

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физико-математических
и естественных наук

Кафедра
«Общая физика
и методика обучения физике»

Направление подготовки 44.03.05 Педагогическое образование
(с двумя профилями подготовки)

Профили «Физика. Технология»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему:

**«ПОВЫШЕНИЕ НАГЛЯДНОСТИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЯВЛЕНИЯ
РЕЗОНАНСА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ
В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ»**

Студент _____ Винидиктов Артём Сергеевич
(подпись, дата) (Ф.И.О. полностью)

Руководитель _____ Калинин Е.Н.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр _____ Калинин Е.Н.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 17.06.19г. № 12)

Заведующий кафедрой _____ Казаков А.Ю.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой ____ (протокол заседания ГЭК от _____ № ____)

Секретарь ГЭК _____ Паскевич Н.В.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Пенза 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
 ГЛАВА I. РЕЗОНАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ВТОРОГО ПОРЯДКА	
1.1. Классификация цепей по количеству реактивных элементов.....	4
1.2. Собственные колебания электрического контура.....	5
1.3. Резонанс напряжений	
1.3.1. АЧХ и полоса пропускания последовательного контура.....	11
1.3.2. Зависимость импеданса последовательного контура от частоты..	14
1.4. Резонанс токов	
1.4.1. Импеданс и адмитанс параллельного контура	15
1.4.2. Нагруженная добротность.....	19
1.4.3. АЧХ, ФЧХ и полоса пропускания параллельного контура	20
 ГЛАВА II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКЕТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАГЛЯДНОСТИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РЕЗОНАНСА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ	
2.1. Описание экспериментального макета.....	23
2.2. Экспериментальное исследование параллельного контура. АЧХ.....	28
2.3. Конспект урока по теме «Исследование АЧХ параллельного контура».....	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	38

ВВЕДЕНИЕ

Главной задачей любой школы является предоставление знаний в доступном виде. Для лучшего понимания некоторых сложных физических явлений для повышения наглядности используются модели.

В настоящее время имеется большое число программных средств обучения, содержащих в своем составе различные типы учебных компьютерных моделей, однако даже ввиду такого большого разнообразия учебных компьютерных моделей, некоторые явления необходимо рассматривать на физических моделях.

Цель бакалаврской работы заключается в разработке макета для изучения явления резонанса в электрических цепях гармонического тока и его методического сопровождения оформленного в виде конспекта урока.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ учебно-методической литературы и электронных изданий на тему повышения наглядности при изучении явления резонанса в электрических цепях.

2. Разработать и изготовить макет для изучения явления резонанса в электрических цепях гармонического тока.

3. Разработать методические рекомендации по использованию макета на факультативных занятиях по физике, оформленные в виде конспекта урока.

4. Провести апробацию элементов данной методики.

ГЛАВА I. РЕЗОНАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ВТОРОГО ПОРЯДКА

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЦЕПЕЙ ПО КОЛИЧЕСТВУ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Электрические цепи делятся на простые и сложные. К признакам, определяющим простую цепь, можно отнести:

- наличие только одного источника энергии (сигнала);
- возможность до расчётов указать истинные направления токов во всех ветвях;
- соединение элементов цепи выполнено по правилам последовательного, параллельного и смешанного соединений.

Порядок электрической цепи определяется числом реактивных элементов. Цепь первого порядка ($n = 1$) включает один реактивный элемент – индуктивность или емкость и любое число резистивных элементов и независимых источников питания. По отношению к реактивному элементу всю остальную цепь можно считать резистивным активным двухполюсником (рис. 1, а, б).

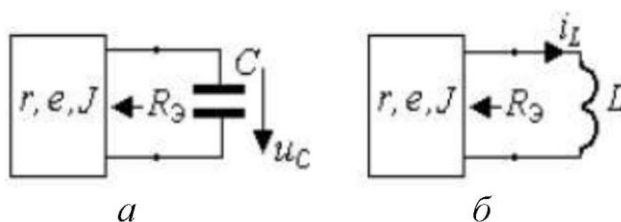


Рис. 1. Схематичное изображение цепи первого порядка: а) RC-цепь; б) RL-цепь

Электрические цепи второго порядка содержат два энергоемких элемента – конденсатор и индуктивность. Математической моделью таких цепей служит дифференциальное уравнение второго порядка, поэтому порядок цепи так же равен двум. В идеале резистор в этих цепях может отсутствовать ($R = 0$), однако и соединительные проводники, и катушка индуктивности имеют сопротивления, отличные от нуля ($R > 0$). Поэтому цепи второго порядка

иногда называют RLC-цепями. В зависимости от того, каким способом в цепи соединены между собой индуктивность и конденсатор (последовательное или параллельное соединение), различают последовательный и параллельный колебательные контуры. RLC-цепи качественно отличаются от цепей первого порядка. В частности, в зависимости от соотношений между величинами элементов цепи переходные процессы в RLC-цепи носят аperiodический (как в цепях первого порядка) или колебательный характер. В частотной области RLC-цепь обладает резонансными свойствами и рассматривается как узкополосный фильтр. В колебательном контуре отдельный резистор, как правило, отсутствует, однако при анализе схемы сопротивление R , обусловлено потерями в индуктивности, конденсаторе и монтажных проводниках.

1.2. СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТУРА

Выведем контур из состояния равновесия, зарядив конденсатор (рис. 2).

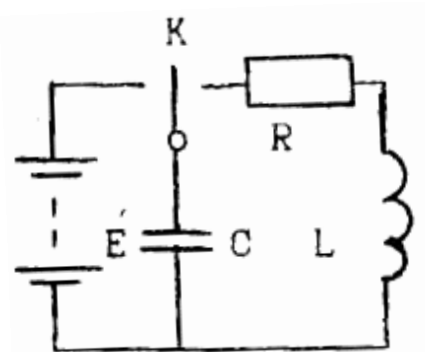


Рис. 2. Колебательный контур

С помощью ключа K от источника E , а затем переключив его на катушку индуктивности L . Еще из школы известно, что в контуре начнутся периодические процессы разрядки и перезарядки конденсатора. Энергия электрического поля, сосредоточенного в основном между обкладками конденсатора, будет преобразовываться в энергию магнитного поля, создаваемого током перезарядки конденсатора вокруг и внутри катушки индуктивности. При

этом для любого момента времени справедлив второй закон Кирхгофа, иллюстрирующий действие закона сохранения энергии применительно к электрическим цепям. Для контура (рис. 2) закон Кирхгофа запишется в виде интегро-дифференциального уравнения

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = 0,$$

которое после дифференцирования по t и введения обозначений $R/L = 2\alpha$ и $1/\sqrt{LC} = \omega$, обычно записывается в более удобной форме

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\alpha \frac{di}{dt} + \omega^2 i = 0. \quad (1)$$

Полученное однородное линейное дифференциальное уравнение решается по известным правилам [4]. С учетом начальных условий его решение имеет вид:

$$i = U_0 \exp(-\alpha t) [\exp(\beta t) - \exp(-\beta t)] / (2\beta L), \quad (2)$$

где U_0 – напряжение на конденсаторе в начальный момент времени $t = 0$; $\beta = \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$; $\alpha = \frac{R}{2L}$.

Исследуем полученное решение. Очевидно, характер изменений тока в контуре будет существенно зависеть от β , т. е. от соотношения величин α и ω_0 .

Можно выделить три основных случая.

Первый случай. Потери в контуре так велики, что $\alpha > \omega_0$, т. е. β имеет действительное значение. Сопротивление потерь R при этом превышает волновое сопротивление $\rho = \sqrt{L/C}$ контура более чем в два раза $R > 2\rho = 2\sqrt{L/C}$. Для тока в контуре получится выражение:

$$i = \frac{U_0}{\beta L} \exp(-\alpha t) \frac{[\exp(\beta t) - \exp(-\beta t)]}{2} = \frac{U_0}{\beta L} \exp(-\alpha t) \text{sh}(\beta t). \quad (3)$$

График тока можно получить, построив кривые гиперболического синуса $\text{sh}(\beta t)$ и экспоненты $\frac{U_0}{\beta L} \exp(-\alpha t)$, а затем откладывая произведения ординат точек этих кривых (рис. 3):

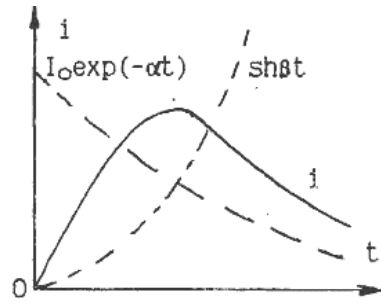


Рис. 3. Собственные колебания в контуре ($\alpha > \omega_0$)

Видно, что процесс, происходящий в контуре, имеет характер аperiодического разряда. Ток разряда сначала растет, достигает максимального значения, а затем медленно убывает, стремясь по экспоненте к нулю.

Второй случай. Потери в контуре уменьшились, но еще достаточно велики. При этом $R = 2\rho$, $\alpha = \omega_0$, а $\beta = 0$. Выражение (2) для тока в этом случае принимает вид:

$$i = \frac{U_0}{L} \exp(-\alpha t)t. \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что разряд сохраняет свои аperiодический характер, но возвращение к состоянию равновесия совершается быстрее, чем в первом случае. Второй случай иллюстрируется на рис. 4.

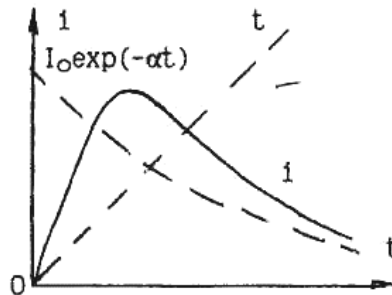


Рис. 4. Собственные колебания в контуре ($\alpha = \omega_0$)

Этот случай часто называют критическим, так как дальнейшее уменьшение потерь приведет к существенному изменению характера процесса в контуре.

Третий случай. Наиболее важным и интересным с практической точки зрения является режим, определяемый условием $R < 2\rho$ или $\alpha < \omega_0$. При

этом величина β становится мнимой. Введем обозначение, положив $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$, т. е. $\beta = j\omega$, где $j = -1$.

Физический смысл величины ω легко определить, если положить коэффициент $\alpha = 0$, тогда $\omega = \omega_0$, т. е. ω равна собственной круговой частоте контура без сопротивления потерь – идеального контура. Формула для расчета собственной частоты колебательного разряда $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ конденсатора, имеющего индуктивность в цепи разряда, была получена еще в 1853 г. Томсоном (Кельвином) при исследовании разряда конденсатора [1, 2]. При наличии сопротивления ω играет роль собственной круговой частоты колебаний реального контура. Очевидно, что всегда собственная частота реального контура меньше собственной частоты ω_0 колебаний идеального контура.

Теперь, так как $\beta = j\omega$, уравнение (2) может быть переписано:

$$i = \frac{U_0}{\omega L} \exp(-\alpha t) \frac{[\exp(j\omega t) - \exp(-j\omega t)]}{2j} = \frac{U_0}{\omega L} \exp(-\alpha t) \sin(\omega t). \quad (5)$$

Выражение (5) содержит два множителя: $\frac{U_0}{\omega L} \exp(-\alpha t)$ и $\sin(\omega t)$. Первый представляет собой амплитуду колебаний, убывающую по экспоненциальному закону. Скорость уменьшения амплитуды тем больше, чем больше коэффициент затухания α . Второй – колебательный процесс с круговой частотой ω (рис. 5).

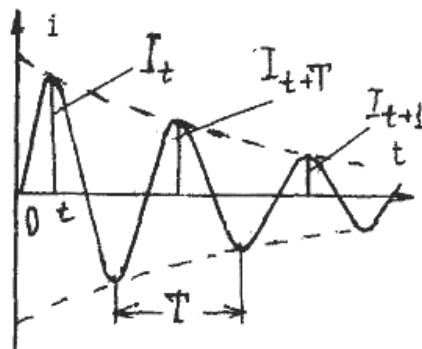


Рис. 5. Собственные колебания в контуре ($\alpha < \omega_0$)

Если обозначить начальную амплитуду $U_0/\omega L = I_0$, то выражение (5) запишется так:

$$i = I_0 \exp(-\alpha t) \sin(\omega t). \quad (6)$$

Напряжение на емкости C будет изменяться по аналогичному закону

$$u = U_0 \exp(-\alpha t) \sin(\omega t + \phi). \quad (7)$$

Здесь ϕ – сдвиг фаз между током в контуре и напряжением, который в данном случае отличен от $\pi / 2$. Исходя из начальных условий (при $t = 0$ ток $i = 0$) и учитывая, что $i = -C du/dt$, можно показать, что сдвиг фаз удовлетворяет уравнению:

$$\tan \phi = \omega / \alpha. \quad (8)$$

Эта формула, строго говоря, может относиться лишь к системам с малым затуханием, колебания которых близки к синусоидальным, а отношение ω / α достаточно велико, так что ϕ близко к $\pi / 2$, стремясь к этому значению при $\alpha \rightarrow 0$. При увеличении α и переходе к аperiodическому разряду понятие сдвига фаз между током и напряжением теряет смысл.

Из (6) и (7) видно, что закон уменьшения амплитуды $\exp(-\alpha t)$ типичен для переходных процессов. Особенностью третьего случая является лишь "осциллирующий" характер процесса, называемого "колебательным разрядом" или "затухающими колебаниями".

Величину

$$\alpha = R/(2L), \quad (9)$$

называют коэффициентом затухания колебаний. Коэффициент затухания α можно найти, взяв натуральный логарифм отношения двух следующих одна за другой через секунду амплитуд

$$\alpha = \ln \left(\frac{I_t}{I_{t+1}} \right). \quad (10)$$

Если взять натуральный логарифм отношения амплитуд, разделенных интервалом времени, равным одному периоду T , то получим величину, называемую "логарифмическим декрементом затухания"

$$\vartheta = \alpha T = \ln \left(\frac{I_t}{I_{t+1}} \right). \quad (11)$$

Кроме приведенных величин, характеризующих колебательные процессы в контуре, используется «затухание» d

$$d = \frac{R}{\rho} = \frac{\vartheta}{\pi} = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 RC \quad (12)$$

Но наиболее широко применяется при описании колебательных систем величина, обратная затуханию и называемая "добротностью" контура $Q = 1/d$. Очевидно, что добротность, как и затухание, величина безразмерная.

Добротность имеет энергетический смысл. Она показывает, с точностью до 2π , во сколько раз полная энергия W колебательной системы больше энергии потерь W_{Π} за период:

$$Q = \frac{W}{W_{\Pi}} = 2\pi \frac{\text{полная энергия}}{\text{энергия потерь за период}}. \quad (13)$$

Полная энергия, запасаемая колебательной системой, равна максимальной энергии, накопленной конденсатором или катушкой индуктивности: $W = CU_0^2/2 = LI_0^2/2$, где U_0 и I_0 – амплитуда напряжения на конденсаторе и амплитуда тока в контуре соответственно.

В общем случае полная энергия $W_{\text{конт}} \text{ тура}$ складывается из энергии магнитного поля W_L катушки и энергии электрического поля W_C конденсатора: $W = W_L + W_C$.

Энергия, теряемая в контуре за один период колебаний, равна $W_{\Pi} = I_0^2 RT/2$. Подставляя W и W_{Π} в (13), получим часто используемые выражения для вычисления добротности:

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{\rho}{R} = \frac{\pi}{\vartheta}. \quad (14)$$

Зная добротность, можно определить число колебаний, через которое амплитуда уменьшится в заданное число раз.

Пример 1. Определить через сколько периодов колебания в контуре почти прекратятся, если добротность равна 80.

Решение. Будем считать, что колебания прекратились, если их амплитуда уменьшилась в 100 раз. Тогда $I_0 \exp(-\alpha n T) = I_0/100$. Поделив равенство на его левую часть и прологарифмировав левую и правую части найдем, что $n = Q \ln(100) = 80 \times 4,6/3,14 = 117$.

Ответ. $\approx$ через 117 колебаний.

Пример 2. Амплитуда колебаний за один период уменьшилась на 10 %. Определить добротность Q контура.

Решение. Запасенная контуром энергия пропорциональна квадрату амплитуды I_0^2 . Через период энергия уменьшилась и стала пропорциональна $(0,9 \times I_0^2)^2$. В соответствии с определением добротности (13) можно записать: $Q = 2\pi \frac{I_0^2}{I_0^2(1-0,81)} = \frac{2\pi}{0,19} = 33$.

Ответ. Добротность контура приблизительно равна 33.

1.3. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

1.3.1. АЧХ И ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Рассмотрим схему, состоящую из генератора синусоидальной ЭДС $u = U_0 \sin(\omega t)$, обладающего ничтожно малым внутренним сопротивлением R_i , включенного последовательно с элементами контура L , C и R (рис. 6).

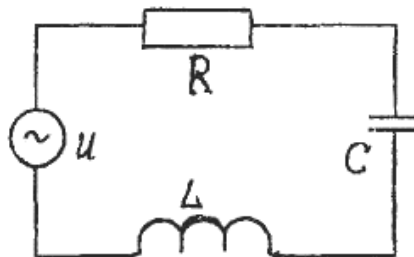


Рис. 6. Последовательный колебательный контур

Это обычная цепь переменного тока, содержащая последовательно включенные индуктивность, емкость и сопротивление. Выражение для тока в контуре, учитывая в установившемся режиме наличие только вынужденных колебаний, имеет вид:

$$i = I_0 \sin(\omega t - \phi). \quad (16)$$

Амплитудное значение тока I_0 согласно закону Ома равно

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (17)$$

Эту зависимость принято называть амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) последовательного контура. Из (17) следует, что амплитуда тока принимает максимальное значение при условии, если

$$X = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0,$$

которое поэтому часто называют условием резонанса. Как видно, частота ω_0 , при которой наступает в цепи резонанс, находится по формуле Томсона:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (18)$$

Колебательные контуры обычно используются на частотах близких к резонансной, т.е. $\omega \sim \omega_0$. Поэтому уравнение АЧХ можно упростить для частот ω , близких к ω_0 . Действительно, реактивную составляющую импеданса контура X можно переписать в виде

$$X = \frac{\omega_0 L \omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega \omega_0 C} = \rho \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \approx \frac{2\rho \Delta\omega}{\omega_0} = 2\rho\xi,$$

где $\xi = \Delta\omega/\omega_0$ – относительная расстройка.

С учетом выражения для X ток I_0 переписывается:

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (2\rho\xi)^2}}.$$

Для сравнения свойств различных контуров АЧХ представляют в приведенном виде, т. е. рассматривают отношение

$$\frac{I_0}{I_{\text{рез}}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2\rho\xi)^2}}$$

или

$$\frac{I_0}{I_{\text{рез}}} = \frac{1}{\sqrt{1+(2Q\xi)^2}}, \quad (19)$$

где $Q = \rho/R$ – добротность контура.

На рис. 7 представлено семейство приведенных АЧХ при различных значениях добротности Q .

Из графиков видно, что с увеличением добротности Q кривые становятся уже. Ширину АЧХ принято характеризовать полосой пропускания Π . Полосой пропускания называют интервал частот, в пределах которого амплитуда колебаний изменяется в заданное число раз. Обычно полосу пропускания определяют по изменению амплитуды в $\sqrt{2}=1,41$ раз.

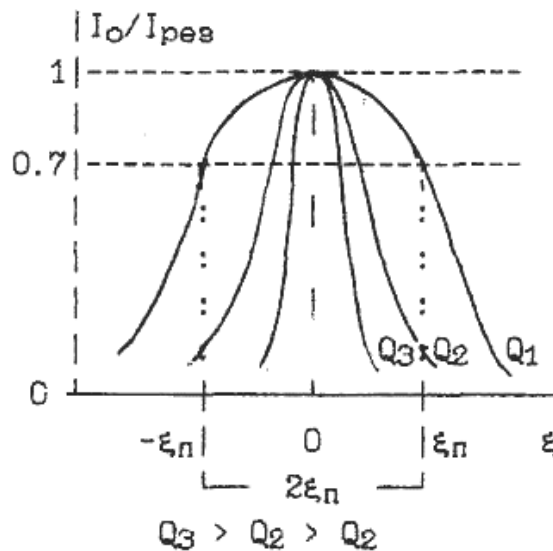


Рис. 7. АЧХ последовательного контура при различных значениях добротности

На границах полосы пропускания, что соответствует относительным расстройкам $\xi = \xi_{\text{п}}$, выполняется равенство $\xi = 1/(2Q)$. Следовательно, в относительных расстройках полоса пропускания равна $\Pi_{\xi} = 1/(2Q) = 2\xi_{\text{п}}$.

В круговых частотах и в герцах полоса пропускания связана с добротностью следующими соотношениями соответственно:

$$\Pi_{\omega} = 2\Delta\omega_{\text{п}} = \omega_0/Q,$$

$$\Pi_f = 2\Delta f_{\Pi} = f_0/Q. \quad (20)$$

Рассмотрим значения напряжений на элементах L, C и R контура в момент резонанса:

$$U_L = I_{\text{РЕЗ}} \omega_0 L = U_0 Q;$$

$$U_C = \frac{I_{\text{РЕЗ}}}{(\omega_0 C)} = U_0 Q;$$

$$U_R = I_{\text{РЕЗ}} R = U_0.$$

Видно, что в момент резонанса напряжения на реактивных элементах L и C в Q раз превышают значение ЭДС, действующей в контуре, поэтому резонанс в последовательном контуре часто называют резонансом напряжений.

1.3.2. ЗАВИСИМОСТЬ ИМПЕДАНСА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОНТУРА ОТ ЧАСТОТЫ

Запишем импеданс последовательного контура в комплексной форме

$$\dot{Z} = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right).$$

Рассмотрим отдельно сопротивления каждого элемента контура. Активная составляющая R от частоты не зависит и на рис. 8 представлена прямой параллельной оси абсцисс.

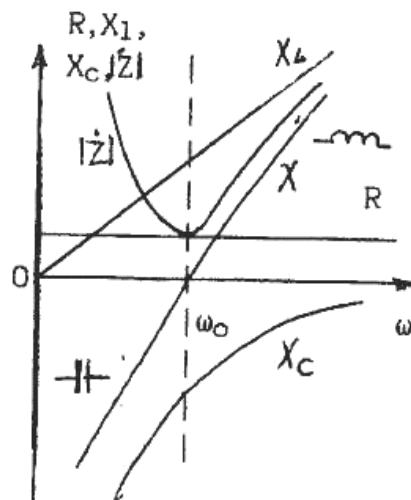


Рис. 8. Зависимость импеданса последовательного контура от частоты

Индуктивное сопротивление $X_L = \omega L$ линейно растет с увеличением частоты. Угол наклона определяется коэффициентом L . Сопротивление конденсатора обратно пропорционально частоте. При стремлении ω к нулю X_C стремится к бесконечности. Это означает, что конденсатор не пропускает постоянный ток. И наоборот, при стремлении ω к бесконечности сопротивление конденсатора стремится к нулю. График результирующей реактивной составляющей $X = X_L + X_C$ пересекает ось абсцисс на частоте резонанса ω_0 . На частотах $\omega < \omega_0$ колебательный контур эквивалентен конденсатору, а на частотах выше резонансной по характеру реактивности эквивалентен катушке индуктивности. Модуль импеданса $|\dot{Z}|$ принимает минимальное значение на резонансной частоте. При этом сопротивление контура равно R . С увеличением расстройки относительно $\xi = 0$, $|\dot{Z}|$ увеличивается и стремится к бесконечности. Последовательный контур применяют, когда надо создать в узкой полосе частот малое сопротивление (в фильтрах) или когда при малых ЭДС требуется получить большое значение напряжения (входные цепи радиоприемных устройств). Земли.

1.4. РЕЗОНАНС ТОКОВ

1.4.1. ИМПЕДАНС И АДМИТАНС ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОНТУРА

Рассмотрим схему, состоящую из генератора синусоидальной ЭДС $u = U_0 \sin(\omega t)$, обладающего конечным внутренним сопротивлением R_i , включенного параллельно с элементами контура L , C , R_1 , R_2 и R_H (рис. 9):

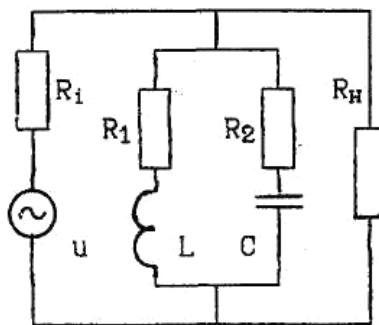


Рис. 9. Параллельный колебательный контур

Это, по существу, обычная цепь переменного тока, содержащая параллельно включенные индуктивность L , емкость C , сопротивление нагрузки R_n и источник ЭДС. Резисторы R_1 и R_2 учитывают сопротивления проводников, из которых выполнены катушка, и сопротивление утечки диэлектрика между обкладок конденсатора соответственно. Обычно значением утечки пренебрегают, а в электрических схемах и расчетах учитывают только сопротивление проводников R_1 .

Импеданс контура $\dot{Z}$ представляет параллельное соединение импеданса $\dot{Z}_1$ катушки самоиндукции и импеданса $\dot{Z}_2$ конденсатора

$$\dot{Z} = \frac{\dot{Z}_1 \times \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = R_{\mathcal{O}} + jX_{\mathcal{O}}.$$

На резонансной частоте ω_p реактивная составляющая будет равна нулю. Решая уравнение $X_{\mathcal{O}} = 0$, получим для ω_p следующее выражение:

$$\omega_p = \omega_0 \sqrt{\frac{\rho^2 - R_1^2}{\rho^2 - R_2^2}}. \quad (21)$$

Если пренебречь сопротивлением R_2 , тогда

$$\omega_p = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{R_1^2}{\rho^2}}. \quad (22)$$

Видно, что резонансная частота реального контура ω_p всегда меньше частоты резонанса ω_0 идеального контура.

На частотах, близких к резонансной, т. е. при малых расстройках ξ , импеданс контура можно представить в более компактном виде:

$$\dot{Z} = \frac{Z_p}{1 + j2Q\xi} = R_{\mathcal{O}} + jX_{\mathcal{O}}. \quad (23)$$

где $R_{\mathcal{O}} = \frac{Z_p}{1 + (2Q\xi)^2}$ – активная составляющая; $X_{\mathcal{O}} = -\frac{Z_p 2Q\xi}{1 + (2Q\xi)^2}$ – реактивная составляющая импеданса параллельного контура; $Z_p = \frac{L}{CR}$ – резонансное сопротивление контура при $\xi = 0$.

Резонансное сопротивление контура Z_p тем больше, чем меньше потери в контуре. Резонансное сопротивление идеального параллельного контура равно бесконечности. На рис. 10 представлены графики, иллюстрирующие зависимость R_{Σ} и X_{Σ} от частоты при малых расстройках.

R_{Σ} принимает максимальное значение Z_p при резонансе. Реактивная составляющая X_{Σ} на частотах ниже резонансной ($\xi \leq 0$) положительна, т. е. имеет индуктивный характер, а при положительных расстройках ($\xi \geq 0$) параллельный контур эквивалентен некоторой емкости.

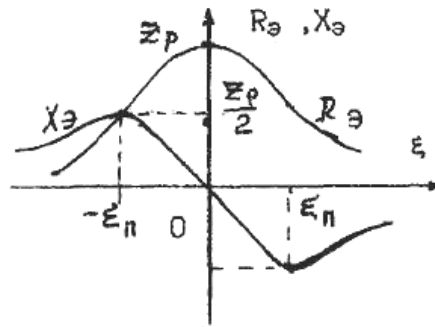


Рис. 10. Зависимость R_{Σ} и X_{Σ} параллельного контура от частоты

АДМИТАНС ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОНТУРА

Адмитанс контура $\dot{Y}$ представляет параллельное соединение адмитанса $\dot{Y}_1$ катушки самоиндукции и адмитанса $\dot{Y}_2$ конденсатора

$$\dot{Y} = \dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 = G_{\Sigma} + jB_{\Sigma}.$$

На резонансной частоте ω_p реактивная составляющая будет равна нулю. Решая уравнение $B_{\Sigma} = 0$, получим для ω_p следующее выражение:

$$\omega_p = \omega_0 \sqrt{\frac{\rho^2 - R_1^2}{\rho^2 - R_2^2}}.$$

Если пренебречь сопротивлением R_2 , тогда

$$\omega_p = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{R_1^2}{\rho^2}}.$$

Видно, что полученные выражения для резонансной частоты ω_p и ω_0 совпадают с (21) и (22) соответственно.

Рассмотрим отдельно проводимости каждого элемента контура.

Активная составляющая $G = CR/L$ от частоты не зависит и на рис. 11 представлена прямой параллельной оси абсцисс.

Проводимость конденсатора $B_C = \omega C$ линейно растет с увеличением частоты. Угол наклона определяется коэффициентом C . Проводимость индуктивности L обратно пропорциональна частоте. При стремлении ω к нулю $B_L = 1/(\omega L)$ стремится к бесконечности. Это означает, что для постоянного тока индуктивность представляет короткое замыкание.

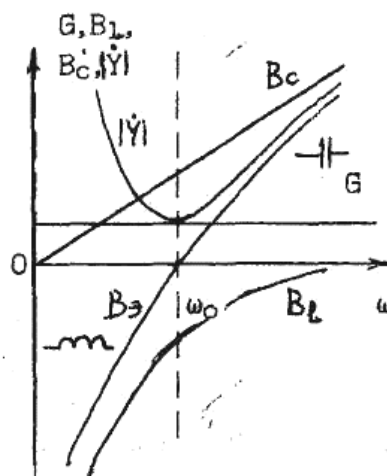


Рис. 11. Зависимость адмитанса параллельного контура от частоты

И наоборот, при стремлении ω к бесконечности проводимость индуктивности стремится к нулю, т. е. сопротивление катушки на высоких частотах очень велико и ток через нее очень мал. График результирующей реактивной составляющей $B_\Sigma = B_L + B_C$ пересекает ось абсцисс на частоте резонанса ω_0 . На частотах $\omega < \omega_0$ колебательный контур эквивалентен индуктивности, а на частотах выше резонансной параллельный контур по характеру реактивности эквивалентен конденсатору. Модуль адмитанса $|Y|$ принимает минимальное значение на резонансной частоте. При этом сопротивление контура равно G . С увеличением расстройки $|Y|$ увеличивается и стремится к бесконечности.

Сравнивая графики рис. 8 для сопротивления последовательного контура и рис. 11 для проводимости параллельного контура, видим, что характер частотной зависимости одинаков. Такие цепи называются дуальными.

1.4.2. НАГРУЖЕННАЯ ДОБРОТНОСТЬ

Прежде чем получить уравнение АЧХ параллельного контура, рассмотрим влияние сопротивления нагрузки R_H и внутреннего сопротивления источника R_i на резонансное сопротивление Z_P и добротность Q .

Исследуем влияние R_H на резонансное сопротивление Z_P . На резонансной частоте результирующее сопротивление между точками к которым подключен параллельный контур, равно

$$Z_{P1} = \frac{Z_P R_H}{Z_P + R_H} = \frac{L}{C \left(R + \frac{L}{CR_H} \right)} = \frac{L}{C(R + R_{BH1})}.$$

Видим, что подключение R_H к контуру увеличило сопротивление потерь контура на некоторую величину

$$R_{BH1} = \frac{L}{CR_H}, \quad (24)$$

называемую вносимым сопротивлением. Появление дополнительного сопротивления ухудшило резонансные свойства контура – уменьшило его резонансное сопротивление: $Z_{P1} < Z_P$.

Аналогично можно показать, что внутреннее сопротивление R_i увеличивает потери в контуре на величину:

$$R_{BH2} = \frac{L}{CR_i}. \quad (25)$$

Из сказанного следует, что любое подключение к параллельному контуру приводит к появлению дополнительных потерь в контуре, равных вносимому сопротивлению. Вносимое сопротивление тем больше, чем меньше сопротивление нагрузки R_H или R_i . На практике к контуру всегда подключены и R_H , и R_i . Каждое из них вносит потери. Общее вносимое сопротивление равно сумме:

$$R_{BH} = R_{BH1} + R_{BH2} = \frac{L}{CR'}, \quad (26)$$

где $R' = R_H R_i / (R_H + R_i)$.

Результирующее резонансное сопротивление при этом будет равно:

$$Z_{PH} = \frac{L}{C(R+R')}. \quad (27)$$

Появление в контуре дополнительных потерь в виде вносимого сопротивления приводит к уменьшению его добротности. Добротность контура Q_H при наличии R_H и R_i называется нагруженной добротностью. Добротность контура связана с резонансным сопротивлением соотношением $Q_0 = \frac{Z_P}{\rho}$. В случае нагруженного контура можно записать аналогичное соотношение:

$$Q_H = \frac{Z_{PH}}{\rho} = \frac{L}{C(R+R_{BH})\rho} = \frac{Q_0}{1+\frac{Z_P}{R'}}. \quad (28)$$

1.4.3. АЧХ, ФЧХ И ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОНТУРА

Напряжение на зажимах контура (на нагрузке) равно (рис. 9)

$$\dot{U} = \frac{U_0 \dot{Z}'}{R_i + \dot{Z}'} = \frac{U_0 Z_{PH}}{R_i (1 + j2Q_H \xi)}, \quad (29)$$

где Z' – импеданс контура с учетом нагрузки R_H .

Очевидно, что $\dot{Z}'$ равно сопротивлению параллельного соединения $\dot{Z}$ (23) и R_H :

$$\dot{Z}' = \frac{Z_{PH}}{1 + j2Q_H \xi} = R_{\Sigma H} + jX_{\Sigma H}, \quad (30)$$

Амплитуда напряжения на контуре (из (29)) равна по модулю

$$|\dot{U}| = \frac{U_0 |\dot{Z}'|}{R_i + \dot{Z}'} = \frac{U_0 Z_{PH}}{R_i \sqrt{1 + (2Q_H \xi)^2}}. \quad (31)$$

В момент резонанса напряжение U_P на контуре равно:

$$U_P = \frac{U_0 Z_{PH}}{R_i + Z_{PH}}. \quad (32)$$

Зависимость (31) напряжения $|\dot{U}|$ от частоты называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) параллельного контура. На практике ее

чаще рассматривают в приведенном виде, т. е. в виде отношения напряжения $|\dot{U}|$ к его значению U_P при резонансе. Используя выражения (31) и (32), получим:

$$\frac{|\dot{U}|}{U_P} = \frac{1}{\sqrt{1+(2Q_H\xi)^2}}. \quad (33)$$

На рис. 12 представлены графики АЧХ в приведенном виде при различных значениях нагруженной добротности Q_H . Видно, что чем больше добротность, тем уже кривые.

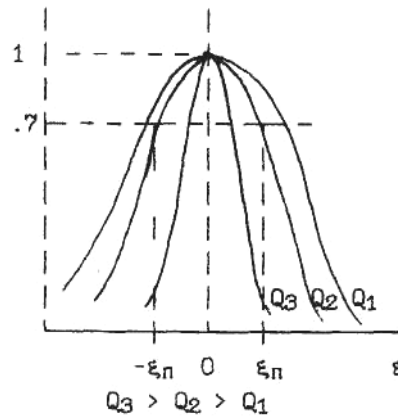


Рис. 12. Амплитудно-частотная характеристика параллельного контура

Если полосу пропускания определять, как принято, по уровню 0,7, то связь между полосой пропускания и добротностью Q_H определяется соотношениями аналогичными для последовательного контура

$$\begin{aligned} \Pi_\xi &= 2\Delta\xi_{\Pi} = 1/Q_H, \\ \Pi_\omega &= 2\Delta\omega_{\Pi} = \omega_0/Q_H, \\ \Pi_f &= 2\Delta f_n = f_0/Q_H. \end{aligned} \quad (34)$$

В момент резонанса внутри параллельного контура циркулирует ток I_K в Q_H раз больше, чем ток I , протекающий от источника в неразветвленной цепи и питающий контур $I_K = Q_H I$.

ФАЗО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Чтобы определить фазовый сдвиг ϕ между вынуждающей ЭДС и напряжением на контуре, вносимый параллельным контуром, надо выделить действительную и мнимую части в (29). Поделив мнимую часть на действительную, найдем, что ϕ удовлетворяет соотношению:

$$\phi = \operatorname{arctg}(-2Q_n \xi). \quad (35)$$

Графики зависимости ϕ от частоты при различных значениях добротности Q_n контура представлены на рис. 13, из которых следует, что на частотах ниже резонансной $\omega_0 (\xi < 0)$ напряжение на контуре опережает вынуждающее напряжение. Контур эквивалентен некоторой индуктивности.

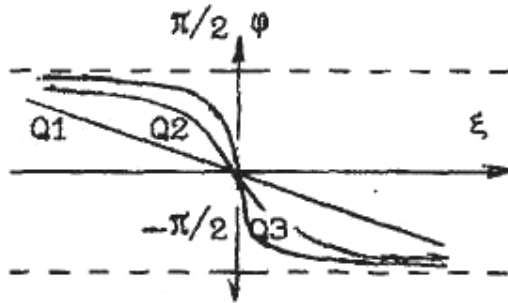


Рис. 13. Фазо-частотная характеристика параллельного контура

А при положительных расстройках ($\xi > 0$) наоборот, напряжение на контуре отстает от действующей эдс. При малых расстройках фазовый сдвиг пропорционален расстройке. Чем больше добротность, быстрее изменяется фаза, тем уже резонансная кривая. Параллельный контур применяют тогда, когда надо создать в узкой полосе частот большое сопротивление (в фильтрах) или когда при малых токах от источника требуется получить большое значение тока в катушках или конденсаторах (в ускорителях для получения сильных магнитных полей).

ГЛАВА II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКЕТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАГЛЯДНОСТИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РЕЗОНАНСА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

2.1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАКЕТА

Экспериментальный макет (рис. 15), схема которого представлена на рис. 14, представляет собой три блока: блок имитирующий внутреннее сопротивление источника, блок ёмкостей и блок нагрузки. Первый блок (R_i) состоит из параллельно подключенных резисторов сопротивлениями: 100 (кОм), 1500 (кОм) и 0 (кОм). Второй блок (C) из параллельно подключенных катушки сопротивлением 10 (Ом) и трёх конденсаторов ёмкостью: 5100 (пФ), 2200 (пФ), 3300 (пФ). В третий блок (R_H) входят три сопротивления: 1500 (кОм), 5100 (кОм), ∞ (Ом). Соединённых также параллельно. Для подключения нужного элемента используются двухпозиционные переключатели (S_1, S_2, S_3). Имеются две клеммы для входного напряжения ($U_{ВХ}$) и две клеммы для подключения нагрузки ($U_{ВЫХ}$), также есть две клеммы для подключения вольтметра или осциллографа для более наглядного представления явления параллельного резонанса.

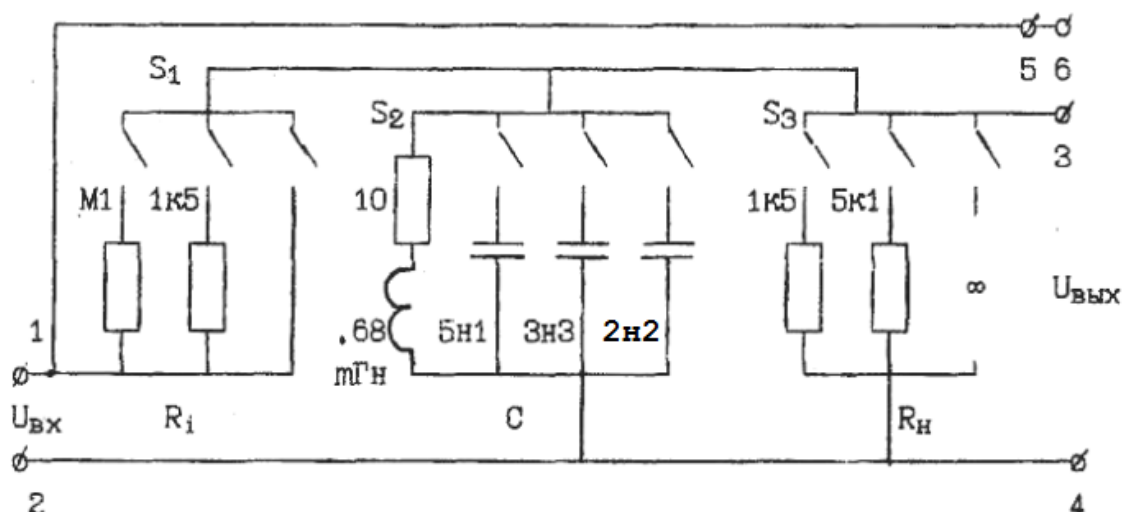


Рис. 14. Электрическая схема макета

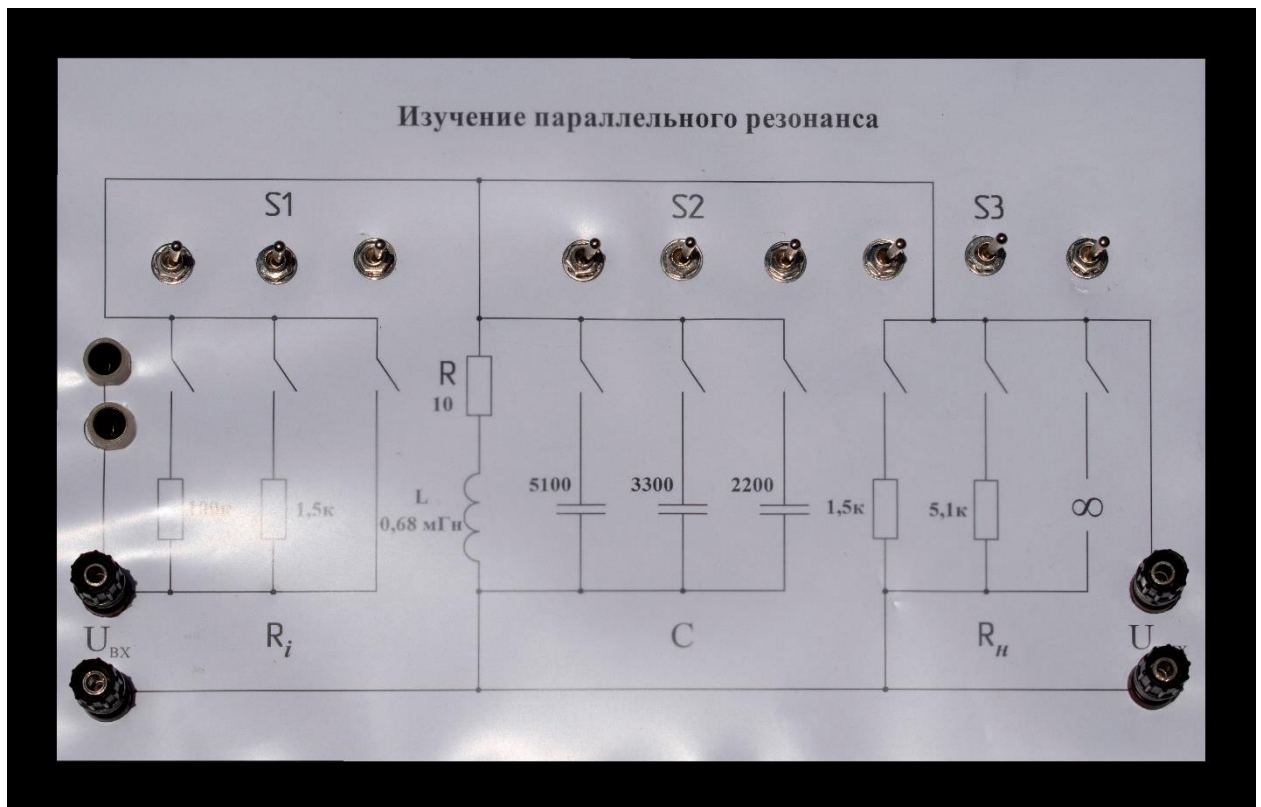


Рис. 15. Внешний вид экспериментального макета

ЗАДАНИЕ 1. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТУРА

В соответствии с таблицей заданий 1 рассчитаем для контура (возьмем для примера вариант 2):

- 1) резонансную частоту $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- 2) волновое сопротивление $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$
- 3) резонансное сопротивление контура $Z_p = \frac{L}{CR}$
- 4) собственную добротность $Q_0 = \frac{\omega_0 L}{R}$
- 5) нагруженную добротность $Q_H = \frac{Q_0}{1 + Z_p/R_{ЭКВ}}$, где $R_{ЭКВ} = R_i || R_H = \frac{R_i R_H}{R_i + R_H}$
- 6) полосу пропускания ненагруженного контура $\Pi = 2\Delta f = \frac{f_0}{Q_0}$
- 7) полосу пропускания нагруженного контура $\Pi_H = 2\Delta f_H = \frac{f_0}{Q_H}$

Таблица 1

N бриг.	L мГн	C нФ	R Ом	R _i кОм	R _н кОм
1	0,68	5,1	10	100	1,5 ∞
2	0,68	3,3	10		5,1 ∞
3	0,68	2,2	10		1,16 ∞
4	0,68	8,4	10	1,5	1,5 5,1
5	0,68	7,3	10	0	1,5 ∞
6	0,68	5,5	10		5,1 ∞
7	0,68	10,6	10		1,5 ∞
8	0,68	2,2	10		5,1 1,5

Представим рассчитанные данные в виде таблицы (таблица 2)

Таблица 2

	f ₀ , кГц	ρ , Ом	Z _p , кОм	Q ₀	Q _н	П, кГц	П _н , кГц
Результаты расчёта	85,5	365	13,3	36,5	3,65	2,34	23,4
					32,2		2,66
					1,95		43,8
					3,7		23,1
					0		∞
Результаты эксперимента	92	х	х	36,5	5,1	2,52	18
					4,6		20
					3,6		25,5
					2,7		34
					0		∞

ЗАДАНИЕ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ АЧХ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОНТУРА

1. Подготовьте измерительные приборы к эксперименту.
2. В соответствии с таблицей заданий для Вашей бригады при помощи переключателя S_2 включите ёмкость C контура (переключатели S_1 и S_3 должны быть отжаты). Результаты занесите в таблицу 3.
3. Подключите к измерительному макету радиоизмерительные приборы в соответствии с рис. 17.
4. Настройте генератор ГЗ-109 на резонансную частоту, которую Вы рассчитали в 1 задании. После проверки схемы преподавателем включите стенд в сеть.
5. Используя органы управления напряжением на генераторе ГЗ-109, подайте на вход контура напряжение ≈ 10 В на резонансной частоте.
6. Добейтесь на экране осциллографа устойчивого изображения синусоиды. Изменяя частоту генератора в большую и меньшую стороны относительно резонансной, проверьте наличие резонанса, зафиксировав частоту генератора, когда амплитуда синусоиды максимальна. Результат измерения резонансной частоты f_0 занесите в таблицу 2 в строку «Результаты эксперимента». Сравните экспериментальное значение резонансной частоты с ее расчетным значением

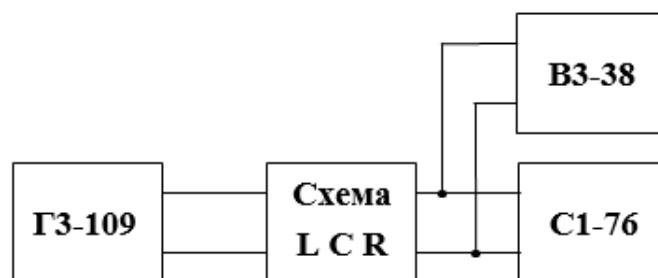


Рис. 17. Структурная схема

7. Используя таблицу заданий при помощи переключателей S_1 и S_3 , установите значения R_H и R_i . Значения R_H и R_i занесите в таблицу 3 в первую графу. Не изменяя напряжения на генераторе, уменьшите частоту (относительно резонансной), чтобы напряжение на контуре уменьшилось раз в 10 относи-

тельно резонансного напряжения. Зафиксируйте эту частоту и напряжение на контуре. Результаты измерений f и $U_{\text{ВЫХ}}$ занесите в таблицу 3 в первую графу. Плавнo увеличивая частоту, зафиксируйте не менее 7-8 точек $U_{\text{ВЫХ}}$ до резонансной частоты и 7-8 точек $U_{\text{ВЫХ}}$ после резонансной частоты (не забудьте измерить $U_{\text{ВЫХ}}$ на резонансной частоте). Результаты измерений f и $U_{\text{ВЫХ}}$ занесите в таблицу 3 в первую графу. Аналогичные измерения проведите для остальных сочетаний четырех $R_{\text{Н}}$ и $R_{\text{і}}$. Результаты занесите в соответствующие графы таблицы 3.

8. По результатам пункта 7 постройте на одном рисунке все пять графиков АЧХ при различных сочетаниях внутреннего сопротивления генератора и сопротивления нагрузки (см. рис. 15). Для удобства построения графиков целесообразно заполнить ещё одну таблицу, аналогичную таблице 3, но в которой вместо $U_{\text{ВЫХ}}$ рассчитать отношение $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{РЕЗ}}$.

соответствующие добротность и полосу пропускания. Результаты занесите в таблицу 2 в строку «Результаты эксперимента».

10. Сравните результаты эксперимента с теоретическими расчетами.

Таблица 3

$U_{\text{ВХ}} = 10 \text{ В}$		$L = 0.68 \text{ мГн}$		$C = \dots$		$R = 10 \text{ Ом}$			
$R_{\text{і}} = 100 \text{ кОм}$		$R_{\text{і}} = 100 \text{ кОм}$		$R_{\text{і}} = 1,5 \text{ кОм}$		$R_{\text{і}} = 1,5 \text{ кОм}$		$R_{\text{і}} = 0$	
$R_{\text{Н}} = \dots$		$R_{\text{Н}} = \dots$		$R_{\text{Н}} = \dots$		$R_{\text{Н}} = \dots$		$R_{\text{Н}} = \infty$	
$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{ВЫХ}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{ВЫХ}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{ВЫХ}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{ВЫХ}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{ВЫХ}}$

ЗАДАНИЕ 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЕМ НА КОНТУРЕ И ТОКОМ

1. Так как импеданс контура на всех частотах кроме f_0 имеет реактивную составляющую, поэтому возникает фазовый сдвиг между током $\dot{I}$, питающим контур, и напряжением $\dot{U}_K$ на контуре (рис. 17а). В схеме резистор R учитывает потери самого контура. Для наблюдения фазовых соотношений между током и напряжением соберите схему (рис. 17б), для чего генератор ГЗ-109 подключите к гнездам 1-2, а входы осциллографа X и Y к гнездам 4-6 и 4-3 соответственно.

2. Установите значение частоты генерации генератора, равное резонансному для Вашего контура. Пользуясь органами управления выходным напряжением генератора ГЗ-109 и органами управления размером изображения по вертикали (Y) и горизонтали (X), добейтесь того, чтобы фигура Лиссажу вписывалась в квадрат со стороной 4-6 клеток. Результат зарисуйте.

3. Уменьшите частоту генерации, например, на 20-50 % снова получите фигуру, вписанную в квадрат, зарисуйте ее. Затем увеличьте частоту на 20-50 % относительно ее резонансного значения, и опять получите изображение фигуры Лиссажу в пределах квадрата. Результат зарисуйте.

4. Объясните причину изменения фигуры Лиссажу.

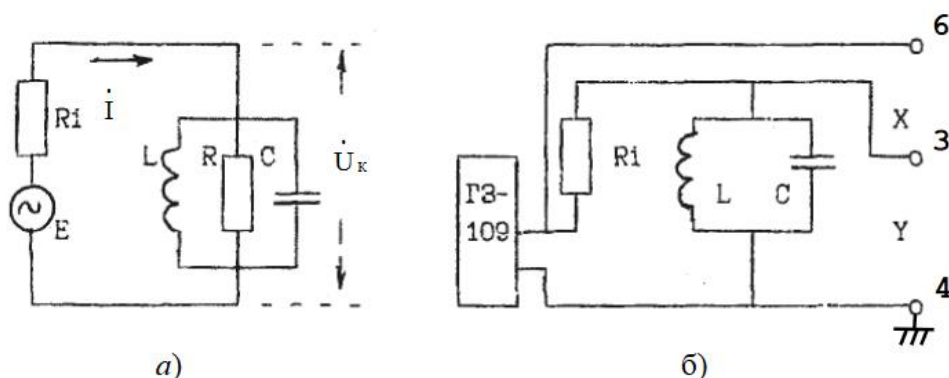


Рис. 18. Схема для исследования фазовых соотношений

2.2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОНТУРА. АЧХ

В таблице 4 приведены результаты исследования параллельного контура от частоты, при различных соотношениях сопротивления нагрузки и сопротивления источника.

Таблица 4

$U_{BX} = 10 \text{ В}$		$L = 0.68 \text{ мГн}$		$C = 5100 \text{ пФ}$		$R = 10 \text{ Ом}$			
$R_i = 100 \text{ кОм}$ $R_H = 1,5 \text{ кОм}$		$R_i = 100 \text{ кОм}$ $R_H = \infty$		$R_i = 1,5 \text{ кОм}$ $R_H = 1,5 \text{ кОм}$		$R_i = 1,5 \text{ кОм}$ $R_H = \infty$		$R_i = 0 \text{ кОм}$ $R_H = \infty$	
$f, \text{ кГц}$	$U_{ВЫХ}, \text{ мВ}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{ВЫХ}, \text{ мВ}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{ВЫХ}, \text{ мВ}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{ВЫХ}, \text{ В}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{ВЫХ}, \text{ В}$
40	20	40	20	40	20	40	1,2	40	10
50	28	50	28	50	28	50	1,9	50	10
60	40	60	42	60	40	60	2,8	60	10
70	60	70	51,5	70	60	70	4,4	70	10
80	90	80	140	80	94	80	7,1	80	10
92	130	92	265	92	130	92	7,6	92	10
100	115	100	245	100	115	100	6,2	100	10
110	86	110	110	110	58,5	110	4,8	110	10
120	66	120	76	120	66	120	3,8	120	10
130	52	130	58	130	52	130	3,1	130	10
140	44	140	46	140	44	140	2,6	140	10
150	38	150	40	150	38	150	2,3	150	10
160	34	160	36	160	34	160	2	160	10
170	30	170	30	170	30	170	1,8	170	10
180	28	180	28	180	28	180	1,6	180	10
190	26	190	26	190	26	190	1,6	190	10
200	24	200	24	200	24	200	4	200	10

Для построения АЧХ параллельного контура пересчитаем значения выходного напряжения в относительных единицах и представим результаты вычислений в виде таблицы (таблица 5).

Таблица 5

$U_{\text{вх}} = 10 \text{ В}$		$L = 0.68 \text{ мГн}$		$C = 5100 \text{ пФ}$		$R = 10 \text{ Ом}$			
$R_i = 100 \text{ кОм}$		$R_i = 100 \text{ кОм}$		$R_i = 1,5 \text{ кОм}$		$R_i = 1,5 \text{ кОм}$		$R_i = 0 \text{ кОм}$	
$R_{\text{н}} = 1,5 \text{ кОм}$		$R_{\text{н}} = \infty$		$R_{\text{н}} = 1,5 \text{ кОм}$		$R_{\text{н}} = \infty$		$R_{\text{н}} = \infty$	
$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{вых}} / U_{\text{рез}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{вых}} / U_{\text{рез}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{вых}} / U_{\text{рез}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{вых}} / U_{\text{рез}}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{вых}} / U_{\text{рез}}$
40	0,15	40	0,08	40	0,15	40	0,16	40	1
50	0,22	50	0,11	50	0,22	50	0,25	50	1
60	0,31	60	0,16	60	0,31	60	0,37	60	1
70	0,46	70	0,19	70	0,46	70	0,58	70	1
80	0,69	80	0,53	80	0,72	80	0,93	80	1
92	1,00	92	1,00	92	1,00	92	1,00	92	1
100	0,88	100	0,92	100	0,88	100	0,82	100	1
110	0,66	110	0,42	110	0,45	110	0,63	110	1
120	0,51	120	0,29	120	0,51	120	0,50	120	1
130	0,40	130	0,22	130	0,40	130	0,41	130	1
140	0,34	140	0,17	140	0,34	140	0,34	140	1
150	0,29	150	0,15	150	0,29	150	0,30	150	1
160	0,26	160	0,14	160	0,26	160	0,26	160	1
170	0,23	170	0,11	170	0,23	170	0,24	170	1
180	0,22	180	0,11	180	0,22	180	0,21	180	1
190	0,20	190	0,10	190	0,20	190	0,21	190	1
200	0,18	200	0,09	200	0,18	200	0,20	200	1

На рис. 19 представлена АЧХ параллельного контура.

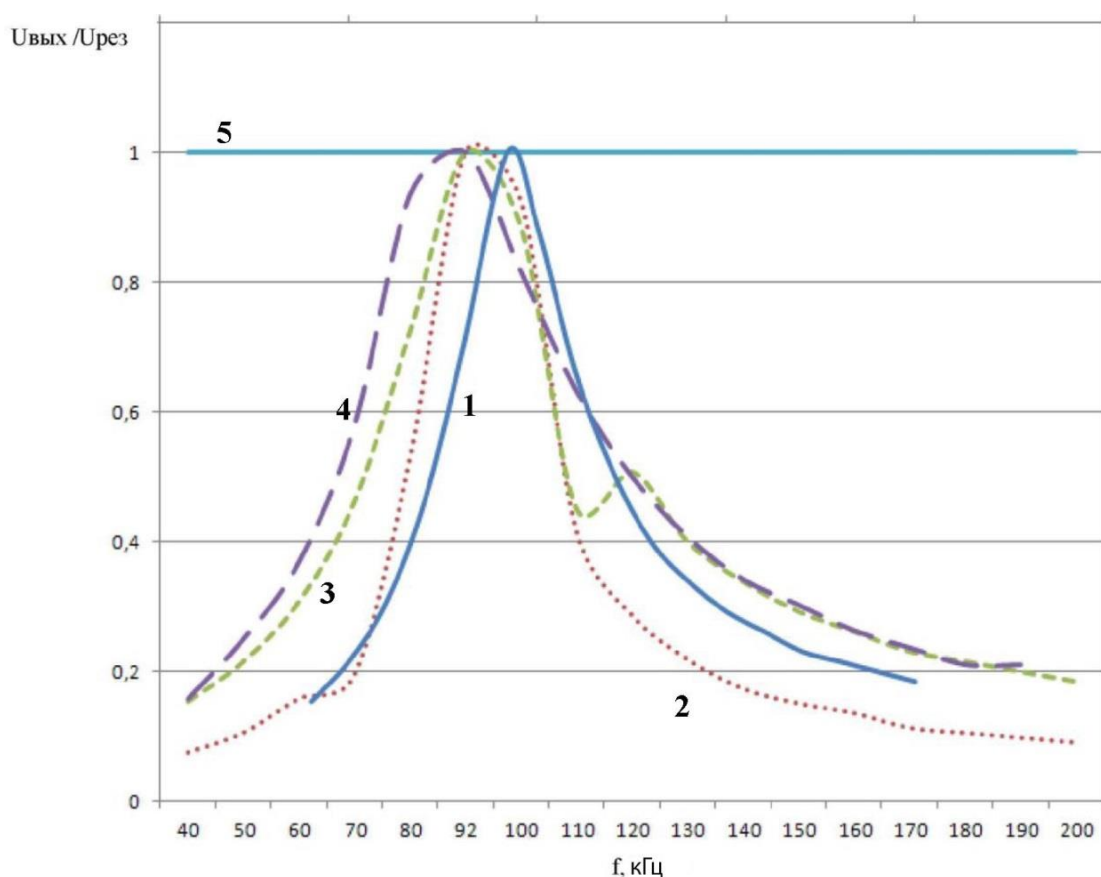


Рис. 19. АЧХ параллельного контура : 1- $R_i = 100 \text{ кОм}$; $R_n = 1,5 \text{ кОм}$; 2- $R_i = 100 \text{ кОм}$; $R_n = \infty$; 3- $R_i = 1,5 \text{ кОм}$; $R_n = 1,5 \text{ кОм}$; 4- $R_i = 1,5 \text{ кОм}$; $R_n = \infty$; 5- $R_i = 0$; $R_n = 0$.

Как видно из рис. 19 на АЧХ виден явно выраженный пик на частоте 92 кГц, что хорошо согласуется с расчетным значением резонансной частоты.

2.3. КОНСПЕКТ УРОКА ПО ТЕМЕ «ИССЛЕДОВАНИЕ АЧХ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОНТУРА»

Тема «Исследование АЧХ параллельного контура»

Тип урока – изучение нового материала с применением демонстрационного опыта и первичного закрепления.

Цель урока – познакомиться с явлением параллельного резонанса на примере реальной цепи.

Задачи урока:

Образовательные – познакомить учащихся с явлением параллельного резонанса, исследовать АЧХ параллельного контура.

Развивающие – развить умение обучающихся работать самостоятельно с учебником, уметь грамотно излагать свои мысли, устанавливать причинно-следственные связи между амплитудой и частотой колебаний в колебательном контуре.

Воспитательные – сформировать устойчивое внимание при объяснении нового материала, умение слушать других и делать выводы опираясь на факты.

Принципы:

– принцип обязательности. Каждый ученик на уроке должен выполнять определённый минимум самостоятельных действий.

– принцип посильности. Задания для самостоятельного выполнения должны быть посильны для учащегося и опираться на уже существующие знания. Также возможны задания с некоторой долей нового материала, посильного для самостоятельного изучения.

– принцип наглядности. Для более лёгкого усвоения нового материала должны использоваться различные макеты, графики и т.д.

Оборудование для демонстрационного эксперимента – генератор синусоидального тока, осциллограф, милливольтметр, макет для изучения параллельного резонанса (рис. 20).

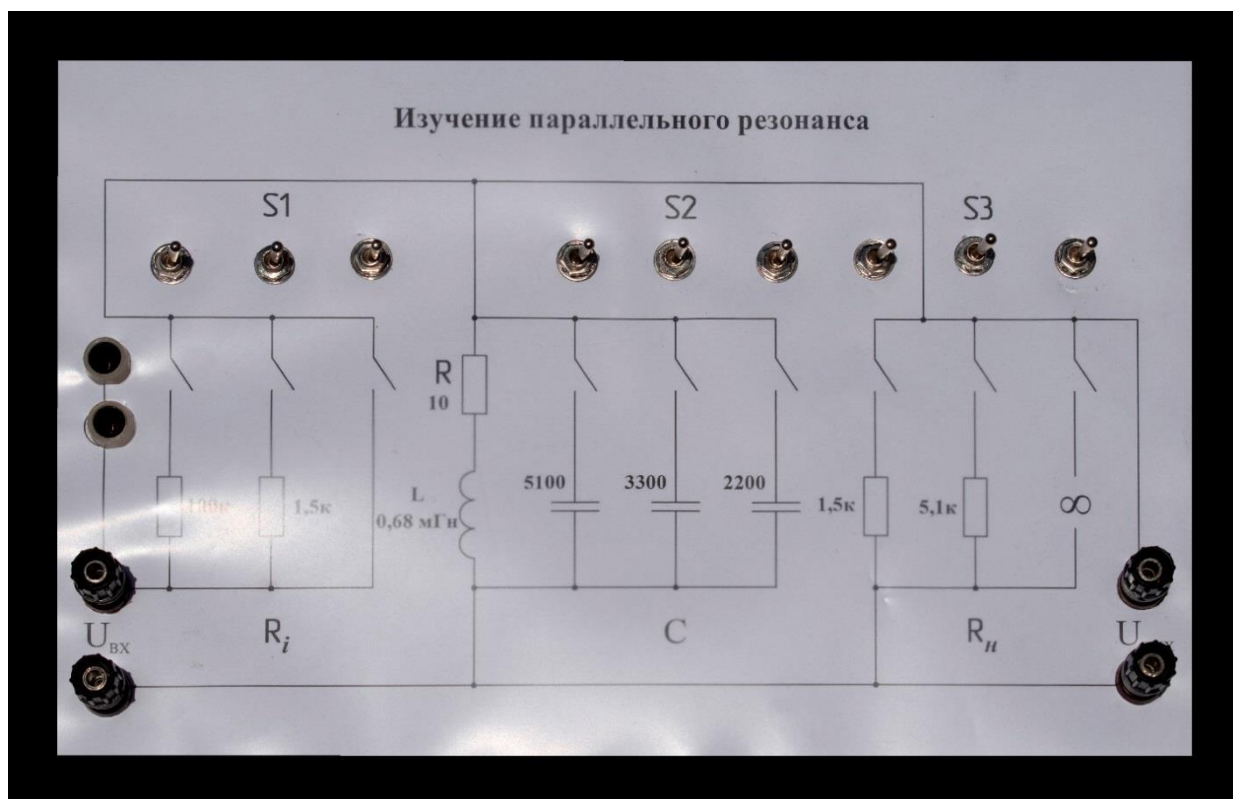


Рис. 20. Макет для изучения параллельного резонанса

На рис. 21 приведена фотография установки для исследования резонанса напряжений.

Дидактические средства:

Трофимова, *Т. И.* Физика. 10—11 кл. / Т. И. Трофимова. — М. : ОНИКС 21 век, 2004.

Рымкевич А.П. Физика. Задачник. 9-11 кл.: Пособие для общеобразоват. учеб. заведений. -М.: Дрофа, 1999.



Рис. 22. Установка целиком для исследования параллельного резонанса

Технические средства обучения: ПК, проектор, интерактивная доска, камера.

План урока

Этапы урока	Приёмы и методы	Время
1.Организационный	Создание рабочей обстановки. Повторение	1

	предыдущего материала по теме «Электромагнитные колебания»	
2.Проверка домашнего задания	Выборочный опрос решение задач по предыдущей теме	10
3.Актуализация знаний	Рассказ учителя с приведением примеров использования в повседневной жизни	2
4.Изучение нового материала	Демонстрационный опыт. Исследование явления	15
5.Закрепление знаний	Решение задач по теме	10
6.Подведение итогов	Выделяем главное и записываем домашнее задание	2

Ход урока

1. Создание рабочего настроения на урок. Цепочка по теме «Электромагнитные колебания» со слов «Я знаю»:

Возможные предложения - утверждения:

- 1) электромагнитными колебаниями называют ...
- 2) колебательный контур – это ...
- 3) вынужденными называют электромагнитные колебания ...
- 4) переменный электрический ток – это ...
- 5) различают амплитудное и действующее значения силы переменного тока и напряжения ...

- 6) цепь переменного тока с емкостным сопротивлением представляет собой ...
- 7) цепь переменного тока с индуктивным сопротивлением представляет собой ...
- 8) реактивное емкостное сопротивление зависит от ...
- 9) реактивное индуктивное сопротивление зависит от ...
- 10) активным сопротивлением в цепи переменного тока называют ...

2. Проверка домашнего задания

3. Актуализация знаний (создание мотивации)

Учитель: нам известно, что электромагнитные колебания в контуре имеют сходство с колебаниями механической системы, например, маятника. Особенно интересны вынужденные колебания, знания о которых позволяют избегать трагедий. Ричарду Фейнману принадлежат слова (слова на центральной части доски): «В природе очень часто что-нибудь «колеблется» и так же часто наступает ... (карточка перевернута «резонанс»)). Что общего может быть между программой телепередач и мостом? Учитель демонстрирует газету с программой телепередач и предлагает посмотреть видеофрагмент «Мост», который демонстрирует вынужденные колебания моста.

Учитель: о каком явлении идет речь в этом фрагменте? Как объяснить наблюдаемое явление?

После обсуждения предлагаемых объяснений

Если не учитывать в конструкции моста возможные частоты колебаний, то может произойти из-за резонанса под действием ветра его разрушение. Настройка телевизионного приемника на тот или иной канал происходит благодаря резонансу.

4. Изучение нового материала

Учитель: сформулируйте цель урока.

Ученик: рассмотреть процессы, происходящие на реальном параллельном колебательном контуре, представляющем собой параллельное соединение резистора, конденсатора и катушки индуктивности.

Учитель: предлагаю рассмотреть следующий опыт.

5. Совершенствование знаний

Учитель:

1. Что было изучено сегодня на уроке?
2. Как бы Вы сформулировали тему сегодняшнего урока?
3. Какие новые понятия на уроке были введены?
4. Что представляет собой параллельный колебательный контур?
5. Какие новые формулы и законы изучили?
6. С каким новым физическим явлением Вы познакомились?
7. Дайте определение параллельного электрического резонанса.

Решение задачи: как можно определить индуктивность катушки, используемой в эксперименте?

Решение: зная резонансную частоту и ёмкость конденсатора.

Решение задачи: как определить необходимую ёмкость, зная индуктивность и резонансную частоту.

6. Подведение итогов урока, рефлексия

Учитель. Выделение главного в новом материале.

Что интересного запомнилось Вам на уроке?

Что оказалось для Вас полезным?

Что представляло наибольшую трудность?

Как вы оцениваете полученные сегодня знания?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа предназначена прежде всего для лучшего понимания и усвоения учащимися материала по теме «Резонанс в колебательных контурах». Направлена на детей занимающихся по профильному курсу или факультативного занятия. Я считаю что с помощью повышения наглядности можно значительно повысить интерес обучающихся к изучению явления резонанса в электрических цепях и физики в целом. Что в свою очередь может способствовать увеличению числа инженеров в будущем и выхода производства на новый технический уровень. Ведь массовое высокотехнологичное производство за последние годы привело к тому, что доля инженерного труда в создании продукции превысила долю труда рабочего. На большинстве производств современности всё больше используются роботизированные установки. За последнее время в различных развитых странах существенно снизился интерес к инженерным профессиям. Большинство ещё со школы пугают эти громоздкие формулы и непонятные схемы, что вызывает у них отторжение к такой науке как физика. И они выбирают более понятные по их мнению направления. Профессия инженер потеряла былую привлекательность и стала наблюдаться их нехватка, что привело к ухудшению качества. Ведь на инженерные специальности стали поступать в большей массе те, кто не смог поступить куда-то ещё. Поэтому для повышения числа высококлассных инженеров нужно начинать с повышения качества образования, необходимо улучшать качество образования в школе уже сейчас. Чтобы через несколько десятилетий не отстать от других стран. Так как большое число инженеров это не только увеличение производства, но и появление новых технологий улучшающих качество жизни обывателей. Поставленные в работе цель и задачи полностью выполнены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабовский, Р.И. Курс физики: Учебное пособие / Р.И. Грабовский. - СПб.: Лань, 2012. - 608 с.
2. Ерофеева, Г.В. Практические занятия по общему курсу физики: Учебник для бакалавриата и магистратуры / Г.В. Ерофеева, Ю.Ю. Крючков, Е.А. Складорова и др. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 492 с.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 3.: Электричество и магнетизм / Д.В. Сивухин. - М.: Физматлит, 2015. - 656 с.
4. Трофимова, Т.И. Курс физики: Учебное пособие для вузов / Т.И. Трофимова. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 560 с.
5. Тульчинский, Г.Л. Курс общей физики. В 3-х тт. Том 2 Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: Учебник / Г.Л. Тульчинский, С.В. Герасимов, Т.Е. Лохина. - СПб.: Лань, 2016. - 496 с.
6. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 4-х т. Курс общей физики: Учебное пособие / И.В. Савельев. - М.: КноРус, 2012. - 1856 с.
7. Белов, Н., В. Электротехника и основы электроники: Учебное пособие / Н. В. Белов, Ю. С. Волков. - СПб.: Лань, 2012. - 432 с.
8. Данилов, И.А. Общая электротехника: Учебное пособие для бакалавров / И.А. Данилов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 673 с.
9. Иванов, И.И. Электротехника и основы электроники: Учебник / И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я. Фролов. - СПб.: Лань, 2012. - 736 с.
10. Кузовкин, В.А. Электротехника и электроника: Учебник для СПО / В.А. Кузовкин, В.В. Филатов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 431 с.
11. Котельников, В.А. Собрание трудов. В 5 т. Т. 4. Основы радиотехники. Ч. 1 / В.А. Котельников. - М.: Физматлит, 2015. - 368 с.
12. Харкевич, А.А. Основы радиотехники / А.А. Харкевич. - М.: Физматлит, 2007. - 512 с.

13. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи с распределенными параметрами / С.И. Баскаков. - М.: КД Либроком, 2012. - 152 с.
14. Башарин, С.А. Теоретические основы электротехники: Теория электрических цепей и электромагнитного поля: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / С.А. Башарин, В.В. Федоров. - М.: ИЦ Академия, 2010. - 368 с.
15. Бычков, Ю.А. Основы теоретической электротехники / Ю.А. Бычков, В.М. Золотницкий и др. - СПб.: Лань, 2008. - 592 с.
16. Прянишников, В.А. Теоретические основы электротехники: Курс лекций / В.А. Прянишников. - СПб.: КОРОНА-принт, 2012. - 368 с.