Московский Государственный Технический

Университет им. Н.Э. Баумана

Кафедра физики ФН-4

Бянкин В.М., Козлов В.А. Инфимовский Ю.Ю.

Изучение вынужденных электрических колебаний в колебательном контуре.

Методические указания к лабораторной работе

по курсу общей физики.

Э-81

2014

Цель работы: измерение амплитудных резонансных кривых колебательных контуров и определение по ним характеристик контуров: резонансной частоты, ширины резонансной кривой, добротности, коэффициента затухания, логарифмического декремента, а так же расчёт номинальных значений ёмкости и сопротивления.

Теоретическая часть.

1.Вынужденные электрические колебания

Чтобы вызвать вынужденные колебания, нужно оказывать на систему внешнее периодически изменяющееся воздействие. В случае электрических колебаний это можно осуществить, если на вход колебательного контура, состоящего из последовательно соединённых катушки индуктивности L (приложение 1), конденсатора ёмкости C (приложение 2) и омического сопротивления R (приложение 3), подать переменное напряжение

$$U = U_m \cos \omega t \tag{1}$$

(рис.1). В контуре возникнут вынужденные колебания, которые будут происходить в такт с изменениями внешнего воздействия. Частота вынужденных колебаний будет совпадать с частотой ω внешнего приложенного напряжения.

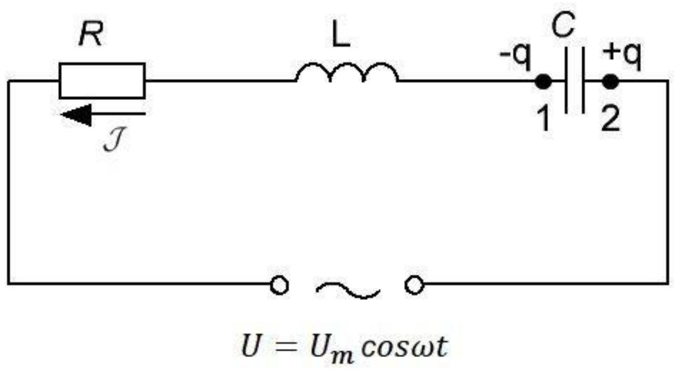

Рис.1

2.Уравнение вынужденных колебаний и его решения.

Запишем закон Ома для участка цепи между точками 1 и 2, содержащего катушку индуктивности L, омическое сопротивление R и клеммы, на которые подаётся внешнее напряжение $U = U_m \cos \omega t$,которое следует рассматривать как действующую в контуре ЭДС. В катушке индуктивности за счёт изменения силы тока I возникает ЭДС самоиндукции $\varepsilon_{с.инд.}$. Закон Ома для участка цепи 1-2 имеет вид

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{с.инд.} + U, \tag{2}$$

где φ_1 и φ_2 – значения потенциалов в точках 1 и 2 цепи, равные потенциалам обкладок конденсатора.

Силу тока I и разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ можно выразить через заряд конденсатора q:

$$I = \frac{dq}{dt}\ ,\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{q}{\mathrm{C}}\ . \tag{3}$$

ЭДС самоиндукции равна

$$\varepsilon_{с.инд.} = -L\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dt}}\,. \tag{4}$$

Подставим выражения для разности потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ и ЭДС самоиндукции $\varepsilon_{с.инд.}$, а так же зависимость от времени внешнего напряжения U в соотношение (2):

$$IR = -\frac{q}{C} + -L\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dt}} + U_m\cos\omega t\ . \tag{5}$$

Учитывая связь между силой тока I и зарядом конденсатора q (3) и, выполнив преобразования, получим из (5) уравнение вынужденных колебаний:I

$$\ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{1}{LC}q = \frac{U_m}{L}\cos\omega t, \tag{6}$$

где $\dot{q}$ и $\ddot{q}$ – первая и вторая производные по времени величины заряда q конденсатора.

Вводя обозначения: $\beta = \frac{R}{2L}$ – коэффициент затухания и $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – собственная частота контура, представим уравнение (6) в следующей форме

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U_m}{L}\cos\omega t. \tag{7}$$

Из теории линейных дифференциальных уравнений, общее решение уравнения (7) имеет вид

$$q = q_{m0}e^{-\beta t}cos(\omega' t + \delta) + q_m cos(\omega t - \psi). \tag{8}$$

Первое слагаемое представляет собой затухающее колебание с частотой $\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$, начальной амплитудой q_{m0} и начальной фазой δ. Второе слагаемое – это вынужденное колебание с циклической частотой ω, равной частоте приложенного напряжение, и амплитудой q_m. Вынужденное колебание заряда q отстаёт по фазе от колебания приложенного напряжения U на величину ψ.

Амплитуда вынужденных колебаний q_m равна

$$q_m = \frac{U_m/L}{\sqrt{\left(\omega_0^2-\omega^2\right)^2+4\beta^2\omega^2}}\,. \tag{9}$$

Разность фаз колебаний заряда q и внешнего напряжения U определяется выражением

$$tg\psi = \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2-\omega^2}\,. \tag{10}$$

По прошествии достаточного времени амплитуда затухающего колебания $q_{m0}e^{-\beta t}$ становится малой по сравнению с амплитудой вынужденного колебания q_m, так что слагаемым, соответствующим затухающему колебанию, в решении уравнения вынужденных колебаний можно пренебречь. Нетрудно убедиться, что в этих условиях решение уравнения (7) имеет вид

$$q = q_m cos(\omega t - \psi), \tag{11}$$

где величины q_m и ψ определяются формулами (9) и (10).

На практике с помощью амперметра и вольтметра измеряют силу тока и напряжение в различных участках цепи, а не величину заряда конденсатора.

3.Сила тока

Силу тока в контуре при установившихся колебаниях найдём, дифференцирую по времени выражение (11) для заряда q:

$$I = \frac{dq}{dt} = -q_m\omega sin(\omega t - \psi) = q_m\omega\, cos\left(\omega t - \psi + \frac{\pi}{2}\right) = I_m cos(\omega t - \varphi), \tag{12}$$

где $I_m = q_m\omega$ – амплитуда тока, φ=$\psi - \frac{\pi}{2}$ есть разность фаз между током I в контуре и колебаний поданного на вход колебательного контура внешнего напряжения $U = U_m \cos \omega t$.

Умножая правую часть равенства (9) на ω получим выражение для амплитуды тока в контуре

$$I_m = \frac{(U_m/L)\omega}{\sqrt{\left(\omega_0^2-\omega^2\right)^2+4\beta^2\omega^2}}. \qquad (13)$$

Подстановка в формулу (13) выражений $\omega_0^2 = {}^1/_{LC}$ и $\beta = \frac{R}{2L}$ даёт

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-{}^1/_{\omega C}\right)^2}}. \qquad (14)$$

Амплитуда тока I_m в контуре определяется амплитудой напряжения U_m параметрами цепи R,L,C и частотой ω.

Тангенс разности фаз колебаний φ поданного на вход контура напряжения $U = U_m \cos \omega t$ и силы тока в контуре $I = I_m cos(\omega t - \varphi)$ определяется через параметр ψ, заданный выражением (10)

$$tg\varphi = tg\left(\psi - \frac{\pi}{2}\right) = -ctg\psi = -\frac{\omega_0^2-\omega^2}{2\beta\omega} = \frac{\omega L-{}^1/_{\omega C}}{R}. \qquad (15)$$

Таким образом, колебания тока в контуре отстают от колебаний поданного на вход контура напряжения на угол φ, который зависит от параметров цепи R,L,C и частоты ω.

4. Напряжение на конденсаторе

Разделив выражение (11) на ёмкость C, получим напряжение на конденсаторе

$$U_C = \frac{\mathrm{q}}{\mathrm{C}} = \frac{\mathrm{q_m}}{\mathrm{C}} cos(\omega t - \psi) = U_{Cm} cos\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right), \qquad (16)$$

где $U_{Cm} = \frac{\mathrm{q_m}}{\mathrm{C}}$ – амплитуда напряжения на конденсаторе.

Разделив на величину C правую часть выражения (9) для q_m и учитывая равенства $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ и $\beta = \frac{R}{2L}$ получим выражение амплитуды напряжения на конденсаторе

$$U_{Cm} = \frac{U_m\omega_0^2}{\sqrt{\left(\omega_0^2-\omega^2\right)^2+4\beta^2\omega^2}} = \frac{U_m}{\omega \mathrm{C}\sqrt{R^2+\left(\omega L-{}^1/_{\omega \mathrm{C}}\right)^2}} = \frac{I_m}{\omega \mathrm{C}}. \qquad (17)$$

Колебания напряжения на конденсаторе (16) отстают по фазе от колебаний тока в контуре (12) на величину ${}^{\pi}/_{2}$.

5.Амплитудные резонансные кривые. Явление резонанса.

Амплитудными резонансными кривыми называют графики зависимости от частоты ω амплитуды тока I_m и амплитуды напряжения на конденсаторе U_{Cm}.

График зависимости амплитуды напряжения U_{Cm} на конденсаторе от частоты ω, поданного на вход колебательного контура напряжения $U = U_m \cos \omega t$ представлен на рис.2 (описывается выражением (17)).

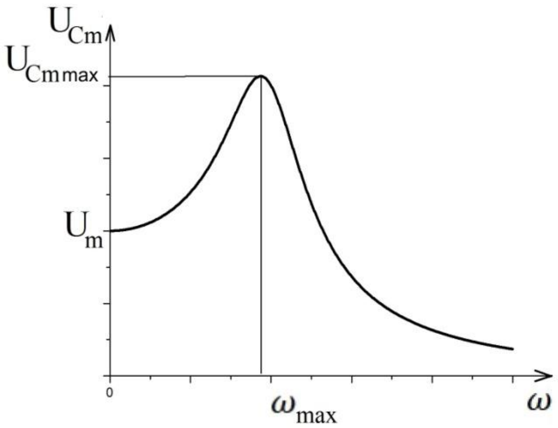

Рис.2

При определённой частоте внешнего напряжения U, которую мы обозначим через ω_{max}, амплитуда напряжения на конденсаторе достигает наибольшего значения $U_{Cm\,max}$.

Положение максимума функции $U_{Cm}(\omega)$,то есть значение ω_{max}, найдём приравняв производную по ω от подкоренного выражения (17) к нулю:

$$\omega_{max} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}} \le \omega_0 \,. \qquad (18)$$

Из формулы (17) видно, что при $\omega \to 0$, амплитуда напряжения на конденсаторе становится равной амплитуде внешнего напряжения:

$$U_{Cm}(\omega = 0) = U_m \,. \qquad (19)$$

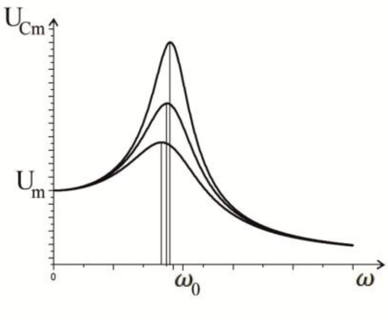

Рис.3

На рис.3. изображены амплитудные резонансные кривые функции $U_{Cm}(\omega)$ для разных значений $\beta = \frac{R}{2L}$.

Чем меньше $\beta = \frac{R}{2L}$, т.е. чем меньше активное сопротивление контура R, тем выше и острее максимум функции $U_{Cm}(\omega)$ и тем ближе ω_{max} к значению ω_0.

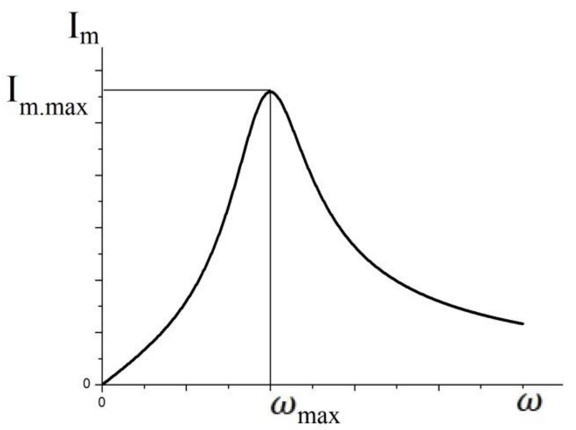

Рис.4

Зависимость амплитуды силы тока I_m от частоты поданного на вход колебательного контура напряжения $U = U_m \cos \omega t$ описывается выражениями (13) и (14) и изображена на рис.4.

Амплитуда силы тока в контуре достигает наибольшего значения $I_{m\,max}$ при частоте ω_{max}. Значение частоты ω_{max} можно найти, приравняв к нулю производную по переменной ω подкоренного выражения

$R^2 + \left(\omega L - {}^1/_{\omega C}\right)^2$ стоящего в знаменателе правой части равенства (14). Следовательно амплитуда тока в цепи является максимальной, если частота внешнего напряжения ω совпадает с собственной частотой контура ω_0:

$$\omega_{max} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{20}$$

Отрезок, отсекаемый амплитудной резонансной кривой на оси I_m, равен нулю – при постоянном напряжении установившийся ток в цепи с конденсатором течь не может.

<u>Резонансом называется явление, когда при некоторой определённой частоте внешнего переменного напряжения U амплитуда напряжения на конденсаторе достигает максимального значения. Соответствующая частота ω называется резонансной частотой $\omega_{рез}$. Резонансная частота $\omega_{рез}$ для U_{Cm} определяется формулой:</u>

$$\omega_{рез} = \omega_{max} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}\,. \tag{21}$$

Чем меньше β, тем ближе резонансная частота к значению ω_0.

6. Относительная высота максимума амплитудной резонансной кривой.

В случае слабого затухания (при $\beta \ll \omega_0$) частота ω_{max}, при которой функция $U_{Cm}(\omega)$ достигает наибольшего значения, приблизительно равна собственной частоте контура ω_0:

$$\omega_{max} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \approx \omega_0 \,. \qquad (22)$$

Согласно (17) значение функции $U_{Cm}(\omega)$ в точке максимума при $\omega = \omega_{max} \approx \omega_0$, равно

$$U_{Cm\,max}(\omega) = U_{Cm}(\omega_0) = U_m \frac{\omega_0}{2\beta} \,. \qquad (23)$$

В соответствии с (17) при $\omega \to 0$ величина $U_{Cm}(\omega)$ становится равной амплитуде внешнего напряжения U_m:

$$U_{Cm}(0) = U_m \,. \qquad (24)$$

Отношение значений функции $U_{Cm}(\omega)$ в точке максимума при $\omega \approx \omega_0$ и в точке $\omega = 0$ равно

$$\frac{U_{Cm}(\omega_0)}{U_{Cm}(0)} = \frac{\omega_0}{2\beta} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \approx Q \,. \qquad (25)$$

Здесь Q – добротность контура. Таким образом, добротность контура Q показывает, во сколько раз амплитуда напряжения на конденсаторе $U_{Cm}(\omega)$ в условиях резонанса ($\omega = \omega_{max} \approx \omega_0$) превышает величину напряжения на конденсаторе при $\omega \approx 0$ (см. рис.2). Добротность контура Q характеризует относительную высоту максимума амплитудной резонансной кривой.

7. Ширина амплитудной резонансной кривой.

Ширина $\Delta\omega$ амплитудной резонансной кривой, это диапазон частот колебаний внешнего напряжения U, границам которого соответствуют значения напряжения на конденсаторе $U_{Cm}(\omega)$ в $\sqrt{2}$ раз меньше (приложение 4) максимального значения $U_{Cm\,max}$ (рис. 5).

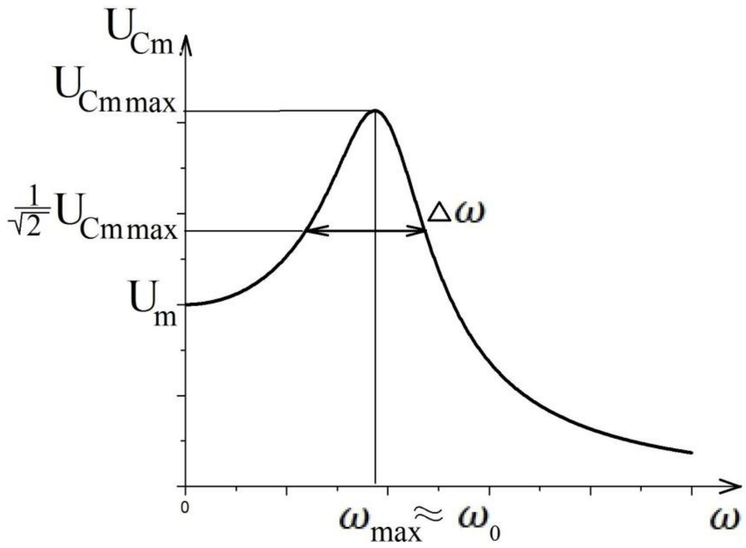

Рис.5

Используя формулу (17) и учитывая, что при резонансе $\omega = \omega_{рез} = \omega_{max} \approx \omega_0$ получим

$$\Delta\omega \approx 2\beta\ . \tag{26}$$

Ширина амплитудной резонансной кривой $\Delta\omega$ приблизительно равна удвоенному коэффициенту затухания β колебательного контура. Чем меньше коэффициент затухания β, тем уже амплитудная резонансная кривая.

Отметим, что отношение резонансной частоты ω_0 к ширине амплитудной резонансной кривой $\Delta\omega$ приблизительно равно добротности контура Q:

$$\frac{\omega_0}{\Delta\omega} \approx \frac{\Delta\omega}{2\beta} \approx Q\ . \tag{27}$$

Добротность колебательного контура определяет также остроту амплитудных резонансных кривых (рис.3).

Экспериментальная часть

1.Описание установки

В состав экспериментальной установки для изучения вынужденных электрических колебаний в полном (последовательном) колебательном контуре (рис.6) входят: 1-цифровой генератор сигналов; 2 – катушка (300 витков); 3 – коммуникационная коробка; 4 – угольное сопротивление; 5 – конденсатор; 6 – цифровой мультиметр; 7 – соединительные провода с комбинированными штекерами. Комбинированный штекер (штекер с гнездом) используется в точках, где на схеме имеются узлы (узел - точка, в которой сходятся три или более проводников).

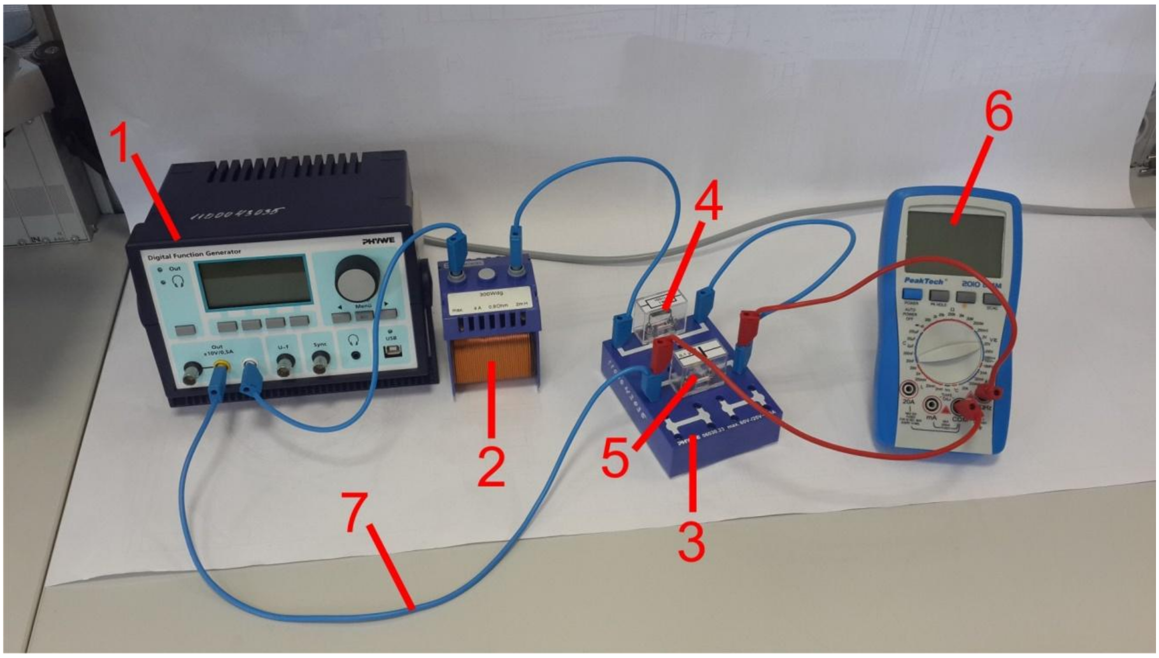

Рис.6

Цифровой генератор сигналов является источником переменного напряжения, подаваемого на вход колебательного контура. Внешний вид передней панели генератора представлен на рис.7, где: 1-дисплей; 2- кнопки меню для дисплея; 3- навигационная клавиатура; 4-USB порта; 5 – выход на наушники; 6-выход синхронизации; 7 - $U \sim F$ выход; 8 – усилитель выхода; 9 – кнопка режима выхода.

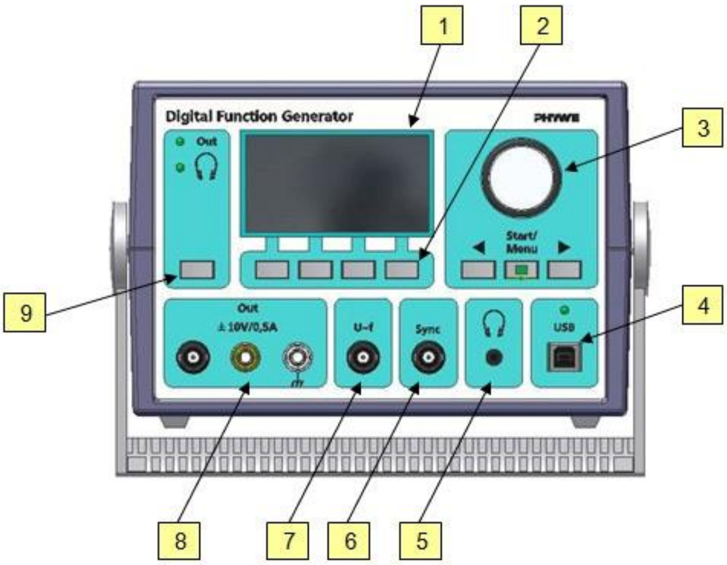

Рис.7

Цифровой мультиметр типа 2010 используется для измерения постоянного напряжения на конденсаторе. Внешний вид передней панели мультиметра представлен на рис.8, где:1-ЖК-дисплей с подсветкой; 2-переключатель функций (выбор диапазона измерений); 3 – COM (общий вход-разъём); 4 – $V - \Omega - CAP - Hz - Temp$ -вход-разъём; 5 – mA вход-разъём; 6 – 20A вход-разъём; 7 – удержание данных кнопка; 8 – ^{O}C – ^{O}F кнопка; 9 – кнопка подсветки; 10 – кнопка ВКЛ-ВЫКЛ.

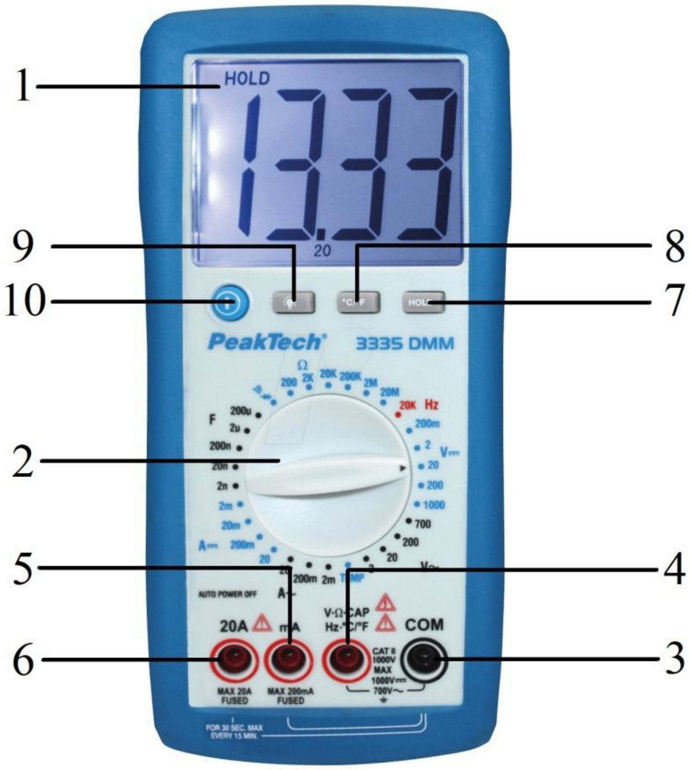

Рис.8

Для генератора и мультиметра подробная информация о функциональном назначении элементов управления и правила обращения с ними прилагается к методическим указаниям лабораторной работы.

Для получения вынужденных электрических колебаний в колебательном контуре и их изучения в данной работе использовалась электрическая схема, приведённая на рис.9 : Г-генератор; L – катушка; КК – коммуникационная коробка; R – сопротивление; C – конденсатор; M – мультиметр.

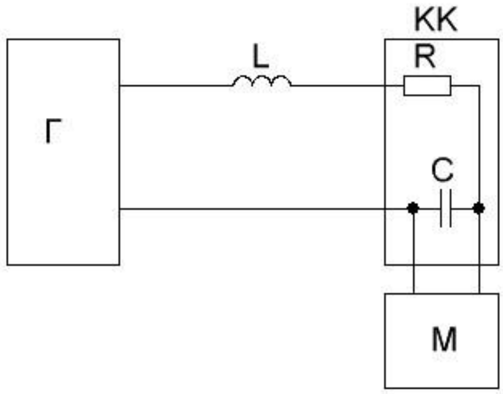

Рис.9

2.Проверка готовности установки к работе

1. Собрать электрическую схему согласно рис.9 ($R=R_1$=47 Ом, C=0,1 мкФ, L=2 мГн).

Все последовательно расположенные элементы схемы необходимо соединить синими проводами. Мультиметр к конденсатору необходимо подключить красными проводами. Подключение потребителя напряжения генератора осуществляется через усилитель выхода (8). Постоянное напряжение на конденсаторе подают на клеммы «COM» (3) и «$V - \Omega$ » (4) мультиметра.

2. Кабель питания генератора подключают к сети с напряжением 220В. Включите устройство путём приведения в действие выключателя, который находится на задней панели генератора. При этом должна загореться индикаторная лампочка и будет отображаться обзорный экран рис.10.

Рис.10.

Внимание! Не включать генератор под нагрузкой, так как незначительные перегрузки (>1A) вызовут автоматический перезапуск.

3.Выбрав пункт меню «Signal» и поворачивая вращающуюся ручку навигационной клавиатуры (3) установить синусоидальную форму волны. Смотри в правый верхний угол экрана. Для подтверждения нажмите «OK».

4. Пункт меню «Freq» может быть использован для регулировки частоты в диапазоне от 0.1 Гц до 999,999 кГц. При повороте вращающейся ручки навигационной клавиатуры (3) будет изменяться численное значение частоты и будет происходить автоматическое переключение с Гц до кГц и наоборот. Для изменения порядка меняющегося числа соответствующего частоте можно использовать кнопки со стрелками в навигационной клавиатуре (3).

5. Выбор пункта меню «Ampl.» вызывает окно регулировки амплитуды рис.11. Значение числа на экране может быть изменено с помощью кнопок навигации и при помощи вращающейся ручки (3). Выбор пункта меню «Zero» ,устанавливает значение 0.00 В. Установить на экране число 8.500 V, что соответствует амплитуде напряжения Um=4.25 В. Для подтверждения нажмите «OK».

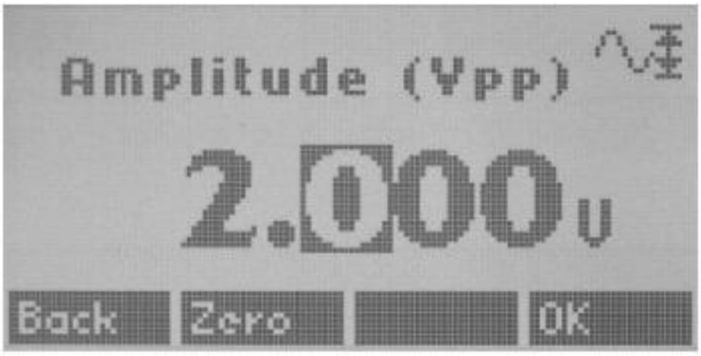

Рис.11

6.Включите мультиметр кнопкой (10). Режим работы переменное (AC) напряжение выбирается кнопкой (7). Переключатель (2) устанавливает предел измерения постоянного ($V =$) напряжения равный 20В.

3. Выполнение эксперимента.

Задание 1. Измерение амплитудной резонансной кривой колебательного контура содержащего сопротивление R_1=47 Ом,конденсатор С=0,1 мкФ и катушку L=2 мГн.

1. В соответствии с пунктом (4) (проверка готовности установки к работе), поворачивая вращающуюся ручку, производят настройку генератора для получения резонанса, т.е. добиваются максимума действующего (или эффективного) значения напряжения на конденсаторе Uc_{max} (по показаниям на дисплее мультиметра) которое связано с амплитудным значением напряжения формулой $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ (приложение 4).

2.Отсчёт на экране генератора даёт значение резонансной частоты контура $f_{рез} = f_m$, которая связана с круговой частотой формулой $\omega = 2\pi f$.

3.Данные измерений f и U_c записывают в таблицу 1. Таблицу следует заполнять от центра (f_m или ω_m) к краям (Ширина каждого столбца должна соответствовать возможности написать число с пятью цифрами).Следующие точки амплитудной резонансной кривой получают так: слева и справа от резонансной частоты нужно взять по шесть точек, отличающихся друг от друга по частоте на 400Гц (столбцы 1 и 13).

Таблица 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
f,Гц													
ω,1/с													
U_C ,В													
U_{Cm} , В													

Задание 2. Измерение амплитудной резонансной кривой колебательного контура, содержащего сопротивление R_2=100 Ом, конденсатор С=0,1 мкФ и катушку L=2 мГн.

1.Отключить выключателем генератор от электрической сети.

2.В электрической схеме заменить R_1=47 Ом на R_2=100 Ом.

3.Выключателем включить питание генератора.

4.Произвести измерения в соответствии с пунктами 1-3 задания 1.

5.Результаты измерений f и Uc записывают в таблицу 2. Точки

Таблица 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
f,Гц											
ω,1/с											
U_C , В											
U_{Cm} ,В											

Продолжение таблицы 2

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
f,Гц											
ω,1/с											
U_C , В											
U_{Cm} ,В											

амплитудной резонансной кривой получают так: слева и справа от резонансной частоты нужно взять по одиннадцать точек отличающихся друг от друга по частоте на 400 Гц (столбцы 1 и 23).

4.Обработка и анализ результатов.

1.Циклическую частоту ω определяют по формуле: $\omega = 2\pi f$. Амплитудное значение напряжения на конденсаторе U_{cm} определяют по формуле: $U_C = \frac{U_{Cm}}{\sqrt{2}}$.

2. По данным таблиц 1 и 2 построить на отдельных листах миллиметровой бумаги амплитудные резонансные кривые $U_{Cm}(\omega)$ колебательных контуров.

3.По графикам $U_{Cm}(\omega)$ определяют резонансные частоты ω_{m1}, ω_{m2} и ширину амплитудных резонансных кривых $\Delta\omega_1$, $\Delta\omega_2$.

4.В работе по амплитудным резонансным кривым колебательных контуров определяют характеристики контуров:

- собственная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$;

- коэффициент затухания $\beta = \frac{\Delta\omega}{2}$;

- добротность $Q = \frac{\omega_m}{\Delta\omega}$;

- логарифмический декремент затухания $\lambda = \frac{\pi}{Q}$;

- ёмкость $C_{эксп.} = \frac{1}{\omega_m^2 L}$;

- сопротивление $R_{эксп.} = \Delta\omega L$.

5.Результаты вычислений занести в таблицу 3.

Таблица 3.

Собственная частота контура ω_0,с$^{-1}$	
Резонансная частота ω_{m1} , с$^{-1}$	
Резонансная частота ω_{m2} , с$^{-1}$	
Ширина резонансной кривой $\Delta\omega_1$, с$^{-1}$	
Ширина резонансной кривой $\Delta\omega_2$, с$^{-1}$	
Коэффициент затухания β_1, с$^{-1}$	
Коэффициент затухания β_2, с$^{-1}$	
Добротность Q_1	
Добротность Q_2	
Логарифмический декремент затуханияλ_1, с$^{-1}$	
Логарифмический декремент затухания λ_2, с$^{-1}$	
Ёмкость $C_{эксп1}$,Ф	
Относительная погрешность ёмкости $\left\lvert\frac{C-C_{эксп1}}{C}\right\rvert$	
Ёмкость $C_{эксп2}$,Ф	
Относительная погрешность ёмкости $\left\lvert\frac{C-C_{эксп2}}{C}\right\rvert$	
Омическое сопротивление $R_{эксп1}$,Ом	
Относительная погрешность омического сопротивления $\left\lvert\frac{R-R_{эксп1}}{R}\right\rvert$	
Омическое сопротивление $R_{эксп2}$,Ом	
Относительная погрешность омического сопротивления $\left\lvert\frac{R-R_{эксп2}}{R}\right\rvert$	

По данным таблицы 3 сделать выводы.

Контрольные вопросы

1.Что такое вынужденные электрические колебания?

2.Уравнение вынужденных колебаний и его решения.

3.Что называется резонансом? Какова его роль?

4. Назовите характерные признаки резонанса напряжений, резонанса токов. Приведите графики резонанса токов и напряжений.

Приложения

Приложение 1

Катушка индуктивности и дроссель, как и конденсатор, используются в цепях переменного тока.Это соленоид с сердечником или без него , который является либо элементом колебательного контура ,либо применяется для создания индуктивного сопротивления переменному току (переменной составляющей тока). В первом случае его называют катушкой индуктивности, во втором – дросселем.

Приложение 2

Конденсатор – элемент электрической цепи переменного тока, служащий для накопления электрических зарядов, состоящий из двух разделённых диэлектриком проводников (обкладок).

Приложение 3

В цепях переменного тока высокой частоты проволочные сопротивления не применяются, так как они имеют заметную индуктивность.

Непроволочные резисторы (обычно меньшей мощности,чем проволочные) представляют собой керамические цилиндры небольших размеров, на которые нанесён углеродистый или тонкий металлический слой. Для увеличения сопротивления делается спиральный разрез слоя. После присоединения отводов готовый резистор покрывают слоем лака.

Приложение 4.

В цепи переменного тока различают мгновенные и действующие (или эффективные) значения величин. Действующим значением силы переменного тока называют силу такого постоянного тока, который за одинаковое время на одном активном проводнике выделяет такое же количество теплоты, как определяемый переменный ток.

Сила переменного тока

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_m}{R} sin\ \omega t = I_m sin\ \omega t$$

Количество теплоты, выделяемое этим током за период T на сопротивлении R, равно

$$Q = \int_t^{t+T} i^2 R dt = \int_t^{t+T} I_m^2 R sin^2 \omega t\ dt = I_m^2 R \int_t^{t+T} sin^2 \omega t\ dt$$
$$= I_m^2 R \left(\frac{t}{2} - \frac{1}{4\omega} sin\ 2\omega t \right)_t^{t+T} = I_m^2 R \frac{T}{2}$$

Количество теплоты, выделяемое соответствующим постоянным током, $Q = I_{эфф}^2 RT$. Приравнивая эти количества теплоты и обозначая действующее значение просто через I, т.е. $I_{эф}$=I, получаем

$$I_{эфф} = I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Аналогично выводится, что

$$U_{эфф} = U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Все амперметры и вольтметры градуированы по действующим значениям тока и напряжения.

Литература

1.Бурсиан Э.В. Физические приборы: Учеб. Пособие для студентов физ. –мат. фак. пед. ин-тов. –М.:Просвещение,1984. –271с.,ил.

2.Савельев И.В. Курс общей физики. Учеб. пособие. В 3-х томах.Т.2.Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. –3-е изд. испр. –М.:Наука.Гл.ред.физ. –мат.лит.,1988 –496с.,ил.

3.Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы –3-е изд.,испр., –М.: Лаборатория Базовых знаний,2000. – 3520.: ил.

4.Леденёв А.Н. Физика.В 5 кн.Кн.4.Колебания и волны. Оптика. –М.:

ФИЗМАТЛИТ,2005. –256с. –ISBN 5-9221-0464-0.

5.Общая физика: руководство по лабораторному практикуму: Учеб. пособие/Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. –М.:ИНФРА-М.2008.-599с. – (Высшее образование)