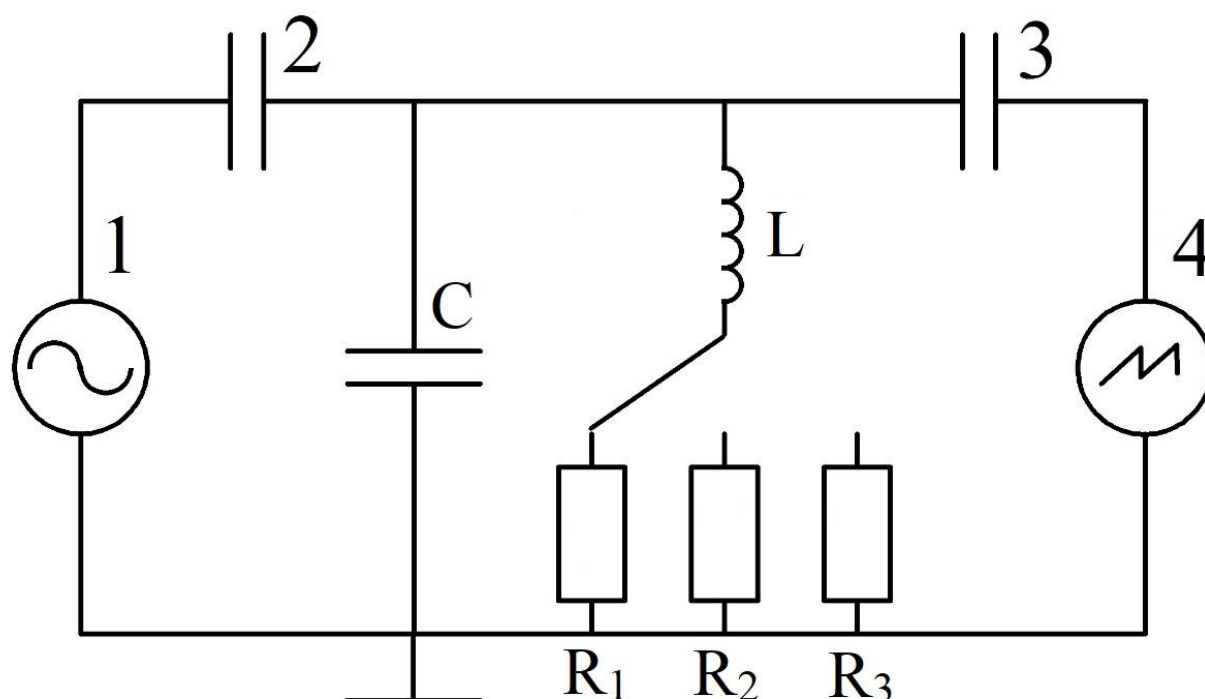


$$Q = \frac{\omega_p}{\Delta\omega} = \frac{f_p}{\Delta f}$$

Формула (21) позволяет находить добротность из резонансной кривой контура, используя режим вынужденных колебаний.

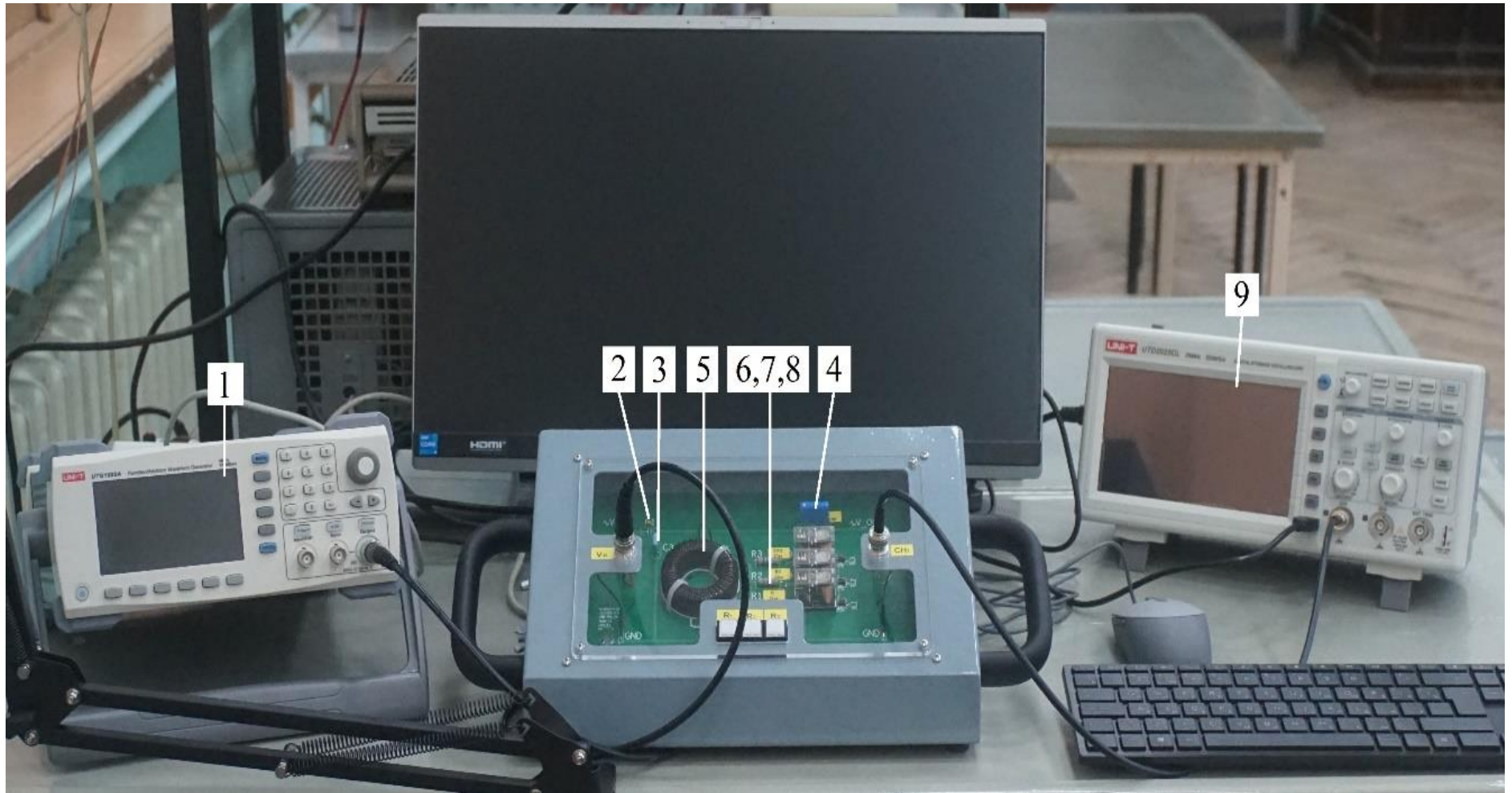
### Описание установки.

Блок схема экспериментальной установки изображена на рис.4, а фотография установки на рис.5.



*Рис. 4. Блок-схема экспериментальной установки. 1 – задающий цифровой генератор, 2,3 – входной и выходной разделительный конденсатор, 4 – цифровой осциллограф*

Конкретные величины емкостей, сопротивлений и индуктивностей приведены на стенде установки в лаборатории. Там же можно посмотреть, что за генератор и осциллограф используются в конкретной лабораторной установке, на которой выполняется работа. Исследуемый колебательный контур состоит из конденсатора С, катушки индуктивности L и одного из сопротивлений R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> или R<sub>3</sub>, которое выбирается замыканием соответствующего реле. Выбор режима колебаний: вынужденные или свободные - определяется заданием режима на генераторе.



*Рис. 5. Экспериментальная установка. Нумерация блоков совпадает с рис.4*

*1 – задающий цифровой генератор, 2 – входной разделительный конденсатор, 3 – конденсатор входящий в колебательный контур, 4 – выходной разделительный конденсатор, 5 – катушка колебательного контура, 6,7,8 – переключаемые сопротивления контуров, 9 – цифровой осциллограф*

Для вынужденных колебаний генератор должен выдавать гармонический сигнал в диапазоне от 50 кГц до 90 кГц, а для исследования свободных колебаний в контуре генератор необходимо включить в режим прямоугольных импульсов. Частота следования этих импульсов не должна быть более 500 Гц, чтобы в интервале между импульсами можно было наблюдать затухающие колебания в контуре, а за время этого импульса конденсатор  $C_3$  должен успевать зарядиться. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  введены для развязки исследуемого контура от измерительных приборов.

### Порядок проведения работы

1. Включите блок розеток, генератор и осциллограф.
2. Для **исследования свободных колебаний в контуре** подайте с генератора на контур меандр (симметричный прямоугольный импульс). Установите частоту следования импульсов не более 500 Гц (период не менее 2 мс). Напряжение установите таким, чтобы сигнал на осциллографе полностью помещался в экран по вертикали.
3. Установите в контуре один из резисторов, который укажет преподаватель.
4. Настройте осциллограф так, чтобы на экране наблюдался сигнал, затухающий по экспоненте, или сигнал аналогичный тому, что изображен на рис.2.
5. Включите отображение курсоров на осциллографе и с их помощью занесите в таблицу 1 координаты  $t$  и  $U$  всех максимумов и минимумов наблюдаемой кривой. Измерения для каждого контура необходимо проводить, не меняя настройки генератора и осциллографа. Напряжение входного сигнала можно подбирать для удобного отображения сигнала на экране осциллографа.
6. Повторите пункты 4 и 5 для оставшихся резисторов. В одном случае колебательный процесс наблюдаться не будет.
7. Для **исследования вынужденных колебаний в контуре** включите на генераторе гармонический режим и установите частоту выдаваемого им сигнала примерно равную частоте свободных колебаний.
8. Установите в контуре один из резисторов, который укажет преподаватель.
9. Настройте осциллограф так, чтобы на экране наблюдался гармонический сигнал, подаваемый на контур от генератора.
10. Снимите резонансную кривую контура, для этого найдите частоту, соответствующую резонансу, и запишите соответствующее значение частоты и амплитуды сигнала. Далее, меняя частоту генератора в сторону

уменьшения, измерьте 8–10 точек резонансной кривой, вернитесь на резонансную частоту и теперь, двигаясь в сторону увеличения частоты, опять измерьте примерно 8-10 точек. Интервалы между точками необходимо выбирать так, чтобы разница амплитуд между соседними точками составляла не более 5–10%. Данные запишите в таблицу 2.

11. Повторите пункты 9 и 10 для оставшихся сопротивлений.

12. Выключите приборы, а затем блок розеток.

**Таблица 1.** Измерения кривых затухания контуров.

№	$R=R_1=0\text{ Ом}$ $U_{max}=\dots, \text{ В}$			$R=R_2=50\text{ Ом}$ $U_{max}=\dots, \text{ В}$			$R=R_3=100\text{ Ом}$ $U_{max}=\dots, \text{ В}$		
	$t, \text{ мкс}$	$U_{max\ i}$ или $U_{min\ i},$ В	$\frac{U_{max\ i}}{U_{max}}$ или $\frac{U_{min\ i}}{U_{max}}$	$t, \text{ мкс}$	$U_{max\ i}$ или $U_{min\ i},$ В	$\frac{U_{max\ i}}{U_{max}}$ или $\frac{U_{min\ i}}{U_{max}}$	$t, \text{ мкс}$	U, В	$\frac{U}{U_{max}}$
1									
2									
....									
20									

**Таблица 2.** Измерения резонансных кривых контуров.

№	$R=R_1=0\text{ Ом}$			$R=R_2=50\text{ Ом}$			$R=R_3=100\text{ Ом}$		
	$f, \text{ кГц}$	$U_m, \text{ В}$	$\frac{U_m}{U_{mp}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_m, \text{ В}$	$\frac{U_m}{U_{mp}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_m, \text{ В}$	$\frac{U_m}{U_{mp}}$
1									
2									
....									
18									

## Обработка результатов

1. Используя данные таблицы 1, постройте для каждого из контуров зависимости нормированного напряжения на конденсаторе  $C$  от времени.

2. Используя построенные зависимости и таблицу 1, определите периоды свободных колебаний каждого из контуров. Для этого найдите интервал времени между первым и последним максимумом (или минимумом) и разделите на количество периодов, заключенных между ними.

3. По периодам свободных колебаний определите частоты свободных колебаний контуров. В выводе сравните их с резонансными частотами, полученными по результатам исследований вынужденных колебаний.

4. По формуле (8) и таблице 1 определите логарифмический декремент затухания  $\lambda$ , а по формуле (9) добротность  $Q$  контуров. Для большей точности вместо отношения амплитуд через период в формуле (8) используйте отношение амплитуд через  $N$  периодов, а полученное значение логарифма разделите на  $N$ . Определите абсолютные погрешности  $\Delta\lambda$  и  $\Delta Q$ . По данным таблицы 1 для каждого из контуров определите резонансные частоты и их абсолютные погрешности (для определения абсолютных погрешностей пользуйтесь формулами из [3]).

5. Пользуясь формулой (19) и исходными данными, приведенными на стенде лабораторной установки, рассчитайте резонансные частоты всех исследуемых контуров и сравните расчетные результаты с экспериментальными результатами из пункта 1.

6. Пользуясь данными таблицы 2, постройте в одних и тех же осях резонансные кривые всех контуров (зависимости  $U_m/U_{mp}$  от частоты генератора  $f$ ) и определите ширины резонансных кривых  $\Delta f$  по уровню 0.71.

7. Используя формулу (21), определите величины добротностей исследуемых контуров и их абсолютные погрешности.

8. Запишите окончательные результаты и сделайте выводы о соответствии результатов полученных разными способами измерений между собой и с расчетными результатами, полученными с использованием величин элементов контуров, указанных на стенде лабораторной установки.

## Контрольные вопросы

1. Что такое резонанс.
2. Какие колебания называются свободными.
3. Что такое добротность колебательного контура и как она может быть определена.
4. Как зависит резонансная частота колебаний в контуре от активных потерь в контуре.
5. Как определить ширину резонансной кривой.

## Литература

1. Камке Э.. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Лань. 2003.
2. Иродов И.Е.. Электромагнетизм. Основные законы. М.: БИНОМ. Лабораторные знания, 2007.
3. Агапьев Б.Д. и др. Обработка экспериментальных данных: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2002.
4. Иванов В. К., Физика. Электромагнетизм: учеб. пособие / Иванов В. К. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 265 с

### **Работа 2.11Д при дистанционном доступе к лабораторной установке.**

#### **Введение**

Данный вариант работы используется в случае невозможности очного проведения занятий. Для успешного выполнения необходимо присутствие преподавателя или лаборанта в зале лабораторных работ. Студентам понадобится персональный компьютер с установленным программным обеспечением, позволяющим удаленно управлять рабочим столом. Допуск к работе осуществляется через видеоконференцию в режиме управления удаленным рабочим столом. Для записи результатов измерений может использоваться как бумажный, так и электронный протокол, по решению преподавателя. Факт выполнения фиксируется видеозаписью собрания.

#### **Описание установки, имеющей возможность дистанционного доступа**

Установка, предназначенная для выполнения работы в дистанционном режиме, идентична установке для очного выполнения (рис. 5). В дополнение к основным элементам установки (генератору, осциллографу и стенду с LC

контуром) установка снабжается компьютером и видеокамерой, позволяющими управлять работой приборов и наблюдать за ними.

### **Порядок проведения работы**

Подготовку стенда к работе осуществляет преподаватель или лаборант. Для работы в дистанционном режиме необходимо:

1. Включить компьютер, запустить видеоконференцию, закрепить на столе камеру (смотри инструкцию на стр.98).
2. Начать собрание на лабораторном компьютере и пригласить туда студентов и, при необходимости, преподавателя.
3. После получения студентами допуска к работе необходимо включить стенд и измерительные приборы, а также запустить программу управления приборами.
4. Передать одному из студентов управление рабочим столом.  
После передачи управления студенты самостоятельно выполняют работу.

### **Порядок выполнения идентичен очному варианту работы:**

1. Запустите программу управления приборами (вид рабочего стола, приведен на рис. 6).

Для исследования вынужденных колебаний в контуре включите на генераторе гармонический режим и установите частоту выдаваемого им сигнала в диапазоне от 50 кГц до 90 кГц или ту, что укажет преподаватель.

2. Установите в контуре один из резисторов, который укажет преподаватель.

3. Настройте осциллограф так чтобы на экране наблюдался гармонический сигнал, подаваемый на контур от генератора.

4. Снимите резонансную кривую контура. Для этого установите частоту, соответствующую резонансу, и запишите соответствующее значение частоты и амплитуды сигнала. Далее, меняя частоту генератора в сторону уменьшения снимите 8 -10 точек кривой, опять встаньте на резонансную частоту и теперь двигаясь в сторону увеличения частоты, опять снимите примерно 8–10 точек. Интервалы между точками необходимо выбирать так, чтобы разница амплитуд между соседними точками составляла не более 5–10%. Данные запишите в таблицу 1. Повторите пункты 5 и 6 для оставшихся сопротивлений.

## 2.11Д Исследование электромагнитных колебаний в параллельном LC-контуре

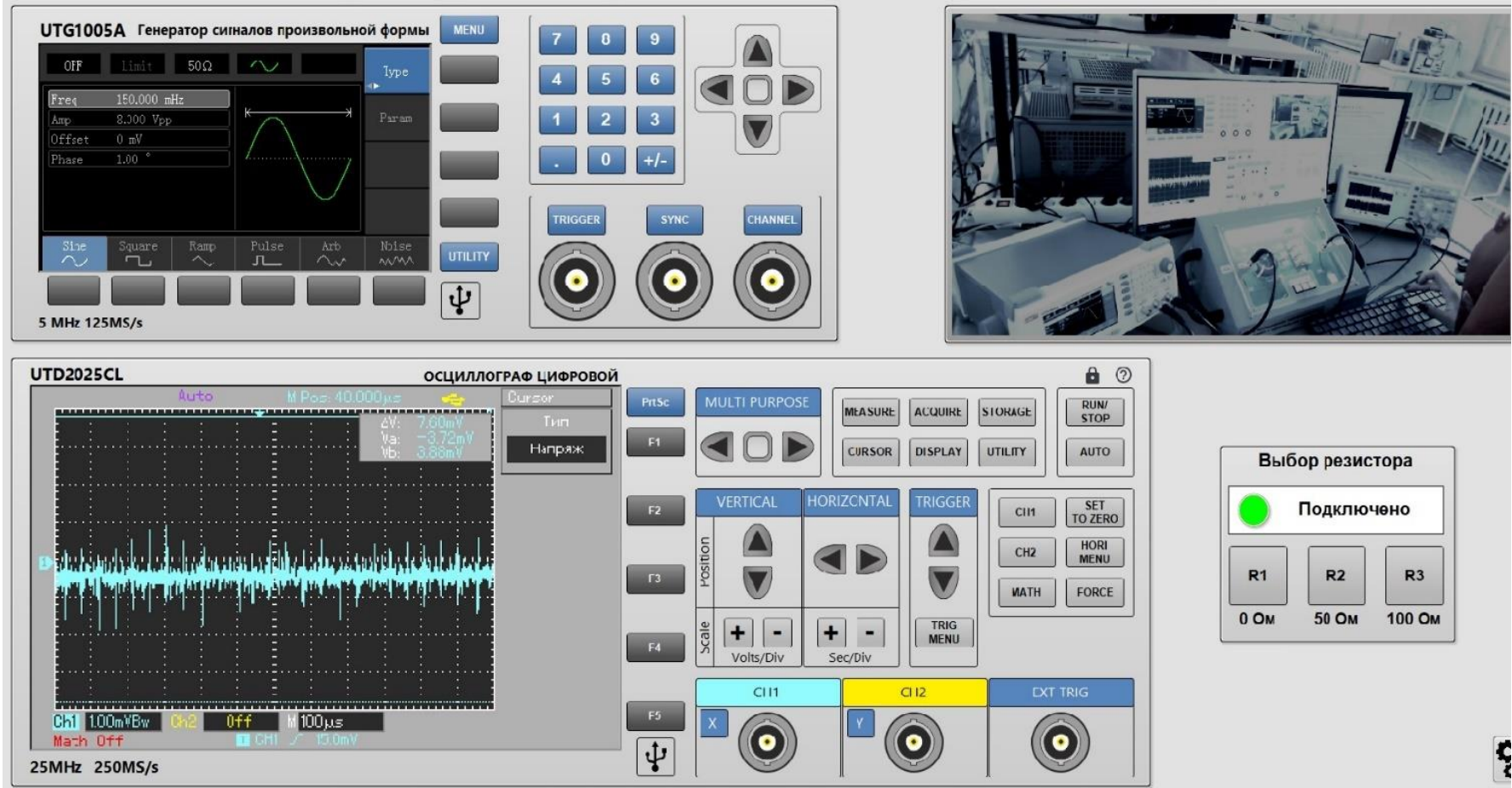


Рис. 6. Общий вид рабочего стола с запущенной программой управления. Расположение элементов управления в программе повторяет вид реальных приборов



5. Для **исследования свободных колебаний в контуре** подайте с генератора на контур меандр (симметричный прямоугольный импульс). Установите частоту следования импульсов не более 500 Гц (период не менее 2 мс). Напряжение установите таким, чтобы сигнал на осциллографе полностью помещался в экран по вертикали.

6. Установите в контуре один из резисторов, который укажет преподаватель.

7. Настройте осциллограф так чтобы на экране наблюдался сигнал, затухающий по экспоненте, или сигнал аналогичный тому, что изображен на рис.2.

8. Включите отображение курсоров на осциллографе и с их помощью занесите в таблицу 2 координаты  $t$  и  $U$  всех максимумов и минимумов наблюдаемой кривой. Измерения для каждого контура необходимо проводить, не меняя настройки генератора и осциллографа. Напряжение входного сигнала можно подбирать для удобного отображения сигнала на экране осциллографа.

9. Повторите пункт 9 для оставшихся резисторов.

10. Выключите программу.

***По окончании выполнения работы, выключение приборов и компьютера осуществляется преподавателем.***