РАБОТА 11

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Цель работы: изучение резонанса в цепи колебательного контура

Оборудование: генератор, осциллограф, набор ёмкостей, набор индуктивностей, набор резисторов.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных конденсатора C, ключа S, индуктивности L, сопротивления R. По закону Ома для участка цепи 1LR2 имеем

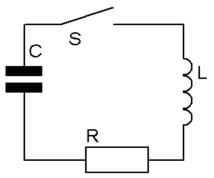

Рис.1

$$I \cdot R = \Delta\varphi + E\,, \tag{1}$$

где I, $\Delta\varphi$, E - соответственно, мгновенные значения силы тока в цепи, разности потенциалов между обкладками 1 и 2 конденсатора и алгебраической суммы ЭДС, приложенных на рассматриваемом участке цепи. На участке цепи 1LR2 приложена только ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке при протекании по ней переменного тока. Поэтому

$$E = -L \cdot \frac{dI}{dt}, \tag{2}$$

и уравнение (1) примет вид

$$I \cdot R = \Delta\varphi - L \cdot \frac{dI}{dt}, \tag{3}$$

Обозначим заряд первой обкладки конденсатора через q, тогда сила тока I в цепи равна

$$I = \frac{dq}{dt} \tag{4}$$

и

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d^2 q}{dt^2}\,. \tag{4'}$$

Разность потенциалов между обкладками конденсатора равна

$$\Delta\varphi = \frac{q}{C}\,. \tag{5}$$

Подставив выражения (4), (4’) и (5) в (3), получим

$$L \cdot \frac{d^2 q}{dt^2} + R \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0\,. \tag{6}$$

Найдем решение дифференциального уравнения (6):

$$q = A_0 \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \sin(\omega t + \alpha_0) \tag{7}$$

и

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}\,. \tag{8}$$

Таким образом, при замыкании заряженного конденсатора в цепи, состоящей из последовательно соединенных индуктивности и электрического сопротивления, заряд на обкладках конденсатора совершает ***затухающие колебания***. Изображенная на рис.1 цепь получила название ***колебательного контура.***

Период затухающих колебаний в колебательном контуре равен:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}. \tag{10}$$

Переменный электрический ток в контуре вызывает появление переменного магнитного поля, одновременно с этим изменяется и электрическое поле конденсатора. Поэтому рассмотренные нами свободные колебания заряда конденсатора и тока в контуре называют ***свободными электромагнитными колебаниями***. При R=0 свободные электромагнитные колебания в контуре становятся ***незатухающими***. Тогда имеем

$$\left.\begin{aligned} q &= A_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \alpha_0), \\ \Delta\varphi &= \frac{A_0}{C}\sin(\omega_0 t + \alpha_0), \\ I &= -A_0\omega_0 \cos(\omega_0 t + \alpha_0), \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

где

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{12}$$

- циклическая частота свободных незатухающих колебаний в контуре.

Для получения незатухающих электромагнитных колебаний необходимо извне подводить энергию, компенсирующую потери на джоулево тепло. В этом случае мы будем иметь дело с ***вынужденными электромагнитными колебаниями.***

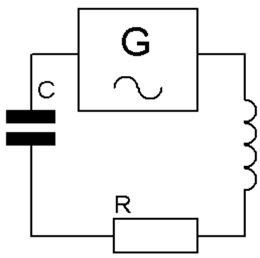

Рис.2

Рассмотрим простейший случай вынужденных колебаний в контуре, происходящих под действием ***синусоидальной ЭДС***

$$E = E_0 \cdot \sin\Omega t, \tag{13}$$

где E_0 - амплитуда ЭДС, а Ω- циклическая частота вынуждающих колебаний.

Для получения дифференциального уравнения вынужденных колебаний необходимо в законе Ома (1) заменить E суммой вынуждающей ЭДС (13) и ЭДС самоиндукции:

$$L \cdot \frac{d^2q}{dt^2} + R \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = -E_0 \cdot \sin\Omega t. \tag{14}$$

Решив дифференциальное уравнение (14) и подставив полученные значения q, $\frac{dq}{dt}$ и $\frac{d^2q}{dt^2}$ в (14) получим:

$$I_0 \cdot L \cdot \Omega \cdot \sin(\Omega \cdot t + \alpha + \frac{\pi}{2}) + I_0 \cdot R \cdot \sin(\Omega \cdot t + \alpha) + \\ + \frac{I_0}{\Omega \cdot C} \cdot \sin(\Omega \cdot t + \alpha - \frac{\pi}{2}) = E_0 \cdot \sin \Omega \cdot t \qquad (15)$$

Левая часть этого тождества представляет собой сумму трех гармонических колебаний одной частоты, но имеющих разные начальные фазы. Для их сложения удобно воспользоваться методом векторных диаграмм (рис.3).

Из рис.3 следует, что

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{\frac{1}{\Omega \cdot C} - \Omega \cdot L}{R} \qquad (16)$$

и

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\Omega \cdot C} - \Omega \cdot L\right)^2}} = \frac{E_0}{Z}, \qquad (17)$$

где

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\Omega \cdot C} - \Omega \cdot L\right)^2}\ . \qquad (18)$$

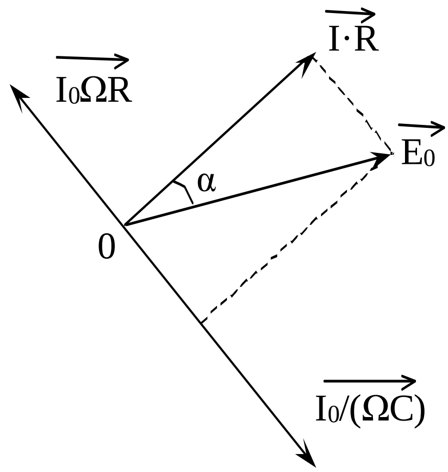

рис. 3

Формула (17) аналогична закону Ома для замкнутой цепи постоянного тока. Поэтому величина Z называется ***полным сопротивлением электрической цепи переменного тока*** (колебательного контура). Оно складывается из ***активного (омического) сопротивления*** R***,*** ***индуктивного*** ΩL ***и емкостного*** $\frac{1}{\Omega C}$ ***сопротивлений***.

Сила тока в контуре достигает максимального значения

$$I_{0\max} = \frac{E_0}{R}$$

при одном и том же значении Ω_p циклической частоты вынуждающей ЭДС равном

$$\Omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0\ . \qquad (19)$$

При $\Omega = \Omega_p$ полное сопротивление контура минимальное и равно активному сопротивлению. В этом случае $\alpha=0$, т.е. сила тока совпадает по фазе с вынуждающей ЭДС.

Явление резкого возрастания амплитуды силы тока в колебательном контуре при совпадении Ω и Ω_p называется ***явлением резонанса*** в электрической цепи, а Ω_p - ***резонансной циклической частотой***. Кривая зависимости I_0 от Ω называется ***резонансной кривой***.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теорию работы, установку и порядок выполнения работы и получить у преподавателя допуск к выполнению экспериментов.

2. Собрать схему согласно рис. 4.

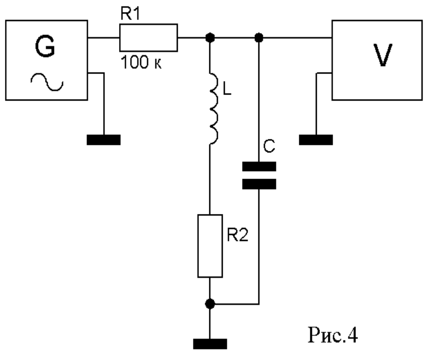

Рис.4

3. Фиксируя значения R и C и при трех значениях L, найти и записать значения частот, при которых отношение амплитуды в контуре $U/U_{рез}$ принимает значения, указанные в таблице

$U/U_{рез}$	0,1	0,5	0,7	0,9	1	0,9	0,7	0,5	0,1
f, кГц									

Построить семейство графиков зависимостей $U/U_{рез}$ от f.

4. Фиксируя значения R и L и при трех значениях C, найти и записать значения частот, при которых отношение амплитуды в контуре $U/U_{рез}$ принимает значения, указанные в таблице

$U/U_{рез}$	0,1	0,5	0,7	0,9	1	0,9	0,7	0,5	0,1
f, кГц									

Построить семейство графиков зависимостей $U/U_{рез}$ от f.

5. Фиксируя значения L и C и при нескольких значениях R, найти и записать значения частот, при которых отношение амплитуды в контуре U принимает значения, указанные в таблице

$U/U_{рез}$	0,1	0,5	0,7	0,9	1	0,9	0,7	0,5	0,1
f, кГц									

Построить семейство графиков зависимостей $U/U_{рез}$ от f.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Определите явление резонанса.
2. Чем определяется резонансная частота контура?
3. Какое значение имеет сопротивление контура на резонансной частоте при последовательном резонансе?
4. Какое значение имеет сопротивление контура на резонансной частоте при параллельном резонансе?

ЛИТЕРАТУРА:

1. Савельев И.В. Курс общей физики Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Наука, 1976
3. Иродов И. Е. Электромагнетизм. -М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.
4. Калашников Э.Г. Электричество. – М.:Наука, 1977.
5. Трапицын Н.Ф. Краткий курс общей физики. Ч.3. Электричество и магнетизм. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 1996
6. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1974.
7. Физический практикум. Ч.2./ Под ред. В.И. Иверонової. -М.: «Наука». -1968.