

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Московский энергетический институт  
(технический университет)  
Волжский филиал**

**Кафедра Механики и материаловедения**

**С.В. Кулешина, В.П. Мельников**

**ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ**

**Методические указания к выполнению  
лабораторной работы №25 по курсу “Физика”**

УДК 532  
Л 125

Рецензент:

*Петухов И.М.*, канд. техн. наук, доцент кафедры ТЭС

**Кулешина С.В., Мельников В.П.**

**Вынужденные электромагнитные колебания.** Методические указания к выполнению лабораторной работы № 25– Волжский: ВФ МЭИ (ТУ), 2002. – 8 с.

При выполнении лабораторной работы студенты измеряют электрические параметры и определяют добротность колебательного контура с использованием графических построений.

Работа предназначена для студентов 2 курса дневной и вечерней форм обучения всех специальностей.

УДК 532  
Л 125

© 2002, Кулешина С.В.  
Мельников В.П.  
© ВФ МЭИ (ТУ), 2002

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение зависимости силы тока в колебательном контуре от частоты вынуждающей ЭДС. Построение резонансных кривых.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Рассмотрим процессы, протекающие в колебательном контуре (рис. 1), присоединенном к внешнему источнику, ЭДС которого изменяется по гармоническому закону

$$\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \cos \omega t.$$

Обозначим через  $U$  напряжение на конденсаторе, а через  $I$  — ток в контуре. Согласно второму правилу Кирхгофа сумма напряжений на элементах цепи равна алгебраической сумме ЭДС в контуре:

$$IR + U = \mathcal{E}_0 \cos \omega t + \mathcal{E}_S, \quad (2.1)$$

где  $\mathcal{E}_S = -L \frac{dI}{dt}$  — ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке с индуктивностью  $L$  при прохождении в ней переменного тока.

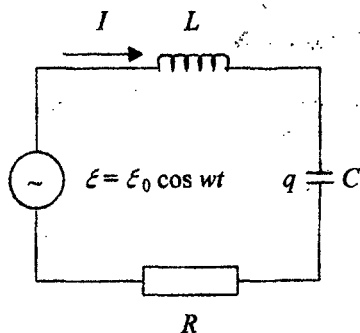


Рис. 1

Уравнение (2.1) можно записать в виде

$$IR + U + L \frac{dI}{dt} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t. \quad (2.2)$$

Выразим напряжение в конденсаторе через ток:

$$U = q/C = \frac{1}{C} \int I dt.$$

Здесь  $q$  — заряд на конденсаторе. Подставляя в (2.2) найденное значение напряжения, получим:

$$IR + \frac{1}{C} \int I dt + L \frac{dI}{dt} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t.$$

Продифференцируем это выражение по  $t$ :

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I = \mathcal{E}_0 \omega \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.3)$$

Далее будем использовать обозначения, введенные в лабораторной работе № 24. Тогда (2.3) примет вид:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + 2\beta \frac{dI}{dt} + \omega_0^2 I = \varepsilon_0 \frac{w}{L} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (2.4)$$

Полученное уравнение является линейным неоднородным ( $\beta = \text{const}$ ,  $\omega_0 = \text{const}$ ) дифференциальным уравнением второго порядка.

Уравнения типа (2.4) описывают поведение широкого класса колебательных систем (электрических, механических и т.п.) под влиянием внешнего гармонического воздействия.

Через некоторое время после включения гармонически изменяющейся ЭДС ( $t \gg 1/\beta$ ), которое потребуется для полного затухания собственных колебаний, в колебательном контуре устанавливается переменный ток с частотой, равной частоте вынуждающей ЭДС.

Установившиеся колебания в контуре, независимые от начальных условий, определяются частным решением уравнения (2.4), которое имеет вид

$$I = I_0 \cdot \cos(\omega t - \varphi). \quad (2.5)$$

Здесь  $I_0$  – амплитудное значение силы тока,  $\varphi$  – угол сдвига фаз между внешней ЭДС и током в цепи.

Подставив (2.5) в (2.4) найдем значения  $I_0$  и  $\varphi$ :

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + [wL - 1/wC]^2}} = \frac{\varepsilon_0}{z}, \quad (2.6)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{wL - 1/wC}{R}, \quad (2.7)$$

где 
$$z = \sqrt{R^2 + [wL - 1/wC]^2}. \quad (2.8)$$

Формула (2.6), показывающая зависимость амплитуды  $I_0$  переменного тока в колебательном контуре от амплитуды  $\varepsilon_0$  вынуждающей ЭДС, 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 сопротивления  $wL$  и емкостного сопротивления  $1/wC$ . Как видно из (2.6) амплитуда силы тока в контуре достигает максимального значения при минимальном значении  $z$ , т.е. при  $[wL - 1/wC]^2 = 0$ . При этом полное сопротивление контура минимально и равно его активному сопротивлению. В этом случае  $\varphi = 0$ , т.е. сила тока совпадает по фазе с вынуждающей ЭДС и равна

$$I_{\max} = \frac{\varepsilon_0}{R}. \quad (2.9)$$

При постоянных значениях  $L$ ,  $C$  независимо от величины активного сопротивления контура, амплитуда силы тока достигает максимального значения при одном и том же значении  $\omega$  — циклической частоты вынуждающей ЭДС, называемой резонансной, равной

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0, \quad (2.10)$$

где  $\omega_0$  — собственная циклическая частота колебательного контура (см. лабораторную работу № 6).

Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при приближении частоты вынуждающей ЭДС к частоте, равной или близкой собственной частоте колебательного контура называется *резонансом*.

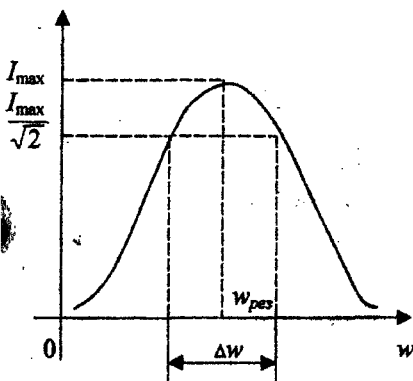


Рис. 2

Графическая зависимость амплитуды тока от частоты вынуждающей ЭДС называется *резонансной кривой*. Чем меньше активное сопротивление контура, тем больше амплитуда силы тока при резонансе и ярче выражена резонансная кривая.

Добротностью контура  $Q$  при  $\omega_{\text{рез}} \gg \beta$  называют соотношение

$$Q = \frac{\omega_{\text{рез}}}{\Delta\omega}, \quad (2.11)$$

здесь  $\Delta\omega$  — ширина резонансной кривой на высоте  $\frac{1}{\sqrt{2}} I_{\text{max}}$ .

Из (2.11) следует, что чем «острее» резонансная кривая, тем больше добротность контура.

### 3. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ И ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Принципиальная схема установки изображена на рис. 3.

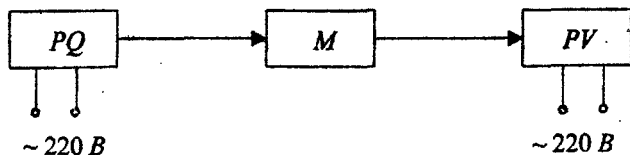


Рис. 3

$PQ$  — генератор импульсов ГЗ-118;  
 $M$  — модуль (колебательный контур);  
 $PV$  — вольтметр В7-38.

Электрическая схема модуля  $M$  показана на рис. 4.

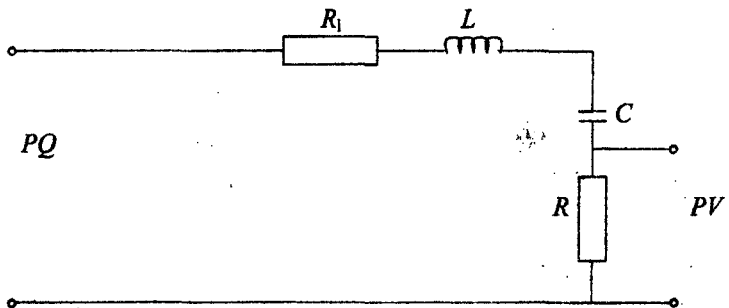


Рис. 4

С выхода генератора звуковых сигналов  $PQ$  на вход модуля  $M$  подается вынуждающая ЭДС, изменяющаяся по гармоническому закону.

Для снятия резонансной кривой  $I_0 = f(\omega)$  к гнездам  $PV$  модуля  $M$  подключается вольтметр. Измеряется напряжение  $U_0$  на сопротивлении  $R$  (ток  $I$  в контуре меняется синхронно с этим напряжением) при различных частотах  $\nu$ , задаваемых звуковым генератором.

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Получение резонансных кривых:

- 4.1. Собрать схему согласно рис. 3.
- 4.2. Включить лабораторный стенд.
- 4.3. Включить генератор звуковых сигналов и установить на нем частоту  $\nu = 1000$  Гц, а выходное напряжение  $U = 2$  В.
- 4.4. Измерить вольтметром  $PV$  амплитудное значение напряжения  $U_0$  на сопротивлении  $R$ .

Результат измерений записать в таблицу:

$\nu, \text{Гц}$	1000	1100	1200	1300	...	2600
$U_0, \text{В}$						
$\omega, \text{рад/с}$						
$I_0, \text{А}$						

- 4.5. Повторить измерения п.4.4 в диапазоне частот  $1000 + 2600$  Гц с шагом  $100$  Гц.

#### 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЗАМЕРОВ

- 5.1. Рассчитать значения циклической частоты по формуле  $\omega = 2\pi \nu$  и записать в таблицу.

- 5.2. Рассчитать значения амплитуд силы тока в контуре по формуле  $I_0 = \frac{U_0}{R}$ ,  
 где  $R = 10 \text{ Ом}$ .
- 5.3. По данным таблицы построить резонансную кривую  $I_0 = f(\omega)$ .
- 5.4. Определить добротность  $Q$  контура по формуле (2.11).

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие колебания называются вынужденными?
2. Как зависит амплитуда тока в колебательном контуре от частоты внешней ЭДС?
3. Как определить сдвиг фаз между внешней ЭДС и током в цепи?
4. Что такое резонансная частота? Резонансная кривая?
5. Что называется добротностью колебательного контура?
6. Как зависит добротность от активного сопротивления?
7. Докажите, что резонанс наступает при частоте внешней ЭДС, равной собственной частоте колебательного контура?
8. Что называется резонансом? Какова его роль?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Детлаф А.А. Курс физики. Т.2. – М.: Высшая школа, 1973. – 342-348 с.

### СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	3
2. Теоретические основы.....	3
3. Метод измерений и описание установки.....	5
4. Порядок выполнения работы.....	6
5. Обработка результатов замеров.....	6
Контрольные вопросы.....	7
Литература.....	7

**С.В. Кулешина, В.П. Мельников**

**ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ**

Методические указания к выполнению  
лабораторной работы № 25 по курсу “Физика”

Редактор *Халдеева Г.П.*  
Компьютерная верстка *Юриной В.В.*

Изд. лиц. № 03542 от 19.12.2000.

Подписано в печать 07.03.2002. Формат 60×90<sub>1/16</sub>.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,5. Тираж 50 экз. Заказ № 81.

Издатель ВФ МЭИ (ТУ), 404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69.  
Отпечатано ВФ МЭИ (ТУ), 404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69.