

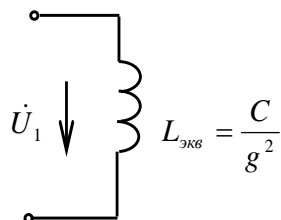
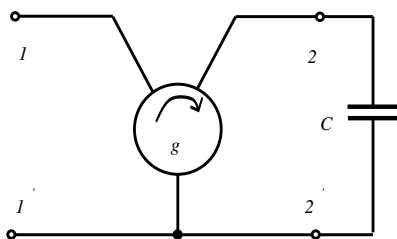
Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
" Электротехника и электроника "  
для студентов направления подготовки 11.03.03  
«Конструирование и технология электронных средств», (про-  
филь «Проектирование и технология радиоэлектронных  
средств») всех форм обучения



Воронеж 2021

УДК  
ББК

**Составители:**  
асс. А.С. Костюков  
д-р техн. наук А.В. Башкиров

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов направления подготовки 11.03.03. «Конструирование и технология электронных средств», (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А.С. Костюков, А.В. Башкиров. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 24 с.

Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образовательного стандарта по направлению 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», профилю «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», дисциплине «Электротехника и электроника».

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2007 и содержатся в файле ELTEN1.pdf

Табл. 1. Ил.9. Библиогр.: 2 назв.

**УДК**  
**ББК**

**Рецензент** - О. Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф.  
кафедры конструирования и производства  
радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ГАРМОНИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ И ТОК В ЭЛЕМЕНТАХ ЦЕПИ R, L, C И ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

Цель работы - изучить взаимосвязь гармонических токов и напряжений в элементах цепи и их последовательном соединении.

### ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Подключите к плате исследуемой цепи (рис. 9) источник напряжения, вольтметр, микроамперметр, коммутатор. Кривыми линиями на рис. 9 показаны соединительные провода с однополюсными вилками. Соедините со стендом генератор АНР 1001 и осциллограф. Откалибруйте измерительные приборы, подготовьте их к измерениям.

На выходе генератора установите такое напряжение, чтобы ток в цепи был равен 1 мА.

Переключатель режимов синхронизации лабораторного стенда установите в положение синхронизации от блока усилителя «БУ» **Запишите значения параметров цепи, указанные на плате.**

2. На частоте  $f_1 = 40$  кГц вычислите реактивные сопротивления емкости  $X_C$ , индуктивности  $X_L$  и полное сопротивление последовательной RLC цепи  $Z$ . Результаты расчета внесите в табл. 1.

Таблица 1

Сопротивления элементов цепи

R, Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	Z, Ом

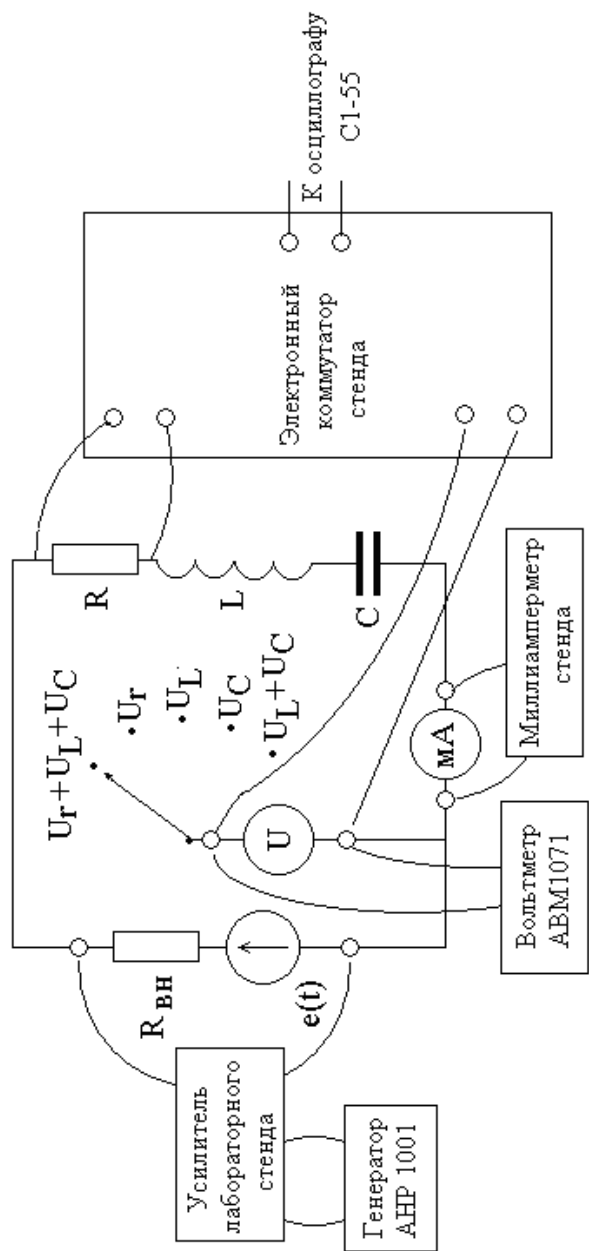


Рис. 9.

3. Измерьте напряжения и ток в цепи.

3.1. Устанавливая переключатель вольтметра на сменной панели стенда поочередно в положения  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ ,  $U_R+U_L+U_C$ , измерьте соответствующие напряжения и ток в цепи I. Результаты занесите в табл. 2.

Таблица 2

Ток и напряжения в цепи

Величина	I, мА	$U_R$ , В	$U_L$ , В	$U_C$ , В	U, В	$U_{\text{выч}}$ , В	$\delta$ , %
Измерения							
Расчет						-	-

3.2. Вычислите, исходя из измеренных значений  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ , и занесите в табл. 4 значение напряжения  $U_{\text{выч}}$  на последовательном соединении элементов R,L,C. Сопоставьте U и  $U_{\text{выч}}$ , определите относительную погрешность  $\delta = |U_{\text{выч}} - U| / U$ . Если ошибка превышает 15-20 %, уточните результаты измерений.

3.3. Для **измеренного общего напряжения** U и известных сопротивлений элементов цепи (табл. 3) вычислите значения тока I, напряжений на элементах цепи  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$  и внесите их в табл. 2. Сравните результаты расчетов и измерений.

3.4. По величинам U и I определите полное сопротивление цепи  $Z_{\text{изм}}$  и сопоставьте его с вычисленным значением Z из табл. 3. Определите относительную погрешность определения сопротивления

$$\delta_z = |Z - Z_{\text{изм}}| / Z_{\text{изм}}. \quad (1)$$

4. Измерьте фазовые соотношения между гармоническими колебаниями в цепи.

4.1. Переключатель **установите** в положение « $U_R+U_L+U_C$ ».

4.2. Подайте на входы коммутатора напряжений опорный

сигнал (напряжение источника  $U$ ) и напряжение на резисторе  $U_R$ . Осциллограф подключите к выходу коммутатора и установите **режим внешней синхронизации** от блока усилителей БУ.

Получите устойчивое изображение на экране двух гармонических колебаний, сдвинутых во времени.

Разберитесь, какой осциллограмме соответствует напряжение  $U$ , а какой  $U_R$ . Измерьте по экрану период колебаний  $T$  и сдвиг во времени  $\Delta t_R$  напряжения  $U_R$  относительно  $U$ , определите знак  $\Delta t_R$  (если  $U_R$  опережает по фазе  $U$ , то величина  $\Delta t_R$  отрицательна, а иначе положительна).

Определите сдвиг фаз  $\varphi_R$  между  $U_R$  и  $U$  по формуле

$$\varphi_R = -\omega \times \Delta t_R. \quad (2)$$

Результат занесите в табл. 5.

4.3. Вместо  $U_R$  подайте на вход коммутатора напряжение на индуктивности  $U_L$  и аналогично предыдущему измерьте смещение по времени  $\Delta t_L$  и сдвиг фаз  $\varphi_L$  между  $U_L$  и  $U$ . Результат внесите в табл. 3.

Таблица 3

Фазовые соотношения

Сдвиг фаз	$\varphi_R$ , рад	$\varphi_L$ , рад	$\varphi_C$ , рад
Эксперимент			
Расчет			

4.4. Аналогично вместо  $U_L$  подайте на вход коммутатора напряжение на емкости  $U_C$ , измерьте смещение по времени  $\Delta t_C$  и сдвиг фаз  $\varphi_C$  между  $U_C$  и  $U$ , запишите полученное значение в табл. 5.

4.5. Используя значения сопротивлений в табл. 3, проведите **расчет** сдвигов фаз  $\varphi_R$ ,  $\varphi_L$ ,  $\varphi_C$  между напряжениями на элементах и общим напряжением цепи, результаты занесите в табл. 3. Сравните результаты.

4.5. Полагая начальную фазу источника напряжения равной нулю, определите по результатам измерений из табл. 5 начальные фазы тока  $\psi_i$  в цепи и напряжений на резисторе  $\psi_R$ , катушке индуктивности  $\psi_L$  и конденсаторе  $\psi_C$ . Занесите их в табл. 4.

Таблица 4

Начальные фазы колебаний

$\psi_e$ , рад	$\psi_i$ , рад	$\psi_R$ , рад	$\psi_L$ , рад	$\psi_C$ , рад
0				

4.6. По результатам измерений определите сдвиг фаз  $\varphi$  между общим напряжением и током в цепи.

4.7. Проанализируйте полученные результаты. При больших (более 15-20 %) погрешностях повторите измерения.

5. По результатам измерений в пунктах 3 и 4 с помощью линейки и транспортира постройте векторную диаграмму тока  $I$  и напряжений  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ ,  $U$ . Сложите графически векторы  $U_R$ ,  $U_L$  и  $U_C$ . Сравните результат с вектором  $U$ .

6. Тремя способами вычислите среднюю мощность, потребляемую цепью от источника:

$P_1$  - по величинам напряжения  $U$  и тока  $I$  с учетом сдвига фаз между ними;

$P_2$  - по величине тока  $I$  и значениям сопротивлений элементов цепи;

$P_3$  - по значениям напряжений на элементах и их сопротивлениям.

Определите среднее значение потребляемой мощности

$$P_{cp} = (P_1 + P_2 + P_3) / 3. \quad (3)$$

Результаты занесите в табл. 5.

Если возникают значительные погрешности, проанализи-

руйте возможные причины.

Таблица 5

Потребляемая мощность

$P_1, \text{Вт}$	$P_2, \text{Вт}$	$P_3, \text{Вт}$	$P_{\text{ср}}, \text{Вт}$

### ДЛЯ ПЫТЛИВЫХ

7. Увеличьте частоту источника до  $f_2=80$  кГц. Изменяя уровень сигнала источника, добейтесь, чтобы ток в цепи остался прежним.

Измерьте напряжение  $U$  на последовательном соединении и сдвиг фаз  $\varphi$  между напряжением и током в цепи. По результатам измерений вычислите модуль полного сопротивления цепи  $Z$  и потребляемую мощность  $P$ . Результаты занесите в табл. 6 и сравните с полученными ранее на частоте  $f_1$ .

Таблица 6

Результаты измерений на частоте  $f_2$

$I$ мА	$U$ В	$\varphi$ рад	$Z$ Ом	$P$ Вт

8. При экспериментальном значении напряжения цепи  $U$  из табл. 8 на частоте 80 кГц проведите расчет сопротивления цепи  $Z$ , тока  $I$ , сдвига фаз  $\varphi$  и мощности  $P$ . Сравните результаты расчета и эксперимента.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Цель работы - изучить резонансные и частотно-избирательные свойства и характеристики последовательного колебательного контура.

#### ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Подключите к сменной плате исследуемой цепи, схема которой показана на рис. 23, источник напряжения и миллиамперметр. Соедините генератор с входом блока усилителей стенда. Установите тумблер Т1 в положение 2 и тумблер Т2 в положение 1.

**Все измерения проводите при подключенном к емкости контура вольтметре ВК7-26.**

Изменяя частоту генератора в интервале 120-150 кГц, добейтесь максимального тока в контуре при постоянном уровне входного сигнала. Установите на выходе источника напряжения усилителя стенда уровень сигнала, при котором максимальный ток в контуре будет не более 5 мА.

2. Измерьте резонансную частоту контура.

Отключите добавочное сопротивление R1 (тумблер Т1 установите в положение 2) и сопротивление нагрузки R2 (тумблер Т2 - в положение 1). Изменяя частоту генератора, добейтесь максимального тока в контуре, сохраняя постоянным уровень входного сигнала. По шкале генератора определите значение резонансной частоты  $f_0$ .

3. Исследуйте зависимость от частоты тока и входного сопротивления последовательного колебательного контура.

Не меняя положение тумблеров Т1 и Т2, измерьте ток в цепи при неизменном входном напряжении на частотах от  $0,9f_0$  до  $1,1f_0$  с шагом не более 1 кГц (всего 20-30 точек).

Определите абсолютную расстройку контура на каждой из частот. Результаты занесите в табл. 7 с соответствующим числом столбцов.

По результатам измерений вычислите входное сопротивление контура на каждой из частот и запишите полученные значения в табл. 14. Постройте графики зависимостей  $I(\Delta f)$  и  $Z(\Delta f)$ . Проанализируйте полученные результаты.

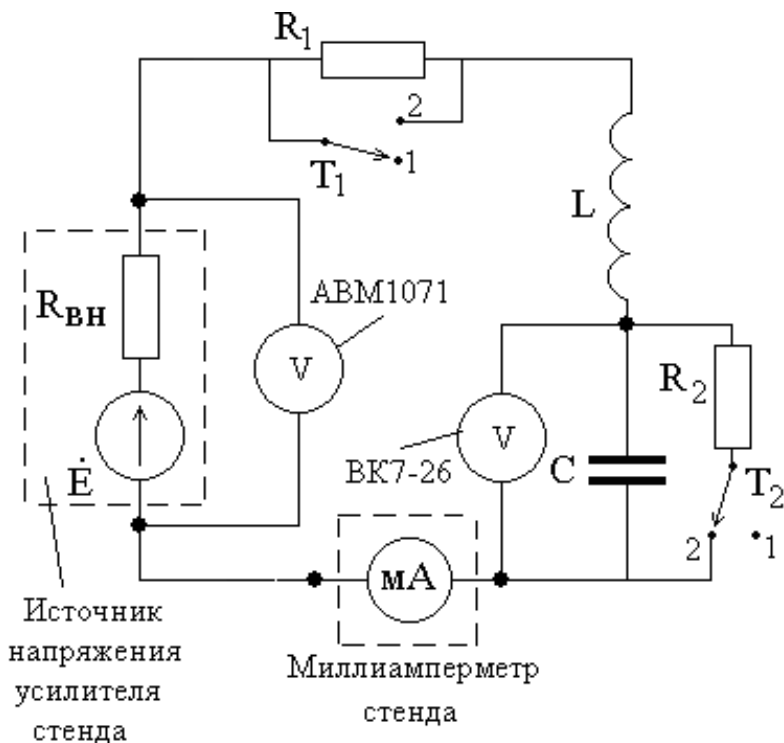


Рис. 2. Схема исследуемой цепи

Из табл. 10 и графика  $Z(\Delta f)$  определите сопротивление потерь колебательного контура  $r$ . Чем оно обусловлено, от чего зависит?

Таблица 7

. Зависимость от частоты тока и сопротивления контура

F, кГц					
$\Delta f$ , кГц					
$U_{\text{вх}}$ , В					
I, мА					
Z, Ом					

4. Изменяя, как и в предыдущем случае, частоту генератора, снимите амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) контура - зависимость выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  от абсолютной расстройки  $\Delta f$  при неизменном уровне входного напряжения  $U_{\text{вх}}$ .

По данным эксперимента вычислите коэффициент передачи  $H=U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ . Результаты занесите в табл. 8.

Обратите внимание на то, что подключение вольтметра к выходу контура (к конденсатору) изменяет резонансную частоту по сравнению с предыдущим значением. Это обусловлено влиянием паразитной входной емкости прибора (20-40 пФ).

Постройте график АЧХ  $H(\Delta f)$  и определите полосу пропускания  $\Pi$  и добротность  $Q$  контура. Результаты запишите в табл. 9.

Таблица 8

Амплитудно-частотная характеристика контура

F, кГц					
$\Delta f$ , кГц					
$U_{\text{вх}}$ , В					
$U_{\text{вых}}$ , В					
H					
$H_{\text{расч}}$					
$\Delta H$					

5. Рассчитайте теоретически зависимость  $H(\Delta f)$  (через обобщенную расстройку), используя экспериментальные значения резонансной частоты  $f_0$  и полосы пропускания  $\Pi$ .

Определите погрешность  $\Delta H = H_{\text{расч}} - H$ . Результаты внесите в табл. 15. На построенный ранее график АЧХ нанесите расчетную кривую. Сравните результаты.

6. Исследуйте влияние добавочного сопротивления потерь  $R_1$  контура на его добротность методом "трех отсчетов". Для этого тумблер  $T_1$  установите в положение 1 ( $T_2$  остается в положении 1), вольтметр подключите к емкости контура.

Изменяя частоту генератора, настройтесь в резонанс и измерьте резонансное выходное напряжение  $U_{\text{рез}}$ . Определите величину выходного напряжения на границе полосы пропускания  $U_{\text{гр}} = U_{\text{рез}} / \sqrt{2}$ .

Уменьшая частоту генератора относительно резонансной, добейтесь, чтобы вольтметр показывал напряжение, равное  $U_{\text{гр}}$ . По шкале генератора определите нижнее значение частоты на границе полосы пропускания  $f_{\text{min}}$ . Затем, увеличивая частоту, аналогично определите верхнюю частоту на границе полосы пропускания  $f_{\text{max}}$ .

Не забывайте контролировать постоянство входного напряжения при всех измерениях. Полоса пропускания контура с добавочным сопротивлением равна

$$\Pi_{\text{доб}} = f_{\text{max}} - f_{\text{min}} . \quad (4)$$

Определите добротность контура  $Q_{\text{доб}}$  с добавочным сопротивлением. Результаты внесите в табл. 16.

Таблица 9

Полоса пропускания и добротность контура

$\Pi$ , кГц	$Q$	$\Pi_{\text{доб}}$ , кГц	$Q_{\text{доб}}$	$\Pi_{\text{н}}$ , кГц	$Q_{\text{н}}$

7. Аналогично предыдущему методом трех отсчетов определите влияние на добротность контура сопротивления нагрузки, подключенного к конденсатору. Для этого тумблер  $T_1$  переведите в положение 2 (добавочное сопротивление отключено), а тумблер  $T_2$  - в положение 2 (подключено сопротивление нагрузки  $R_2$ ). Измерьте граничные частоты полосы пропускания, определите полосу пропускания  $\Pi_n$  и добротность контура  $Q_n$ .

Результаты запишите в табл. 16, сравните результаты.

### ДЛЯ ПЫТЛИВЫХ

8. По данным эксперимента определите паразитную емкость вольтметра, используя изменение резонансной частоты по максимуму тока в контуре при отключении и подключении вольтметра ВК7-26 к емкости контура.

9. С помощью двухлучевого осциллографа снимите фазо-частотную характеристику коэффициента передачи контура. Для этого один вход осциллографа подключите на вход контура (к источнику напряжения), а второй - к выходу (к емкости) контура. Изменяя частоту генератора в окрестности резонанса, как это делалось в пункте 4, установите устойчивое изображение двух гармонических колебаний и определите сдвиг фаз между ними.

Постройте график зависимости сдвига фаз между выходным и входным сигналами от абсолютной расстройки. Проведите те же измерения с включенным добавочным сопротивлением, сравните результаты.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

1. Рассчитайте комплексный коэффициент передачи, АЧХ и ФЧХ четырехполюсников, схемы которых показаны на рис. 3, постройте их графики.

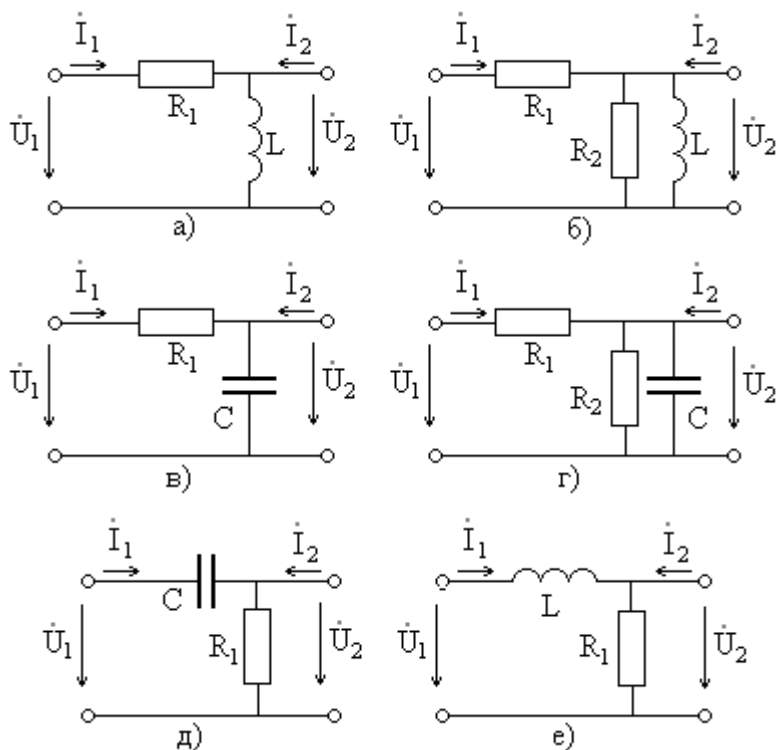


Рис. 3

2. Определите полосу удержания четырехполусников на рис. 24а, рис. 24б и рис. 24д.

3. Определите полосу пропускания четырехполусников на рис. 24в, рис. 24г и рис. 24е.

4. Рассчитайте коэффициент прямоугольности четырехполусников на рис. 24.

5. По данным, приведенным в табл. 10, определите граничные частоты полосы пропускания последовательного колебательного контура с параметрами  $L$ ,  $C$ ,  $r$ , резонансной частотой  $f_c$  и добротностью  $Q$ .

Таблица 10

Вариант	$L$ мкГн	$C$ пФ	$r$ Ом	$f_o$ МГц	$Q$
1	180	-	15	1,5	-
2	-	200	12	1	-
3	140	80	15	-	-
4	200	-	10	-	80
5	-	160	8	-	60
6	150	-	14	-	30
7	100	120	-	-	50
8	140	-	6	1.5	-
9	-	150	18	2	-
10	-	180	12	-	40

6. Определите эквивалентную добротность последовательного колебательного контура из задачи 5 при подключении к его емкости сопротивления нагрузки  $R_H = 50$  кОм.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Цель работы: исследование связи формы и параметров периодических сигналов с их амплитудными и фазовыми спектрами.

#### ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Рабочее окно программы для исследования спектров периодических сигналов показано на рис. 4. В его верхней части изображается временная диаграмма исследуемого сигнала, а в

нижней – спектры амплитуд и фаз. Рабочее разрешение экрана 800×600 пиксель.

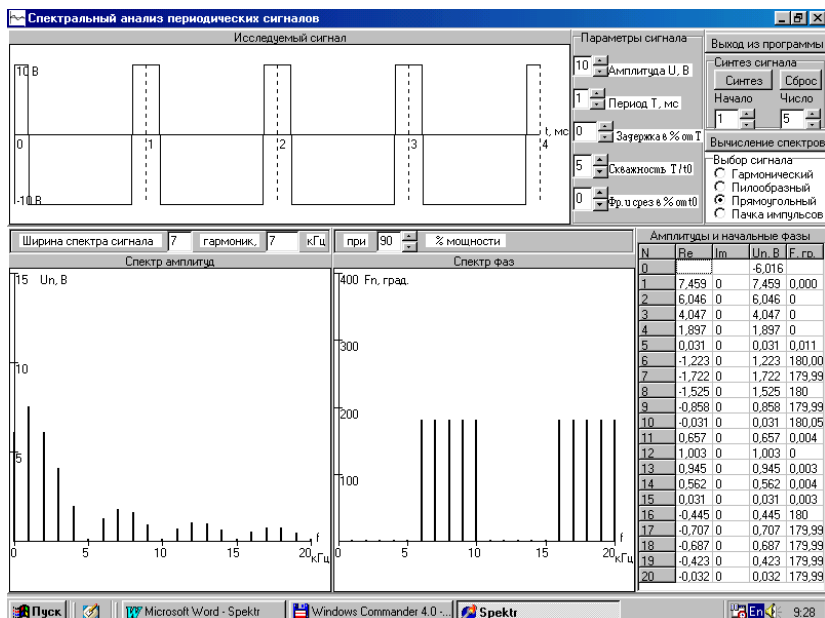


Рис. 4

В правом верхнем углу расположена панель управления программой. На ней расположен переключатель для выбора сигналов и регуляторы их параметров. Все изменения немедленно отображаются на временной диаграмме.

После установки требуемых параметров нажимается кнопка «Вычисление спектров» и на графиках отображаются спектры амплитуд и фаз сигналов. Численные значения амплитуд и фаз первых двадцати гармоник выдаются в таблицу в правой нижней части экрана.

Программа обеспечивает синтез (суммирование гармоник) сигнала по его спектру. Для этого регуляторами задаются начальный номер гармоники и их количество.

Затем нажатием кнопки «Синтез» на временной диаграмме отображается полученная функция времени. Кнопкой «сброс»



график очищается, и переход в режим синтеза возможен после нажатия кнопки «Вычисление спектров».

Программа определяет ширину спектра сигнала при заданном уровне мощности, регулятор которого находится в центре рабочего окна.

Регистрация результатов исследований производится копированием экрана монитора через системный буфер Windows нажатием клавиши «Print screen». После этого изображение вводится в заранее открытый файл редактора Word для формирования отчета по лабораторной работе.

Пример такого перехвата экрана показан на рис. 28.

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Исследуйте спектр гармонического сигнала с амплитудой  $U = 10B$ , периодом  $T = 1мс$  при задержке  $\Delta t = 0$ . Установите задержку  $\Delta t = 25\%$  от периода сигнала  $T$ . Затем установите  $\Delta t = -25\%$  периода.

Сравните спектры амплитуд и фаз этих трех сигналов. Проверьте свойства запаздывания и симметрии сигналов.

2. Выберите пилообразный сигнал при  $U = 10B$ ,  $T = 1мс$ ,  $\Delta t = 0$ , исследуйте его спектры амплитуд и фаз. Обратите внимание на похожесть формы пилообразного и гармонического сигналов. Сравните их спектры.

Установите задержку  $\Delta t = 25\%$  от периода. Сравните спектры смещенного и исходного сигналов, проверьте свойство (теорему) смещения.

3. Исследуйте спектры амплитуд и фаз периодической последовательности прямоугольных импульсов при исходных значениях параметров  $U = 10B$ ,  $T = 1мс$ ,  $\Delta t = 0$ , скважности сигнала  $Q = T/\tau = 2$  ( $\tau$  - длительность импульса) и длительности фронта  $t_\phi = 0$  в процентах от  $\tau$ .

Увеличьте период сигнала до  $T = 2мс$ . Как изменяются спектры амплитуд и фаз? Проверьте свойство изменения временного масштаба сигнала. Рассмотрите влияние на спектры

амплитуд и фаз длительности импульсов, изменяя их скважность  $Q = T / \tau$  от 2 до 10.

Как изменяется при этом ширина спектра при учитываемой доле мощности 90% ( $Ш_{90}$ ) и 99% ( $Ш_{99}$ ), значения которых внесите в табл. 11. Определите ширину спектра  $Ш_0$  по положению первого нуля огибающей спектра.

Постройте графики зависимости ширины спектра от длительности импульса.

Таблица 11

Q	2	3	....	10
$\tau$ , мс				
$Ш_{90}$ , кГц				
$Ш_{99}$ , кГц				
$Ш_0$ , кГц				

4. Проанализируйте спектр пачки из двух импульсов при скважности  $Q = 10$  и произвольной задержке. Этот сигнал можно рассматривать как сумму двух импульсных потоков той же длительности (скважности) при соответствующих смещениях.

Установите эти последовательности прямоугольных импульсов в моделирующей программе, определите их спектры амплитуд и фаз. Для третьей гармоники проверьте свойство линейности спектров. Сделайте выводы. Сравните ширину спектра пачки импульсов и одиночной последовательности.

5. Установите импульсную последовательность при скважности  $Q = 5$ . Проведите синтез этого сигнала при числе гармоник 5, 10, и 30. Сравните результаты, сделайте выводы.

## ДЛЯ ПЫТЛИВЫХ

6. Исследуйте влияние на спектры импульсных сигналов длительности их фронта и среза. Как они влияют на ширину спектра сигнала?

7. Проведите имитационное моделирование в программах MicroCAP или WorkBench спектров произвольных сигналов, например, последовательностей прямоугольных импульсов.

8. Создайте модель фильтра нижних (верхних) частот и проанализируйте изменения спектров проходящих через нее сигналов (прямоугольных импульсов).

9. Проведите численные расчеты спектров рассмотренных в лабораторной работе сигналов в программе MathCAD.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Исследуйте спектры амплитуд сигналов при прохождении последовательности прямоугольных импульсов через фильтрующие цепи. Применительно к RC фильтру нижних частот модель представлена на рис. 5.

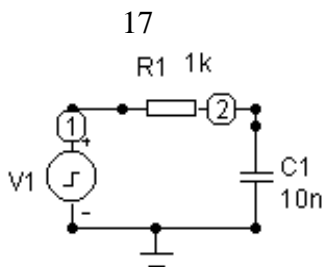


Рис. 5

Проанализируйте частотные характеристики цепи и временные диаграммы сигналов на входе и выходе.

Сравните спектры амплитуд входного и выходного сигналов, проанализируйте влияние параметров цепи, сделайте соответствующие выводы.

Объясните характер наблюдаемых спектров и их отличие от теоретического вида. Как форма спектров связана с длиной реализации сигнала, частотой квантования (этот вопрос выходит за рамки курса ОТЦ)?

Аналогично рассмотрите прохождение того же сигнала через простейший RC фильтр верхних частот и последовательный RLC колебательный контур, проведите анализ результатов моделирования. Соответствующие модели показаны на рис. 6 и 7 соответственно.

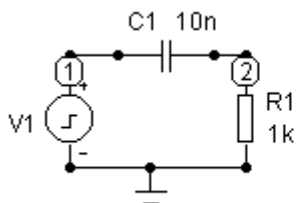


Рис. 6

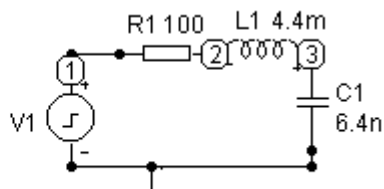


Рис. 7

Проведите исследование спектров сигналов с использованием программы MATHCAD на базе функции fft.

Функция  $\text{fft}(u)$  реализует быстрое преобразование Фурье (БПФ) вида

$$S_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} u_i \cdot \exp\left(j2\pi \frac{n}{N} \cdot i\right), \quad (5)$$

где  $u_i$  – отсчеты сигнала  $u(t)$  в моменты времени  $t_i = i \times \Delta t$ ,  $i$  – номер отсчета,  $\Delta t$  – интервал дискретизации сигнала по времени на периоде колебаний  $T = N \times \Delta t$ ,  $N = 2^m$  – число отсчетов на периоде сигнала ( $m$  – целое число),  $S_n$  – результат БПФ, комплексное число, определяющее  $n$ -ю гармонику сигнала.

Постоянная составляющая спектра сигнала  $U_0$  равна

$$U_0 = \frac{S_0}{\sqrt{N}}, \quad (6)$$

а амплитуда  $n$ -й гармоники  $U_n$  и ее начальная фаза  $\psi_n$  определяются выражениями:

$$U_n = \frac{2|S_n|}{\sqrt{N}}, \quad (7)$$

$$\psi_n = -\arg(S_n). \quad (8)$$

Изменяя параметры сигнала, исследуйте их влияние на спектры амплитуд и фаз, сравните результаты с полученными с помощью пакета MICROCAP.

С помощью пакета MATHCAD рассмотрите влияние изменения амплитуд и начальных фаз гармоник последовательности прямоугольных импульсов на форму временной диаграммы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

6.1. Используя данные табл. 12, из временной диаграммы рис. 33 определите аналитическое выражение временной зависимости  $u(t)$  на интервале одного периода колебаний. Рассчитайте коэффициенты ряда Фурье и постройте график спектра амплитуд для первых пяти гармоник.

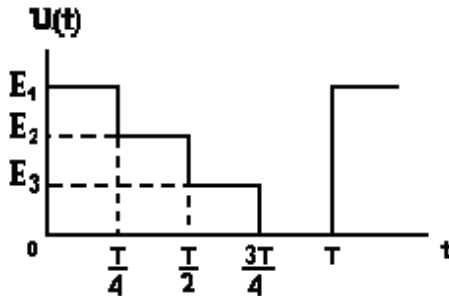


Рис. 8

Таблица 12

Вариант	$E_1$ В	$E_2$ В	$E_3$ В	$T$ мс
1	20	10	0	40
2	20	0	10	20
3	10	20	0	80
4	10	0	20	40
5	-20	10	0	50
6	-20	0	10	40
7	20	20	10	20
8	10	20	10	40
9	20	10	20	50
10	10	20	20	80

6.2. Определите комплексные спектральные плотности, спектры амплитуд и фаз одиночных сигналов, показанных на рис. 9, постройте их графики.

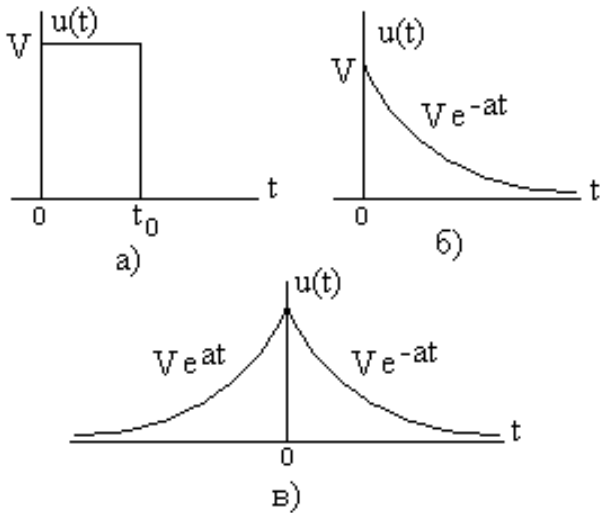


Рис. 9

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Общая электротехника и электроника [Текст]: учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 1. Линейные электрические цепи / Б.В. Матвеев. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет 2006. - 241 с.
2. Матвеев Б.В. Общая электротехника и электроника [Текст]: учеб. пособие/ Б.В. Матвеев. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет, 2009. - 164 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1.....	2
Лабораторная работа № 2.....	8
Лабораторная работа №3.....	14
Библиографический список .....	22



## МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов направления подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения

Составители:

Костюков Александр Сергеевич

Башкиров Алексей Викторович

Компьютерный набор А.С. Костюков

Подписано к изданию

Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14