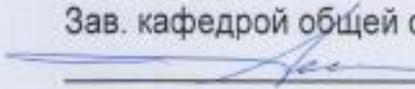


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой общей физики ФТИ

 А.М. Лидер

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

### Изучение полного контура при помощи универсальной установки «Кобра 3»

Методические указания к выполнению лабораторной работы 2-23  
по курсу «Общая физика» для студентов всех направлений и  
специальностей

Издательство  
Томского политехнического университета  
2017

УДК 537

ББК 22.3

**Изучение полного контура при помощи универсальной установки «Кобра 3»:** методические указания к работе 2-23 по курсу «Общей физики» для студентов всех направлений и специальностей / сост. В.С. Сыпченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 26 с.

УДК 537

ББК 22.3

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры

Общей физики ФТИ

« \_\_\_\_\_ » 2017 г.

Председатель

учебно-методической комиссии

  
А.М. Лидер

*Рецензенты*

Доктор педагогических наук,  
профессор кафедры ОФ ФТИ НИ ТПУ

*В.В. Ларионов*

Старший преподаватель  
кафедры ОФ ФТИ НИ ТПУ

*Т.Н. Мельникова*

## ИЗУЧЕНИЕ ПОЛНОГО КОНТУРА ПРИ ПОМОЩИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ «КОБРА 3»

**Цель работы:** Изучение колебательного контура при последовательном и параллельном соединении.

**Приборы и принадлежности:** Базовая установка системы «Кобра 3», катушка индуктивности, набор резисторов, конденсатор, соединительные провода, компьютер с программным обеспечением «Кобра 3».

### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Колебательный контур – электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности, конденсатор и источник электрической энергии.

В отличие от реального колебательного контура, который обладает электрическим сопротивлением  $R$ , электрическое сопротивление идеального контура всегда равно нулю. Следовательно, идеальный колебательный контур является упрощенной моделью реального контура. На рис. 1 изображена схема идеального колебательного контура.

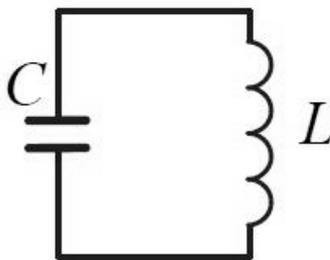


Рис. 1. Идеальный колебательный контур

Полная энергия колебательного контура

$$W = W_e + W_m$$

$$W_e = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}, \quad W_m = \frac{LI^2}{2}, \quad (1)$$

где  $W_e$  – энергия электрического поля колебательного контура в данный момент времени,  $C$  – емкость конденсатора,  $U$  – значение напряжения на конденсаторе в данный момент времени,  $q$  – значение заряда конденсатора в данный момент времени,  $W_m$  – энергия магнитного поля колебательного контура в данный момент времени,  $L$  – индуктивность катушки,  $I$  – значение силы тока в катушке в данный момент времени.

Свободные электрические колебания в идеальном колебательном контуре являются гармоническими. Заряд на конденсаторе изменяется по закону:

$$q = q_0 \cos \omega_0 t. \quad (2)$$

Учитывая, что  $U = q/C$ , можно также получить уравнение для изменения напряжения на конденсаторе:

$$u = U_0 \cos \omega_0 t. \quad (3)$$

Ток в катушке индуктивности:

$$i = I_0 \cos (\omega_0 t + \pi/2), \quad (4)$$

или

$$i = I_0 \sin \omega_0 t. \quad (5)$$

Период свободных колебаний определяется параметрами самой колебательной системы: индуктивностью и емкостью (формула Томсона):

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad \text{и} \quad (6)$$

При последовательном соединении элементов цепи колебательный контур называется последовательным, при параллельном – параллельным.

Если бы не происходило никаких потерь электромагнитной энергии, в частности, на нагревание проводников в рассмотренном контуре, то описанный процесс преобразования электрической энергии конденсатора в магнитную энергию тока в катушке и обратно, проявляющийся в виде переменного тока в контуре, повторялся бы бесконечно. В действительности электрические колебания в контуре быстро затухают, главным образом вследствие выделения тепла.

Если колебательный контур состоит из катушки индуктивности  $L$ , конденсатора емкостью  $C$  и активного сопротивления  $R$ , последовательно подключенных к источнику переменного напряжения

$$U = U_0 \cos \omega t,$$

то согласно закону Ома для полной цепи

$$U = IR + L \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C}. \quad (7)$$

Продифференцировав выражение (7) и вычислив при

$$I = \frac{dq}{dt},$$

получим:

$$I = I_0 \cos(\omega t - \varphi), \quad (8)$$

где

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}. \quad (9)$$

Сдвиг по фазе  $\varphi$  рассчитывается как

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (10)$$

Из выражения (8) резонанс токов наблюдается при частоте

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (11)$$

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Последовательный колебательный контур (рис. 2) является простейшей резонансной (колебательной) цепью, который состоит из последовательно включенной катушки индуктивности и конденсатора. При переменном напряжении, через катушку и конденсатор будет протекать переменный ток, величина которого вычисляется по закону Ома:  $I = U/X_{\Sigma}$ , где  $X_{\Sigma}$  – сумма реактивных сопротивлений последовательно включенной катушки и конденсатора.

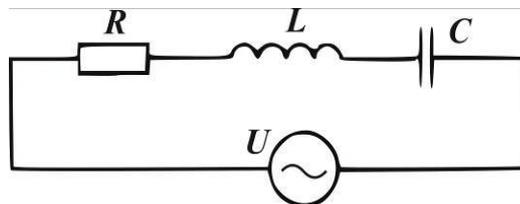


Рис. 2. Последовательный колебательный контур

Реактивные сопротивления конденсатора и катушки индуктивности зависят от частоты приложенного переменного напряжения следующим образом:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL. \quad (12)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (13)$$

На рис. 3 графически представлены зависимости реактивных сопротивлений катушки  $X_L$  и конденсатора  $X_C$  от циклической (круговой) частоты  $\omega$ , а также график зависимости от частоты  $\omega$  их алгебраической суммы  $X_{\Sigma}$ . График, по сути, показывает зависимость от частоты общего реактивного сопротивления последовательного колебательного контура. Из графика видно, что на некоторой частоте  $\omega = \omega_0$ , на которой реактивные сопротивления катушки и конденсатора

равны по модулю (равны по значению, но противоположны по знаку), общее сопротивление цепи обращается в ноль.

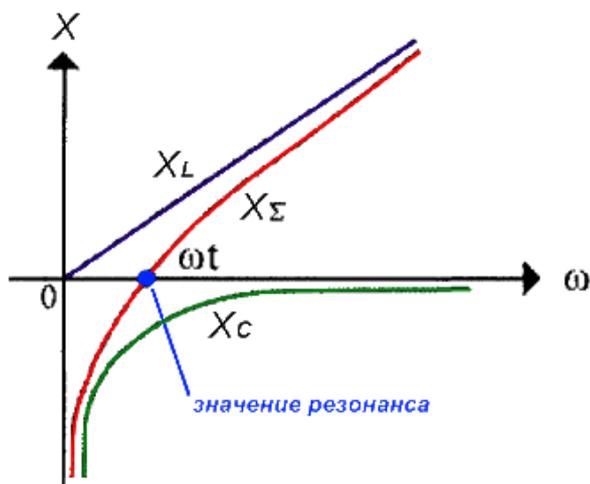


Рис. 3. Зависимость сопротивлений элементов последовательного колебательного контура от циклической частоты.

На этой частоте в цепи наблюдается максимум тока, который ограничен только омическими потерями в катушке индуктивности (т.е. активным сопротивлением провода обмотки катушки) и внутренним сопротивлением источника тока (генератора). Такую частоту, при которой наблюдается рассмотренное явление (резонанс), называют резонансной частотой или собственной частотой колебаний цепи. Также из графика видно, что на частотах ниже частоты резонанса реактивное сопротивление последовательного колебательного контура носит емкостной характер, а на более высоких частотах – индуктивный. Что касается самой резонансной частоты, то она может быть вычислена при помощи формулы Томсона:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

или

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (14)$$

На рисунке 2 изображена эквивалентная схема последовательного резонансного контура с учетом омических потерь  $R$ , подключенного к идеальному генератору гармонического напряжения с амплитудой  $U$ . Полное сопротивление (импеданс) такой цепи определяется:

$$Z = \sqrt{(R^2 + X_{\Sigma}^2)}, \quad (15)$$

где  $X_{\Sigma} = X_L - X_C$ . На резонансной частоте, когда величины реактивных сопротивлений катушки  $X_L$  и конденсатора  $X_C$  равны по модулю, величина  $X_{\Sigma}$  обращается в нуль (следовательно, сопротивление цепи чисто активное), а ток в цепи определяется отношением амплитуды напряжения генератора к сопротивлению омических потерь. При этом на катушке и на конденсаторе, в которых запасена реактивная электрическая энергия, падает одинаковое напряжение

$$U_L = U_C = I \cdot X_L = I \cdot X_C.$$

На любой другой частоте, отличной от резонансной, напряжения на катушке и конденсаторе неодинаковы – они определяются амплитудой тока в цепи и величинами модулей реактивных сопротивлений  $X_L$  и  $X_C$ . Поэтому резонанс в последовательном колебательном контуре принято называть резонансом напряжений. Резонансной частотой контура называют такую частоту, на которой сопротивление контура имеет чисто активный (резистивный) характер. Условие резонанса – это равенство величин реактивных сопротивлений катушки индуктивности и ёмкости.

Одним из наиболее важных параметров колебательного контура (кроме, разумеется, резонансной частоты) является добротность колебательного контура  $Q$ . Отношение энергии, запасенной реактивными элементами контура, к энергии омических (резистивных) потерь за период принято называть добротностью  $Q$  контура, что в буквальном переводе с английского языка обозначает "качество". Добротность колебательного контура – характеристика, определяющая амплитуду и ширину амплитудно-частотной характеристики резонанса и показывающая, во сколько раз запасы энергии в контуре больше, чем потери энергии за один период колебаний. Добротность учитывает наличие активного сопротивления нагрузки  $R$ .

Для последовательного колебательного контура в  $RLC$ -цепях, в котором все три элемента включены последовательно, добротность вычисляется:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{L}{R \sqrt{LC}} = \frac{f_0}{4\pi(f_b - f_0)}. \quad (16)$$

где  $R$ ,  $L$  и  $C$  – активное сопротивление, индуктивность и ёмкость резонансной цепи, а  $f_b$  – частота, при которой выполняется соотношение

$$\frac{I}{I_r} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad (17)$$

где  $I_r$  – ток при резонансной частоте ( $I_r \approx 1,41 \cdot I$ ).

Величину, обратную добротности, называют коэффициентом затухания контура:

$$\beta = \frac{1}{Q} = \frac{R}{2L}. \quad (18)$$

Также вводится такая физическая величина, как логарифмический декремент затухания:

$$\delta = \beta T = \pi \frac{R}{\sqrt{\frac{L}{C}}}. \quad (19)$$

Логарифмический декремент затухания и добротность контура связаны следующим соотношением:

$$\delta = \frac{\pi}{Q}. \quad (20)$$

Добротность реальных колебательных контуров, выполненных на дискретных катушках индуктивности и конденсаторах, составляет от нескольких единиц до сотни и более. Добротность различных колебательных систем, построенных на принципе пьезоэлектрических и других эффектов (например, кварцевые резонаторы) может достигать нескольких тысяч и более.

### ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

В различных радиотехнических устройствах наряду с последовательными колебательными контурами часто (даже чаще, чем последовательные) применяют параллельные колебательные контуры. На рис. 4 приведена принципиальная схема параллельного колебательного контура.

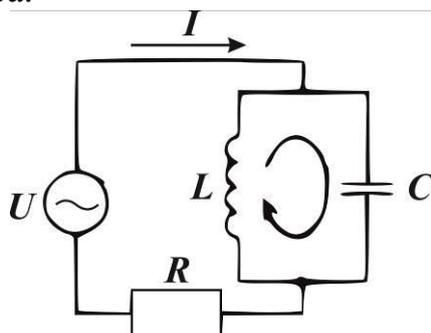


Рис. 4. Параллельный колебательный контур.

Здесь параллельно включены два реактивных элемента с разным характером реактивности. Как известно, при параллельном включении элементов складывать их сопротивления нельзя – можно лишь складывать проводимости. На рис. 5 приведены графические

зависимости реактивных проводимостей катушки индуктивности  $\rho_L$ , конденсатора  $\rho_C$ , а также суммарной проводимости  $\rho_\Sigma$  этих двух элементов, являющихся реактивной проводимостью параллельного колебательного контура. Аналогично, как и для последовательного колебательного контура, имеется некоторая резонансная частота, на которой реактивные сопротивления (а значит и проводимости) катушки и конденсатора одинаковы. На этой частоте суммарная проводимость параллельного колебательного контура без потерь обращается в нуль. Это значит, что на этой частоте колебательный контур обладает бесконечно большим сопротивлением.

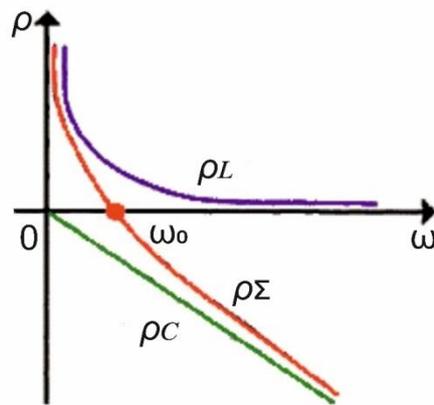


Рис. 5. Зависимости реактивных проводимостей катушки индуктивности и конденсатора от циклической частоты.

Если построить зависимость реактивного сопротивления контура от частоты, эта кривая, изображённая на рисунке б, в точке  $\omega = \omega_0$  будет иметь разрыв второго рода. Сопротивление реального параллельного колебательного контура (т.е с потерями), разумеется, не равно бесконечности – оно тем меньше, чем больше омическое сопротивление потерь в контуре, т.е уменьшается прямо пропорционально уменьшению добротности контура.

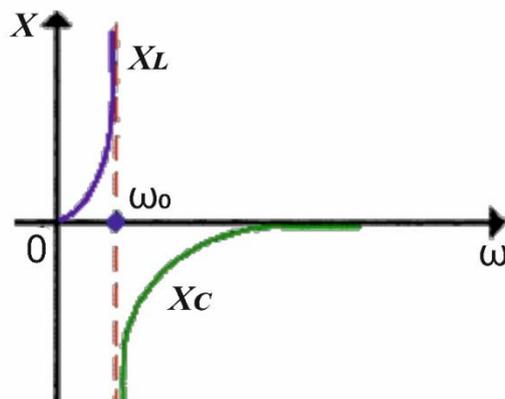


Рис. 6. Зависимость реактивного сопротивления контура от частоты.

В целом, физический смысл понятий добротности, характеристического сопротивления и резонансной частоты колебательного контура, а также их расчетные формулы, справедливы как для последовательного, так и для параллельного колебательного контура.

Для параллельного колебательного контура, в котором индуктивность, емкость и сопротивление включены параллельно, добротность вычисляется:

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{4\pi(f_b - f_0)}{f_0}, \quad (21)$$

где  $R$ ,  $L$  и  $C$  – сопротивление, индуктивность и ёмкость резонансной цепи, соответственно, а  $f_b$  – частота, при которой выполняется соотношение

$$\frac{I_r}{I} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad (22)$$

где  $I_r$  – ток при резонансной частоте ( $I \approx 1,41 \cdot I_r$ ).

Рассмотрим цепь, состоящую из генератора гармонических колебаний и параллельного колебательного контура (рис. 4). В случае, когда частота колебаний генератора совпадает с резонансной частотой контура его индуктивная и емкостная ветви оказывают равное сопротивление переменному току, вследствие чего токи в ветвях контура будут одинаковыми. В этом случае говорят, что в цепи имеет место резонанс токов. Как и в случае последовательного колебательного контура, реактивности катушки и конденсатора компенсируют друг друга, и сопротивление контура протекающему через него току становится чисто активным. На частотах, отличных от резонансных, сопротивление контура уменьшается и приобретает реактивный характер. На более низких частотах – индуктивный (поскольку реактивное сопротивление индуктивности падает при уменьшении частоты), а на более высоких наоборот – емкостной (т.к. реактивное сопротивление емкости падает с ростом частоты).

В процессе работы контура, дважды за период колебаний, происходит энергетический обмен между катушкой и конденсатором. Энергия поочередно накапливается то в виде энергии электрического поля заряженного конденсатора, то в виде энергии магнитного поля катушки индуктивности. При этом в контуре протекает собственный контурный ток, превосходящий по величине ток во внешней цепи  $I$  в  $Q$  раз. В случае идеального контура (без потерь), добротность которого

теоретически бесконечна, величина контурного тока также будет бесконечно большой. Но на практике такого не бывает. В любом случае, качество элементов контура, их «паразитные» характеристики, электрические цепи, служащие для подвода энергии и отбора энергии из контура, не позволят контурному току расти.

## ЗАДАНИЯ

1. Получить графики зависимости  $I = f(\nu)$ ,  $U = f(\nu)$ ,  $Z = f(\nu)$  при параллельном и последовательном соединении колебательного контура.
2. Определить резонансную частоту, логарифмический декремент затухания и добротность колебательного контура.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Внешний вид используемой в работе установки показан на рисунке 7. Экспериментальная установка состоит из источника питания, модуля функционального преобразователя, катушки индуктивности на 300 витков с сопротивлением  $R_l = 150$  Ом и индуктивностью  $L = 0,3$  Гн, сопротивления связи  $R_c = 47$  Ом, активного сопротивления  $R_d$  и конденсатора емкостью  $C = 1$  мкФ. Получаемые значения тока, напряжения и частоты фиксируется программным обеспечением.

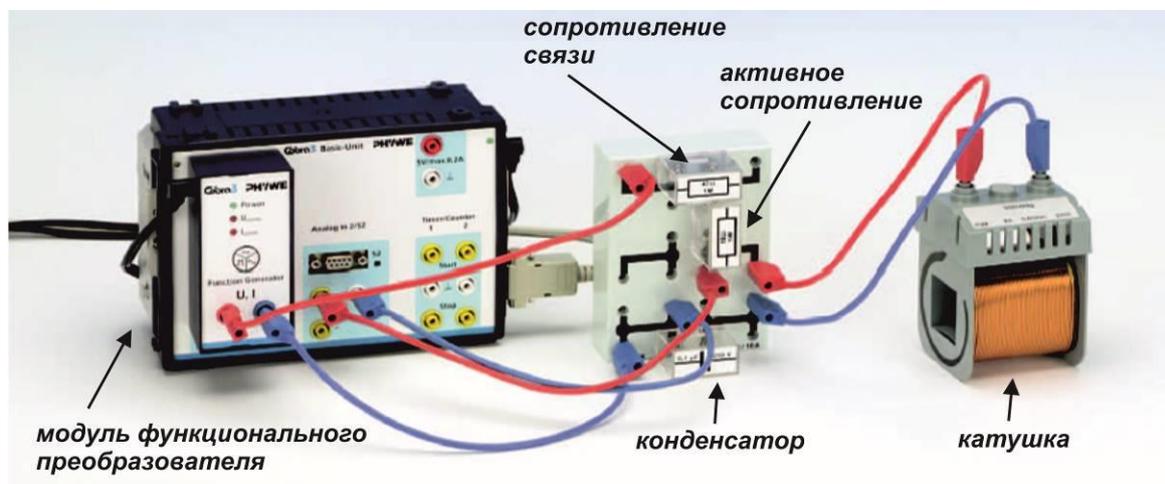


Рис. 7. Схема установки «Кобра 3» для исследования последовательного колебательного контура.

## ХОД РАБОТЫ

### Упражнение 1. Настройка параметров установки Кобра 3 и исследование последовательного колебательного контура.

1. Соберите цепь последовательного резонансного контура, как показано на рисунке 7 и 8, без сопротивления ( $R_d = 0 \text{ Ом}$ ).

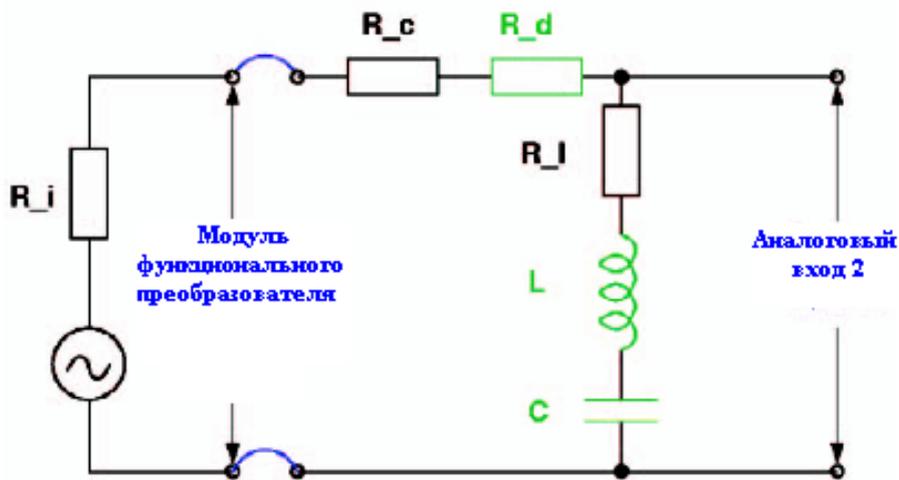


Рис. 8. Схема последовательного колебательного контура.

2. Включите питание измерительного блока «Кобра».
3. Запустите программу «Phywe measure».
4. На верхней панели меню выберите вкладку «Прибор», затем «PowerGraph». Появится панель, изображенная на рисунке 9.
5. В открывшемся окне выберите вкладку «Analog In» (Аналоговый вход) и установите параметры, указанные на рисунке 10.

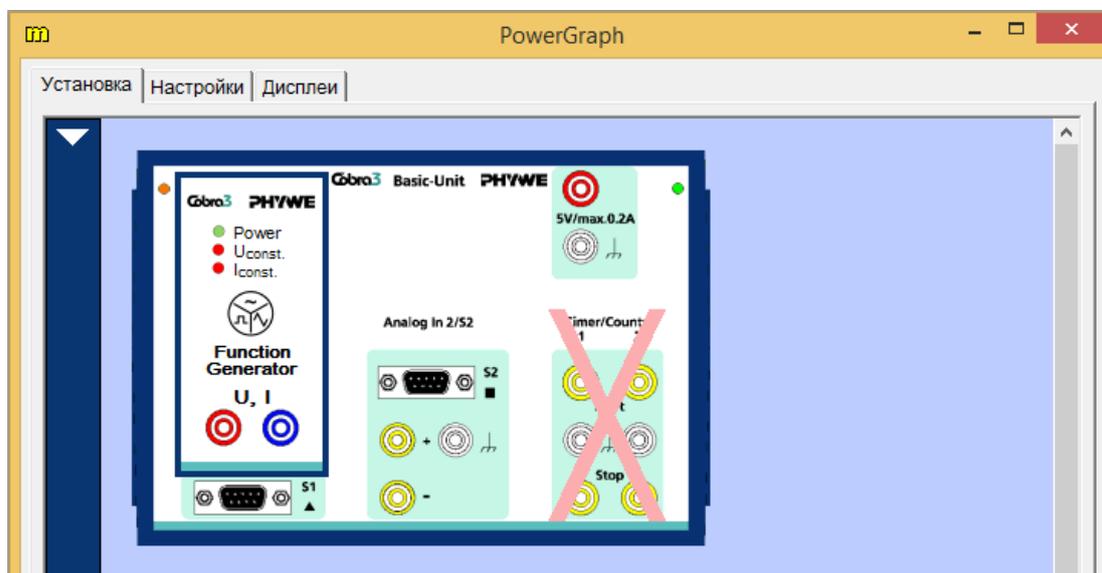


Рис. 9. Диалоговое окно PowerGraph.

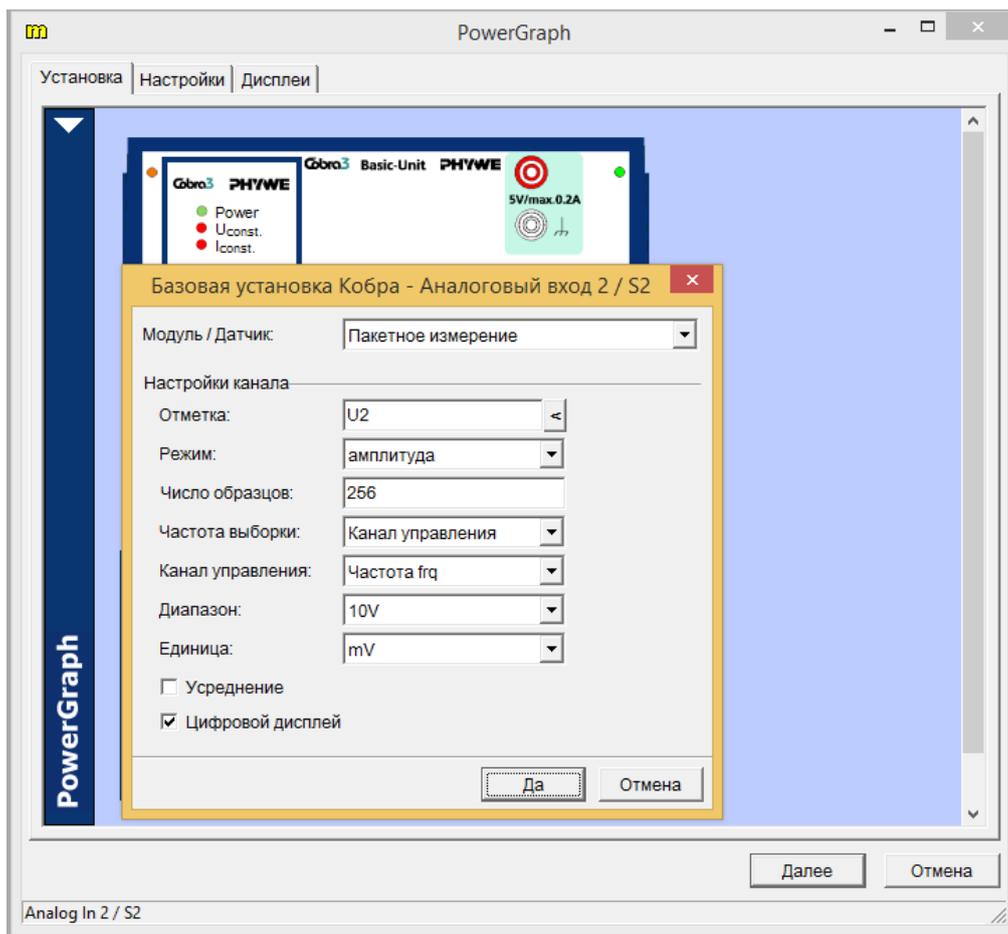


Рис. 10. Параметры вкладки «Analog In» (Аналоговый вход).

6. В окне PowerGraph выберите раздел «Function Generator» и установите параметры, указанные на рис. 11.

Базовая установка Кобра - Модульный порт

Модуль:

Настройки модуля

Режим работы:

Установки сигнала

Тип сигнала:

Форма сигнала:

Амплитуда:  mV

Частота:  Hz

DC-сдвиг:  mV

КаналТок

Отметка:

Усреднение

Цифровой дисплей

Амплитуда канала

Отметка:

Цифровой дисплей

Частота канала

Отметка:

Цифровой дисплей

Установки изменения

Начало:  Hz

Конец:  Hz

Размер шага:  Hz

Задержка:  s

Канал триггера

Отметка:

Рис. 11. Параметры для вкладки Function Generator.

7. Нажмите на белый треугольник (в левом верхнем углу) окна PowerGraph и добавьте новое устройство. Для первого канала установите параметры, указанные на рис. 12.

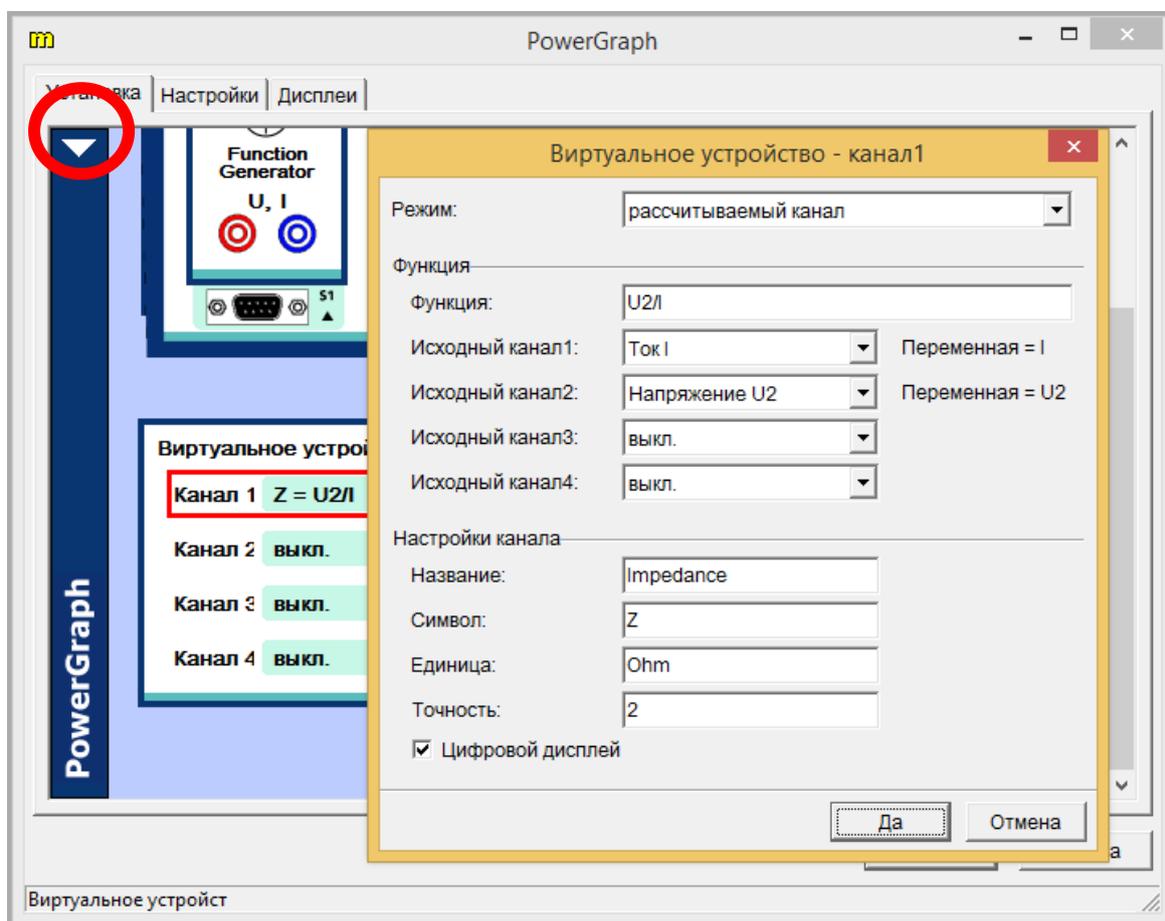


Рис. 12. Параметры нового устройства.

8. Перейдите во вкладку «Настройки» окна PowerGraph и установите параметры, указанные на рис. 13.

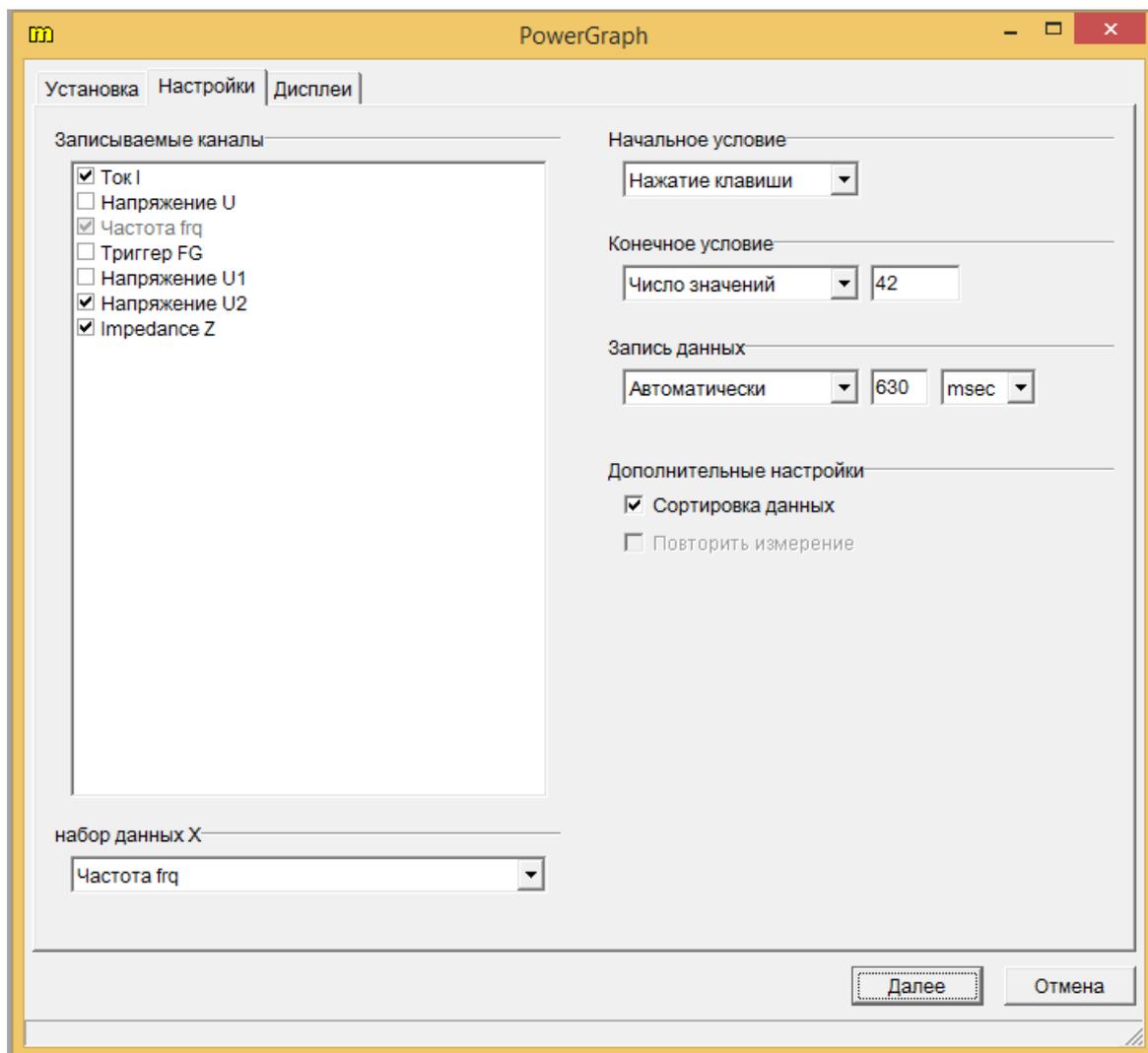


Рис. 13. Параметры вкладки Настройки.

9. Перейдите во вкладку «Дисплей» и в левой части в список «Цифровой дисплей» добавьте частоту, ток, напряжение  $U$ , напряжение  $U_2$  и импеданс. В список «Диаграмма» добавьте ток/импеданс, напряжение/импеданс и частота/импеданс с параметрами, показанными на рис. 14.

Диаграмма конфигурировать ✕

Канал

Ток I ▼

от  до  mA

Impedance Z ▼

от  до  Ohm

выкл. ▼

от  до

▼

ось X

от  до  Hz

▼

Диаграмма конфигурировать ✕

Канал

Частота frq ▼

от  до  Hz

Impedance Z ▼

от  до  Ohm

выкл. ▼

от  до

▼

ось X

от  до  Hz

▼

**Диаграмма конфигурировать** ✕

---

**Канал**

Напряжение U2 ▼

от  до  mV

---

Impedance Z ▼

от  до  Ohm

---

выкл. ▼

от  до

---

▼

---

**ось X**

от  до  Hz

---

▼

---

Установка | **Настройки** | Дисплей

- [-] 5.10 Цифровой дисплей
  - [-] 5.10 Напряжение U2
  - [-] 5.10 Ток I
  - [-] 5.10 Напряжение U
  - [-] 5.10 Частота frq
  - [-] 5.10 Impedance Z
  - + <новый дисплей...>
- [-]  Аналоговый дисплей
  - + <новый дисплей...>
- [-]  Диаграмма
  - Ток I / Impedance Z
  - Частота frq / Impedance Z
  - Напряжение U2 / Impedance Z
  - +

Рис. 14. Параметры отображаемых диаграмм

10. Нажмите «Далее» в окне PowerGraph, для перехода в режим измерений.
11. После загрузки всех диаграмм в окне «PowerGraph – измерение» начните измерение, нажав кнопку «Начать измерение» (рис. 15). Измерения завершатся автоматически после набора 41 значения, в результате чего будут получены зависимости тока, напряжения и импеданса от частоты.

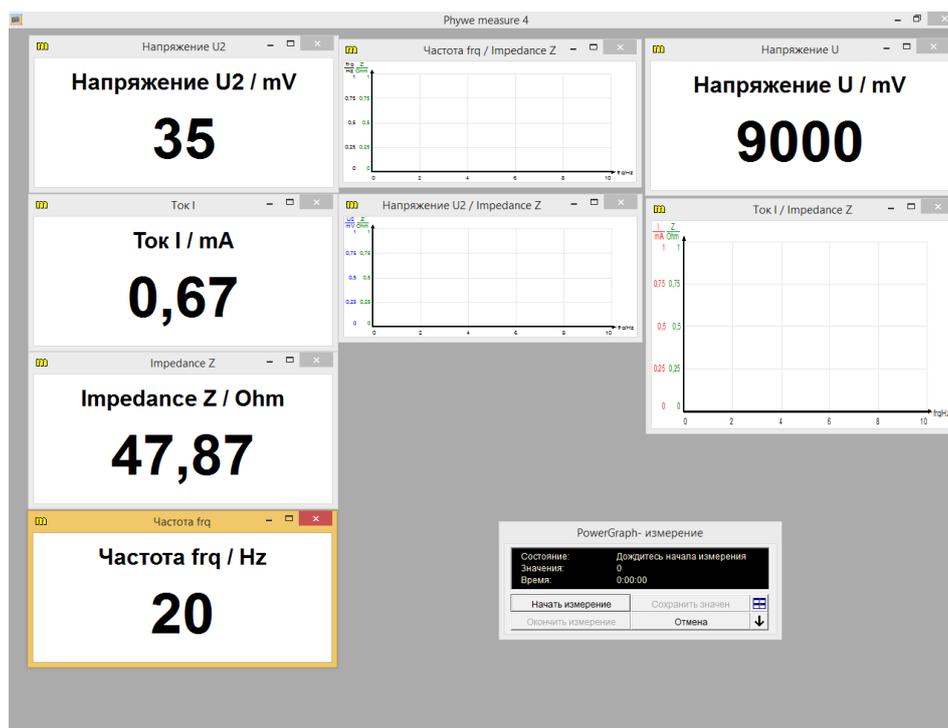


Рис. 15. Начало измерений.

12. Сохраните данные зависимостей  $I = f(\nu)$ ,  $U = f(\nu)$ ,  $Z = f(\nu)$ , в формате .txt. Для этого в меню «Измерения» выберите: «Экспорт данных» – «Куда: сохранить в файл» – «Формат: экспортировать как ч...».

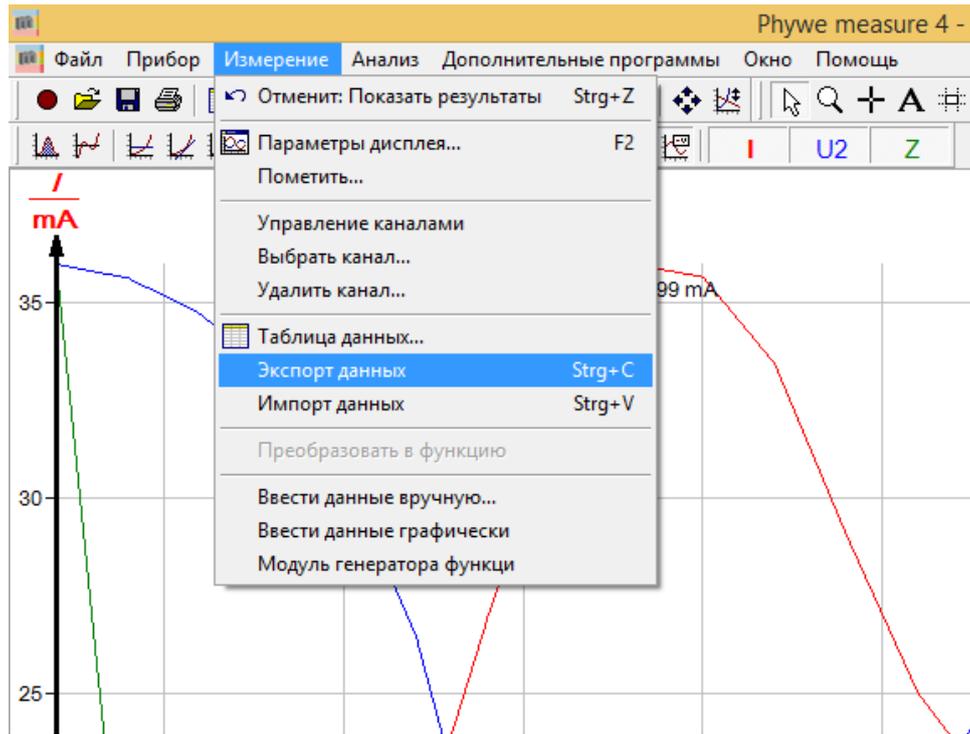
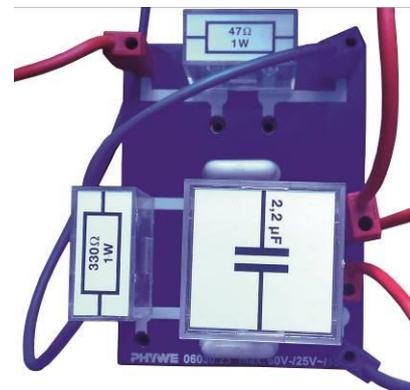
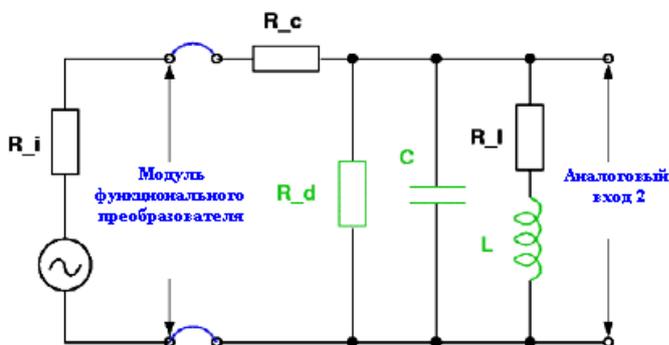


Рис. 16. Экспорт данных из графиков в текстовый файл.

13. Повторите проделанные измерения и получите зависимости  $I = f(\nu)$ ,  $U = f(\nu)$ ,  $Z = f(\nu)$  при различных сопротивлениях  $R_d = 330, 470, 680 \text{ Ом}$ .
14. Постройте графики зависимостей  $I = f(\nu)$  при различных сопротивлениях, отобразив все кривые на одном графике. Аналогичные зависимости построить для  $U = f(\nu)$ ,  $Z = f(\nu)$ .
15. Проанализируйте графики и сделайте выводы.

## Упражнение 2. Изучение параллельного колебательного контура

1. Соберите схему параллельного колебательного контура как показано на рис. 17 с сопротивлением  $R_d = 330 \text{ Ом}$ .



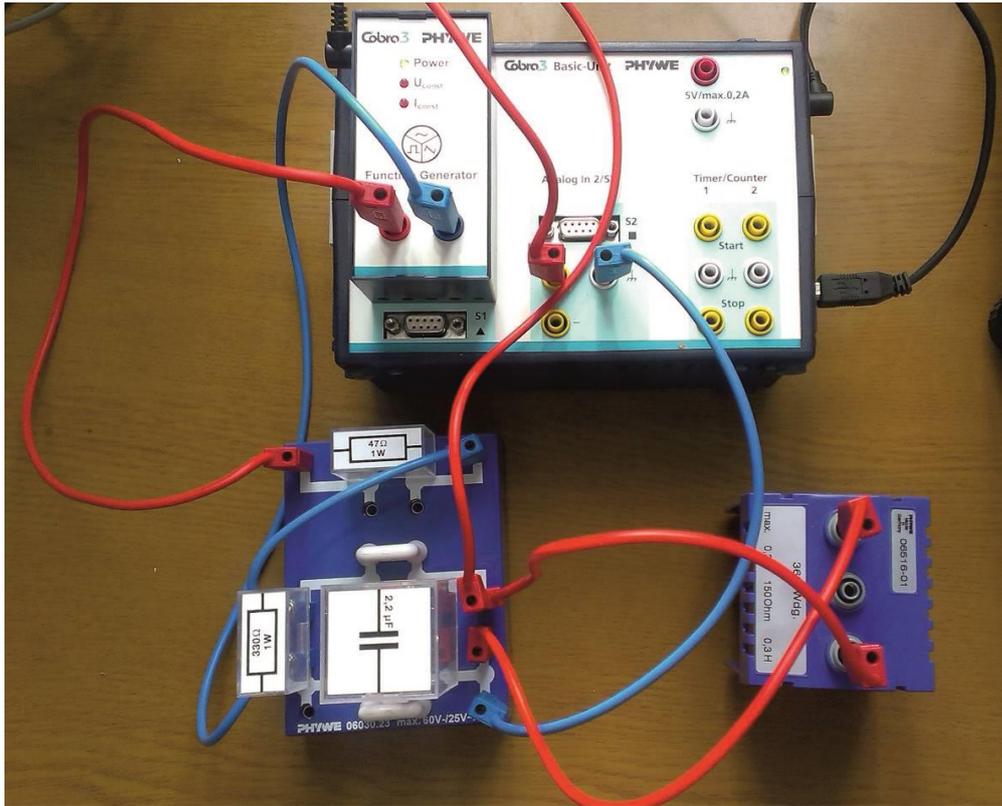


Рис. 17. Схема параллельного колебательного контура.

2. Прodelайте пункты 2-15 из **Упражнения 1** (пункты 2-9 необязательны, если не происходила перезагрузка компьютера), используя различные активные сопротивления  $R_d = 470, 680$  Ом и с бесконечно большим сопротивлением (разрыв цепи  $R_d = \infty$ ). Сохраните данные.
3. Постройте графики зависимостей  $I = f(v)$  при различных сопротивлениях, отобразив все кривые на одном графике. Аналогичные зависимости построить для  $U = f(v), Z = f(v)$ .
4. Проанализируйте графики и сделайте выводы

### **Упражнение 3. Расчет параметров колебательного контура при последовательном и параллельном соединении**

1. Из графика  $I = f(v)$ , полученного в Упражнении 1, найдите резонансную частоту  $f_0$  для последовательного контура при  $I_{\max}$ .
2. Из графика  $I = f(v)$ , полученного в Упражнении 2, найдите резонансную частоту  $f_0$  при  $R_d = \infty$  для параллельного контура ( $I_{\min}$ ).
3. По формуле (14) рассчитайте теоретическое значение резонансной частоты  $f_0$ .
4. При помощи графиков, полученных для последовательного и параллельного контуров, по формулам (16) для последовательного и

(21) и для параллельного рассчитайте добротность контура и по формуле (20) – логарифмический декремент затухания для обоих контуров.

5. Определите значение  $f_b$  из графика, когда  $I \approx 1,43 \cdot I_r$  ( $I_r$  – ток при резонансной частоте)

6. Значение ширины полосы пропускания  $\Delta f$  рассчитайте как  $\Delta f = (f_b - f_0)$ .

Занесите данные в таблицу 1 для последовательного соединения и в таблицу 2 для параллельного соединения:

Таблица 1

$C$ , мкФ	$R_c$ , Ом	$R_d$ , Ом	$f_0$ exper. Гц	$f_0$ теор. Гц	$\Delta f$ Гц	Q	$\delta$
1	47	0					
		330					
		470					
		680					

Таблица 2

$C$ , мкФ	$R_c$ , Ом	$R_d$ , Ом	$f_0$ exper. Гц	$f_0$ теор. Гц	$\Delta f$ Гц	Q	$\delta$
1	47	$\infty$					
		330					
		470					
		680					

**Упражнение 4.** Изучение колебательного контура при последовательном и параллельном соединении с различными емкостями выполняется по усмотрению преподавателя. Работа выполняется, когда сопротивление  $R_d$  изменяется, а в качестве переменной величины выступает емкость конденсатора  $C$ .

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое колебательный контур? Нарисовать схему.
2. В каких единицах измеряется электрическая емкость?
3. Что такое резонанс?
4. Что такое добротность колебательно контура?

5. Что такое импеданс цепи переменного тока? Написать формулу.
6. Что такое емкостное сопротивление? Написать формулу.
7. Что такое индуктивное сопротивление? Написать формулу.
8. Чему равна резонансная частота колебательного контура?
9. Что такое коэффициент затухания контура?
10. Какова зависимость от времени напряжения на катушке индуктивности и конденсаторе в колебательном контуре, если напряжение на резисторе изменяется с течением времени по закону  $u = U_0 \cos \omega t$ ?
11. Почему при резонансе напряжений ток в цепи достигает наибольшего значения?
12. Как изменяется резонансная кривая, если добротность контура увеличивается?
13. Как изменяются ток и напряжение при резонансе в колебательном контуре (нарисовать график)?
14. Как изменится резонансная частота последовательного колебательного контура, если емкость конденсатора уменьшить в два раза?
15. Как изменится резонансная частота последовательного колебательного контура, если индуктивность катушки увеличить в два раза?
16. Как влияет величина активного сопротивления индуктивной катушки на резонансную частоту последовательного колебательного контура?
17. Что произойдет, если к параллельному колебательному контуру приложить переменное напряжение резонансной частоты?
18. Сохранится ли резонансный режим, если изменить напряжение на входе колебательного контура?
19. Как полное сопротивление колебательного контура переменному току зависит от частоты тока и параметров контура  $L$ ,  $C$ ,  $R$ ?
20. Как экспериментально определить резонансную частоту и добротность последовательного колебательного контура?
21. Нарисуйте резонансную кривую при двух различных значениях активного сопротивления.
22. Какой колебательный контур чаще применяется в технике: параллельный или последовательный?
23. В каких цепях может наблюдаться резонанс напряжений?
24. Где и для чего используется электрический резонанс?
25. Где и для чего используется колебательный контур?

## ГЛОССАРИЙ

- 1. Добротность** — параметр колебательной системы, определяющий ширину резонанса и характеризующий, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за время изменения фазы на 1 радиан.
- 2. Катушка индуктивности** — винтовая, спиральная или винтоспиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении. Как следствие, при протекании через катушку переменного электрического тока наблюдается её значительная инерционность.
- 3. Колебательный контур** – электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности, конденсатор и источник электрической энергии.
- 4. Конденсатор** — двухполюсник с определённым или переменным значением ёмкости и малой проводимостью; устройство для накопления заряда и энергии электрического поля.
- 5. Резонанс** — явление, при котором амплитуда вынужденных колебаний имеет максимум при некотором значении частоты вынуждающей силы.
- 6. Электрическая проводимость** (электропроводность, проводимость) — способность тела проводить электрический ток, а также физическая величина, характеризующая эту способность и обратная электрическому сопротивлению.
- 7. Электрическая схема** – это документ, составленный в виде условных изображений или обозначений составных частей изделия, действующих при помощи электрической энергии, и их взаимосвязей.
- 8. Характеристическое (волновое) сопротивление контура  $\rho$**  – величина реактивного сопротивления ёмкости и индуктивности контура на резонансной частоте:  $\rho = X_L = X_C$  при  $\omega = \omega_p$ .
- 9. Электрическое сопротивление** — физическая величина, характеризующая свойства проводника препятствовать прохождению электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока, протекающего по нему.
- 10. Электромагнитные колебания** – периодические изменения напряженности поля  $E$  и индукции  $B$ .

## РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Скрипников Ю. Ф. Колебательный контур — М.: Энергия, 1970— 128 с.: ил. — (МРБ; Вып. 739)
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Электричество, т. 3 — М.: Наука: Физматлит, 2002. — 680 с.
3. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. — Л.: Наука, 1985. — 112 с.

Учебное издание

## **ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы 2-23  
по курсу «Общая физика» для студентов всех специальностей

*Составители*

СЫПЧЕНКО Владимир Сергеевич

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.12.2016. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.

Заказ . Тираж 50 экз.

---

Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет

Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета  
сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO  
9001:2008



---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru