

## Лабораторная работа 6-1\*

### ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Цель работы: изучить зависимость амплитуды напряжения на конденсаторе последовательного колебательного контура от частоты вынуждающей ЭДС; определить по результатам измерений параметры колебательного контура.

Приборы и принадлежности: работа выполняется на компьютере.

#### Краткая теория

Последовательный колебательный RLC-контур состоит из конденсатора емкостью  $C$ , катушки индуктивностью  $L$ , резистора сопротивлением  $R_m$ , включенных между собой последовательно (рис.1).

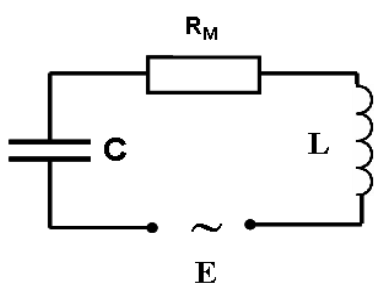


Рис.1

Для возбуждения вынужденных колебаний в контуре в него включен источник переменной вынуждающей ЭДС  $E$ , изменяющейся по закону:

$$E = E_0 \sin \Omega t,$$

где  $\Omega$  – циклическая частота колебаний вынуждающей ЭДС,  $E_0$  – ее амплитуда.

Неоднородное дифференциальное уравнение, описывающее колебательный процесс в данном контуре:

$$\frac{d^2 U}{dt^2} + 2\beta \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 U = E_0 \sin \Omega t \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение на конденсаторе,  $\beta$  – коэффициент затухания,  $\omega_0$  – циклическая частота собственных колебаний контура,  $\beta$  – коэффициент затухания.

Коэффициент затухания и циклическая частота собственных колебаний связаны с параметрами контура:  $R/2L = \beta$ ,  $\omega_0^2 = 1/LC$ .

Частное решение уравнения (1) имеет вид:

$$U = U_c \sin (\Omega t + \varphi), \quad (2)$$

где:

$$U_c = \frac{E_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}}, \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{2\beta \Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}. \quad (4)$$

$U_c$  – амплитуда вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе,  $\varphi$  – сдвиг фаз колебаний напряжения на конденсаторе по отношению к колебаниям вынуждающей ЭДС.

Вынужденные колебания напряжения на конденсаторе происходят с частотой вынуждающей ЭДС  $\Omega$ .

Исследование зависимости амплитуды вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе  $U_c$  от вынуждающей частоты  $\Omega$  показывает:

- при  $\Omega \rightarrow 0$  амплитуда напряжения на емкости  $U_c \rightarrow E_0$ ;
- функция  $U_c = U_c(\Omega)$  обладает максимумом  $U_{cm}$  при частоте генератора

$$\Omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2};$$

- при  $\Omega \rightarrow \infty$  амплитуда напряжения на емкости  $U_c \rightarrow 0$ .

Резкое увеличение амплитуды колебаний до максимального значения  $U_{cm}$  при частоте генератора  $\Omega_p$  называется **резонансом**. Зависимость амплитуды напряжения на емкости от частоты вынуждающей ЭДС носит название резонансной кривой. Положение и величина максимума резонансной кривой зависит от коэффициента затухания (рис.2). Выявление этих закономерностей – одна из задач построения кривых в данной работе.

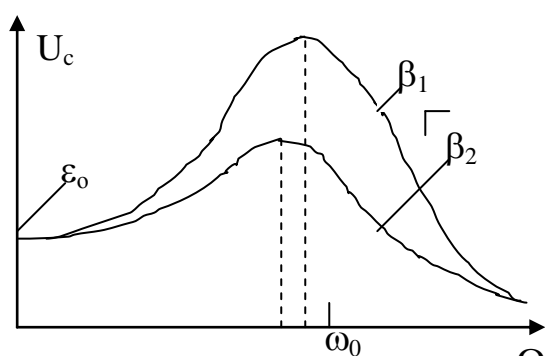


Рис.2

Для колебательного контура вводится понятие добротности, которая в работе может быть найдена как:

$$Q = U_{cm} / E_0. \quad (5)$$

Или

$$Q = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{C}} / R = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{C}} / (R_k + R_m), \quad (6)$$

где  $R_k$  - некоторое эффективное сопротивление, учитывающее потери энергии в контуре,  $R_m$  – сопротивление резистора. Зная несколько значений сопротивлений резистора  $R_{mi}$ , поочередно включаемого в контур, можно определить величину  $R_k$  для каждого  $R_{mi}$ :

$$R_{ki} = \frac{Q_i R_{mi}}{Q_1 - Q_i}. \quad (7)$$

Для данного контура выполняется условие:  $\beta \ll \omega_0$ , при этом резонансная частота слабо зависит от коэффициента затухания и ее значение мало отличается от собственной циклической частоты:

$$\Omega_p \approx \omega_0 = 2\pi n_{pm}, \quad (8)$$

где  $n_{pm}$  – значение резонансной частоты.

Тогда индуктивность контура может быть вычислена:

$$L = 1/\omega_0^2 C, \quad (9)$$

при этом следует считать, что  $\omega_0 = 2\pi n_{pm0}$ , где  $n_{pm0}$  – значение резонансной частоты при  $R_m = 0$  Ом.

Зная величину индуктивности и общее сопротивление контура, можно вычислить коэффициенты затухания по соотношению:

$$\beta_i = (\langle R_k \rangle + R_{mi}) / 2L, \text{ где } i = 1, 2, 3, 4. \quad (10)$$

## Порядок выполнения работы

1. Открыть диалоговое окно (щёлкнув дважды по «ярлык для резонанса» на рабочем столе), выбрать в меню «резонанс напряжения в RLC-контуре».
2. Установить значение емкости контура (по указанию преподавателя), занести значения  $C$  и  $E_0$  в табл.1.

Таблица 1

	$E_0 =$				$C =$	
	$R_M = 0 \text{ Ом}$		$R_M = 100 \text{ Ом}$		$R_M = 250 \text{ Ом}$	
	$n, \text{ кГц}$	$U_c, \text{ В}$	$n, \text{ кГц}$	$U_c, \text{ В}$	$n, \text{ кГц}$	$U_c, \text{ В}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
$n_{pm},$ кГц						
$U_{cm},$ В						

3. Получить изображения  $4^x$  резонансных кривых, устанавливая поочередно значения  $R_M = 0, 100, 250, 500 \text{ Ом}$  и активируя «мышкой» клавишу «строить».
4. Установить значение частот левой и правой границ в диапазоне примерно  $\pm 10 \text{ кГц}$  (или  $\pm 20 \text{ кГц}$ ) от резонансной частоты, активируя режим масштабирования (кнопка с изображением увеличительного стекла). Занести значения  $U_c$  для 10 частот из диапазона масштабирования в табл.1. Для удобства определения значений можно поочередно работать с резонансной кривой при каждом значении  $R_M$ .
5. Определить для каждой кривой (при каждом значении сопротивления резистора) уточненные значения резонансной частоты  $n_{pm}$ , при которой наблюдается резонанс напряжения на конденсаторе, и занести  $n_{pm}$  и соответствующие значения  $U_{cm}$  в табл.1.
6. Построить резонансные кривые  $U_c = U_c(n)$  для каждого из сопротивлений и сделать выводы о наблюдаемых закономерностях.
7. Вычислить для каждого значения  $R_M$  величину добротности по формуле (5) и соответствующие сопротивления контура  $R_k$  по формуле (7). Результаты занести в табл.2.

Таблица 2

№ опыта, $i$	$R_m$ , Ом	$Q_i$	$R_{Ki}$ , Ом	$\langle R_k \rangle$ , Ом	$L$ , Гн	$\Omega_{pi}$ , $c^{-1}$	$\beta_i$ , $c^{-1}$
1	0						
2	100						
3	250						

8. Вычислить по формуле (8) резонансные значения циклической частоты  $\Omega_{pi}$  для каждого значения  $R_m$  и занести в табл. 2.

9. Вычислить индуктивность контура по формуле (9) и занести в табл. 2.

10. Вычислить коэффициенты затухания  $\beta_i$  по формуле (10), записать результаты в табл.2 и сравнить со значениями резонансных частот  $\Omega_{pi}$ .

### Контрольные вопросы

1. Вынужденные колебания в контуре RLC-контуре, их возникновение, дифференциальное уравнение этих колебаний и его решение. Частота вынужденных колебаний.

2. Понятие электрического резонанса. Резонанс напряжения в контуре. Резонансная частота. Резонансные кривые, закономерности резонансных кривых.

3. Добротность колебательного контура, ее физический смысл и определение добротности в данной работе.

4. Определение индуктивности, сопротивления контура и коэффициента затухания в данной работе.