

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

Н. К. Логвинова, Н. И. Голубенко

**ТЕОРИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

Лабораторный практикум

Часть 1

СПб ГУТ)))

**Санкт-Петербург
2014**

УДК 621.3.011.7(076)
ББК 32.88-01я73
Л69

Рецензент
доцент кафедры ТЭЦ СПбГУТ им. М. А. Бонч-Бруевича
В. Я. Павлов

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом СПбГУТ

Логвинова, Н. К.

Л69 Теория электрических цепей : лабораторный практикум. Часть 1 /
Н. К. Логвинова, Н. И. Голубенко; СПбГУТ. – СПб., 2014. – 36 с.

Приведены задания для самостоятельной подготовки к лабораторным работам, проведения экспериментального исследования и анализа электрических цепей в компьютерном классе, порядок работы с приборами, указания по подготовке к защите и контрольные вопросы для самопроверки.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям: 10.03.01, 12.03.03, 11.03.04, 11.03.01, 11.03.02, 11.03.03, 15.03.04, 27.03.01, 09.03.01; и при подготовке специалистов по специальности 210701.

**УДК 621.3.011.7(076)
ББК 32.88-01я73**

© Логвинова Н. И., Голубенко Н. И., 2014
© Федеральное государственное образовательное
бюджетное учреждение высшего профессионального
образования «Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа 1	
ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА С РЕЗИСТИВНЫМ ВНУТРЕННИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.....	5
Лабораторная работа 2	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ РЕЗИСТИВНОЙ ЦЕПИ. МЕТОД НАЛОЖЕНИЯ.....	9
Лабораторная работа 3	
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ <i>RC</i> -КОНТУРЕ.....	12
Лабораторная работа 4	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК <i>RC</i> И <i>RL</i> ЦЕПЕЙ.....	17
Лабораторная работа 5	
КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗВЕТВЛЕННЫХ <i>RC</i> И <i>RL</i> ЦЕПЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ <i>FASTMEAN</i>	21
Лабораторная работа 6	
КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ <i>FASTMEAN</i>	23
Лабораторная работа 7	
КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО АНАЛОГА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ <i>FASTMEAN</i>	28
Лабораторная работа 8	
АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА.....	31
ПРИЛОЖЕНИЕ	
Краткая инструкция использования программы <i>FASTMEAN</i> для расчета электрических цепей.....	34
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Предназначено для студентов, обучающихся по дисциплинам «Теория электрических цепей» и «Электротехника и электроника», и подготовлено в соответствии с действующей программой.

Выполнение лабораторных работ складывается из следующих этапов: самостоятельная подготовка к работе, работа в экспериментальной лаборатории или моделирование и анализ электрических цепей на персональных компьютерах (ПК), оформление отчета, анализ результатов и защита лабораторной работы.

При подготовке к работе студент должен изучить соответствующий теоретический материал, выполнить предварительный расчет по заданным исходным данным, построить необходимые графики, заготовить таблицы для результатов измерений. Номер варианта соответствует номеру учебного экспериментального стола в лаборатории.

В начале занятий преподаватель проверяет подготовку студентов к работе и дает разрешение на ее выполнение. Студенты, не изучившие теорию или не проделавшие предварительных расчетов, к выполнению работы не допускаются.

По окончании эксперимента необходимо, не разбиная цепи, предъявить преподавателю результаты измерений. Закончив работу, студенты должны разобрать электрическую цепь, выключить приборы и привести в порядок рабочее место.

По окончании работ в компьютерном классе студенты предъявляют преподавателю рассчитанные на ПК графики.

К следующему занятию студент должен оформить отчет по выполненной работе и подготовиться к ее защите.

Отчет по лабораторной работе должен содержать: название работы, схемы измерения с указанием используемых приборов, расчетные формулы, таблицы результатов расчетов и измерений, расчетные и экспериментальные кривые и выводы по работе.

При подготовке к защите студент должен уметь объяснить и оценить полученные в работе результаты, уметь отвечать на контрольные вопросы и решать типовые задачи по теме лабораторной работы.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА С РЕЗИСТИВНЫМ ВНУТРЕННИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

1. Задание на самостоятельную подготовку

1.1. Изучите свойства генератора тока (рис. 1.1,а), генератора напряжения (рис. 1.1,б) и условия их эквивалентности.

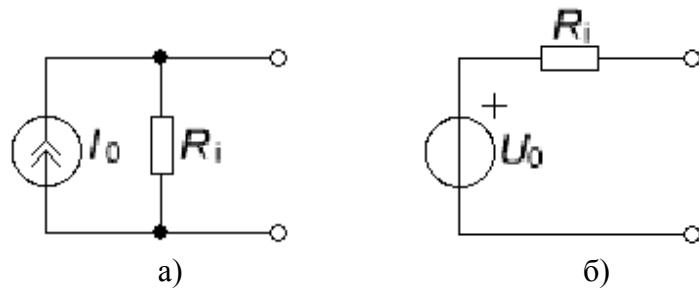


Рис. 1.1

1.2. Для генератора, схема замещения которого представлена на рис. 1.2, рассчитайте нагрузочные характеристики напряжения U_H , тока I_H и мощности P_H в зависимости от величины резистивного сопротивления нагрузки R_H .

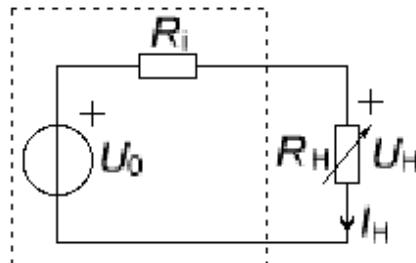


Рис. 1.2

Расчет выполните в относительных единицах:

$$\frac{U_H}{U_{XX}} = \frac{x}{1+x}; \quad \frac{I_H}{I_{K3}} = \frac{1}{1+x}; \quad \frac{P_H}{P_{H\max}} = \frac{4x}{(1+x)^2},$$

где U_{XX} – напряжение холостого хода, I_{K3} – ток короткого замыкания соответственно на разомкнутых и короткозамкнутых зажимах генератора, $x = R_H/R_i$, R_i U_0 – соответственно внутреннее сопротивление и задающее напряжение генератора.

Значения x следует принять равными 0,03; 0,125; 0,5; 1; 2; 8; 32. Результаты расчетов занести в табл. 1.1.

Рассчитанные зависимости оформите в виде графиков, на которых по оси абсцисс отложена величина x в логарифмическом масштабе ($\lg x$).

Таблица 1.1

x	0,03	0,125	0,5	1	2	8	32
$\lg x$							
U_H/U_{XX}							
I_H/I_{K3}							
$P_H/P_{H\max}$							

2. Задание для экспериментальной работы

2.1. Измерьте напряжения холостого хода (рис. 1.3,а), токи короткого замыкания (рис. 1.3,б) и рассчитайте внутренние сопротивления обоих генераторов, входящих в состав макета рабочей стойки, по формуле $R_i = U_{XX}/I_{K3}$.

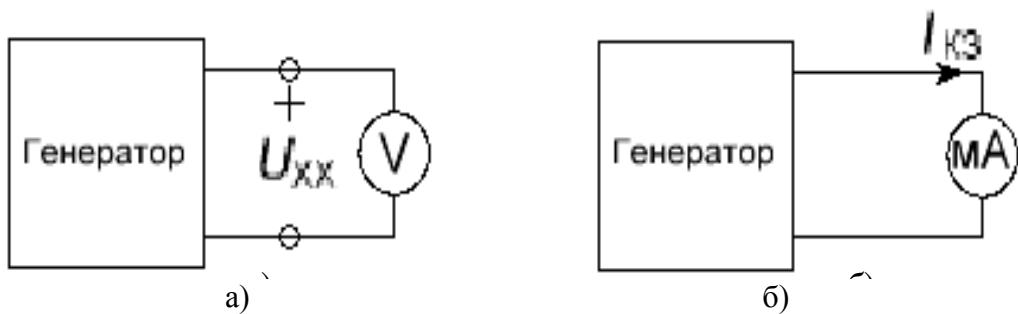


Рис. 1.3

Для генератора тока (рис. 1.1,а) $I_{K3} = I_0$, для генератора напряжения (рис. 1.1,б) $U_{XX} = U_0$.

2.2. Измерьте нагрузочные характеристики по напряжению $U_H = f_1(R_H)$ и по току $I_H = f_2(R_H)$. Для нечетных номеров стоек исследуется генератор тока (рис. 1.1,а), для четных – генератор напряжения (рис. 1.1,б).

Для измерения характеристик:

– в лаборатории (а. 314) соберите поочередно схемы с прибором В7-20, представленные на рис. 1.4;

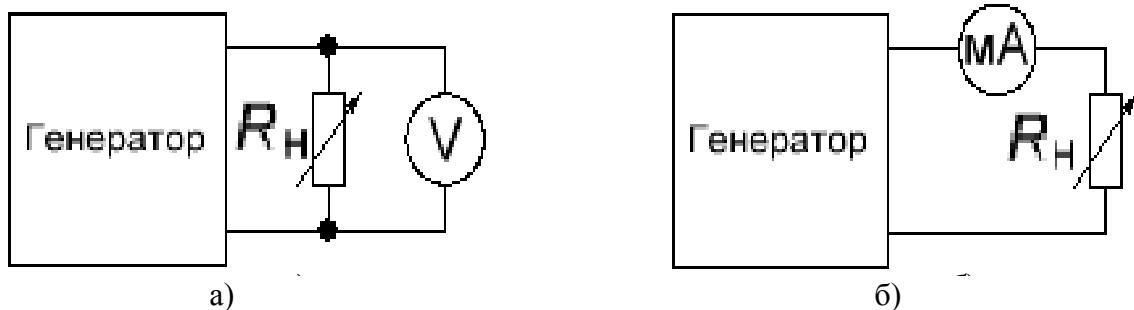


Рис. 1.4

– в лаборатории (а. 316) соберите схему с вольтметром и миллиамперметром, представленную на рис. 1.5.

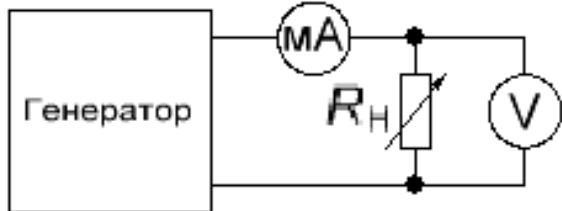


Рис. 1.5

Измерьте U_H и I_H для значений R_H , приведенных в табл. 1.2. Результаты измерений занесите в табл. 1.2.

Таблица 1.2

		$I_{K31} =$						$R_{i1} =$					
		$I_{K32} =$						$R_{i2} =$					
		R_H , Ом	3	6	13	27	51	100	200	430	820	1,6к	3,2к
Измерить	U_H , В												
	I_H , мА												
Рассчитать по результатам измерений	U_H/U_{XX}												
	I_H/I_{K3}												
	$P_H = U_H \cdot I_H$, мВт												
	$P_H/P_{H \text{ макс}}$												
Вычислить	$\lg(R_H/R_i)$												

2.3. Порядок работы с прибором В7-20.

2.3.1. В цепи, схема которой представлена на рис. 1.4,а, когда прибор В7-20 используется в качестве вольтметра, переключатель «Род работы» установите в положение «V». Переключатель «Предел» установите в положение «10», при этом прибор может измерять напряжения от 0 до 10 В. Шнур прибора подключите к клеммам «0» и «1-10». Тумблером «Сеть» включите напряжение питания. При высвечивании на индикаторе индекса «П» (перегрузка) провод с клеммы «1-10» перенесите на клемму «100», а переключатель «Предел» переведите в положение «100».

2.3.2. В цепи, схема которой представлена на рис. 1.4,б, когда прибор В7-20 используется в качестве миллиамперметра, переключатель «Род работы» установите в положение «mA». Переключатель «Предел» установите в положение «1000», при этом прибор может изменять токи от 0 до 1000 мА. Шнур прибора подключите к клеммам «0» и «IR».

3. Указания по подготовке к защите

3.1. По результатам измерений рассчитайте нагрузочные характеристики по напряжению U_H/U_{XX} и току I_H/I_{K3} в относительных единицах. Результаты занесите в табл. 1.2.

3.2. По результатам измерений рассчитайте в абсолютных величинах (мВт) нагрузочную характеристику по мощности $P_H = U_H \cdot I_H$.

Для расчета нагрузочной характеристики по мощности в относительных единицах $P_H/P_{H \text{ макс}}$ нужно рассчитать максимальную мощность в нагрузке $P_{H \text{ макс}}$ в согласованном режиме при $R_H = R_i$. Формулы расчета для генератора напряжения приведены на рис. 1.6,а, а для генератора тока – на рис. 1.6,б.

Результаты занесите в табл. 1.2.

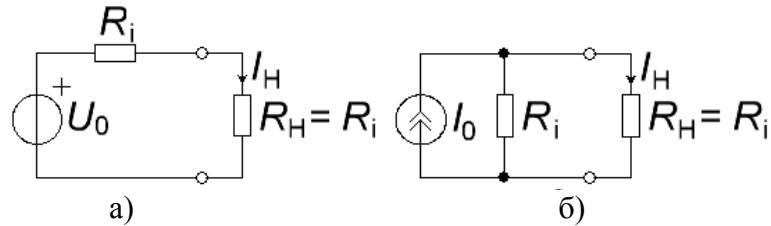


Рис. 1.6

$$I_H = \frac{U_0}{2R_i}, \quad U_H = \frac{U_0}{2R_i} \cdot R_i = \frac{U_0}{2},$$

$$I_H = \frac{I_0}{2}, \quad U_H = I_H R_i = \frac{I_0 R_i}{2},$$

$$P_{H \text{ макс}} = U_H I_H \Big|_{R_H=R_i} = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{U_0}{2R_i} = \frac{U_0^2}{4R_i},$$

$$P_{H \text{ макс}} = U_H I_H \Big|_{R_H=R_i} = \frac{I_0 R_i}{2} \cdot \frac{I_0}{2} = \frac{I_0^2 R_i}{4},$$

$$\text{где } U_0 = U_{XX}, \quad R_i = \frac{U_{XX}}{I_{K3}}.$$

$$\text{где } I_0 = I_{K3}, \quad R_i = \frac{U_{XX}}{I_{K3}}.$$

3.3. Значения экспериментально полученных нагрузочных характеристик в относительных единицах нанесите точками на теоретические графики, построенные в соответствии с п. 1.2 задания.

3.4. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- схемы измерений,
- расчетные формулы и таблицу результатов предварительного расчета,
- таблицу результатов эксперимента,
- графики рассчитанных и измеренных нагрузочных характеристик,
- выводы.

Контрольные вопросы

1. При каких условиях генератор электрической энергии можно считать источником напряжения, а при каких – источником тока?
2. При каких условиях электрические цепи можно считать эквивалентными?
3. Как пересчитать генератор с источником напряжения в эквивалентный ему генератор с источником тока и наоборот?
4. Какой режим работы генератора называется согласованным? Чем он характерен?

5. Как экспериментально определить параметры генератора с резистивным внутренним сопротивлением: задающее напряжение U_0 , задающий ток I_0 , внутренне сопротивление R_i ?

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ РЕЗИСТИВНОЙ ЦЕПИ. МЕТОД НАЛОЖЕНИЯ

1. Задание на самостоятельную подготовку

- 1.1. Изучите законы Кирхгофа и принцип наложения (суперпозиций).
- 1.2. Изучите порядок анализа линейных резистивных цепей методом наложения.
- 1.3. Используя метод наложения, рассчитайте токи I_1 , I_2 и напряжения U_{10} , U_{20} , U_{21} в цепи, схема которой представлена на рис. 2.1.

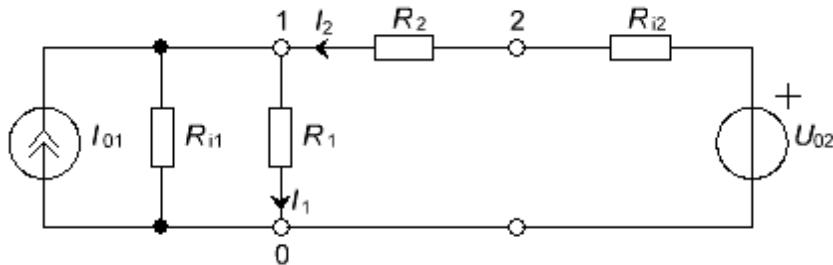


Рис. 2.1

Исходными данными для расчета служат значения резистивных сопротивлений, приведенные в табл. 2.1, и параметры генераторов, найденные в ЛР 1, причем $I_{01} = I_{K31}$, $U_{02} = U_{XX2}$.

Таблица 2.1

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R_1 , Ом	100	100	20	20	40	40	60	60	60	60	60	60	33,4	50
R_2 , Ом	33,4	50	33,4	50	33,4	50	33,4	50	10	20	40	33,4	100	100

Для расчета цепи (рис. 2.1) методом наложения нарисуйте две схемы замещения с каждым генератором в отдельности (рис. 2.2) и покажите в них направления частичных токов. Вместо исключительных источников покажите их внутренние сопротивления.

Расчеты в обеих схемах выполните методом эквивалентных преобразований.

Для расчета цепи (рис. 2.2,а) используйте формулы:

$$G_{\Theta} = \frac{1}{R_{\Theta}} = \frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + R_{i2}}, \quad U'_{10} = I_{01} \cdot R_{\Theta}, \quad I'_1 = \frac{U'_{10}}{R_1}, \quad I'_2 = \frac{U'_{10}}{R_2 + R_{i2}}.$$

Для расчета цепи (рис. 2.2,б) используйте формулы:

$$R_{\Theta} = \frac{R_1 R_{i1}}{R_1 + R_{i1}} + R_2 + R_{i2}, \quad I''_2 = \frac{U_{02}}{R_{\Theta}}, \quad I''_1 = I''_2 \frac{R_{i1}}{R_{i1} + R_1}.$$

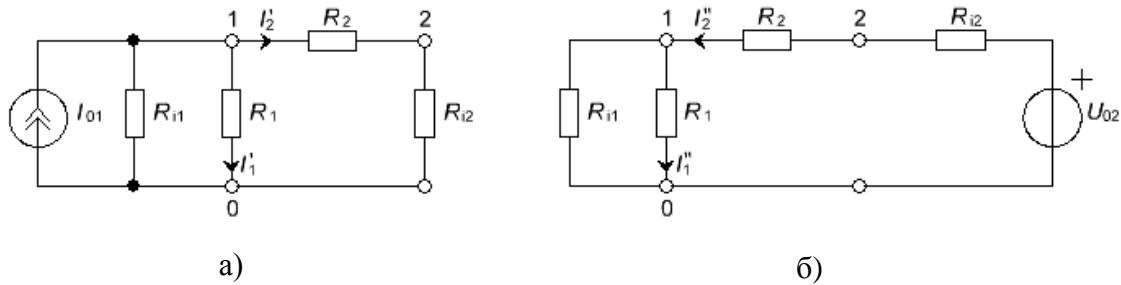


Рис. 2.2

В цепи (рис. 2.1) рассчитайте токи I_1 , I_2 и напряжения U_{10} , U_{20} , U_{21} по формулам:

$$I_1 = I_1' + I_1'', \quad I_2 = -I_2' + I_2'', \quad U_{10} = I_1 R_1, \quad U_{21} = I_2 R_2, \quad U_{20} = U_{21} + U_{10}.$$

Результаты расчета занесите в графу «Предварительный расчет» табл. 2.2.

1.4. Ознакомьтесь со схемой эксперимента, представленной на рис. 2.3.

2. Задание для экспериментальной работы

2.1. Соберите цепь, схема которой представлена на рис. 2.3.

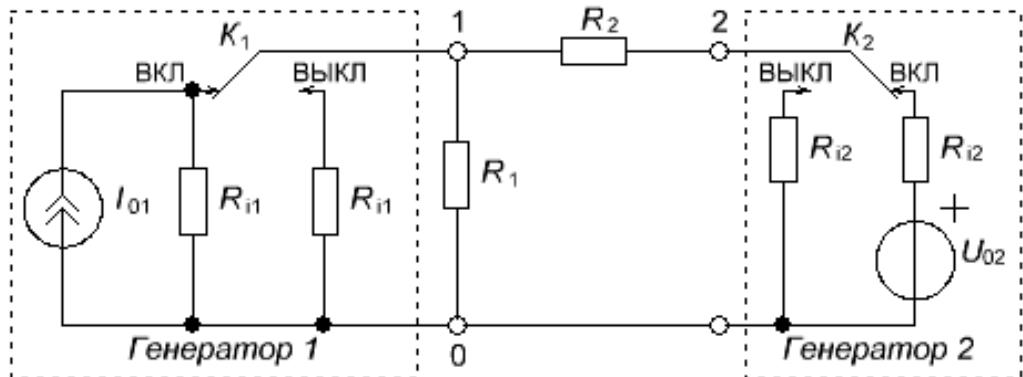


Рис. 2.3

2.2. Прибор В7-20 в режиме измерения постоянного тока включите последовательно с резистором R_1 . Ключи K_1 и K_2 переведите в положение «ВКЛ» и измерьте полный ток I_1 . Ключ K_2 переведите в положение «ВЫКЛ» и измерьте частичный ток I_1' . Ключ K_2 переведите в положение «ВКЛ», K_1 – в положение «ВЫКЛ» и измерьте частичный ток I_1'' . Результаты измерений занесите в графу «Эксперимент» табл. 2.2.

2.3. Прибор В7-20 включите последовательно с резистором R_2 и аналогичным образом измерьте полный ток I_2 и частичные токи I_2' и I_2'' . Результаты измерений занесите в графу «Эксперимент» табл. 2.2.

2.4. Переведите прибор В7-20 в режим измерения постоянного напряжения, и при положении «ВКЛ» ключей K_1 и K_2 измерьте U_{10} , U_{20} , U_{21} . Результаты измерения занесите в графу «Эксперимент» табл. 2.2.

Таблица 2.2

Величина	I_1' , мА	I_1'' , мА	I_2' , мА	I_2'' , мА	I_1 , мА	I_2 , мА	U_{10} , В	U_{21} , В	U_{20} , В
Предварит. расчет									
Эксперимент									

3. Указания по подготовке к защите

3.1. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- схему исследуемой цепи,
- предварительный расчет,
- таблицу результатов расчета и эксперимента,
- выводы.

3.2. Подготовьтесь к решению задач, отражающих основное содержание работы.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Кирхгофа.
2. Сколько линейно-независимых уравнений можно составить по первому и второму закону Кирхгофа?
3. Сформулируйте принцип наложения. Какие цепи подчиняются этому принципу?
4. Какой порядок расчета линейных электрических цепей методом наложения?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ *RC*-КОНТУРЕ

1. Задание на самостоятельную подготовку

1.1. Изучите режим гармонических колебаний в простейших электрических цепях.

1.2. Рассчитайте величину емкости C в цепи, схема которой приведена на рис. 3.1, при которой ток $i(t)$ опережает по фазе приложенное напряжение $u_0(t)$ на угол $\varphi = 45^\circ$, учитывая, что

$$|\varphi| = \arctg \frac{x_C}{R} = \arctg \frac{1}{\omega CR}, \quad \omega = 2\pi f.$$

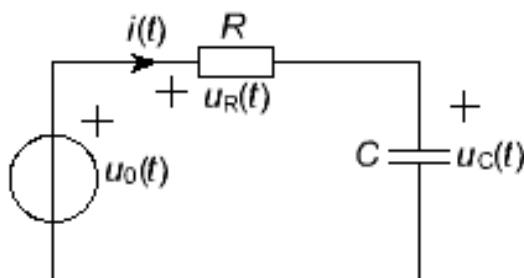


Рис. 3.1

Значения R и f приведены в табл. 3.1. Вычисленное значение емкости C занесите в графу «теоретический расчет» табл. 3.2.

Таблица 3.1

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R , Ом	106	142	234	98	144	228	101	143	234	102	98	212	105	144
f , кГц	4	8	6	5	7	10	12	4	8	13	9	6	5	11

1.3. Рассчитайте для входного напряжения $u_0(t) = \sqrt{2} \cos 2\pi ft$ действующие значения тока I и напряжения U_R и U_C в цепи, схема которой приведена на рис. 3.1, для заданных значений R, f по формулам:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C}, \quad I = \frac{U}{Z}, \quad U_R = IR, \quad U_C = IX_C.$$

Постройте в масштабе треугольник напряжений и укажите угол φ .

Выполните аналогичные расчеты для $C_1 = 0,1 C$.

Результаты расчетов занесите в графу «теоретический расчет» табл. 3.2.

1.4. Познакомьтесь со схемами эксперимента, представленными на рис. 3.2.

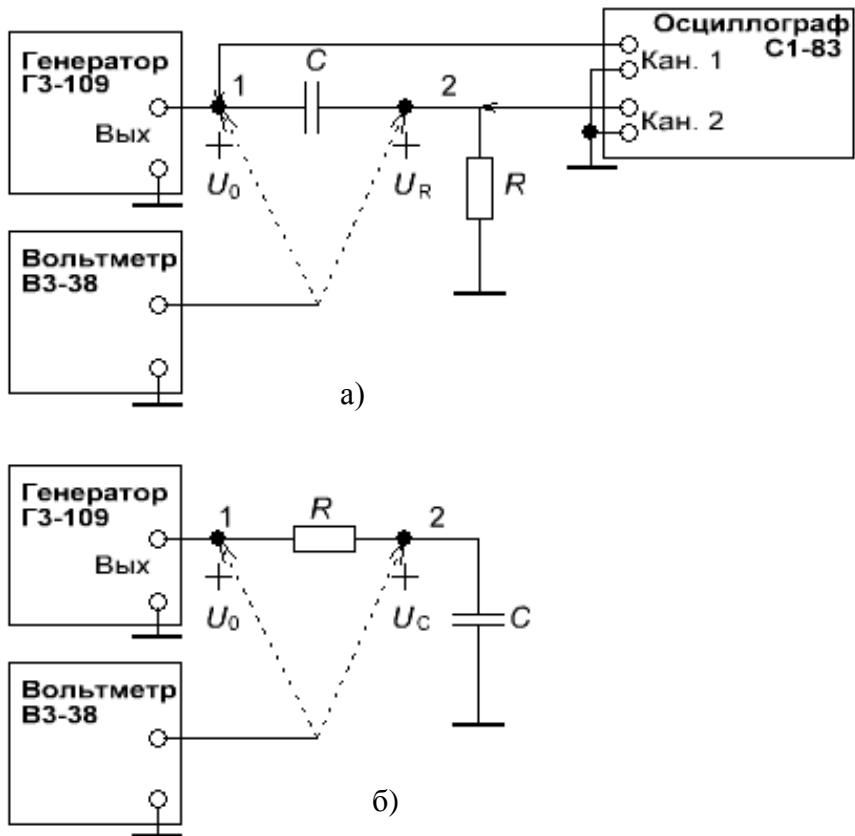


Рис. 3.2

Таблица 3.2

Величина	R , Ом	f , кГц	C , мкФ	U_R , В	U_C , В	I , мА	I_T , дел	I_ϕ , дел	$ \phi $, °
Теор. расчет			C				—	—	45
			$0,1C$				—	—	
Эксперимент			C				—	—	
			$0,1C$				—	—	

2. Задание для экспериментальной работы

- 2.1. Соберите цепь, схема которой представлена на рис. 3.2,а.
- 2.2. Включите и настройте генератор гармонических колебаний Г3-109.
 - 2.2.1. Ручку «регулировка выхода» установите в крайнее левое положение, что соответствует отсутствию напряжения на выходе генератора.
 - 2.2.2. Ручку «нагрузка Ω » установите в положение «АТТ».
 - 2.2.3. Тумблер «СЕТЬ» установите в положение «ВКЛ» и прогрейте прибор в течение 10 мин.
 - 2.2.4. Ручкой плавной установки частоты и переключателем «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» установите заданное значение f .
 - 2.2.5. Аттенюатор установите в положение «1,5 В».
- 2.3. Включение и регулировка вольтметра В3-38.

2.3.1. Переключатель пределов измерения установите в положение 30 В.

2.3.2. Тумблеров «СЕТЬ» включите прибор и прогрейте в течение 10 мин.

2.3.3. Переключатель пределов измерения установите в положение, при котором измеряемое напряжение будет находиться в правой трети шкалы стрелочного индикатора.

2.4. Установите ручкой «РЕГУЛИРОВКА ВЫХОДА» генератора Г3-109 напряжение 1 В в точке 1, подключив в эту точку вольтметр В3-38.

2.5. Измерьте вольтметром В3-38 напряжение U_R в точке 2 цепи и вычислите ток I по закону Ома. Занесите эти значения в графу «Эксперимент» табл. 3.2.

2.6. Включение и настройка осциллографа С1-83.

2.6.1. Включите прибор, вытянув тумблер «ПИТАНИЕ» на себя, и прогрейте в течение 10 мин.

2.6.2. Переключатели входов обоих каналов установите в положение « \approx ».

2.6.3. Кнопочный переключатель режима работы установите в положение « $\rightarrow\rightarrow$ » при котором на экране осциллографа совмещаются изображения колебаний, подаваемых на входы обоих каналов.

2.6.4. Ручками « \uparrow » совместите линии горизонтальной развертки обоих каналов на середине экрана при выведенной влево ручке «РЕГУЛИРОВКА ВЫХ» генератора Г3-109, т. е. при отсутствии сигналов на входах каналов осциллографа.

2.6.5. После установки на выходе генератора напряжения 1 В установите режимы синхронизации осциллографа «ВНУТР.1», «+», «АВТ». Ручкой «УРОВЕНЬ» добейтесь устойчивого изображения.

2.6.6. Ручками развертки «время/дел» и « \leftrightarrow » установите период колебаний, равный 8 делениям.

2.7. Перенесите кабель канала 2 из точки 2 цепи в точку 1. Переключателями « $U/\text{дел}$ » и ручками « \blacktriangleright » совместите изображения колебаний обоих каналов и установите их размах, равный 6 делениям. Верните кабель канала 2 в точку 2.

Снимите на кальку осциллограмму исследуемых гармонических колебаний.

2.8. Ручками « $U_1/\text{дел}$ » и « $U_2/\text{дел}$ » установите размах колебаний по обоим каналам, равный 6 делениям.

На экране осциллографа должно быть устойчивое изображение входного напряжения $u_0(t)$ и напряжения на резисторе $u_R(t)$ с одинаковыми амплитудами (рис. 3.3). Последнее позволит определить сдвиг по фазе между ними с меньшей погрешностью.

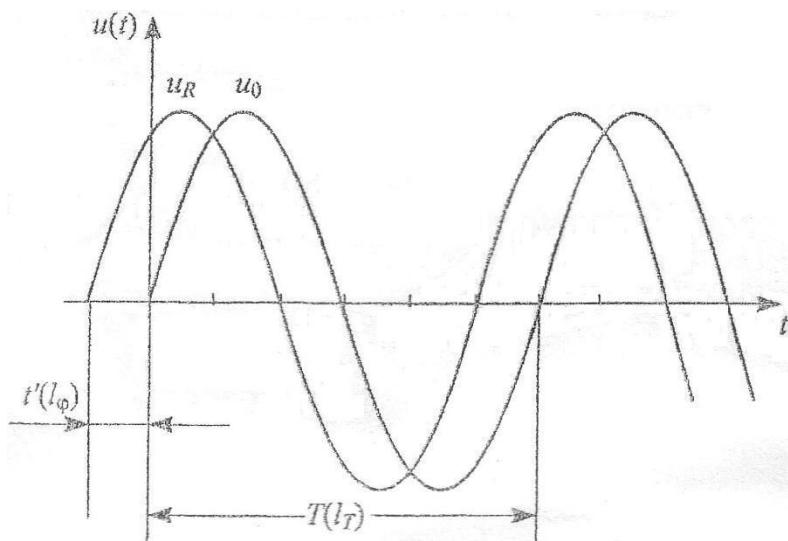


Рис. 3.3

По экрану осциллографа определите число делений l_T , соответствующее периоду колебаний, и число делений l_ϕ , соответствующее сдвигу фаз между напряжениями $u_0(t)$ и $u_R(t)$. Занесите их значения в графу «Эксперимент» табл. 3.2 и вычислите сдвиг по фазе между напряжениями по формуле:

$$\varphi = \frac{l_\phi}{l_T} \cdot 360^\circ.$$

2.9. Установите значение емкости $C_1 = 0,1\text{C}$ и повторите пп. 2.4, 2.5, 2.7 и 2.8.

2.10. Соберите цепь, схема которой приведена на рис. 3.2,б, установите на входе цепи (в точке 1) напряжение 1 В и измерьте напряжение U_C (в точке 2) для рассчитанной емкости C и для $C_1 = 0,1\text{C}$. Результаты измерений занесите в графу «Эксперимент» табл. 3.2.

3. Указания по подготовке к защите

3.1. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- предварительный расчет,
- схемы измерений,
- таблицу теоретических и экспериментальных данных,
- осциллограммы исследуемых колебаний,
- векторные диаграммы для анализируемой цепи при двух значениях емкости,
- выводы.

3.2. Подготовьтесь к ответу на вопросы и решению типовых задач, отражающих основное содержание работы.

Контрольные вопросы

1. Какие токи и напряжения называются гармоническими? Какими параметрами они характеризуются?
2. Что называют действующим значением периодического колебания? Чему равно действующее значение гармонического тока или напряжения?
3. Какими соотношениями связаны амплитуды (действующие значения) гармонических тока и напряжения на резистивном сопротивлении, индуктивности, емкости?
4. Как сдвинуты по фазе ток и напряжение на резистивном сопротивлении, индуктивности, емкости?
5. Что называют векторной диаграммой цепи? Постройте векторные диаграммы последовательных и параллельных контуров RC , RL , RLC на разных частотах.

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК RC И RL ЦЕПЕЙ

1. Задание на самостоятельную подготовку

1.1. Изучите теоретические основы, связанные с частотными характеристиками электрических цепей.

1.2. Рассчитайте АЧХ и ФЧХ цепей, схемы которых приведены на рис. 4.1.

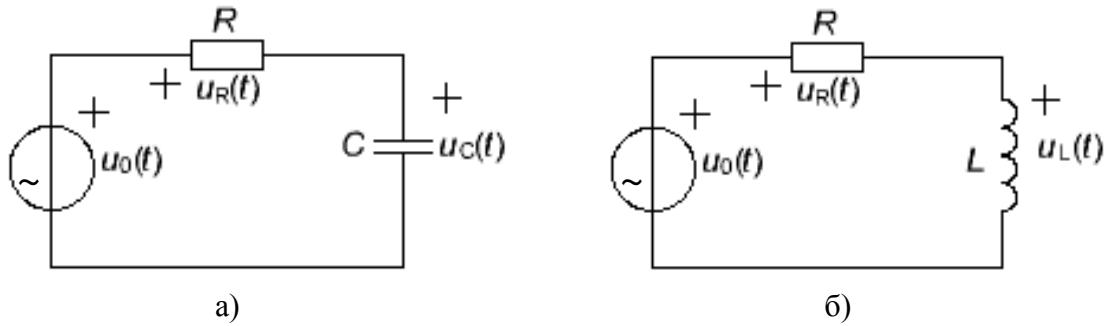


Рис. 4.1

Расчет выполните по формулам:

$$|H_1(j\omega)| = \frac{U_C}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + k_1^2}}, \quad \theta_1(\omega) = -\arctg(\omega RC) = -\arctg k_1,$$

$$|H_2(j\omega)| = \frac{U_L}{U_0} = \frac{\frac{\omega L}{R}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}} = \frac{k_2}{\sqrt{1 + k_2^2}}, \quad \theta_2(\omega) = 90^\circ - \arctg \frac{\omega L}{R} = 90^\circ - \arctg k_2,$$

где $k_1 = \omega RC$, $k_2 = \frac{\omega L}{R}$.

Расчет проведите для $k = k_1 = k_2 = 0,25; 0,5; 1; 2; 4$. Результаты расчета занесите в графу «предварительный расчет» табл. 4.2.

1.3. Вычислите значения частот $f_k = kf_0$, при которых будут выполняться измерения. При этом $f_0 = 1 / 2\pi RC$ для цепи RC , $f_0 = R / 2\pi L$ для цепи RL . Значения R , C , L приведены в табл. 4.1. Расчет проведите для $k = 0,25; 0,5; 1; 2; 4$. Результаты расчета занесите в графу «Эксперимент» табл. 4.2.

Таблица 4.1

Вариант	Лаборатория 1 (ауд. 314)			Лаборатория 2 (ауд. 316)		
	R	C	L	R	C	L
	Ом	мкФ	мГн	Ом	мкФ	мГн
1	544	0,0098	4,580	488	0,0109	1,770

2	234	0,0213	4,632	232	0,0214	4,619
---	-----	--------	-------	-----	--------	-------

Окончание табл. 4.1

Вариант	Лаборатория 1 (ауд. 314)			Лаборатория 2 (ауд. 316)		
	<i>R</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>R</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
	Ом	мкФ	мГн	Ом	мкФ	мГн
3	234	0,0200	3,130	488	0,0116	4,800
4	480	0,0138	2,198	233	0,0278	2,320
5	559	0,0158	3,200	494	0,0101	4,655
6	100	0,0398	1,627	470	0,0141	1,860
7	503	0,0144	4,458	232	0,0191	2,310
8	488	0,0163	2,280	484	0,0117	3,350
9	472	0,0141	4,770	230	0,0182	4,540
10	462	0,0157	4,654	475	0,0140	1,800
11	234	0,0352	2,211	496	0,0146	4,120
12	143	0,0398	2,306	231	0,0230	1,830
13	488	0,0109	1,770	544	0,0098	4,580
14	232	0,0214	4,619	234	0,0213	4,632

Таблица 4.2

		$k = f_k / f_0$	0,25	0,5	1	2	4
Предварительный расчет	$ H_1(j\omega) $						
	$ H_2(j\omega) $						
	$\theta_1(\omega), {}^\circ$						
	$\theta_2(\omega), {}^\circ$						
Эксперимент	Установить для цепи RC	$f_k = kf_0, \text{ Гц}$					
	Измерить	$U_C = H_1(j\omega) $					
	Установить для цепи RL	$f_k = kf_0, \text{ Гц}$					
	Измерить	$U_L = H_2(j\omega) $					
	Рассчитать по результатам измерений	$\theta_1(\omega), {}^\circ$					
		$\theta_2(\omega), {}^\circ$					

1.4. Познакомьтесь со схемами эксперимента, представленными на рис. 4.2 и 4.3.

2. Задание для экспериментальной работы

- 2.1. Соберите цепь, схема которой представлена на рис. 4.2.
- 2.2. Измерьте напряжение U_C (в точке 2 цепи) на частотах $f_k = kf_0$, вычисленных в п. 1.3, устанавливая на каждой частоте выходное напряжение генератора Г3-109 (точка 1 цепи) равным $U_0 = 1 \text{ В}$.

Порядок работы с прибором Г3-109 и В3-38 описан в ЛР 3 (пп. 2.2 и 2.3).

Результаты измерений занесите в графу «Эксперимент» табл. 4.2.

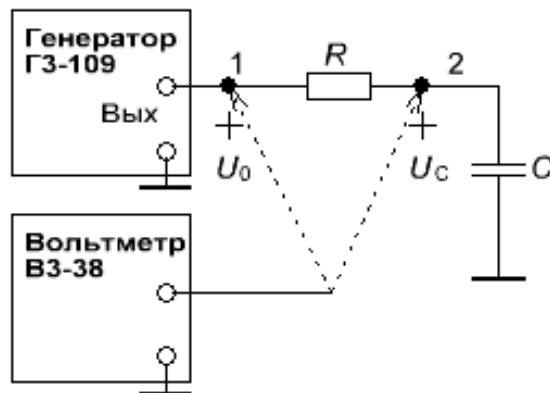


Рис. 4.2

2.3. Соберите цепь, схема которой представлена на рис. 4.3.

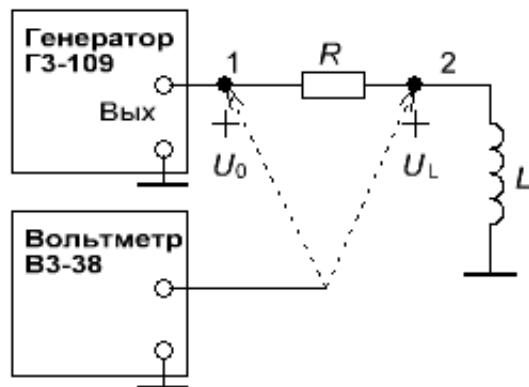


Рис. 4.3

2.4. Измерьте напряжение U_L (в точке 2 цепи) на частотах $f_k = kf_0$, вычисленных в п. 1.3, устанавливая на каждой частоте выходное напряжение генератора Г3-109 (точка 1 цепи) равным $U_0 = 1$ В. Результаты измерений занесите в графу «Эксперимент» табл. 4.2.

2.5. По результатам измерений вычислите $|\theta_1(\omega)| = \arccos U_C$, $|\theta_2(\omega)| = \arccos U_L$ и занесите в табл. 4.2 с учетом знаков.

3. Указания по подготовке к защите

3.1. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- схемы измерений,
- расчетные формулы,
- таблицу теоретических и экспериментальных данных,

- графики АЧХ и ФЧХ, полученные в результате теоретического расчета и эксперимента,
- выводы.

Отметьте на графике полосы пропускания RC и RL цепей и укажите, какая из цепей является фильтром нижних частот, а какая – верхних частот.

3.2. Подготовьтесь к ответу на вопросы и решению типовых задач, отражающих основное содержание работы.

Контрольные вопросы

1. Что называется комплексной передаточной функцией цепи $H(j\omega)$?
2. Дайте определение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик цепи. Как они связаны с комплексной передаточной функцией?
3. Что называют полосой пропускания цепи? Как ее найти по графику АЧХ?
4. Как найти реакцию цепи на гармоническое воздействие, если известна комплексная передаточная функция цепи $H(j\omega)$?
5. Во сколько раз изменится выходная мощность цепи при уменьшении АЧХ в $\sqrt{2}$ раз?

Лабораторная работа 5

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗВЕТВЛЕННЫХ RC И RL ЦЕПЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ *FASTMEAN*

1. Задание на самостоятельную подготовку

1.1. Изучите вопросы, связанные с определением и расчетом частотных характеристик электрических цепей.

1.2. Выберите в табл. 5.1 номера исследуемых цепей в соответствии со своим вариантом.

Таблица 5.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Номера исследуемых цепей	1, 4	2, 3	4, 5	4, 6	1, 6	2, 6	5, 6	4, 3	3, 5	3, 6	1, 2	2, 5

1.3. Выберите в табл. 5.2 схемы исследуемых цепей, выведите аналитические выражения и постройте примерные графики АЧХ и ФЧХ этих цепей.

Таблица 5.2

Вариант	Схема цепи	Данные	Вариант	Схема цепи	Данные
1		$R = 100 \text{ Ом}$, $L = 1 \text{ мГн}$	4		$R = 100 \text{ Ом}$, $L = 0,25 \text{ мГн}$
2		$R = 100 \text{ Ом}$, $C = 0,025 \text{ мкФ}$	5		$R = 100 \text{ Ом}$, $C = 0,1 \text{ мкФ}$
3		$R = 100 \text{ Ом}$, $L = 0,353 \text{ мГн}$	6		$R = 100 \text{ Ом}$, $C = 0,07 \text{ мкФ}$

1.4. Рассчитайте значения граничных частот $f_{\text{ГР}}$ полос пропускания исследуемых цепей из условия

$$|H(j\omega_{\text{ГР}})| = \frac{|H(j\omega)|_{\text{max}}}{\sqrt{2}}, \quad f_{\text{ГР}} = \frac{\omega_{\text{ГР}}}{2\pi}.$$

2. Задание для работы в компьютерном классе

2.1. Войдите в ОС Windows. Двойным нажатием левой кнопки мыши загрузите программу *FASTMEAN*. Описание работы с программой приведено в приложении настоящих методических указаний.

2.2. Постройте на экране дисплея схему первой из анализируемых цепей (пп. 1, 2 приложения). Задайте значения ее параметров.

2.3. Рассчитайте частотные характеристики цепи (пп. 3, 4 приложения) в линейном масштабе и перерисуйте их с экрана дисплея вместе с масштабной сеткой.

При установке нижней и верхней частот исследуемого диапазона следует руководствоваться соответственно значениями 1 Гц и 10 МГц. Указанные значения в дальнейшем следует откорректировать так, чтобы на экране дисплея достаточно хорошо отображались основные особенности АЧХ и ФЧХ исследуемой цепи. Выберите число расчетных точек равным 1000.

2.4. Найдите с помощью линейки значение граничной частоты $f_{ГР}$ полосы пропускания цепи по графику АЧХ. Покажите на графике полосу пропускания цепи.

2.5. Повторите пп. 2.2–2.4 для второй цепи Вашего варианта.

3. Указания по подготовке к защите

3.1. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- схемы исследуемых цепей,
- вывод расчетных формул для АЧХ и ФЧХ каждой цепи, расчет $f_{ГР}$,
- примерные графики АЧХ и ФЧХ анализируемых цепей,
- графики частотных характеристик, рассчитанные на ПК, с указанием на них $f_{ГР}$ и полосы пропускания,
- выводы.

3.2. Подготовьтесь к ответу на вопросы и решению типовых задач, отражающих основное содержание работы.

Контрольные вопросы

1. Что называется комплексной передаточной функцией цепи $H(j\omega)$?
2. Дайте определение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик цепи. Как они связаны с комплексной передаточной функцией?
3. Что называют полосой пропускания цепи? Как ее найти по графику АЧХ?
4. Как найти реакцию цепи на гармоническое воздействие, если известна комплексная передаточная функция цепи $H(j\omega)$?
5. Во сколько раз изменится выходная мощность цепи при уменьшении АЧХ в $\sqrt{2}$ раз?

Лабораторная работа 6

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ *FASTMEAN*

1. Задание на самостоятельную подготовку

1.1. Изучите теоретические вопросы, связанные с явлением резонанса в последовательном колебательном контуре.

1.2. Рассчитайте резонансную частоту f_0 , добротность Q и ширину полосы пропускания $2\Delta f^*$ последовательного колебательного контура, схема которого приведена на рис. 6.1, по формулам

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \text{ Гц}; \quad Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R}; \quad 2\Delta f^* = \frac{f_0}{Q}, \text{ Гц.}$$

Значения параметров контура приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Вариант	R , Ом	L , мГн	C , мкФ
1	39,80	3,170	0,500
2	25,20	2,000	0,790
3	50,00	4,000	0,396
4	33,16	2,640	0,600
5	43,95	3,500	0,453
6	56,50	4,500	0,352
7	28,40	2,264	0,700
8	66,00	5,280	0,300
9	36,18	2,880	0,550

1.3. Рассчитайте частоты $f_{\max L}$ и $f_{\max C}$, при которых напряжения индуктивности U_L и емкости U_C максимальны:

$$f_{\max L} = \frac{f_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}}, \text{ Гц}; \quad f_{\max C} = f_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}, \text{ Гц.}$$

1.4. Рассчитайте на резонансной частоте значения амплитудно-частотных характеристик, соответствующих передаточным функциям:

$$H_R(j\omega) = \frac{\dot{U}_R}{\dot{U}_1}, \quad H_C(j\omega) = \frac{\dot{U}_C}{\dot{U}_1}, \quad H_L(j\omega) = \frac{\dot{U}_L}{\dot{U}_1}.$$

Результаты расчетов занесите в графу «Предварительный расчет» табл. 6.2.

Таблица 6.2

Предварительный расчет	Значение R	f_0	Q	$2\Delta f^*$	$f_{\max L}$	$f_{\max C}$	$ H_R(j\omega_0) $	$ H_C(j\omega_0) $	$ H_L(j\omega_0) $
	Ом	Гц	—	Гц	Гц	Гц	—	—	—
	R								
Результаты расчета на ПК	R								
	$0,55R$			—	—		—	—	
	$0,1R$								

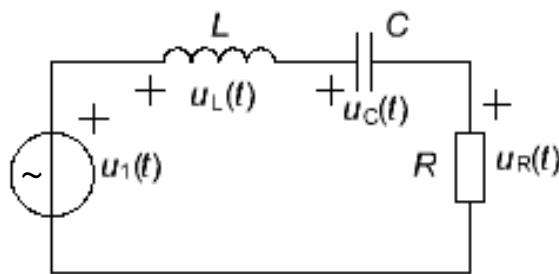


Рис. 6.1

2. Задание для работы в компьютерном классе

2.1. Войдите в ОС Windows. Двойным нажатием левой кнопки мыши загрузите программу *FASTMEAN*. Описание работы с программой приведено в приложении настоящих методических указаний.

2.2. Постройте на экране дисплея схему последовательного колебательного контура, приведенную на рис. 6.1, задайте значения параметров элементов (пп. 1, 2 приложения).

2.3. Рассчитайте и исследуйте влияние величины сопротивления R на частотные характеристики цепи, рассматривая в качестве выходной величины напряжение на резистивном сопротивлении R :

$$|H_R(j\omega)| = \frac{U_R}{U_1}, \quad \theta_R(\omega) = \arg(H_R(j\omega))$$

в диапазоне частот $100 \text{ Гц} \leq f \leq 10 \text{ кГц}$ (пп. 3, 4 приложения), выбрав число расчетных точек равным 1000. Для изменения параметра R используйте опцию «параметр» в меню «Расчет частотных характеристик» (п. 5 приложения). В качестве начального значения R введите уменьшенное в 10 раз – $0,1R$, а в качестве конечного – заданное значение R . Установите число графиков равное трем. Перерисуйте графики с экрана ПК вместе с масштабной сеткой.

2.4. Проведите детальный анализ частотных характеристик $|H_R(j\omega)|$ и $\theta_R(\omega)$ в узком диапазоне частот, включающем полосу пропускания, выделив часть графиков вблизи резонансной частоты (п. 4 приложения). По полученным графикам, поочередно для каждого значения R , с помощью ли-

найки определите максимальное значение амплитудно-частотной характеристики $|H_R(j\omega)|_{\max} = |H_R(j\omega_0)|$, резонансную частоту f_0 , при которой $|H_R(j\omega)|$ максимально, и граничные частоты f_{-1} и f_1 полосы пропускания, при которых

$$|H_R(j\omega_{\text{ГР}})| = \frac{|H_R(j\omega)|_{\max}}{\sqrt{2}}.$$

Рассчитайте ширину полосы пропускания контура $2\Delta f^* = f_1 - f_{-1}$.

Полученные значения $|H_R(j\omega_0)|, f_0$ и $2\Delta f^*$ занесите в графу «Результаты расчета на ПК» табл. 6.2. Найдите значения фазочастотных характеристик $\Theta_R(\omega)$ на резонансной частоте f_0 , на граничных частотах полосы пропускания f_{-1} и f_1 и запишите полученные значения в протокол. Обратите внимание, что максимальное значения АЧХ на резонансной частоте $|H_R(j\omega_0)|$ не изменяется при различных значениях резистивного сопротивления R .

2.5. Рассчитайте одновременно амплитудно-частотные характеристики цепи, используя в качестве выходных величин напряжения на индуктивности и на емкости:

$$|H_L(j\omega)| = \frac{U_L}{U_1}, \quad |H_C(j\omega)| = \frac{U_C}{U_1}$$

в диапазоне частот $100 \text{ Гц} \leq f \leq 10 \text{ кГц}$, выбрав число расчетных точек равным 1000. Перерисуйте их с экрана ПК вместе с масштабной сеткой.

2.6. Проведите детальный анализ частотных характеристик, выделив часть графиков вблизи резонансной частоты, и найдите по ним с помощью линейки частоты $f_{\max L}$ и $f_{\max C}$, при которых $|H_L(j\omega)|$ и $|H_C(j\omega)|$ принимают максимальные значения. Занесите значения $|H_L(j\omega)|_{\max}$ и $|H_C(j\omega)|_{\max}$ в протокол. Найдите резонансную частоту f_0 , на которой равны значения амплитудно-частотных характеристик $|H_L(j\omega_0)| = |H_C(j\omega_0)|$, и с помощью линейки определите эти значения. Занесите значения $f_{\max L}$ и $f_{\max C}$, $|H_L(j\omega_0)|$ и $|H_C(j\omega_0)|$ в графу «Результаты расчета на ПК» табл. 6.2.

2.7. Исследуйте влияние величины добротности контура Q на амплитудно-частотные характеристики $|H_L(j\omega)|$ и $|H_C(j\omega)|$. Для этого задайте значение параметра резистивного сопротивления контура $R_1 = 0,1R$, вследствие чего добротность контура увеличится в 10 раз. Рассчитайте одновременно характеристики $|H_L(j\omega)|$ и $|H_C(j\omega)|$, используя в качестве выходных величин напряжения на индуктивности и на емкости, в диапазоне частот $100 \text{ Гц} \leq f \leq 10 \text{ кГц}$, выбрав число расчетных точек равным 1000. Перерисуйте графики с экрана ПК вместе с масштабной сеткой.

2.8. Проведите детальный анализ частотных характеристик, выделив часть графиков вблизи резонансной частоты. Обратите внимание, что в узком диапазоне частот, включающем полосу пропускания, обе характеристики практически совпадают и имеют общий максимум на резонансной частоте. По полученным графикам с помощью линейки найдите значения f_0 , $|H_L(j\omega_0)| = |H_C(j\omega_0)| = |H_L(j\omega)|_{\max} = |H_C(j\omega)|_{\max}$ и запишите их в графу «Результаты расчета на ПК» табл. 6.2.

3. Указания по подготовке к защите

3.1. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- схемы исследуемых цепей,
- расчетные формулы и таблицу с результатами предварительного расчета и расчета на ПК,
- графики рассчитанных на ПК частотных характеристик,
- выводы.

3.2. Рассчитайте добротность контура $Q = \frac{f_0}{2\Delta f^*}$ для найденных по графикам $|H_R(j\omega)|$ величин f_0 , и $2\Delta f^*$ при трех значениях параметра резистивного сопротивления: заданного R , $0,1R$ и $0,55R$. Сделайте вывод о влиянии величины резистивного сопротивления на ширину полосы пропускания и добротность колебательного контура. Покажите на графиках $|H_R(j\omega)|$ полосы пропускания для трех значений параметра R .

3.3. На графиках $|H_L(j\omega)|$ и $|H_C(j\omega)|$, рассчитанных для параметра R , найдите и отметьте резонансную частоту f_0 , при которой $|H_L(j\omega_0)| = |H_C(j\omega_0)|$, частоты $f_{\max L}$ и $f_{\max C}$, а также соответствующие им значения $|H_L(j\omega)|_{\max}$ и $|H_C(j\omega)|_{\max}$.

3.4. Сравните графики амплитудно-частотных характеристик $|H_L(j\omega)|$ и $|H_C(j\omega)|$, рассчитанных при значениях резистивного сопротивления R и $0,1R$. Найдите по ним добротности из условия, что $|H_L(j\omega_0)| = |H_C(j\omega_0)| = Q$, и сравните их значения с найденными по графикам $|H_R(j\omega)|$.

3.5. Подготовьтесь к ответу на вопросы и решению типовых задач, отражающих основное содержание работы.

Контрольные вопросы

1. Что называется резонансом?

2. Что называется резонансной частотой, характеристическим сопротивлением, полосой пропускания, добротностью контура? Как сопротивление потерь контура влияет на эти величины?

3. Почему резонанс в последовательном контуре называют резонансом напряжений? Какими будут напряжения на элементах контура при резонансе?

4. Чему равно сопротивление последовательного контура при резонансе?

5. При каких значениях добротности Q колебательный контур считается высокодобротным?

6. В чем отличие амплитудно-частотных характеристик $|H_C(j\omega)| = \frac{U_C}{U_1}$

и $|H_L(j\omega)| = \frac{U_L}{U_1}$ последовательных колебательных RLC контуров низкой и высокой добротности?

7. Как ширина полосы пропускания контура зависит от его добротности?

Лабораторная работа 7

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО АНАЛОГА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ *FASTMEAN*

1. Задание на самостоятельную подготовку

1.1. Изучите теоретические вопросы, связанные с возможностью рассмотрения активных RC -цепей в качестве электронных аналогов колебательных контуров.

1.2. Найдите, используя метод узловых напряжений, комплексную передаточную функцию $H_{ARC}(j\omega) = \dot{U}_2/\dot{U}_1$ ARC -цепи. При этом операционный усилитель следует считать источником напряжения, управляемым напряжением (ИНУН) с коэффициентом усиления $\mu \rightarrow \infty$.

Полученная функция должна иметь вид

$$H_{ARC}(j\omega) = \frac{1}{-\omega^2 + j\omega \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_3 C_1} \right) + \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}}.$$

1.3. Найдите комплексную передаточную функцию $H_{RLC}(j\omega) = \dot{U}_2/\dot{U}_1$ RLC -контура, схема которой представлена на рис. 7.1,б, и приведите к виду

$$H_{ARC}(j\omega) = \frac{b_0}{-\omega^2 + j\omega a_1 + a_0}.$$

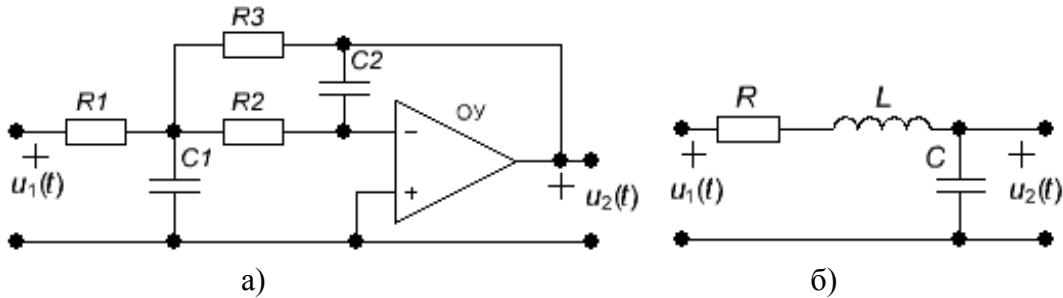


Рис. 7.1

1.4. Рассчитайте методом уравнивания коэффициентов параметры R и C_2 ARC -цепи, при которых комплексные передаточные функции обеих цепей будут отличаться только знаком, если $R_1 = R_2 = R_3 = R$ и $C_1 = 3 \text{ мкФ}$. Параметры RLC -контура приведены в табл. 7.1.

1.5. Рассчитайте резонансную частоту f_0 и добротность Q колебательного RLC -контура

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{ с}^{-1}; \quad f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}, \text{ Гц}; \quad Q = \frac{\omega_0 L}{R}.$$

1.6. Запишите выражения АЧХ и ФЧХ *RLC*-контура и его электронного аналога – *ARC*-цепи, рассчитайте их значения при $\omega = 0$, $\omega = \omega_0$, $\omega \rightarrow \infty$.

Постройте их примерные графики.

Таблица 7.1

Вариант	R , Ом	L , мГн	C , мкФ
1	7,960	3,168	0,500
2	5,040	2,000	0,792
3	10,00	4,000	0,396
4	6,632	2,640	0,600
5	8,840	3,520	0,450
6	11,30	4,500	0,352
7	5,680	2,263	0,700
8	13,20	5,280	0,300
9	7,236	2,880	0,550

2. Задание для работы в компьютерном классе

2.1. Войдите в ОС Windows. Двойным нажатием левой кнопки мыши загрузите программу *FASTMEAN*. Описание работы с программой приведено в приложении настоящих методических указаний.

2.2. Постройте на экране дисплея схему *ARC*-цепи, приведенную на рис. 7.1,а с рассчитанными в п. 1.4 параметрами (пп. 1, 2 приложения).

2.3. Рассчитайте частотные характеристики *ARC*-цепи в линейном масштабе (пп. 3, 4 приложения) и перерисуйте их с экрана дисплея вместе с масштабной сеткой. Расчет выполните в диапазоне частот $100 \text{ Гц} \leq f \leq 10 \text{ кГц}$, выбрав число расчетных точек равным 1000.

Найдите с помощью линейки максимальное значение амплитудно-частотной характеристики $|H(j\omega_0)|$ и частоту f_0 , на которой наблюдается этот максимум (п. 4 приложения). Найдите и отметьте на графике $|H(j\omega)|$ эти значения.

2.4. Постройте на экране дисплея схему *RLC*-контура, приведенную на рис. 7.1,б, с параметрами, заданными в табл. 7.1 для Вашего варианта.

2.5. Рассчитайте частотные характеристики *RLC*-контура в соответствии с указаниями п. 2.3.

3. Указания по подготовке к защите

3.1. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- схемы исследуемых цепей,
- предварительный расчет,
- графики частотных характеристик, рассчитанных на ПК,
- выводы.

3.2. Найдите добротность контура Q RLC -контура по рассчитанному на ПК максимальному значению амплитудно-частотной характеристики $|H(j\omega_0)|=Q$.

Сравните рассчитанные на ПК значения добротности Q и резонансной частоты f_0 с результатами расчета в п. 1.5.

3.3. Подготовьтесь к ответу на вопросы и решению типовых задач, отражающих основное содержание работы.

Контрольные вопросы

1. Почему ARC -цепь может рассматриваться как электронный аналог колебательного RLC -контура?
2. Каковы преимущества применения ARC -цепей в качестве электронных аналогов колебательных RLC -контуров?
3. Применимы ли понятия резонанса напряжений и резонанса токов к электронным аналогам колебательных RLC -контуров?

Лабораторная работа 8

АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

1. Задание на самостоятельную подготовку

1.1. Изучите теоретические вопросы, связанные с явлением резонанса в параллельном колебательном контуре.

1.2. Рассчитайте величину емкости C , при которой параллельный колебательный контур, схема которого представлена на рис. 8.1, настроен в резонанс на частоту f_0 , по формуле $C = \frac{1}{\omega_0^2 L} = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L}$.

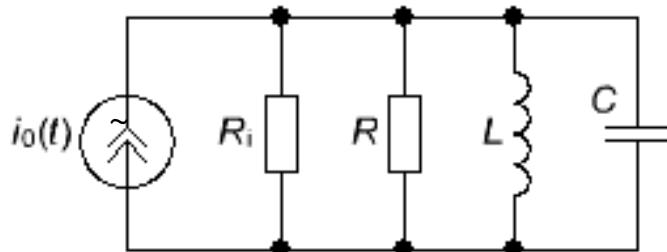


Рис. 8.1

Рассчитайте ширину полосы пропускания контура $2\Delta f^*$ и граничные частоты полосы пропускания f_{-1} и f_1 по формулам:

$$2\Delta f^* = f_1 - f_{-1} = \frac{f_0}{Q}, \quad f_{-1} = f_0 - \frac{f_0}{2Q}, \quad f_1 = f_0 + \frac{f_0}{2Q}.$$

Значения f_0 , L и Q приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
f_0 , кГц	22	20	24	21	25	23	19	25	21	23	20	24	19	22
L , мГн	4,58	4,63	4,46	4,68	4,68	4,67	4,468	4,606	4,774	4,654	4,735	4,51	4,56	4,68
Q	7,3	10	8	7	12,5	7,6	9,5	8,33	10,5	11,5	6,66	12	6,33	11

Результаты расчета занесите в графу «Предварительный расчет» табл. 8.2.

Таблица 8.2

Заданные или рассчитанные величины	C , мкФ	f_{-1} , кГц	f_1 , кГц	$2\Delta f^*$, кГц	Q
Предварительный расчет					
Эксперимент	—				

Рассчитайте значения частот, при которых будет измеряться амплитудно-частотная характеристика контура, по формуле

$$f = f_0 + \Delta f$$

для значений абсолютной расстройки Δf , приведенных в табл. 8.3. Результаты расчета занесите в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Δf , кГц	-5	-3	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	3	5
f , кГц											
U_2 , В						1					

2. Задание для экспериментальной работы

2.1. Соберите цепь, схема которой представлена на рис. 8.2. В качестве емкости контура используйте магазин емкостей Р-544. Сопротивления R_1 и $R_{\text{ш}}$ имеются на макете, причем $R_{\text{ш}}$ выбрано так, чтобы добротность контура была равна заданной в табл. 8.1.

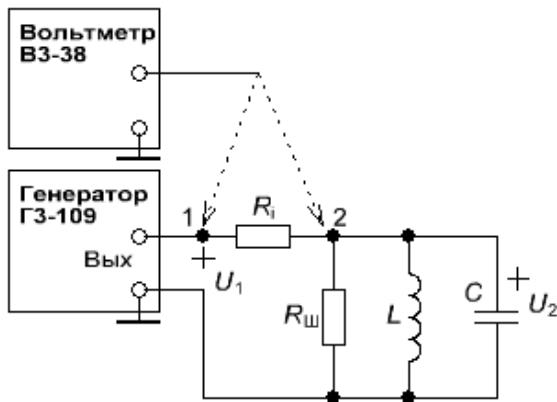


Рис. 8.2

Установите на генераторе частоту f_0 . Подключите вольтметр к точке 1 и ручкой «Регулировка выхода» генератора установите напряжение в этой точке $U_1 = 10$ В. Настройте контур в резонанс. Для этого переключите вольтметр в точку 2 и, изменяя емкость в небольших пределах около рассчитанного значения C , добейтесь максимального показания вольтметра $U_{2\text{max}}$. Настройка в резонанс проверяется небольшим изменением частоты генератора относительно f_0 , например, $(f_0 \pm 1)$ кГц. Если величина U_2 убывает на одинаковую величину по сравнению с $U_{2\text{max}}$ как при увеличении, так и при уменьшении частоты, то контур настроен достаточно точно.

2.2. Измерьте нормированную резонансную характеристику контура $|\hat{H}(j\omega)| = U_2 / U_{2\text{max}}$. Для этого ручкой «Регулировка выхода» генератора установите $U_{2\text{max}} = 1$ В. На резонансной частоте f_0 , переключите вольтметр в точку 1 и измерьте соответствующее выходное напряжение генератора U_{1p} .

Перестройте генератор на одну из частот, приведенных в табл. 8.3, установите в точке 1 напряжение U_{1p} и измерьте U_2 . Выполните указанные измерения на всех частотах, приведенных в табл. 8.3. Результаты измерений занесите в табл. 8.3.

2.3. Найдите граничные частоты полосы пропускания контура. Плавно изменяя частоту генератора, найдите $f_1 > f_p$ и $f_{-1} < f_p$, при которых $U_2 = 0,7$ В. При этом необходимо измерять и поддерживать $U_1 = U_{1p}$.

Внимание! Измеренные таким образом граничные частоты полосы пропускания f_1 и f_{-1} могут не совпадать с дискретными значениями частоты, заданными в табл. 8.3. По найденным значениям рассчитайте ширину полосы пропускания $2\Delta f^*$ и добротность Q . Результаты занесите в графу «Эксперимент» табл. 8.2.

3. Указания по подготовке к защите

3.1. Оформите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- схему исследуемой цепи,
- предварительный расчет,
- таблицы теоретических и экспериментальных данных,
- график измеренной нормированной резонансной характеристики контура $|\hat{H}(j\omega)| = U_2/U_{2\max}$,
- выводы.

3.2. Подготовьтесь к ответу на вопросы и решению типовых задач, отражающих основное содержание работы.

Контрольные вопросы

1. Что называется резонансом?
2. Что называется резонансной частотой, характеристическим сопротивлением, полосой пропускания, добротностью контура? Как сопротивление потерь контура влияет на эти величины?
3. Почему резонанс в параллельном контуре называют резонансом тока? Какими будут токи в элементах контура при резонансе?
4. Чему равно сопротивление параллельного контура при резонансе?
5. При каких значениях добротности Q колебательный контур считается высокодобротным?
6. Как ширина полосы пропускания контура зависит от его добротности?

ПРИЛОЖЕНИЕ

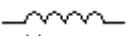
Краткая инструкция использования программы *FASTMEAN* для расчета электрических цепей

Программа *FASTMEAN* ориентирована на работу в операционных системах Windows 95/98, XP, Vista и имеет встроенную справочную систему, облегчающую работу с ней. Основные действия пользователя при расчете электрических цепей сводятся к следующим.

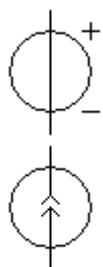
1. Выбор элементов схемы исследуемой цепи и задание параметров элементов

Войдите в ОС Windows и двойным нажатием левой кнопки мыши загрузите программу *FASTMEAN*.

На панели инструментов откройте окно «Основные элементы», в котором среди прочих расположена следующая группа элементов:

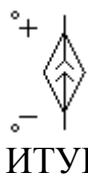
	Земля
	Соединитель
	Резистор
	Индуктивность
	Емкость

Щелкнув левой кнопкой мыши на необходимом элементе, перенесите его на поле сборки схемы. Щелкнув правой кнопкой мыши, оставьте данный элемент на поле. Для поворота элемента выделите его красным цветом, обведя пунктиром прямоугольником, и нажмите кнопку «Повернуть»  на панели инструментов. Для отражения элемента слева направо или сверху вниз используются соответственно следующие кнопки на панели инструментов:  и . Для задания требуемого параметра элемента дважды щелкните на нем левой кнопкой мыши и после появления диалогового окна «Параметры» введите заданный параметр в соответствующую строку. Откройте диалоговое окно «Источники», в котором расположена следующая группа идеализированных источников энергии:

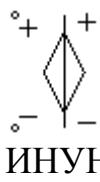


Независимый источник напряжения

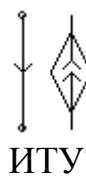
Независимый источник тока



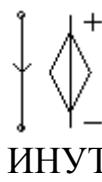
ИТУН



ИНУН



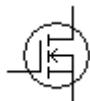
ИТУТ



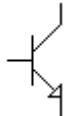
ИНУТ

Перенесите требуемый источник на поле сборки схемы. Дважды щелкнув на схеме источника, укажите его вид при анализе частотных характеристик. Независимый источник напряжения или тока должен иметь вид «Гармонический».

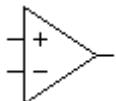
Если исследуемая схема содержит активные (усилительные) элементы, то следует открыть диалоговое окно «Активные элементы», в котором расположены элементы:



n-канальный МДП-транзистор



Биполярный транзистор



Идеальный операционный усилитель

Каждый из этих элементов также можно вынести на поле сборки схемы и задать требуемые параметры.

2. Соединение выбранных элементов в схему

Подведите указатель мыши к одному из отводов элемента. После появления на отводе изображения соединителя (•) нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская ее, соедините данный элемент с другим элементом проводом. Построение схемы обязательно завершите заземлением одного из узлов с помощью элемента \perp (Земля).

3. Расчет частотных характеристик

Нажмите кнопку «Показать номера узлов»  на панели инструментов. В результате данной операции на схеме исследуемой цепи появятся номера узлов (земляной, т. е. базисный узел, всегда имеет нулевой номер, который условно считается наименьшим). Для всех элементов за положительное направление отсчета тока и напряжения принимается направление от узла с большим номером к узлу с меньшим номером. Программа номерует узлы только при соединение элементов! Поэтому для изменения нумерации узлов надо заново соединить элементы.

Для расчета частотных характеристик войдите в меню «Анализ» \rightarrow АЧХ/ФЧХ или нажмите кнопку «АЧХ/ФЧХ»  на панели инструментов.

Задайте начальную и конечную частоты расчета АЧХ и ФЧХ, число расчетных точек (обычно 100–500). Выберите требуемый масштаб по частоте (линейный, логарифмический) и по оси 0Y (линейный, логарифмический).

В таблице, находящейся в нижней части окна, выставляется номер рисуемого графика (не более 5 кривых на одном графике), зависимость по оси 0X – f , и зависимость по оси 0Y:

DB(z) – $-20 \cdot \lg(|z|)$;

RE(z) – действительная часть z ;

IM(z) – мнимая часть z ;

MAG(z) – модуль z ;

PH(z) – аргумент z (результат в градусах);

PHS(z) – аргумент z (результат в градусах); функция PHS(z) учитывает предыдущие значения функции и устраняет скачки фазы в 360° . Ее предпочтительно использовать для расчета ФЧХ;

где z – напряжение, ток или их соотношения. Напряжение обозначается $U(x)$, где x – номер узла или название элемента. Ток обозначается $I(x)$, где x – название элемента.

4. Анализ графиков АЧХ и ФЧХ

Для детального анализа расчетных точек полученных графиков нажмите кнопку «Показать линейку» . Перемещая линейку по оси частот, можно выделить и подробно проанализировать часть графика, для чего следует отметить эту часть прямоугольником, нажав левую кнопку мыши. Для восстановления исходного графика нажмите кнопку «Исходный интервал» .

5. Изменение параметра

Для анализа влияния изменения параметра элемента на частотные характеристики цепи войдите в меню «Анализ» → АЧХ/ФЧХ. В появившемся диалоговом окне «АЧХ/ФЧХ» поставьте флажок «Параметр» в правом нижнем окошке и нажмите кнопку «Параметр». В диалоговом окне «Изменение параметра» в строке «Элемент» выберите элемент, параметр которого подлежит изменению. Задайте начальное и конечное значения параметра, число графиков (как правило 2–3) и способ изменения (линейный или логарифмический). Нажмите кнопку «OK». Для анализа полученных графиков нажмите кнопку «Показать линейку»  и, подведя указатель мыши к исследуемому графику, щелкните левой кнопкой. В окне «Линейка» появится значение изменяемого параметра, которому соответствует график.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белецкий, А. Ф. Теория линейных электрических цепей : учебник. – 2-е изд. / А. Ф. Белецкий. – СПб. : Издательство «Лань», 2009. – 544 с.

2. Бакалов, В. П. Основы теории цепей : учебное пособие для вузов; 4-е изд. / В. П. Бакалов, В. Ф. Дмитриков, Б. Н. Крук. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 596 с.

Логвинова Нина Константиновна
Голубенко Наталья Ивановна

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Лабораторный практикум

Часть 1

Ответственный редактор *Н. К. Логвинова*

Редактор *Л. К. Паршина*
Компьютерная верстка *Е. А. Головинской*

План 2014 г., п. 57

Подписано к печати 14.11.2014 г.
Объем 2,25 усл.-печ. л. Тираж 100 экз. Заказ 527

Редакционно-издательский центр СПбГУТ
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61
Отпечатано в СПбГУТ

Н. К. Логвинова, Н. И. Голубенко

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Лабораторный практикум

Часть 1

**Санкт-Петербург
2014**