

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**имени М. В. Ломоносова**

---

**Физический факультет**

**кафедра общей физики и физики конденсированного состояния**

**Методическая разработка**

**по общему физическому практикуму**

**Лаб. работа № 45**

**ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ В  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТУРЕ**

**Работу поставили**

**доц. Авксентьев Ю.И. и ст. преп. Овчинникова Т.Л.**

**Москва - 2012**

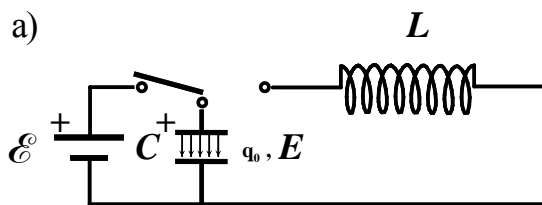
# ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТУРЕ

## Краткое теоретическое введение \*)

### § 1 Собственные электрические колебания в идеальном контуре (полное активное сопротивление контура равно нулю)

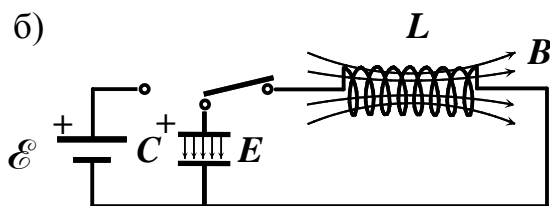
Собственные колебания происходят в изолированной системе, выведенной из положения равновесия. Рассмотрим простейший электрический контур. Он состоит из последовательно соединенных элементов: конденсатора  $C$  и катушки индуктивности  $L$ .

Чтобы возбудить в контуре колебания, вначале присоединим конденсатор к источнику питания  $\mathcal{E}$  (рис. 1а). В результате на обкладках конденсатора появится заряд  $q_0$ , а между обкладками – электрическое поле



$E$ . Отключим теперь источник питания и замкнем конденсатор на индуктивность (рис. 1б). Конденсатор начнет разряжаться, и в контуре потечет ток, сила которого

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (1)$$



Вместе с уменьшением электрического заряда конденсатора начнет уменьшаться и электрическое поле. При этом в катушке индуктивности возникает магнитное поле  $B$ . Найдем закон, по которому изменяются заряд на обкладках конденсатора и ток в контуре.

Рис. 1

По второму правилу Киргофа сумма падений напряжений вдоль замкнутого контура равна сумме эдс, действующих в нем:

$$\frac{q}{C} = -L \frac{di}{dt}, \quad (2)$$

где  $\frac{q}{C} = U_C$  - напряжение на конденсаторе,  $\mathcal{E}_L = -L \frac{di}{dt}$  - электродвижущая сила самоиндукции.

Учитывая, что  $i = \frac{dq}{dt}$ , перепишем (2) следующим образом:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} = -\frac{1}{LC} q. \quad (3)$$

---

\*) При написании теоретического введения было использовано метод. пособ. Волковой Н.В. к задаче «Изучение вынужденных электрических колебаний в резонансном контуре». М. 1985 г.

Это дифференциальное, однородное уравнение второго порядка. Решить его – значит найти такую функцию времени  $q = f(t)$ , которая после подстановки ее в это уравнение обратит его в тождество. Нетрудно догадаться, какой вид должна иметь искомая функция. Из уравнения (3) следует, что функция  $q = f(t)$  должна обладать следующим свойством: вторая производная этой функции по времени с точностью до постоянного множителя должна равняться самой функции. Таким свойством, в частности, обладает функция косинус. Очевидно, что это свойство функции не изменится, если саму функцию и ее аргумент умножить на некоторые константы  $A_0, \omega_0$  и в дополнение к этому прибавить к аргументу  $\omega_0 t$  третью константу  $\varphi_0$ . Таким образом, решение уравнения (3) следует искать в виде

$$q = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

В теории колебаний константа  $A_0$  называется амплитудой колебания,  $\omega_0$  – круговой частотой колебаний, а  $\varphi_0$  – начальной фазой колебаний. Отметим также, что аргумент  $\omega_0 t + \varphi_0$  гармонической функции принято называть фазой колебаний.

Для нахождения значений констант  $A_0, \omega_0, \varphi_0$  необходимо вычислить вторую производную  $\frac{d^2 q}{dt^2}$  и вместе с функцией  $q$  подставить в уравнение (3). Путем вычислений убеждаемся, что функция  $q = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$  удовлетворяет уравнению (3), при условии, если частота колебаний  $\omega_0$  равна

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (4)$$

Амплитуда  $A_0$  и начальная фаза  $\varphi_0$  определяются начальными условиями. Если колебания в контуре возбуждаются так, как представлено на рис. 1, то начальные условия имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} t &= 0, \\ 1) q &= q_0, \\ 2) i &= i_0 = \frac{dq}{dt} = 0 \end{aligned}$$

где  $q_0$  – электрический заряд, возникший на обкладках конденсатора после подключения его к источнику с ЭДС  $\mathcal{E}$ .

После подстановки  $q = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$  в 1) и 2) и решения полученной системы уравнений получим:  $A_0 = q_0, \varphi_0 = 0$ .

Итак, заряд на обкладках конденсатора  $q(t)$  изменяется со временем по гармоническому закону :

$$q = q_0 \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right). \quad (5)$$

Таким образом, мы выяснили, что частота собственных колебаний контура  $\omega_0$  зависит только от параметров системы: индуктивности  $L$

катушки и емкости  $C$  конденсатора. При вычислении  $\omega_0$  надо брать  $L$  и  $C$  в одной системе единиц:  $L$  - в генри,  $C$  - в фарадах. Период колебаний  $T_0$  связан с частотой формулой

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (6)$$

То же самое можно сказать об изменении напряжения на конденсаторе:

$$U_C = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t\right).$$

Продифференцировав (5) по времени, получим силу тока в цепи:

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{\sqrt{LC}} q_0 \sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t\right) = i_0 \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t + \frac{\pi}{2}\right).$$

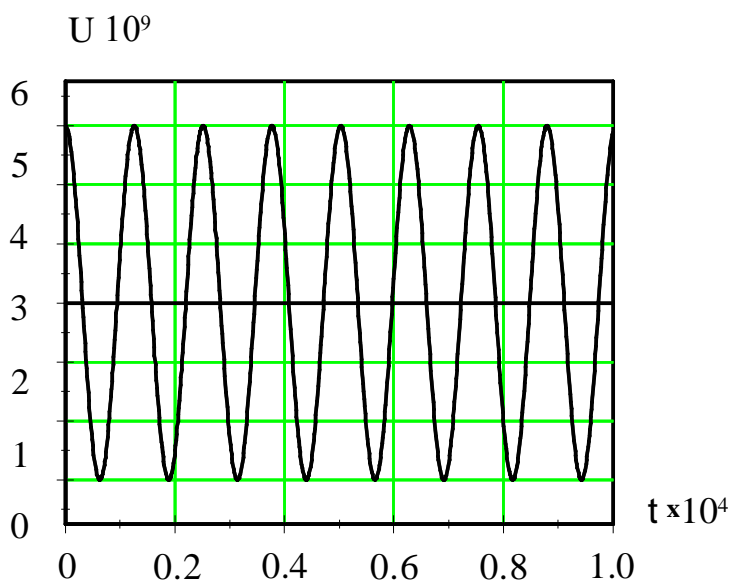


Рис. 2

Из последнего равенства видно, что колебания тока опережают колебания заряда и напряжения между обкладками конденсатора на  $\frac{\pi}{2}$  радиан. Заряд конденсатора обращается в нуль, когда сила тока достигает своей наибольшей величины  $i_0 = \omega_0 q_0$ . На экране осциллографа колебания напряжения на конденсаторе выглядят так, как это изображено на рис. 2.

## §2 Свободные затухающие колебания

### а) Уравнение затухающих колебаний

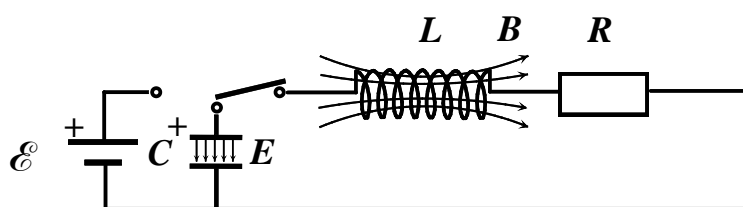


Рис. 3

Всякий реальный контур обладает активным сопротивлением  $R^*$ ). Энергия, запасенная в контуре, постепенно расходуется путем выделения тепла на этом сопротивлении, вследствие чего, как мы увидим ниже, свободные

\*) Сопротивление  $R$  является суммой внешнего активного сопротивления и активного сопротивления катушки индуктивности.

колебания затухают. Схема реального колебательного контура приведена на рис. 3.

Выведем уравнение колебаний в таком контуре. Сумма падений напряжений на емкости  $U_C = \frac{q}{C}$  и активном сопротивлении  $U_R = Ri$  (по второму правилу Киргофа) должна быть равна сумме действующих в контуре ЭДС:

$$Ri + \frac{1}{C}q = -L\frac{di}{dt},$$

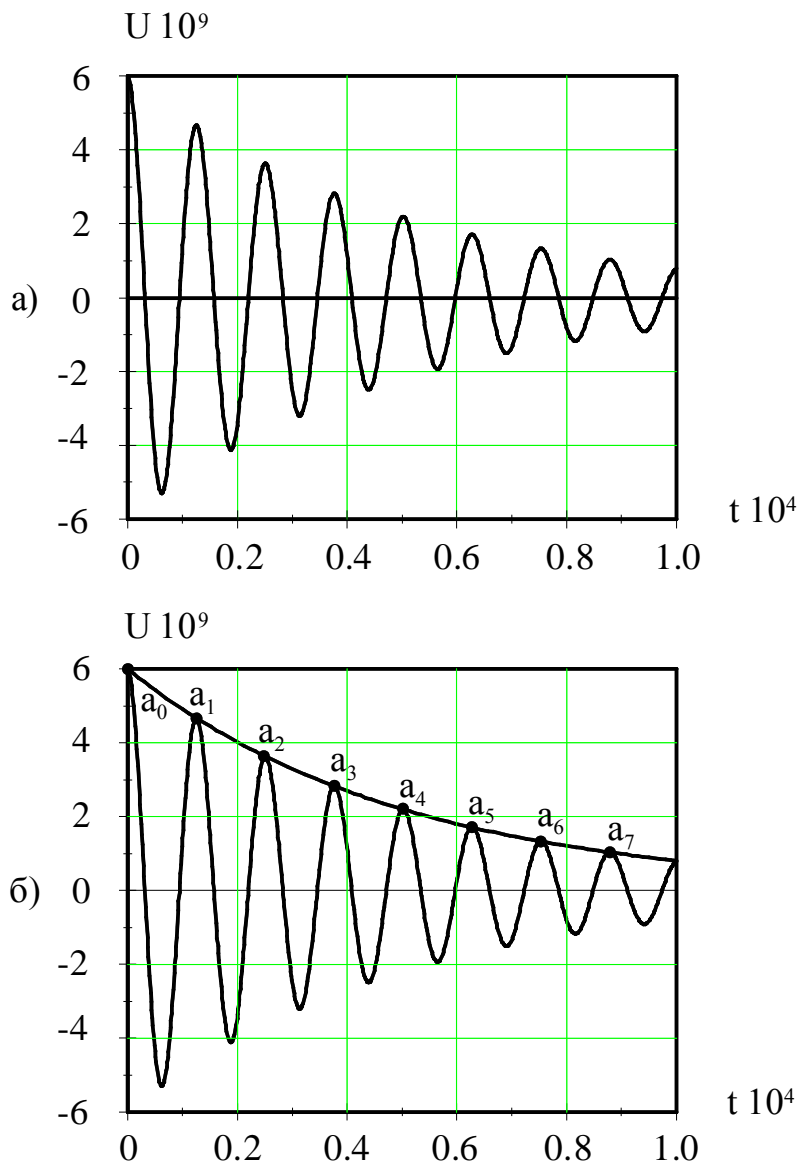
где

$$-L\frac{di}{dt} = \mathcal{E}_L$$

электродвижущая сила индукции. Принимая во внимание, что  $i = \frac{dq}{dt}$ ,

получим

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = 0. \quad (7)$$

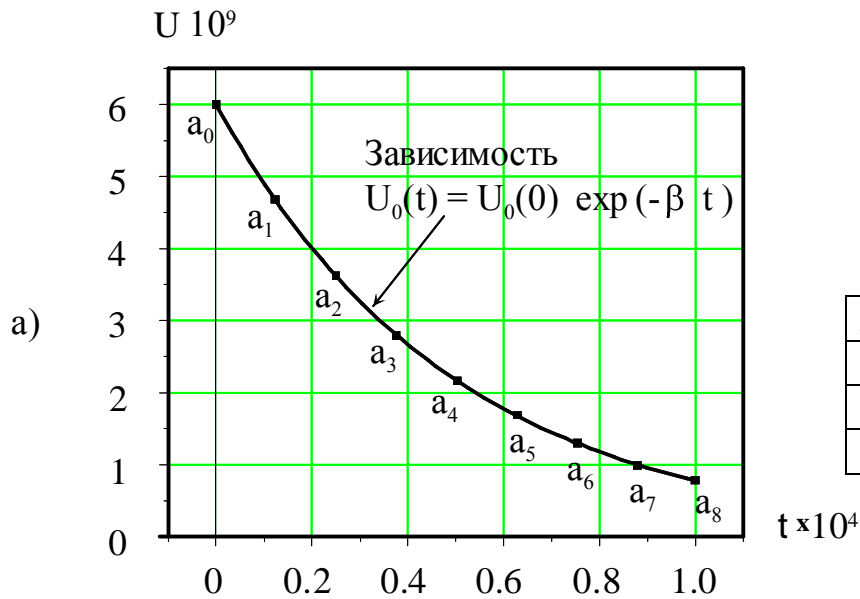


Наблюдение формы колебаний напряжения на конденсаторе  $C$  в схеме (рис. 3) показывает, что она имеет вид, представленный на рис. 4а. Как видно из рисунка колебания остаются косинусоидальными, но амплитуда колебаний убывает со временем  $U_C = U_0(t) \cos(\omega t + \varphi_0)$ .

На рис. 4б через точки  $a_0 \dots a_7$  проведена плавная кривая, форма которой определяет зависимость  $U_0(t)$ . Для того, чтобы записать предполагаемое решение уравнения (7), найдем аналитический вид зависимости  $U_0(t)$ . Точки  $a_0 \dots a_7$  определяют амплитуды колебаний напряжения в различные моменты времени. С помощью рис. 4б можно создать таблицу

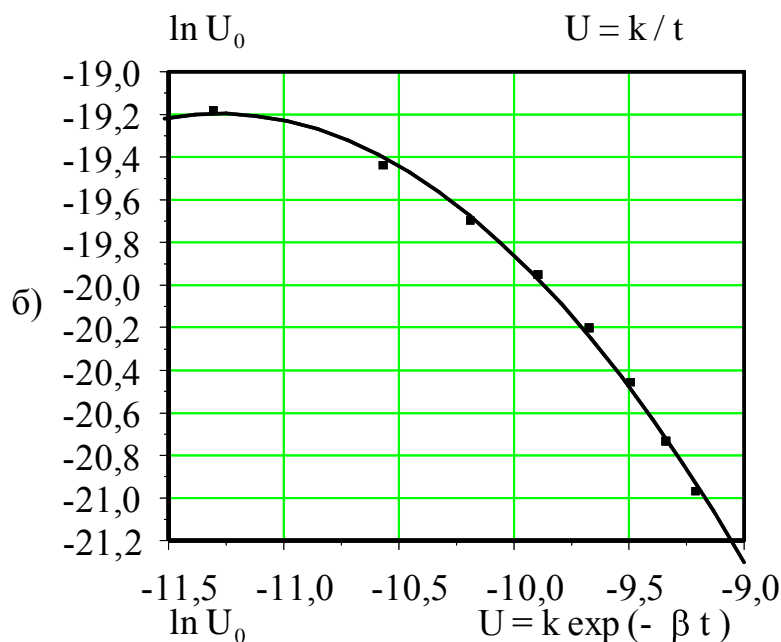
Рис. 4

значений напряжений в точках  $a_0 \dots a_7$ .



Данные этой таблицы определяют зависимость  $U_0(t)$  в табличной форме (точки на графике рис. 5а).

$N$	$U_{0i}$	$t_i$
0		
1		
...		



В частном случае найти аналитическую зависимость  $U_0(t)$  можно путем подбора функции, которая при заданных в таблице значениях аргумента  $t_i$  давала бы табличные значения  $U_{0i}$ .

Проверим, насколько подходят для описания плавной кривой, представленной на рис. 4б, следующие функции:

$$U_0(t) = \frac{U_0 \cdot 0}{t}$$

$$\text{и } U_0(t) = U_0 \cdot 0 \exp(-\beta t).$$

Обе функции отражают убывание  $U_0(t)$ , но закон убывания разный.

Вычислим логарифмы левых и правых частей приведенных выражений:

$$\ln U_0(t) = \ln U_0 \cdot 0 - \ln t,$$

$$\ln U_0(t) = \ln U_0 \cdot 0 - \beta t \text{ и}$$

отобразим эти

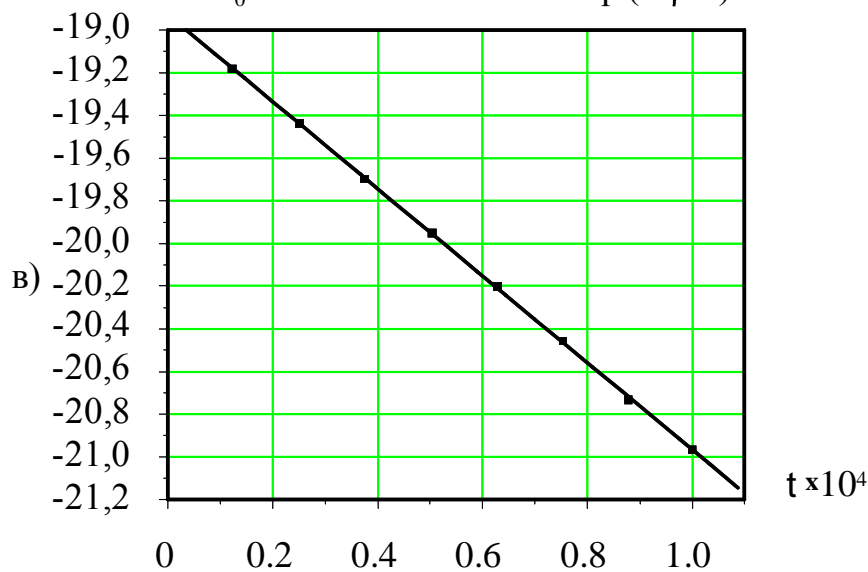


Рис. 5

зависимости на графиках. Первый график построим в координатах  $\ln U_0 \rightarrow \ln t$ , второй - в координатах  $\ln U_0 \rightarrow t$ . Если функция правильно описывает зависимость  $U_0(t)$ , то точки на графике этой функции должны располагаться на прямой линии. Как видно из рисунков 5б и 5в на прямую линию легли точки, соответствующие функции  $U_0(t) = U_0 \exp(-\beta t)$ , (рис. 5в). Следовательно, именно эта функция описывает зависимость амплитуды колебаний от времени. Тангенс угла наклона прямой равен  $\beta$ .

На рис. 5а представлен график функции  $U_0(t) = U_0 \exp(-\beta t)$  (сплошная линия). Как видно из рисунка все экспериментальные точки  $a_0, a_1, a_2 \dots a_7$  хорошо ложатся на эту линию.

Так как вид зависимости напряжения и заряда на обкладках конденсатора одинаков ( $U = q / C$ ), то решение уравнения (7) ищем в виде

$$q = q_0 \exp(-\beta t) \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (8)$$

Функция (8) является решением уравнения (7), если

$$\beta = \frac{R}{2L} \quad (9)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \quad (10)$$

В справедливости этого решения можно убедиться, подставив в (7) выражение (8), приняв во внимание (9) и (10). При этом левая часть уравнения (7) окажется тождественной правой.

Таким образом, собственные колебания заряда на обкладках конденсатора в реальном контуре происходят по закону (8) с  $\beta$  и  $\omega$ , определяемыми формулами (9) и (10).

### б) Декремент затухания

Колебания, закон которых выражается формулой (8), уже не будут гармоническими. В формулу (8) входят два множителя, зависящие от времени. Один из них  $\cos(\omega t + \varphi_0)$  - является периодической функцией времени, а другой -  $e^{-\beta t}$  с течением времени убывает. При  $\beta \rightarrow 0$  решение (8) переходит в формулу (5), описывающее незатухающие собственные колебания. При  $\omega_0 < \beta$  имеет место аperiодический режим, т.е. величина заряда на конденсаторе уменьшается монотонно со временем, не совершив ни одного колебания. Если  $\omega_0 > \beta$ , то величину  $q_1 = q_0 e^{-\beta t}$  можно считать амплитудой, которая уменьшается с течением времени по показательному (экспоненциальному) закону. Колебания с убывающей амплитудой называются затухающими колебаниями. Величина  $\beta$ , называемая коэффициентом затухания, имеет простой физический смысл: величина обратная  $\beta$ , а именно,  $\frac{1}{\beta}$ , определяет время  $\tau$ , в течении которого амплитуда колебаний уменьшается в  $e$  раз.

Количественной характеристикой затухающих колебаний является декремент затухания. С целью определения этой величины найдем отношение значений  $q(t)$  и  $q(t+T)$ . Учитывая периодичность  $\cos(\omega t + \varphi_0)$ , получим

$$\Delta = \frac{q(t)}{q(t+T)} = \frac{q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)}{q_0 e^{-\beta(t+T)} \cos(\omega t + \varphi_0)} = e^{\beta T} . \quad (11)$$

Из (11) следует, что отношение двух последовательных амплитуд, т.е. амплитуд, взятых через промежуток времени, равный  $T$ , не зависит от времени, а зависит только от характеристик колебательного контура -  $R, L, T$ .

Это отношение называется декрементом затухания. Чем больше декремент затухания, тем быстрее уменьшается амплитуда. Часто затухание характеризуют натуральным логарифмом этого отношения:

$$\delta = \ln e^{\beta T} = \beta T \quad (12)$$

Величина  $\delta$  называется логарифмическим декрементом затухания. Выясним физический смысл этой величины. Как было показано выше, за время  $\tau = \frac{1}{\beta}$  амплитуда колебаний уменьшается в  $e$  раз. За это время

колебательный контур совершит  $N = \frac{\tau}{T} = \frac{1}{\beta T} = \frac{1}{\delta}$  колебаний. Таким образом, величина, обратная логарифмическому декременту колебаний определяет число колебаний, которое колебательный контур совершит за время уменьшения его амплитуды колебаний в  $e$  раз.

Для характеристики колебательного контура часто используют величину  $Q$ , называемую добротностью колебательного контура. Добротность колебательного контура при малых потерях энергии в контуре определяется соотношением

$$Q = 2\pi \frac{W}{\Delta W} \quad (13)$$

где  $W$  - полная энергия в контуре, а  $\Delta W$  - энергия, рассеянная в контуре в течение времени, равному периоду колебаний. Полная энергия контура и потери энергии за период равны соответственно  $W = \frac{LI_0^2}{2}$  и  $\Delta W = RI_{\text{эфф}}^2 T$ ,

где  $I_0$  - амплитудное, а  $I_{\text{эфф}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$  - эффективное значение тока в контуре.

Подставляя  $W$  и  $\Delta W$  в (13), получим

$$Q = \frac{2\pi W}{\Delta W} = \frac{\pi}{\beta T} = \frac{\pi}{\delta} . \quad (14)$$



В реальных колебательных контурах коэффициент затухания  $\beta$  обычно настолько мал по сравнению с частотой собственных колебаний  $\omega_0$ , что в формуле (12) можно пренебречь зависимостью периода  $T$  от  $\beta$ . Тогда находим

$$\delta = \beta T = \beta \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} \approx \beta \frac{2\pi}{\omega_0} = \beta T_0. \quad (15)$$

Подставляя (9) и (6) в (15) получаем новые выражения для логарифмического декремента затухания и добротности:

$$\delta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (16)$$

$$Q = \frac{\pi}{\delta} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (17)$$

Отметим, что добротность используемых в радиотехнике колебательных контуров может достигать нескольких сотен.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Целью работы является изучение свободных колебаний в электрическом колебательном контуре и измерение основных его характеристик.

Общий вид установки для изучения электрических колебаний представлен на рис. 6. При выполнении данной задачи используется не все приборы, а только те, которые изображены на рис. 7. Как видно из рис. 7 установка состоит из блока управления и двухлучевого осциллографа С1 – 55.

### I. Блок управления

В блоке управления находится колебательный контур и два переключателя  $T_1$  и  $T_2$  для выбора режима измерений. Подключение блока к измерительным приборам производится согласно надписям под электрическими гнездами (схема соединений приборов дана в приложении). Схемы колебательного контура для изучения свободных и вынужденных колебаний находятся на верхней панели блока. Переход от одной схемы измерений к другой осуществляется путем переключения тумблера  $T_1$ . Тумблер  $T_2$  используется для включения в контур дополнительного сопротивления  $R_{дон}$ . В режиме свободных колебаний на конденсатор колебательного контура поступают импульсы напряжения с клеммы **ВЫХОД** осциллографа С1 - 55. В промежутках между импульсами в контуре возникают свободные затухающие колебания. Напряжение затухающих колебаний с конденсатора контура поступает на вход **У1** осциллографа

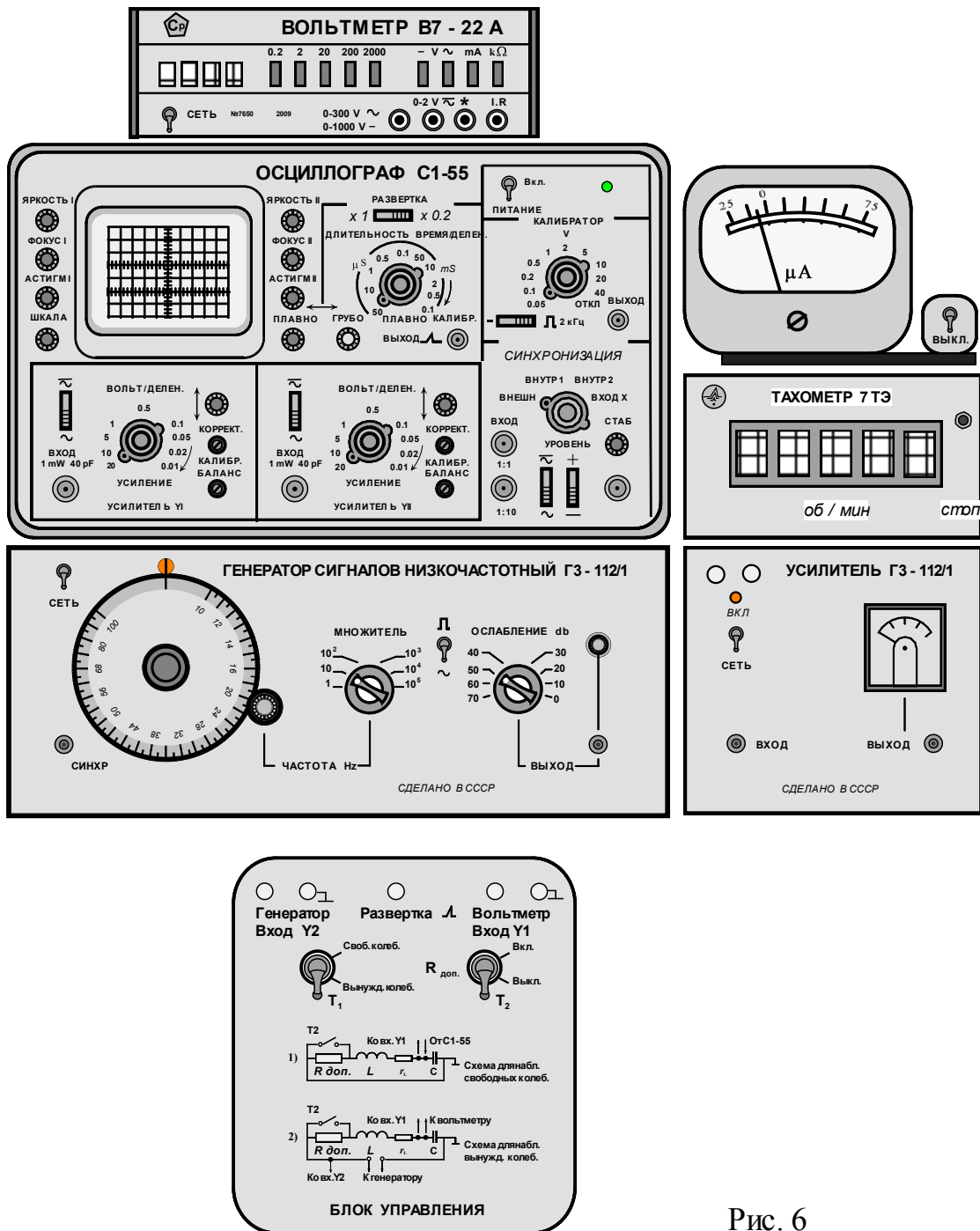


Рис. 6

С1 - 55. В силу технических причин на установке № 1 это напряжение подводится ко входу усилителя У2.

## II. Двухлучевой осциллограф С1 - 55

Малогобаритный двухлучевой осциллограф С1 - 55 предназначен для одновременного наблюдения двух электрических процессов и измерения их временных и амплитудных характеристик.

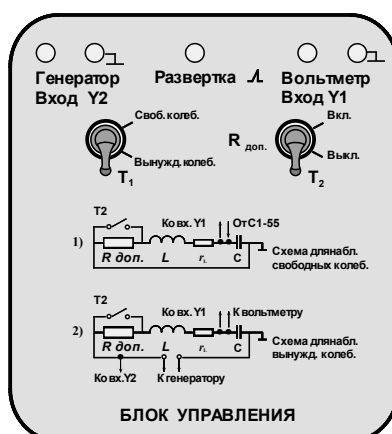
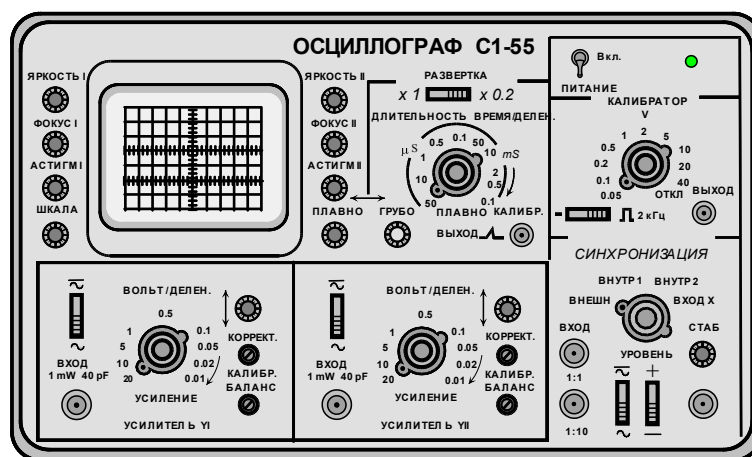


Рис. 7

### 1) Блоки входных усилителей

Исследуемые сигналы подаются на гнезда *ВХОД* двух вертикальных, независимых усилителей, *УСИЛИТЕЛЬ Y1* и *УСИЛИТЕЛЬ Y2* (рис.7). Удобную для наблюдения величину сигнала устанавливают с помощью ступенчатых переключателей *ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ*. Числа на шкалах рядом с переключателями соответствуют напряжению в вольтах, которое отклоняет луч по вертикали на одно большое деление экранной сетки, т.е. определяют чувствительность по вертикали. На осях ступенчатых переключателей *ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ* находятся малые ручки *УСИЛЕНИЕ* для плавной регулировки входного сигнала. Установленная ступенчатым переключателем чувствительность соответствует своему значению только в том случае, если ручка *УСИЛЕНИЕ* повернута по часовой стрелке до упора. Ручки с вертикальными стрелками  $\updownarrow$  служат для независимого смещения лучей


по вертикали. Регулировки *КАЛИБР* и *БАЛАНС* используются для предварительной настройки усилителей, студентам трогать их **запрещается**.

## **2) Блок электроннолучевой трубки (ЭЛТ)**

К регулировкам электроннолучевой трубки относятся ручки *ЯКОСТЬ 1*, *ФОКУС 1* и *АСТИГМ 1*. Две последние ручки предназначены для фокусировки и устранения искажений изображения на экране ЭЛТ. Аналогичные регулировки имеются и у второго канала. К общим регулировкам относятся ручки *ШКАЛА* для регулировки подсветки шкалы и две ручки «  $\leftrightarrow$  » *ПЛАВНО* и *ГРУБО* для смещения изображения по горизонтали.


## **3) Блок развертки**

Блок развертки предназначен для изменения длительности развертки, что производится с помощью следующих регулировок:

а) Переключателя  $\times 1$    $\times 0.2$  для уменьшения длительности развертки в пять раз во всех возможных диапазонах.

б) Ручки ступенчатого переключения длительности развертки *ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ / ДЕЛЕН*.

в) Малой ручки *ПЛАВНО* для плавного изменения длительности. Ручка находится на оси переключателя *ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ / ДЕЛЕН*.

Числа на шкале рядом с переключателем *ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ / ДЕЛЕН* соответствуют времени смещения луча в  $\mu S$  или в  $mS$  в горизонтальном направлении на одно большое деление экранной сетки. Время смещения соответствует указанному значению только в том случае, если ручка плавной регулировки повернута по часовой стрелке до упора. Гнездо « *ВЫХОД*  » служит для вывода импульсного напряжения.

## **4) Блок КАЛИБРАТОР**

Калибратор служит для калибровки коэффициента отклонения усилителей вертикального отклонения и калибровки длительности развертки. При выполнении работы блок *КАЛИБРАТОР* не используется.

## **5) Блок СИНХРОНИЗАЦИЯ**

Блок синхронизации управляет работой генератора развертки с целью получения неподвижного изображения исследуемых сигналов на экране ЭЛТ. Переключатель *СИНХРОНИЗАЦИЯ* служит для выбора источника синхронизации: *ВНЕШН*, *ВНУТР 1*, *ВНУТР 2*, *ВХОД X*. Малая ручка *УРОВЕНЬ* на оси переключателя *СИНХРОНИЗАЦИЯ* служит для выбора уровня напряжения запуска развертки. Ручка *СТАБ* используется для выбора режима работы генератора развертки «*ждущий*, *автоколебательный*».

## **ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ**




Как правило, установку к работе готовит лаборант. Студент, выполняя работу, производит только те регулировки, которые необходимы в процессе

ее выполнения. Об этих регулировках говорится в описании. Поэтому перечисленные ниже операции студент выполняет только по указанию преподавателя.

### **Блок управления**

1. Тумблер  $T_1$  установить в положение *СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ*.
2. Тумблер  $T_2$  - в положение  $R_{дон.} = ВКЛ.$

### **Осциллограф С1 – 55**

1. Ступенчатый переключатель усилителя  $Y1$  установить в положение 0,01. Ручку *УСИЛЕНИЕ ПЛАВНО* повернуть по часовой стрелке до упора.
2. Положение ступенчатого переключателя усилителя  $Y2$  и ручки *УСИЛЕНИЕ*  *ПЛАВНО* произвольное.
3. Переключатель  в блоке усилителя  $Y1$  установить в положение  $\sim$ .
4. На установке № 1 пункт 1 применить к *УСИЛИТЕЛЮ 2*, а пункт 2 к *УСИЛИТЕЛЮ 1*.
5. Ступенчатый переключатель *ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ / ДЕЛЕНИЕ* в блоке *РАВЕРТКА* установить в положение  $20 \mu S$ , ручку *ПЛАВНО* повернуть по часовой стрелке до упора.
6. Переключатель  $x1$    $x0.2$  установить в положение  $X1$ .
7. Переключатель *СИНХРОНИЗАЦИЯ* в блоке синхронизация установить в положение *ВНУТР. 2* (на установке № 1 – в положение *ВНУТР. 1*).
8. Ручку подсветки *ШКАЛА* повернуть по часовой стрелке до упора.
9. Ручки регулировки *ЯРКОСТЬ 1,2* установить в среднее положение.

### **Включение осциллографа С1 - 55**

1. Установить тумблер *ПИТАНИЕ* в положение *ВКЛ.* Рядом с тумблером загорится индикатор включения.
2. С помощью ручек управления лучом по вертикали и горизонтали канала  $Y1$  ( $Y2$  на установке № 1) добиться появления на экране осциллографа изображения затухающих колебаний. Если изображение отсутствует, повернуть по часовой стрелке ручку *СТАБ* в блоке синхронизации. С помощью этой ручки и ручки *УРОВЕНЬ* того же блока добиться максимальной амплитуды колебаний.
3. С помощью ручек *ФОКУС 1* и *АСТИГМ. 1* (на установке № 1 - *ФОКУС 2* и *АСТИГМ. 2*) добиться четкой фокусировки изображения на экране ЭЛТ. Изображение развертки второго луча (горизонтальная прямая) сместить вниз за пределы экрана, чтобы оно не мешало измерениям.
4. Убедиться, что ручка *ПЛАВНО* переключателя *ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ / ДЕЛЕНИЕ* повернута по часовой стрелке до упора.

# ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

## Упражнение 1 ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

1. Тумблер  $T_2$  блока управления перевести в положение *ВЫКЛ.*
2. Ручками горизонтального и вертикального смещения луча установить осциллограмму затухающих колебаний в такое положение, чтобы на экране ЭЛТ укладывалось бы максимальное число периодов колебаний, при этом положительная амплитуда первого колебания должна находиться в пределах сетки и располагаться на одной из ее вертикальных линий, например, первой линии.
3. С помощью ближайшей горизонтальной линии сетки с малыми делениями определить длину интервала  $l$  в больших делениях сетки между первым и последним видимым на экране периодом. Для большей точности измерений рекомендуется амплитуду последнего периода путем смещения изображения по вертикали поместить на линию отсчета. Результат измерений записать в таблицу 1.
4. Подсчитать число периодов  $n$ , укладывающихся в измеренном интервале. Результат записать в ту же таблицу.
5. Рассчитать период колебаний по формуле:

$$T = \frac{l}{n} \cdot 20 \mu S.$$

Таблица 1

$l, \text{ дел.}$	$n$	$T, \text{ с}$

## Упражнение 2 ИЗМЕРЕНИЕ ДЕКРЕМЕНТА ЗАТУХАНИЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Во втором упражнении измеряется величина ряда последовательных амплитуд, т.е. амплитуд, взятых через промежуток времени, равный периоду колебаний. Этот ряд составляют все колебания, которые совершаются за время, равное периоду развертки. Не все эти колебания видны на экране ЭЛТ одновременно, но они становятся доступными для измерения, если сместить изображение по горизонтали в ту или иную сторону. Величина амплитуды измеряется в больших делениях сетки. Для повышения точности измерения необходимо пользоваться вертикальной линией сетки с малыми делениями и с помощью ручки горизонтального смещения изображения подводить к ней каждую положительную амплитуду. Изображение на экране

ЭЛТ не должно быть слишком ярким, т.к. при этом условии контур линии будет наиболее четким. Амплитуда колебаний, как и в первом упражнении, должна оставаться максимальной.

### Измерение амплитуд колебаний

1. Выполнить операции, описанные в пункте 2 упражнения 1.
2. Для определения линии отсчета при измерении амплитуды колебаний необходимо:  
Вынуть штекер из гнезда *ВЫХОД* в блоке *РАЗВЕРТКА*.  
На экране осциллографа появится горизонтальная линия развертки. Совместить эту линию с ближайшей снизу горизонтальной линией сетки и запомнить ее положение. От этой линии необходимо отсчитывать величину амплитуды через промежуток времени, равный периоду  $T$ . В течении всех дальнейших измерений смещать изображение по вертикали нельзя.
3. Вернуть извлеченный ранее штекер в гнездо *ВЫХОД*.
4. Подвести к вертикальной линии с малыми делениями положительную амплитуду первого колебания и измерить ее величину. Результат измерений  $U_0', \text{дел}$  записать в таблицу 2, считая, что это значение амплитуды соответствует нулевому моменту времени  $t = nT = 0$ .

Таблица 2

1	$t = nT$	0	T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T
2	$t = nT \times 10^6, \text{с}$									
3	$U_0', \text{дел}$									
4	$U_0'', \text{дел}$									
5	$\Delta' = \frac{U_{0' nT}}{U_{0' nT+T}}$									
6	$\Delta'' = \frac{U_{0'' nT}}{U_{0'' nT+T}}$									
7	$\ln U_0'$									
8	$\ln U_0''$									

5. Не изменяя положение изображения на экране ЭЛТ, перевести тумблер  $T_2$  положение *ВКЛ.* и измерить амплитуду колебаний  $U_0''$ , дел с дополнительным сопротивлением  $R_{доп}$  в цепи контура. Результат измерений записать в таблицу 2 в ту же колонку, что и первый.

Аналогичным образом произвести измерения всех последовательных амплитуд колебаний с дополнительным сопротивлением в цепи контура и без него. Все результаты измерений записать в таблицу 2.

Используя результаты измерений периода  $T$  (см. упр. 1), выразить время  $t = nT$  в секундах, результат записать в строку 2 таблицы 2.

Произвести вычисления и заполнить строки 5, 6, 7, 8 таблицы 2. Обработать результаты измерений и представить отчет о проделанной работе с указанием вычисленных величин и погрешностей измерений.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислить период свободных колебаний колебательного контура  $T = (... \pm ...)с, \varepsilon_T = ...\%$ .
2. Вычислить линейную и круговую резонансные частоты колебательного контура  $\nu_0 = (... \pm ...)Гц, \varepsilon_{\nu_0} = ...\%$ ,  
 $\omega_0 = (... \pm ...) \frac{рад}{с}, \varepsilon_{\omega_0} = ...\%$ .
3. Вычислить электрическую емкость колебательного контура  $C = \frac{1}{L\omega_0^2} = (... \pm ...)нФ, \varepsilon_C = ...\%$ .  $1 нФ (нанофарада) = 10^{-9} Ф$ .
4. Вычислить декременты затухания колебательного контура без дополнительного сопротивления  $\Delta' = (... \pm ...), \varepsilon_{\Delta'} = ...\%$  и с дополнительным сопротивлением  $\Delta'' = (... \pm ...), \varepsilon_{\Delta''} = ...\%$ .
5. Вычислить логарифмические декременты затухания  $\delta = \ln \Delta$ .  
 $\delta' = (... \pm ...), \varepsilon_{\delta'} = ...\%$  и  $\delta'' = (... \pm ...), \varepsilon_{\delta''} = ...\%$ .
6. Вычислить добротности колебательного контура  $Q = \frac{\pi}{\delta}$ .  
 $Q' = (... \pm ...), \varepsilon_{Q'} = ...\%$ ,  $Q'' = (... \pm ...), \varepsilon_{Q''} = ...\%$ .
7. Вычислить коэффициенты затухания  $\beta$  колебательного контура. Для вычислений использовать зависимость от времени амплитуды затухающих колебаний  $U_0(t) = U_0(0)e^{-\beta t}$ . Коэффициент затухания  $\beta$  вычислить как тангенс угла наклона прямой  $\ln U_0(t) = \ln U_0(0) - \beta t$ .  
 $\beta' = (... \pm ...)с^{-1}, \varepsilon_{\beta'} = ...\%$ ,  $\beta'' = (... \pm ...)с^{-1}, \varepsilon_{\beta''} = ...\%$ .



8. Вычислить величины активных сопротивлений колебательного

$$\text{контура } R = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

$$R' = (... \pm ...) \text{ Ом}, \varepsilon_R = ... \% , \quad R'' = (... \pm ...) \text{ Ом}, \varepsilon_{R''} = ... \% .$$

Значения индуктивностей  $L$  установок приведены в таблице 3.

Таблица 3

№ установки	1	2	3	4
$L$ , мГн	5,071	4,965	5,166	4,892
$1 \text{ мГн (миллигенри)} = 10^{-3} \text{ Гн.}$				

## Приложение.

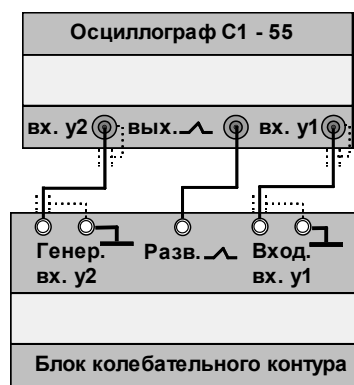
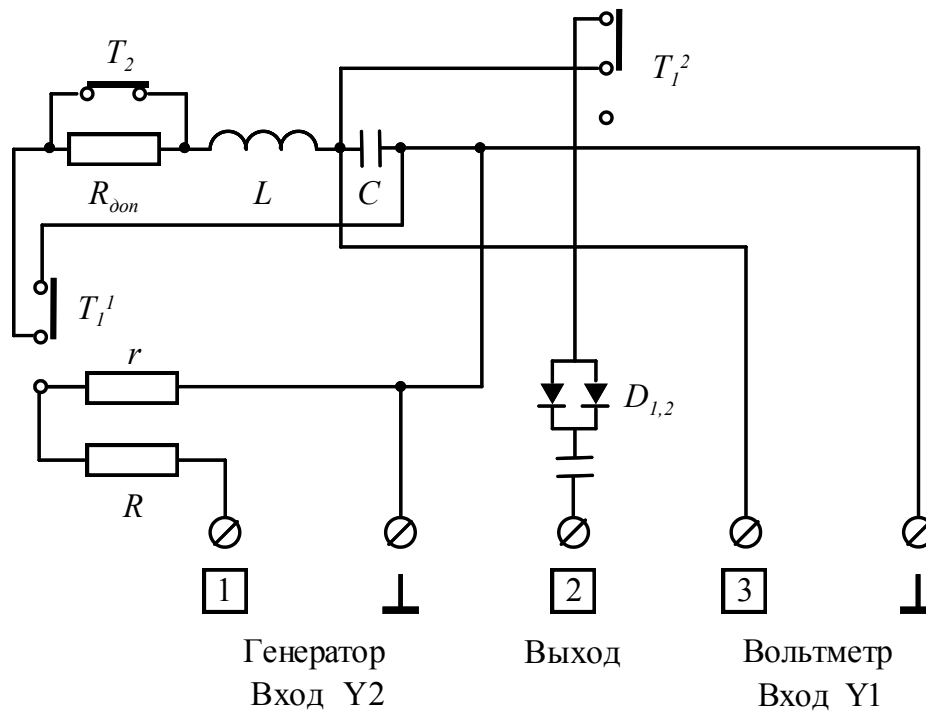


Схема соединений в установке, представленной на рис. 7



Принципиальная схема блока управления в режиме "свободные колебания".

## Контрольные вопросы

1. Какие элементы входят в состав колебательного контура?
2. Какими параметрами характеризуется колебательный контур?
3. Добротность колебательного контура. Физический смысл.
4. Вывести формулу для вычисления собственной частоты колебаний идеального колебательного контура.
5. Записать дифференциальное уравнение свободных колебаний с затуханием и общий вид его решения (для заряда  $q$ ).
6. Декремент затухания колебательного контура. Физический смысл.
7. Влияние затухания на частоту собственных колебаний контура.
8. Логарифмический декремент затухания колебательного контура. Физический смысл.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Д.В. «Электромагнетизм и волновая оптика», Издательство Московского университета, 1994 г.  
Глава IV. Законы электрического тока.  
§13 Электрические колебания,  
стр. 102-105, 109-110.
2. Савельев И.В. «Курс общей физики», книга 2, Электричество и магнетизм. Изд. Москва Наука – Физматлит. 1998 г.  
Глава 13. Электрические колебания.  
13.2 Свободные колебания в контуре без активного сопротивления, стр. 310.  
13.3 Свободные затухающие колебания, стр. 313.