

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра технологий электронного обучения (ТЭО)

И. Л. Артёмов

ИНФОРМАТИКА III

**Методические указания
по выполнению курсового проекта**

Томск 2018

Корректор: А. Н. Миронова

Артёмов И. Л.

Информатика III : методические указания по выполнению
курсового проекта / И. Л. Артёмов. – Томск : ФДО, ТУСУР,
2018. – 21 с.

© Артёмов И. Л., 2018

© Оформление.

ФДО, ТУСУР, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Общие требования к выполнению курсовой работы.....	4
2 Порядок выполнения курсовой работы	5
3 Подготовка отчета о проделанной работе	15
4 Рекомендуемая литература.....	16
Приложение А Варианты заданий на курсовую работу.....	17

ВВЕДЕНИЕ

В рамках курса «Информатика III» необходимо выполнить курсовой проект, задачей которого является написание вычислительной программы расчета переходных процессов в электрической цепи.

Переходные электрические процессы возникают при подключении и отключении цепи, при изменении нагрузки, при возникновении аварийных режимов, т. е. при любых изменениях режимов работы электрической цепи.

Переходные процессы обычно протекают очень быстро: длительность их составляет десятые, сотые, а иногда и миллионные доли секунды. Изучение переходных процессов позволяет определять, как изменяется по форме и амплитуде сигнал, выявлять превышения напряжения на отдельных участках цепи, а также определять продолжительность переходного процесса. Следует отметить, что работа многих устройств промышленной электроники основана на переходных процессах.

Целью курсового проекта является приобретение практических навыков в использовании вычислительных алгоритмов для решения задач электротехники, которые окажут поддержку в изучении радиоэлектроники, теорий автоматического управления и методов оптимизации.

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Выбор варианта курсового проекта осуществляется по общим правилам с использованием следующей формулы:

$$V = (N \times K) \text{ div } 100,$$

где V – искомый номер варианта,

N – общее количество вариантов,

div – целочисленное деление, при $V = 0$ выбирается максимальный вариант,

K – код варианта.

Варианты заданий для выполнения курсовой работы приведены в приложении А настоящих методических указаний.

Для выполнения лабораторных работ используется язык программирования Си, свободно распространяемая среда разработки Bloodshed Dev-C++, которую можно скачать по ссылке: <http://www.bloodshed.net/dev/devcpp.html>.

Для построения графиков по полученным значениям можно использовать Microsoft Excel, MathCad либо другой аналогичный пакет обработки числовых данных.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Задание:

- 1) выбрать вариант решаемой задачи;
- 2) оформить физико-математическую постановку задачи;
- 3) разработать вычислительную программу на языке программирования Си;
- 4) провести тестирование полученной программы;
- 5) получить решение для выбранного варианта и описать полученные результаты.

Требования к оформлению пояснительной записки приведены в п. 3.

Ход работы

На первом этапе выполнения работы необходимо оформить физико-математическую постановку задачи. Для этого сначала приведем краткие теоретические сведения из теории электрических цепей.

Электрической цепью называется совокупность устройств, предназначенных для прохождения электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий напряжения и тока. В общем случае электрическая цепь состоит из источников, приемников электрической энергии и промежуточных звеньев, связывающих источники с приемниками.

Элементы электрических цепей подразделяются на *активные* и *пассивные*. К активным элементам относят источники энергии и сигналов (источники тока и напряжения), к пассивным — элементы, рассеивающие и накапливающие энергию (сопротивление R , емкость C , индуктивность L). В настоящем курсовом проекте в качестве исследуемой цепи рассматривается цепь с источником постоянного напряжения E , одной емкостью C , одной индуктивностью L и несколькими резисторами R .

Расчет и анализ электрических цепей осуществляют по их *схемам замещения*, в которых реальные элементы с целью упрощения представляются с помощью небольшого количества идеальных элементов и их соединений.

Геометрическими элементами схемы являются *ветви* и *узлы*. *Ветвь* образуется одним или несколькими последовательно соединенными элементами цепи. *Узел* — место соединения трех или большего числа ветвей.

Основными законами теории электрических цепей, определяющими распределение токов и напряжений в цепях, являются законы баланса токов в разветвлениях (первый закон Кирхгофа) и баланса напряжений на замкнутых участках цепи (второй закон Кирхгофа).

Первый закон Кирхгофа. В любой момент времени алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_{k=1}^M i_k(t) = 0,$$

где M – число ветвей, сходящихся в узле. Количество уравнений, которое необходимо составить по первому закону Кирхгофа, определяется по формуле:

$$N^1 = N_{\text{уз}} - 1 - N_E,$$

где $N_{\text{уз}}$ – количество узлов в схеме, N_E – количество ветвей, содержащих только идеальные источники напряжения.

Второй закон Кирхгофа. В любой момент времени алгебраическая сумма ЭДС в любом контуре схемы равна алгебраической сумме падений напряжений на элементах этого контура

$$\sum_{i=1}^P U_i(t) = \sum_{j=1}^Q e_j(t),$$

где P – число пассивных элементов в контуре, Q – число источников ЭДС в контуре. Количество уравнений, которое необходимо составить по второму закону Кирхгофа, определяется по формуле:

$$N^2 = N_B - N_{\text{уз}} + 1,$$

где N_B – количество ветвей в схеме.

Состояние электрической цепи, при котором токи и напряжения либо неизменны, либо меняются периодически, носит название установившегося. Наступлению установившегося состояния, отличного от первоначального режима работы, как правило, предшествует переходный процесс.

Основой формирования математических моделей электрических цепей являются первый и второй законы Кирхгофа и компонентные соотношения для резистивных, индуктивных и емкостных элементов.

$$U_R = R \cdot i_R, \quad U_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}, \quad i_R = \frac{U_R}{R}, \quad i_C = C \cdot \frac{dU_C}{dt}.$$

Из уравнений Кирхгофа с учетом компонентных соотношений выражаются $\frac{di_L}{dt}$ и $\frac{dU_C}{dt}$ через i_L и U_C . В итоге получается следующая система двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = A_{11} \cdot i_L + A_{12} \cdot U_C + B_1; \\ \frac{dU_C}{dt} = A_{21} \cdot i_L + A_{22} \cdot U_C + B_2, \end{cases}$$

которая описывает переходный процесс в рассматриваемой электрической цепи. Искомые зависимости $U_C(t)$, $i_L(t)$ из системы дифференциальных уравнений находятся численным методом.

Для нахождения времени переходного процесса $t_{\text{переход}}$ составляется матрица $A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}$ и находятся ее собственные числа, т. е.

$$\begin{vmatrix} A_{11} - \lambda & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \text{ или } (A_{11} - \lambda) \cdot (A_{22} - \lambda) - A_{12} \cdot A_{21} = 0.$$

Если собственные числа вещественные, то переходной процесс будет периодическим и время переходного процесса определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{1}{|\lambda_1|}, \quad \tau_2 = \frac{1}{|\lambda_2|}, \quad t_{\text{переход}} = 5 \cdot \max(\tau_1, \tau_2).$$

Если собственные числа комплексные, то переходной процесс будет колебательным и время переходного процесса определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{1}{|\operatorname{Re}(\lambda_1)|}, \quad \tau_2 = \frac{1}{|\operatorname{Re}(\lambda_2)|}, \quad t_{\text{переход}} = 5 \cdot \max(\tau_1, \tau_2).$$

Пример оформления физико-математической постановки задачи

Схема замещения электрической цепи представлена на рисунке 1. Значения параметров элементов: $R1 = 100 \text{ Ом}$, $R2 = 50 \text{ Ом}$, $R3 = 50 \text{ Ом}$, $R4 = 150 \text{ Ом}$, $E = 100 \text{ В}$, $L = 0.01 \text{ Гн}$, $C = 0.00001 \text{ Ф}$. Необходимо составить

и решить систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих переходный процесс, начиная с $t = 0$ при $U_C(0) = 0$ и $i_L(0) = 0$.

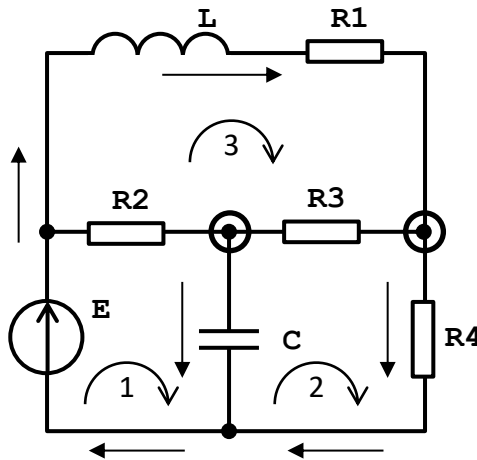


Рис. 1 – Схема замещения электрической цепи

Определяем количество узлов $N_{уз} = 4$, количество ветвей $N_B = 6$, количество ветвей, содержащих только идеальные источники ЭДС $N_E = 1$.

По первому закону Кирхгофа необходимо составить $N_{уз} - 1 - N_E = 2$ уравнений. С учетом направлений токов уравнения записываются для двух узлов:

$$i_{R2} - i_{R3} - i_C = 0;$$

$$i_L + i_{R3} - i_{R4} = 0.$$

Необходимое количество уравнений **по второму закону Кирхгофа** определяется $N_B - N_{уз} + 1 = 3$.

С учетом положительных направлений обхода контуров и падений напряжения на элементах получается

$$U_{R2} + U_C = E \quad \text{для контура 1;}$$

$$U_{R3} + U_{R4} - U_C = 0 \quad \text{для контура 2;}$$

$$U_L + U_{R1} - U_{R3} - U_{R2} = 0 \quad \text{для контура 3.}$$

Компонентные соотношения для элементов схемы имеют вид:

$$U_{R1} = R_1 \cdot i_L, \quad U_{R2} = R_2 \cdot i_{R2}, \quad U_{R3} = R_3 \cdot i_{R3}, \quad U_{R4} = R_4 \cdot i_{R4},$$

$$U_L = L \frac{di_L}{dt}, \quad i_C = C \frac{dU_C}{dt}.$$

Подставляя компонентные соотношения в уравнения, составленные по законам Кирхгофа, получим следующую систему из 5 уравнений. Выразим производные $L \frac{di_L}{dt}$, $C \frac{dU_C}{dt}$ через переменные: i_L и U_C в несколько этапов:

1-й этап

$$\begin{cases} i_{R2} - C \frac{dU_C}{dt} - i_{R3} = 0; \\ i_L + i_{R3} - i_{R4} = 0; \\ i_{R2} \cdot R_2 + U_C = E \\ i_{R3} \cdot R_3 + i_{R4} \cdot R_4 - U_C = 0; \\ L \frac{di_L}{dt} + i_L \cdot R_1 - i_{R3} \cdot R_3 - i_{R2} \cdot R_2 = 0, \end{cases}$$

2-й этап

$$\begin{cases} C \frac{dU_C}{dt} = i_{R2} - i_{R3}; \\ i_{R3} = i_{R4} - i_L; \\ i_{R2} = \frac{E - U_C}{R_2}; \\ i_{R4} = \frac{U_C - i_{R3} \cdot R_3}{R_4}; \\ L \frac{di_L}{dt} = -i_L \cdot R_1 + i_{R3} \cdot R_3 + i_{R2} \cdot R_2. \end{cases}$$

3-й этап

$$\left\{ \begin{array}{l} C \frac{dU_C}{dt} = i_{R2} - i_{R3} = \frac{E - U_C}{R_2} - i_{R4} + i_L = \frac{E - U_C}{R_2} - \frac{U_C + i_L \cdot R_3}{R_3 + R_4} + i_L; \\ i_{R3} = i_{R4} - i_L; \\ i_{R2} = \frac{E - U_C}{R_2}; \\ i_{R4} = \frac{U_C - (i_{R4} - i_L) \cdot R_3}{R_4} \Rightarrow i_{R4} = \frac{U_C + i_L \cdot R_3}{R_3 + R_4}; \\ L \frac{di_L}{dt} = -i_L \cdot R_1 + (i_{R4} - i_L) \cdot R_3 + \left(\frac{E - U_C}{R_2} \right) \cdot R_2 = -i_L \cdot R_1 + \left(\frac{U_C + i_L \cdot R_3}{R_3 + R_4} - i_L \right) \cdot R_3 + \left(\frac{E - U_C}{R_2} \right) \cdot R_2. \end{array} \right.$$

4-й этап

$$\left\{ \begin{array}{l} C \frac{dU_C}{dt} = U_C \cdot \left(-\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3 + R_4} \right) - i_L \cdot \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - 1 \right) + \frac{E}{R_2}; \\ L \frac{di_L}{dt} = U_C \cdot \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - 1 \right) + i_L \cdot \left(\left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - 1 \right) \cdot R_3 - R_1 \right) + E. \end{array} \right.$$

На 5-м этапе получаем искомый вид системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} C \frac{dU_C}{dt} = U_C \cdot A_{11} + i_L \cdot A_{12} + B_1; \\ L \frac{di_L}{dt} = U_C \cdot A_{21} + i_L \cdot A_{22} + B_2, \end{array} \right.$$

где

$$A_{11} = -\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3 + R_4}, \quad A_{12} = \frac{1 - \frac{R_3}{R_3 + R_4}}{C}, \quad B_1 = \frac{E}{C},$$

$$A_{21} = \frac{\frac{R_3}{R_3 + R_4} - 1}{L}, \quad A_{22} = \frac{\left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - 1 \right) \cdot R_3 - R_1}{L}, \quad B_2 = \frac{E}{L}.$$

Для нахождения времени переходного процесса найдем собственные числа матрицы

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}, \text{ т. е. } \begin{vmatrix} A_{11} - \lambda & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$\text{или } (A_{11} - \lambda) \cdot (A_{22} - \lambda) - A_{12} \cdot A_{21} = 0.$$

Решая квадратное уравнение, находим собственные числа λ_1 и λ_2 . Если собственные числа вещественные, то переходной процесс будет периодическим и время переходного процесса определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{1}{|\lambda_1|}, \quad \tau_2 = \frac{1}{|\lambda_2|}, \quad t_{\text{переход}} = 5 \cdot \max(\tau_1, \tau_2).$$

Если собственные числа комплексные, то переходной процесс будет колебательным и время переходного процесса определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{1}{|\operatorname{Re}(\lambda_1)|}, \quad \tau_2 = \frac{1}{|\operatorname{Re}(\lambda_2)|}, \quad t_{\text{переход}} = 5 \cdot \max(\tau_1, \tau_2).$$

По условию задачи, на начальный момент $U_C(0) = 0$, $i_L(0) = 0$ и, таким образом, решается следующая задача Коши:

$$\begin{cases} \frac{dU_C}{dt} = U_C \cdot A_{11} + i_L \cdot A_{12} + B_1 \\ \frac{di_L}{dt} = U_C \cdot A_{21} + i_L \cdot A_{22} + B_2 \end{cases}, \quad U_C(0) = 0, \quad i_L(0) = 0,$$

на интервале $[0; t_{\text{переход}}]$.

Разработка вычислительной программы на языке программирования Си

Вычислительная программа составляется студентом самостоятельно на языке Си и представляет собой решение численным путем полученной системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге – Кутты 4-го порядка. Численное решение находится с количеством точек $N = 1000$. При исследовании колебательного переходного режима

рекомендуется увеличивать количество точек и понаблюдать, как меняется численное решение. Исходные данные для параметров цепи задаются через текстовый файл. Результаты вычислений отображаются графически в программах обработки числовых данных (Microsoft Excel, MathCad или аналогичные), а также сохраняются в виде 2 текстовых файлов для $U_C(t)$ и $i_L(t)$. Каждый файл содержит два столбца числовых данных: первый столбец – время, второй – значение искомой функции.

Проведение тестирования полученной программы

Для проверки правильности записи вычислительной программы следует внести исходные данные элементов цепи, подставить коэффициенты A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} , B_1 , B_2 из рассмотренного примера и получить численные результаты представленные ниже. После проверки правильности записи вычислительной программы можно приступить к решению выбранного варианта.

Получение решения для выбранного варианта и описание полученных результатов

Результаты вычислений прикладываются к отчету в виде картинок в формате jpg. Результаты численного расчета апериодического переходного режима при $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 350 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 350 \text{ Ом}$, $E = 100 \text{ В}$, $L = 0.01 \text{ Гн}$, $C = 0.00001 \text{ Ф}$ показаны на рисунке 2.

Для получения колебательного режима следует выделить контур (рис. 3), в котором последовательно расположены источник постоянного напряжения, катушка индуктивности и конденсатор. При этом следует уменьшить сопротивления на этом контуре и увеличить сопротивления вне этого контура так, чтобы большая часть тока протекала по выделенному контуру. В нашем случае $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 350 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 350 \text{ Ом}$, $E = 100 \text{ В}$, $L = 0.01 \text{ Гн}$, $C = 0.00001 \text{ Ф}$. Результаты численного расчета колебательного режима показаны на рисунке 4.

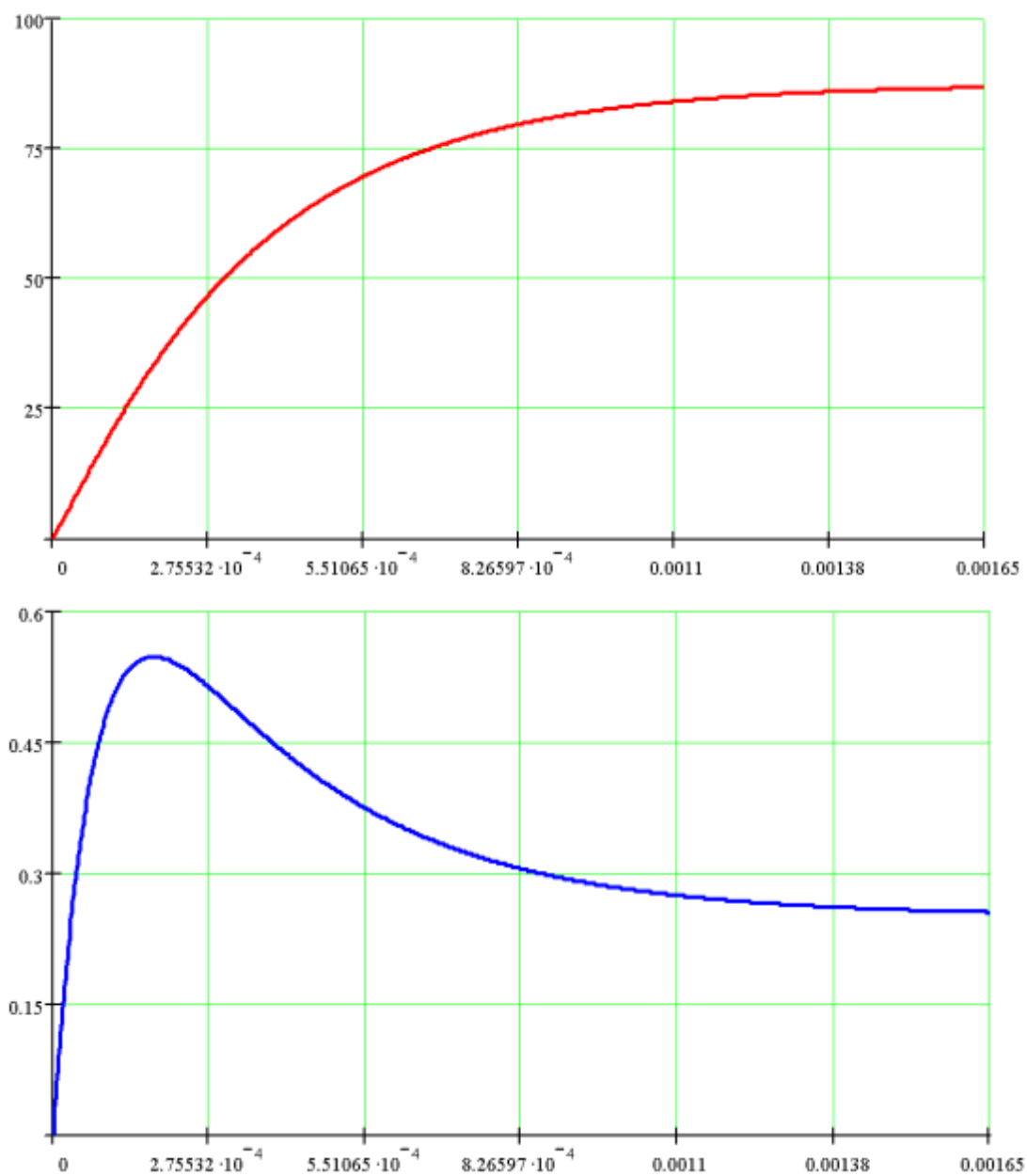


Рис. 2 – Результаты расчета аperiodического переходного процесса

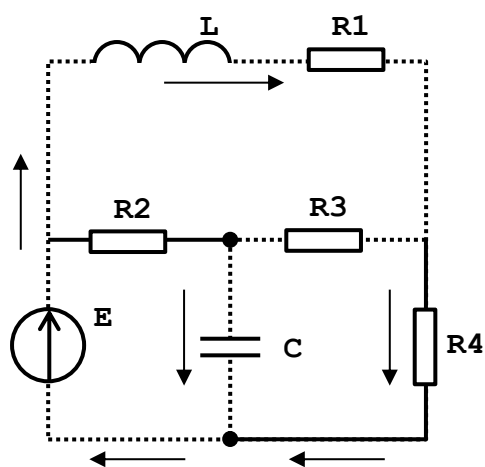


Рис. 3 – Контур, содержащий источник постоянного напряжения, катушку индуктивности и конденсатор

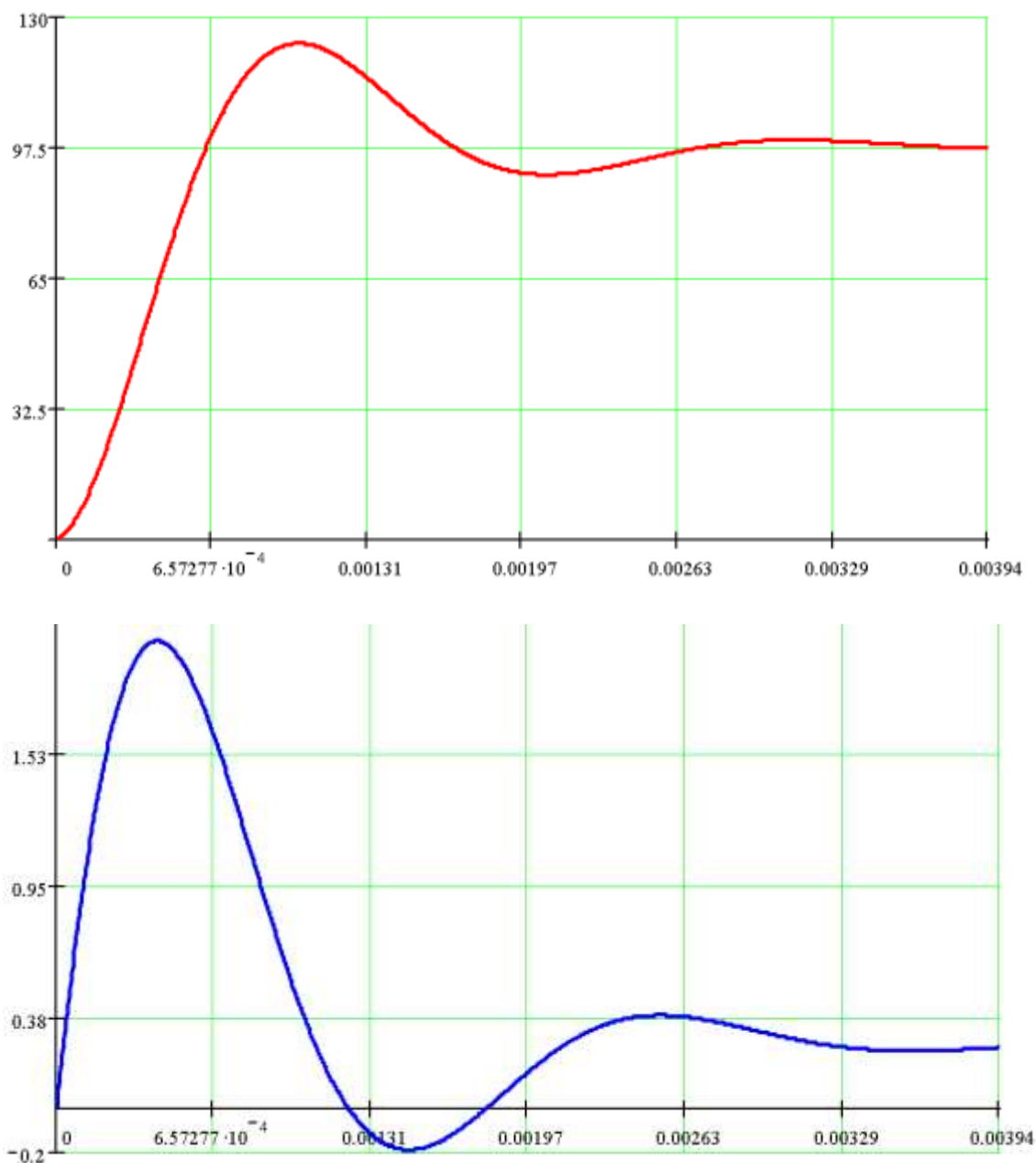


Рис. 4 – Результаты расчета колебательного переходного процесса

3 ПОДГОТОВКА ОТЧЕТА О ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ

Оформление пояснительной записки должно соответствовать требованиям образовательного стандарта вуза ОС ТУСУР 01–2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления». Текст стандарта

можно найти по ссылке: https://storage.tusur.ru/files/40668/rules_tech_01-2013.pdf.

Рекомендуется следующее содержание отчета:

- титульный лист,
- задание на курсовую работу,
- введение,
- основная часть,
- заключение,
- список использованных источников.

Введение должно содержать цель работы, ее значение. Основная часть пояснительной записки должна отражать физико-математическую постановку задачи, текст программы, графики полученных численных расчетов, объяснение зависимости полученных численных расчетов от исходных данных электрической цепи.

Заключение должно содержать краткие выводы по результатам выполненной работы. Список использованных источников оформляется согласно стандарту.

На проверку присылаются исходный код программы (.с и .h файлы); файл исходных данных, содержащий параметры электрической цепи; файл полученных результатов и пояснительная записка.

4 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Калиткин Н. Н. Численные методы : учеб. пособие / Н. Н. Калиткин. – 2-е изд., исправленное. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 592 с.

2. Каханер Д. Численные методы и программное обеспечение : пер. с англ. / Д. Каханер, К. Моулера, С. Нэш. – 2-е изд., стер. – М. : Мир, 2001. – 575 с.

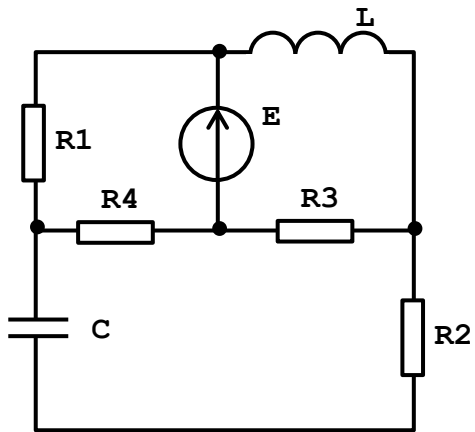
3. Самарский А. А. Введение в численные методы : учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский. – 5-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 288 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

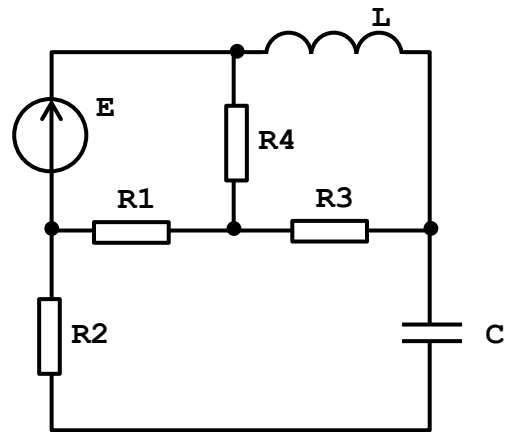
Варианты заданий на курсовую работу

$R1 = 100 \text{ Ом}, R2 = 50 \text{ Ом}, R3 = 50 \text{ Ом}, R4 = 150 \text{ Ом}, R5 = 50 \text{ Ом},$
 $E = 100 \text{ В}, L = 0.01 \text{ Гн}, C = 0.00001 \text{ Ф}$

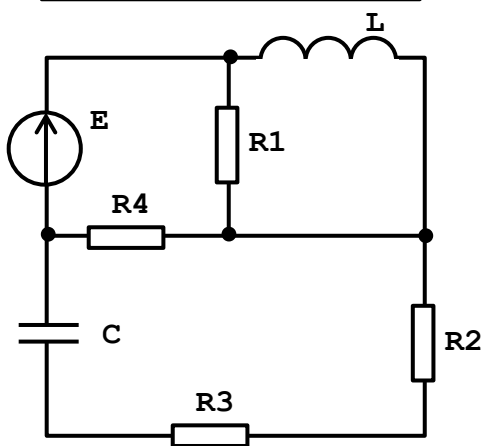
1



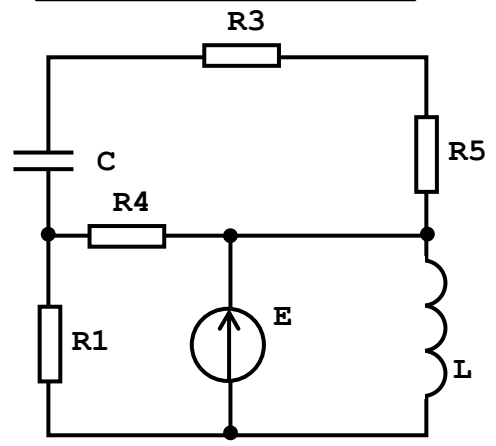
2



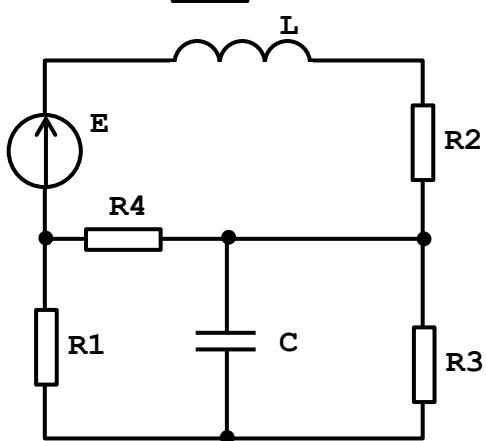
3



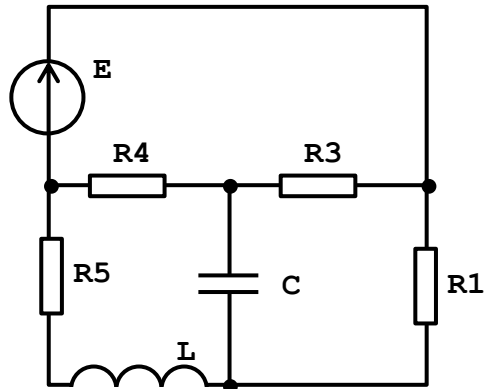
4



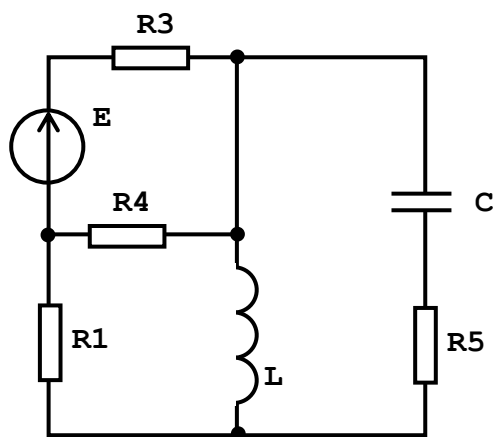
5



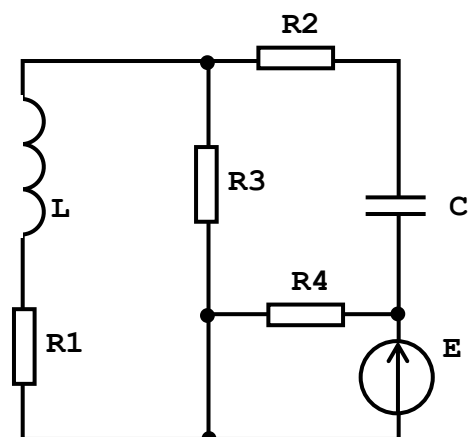
6



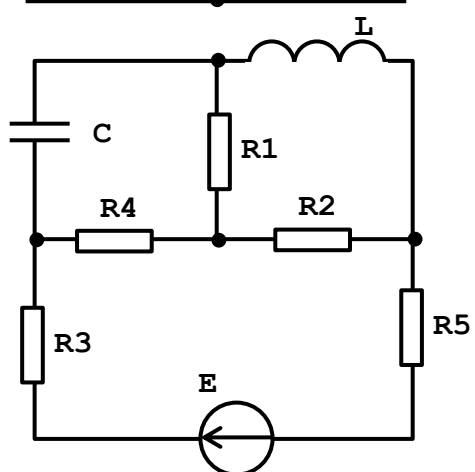
7



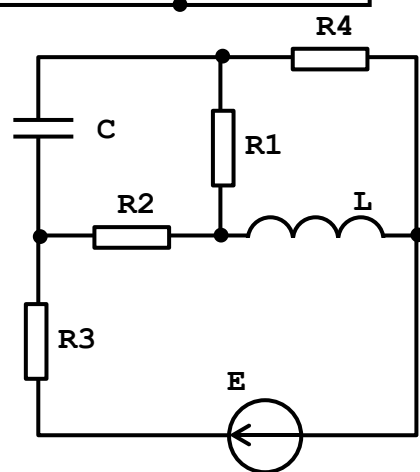
8



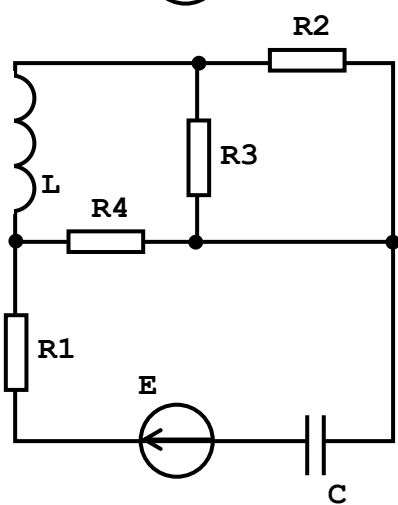
9



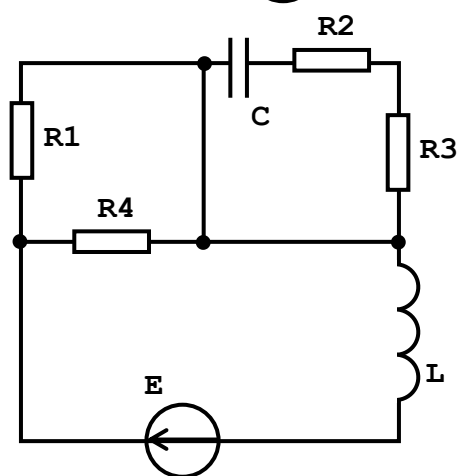
10



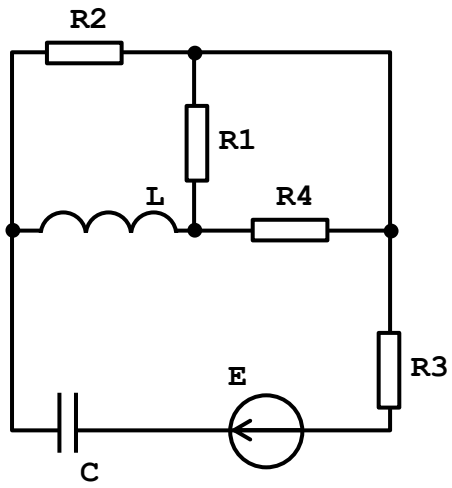
11



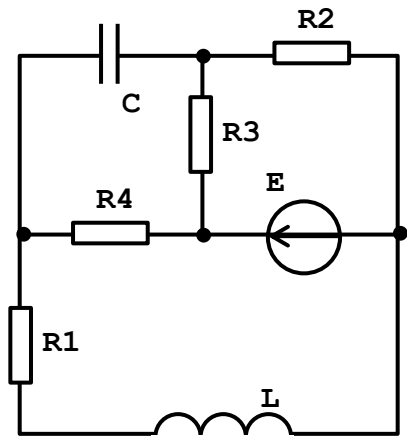
12



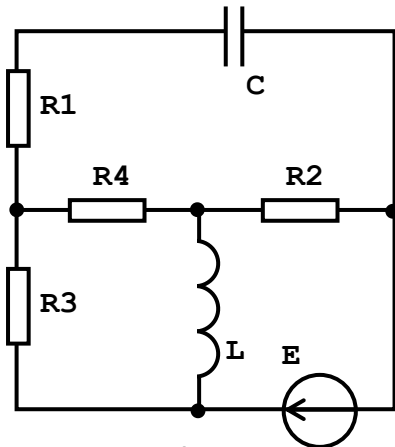
13



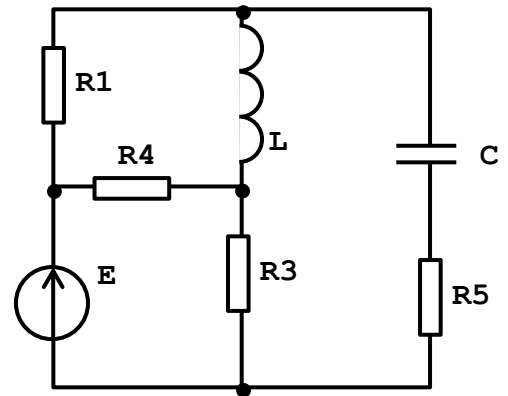
14



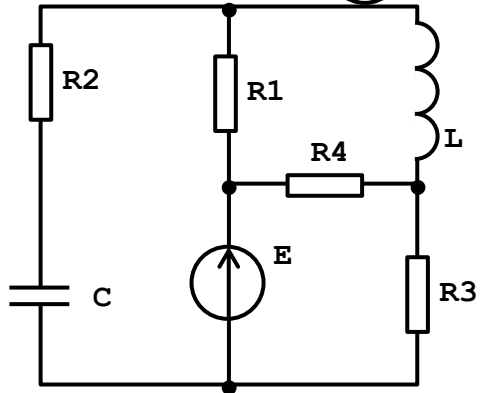
15



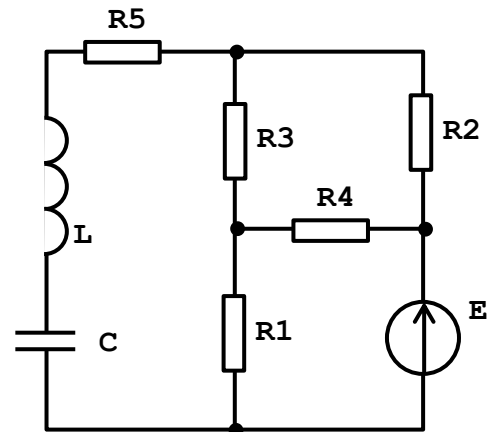
16



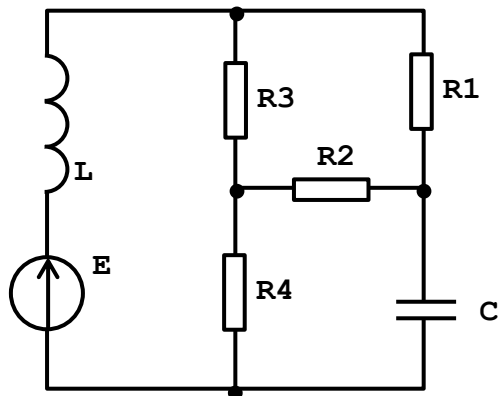
17



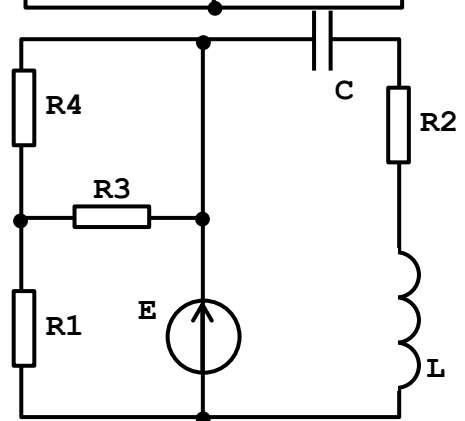
18



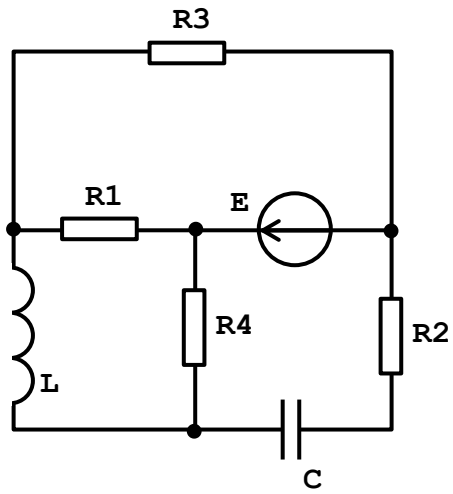
19



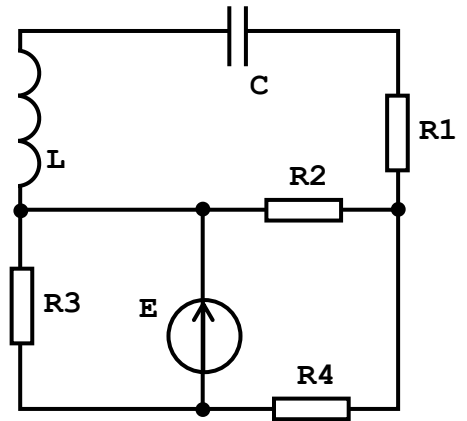
20



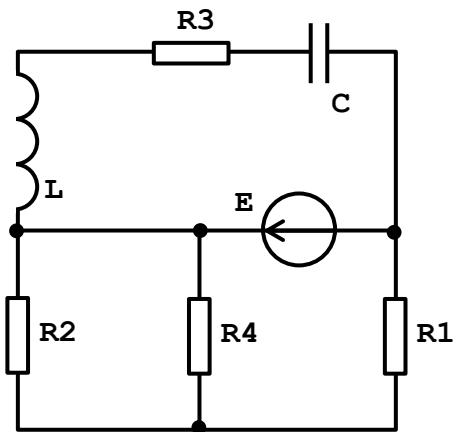
21



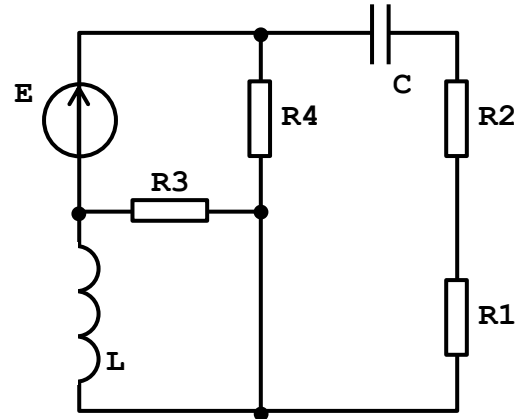
22



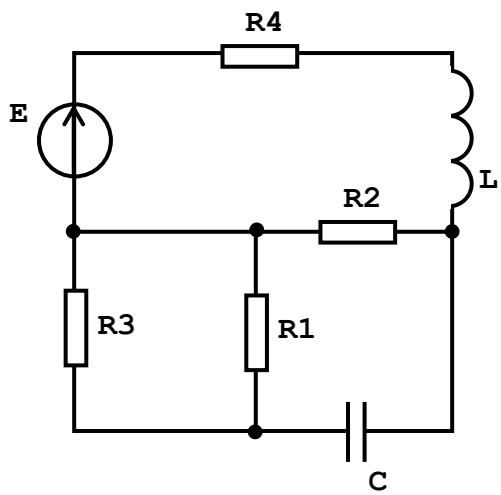
23



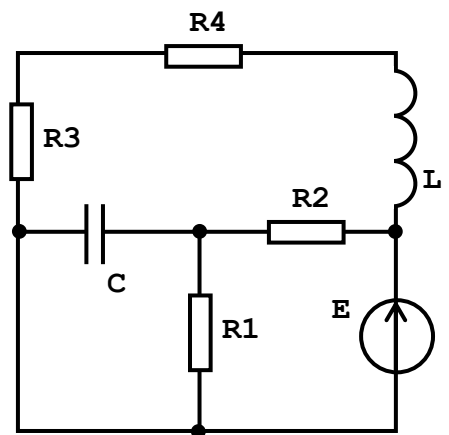
24



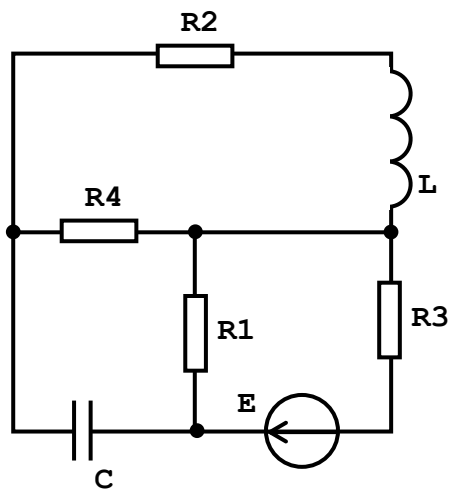
25



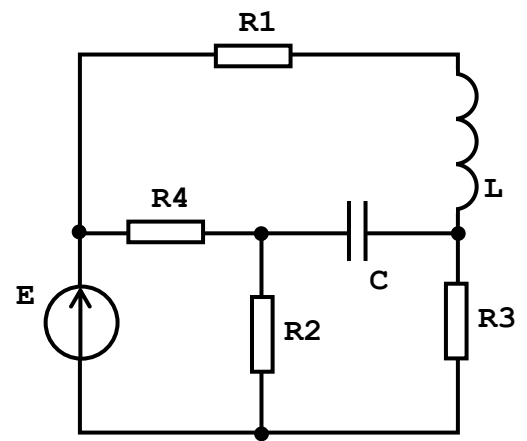
26



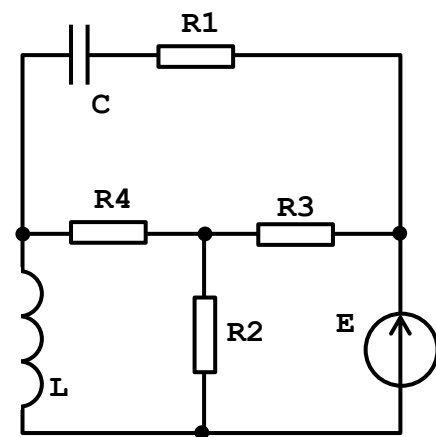
27



28



29



30

