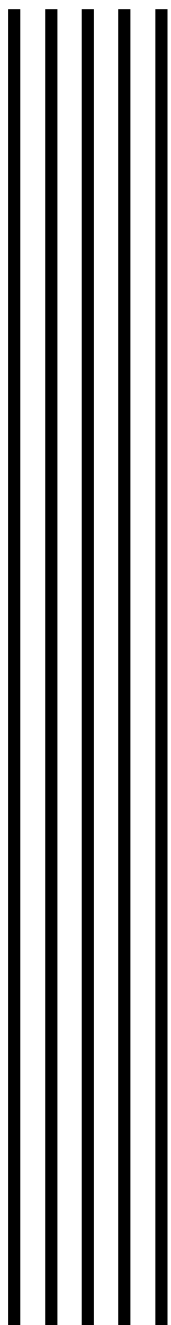


Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет
Факультет радиоэлектроники
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
и задания к выполнению курсовой работы
по дисциплине
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ»
для студентов дневной и заочной форм обучения
направления 6.050901 — «Радиотехника»

Севастополь

2013

УДК 621.396.1

Методические указания и задания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы теории цепей» для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.050901 — «Радиотехника» / СевНТУ; Сост. В.Б. Салицкий. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. — 18 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам очной и заочной форм обучения в развитии навыков самостоятельной работы по анализу переходных режимов работы линейных электрических цепей по дисциплине «Основы теории цепей».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций (протокол № 7 от 26 марта 2013 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций, доктор технических наук, профессор Гимпилевич Ю.Б.

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций, доктор технических наук, профессор Гимпилевич Ю.Б.

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа является самостоятельной работой студента, выполняется в конце изучения дисциплины «Основы теории цепей» (ОТЦ) и имеет своей целью:

- формирование понимания сущности электромагнитных явлений и связанных с ними физических законов;
- углубление и закрепление теоретических знаний по дисциплине ОТЦ;
- овладение инженерными методами теории цепей и приобретение практических навыков анализа и расчёта электрических цепей;
- совершенствование умения составлять и оформлять текстовую и графическую документацию, необходимую для курсовых и дипломных проектов.

Курсовая работа представляет собой законченное описание решений всех заданий работы в виде расчётно-пояснительной записки объёмом 20...25 листов, которая оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1 — В4.

Записка оформляется на стандартных листах белой бумаги формата А4. Текст пояснительной записки набирается на компьютере четырнадцатым размером шрифта. По краям листа должны быть оставлены поля: левое — 25 мм, верхнее и нижнее — 20 мм, правое — 15 мм.

Текст записки разбивается на разделы, снабжённые заголовками, соответствующими заданиям курсовой работы.

Формулы нумеруются в круглых скобках, например — (2.1). Формулы, по которым ведётся расчёт, должны быть приведены в тексте полностью, с объяснением буквенных значений, если они ранее не были объяснены. При подстановке в формулы числовых значений необходимо указывать их в системе СИ. Окончательный результат должен быть вычислен с точностью до третьей значащей цифры, например: 26500; $2,65 \cdot 10^3$; 0,00265; $2,65 \cdot 10^{-3}$, с указанием его основной или производной размерности (А, мА, МОм, и т.п.).

Таблицы, рисунки, схемы и графики также должны быть выполнены на стандартных листах белой бумаги формата А4 с помощью компьютера.

В тексте записки необходимо делать ссылки на литературные источники, из которых заимствован метод расчёта электрической цепи или расчётная формула. Литературные ссылки нумеруются в прямых скобках, например — [n], где n — номер источника в библиографическом списке.

Все страницы курсовой работы, включая иллюстрации и приложения, нумеруются по порядку от титульного листа до последней страницы без пропусков, повторений, литерных добавлений. Первой страницей считается

титульный лист, на нём цифра «1» не ставится, на следующей за титульным листом странице проставляется в верхнем правом углу цифра «2» и т.п.

Пояснительная записка должна содержать следующие материалы:

- титульный лист (Приложение А);
- оглавление;
- задание 1;
- задание 2 и т. п.;
- библиографический список;
- приложения.

Содержание записки должно быть изложено литературным языком без сокращений (кроме общепринятых: т.п., т.д., то есть) и жаргонных выражений, упрощений и т.п.

Терминология и условные буквенные обозначения должны соответствовать общепринятым.

Комплексные величины, не являющиеся изображениями функций времени, должны быть подчеркнуты, например $\underline{H}$, $\underline{Z}$, $\underline{Y}$ и т.д. Комплексные величины, являющиеся комплексными амплитудами или комплексными действующими значениями гармонических функций времени, должны быть обозначены с помощью точки ($\dot{I}$, $\dot{I}_m$, $\dot{U}$, $\dot{U}_m$).

Курсовая работа рассчитана на выполнение в течение 9 недель семестра и требует 3...4 часа в неделю.

На протяжении семестра студент обязан регулярно консультироваться у ведущего преподавателя согласно установленному расписанию консультаций. Цель консультаций состоит в обеспечении планомерности выполнения курсовой работы, получении методических указаний и разъяснений вопросов, вызвавших затруднения, развитии самостоятельности и творческой инициативы студента при выполнении заданий.

Перед выполнением курсовой работы необходимо ознакомиться: с заданием, рекомендованной литературой, методическими указаниями и приложениями к ним.

На четвертой и шестой неделях семестра студент должен представить руководителю результаты выполнения курсовой работы для оценки ее готовности в процентах. Сведения о готовности работы подаются на кафедру и в деканат факультета.

На восьмой-девятой неделях семестра курсовая работа должна быть полностью выполнена и представлена к защите не позднее установленного срока.

Ориентировочный график выполнения курсовой работы приведен в таблице 1.

Таблица 1 — График выполнения курсовой работы

№ недели	Содержание отчёта
1	Ознакомление с заданиями и изучение рекомендованной литературы.
2...3	Выполнение первого и второго задания
4...5	Выполнение третьего и четвертого задания
6...7	Выполнение пятого и шестого задания
8...9	Оформление расчетно-пояснительной записки и подготовка к защите

В ходе защиты курсовой работы студент должен доложить в течение 5...6 минут результаты работы, а затем ответить на вопросы по существу работы.

1. ЗАДАНИЯ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Каждый студент выполняет вариант задания, которому присваивается двузначный номер вида $N = 10m + n$, где m и n — предпоследняя и последняя цифры номера зачетной книжки студента. Например, если зачетная книжка имеет номер 127308, то $m = 0$, $n = 8$ и $N = 08$. Числа m и n — определяют параметры элементов электрической цепи, а число n — вид электрической цепи и метод расчета.

1.1. Задание 1

Для электрической цепи, представленной на рис. 1.1 и находящейся при гармоническом внешнем воздействии:

1) составить системы уравнений электрического равновесия цепи двумя методами: методом контурных токов и методом узловых напряжений.

2) рассчитать ток в ветви, отмеченной звёздочкой «*», если элементы цепи обладают следующими параметрами:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1+m}{3+n}, \text{ кОм}; & R_2 &= \frac{4+2m}{6+n}, \text{ кОм}; & R_3 &= \frac{2+3n}{2(m+1)}, \text{ кОм}; \\ R_4 &= \frac{9+2n}{8+m}, \text{ кОм}; & L &= \frac{6+n}{2(m+1)}, \text{ мГн}; & C &= \frac{8(n+2)}{3+m} 10^2, \text{ пФ}; \\ \omega &= \frac{5+m}{4+3n} 10^6, \text{ с}^{-1}; & \mathcal{E} &= 3+2m+n, \text{ В}; & \mathcal{I} &= 2+m+3n, \text{ мА}. \end{aligned}$$

Расчёт произвести методом наложения — для нечётных вариантов, и методом эквивалентного источника — для чётных.

1.2. Задание 2

Рассчитать частотные характеристики линейной электрической цепи (рис. 1.2), имеющей следующие параметры элементов:

$$\begin{aligned} R &= 2 + \frac{n}{m+1}, \text{ Ом}; & L &= (1+m)(1+n), \text{ мГн}; & C &= \frac{1+m}{1+n} 10^{-2}, \text{ мкф}; \\ R_{\text{н}} &= \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ Ом}; & e(t) &= 10(n+1) \cos(10^3 t), \text{ В}. \end{aligned}$$

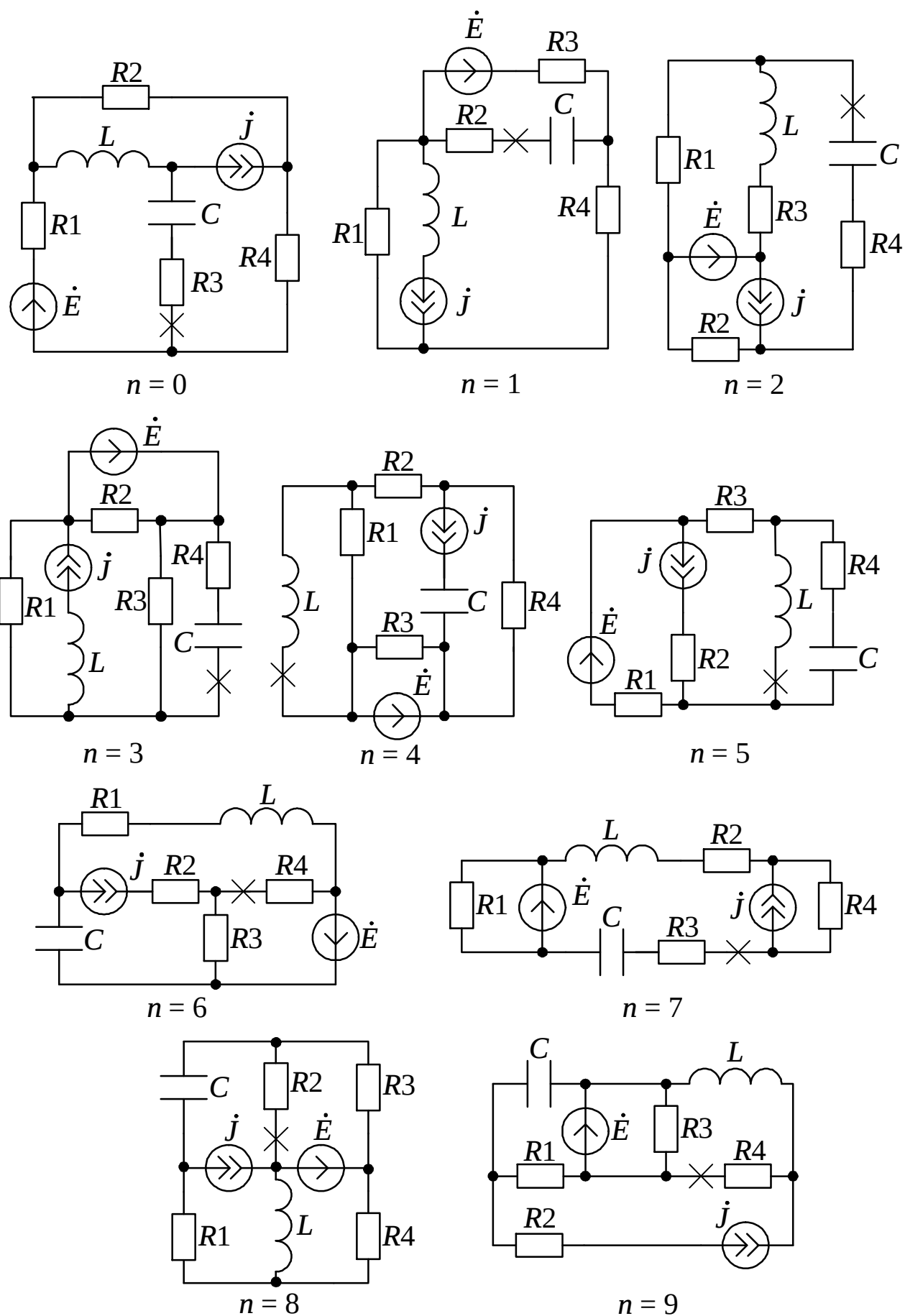


Рис. 1.1 — Схемы к заданию 1

1) Рассчитать и построить в виде функций от круговой частоты в полулогарифмическом масштабе АЧХ и ФЧХ комплексного коэффициента передачи цепи по напряжению.

2) Найти входное комплексное сопротивление цепи, активную мощность, потребляемую сопротивлением нагрузки R_H на частоте источника напряжения.

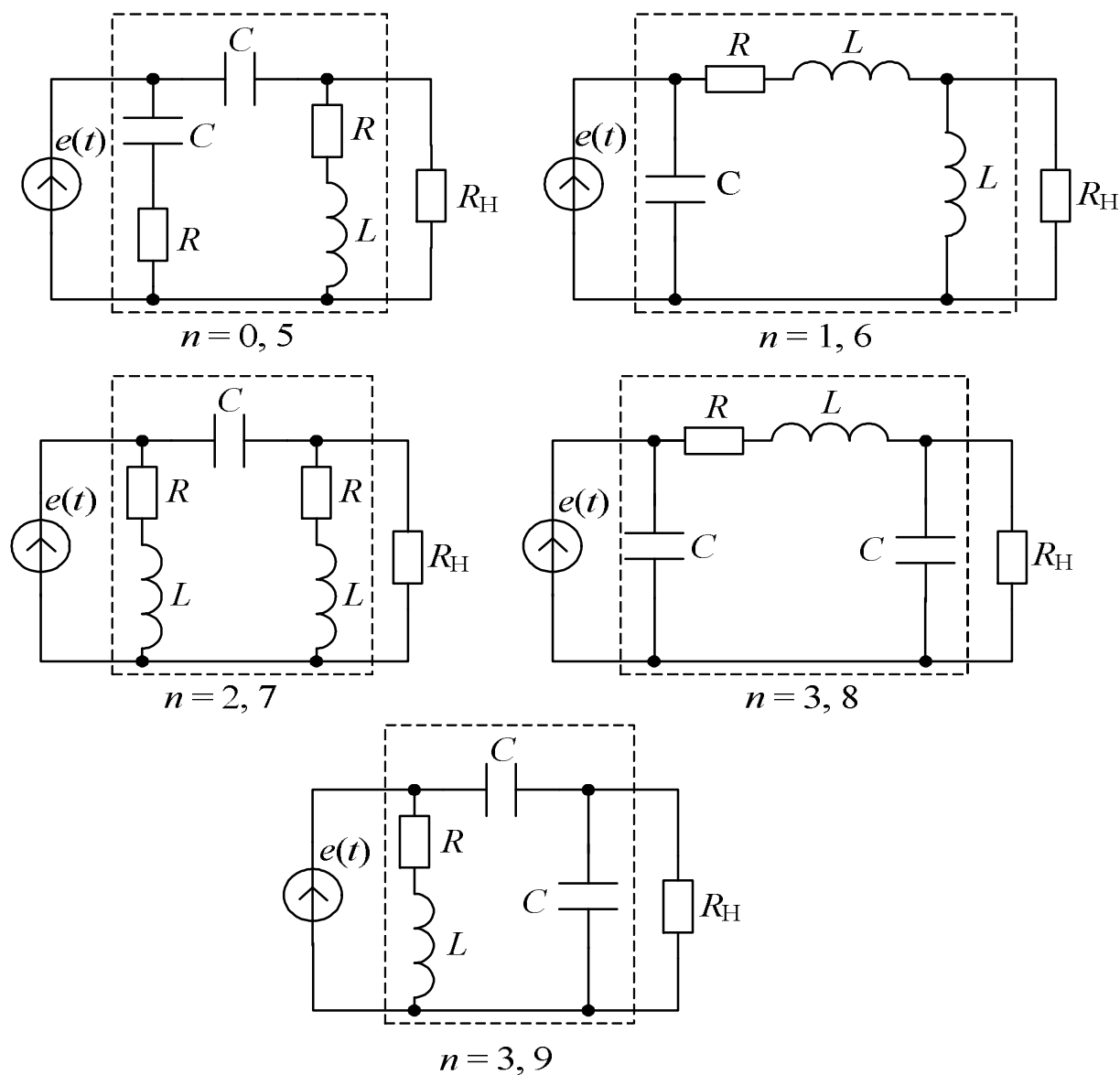


Рис. 1.2 — Схемы к заданию 2

1.3. Задание 3

1.3.1. Для вариантов $n = 0, 1, 2, 3, 4$

Рассчитать параметры и частотные характеристики последовательного колебательного контура (рис. 1.3а), подключенного к источнику гармонического напряжения $e(t) = 10(1 + m + n)\cos(\omega t)$, В с внутренним сопротивлением $R_i = 4 + m + n$, Ом. Контур имеет добротность $Q = 100 \cdot \frac{5 + m + n}{5 + 6 \cdot m + 4 \cdot n}$ и состоит из индуктивности $L = (1 + 2 \cdot m + n) \cdot 10$, мГн, емкости $C = (2 + m + n) \cdot 10^3$, пФ и сопротивления потерь R .

1) Определить резонансную частоту, полосу пропускания, характеристическое сопротивление и сопротивление потерь R контура, а также добротность, полосу пропускания и резонансное сопротивление цепи (рис. 1.3а).

2) Рассчитать и построить зависимости модуля полного сопротивления цепи, его активной и реактивной составляющих от частоты, а также АЧХ и ФЧХ комплексного коэффициента передачи цепи по напряжению.

3) Найти выражения для мгновенных значений тока цепи и напряжения на ее элементах на резонансной частоте, а также на частотах, соответствующих границам полосы пропускания.

4) Найти сопротивление нагрузки R_H , подключение которой параллельно емкости C (рис. 1.3б) вызывает расширение полосы пропускания цепи на 10%.

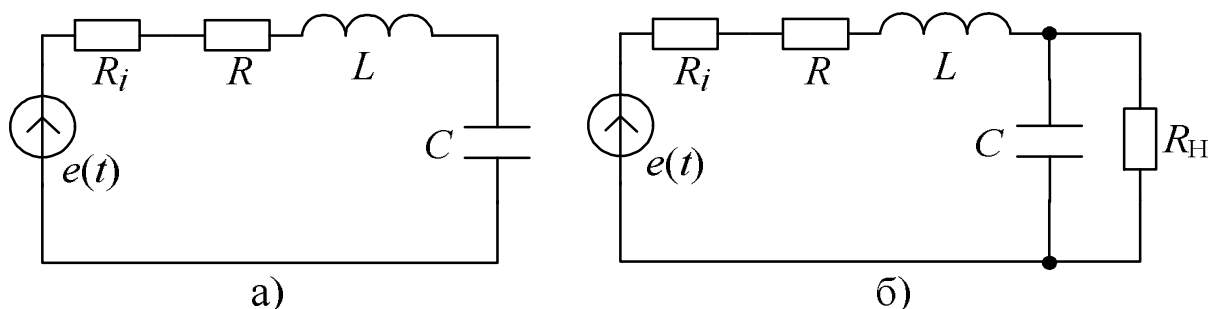


Рис. 1.3 — Схемы к заданию 3 для вариантов $n = 0, 1, 2, 3, 4$

1.3.2. Для вариантов $n = 5, 6, 7, 8, 9$

Рассчитать параметры и частотные характеристик параллельного колебательного контура (рис. 1.4а), подключенного к источнику гармонического тока $i(t) = 10(1 + n)\cos(\omega t)$ А с внутренним сопротивлением $R_i = 5R_0$, где R_0 — сопротивление контура на резонансной частоте. Элементы контура имеют следующие параметры:

$$L = (m+1)(n+2)10^2, \text{ мкГн}; \quad C = \frac{1+n}{5+m}10^3, \text{ пФ}; \quad R = 3(1+m+n), \text{ Ом}.$$

1) Определить резонансную частоту, резонансное сопротивление, характеристическое сопротивление, добротность и полосу пропускания контура, резонансную частоту, резонансное сопротивление, добротность и полосу пропускания цепи (рис. 1.4б).

2) Рассчитать и построить график зависимости модуля полного сопротивления, его активной и реактивной составляющих от частоты, а также АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи цепи по току в индуктивности.

3) Найти выражения для мгновенных значений напряжения на контуре, полного тока контура и токов его ветвей на резонансной частоте.

4) Определить коэффициент включения p_L в индуктивную ветвь контура нагрузки с сопротивлением $R_H = R_0$ при котором полоса пропускания цепи увеличивается на 5% (рис. 1.4,б).

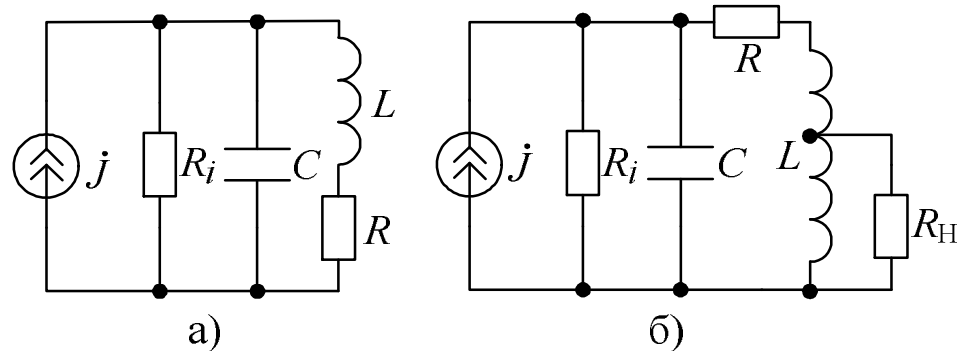


Рис. 1.4 — Схемы к заданию 3 для вариантов $n = 5, 6, 7, 8, 9$

1.4. Задание 4

Рассчитать параметры и частотные характеристики двух одинаковых связанных колебательных контуров с трансформаторной связью, первый из которых подключен к источнику гармонического напряжения $e(t)$ (рис. 1.5).

Каждый из связанных контуров имеет добротность $Q = 100 \frac{3+m}{8+n}$ и параметры элементов:

$$L = [3(1+n+m) + 7]^2, \text{ мкГн}; \quad C = [2(1+m+n) + 10]^2, \text{ пФ}.$$

1) Определить резонансную частоту и сопротивление потерь R связанных контуров.

2) Рассчитать и построить АЧХ и ФЧХ нормированного тока вторичного контура при трех значениях коэффициента связи:

$$K_{CB} = 0,5K_{CP}, \quad K_{CB} = K_{CP}, \quad K_{CB} = 2K_{CP},$$

где $K_{\text{кр}}$ — критический коэффициент связи.

3) Графически определить полосу пропускания связанных контуров при $K_{\text{св}} = 0,5K_{\text{кр}}$, $K_{\text{св}} = K_{\text{кр}}$, $K_{\text{св}} = 2K_{\text{кр}}$, а также частоты связи при $K_{\text{св}} = 2K_{\text{кр}}$.

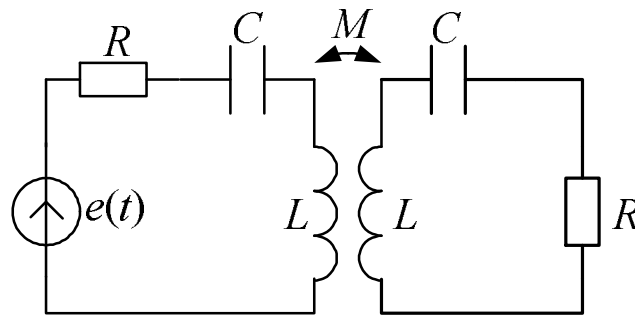


Рис. 1.5 — Схема к заданию 4

6.5. Задание 5

Рассчитать переходный процесс в электрической цепи (рис. 1.6) при включении в неё источника напряжения $e(t)$ (рис. 1.7), $E = 1 + 2m + 3n$, В,

$T = \frac{1+n}{4+m}$, мс. Сопротивление $R = \frac{3+n}{1+m}$, кОм, постоянная времени

$$t = \frac{1+n+m}{10} T.$$

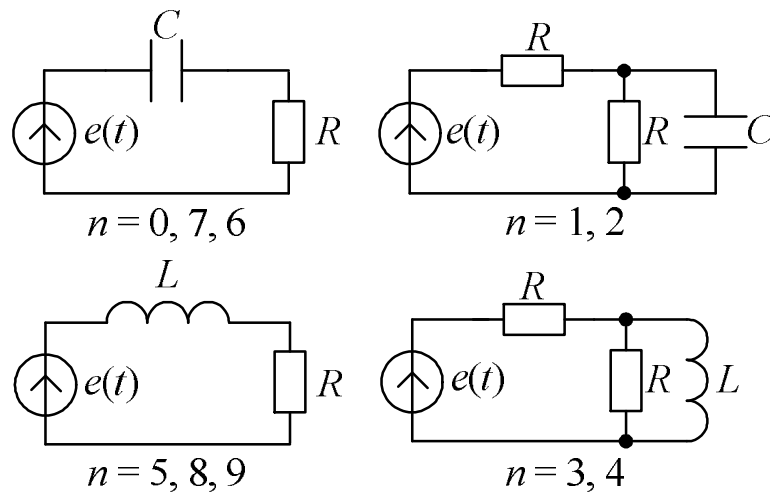


Рис. 1.6 — Схемы к заданию 5

Определить ёмкость (индуктивность) цепи, а также ток и напряжения на элементах цепи. Построить график зависимости тока, протекающего через источник и напряжений на элементах цепи во времени.

Варианты $n = 1, 2, 3, 4$ решают задачу классическим методом. Варианты $n = 5, 6, 7, 8$ решают задачу операторным методом. Варианты $n = 0, 9$ решают задачу методом наложения. Графики внешних воздействий на цепь представлены на рис. 1.7.

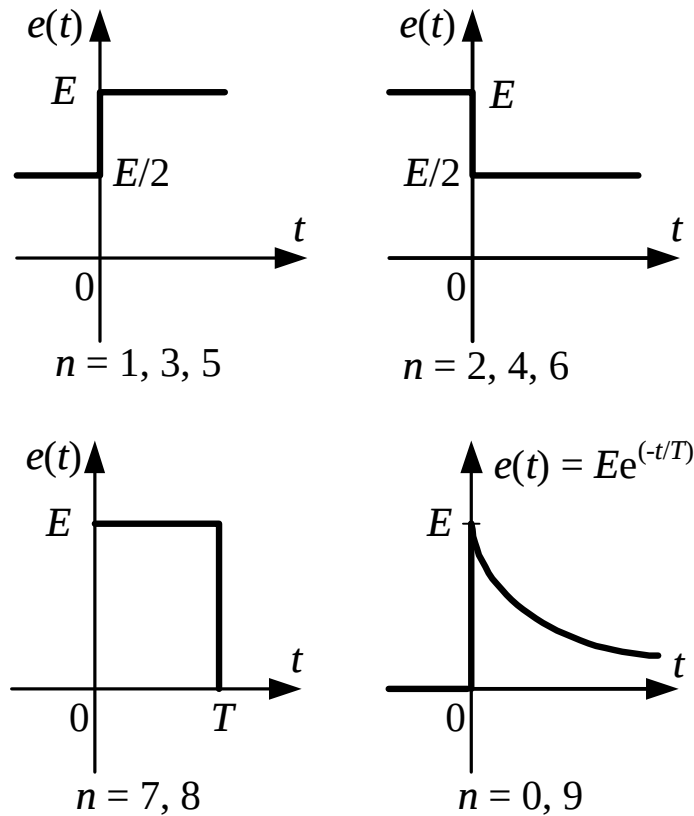


Рис. 1.7 — Графики внешних воздействий для задания 5

1.6. Задание 6

Полагая параметры электрической цепи (см. рис. 1.2) такими же, как в задании 2, рассчитать на частоте источника напряжения параметры четырехполюсника, эквивалентной части цепи, выделенной штриховой линией.

Для $n = 0, 1, 2$ рассчитать $\underline{Y}$ — параметры четырехполюсника.

Для $n = 3, 4, 5$ рассчитать $\underline{Z}$ — параметры четырехполюсника.

Для $n = 6, 7, 8, 9$ рассчитать $\underline{A}$ — параметры четырехполюсника.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ

Выполнению каждого из заданий курсовой работы должно предшествовать изучение соответствующих разделов учебников, учебных пособий и конспекта лекций.

2.1. Задание 1

Выполнение первого задания требует изучения законов Кирхгофа [1], п.1.4, с. 32...40 метода комплексных амплитуд [1], п.2.2, 2.3 и методов формирования уравнений электрического равновесия цепи, в частности методов контурных токов, узловых напряжений, наложения, эквивалентного источника [1], п. 1.5, 4.1, 4.2.; [2], п. 4.1...4.3.

Прежде чем составлять систему уравнений электрического равновесия, целесообразно при использовании метода контурных токов независимые источники тока электрической цепи заменить эквивалентными независимыми источниками напряжения, а при использовании метода узловых напряжений независимые источники напряжения заменить эквивалентными независимыми источниками тока.

2.2. Задание 2

Для выполнения второго задания необходимо изучить комплексные частотные характеристики линейных электрических цепей [1], п.3.1; [2], п.3.1.

Комплексная частотная характеристика линейной цепи может быть представлена в виде отношения двух полиномов от $j\omega$ [1]:

$$F(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = F(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)},$$

где амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики цепи, то есть модуль $F(\omega)$ и аргумент $\varphi(\omega)$ комплексной функции $F(j\omega)$, целесообразно вычислять в виде:

$$F(\omega) = |F(j\omega)| = \frac{|Y(j\omega)|}{|X(j\omega)|}; \quad \varphi(\omega) = \varphi_Y(\omega) - \varphi_X(\omega).$$

где $|Y(j\omega)|$, $|X(j\omega)|$, $\varphi_Y(\omega)$, $\varphi_X(\omega)$ — модули и аргументы комплексных полиномов $Y(j\omega)$, $X(j\omega)$ соответственно.

Для детального определения хода АЧХ и ФЧХ необходимо рассчитать их значения в достаточно широком диапазоне частот, охватывающем как полосу пропускания, так и полосу затухания электрической цепи. С целью наглядности и упрощения построения рекомендуется графики АЧХ и ФЧХ строить в функции круговой частоты в полулогарифмическом масштабе, используя логарифмический масштаб по оси частот.

Векторная диаграмма для токов и напряжений электрической цепи строится в произвольном масштабе и служит для качественного пояснения фазовых сдвигов между токами и напряжениями цепи.

2.3. Задание 3

Для выполнения третьего задания следует изучить последовательный и параллельный колебательные контуры и их частотные характеристики [1], п.п. 3.2 — 3.4; [3].

При определении эквивалентной добротности, резонансной частоты, резонансного сопротивления, полосы пропускания и частотных характеристик электрических цепей (рис. 1.3а, 1.4а) необходимо учесть влияние внутреннего сопротивления R_i источников напряжения и тока, включенных в цепь.

Если сопротивление нагрузки $R_H \gg \rho$, (ρ — коэффициент включения нагрузки, ρ — характеристическое сопротивление), то вносимое сопротивление $R_{вн}$, обусловленное влиянием сопротивления R_H , можно вычислять по приближенной формуле. В противном случае для расчета $R_{вн}$ необходимо пользоваться точной формулой.

Частотные характеристики колебательных контуров необходимо рассчитать в нормированном виде в диапазоне частот, в пределах которого АЧХ изменяется от 1 до 0,05, то есть на –26 дБ от максимального значения, в обе стороны от резонансной частоты. Результаты расчетов следует свести в таблицы. Графики частотных характеристик строятся в виде функции от круговой частоты ω в линейном масштабе.

Модуль полного сопротивления $\underline{Z} = r + jx$ электрической цепи, его активную r и реактивную x составляющие необходимо рассчитать в нормированном виде $|\underline{Z}|/R_0$, r/R_0 , x/R_0 где R_0 — резонансное сопротивление цепи.

Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристика коэффициента передачи последовательного контура при снятии напряжения с емкости определяются выражениями [1]:

$$K_C(\omega) = \frac{Q\omega_0}{\omega \sqrt{1 + \left[Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]^2}}; \quad (2.1)$$

$$\varphi_C(\omega) = - \left[\frac{\pi}{2} + \arctg \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]. \quad (2.2)$$

Модуль полного сопротивления последовательного контура, его активная и реактивная составляющие определяются в нормированном виде следующими формулами [1]:

$$\frac{|Z|}{R_0} = \sqrt{1 + \left[Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]^2} = \sqrt{1 + \xi^2}; \quad (3.3)$$

$$\frac{r}{R_0} = 1; \quad \frac{x}{R_0} = Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = \xi, \quad (3.4)$$

где ξ — обобщённая расстройка контура.

Для параллельного контура АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по току в индуктивности определяются формулами (2.1), (2.2), а нормированные модуль полного сопротивления, его активная и реактивная составляющие имеют вид [1]:

$$\frac{|Z|}{R_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}}; \quad (3.5)$$

$$\frac{r}{R_0} = \frac{1}{1 + \xi^2}; \quad (3.6)$$

$$\frac{x}{R_0} = \frac{\xi}{1 + \xi^2}; \quad (3.7)$$

2.4. Задание 4

Для выполнения четвертого задания следует изучить связанные колебательные контуры и их частотные характеристики [1], п.п. 3.2 — 3.4; [3].

В случае связанных контуров нормированные АЧХ и ФЧХ по току вторичного контура имеют вид [1]:

$$G_{21}(\omega) = \frac{I_2}{I_{2\max}} = \frac{2A}{\sqrt{(1 - \xi^2 + A^2)^2 + 4\xi^2}};$$

$$\varphi_2(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{2\xi}{1 - \xi^2 + A^2},$$

где $A = K_{\text{св}}/K_{\text{кр}}$ — параметр связи;

$K_{\text{св}}$ — коэффициент связи;

$K_{\text{кр}}$ — критический коэффициент связи.

2.5. Задание 5

Для выполнения пятого задания требуется изучить методы анализа переходных процессов в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами: классический метод [1], п. 6.2; операторный метод [1], п.6.3; [3], п.6.2; метод наложения (метод интеграла Дюамеля) [1], п. 6.6; [2], п.6.5.

2.6. Задание 6

Для выполнения шестого задания необходимо изучить системы $\underline{Y}$, $\underline{Z}$, и $\underline{A}$ — параметров четырёхполюсников, а также методику их расчета [1], п.8.2; [3], п.8.2. Решение задания следует начинать с составления уравнений четырёхполюсника в заданной системе параметров.

Поскольку расчет частотных характеристик электрических цепей и временных диаграмм переходных процессов в цепи связаны с большим объемом вычислений, то для их выполнения рекомендуется использовать персональные ЭВМ.

При вычислении ФЧХ необходимо вычислять не только главное значение функции $\arctg$, но и четверть, в которой находится искомый угол. Игнорирование этой рекомендации может привести к появлению скачков ФЧХ на величину $\pm 180^\circ$. Поскольку скачки ФЧХ недопустимы с физической точки зрения, то их необходимо скорректировать, прибавляя величину $\pm 180^\circ$ (в *MathCad* имеется операция *angle(Re, Im)*).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для студентов ВУЗов специальности "Радиотехника"/ В.П. Попов. — М.: Высш.школа, 2000. — 496 с.
2. Основы теорії кіл: Підручник для студентів ВНЗ, ч. 1 / Ю.О. Коваль, Л. В. Гринченко, І. О. Милютченко, О. І. Робін. — Харків, ХНУРЕ: Колегіум, 2004. — 436 с.
3. Бирюков В.Н. Сборник задач по теории цепей: Учебное пособие для студентов ВУЗов специальности. "Радиотехника"/ В.Н. Бирюков, В.П. Попов, В.И. Семенцов; под ред. В.П.Попова. — М.: Высш. школа, 1985. — 239 с.
4. Шебес М.Р. Задачник по теории линейных электрических цепей / М.Р. Шебес. — М.: Высш. школа, 1982. — 473 с.

Приложение А

Титульный лист курсовой работы

Титульный лист курсовой работы оформляется в соответствии с примером, приведенным на рисунке А.1.

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

КУРСОВАЯ РАБОТА
по дисциплине:
«Основы теории цепей»

Выполнил: ст. гр. Р-12д
Иванов И.И.
Проверил: к.т.н., доцент
Пертров П.П.

Севастополь
2013

Рис. А.1 — Пример оформления титульного листа

Заказ № _____ от «__» _____ 2013. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ