

Федеральное агентство по образованию  
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»



**В.В. Муханов, В.А. Матвиенко**

## **ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Учебное электронное текстовое издание  
Подготовлено кафедрой «Автоматика и управление  
в технических системах»  
Научный редактор: доц., канд. техн. наук Ю.Н. Чесноков

Методические указания к лабораторному практикуму по курсу «Общая электротехника и электроника» для студентов всех форм обучения специальности 200800 – Проектирование и технология РЭС.

Приведены методические указания к лабораторным работам по изучению процессов в электрических цепях. Практикум ориентирован на использование пакета Electronics Workbench.

© ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006

Екатеринбург  
2006

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПЯХ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ( $RC$ - И $RL$ -ЦЕПИ) .....	4
2. $RC$ - И $RL$ -ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ .....	7
3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР .....	10
4. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР .....	14
5. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПЯХ ВТОРОГО ПОРЯДКА .....	16
6. ТРАНСФОРМАТОР .....	19
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	22

# 1. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПЯХ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ( $RC$ - И $RL$ -ЦЕПИ)

## 1.1. Цель работы

Экспериментальное исследование переходных процессов в цепях первого порядка.

## 1.2. Варианты заданий для лабораторных работ № 1 и 2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R$ , кОм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	1	1	1,25	1,25
$L$ , мГн	1	0,8	4	5	5	10	50	40	15	15
$C$ , нФ	2	4	10	32	20	64	20	40	8	15

## 1.3. Порядок выполнения работы

1. Вызовите пакет анализа электронных схем *Electronics Work Bench*. Соберите схему интегрирующей  $RC$ -цепи (рис. 1). На ее вход подключите генератор прямоугольных импульсов (*Clock*). Для наблюдения формы напряжений подключите осциллограф.

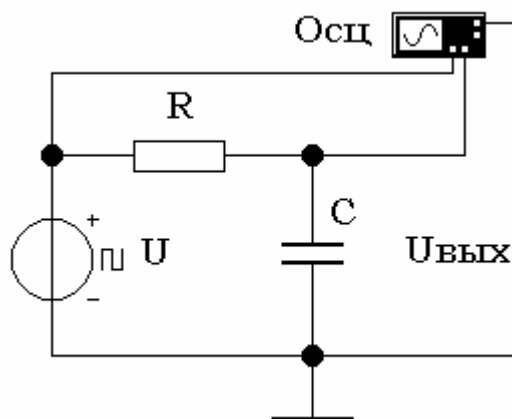







Рис. 1 - Интегрирующая  $RC$ -цепь

Для создания схемы следует последовательно выбирать ее элементы и размещать их на поле чертежа. Пассивные компоненты выделяются щелчком левой клавишей (ЛК) мыши по кнопке , открывающей окно пассивных компонент. Компонент выбирается курсором мыши и перемещается на поле чертежа при нажатой ЛК мыши. При необходимости вращение и отражение элементов схемы выполняется кнопками .

Обязателен компонент 'общая шина' , который выбирается из группы *Sources* (кнопка ). Здесь же находится генератор импульсов. Осциллограф выбирают из группы инструментов .

После расстановки элементов на поле чертежа выполняется их соединение в соответствии со схемой. Для этого курсор мыши подводится к выводу элемента и, после появления индикатора захвата (кружок у вывода), нажимается ЛК и курсор перемещается ко второму из соединяемых выводов или фрагменту ранее проведенной цепи, после чего отпускается клавиша мыши. Возможна коррекция положения фрагментов цепей. Для этого необходимо подвести курсор к фрагменту и нажать ЛК. Появившиеся стрелки показывают допустимые направления смещения фрагмента.

Цепи, подключаемые к осциллографу, рекомендуется выделить цветом. Например, для входной цепи выбрать красный цвет, выходной (от емкости) – синий. Для выбора цвета установите курсор на цепь и выполните щелчок правой клавишей (ПК) мыши. В предложенном контекстном меню выберите *Wire properties*, в открывшемся окне нажмите кнопку *Set node color* и выберите желаемый цвет щелчком ЛК.


Для задания параметров компонент схемы (резистор конденсатор и др.) нужно выполнить двойной щелчок ЛК по изображению компонента и в открывшемся окне на вкладке *Value* установить значение (номинал). На вкладке *Display* активизировать *Show values* для отображения на чертеже номинала элемента.

Параметры приборов также устанавливаются в соответствующих окнах, открываемых после двойного щелчка по прибору.

2. Вычислите постоянную времени цепи  $\tau = RC$ . Откройте окно генератора и установите амплитуду импульсов 1 В, длительность равной половине периода (*Duty cycle 50 %*), частоту следования  $f_1 = 1/(8\tau)$ .

Двойным щелчком ЛК по изображению осциллографа раскройте его окно. Установите для обоих каналов масштаб  $500 \text{ mv/Div}$  (500 мВ/дел), смещение (*Y position*) – 0, масштаб по оси времени от 0,2 до 0,4 периода сигнала (например, для частоты  $f_1=1$  кГц установите *Time base 0,2 ms/div*) и режим открытого входа *DC* (отображение переменной и постоянной составляющих сигнала).

Установите режим нулевых начальных условий при моделировании. Для этого в меню *Analysis/Analysis Options* на вкладке *Instruments* установите значение *Set to Zero*.

3. Для выполнения моделирования включите щелчком ЛК мыши кнопку питания схемы, находящуюся в правом верхнем углу экрана  (0 – выключено, 1 – включено). Для остановки без выхода из режима моделирования нажмите кнопку *Pause*. Скорректируйте масштаб по оси времени таким образом, чтобы на экране осциллографа было видно 1–2 периода сигнала, а по высоте он занимал большую часть экрана.

Остановите процесс моделирования (*Pause*) и включите «большой» осциллограф (кнопка *Expand* в верхней части окна осциллографа). Используя маркеры, снимите осциллограмму напряжения на емкости. За ноль оси времени примите фронт первого импульса. Измерения выполните для одного периода. Для построения осциллограмм необходимо снять не менее 12 точек за период. Результаты измерений занесите в табл. 1. Возвратитесь к малому экрану осциллографа нажатием кнопки *Reduce*.

Таблица 1

		Интегрирующая цепь $T = \underline{\hspace{1cm}}$ мС, $\tau = \underline{\hspace{1cm}}$ мС												
$t, \text{ мС}$	0													
$U_C, \text{ В}$														

4. Установите частоту следования импульсов  $f_2 = 2/\tau$ . При изменении частоты сигнала не изменять установки осциллографа. Измерьте напряжения на емкости в моменты времени, соответствующие фронтам и срезам импульсов. Измерения выполните на том же отрезке времени, что и в п. 3. Занесите результаты измерений в табл. 2. В таблицу запишите результаты измерений для первых и последних трех импульсов на отрезке  $\delta\tau$ .

Таблица 2

		Интегрирующая цепь $T = \underline{\hspace{1cm}}$ мС, $\tau = \underline{\hspace{1cm}}$ мС												
$t, \text{ мС}$	0													
$U_C, \text{ В}$														

5. Соберите схему дифференцирующей  $RL$ -цепи (рис. 2). Вычислите постоянную времени цепи  $\tau = L/R$ . Повторите измерения для значений частот  $f_1 = 1/(\delta\tau)$  и  $f_2 = 2/\tau$ . Для фронтов и срезов импульсов следует измерять два значения напряжения – до коммутации ( $t_K - 0$ ) и после ( $t_K + 0$ ). Результаты измерений занесите в таблицы, аналогичные табл. 1 и 2. Не забудьте указать в заголовке правильное название цепи.

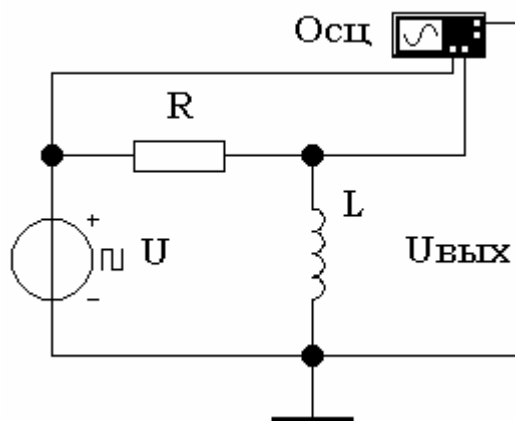


Рис. 2 - Дифференцирующая  $RL$ -цепь

## 1.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие разделы:

- цель работы;
- схемы исследуемых цепей;
- результаты измерений для каждой из цепей;
- осциллограммы напряжений (входное и отклик цепи), построенные по результатам измерений (строить по точкам); осциллограммы для каждой из цепей расположить одна под другой, масштаб по осям времени и напряжения должен быть одинаков для всех осциллограмм;
- пояснения по ходу работы;
- выводы по результатам работы.

## 2. RC - И RL-ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

### 2.1. Цель работы

Изучение амплитудных и фазовых соотношений напряжений и токов в RC- и RL-цепях в стационарном режиме.

### 2.2. Домашнее задание

Для заданных RC- и RL-цепей рассчитайте все токи и напряжения и их фазы на частоте среза  $f_c$  и частотах  $f_1=f_c/4$  и  $f_2=4f_c$  при гармоническом входном воздействии  $U = \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t)$ . Варианты заданий приведены в работе 1. Комплексные величины определите в алгебраической и показательной формах.

### 2.3. Порядок выполнения работы

1. Соберите схему последовательной RC-цепи в соответствии с рис. 3. Вольтметры включите в режим измерения переменного тока (AC), их сопротивление 10 МОм. Установите частоту генератора равной  $f_c/8$ , напряжение на его выходе 1 В, начальная фаза  $0^\circ$ .

Двойным щелчком по изображению осциллографа раскройте его окно. Установите для обоих каналов осциллографа масштаб по оси Y  $500 \text{ mv/Div}$  (500 мВ/дел), смещение (*Y position*) – 0, масштаб по оси времени от 0,2 до 0,4 периода сигнала (например, для частоты 1 кГц установите *Time base 0,2 ms/div*) и режим закрытого входа AC (отображение только переменной составляющей сигнала).

2. Включите режим моделирования. Уточните настройки осциллографа таким образом, чтобы изображение занимало большую часть экрана и по оси

времени наблюдалось 1 – 2 периода сигнала. Измерьте значения напряжений на элементах цепи  $R$  и  $C$  (вольтметры  $V1$  и  $V2$ ).

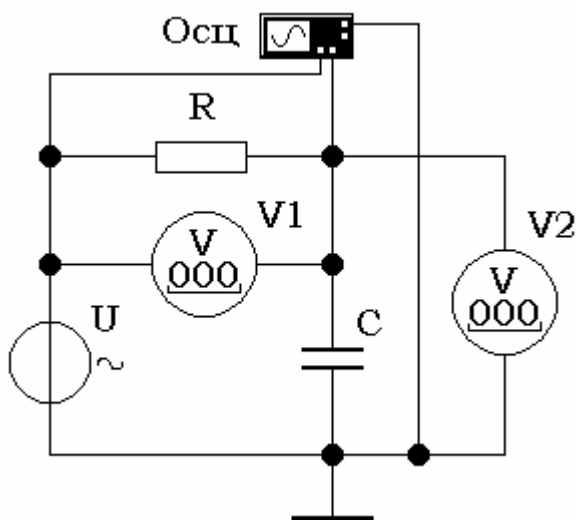


Рис. 3 - Интегрирующая RC-цепь

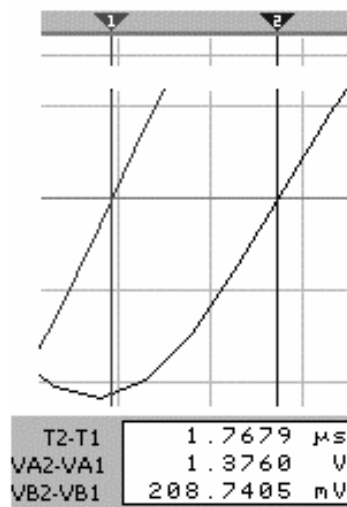


Рис. 4 - Измерение разности фаз

Остановите процесс моделирования (*Pause*) и включите осциллограф в режим большого экрана (кнопка *Expand* в верхней части окна осциллографа). Измерьте фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями. Для этого установите левый маркер в точку пересечения оси времени осциллограммой входного напряжения, а правый – выходного. В расположенном внизу справа окне прочитайте и запишите величину сдвига напряжений во времени  $\Delta t$ . Фрагменты экрана с маркерами и окна значений приведены на рис. 4. В окне значений  $T2-T1$  определяет разность значений по оси времени для левого и правого маркеров ( $\Delta t$ ), на рис. 4 она равна 1,7679 мкс. При известной частоте сигнала его период  $T=1/f$  и величина фазового сдвига  $\varphi=(360^\circ \cdot \Delta t)/T$ .

Последовательно устанавливая частоты  $f_c/8, f_c/4, \dots, 8f_c$  заполните табл. 3.

Таблица 3

$f$ , кГц							
$T=1/f$ , мс							
$\Delta t$ , мс							
$U_C$ , В							
$\varphi_C$ , °							
$U_R$ , В							
$\varphi_R$ , °							
$I=U_R/R$ , мА							

3. По результатам измерений для частот  $f_C$ ,  $f_C/4$  и  $4f_C$  рассчитайте ток в цепи по напряжению на сопротивлении  $R$ ,  $I = \bar{U}_R/R$  и постройте векторные диаграммы напряжений для этих частот.

Сравните результаты измерений с расчетными значениями. Убедитесь в выполнении второго закона Кирхгофа для комплексных действующих значений напряжений в контуре.

Рассчитайте реактивное сопротивление емкости  $x_C = U_C/I_C$  на частотах  $f_C$ ,  $f_C/4$  и  $4f_C$ . Сравните с теоретическим значением  $x_C = 1/(\omega C)$ . Каким образом реактивное сопротивление емкости зависит от частоты?

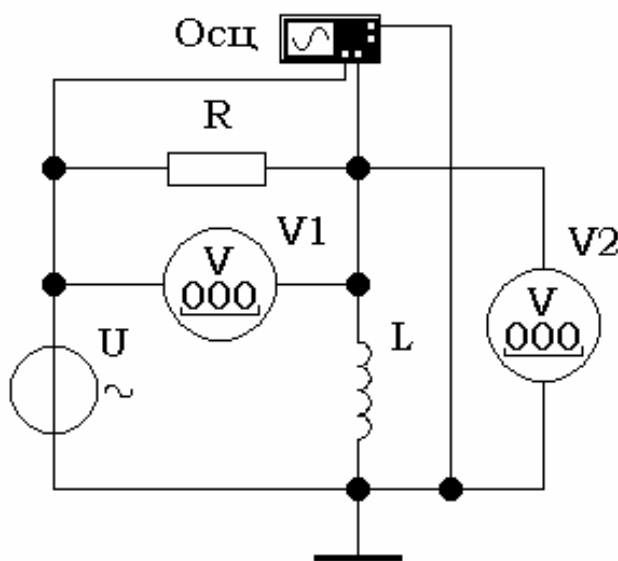


Рис. 5 - Дифференцирующая RL-цепь

4. Исследуйте амплитудные и фазовые соотношения напряжений и тока в последовательной  $RL$ -цепи (рис. 5).

Методика исследования аналогична методике п. 2. Заполните таблицу, аналогичную табл. 4.

По результатам измерений для частот  $f_C$ ,  $f_C/4$  и  $4f_C$  рассчитайте ток в цепи по напряжению на сопротивлении  $R$ ,  $I = U_R/R$  и постройте векторные диаграммы напряжений и токов для этих частот.

Сравните результаты измерений с расчетными значениями. Убедитесь в выполнении второго закона Кирхгофа для комплексных действующих значений напряжений в контуре.

Рассчитайте реактивное сопротивление индуктивности  $x_L = U_L/I_L$  на частотах  $f_C$ ,  $f_C/4$  и  $4f_C$ . Сравните с теоретическим значением  $x_L = \omega L$ . Каким образом реактивное сопротивление индуктивности зависит от частоты?

Результаты измерений и расчетов сведите в табл. 4.



Таблица 4

Частота, Гц	$f_c/4$			$f_c$			$4f_c$		
	$U_C$ , В	$\varphi_C^0$	$x_C$ , Ом	$U_C$ , В	$\varphi_C^0$	$x_C$ , Ом	$U_C$ , В	$\varphi_C^0$	$x_C$ , Ом
RC-цепь									
Расчет									
Эксперимент									
RL-цепь	$U_L$ , В	$\varphi_L^0$	$x_L$ , Ом	$U_L$ , В	$\varphi_L^0$	$x_L$ , Ом	$U_L$ , В	$\varphi_L^0$	$x_L$ , Ом
Расчет									
Эксперимент									

## 2.4. Содержание отчета

Отчет должен включать следующие разделы:

- цель работы;
- схемы исследуемых цепей;
- расчет всех токов и напряжений для исследуемых схем;
- результаты измерений и их обработки;
- АЧХ и ФЧХ исследуемых цепей, для каждой из цепей АЧХ и ФЧХ выполнить в одном масштабе по оси частот и расположить их одну под другой;
- векторные диаграммы напряжений и тока для частот  $f_c$ ,  $f_c/4$  и  $4f_c$ ;
- выводы.

## 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

### 3.1. Цель работы

Изучение резонансных явлений в последовательном колебательном контуре.

### 3.2. Домашнее задание

Рассчитайте резонансную частоту  $f_0$ , характеристическое сопротивление  $\rho$  и добротность  $Q$  последовательного колебательного контура (рис. 6). Рассчитайте напряжения на элементах контура, резисторе и самом контуре и их фазовый сдвиг относительно входного напряжения на частотах  $f_0$ ,  $0,9f_0$  и  $1,1f_0$ .

### 3.3. Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R$ , Ом	750	360	560	510	470	330	510	440	510	330
$L$ , мГн	50	20	33	27	10	15	50	8	10	82
$C$ , нФ	20	50	20	30	12	50	10	10	5	100

### 3.4. Порядок выполнения работы

1. Соберите последовательный колебательный контур (рис. 6). Цепи, подключаемые к зажимам осциллографа, следует сделать различных цветов. Установите все вольтметры в режим измерения переменного напряжения (AC), их сопротивление 10 МОм.

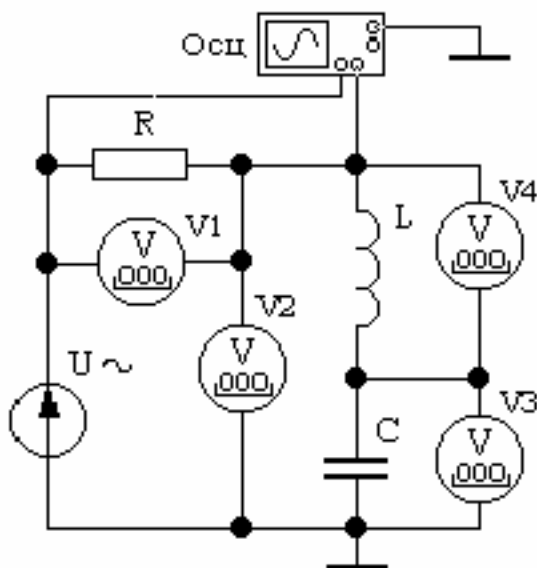


Рис. 6 - Последовательный колебательный контур

Установите напряжение источника  $U_{\sim}=1$  В, его частоту  $f$  равной резонансной частоте контура  $f_0$ , рассчитанной при выполнении домашнего задания. Начальная фаза напряжения равна  $0^\circ$ .

Снимите зависимости напряжений на элементах цепи ( $U_R$ ,  $U_C$ ,  $U_L$ ) и контуре ( $U_K$ ) от частоты  $f$ . Рекомендуется очередное значение частоты получать делением (умножением) текущего значения на постоянный коэффициент  $k=1,05 - 1,2$  (ряд частот  $\dots, f_0/k^2, f_0/k, f_0, kf_0, k^2f_0, \dots$ ). Всего не менее 12 значений. Частоту изменяйте в таких пределах, чтобы при минимальной и максимальной частотах напряжение на контуре, измеряемое вольтметром  $V_2$ , было более 0,8 В при входном напряжении, равном 1 В.

По результатам измерений рассчитайте ток в контуре на каждой из частот  $I = U_R/R$  и заполните табл. 5.

Постройте графики зависимостей напряжений  $U_C$ ,  $U_L$  и  $U_K$  от частоты. Все графики напряжений нужно построить в одной системе координат. По осям частоты и напряжений – линейные шкалы.

Таблица 5

$f$ , кГц						$f_0$					
$U_R$ , В											
$I$ , мА											
$U_C$ , В											
$U_L$ , В											
$U_K$ , В											


2. Определите экспериментально характеристическое сопротивление контура  $\rho$  и его добротность  $Q=\rho/R$ . Характеристическое сопротивление рассчитайте по результатам измерения резонансной частоты контура  $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$  и известной емкости  $C$ . Откуда  $\rho = 1/(2\pi f_0 C)$

Сравните со значением, полученным по формуле  $\rho = \sqrt{L/C}$ .

3. Исследуйте зависимость полосы задержания контура от величины активного сопротивления  $R$ , включенного последовательно с контуром. Полосу определять по уровню 0,5. Рекомендуется взять следующие значения сопротивлений:  $0,25\rho$ ;  $0,5\rho$ ;  $\rho$ ;  $2\rho$ ;  $4\rho$ .

Для выполнения измерений выберите в меню *Circuit* опцию *Schematic Options* и на вкладке *Show/Hide* активизируйте режим отображения номеров цепей *Show Nodes*. Запомните или запишите номер выходной цепи схемы (точка соединения резистора и индуктивности).

Для измерения полосы воспользуйтесь режимом *AC Frequency* меню *Analysis*. Установите диапазон изменения частоты (*Start* и *End Frequency*), ориентируясь на результаты, полученные при выполнении п. 1. Установите линейный масштаб по осям (*Sweep type* и *Vertical Scale – Linear*), количество точек для построения характеристики равным 500 (*Number of points – 500*). В нижней части вкладки в окне *Nodes in circuit* выделите щелчком мыши номер выходной цепи схемы, и нажмите кнопку *Add* – номер цепи будет перенесен в окно *Nodes for analysis* (цепь для анализа).

После этого нажмите кнопку *Simulate*. В открывшемся окне результатов анализа будут отображены амплитудная (АЧХ) и фазовая (ФЧХ) характеристики. Рекомендуется “растянуть” окно на большую часть экрана. Для выполнения измерений щелкните по графику АЧХ и затем нажмите кнопку маркеров в верхней части окна . При этом поверх графиков откроется окно значений, которое следует переместить на свободное от графиков поле экрана. Передвигая мышью маркеры, установить их в положения, при которых значения напряжений близки к 0,5 В (параметры  $y1$  и  $y2$  в окне значений). Параметры  $x1$  и  $x2$  оп-

ределяют значения частот в точках расположения маркеров. Для получения приемлемой точности измерений при изменении сопротивления резистора  $R$  необходимо корректировать значения начальной и конечной частот (*Start* и *End Frequency*).

Для каждого из значений сопротивления  $R$  измерьте напряжения на емкости  $U_C$  и индуктивности  $U_L$  на частоте  $f_0$ .

По результатам измерений заполните табл. 6. Постройте графики зависимостей относительной полосы задержания  $\delta f = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0}$  и напряжений

$U_L$  и  $U_C$  на частоте  $f_0$  от величины сопротивления  $R$ . На графиках отметьте точку, в которой  $R = \rho$ .

Таблица 6

$R, \text{ Ом}$	$0,25\rho$	$0,5\rho$	$\rho$	$2\rho$	$4\rho$	$6\rho$
$f_H, \text{ Гц}$						
$f_B, \text{ Гц}$						
$\Delta f, \text{ Гц}$						
$\delta f$						
$U_L(f_0), \text{ В}$						
$U_C(f_0), \text{ В}$						

### 3.5. Содержание отчета

Отчет должен включать:

- цель работы;
- расчет резонансной частоты, характеристического сопротивления и добротности контура (домашнее задание);
- задачи экспериментов;
- таблицы результатов измерений, их обработка, экспериментальные значения характеристического сопротивления и добротности;
- графики зависимостей напряжений на элементах схемы и контуре от частоты;
- векторные диаграммы для частот, на которых напряжение на контуре равно половине входного, и для резонансной частоты  $f_0$ ;
- график зависимости относительной полосы задержания  $\delta f$  и напряжений на индуктивности  $U_L$  и емкости  $U_C$  на резонансной частоте от величины отношения  $R/\rho$ ;
- выводы.

## 4. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

### 4.1. Цель работы

Изучение резонансных явлений в параллельном колебательном контуре.

### 4.2. Домашнее задание

Рассчитайте резонансную частоту  $f_0$  и запишите выражения для токов и напряжений для элементов схемы рис. 7. Варианты заданий приведены ниже.

### 4.3. Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R$ , кОм	1,0	1,0	1,2	1,0	1,25	1,25	1,75	2,0	1,5	2,0
$L$ , мГн	0,5	0,5	15	10	4	5	10	5	20	15
$C$ , нФ	4	8	64	100	30	80	60	64	100	80

### 4.3. Порядок выполнения работы

1. Соберите схему в соответствии с рис. 7.

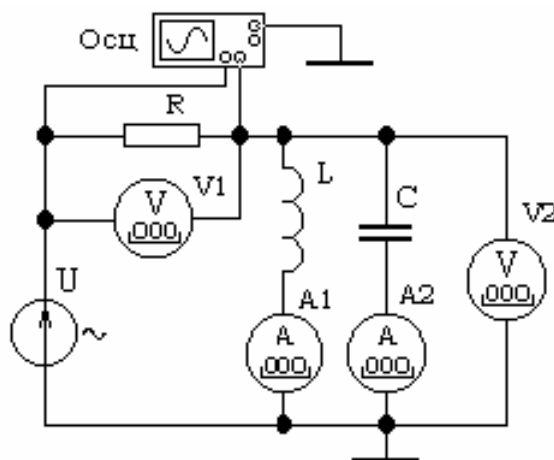


Рис. 7 - Параллельный колебательный контур

Включите вольтметры и амперметры в режим измерения переменных токов и напряжений (AC). Сопротивление вольтметров установите равным 1 МОм, амперметров – 0,1 Ом.

Установите напряжение источника  $U = 1$  В, его частоту  $f$  равной резонансной частоте контура  $f_0$ , рассчитанной при выполнении домашнего задания. Начальная фаза напряжения равна  $0^\circ$ .

Цепи, подключаемые к зажимам осциллографа, следует сделать различных цветов.

2. Снимите зависимости от частоты напряжений и токов в схеме. Частоту изменяйте в таких пределах, чтобы при минимальной и максимальной частотах

напряжение на контуре, измеряемое вольтметром  $V_2$ , было менее 0,2 В при напряжении источника  $U = 1$  В. Рекомендуется очередное значение частоты получать делением (умножением) текущего значения на постоянный коэффициент  $k = 1,02 - 1,2$  (ряд частот  $\dots f_0/k^2, f_0/k, f_0, kf_0, k^2f_0, \dots$ ). Всего не менее 12 значений. Результаты измерений занесите в табл. 7.

Постройте графики зависимостей напряжений на контуре  $U_K$  и резисторе  $U_R$  и токов через емкость  $I_C$  и индуктивность  $I_L$  от частоты. Графики для напряжений и токов разместите один под другим.

Определите полосу пропускания схемы  $\Delta f = f_B - f_H$  на уровне 0,5.

Постройте векторные диаграммы напряжений и токов для уровня 0,5 и резонансной частоты  $f_0$ .

Таблица 7

$f$ , кГц					$f_0$					
$U_K$ , В										
$U_R$ , В										
$I_R$ , мА										
$I_C$ , В										
$I_L$ , В										

3. Исследуйте зависимость полосы пропускания схемы на уровне 0,5 от величины активного сопротивления  $R$ , включенного последовательно с контуром. Рекомендуется взять следующие значения сопротивлений:  $0,125R, 0,25R, 0,5R, R, 2R, 4R, 8R$ . Процедура измерения полосы подробно рассмотрена в п. 3 предыдущей лабораторной работы. Для каждого из значений сопротивления  $R$  измерьте токи в емкости  $I_C$  и индуктивности  $I_L$  на частоте  $f_0$ .

По результатам измерений заполните табл. 8. Постройте график зависимости относительной полосы пропускания  $\delta f = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0}$  и токов  $I_L$  и  $I_C$  на частоте резонанса от величины сопротивления  $R$ .

Таблица 8

$R$ , Ом							
$f_H$ , Гц							
$f_B$ , Гц							
$\Delta f$ , Гц							
$\delta f$							
$I_L(f_0)$ , мА							
$I_C(f_0)$ , мА							

#### 4.4. Содержание отчета

Отчет должен включать:

- цель работы;
- расчет резонансной частоты и выражения для расчета напряжений на элементах контура, сравните результаты расчета и эксперимента для 2 – 3 значений частоты;
- таблицы с результатами измерений;
- графики зависимостей напряжений на контуре и резисторе и токов через элементы контура; графики напряжений и токов расположить один под другим, масштаб по оси частот для всех графиков должен быть одинаков;
- векторные диаграммы для частот, на которых напряжение на контуре равно половине входного, и для резонансной частоты  $f_0$ ;
- графики зависимости токов через элементы контура на частоте  $f_0$  и полосы пропускания на уровне 0,5 от величины сопротивления  $R$ ;
- подробные пояснения по ходу работы;
- выводы.

### 5. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПЯХ ВТОРОГО ПОРЯДКА

#### 5.1. Цель работы

Исследование реакции последовательной RLC-цепи на воздействие периодической последовательности прямоугольных импульсов.

#### 5.2. Домашнее задание

Определите характеристическое сопротивление  $\rho = \sqrt{L/C}$  и резонансную частоту  $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$  последовательного колебательного контура для заданных значений емкости контура  $C$  и индуктивности  $L$ . Изобразите ожидаемые отклики исследуемой цепи на импульсное воздействие при различных значениях сопротивления резистора  $R$  ( $R = \rho$ ,  $R = 2\rho$  и  $R = 4\rho$ ). Начальный уровень входных импульсов равен нулю.

#### 5.3. Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L$ , мГН	1,0	0,8	4,0	10	50	15	20	10	2	0,01
$C$ , нФ	2	2	10	64	20	15	30	32	6	0,04

#### 5.4. Порядок выполнения работы

Соберите схему рис. 8. Значение компонент схемы  $L$ ,  $C$  и амплитуду импульсов установите в соответствии с заданным вариантом. Частота следования входных импульсов  $f=0,05f_0$ , где  $f_0$  – резонансная частота контура. Скважность импульсов равна 2 (*Duty Cycle* равно 50 %). Осциллограф включите в режим открытого входа (*DC*), длительность развертки установите такой величины, чтобы на экране было видно около двух периодов входного сигнала. Исследуйте отклики  $U_K(t)$  и  $U_C(t)$  последовательной  $RLC$ -цепи, изображенной на рис. 8, на воздействие периодической последовательности прямоугольных импульсов положительной полярности (меандр). Рассмотрите три случая:  $R < 2\rho$ ;  $R = 2\rho$ ;  $R > 2\rho$ .

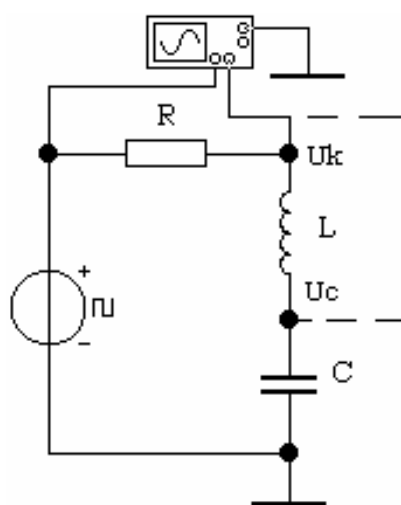


Рис. 8 - Последовательная  $RLC$ -цепь

Исследование рекомендуется проводить в следующей последовательности.

1. Соберите последовательную  $RLC$ -цепь. Установите частоту следования входных импульсов равной  $0,05f_0$ . Один из входов осциллографа подключите к входным зажимам цепи, а второй к контуру (для измерения  $U_K$ ) или к емкости (для измерения  $U_C$ ). Рекомендуется установить различные цвета для входной цепи и цепей, в которых измеряются напряжения.

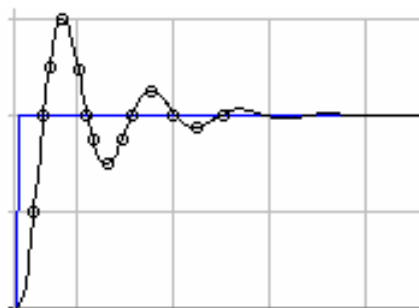


Рис. 9 - Осциллограмма переходного процесса

2. Установите параметры цепи, соответствующие режиму  $R < 2\rho$ . Рекомендуется  $R = (0,3 \div 0,4)\rho$ . Подключите осциллограф к контуру. Включите режим моделирования. После моделирования нескольких периодов сигнала нажмите кла-



вишу "Пауза", переключите осциллограф в режим большого экрана и измерьте с его помощью параметры колебаний. На рис. 9 приведены возможный вид переходного процесса и рекомендуемые точки для измерения. По оси времени отсчет вести от фронта импульса. Результаты измерений занесите в табл. 9.

Подключите осциллограф к емкости и повторите измерения.

Таблица 9

$t, \text{ мС}$	0												
$U_K, \text{ В}$	0												
$t, \text{ мС}$	0												
$U_C, \text{ В}$	0												

В отчете постройте графики в соответствии с результатами измерений, нанесите шкалы времени и напряжения. Определите частоту колебаний и сравните ее с резонансной частотой контура. Определите время переходного процесса. Оно определяется как время, в течение которого отклонение напряжения на контуре от установившегося значения  $U_m$  становится менее 5 %. Здесь  $U_m$  – амплитуда импульса. Отклонение определять по амплитудам колебаний.

3. Установите значение сопротивления резистора  $R$  такой величины, чтобы выполнялось условие  $R=2\rho$ . Снимите переходные процессы на контуре и емкости. Результаты занесите в таблицу, аналогичную табл. 9. Измерьте время переходного процесса, в течение которого напряжение на контуре достигает значения  $0,95U_m$ .

4. Установите сопротивление резистора  $R>2\rho$ , рекомендуется  $R=(4\div 6)\rho$ . Снимите переходные процессы на контуре и емкости. Результаты занесите в таблицу, аналогичную табл. 9. Измерьте время переходного процесса.

Включите результаты измерений и осциллограммы в отчет.

### 5.5. Содержание отчета

Отчет должен включать:

- цель работы;
- задачи экспериментов;
- схему исследуемой цепи;
- результаты измерений;
- осциллограммы воздействия и откликов;
- сравнительный анализ переходных процессов;
- выводы.

Осциллограммы строить по точкам. Они должны занимать не менее половины лист А4. Все осциллограммы для фронта и среза импульса постройте на одном графике. Не забудьте на графике и в подрисуночной подписи указать для каждой осциллограммы условия, при которых она получена.

## 6. ТРАНСФОРМАТОР

### 6.1. Цель работы

Исследование процессов в индуктивно связанных цепях при гармоническом воздействии, а также изучение методов экспериментального определения параметров трансформатора.

### 6.2. Порядок выполнения работы

1. Определите индуктивности  $L_1$  первичной обмотки трансформатора. Для этого соберите схему рис.10. Подключите ко входу схемы источник напряжения переменного тока. Установите напряжение источника  $U$  и его частоту в соответствии с заданным вариантом. Вольтметры и амперметр включите в режим измерения сигнала переменного тока (AC). Сопротивление вольтметра установите равным 1 МОм, амперметра – 1 Ом.

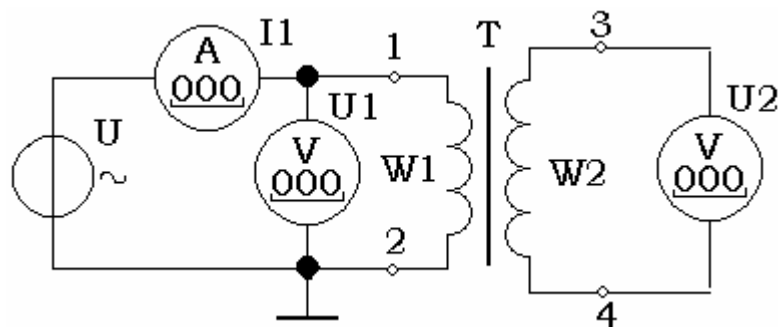


Рис. 10 - Включение трансформатора

Измерьте и запишите напряжения на первичной  $U_1$  и вторичной  $U_2$  обмотках трансформатора и ток  $I_1$  первичной обмотки.

Рассчитайте индуктивность первичной обмотки трансформатора  $L_1$ . Полное сопротивление первичной обмотки  $Z_1 = j\omega L_1 + j\omega L_p + R_1$ , где  $R_1$  – активное сопротивление обмотки,  $L_p$  – индуктивность рассеяния. Поскольку  $L_p \ll M$  и в режиме холостого хода  $R_1 \ll X_{L1}$ , то можно принять  $Z_1 \approx j\omega L_1$ . Тогда  $L_1 \approx U_1 / (\omega I_1)$ .

Определите коэффициент трансформации по напряжению  $K_U = W_2 / W_1 \approx U_2 / U_1$ .

2. Определите взаимную индуктивность обмоток трансформатора методом амперметра и вольтметра.

Как известно, напряжение на разомкнутых зажимах вторичной обмотки трансформатора  $U_2 = \omega M \cdot I_1$ . Таким образом, если измерить напряжение на разомкнутых зажимах вторичной обмотки  $U_2$  и ток в первичной обмотке  $I_1$ , то взаимную индуктивность  $M$  можно найти из соотношения  $M = U_2 / (\omega \cdot I_1)$ .

3. Определите индуктивность вторичной обмотки трансформатора  $L_2$  (зажимы 3 – 4). Для этого установите напряжение источника  $U$  равным напряжению вторичной обмотки  $U_2$ , полученному в п. 1. Подключите источник напряжения к вторичной обмотке трансформатора, как показано на рис. 11. Измерьте и запишите напряжения на первичной  $U_1$  и вторичной  $U_2$  обмотках трансформатора и ток  $I_2$  вторичной обмотки. Определите индуктивность  $L_2$ .

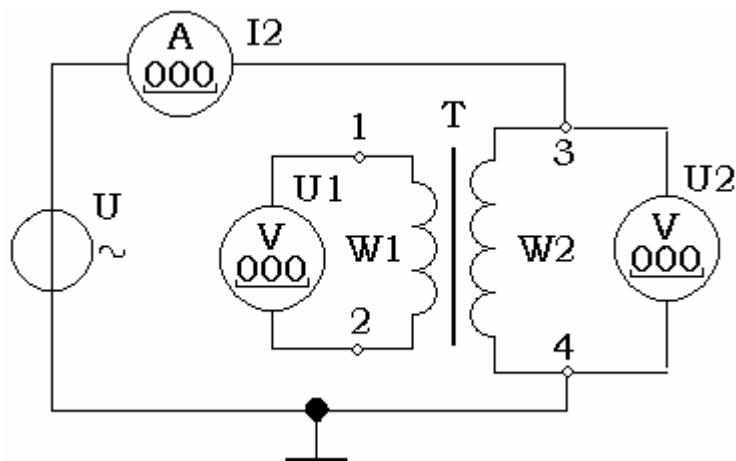


Рис. 11 - Определение индуктивности вторичной обмотки

Определите взаимную индуктивность обмоток трансформатора методом амперметра и вольтметра  $M=U_1/(\omega \cdot I_2)$ . Сравните с результатом, полученным в п. 2.

4. Определите одноименные выводы обмоток трансформатора.

Соберите схему рис. 12, а. Установите напряжение источника  $U=0,5U_2$  и определите индуктивность  $L_a$  обмоток трансформатора по методике п. 1. Измените полярность включения вторичной обмотки трансформатора (рис. 12, б) и определите индуктивность  $L_b$  последовательно включенных обмоток. При согласном включении обмоток индуктивное сопротивление будет больше, чем при встречном.

По результатам измерения индуктивного сопротивления последовательно включенных обмоток трансформатора при согласном  $X_{сог}$  и встречном  $X_{вст}$  включении рассчитайте взаимную индуктивность  $M$ . При согласном включении обмоток  $X_{сог} = \omega(L_1+L_2+2M)$ . При встречном включении  $X_{вст} = \omega(L_1 + L_2 - 2M)$ . Разность  $X_{сог}-X_{вст}=4\omega \cdot M$ . Тогда  $M = \frac{X_{сог} - X_{вст}}{4\omega}$ .

Сравните с результатами, полученными в пп. 2 и 3.

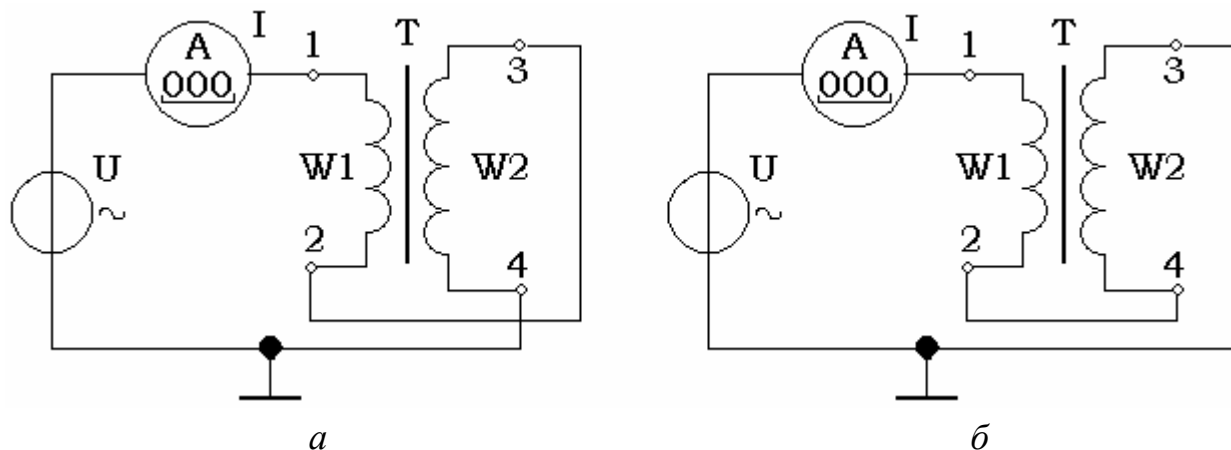


Рис. 12 - Согласно и встречное включение обмоток

5. Исследуйте работу трансформатора под нагрузкой (рис. 13).

Для этого установите номинальное значение напряжения  $U$  и, изменяя сопротивление  $R_H$ , заполните табл. 10. Значение сопротивления изменяйте от 100 кОм (режим, близкий к холостому ходу ( $I_H \rightarrow 0$ )), до величины, при которой  $U_H = (0,92 \div 0,95)U_{HXX}$ . Здесь  $U_{HXX}$  – напряжение на вторичной обмотке в режиме холостого хода ( $R_H \rightarrow \infty$ ). Для каждого значения  $I_H$  определите мощность в нагрузке  $P_H = U_H I_H$  и потребляемую от источника  $P_1 = U_1 \cdot I_1$ ,  $KПД = 100P_H/P_1$ .

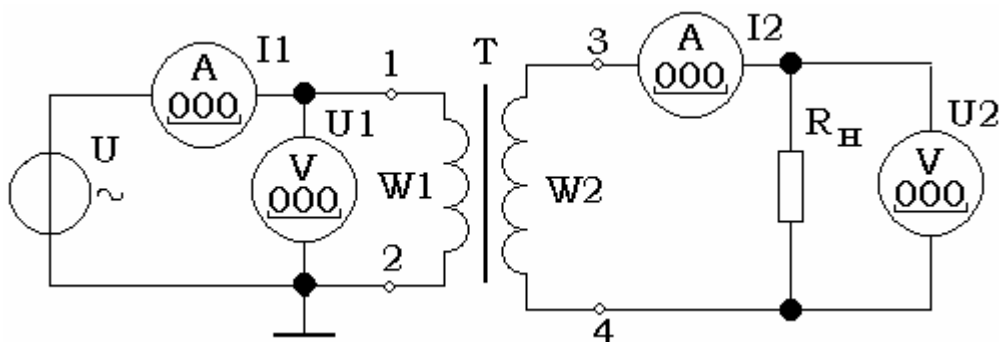


Рис. 13 - Трансформатор с нагрузкой

Таблица 10

$R_H$ , кОм	100	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1		
$U_H$ , В	$U_{HXX}$									
$I_H$ , А	0									
$I_1$ , А										
$P_H$ , Вт	0									
$P_1$ , Вт										
КПД, %	0									

Постройте график зависимости  $KПД=f(I_H)$ . Определите значение тока нагрузки, при котором мощность в нагрузке максимальна. В этой точке определите коэффициент трансформации по току  $K_I=I_2/I_1$  и входное сопротивление трансформатора, нагруженного на активное сопротивление  $R_H$ . Проверьте соотношение

$$R_{вх} = \frac{R_H}{K_I^2} = R_H K_I^2.$$

### 6.3. Содержание отчета

Отчет должен включать:

- цель работы;
- задачи экспериментов;
- исследуемые схемы;
- результаты измерений и расчетов;
- указанные в тексте графики;
- исчерпывающие, но краткие пояснения, выводы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Атабеков, Г.И.** Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: учебное пособие для вузов / Г.И. Атабеков ; М. : Энергия, 1978. 592 с.
2. **Бычков, Ю.А.** Основы теории электрических цепей : учебник для вузов / Ю.А. Бычков, В.М. Золотницкий, Э.П. Чернышев ; СПб. : "Лань", 2002. 464 с.
3. **Глазенко, Т.А.** Электротехника и основы электроники / Т.А. Глазенко, В.А. Прянишников ; М. : Высшая школа. 1-е изд. – 1985, 2-е изд. – 1996.
4. **Попов, В.П.** Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов ; М. : Высшая школа, 1985. 496 с.
5. **Прянишников, В.А.** Теоретические основы электротехники : курс лекций / В.А. Прянишников ; СПб. : КОРОНА принт, 2000. 368 с.

**Учебное электронное текстовое издание**

Муханов Владислав Владимирович  
Матвиенко Виталий Александрович

## **ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

**Редактор** *Е.А. Ишунина*  
**Компьютерная верстка:** *А.Ю. Одинцова*

**Рекомендовано РИС ГОУ ВПО УГТУ-УПИ**  
**Разрешен к публикации 10.08.06.**  
**Электронный формат – PDF**  
**Формат 60x90 1/8**

**Издательство ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ**  
**620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19**  
**e-mail: sh@uchdep.ustu.ru**

**Информационный портал**  
**ГОУ ВПО УГТУ-УПИ**  
**<http://www.ustu.ru>**