

АЛГОРИТМИЗИРОВАННЫЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ПО ТОЭ № 1 – 4

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных видов занятий по курсу теоретических основ электротехники (ТОЭ) является выполнение расчетно-графических заданий. При изучении курса студенты приобретают необходимые знания об основных методах расчета и физических процессах, с которыми приходится встречаться в теории электрических цепей и электромагнитных полей.

Алгоритмизированное задание - это задание, в котором конфигурация электрической схемы и параметры ее элементов составлены по случайному закону с учетом шифра студента.

Целью алгоритмизации домашних заданий является выдача каждому студенту индивидуального варианта и обеспечение контроля промежуточных и конечных расчетных результатов.

К оформлению заданий предъявляются следующие требования:

- 1) основные положения решения должны иметь необходимые пояснения;
- 2) вычисления достаточно выполнить с точностью до трех значащих цифр;
- 3) рисунки и схемы, в том числе заданные условием задачи, не следует размещать среди текста. Они должны быть выполнены на отдельном листе бумаги;
- 4) графики должны быть выполнены на миллиметровой бумаге в удобочитаемом масштабе. На графиках должны быть обозначены расчетные точки, по которым строятся кривые, и указаны единицы измерения величин, откладываемых по осям графиков;
- 5) работа должна быть выполнена на бумаге форматом А4. Студенты заочного отделения могут оформлять задания в ученических тетрадях.

1. Расчетно-графическое задание № 1

Расчет линейных электрических цепей постоянного тока

Задание служит для освоения студентами различных методов расчета линейных электрических цепей постоянного тока (методы контурных токов, узловых потенциалов, наложения, пропорционального пересчета, эквивалентного генератора), а также матричных методов, основанных на теории графов. Задание предусматривает проверку правильности расчетов с помощью законов Кирхгофа и составление баланса мощностей.

1.1. Формирование схемы задания

Для выполнения задания студенту выдается индивидуальная карточка, по которой он составляет электрическую схему. Пример такой карточки и составленной по ней схемы показан на рис.1.1 и 1.2.

Схема составляется в следующей последовательности:

- на листе произвольно наносятся и номеруются n узлов, где n – максимальное число в колонках ' точки Н-К ';

- к обозначенным узлам подсоединяются ветви схемы, для этого между парой точек включают сопротивление $-R$ и ЭДС $-E$ или источник тока I_k , напечатанные в той же строке, что и заданная пара узлов; ток и ЭДС в каждой ветви направляются от узла, обозначенного Н (начало) к узлу К - (конец); сопротивлению, ЭДС и току в ветви присвоить индекс, соответствующий номеру ветви.

1.2. Содержание задания

1. Для исходной схемы составить системы уравнений и записать их в матричной форме следующими методами:

- законами Кирхгофа;
- методом контурных токов;
- методом узловых потенциалов.

2. Провести расчет всех токов методами контурных токов и узловых потенциалов, составить сравнительную таблицу расчета токов различными методами.

3. Провести проверку расчета токов по законам Кирхгофа. Составить баланс мощности.

4. Если задан вольтметр, определить его показание.

5. Рассчитать указанный в карточке ток методом наложения:
- от действия указанного там же источника тока методом пропорционального пересчета;
 - от действия остальных источников любым иным методом.
6. Рассчитать указанный в карточке ток методом эквивалентного генератора.
- 7.* Для исходной схемы нарисовать граф и на его ветвях выделить дерево и хорды.
- 8.* Составить топологические матрицы:
- [A] - матрицу инцидентности;
 - [Q] - матрицу главных сечений;
 - [B] - матрицу главных контуров.
- 9.* Используя топологические матрицы, получить в матричной форме:
- уравнения Кирхгофа;
 - уравнения контурных токов;
 - уравнения узловых потенциалов.

ЗАДАНИЕ ПО ТОЭ №1 ВАРИАНТ № 5401					
Ветви схемы	НОМЕР ВЕТВИ	УЗЛЫ Н-К	R Ом	E В	I _к А
Точки или узлы, между которыми присоединяются ветви схемы	1	5-2	2.00	.0	.000
	2	1-2	.00	.0	.100
	3	1-4	5.00	.8	.000
	4	2-4	6.00	.0	.000
	5	3-5	2.00	.5	.000
	6	2-1	8.00	.0	.000
	7	2-1	4.00	.0	.000
	8	1-3	.00	.0	.100
	9	4-3	.00	.0	.000
	10	3-1	5.00	.0	.000
ДЛЯ ПУНКТОВ:					
5-ОПР. ТОК I ₁₀ (ИСТОЧНИК ТОКА I _{к2})					
6-ОПР. ТОК I ₃					
FI 4 ПРИНЯТЬ РАВНЫМ НУЛЮ					

Рис. 1.1. Пример карточки задания № 1

Примечание. Заданные перед началом расчетов положительные направления токов (от начала к концу ветви), а также

исходную нумерацию ветвей и узлов необходимо сохранять для всего расчета

Пункты, помеченные «*», выполняются по дополнительному указанию преподавателя.

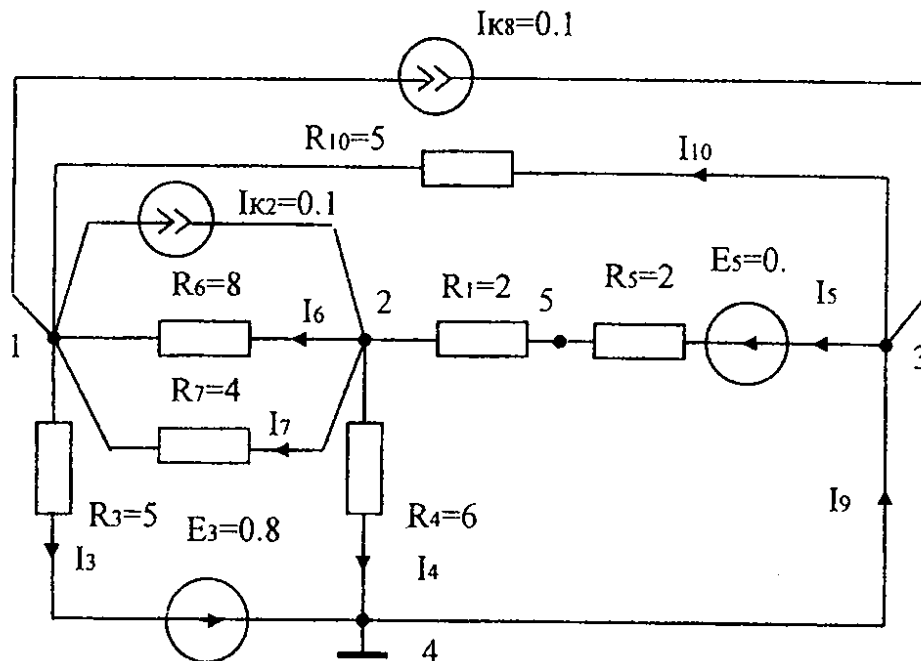


Рис.1.2. Схема, составленная по карточке задания

Результаты расчетов по п. 2 ÷ 6 заносятся в табл. 1.1, по которой осуществляется контроль расчета задания.

Таблица 1.1

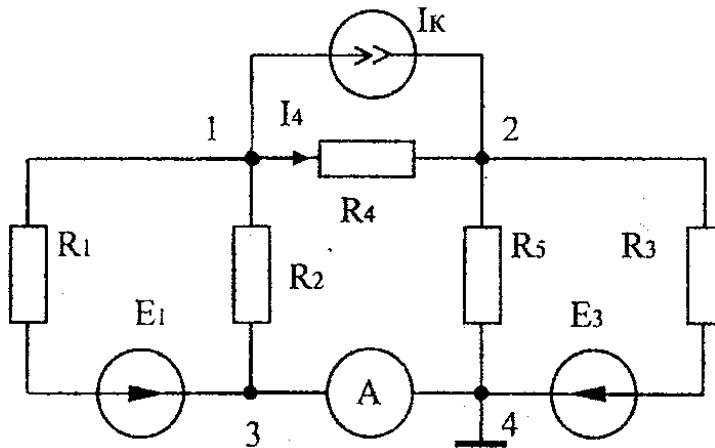
1. Метод контурных токов								$\Delta_{\text{КТ}} =$	
I/U 1	I/U 2	I/U 3	I/U 4	I/U 5	I/U 6	I/U 7	I/U 8	I/U 9	I/U 10
2. Метод узловых потенциалов								$\Delta_{\text{УП}} =$	
φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	U_V	
3. Метод наложения			4. Метод эк. генератора			5. Баланс мощности			
$I_{\text{ИК}}$		$I_{\text{ЕГ}}$	$R_{\text{ЭГ}}$		$E_{\text{ЭГ}}$	$P_{\text{ИСТ}}$		$P_{\text{ПОТР}}$	

В табл. 1.1: $\Delta_{\text{КТ}}$ – значение главного определителя системы уравнений метода контурных токов; I/U 1÷I/U 10 – значения токов в ветвях без источников тока или напряжений на источниках тока; $\Delta_{\text{УП}}$ –

значение главного определителя системы уравнений метода узловых потенциалов; $\varphi_1 - \varphi_8$ – потенциалы узлов; U_v – показание вольтметра; $I_{ик}$ – составляющая искомого тока от источника тока; I_{ei} – составляющая искомого тока от остальных источников; $R_{эг}$ – сопротивление эквивалентного генератора; $E_{эг}$ – ЭДС эквивалентного генератора; $P_{ист}$ – мощность источников; $P_{потр}$ – мощность потребителей.

1.3. Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.3.1.

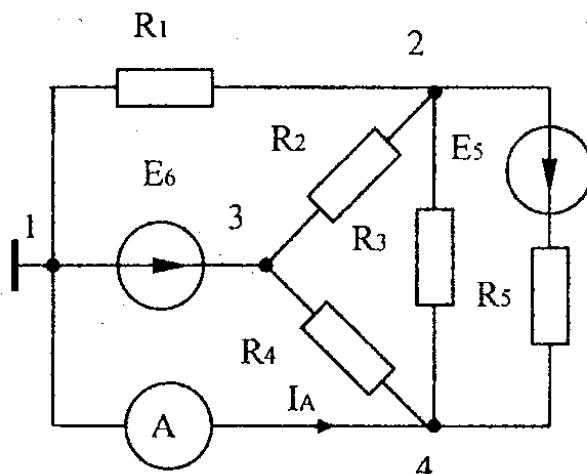


$E_1=0.8 \text{ В}$, $E_3=1.8 \text{ В}$,
 $I_k=0.1 \text{ А}$, $R_1=6 \text{ Ом}$,
 $R_2=5 \text{ Ом}$, $R_3=3 \text{ Ом}$,
 $R_4=4 \text{ Ом}$, $R_5=6 \text{ Ом}$.

Определить:

- 1) показание амперметра;
- 2) Ток I_4 ;
- 3) Потенциалы узлов 1–3 и все токи;
- 4) Составить баланс мощности

Задача 1.3.2

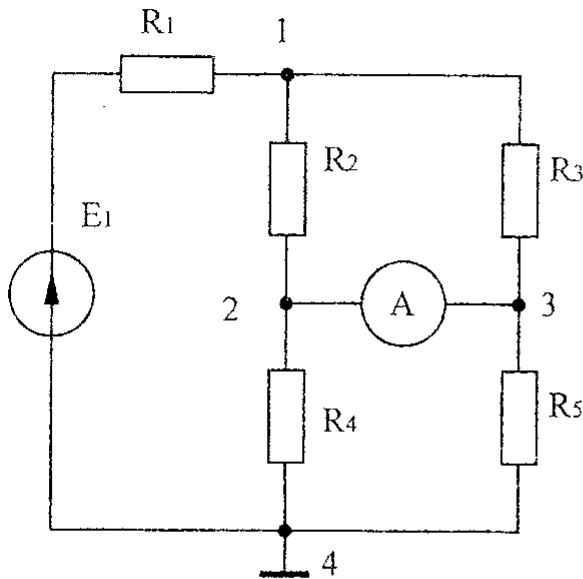


$E_5=5 \text{ В}$, $E_6=15 \text{ В}$,
 $R_1=20 \text{ Ом}$, $R_2=30 \text{ Ом}$,
 $R_3=15 \text{ Ом}$, $R_4=45 \text{ Ом}$,
 $R_5=10 \text{ Ом}$.

Определить:

- 1) все токи (I_1 – I_6 , I_A);
- 2) составить баланс мощности
- 2) показание амперметра.

Задача 1.3.3.

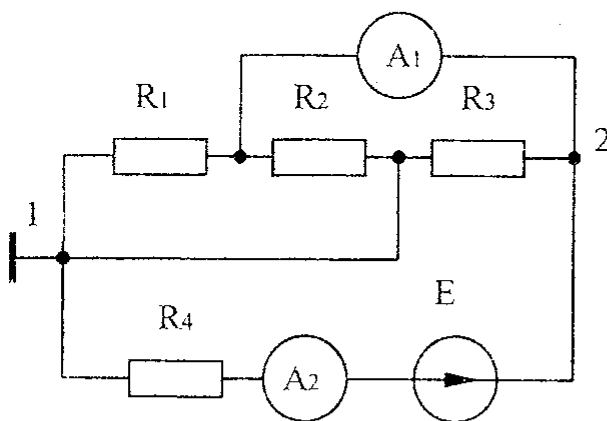


$E_1=5\text{ В}$, $R_1=20\text{ Ом}$,
 $R_2=30\text{ Ом}$, $R_3=15\text{ Ом}$,
 $R_4=45\text{ Ом}$, $R_5=10\text{ Ом}$.

Определить:

- 1) потенциалы узлов 1–3 и токи во всех ветвях схемы;
- 2) показание амперметра.

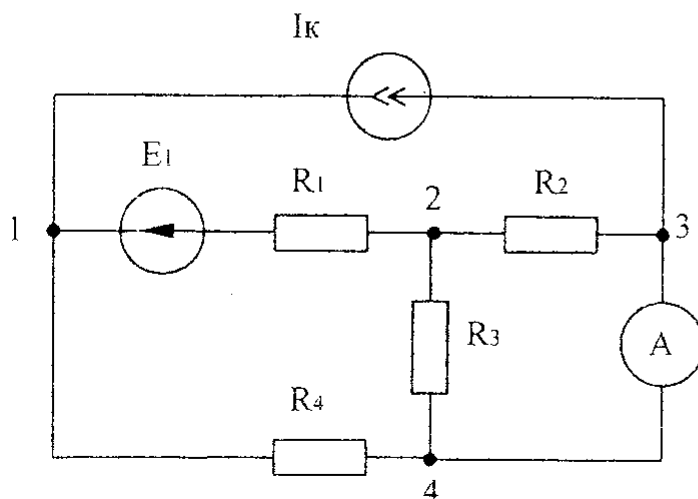
Задача 1.3.4.



$E=5\text{ В}$, $R_1=20\text{ Ом}$,
 $R_2=30\text{ Ом}$, $R_3=15\text{ Ом}$,
 $R_4=10\text{ Ом}$.

Определить
показания амперметров.

Задача 1.3.5.

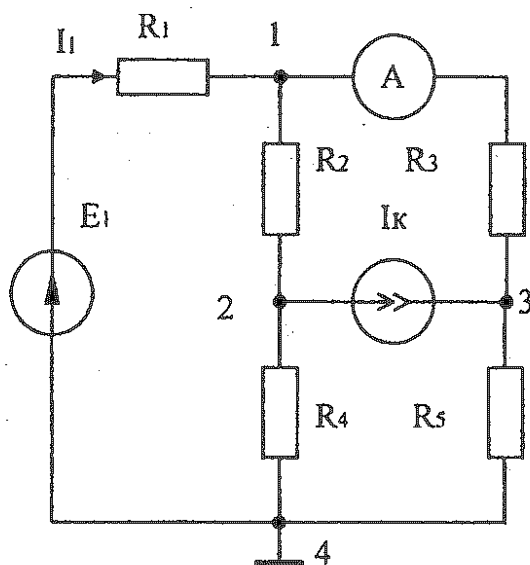


$E_1=15\text{ В}$, $I_k=2\text{ мА}$,
 $R_1=1.2\text{ кОм}$, $R_2=2.2\text{ кОм}$,
 $R_3=1.5\text{ кОм}$, $R_4=1.3\text{ кОм}$.

Определить:

- 1) все токи I_1 – I_4 , I_A ;
- 2) составить баланс мощности;
- 3) показание амперметра.

Задача 1.3.6.

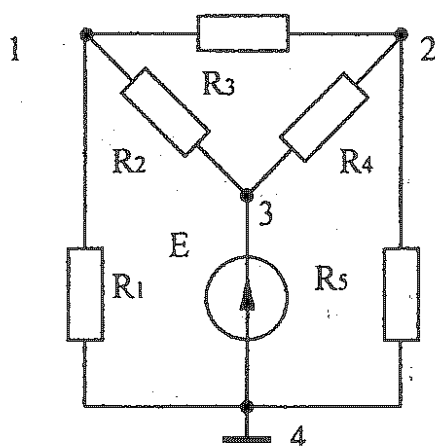


$E_1=5\text{ В}$, $I_k=4\text{ мА}$, $R_1=2.2\text{ кОм}$,
 $R_2=3.2\text{ кОм}$, $R_3=1.5\text{ кОм}$,
 $R_4=4.3\text{ кОм}$, $R_5=1\text{ кОм}$.

Определить:

- 1) показание амперметра;
- 2) ток I_1 ;
- 3) потенциалы узлов 1–3.

Задача 1.3.7.

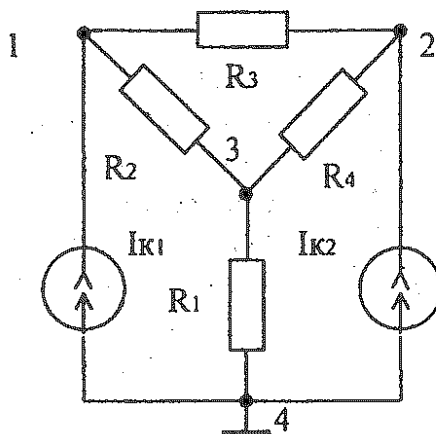


$E=5\text{ В}$, $R_1=20\text{ Ом}$,
 $R_2=30\text{ Ом}$, $R_3=25\text{ Ом}$,
 $R_4=15\text{ Ом}$, $R_5=10\text{ Ом}$.

Определить:

- 1) все токи;
- 2) составить баланс мощности

Задача 1.3.8.

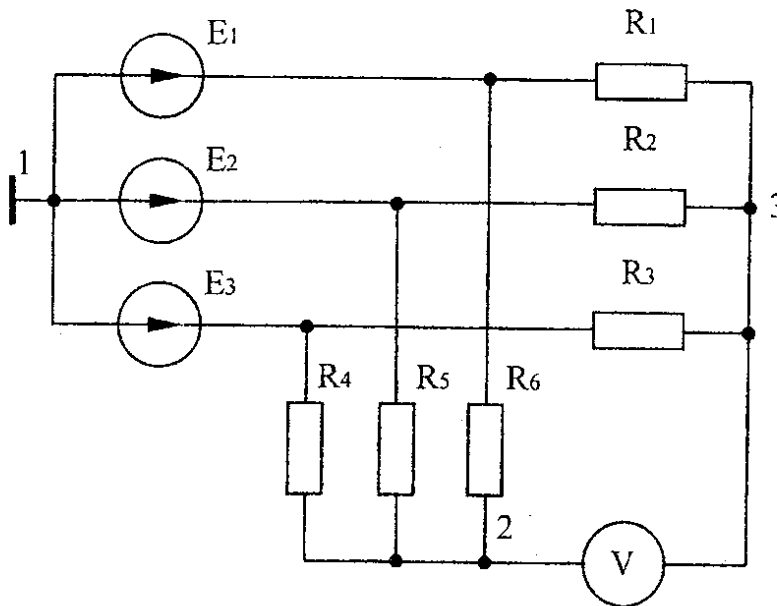


$I_{k1}=0.5\text{ А}$, $I_{k2}=0.1\text{ А}$,
 $R_1=20\text{ Ом}$, $R_2=30\text{ Ом}$,
 $R_3=25\text{ Ом}$, $R_4=15\text{ Ом}$.

Определить:

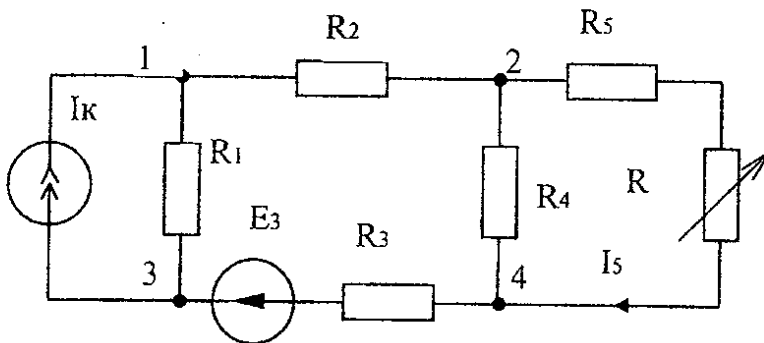
Все токи и составить баланс мощности

Задача 1.3.9.



$E_1=5 \text{ В}, E_2=15 \text{ В},$
 $E_3=20 \text{ В},$
 $R_1=20 \text{ Ом},$
 $R_2=30 \text{ Ом},$
 $R_3=15 \text{ Ом},$
 $R_4=45 \text{ Ом},$
 $R_5=10 \text{ Ом},$
 $R_6=15 \text{ Ом}.$
 Определить
 показание
 вольтметра;

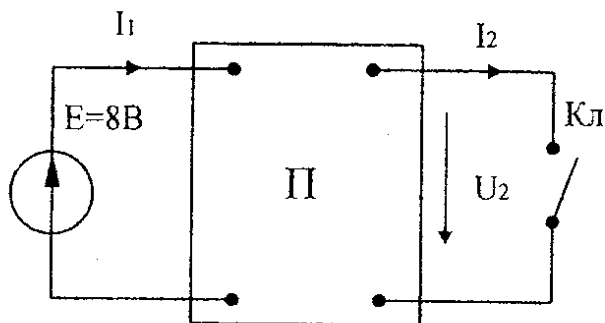
Задача 1.3.10.



$E_3=3 \text{ В}, I_k=3.5 \text{ А},$
 $R_1=2 \text{ Ом}, R_2=2 \text{ Ом},$
 $R_3=1 \text{ Ом}, R_4=5 \text{ Ом},$
 $R_5=0.5 \text{ Ом}.$

Найти значение R , при котором мощность выделяемая в нём будет максимальной. Определить значение этой мощности.

Задача 1.3.11.



При замкнутом ключе токи $I_1=1 \text{ А}$ и $I_2=0.5 \text{ А}.$

Определить значение тока I_1 при разомкнутом ключе, если напряжение на разомкнутом ключе $U_2=3.2 \text{ В}.$

2. Расчетно-графическое задание № 2

Расчет линейных цепей синусоидального тока

Задание служит для освоения студентами методов расчета установившихся режимов в линейных цепях синусоидального тока с индуктивно связанными катушками. Задание предусматривает определение показания ваттметров, расчет и построение круговой диаграммы, проверку правильности расчетов по балансу мощностей, векторной диаграмме токов и топографической диаграмме напряжений.

2.1 Формирование схемы задания

Для расчета задания студент получает от преподавателя индивидуальную карточку (рис.2.1). Электрическая схема составляется по данным этой карточки (рис.2.2) в следующей последовательности:

- формируются три ветви: первая между узлами 0,1; вторая - 0,2; третья - 0,3 и симметричной нагрузки, присоединенной к узлам 1, 2 и 3, имеющей вид треугольника либо звезды;

- ЭДС, активное сопротивление R , емкость C , индуктивность L и индуктивно связанные катушки (в карточке L кат.) включаются последовательно в соответствующие ветви, например, $e_1(t)$ и индуктивность L_1 в первую ветвь, емкость C_2 и катушка L кат2 во вторую ветвь и т. д. (для индуктивно связанных катушек задается направление намотки правое либо левое (см. рис. 2.2) и взаимная индуктивность – M);

- два ваттметра подключаются непосредственно к зажимам ЭДС;

- положительные направления токов принимаются от узла 0 к узлам 1, 2 и 3.

2.2. Содержание задания

1. Разметить одноименные зажимы индуктивно связанных катушек.

2. Составить системы уравнений по законам Кирхгофа для мгновенных значений и в символической форме.

3. Рассчитать комплексные значения токов в ветвях I_1 , I_2 и I_3 символическим методом. Записать выражения для мгновенных значений токов: $i_1(t)$, $i_2(t)$ и $i_3(t)$.

4. Составить баланс мощности. Определить показания ваттметров.

```

=====
| ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ ПО ТОЭ N2 I N   1101 |
|-----|
| e1(t)= 141.00*SIN( 500*t+ 90) В. |
| e3(t)= 141.00*SIN( 500*t-315) В. |
| R3= 40.0 Ом.L1= .100 Гн.C2= 1.67мкФ |
| L кат.2= .140 Гн. НАМОТКА кат.2 ПРАВАЯ |
| L кат.3= .160 Гн. НАМОТКА кат.3 ЛЕВАЯ |
| M(2-3) = .140 Гн. |
| НАГРУЗКА: Cн= 9.524мкФ.СОЕ-НИЕ ТР-К |
| ПОСТРОИТЬ КРУГОВУЮ ДИАГРАММУ ТОКА I3 |
| ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МОДУЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ C2 |
=====

```

Рис. 2.1. Пример карточки задания № 2

5. Построить топографическую диаграмму напряжений, совмещенную с векторной диаграммой токов.

6. Построить круговую диаграмму для указанного в карточке задания тока. Модуль заданного в карточке сопротивления изменяется от нуля до бесконечности. По диаграмме определить наибольшее и наименьшее значения изменяемого тока, максимальное значение активной либо реактивной мощности в переменном сопротивлении (на примере рис.2.2 конденсатор, перечеркнутый стрелкой).

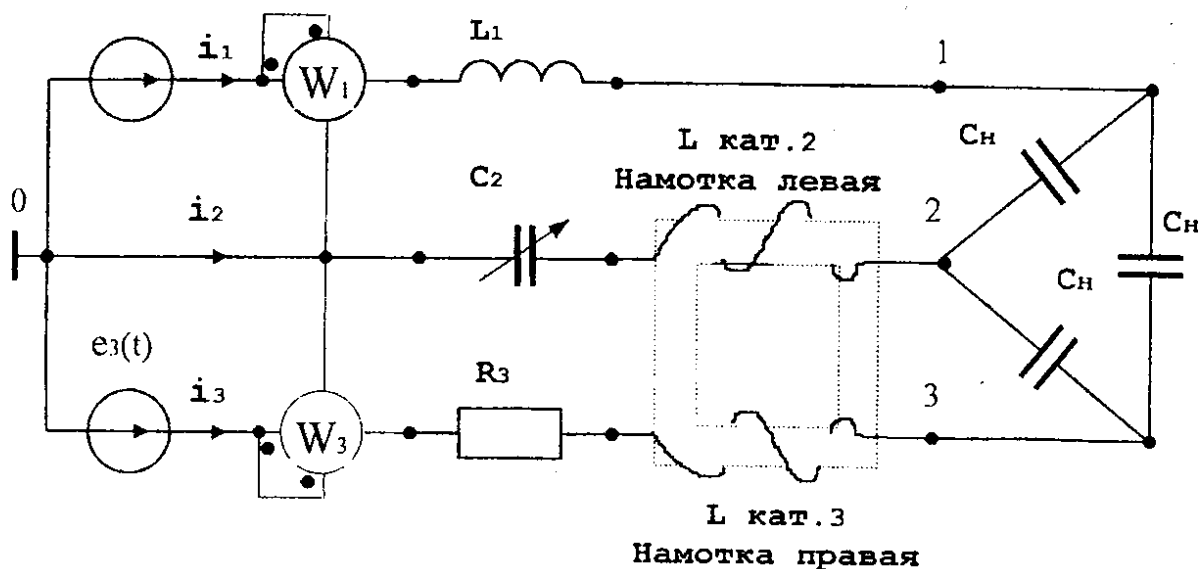


Рис. 2.2. Схема, составленная по карточке задания

Результаты расчетов по п. 3,4 и 6 заносятся в табл. 2.1, по которой осуществляется контроль расчета задания.

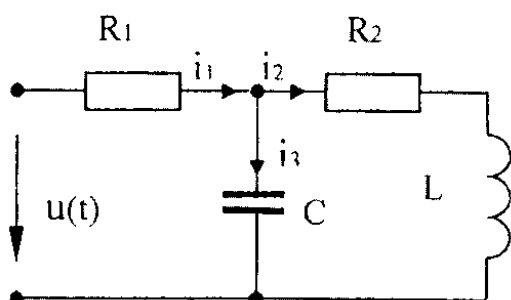
Таблица 2.1

1. Расчет символическим методом						
Z_1	Z_2	Z_3	U_{00}	I_1	I_2	I_3
2. Показания ваттметров			3. Баланс мощности			
P_{W1}	P_{W2}	$P_{ист}$	$Q_{ист}$	$P_{потр}$	$Q_{потр}$	
4. Данные круговой диаграммы						
$I_{кз}$	$I_{хх}$	$Z_{вх}$	$-\psi$			

В табл. 2.1: $Z_1 \div Z_3$ - комплексные сопротивления ветвей преобразованной схемы; U_{00} - комплексное напряжение между нулевыми точками преобразованной схемы; $I_1 \div I_3$ - комплексные токи в ветвях преобразованной схемы; P_{W1} и P_{W2} - показания ваттметров; $P_{ист}$, $Q_{ист}$, $P_{потр}$ и $Q_{потр}$ - активная и реактивная мощность источников и потребителей; $I_{кз}$ и $I_{хх}$ - комплексные токи короткого замыкания и холостого хода для круговой диаграммы; $Z_{вх}$ - комплексное входное сопротивление схемы относительно зажимов переменного сопротивления; $-\psi$ - угол, под которым направляется линия переменного параметра.

2.3. Задачи для самостоятельного решения

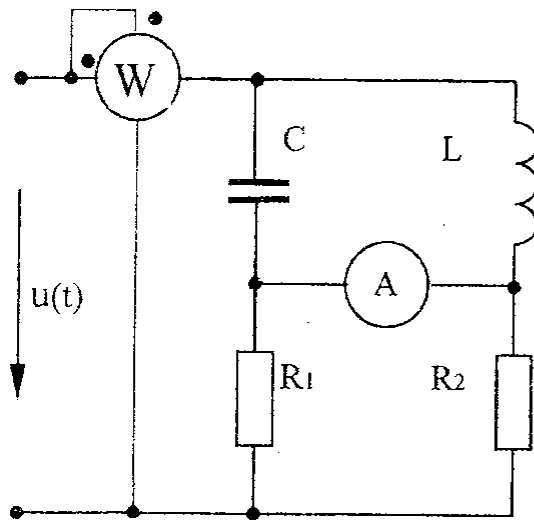
Задача 2.3.1.



$u(t)=15\sin(1000t)$ В, $R_1=20$ Ом,
 $R_2=30$ Ом, $C=25$ мкФ, $L=0.03$ Гн.

Определить токи i_1 - i_3 и построить векторные диаграммы токов и напряжений.

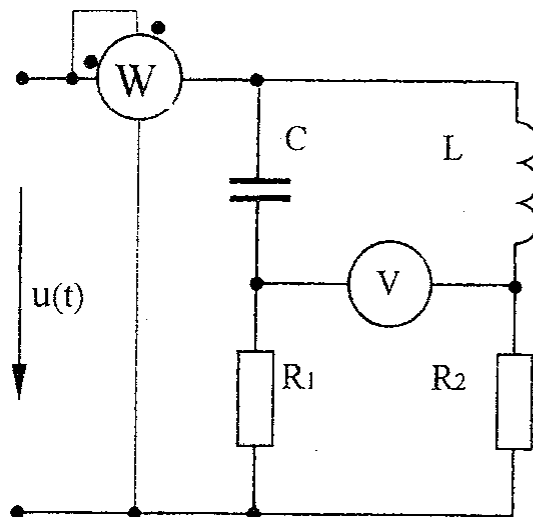
Задача 2.3.2.



$u(t)=25\sin(1000t)$ В, $R_1=40$ Ом,
 $R_2=20$ Ом, $C=25$ мкФ, $L=0.03$ Гн.

Определить показания приборов электромагнитной системы и построить векторные диаграммы токов и напряжений. Найти значение ёмкости C , при которой в цепи наступит резонанс токов.

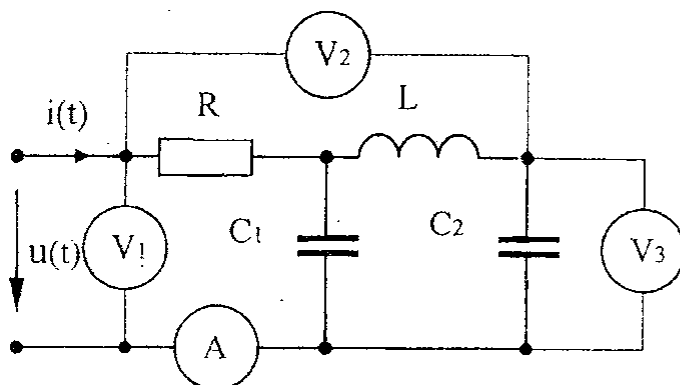
Задача 2.3.3.



$u(t)=50\sin(1000t)$ В, $R_1=20$ Ом,
 $R_2=40$ Ом, $C=10$ мкФ, $L=0.04$ Гн.

Определить показания приборов и построить векторные диаграммы токов и напряжений. Найти значение ёмкости C , при которой в цепи наступит резонанс токов.

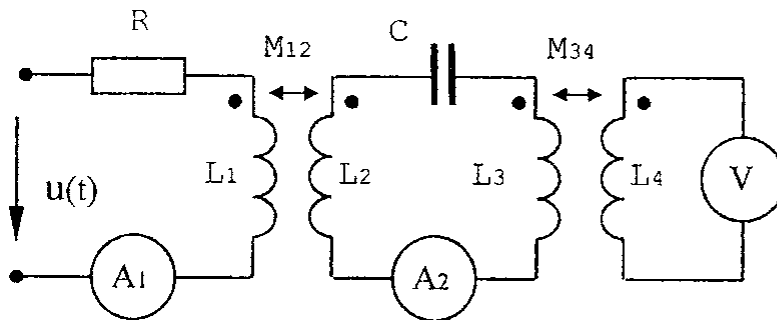
Задача 2.3.4.



$u(t)=100\sin(500t)$ В,
 $R=20$ Ом, $C_1=50$ мкФ,
 $C_2=50$ мкФ, $L=0.1$ Гн.

Определить показания приборов электромагнитной системы и построить векторную диаграмму напряжений.

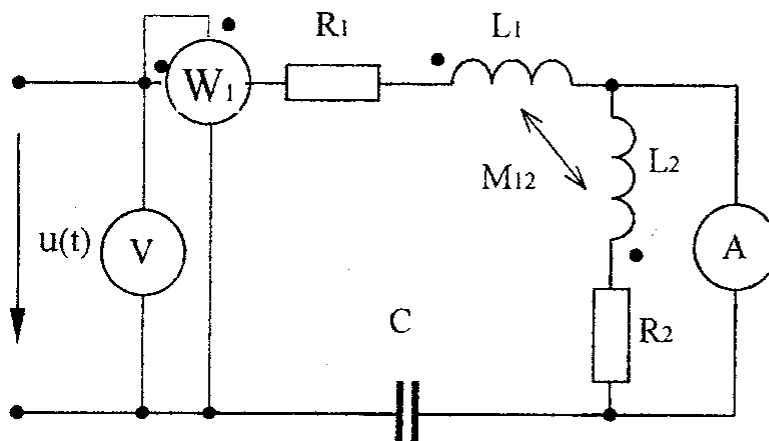
Задача 2.3.5.



$u(t)=10\sin(1000t)$ В,
 $R=20$ Ом, $C=25$ мкФ,
 $L_1=0.05$ Гн, $L_2=0.03$ Гн,
 $L_3=0.03$ Гн, $L_4=0.04$ Гн,
 $M_{12}=0.02$ Гн,
 $M_{34}=0.01$ Гн.

Определить показания приборов и построить векторные диаграммы токов и напряжений.

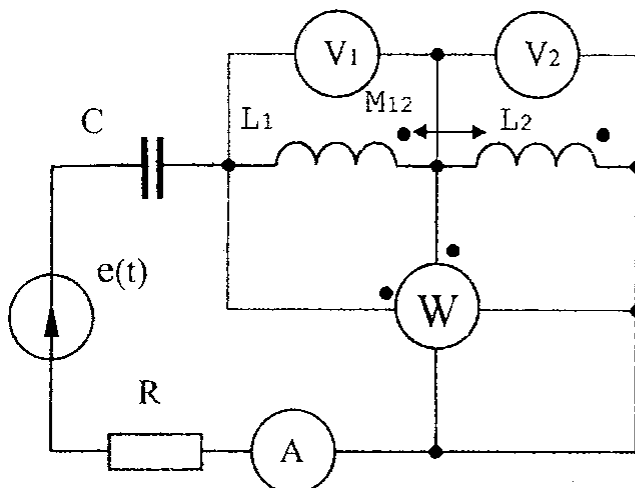
Задача 2.3.6.



$u(t)=25\sin(1000t)$ В,
 $R_1=80$ Ом, $R_2=40$ Ом,
 $L_1=0.08$ Гн, $L_2=0.06$ Гн,
 $M_{12}=0.04$ Гн.

Найти значение ёмкости C , при которой в цепи наступит резонанс напряжений. Определить показания приборов и построить векторные диаграммы токов и напряжений.

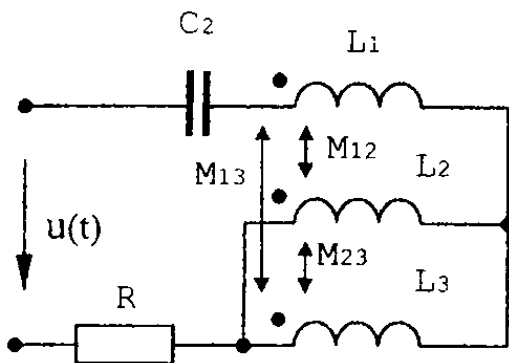
Задача 2.3.7.



$e(t)=25\sin(1000t)$ В,
 $R=50$ Ом, $L_1=0.08$ Гн,
 $L_2=0.06$ Гн, $M_{12}=0.04$ Гн.

Найти значение ёмкости C , при которой в цепи наступит резонанс напряжений. Определить показания приборов и построить векторные диаграммы токов и напряжений.

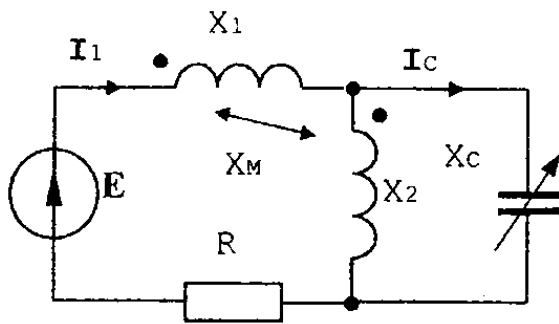
Задача 2.3.8.



$u(t)=15\sin(1000t)$ В, $R=30$ Ом, $L_1=0.03$ Гн, $L_2=0.03$ Гн, $L_3=0.04$ Гн, $M_{12}=0.04$ Гн, $M_{13}=0.04$ Гн, $M_{23}=0.04$ Гн.

Найти значение ёмкости C , при которой в цепи наступит резонанс напряжений. Определить токи в ветвях и построить векторные диаграммы токов и напряжений.

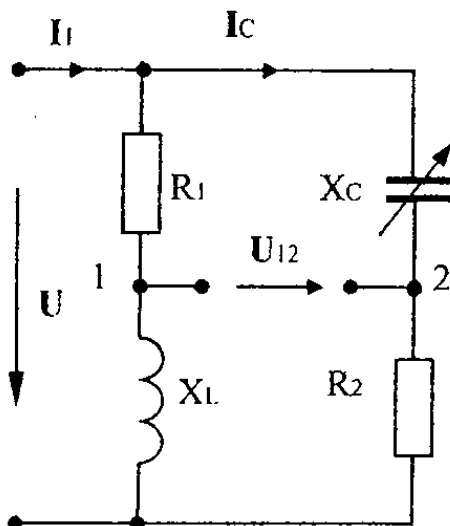
Задача 2.3.9.



$E=100$ В, $R=10$ Ом, $X_1=20$ Ом, $X_2=30$ Ом, $X_M=10$ Ом.

Найти значение X_C при котором источник ЭДС развивает максимальную мощность и определить эту мощность.

Задача 2.3.10.



$U=200$ В, $R_1=10$ Ом, $R_2=12.5$ Ом, $X_L=30$ Ом.

Построить круговые диаграммы для токов I_1 , I_c и напряжения U_{12} при изменении сопротивления X_C от 0 до ∞ .

3. Расчетно-графическое задание № 3

Расчет трехфазных линейных цепей с источниками несинусоидального напряжения

Задание предназначено для практического освоения студентами методов расчета линейных электрических цепей, находящихся под воздействием периодических несинусоидальных источников ЭДС. При расчете таких цепей несинусоидальные кривые ЭДС разлагаются в тригонометрические ряды Фурье.

Встречающиеся в электротехнике несинусоидальные периодические кривые можно разделить на две группы:

1) периодические кривые, имеющие аналитическое описание (например, треугольной, прямоугольной, трапецеидальной формы); разложение их в ряд Фурье проводится аналитически либо берётся из справочной литературы [2,6];

2) кривые произвольной формы; чаще всего они задаются в виде графика; разложение их в ряд Фурье производят графоаналитическим графическим либо численным методом [1,2].

Исходная схема (рис. 3.1) содержит симметричную трехфазную систему несинусоидальных источников ЭДС, соединенных в звезду; симметричную трехпроводную линию и две симметричные нагрузки: первую, соединенную в треугольник, и вторую, соединенную в звезду. Общие точки источников ЭДС и второй нагрузки соединяются между собой нулевым проводом с помощью ключа. Нагрузка, нулевой и каждый линейный провод содержат активные, индуктивные и емкостные сопротивления. В зависимости от номера варианта задания в нулевом проводе, а также в ветвях нагрузок, некоторые из этих сопротивлений отсутствуют.

В схему рис.3.1 включены вольтметры V_1 и V_2 , измеряющие соответственно линейное и фазное напряжения источников ЭДС, а также амперметр в нулевом проводе - A_0 . Показания этих приборов следует определять независимо от варианта задания при включенном и отключенном положении ключа. Остальные приборы (ваттметр и амперметры) включаются в линейные провода и ветви нагрузок выборочно, в зависимости от варианта задания.

3.1. Формирование схемы задания

Каждый студент получает индивидуальную карточку, содержащую данные для составления расчетной схемы. Один из вариантов такой карточки показан на рис.3.2. В первом столбце карточки указаны номер и параметры графика несинусоидальной ЭДС фазы А (рис. 1-4, табл.3.1). В карточке задания А - амплитуда несинусоидальной ЭДС в вольтах и F_1 и В - углы в градусах. В табл. 3.1 также даны формулы разложения приведенных кривых в тригонометрический ряд Фурье.

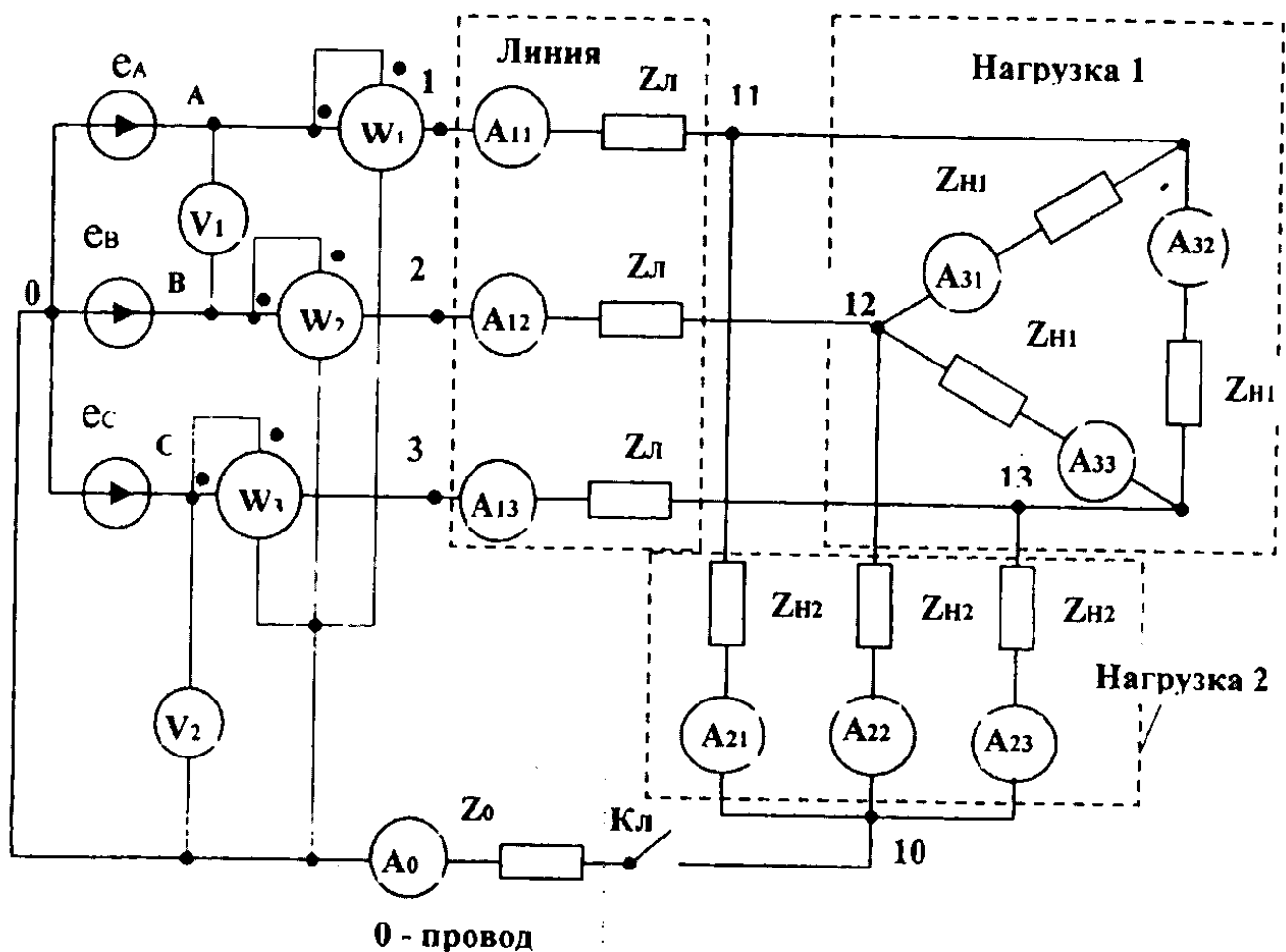


Рис. 3.1. Исходная схема к заданию № 3

В табл.3.1: Т - период несинусоидальной кривой в радианах; к - номер гармоники; А - амплитуда «к – й» гармоники ЭДС в вольтах; F_1 и В – углы в градусах.

ЗАДАНИЕ ПО ТОЭ №3-1 ВАРИАНТ № 1101				
ПАРАМЕТРЫ				
ЭДС РИС.2		R	X _L	X _C
A= 90.	ЛИНИЯ	70.	60.	60.
FI= 315.0	НАГР.-1	0.	0.	750.
B= .0	НАГР.-2	80.	10.	0.
	0-ПРОВОД	70.	20.	180.
ОПРЕДЕЛИТЬ: W ₃ , A ₁₃ , A ₂₃ , A ₃₃ и U(2-13)				

Рис.3.2. Пример карточки задания № 3

Во втором столбце карточки указаны участки электрической схемы, содержащие сопротивления R , X_L и X_C . Значения сопротивлений заданы в омах для первой гармоники и приведены соответственно в третьем, четвертом и пятом столбцах.

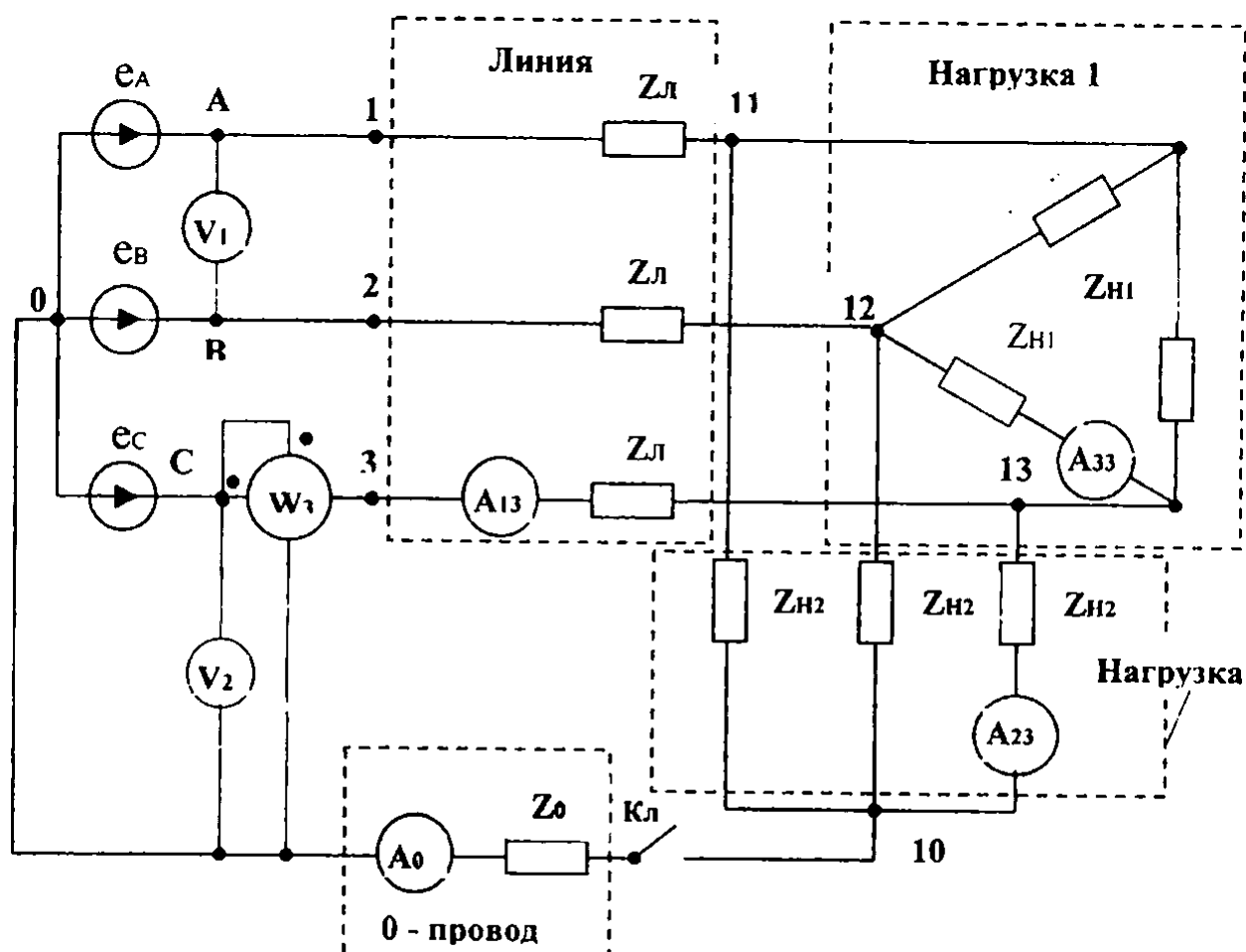


Рис. 3.3. Схема, составленная по карточке задания

В нижней строке карточки указаны приборы, показания которых требуется определить, а также пара электрических точек, между которыми следует рассчитать напряжение.

В качестве примера на рис. 3.3 приведена электрическая схема, составленная по данным карточки рис. 3.2. Схему рекомендуется составлять в такой последовательности:

- соединить фазные ЭДС генератора по схеме звезда (обозначения остаются теми же, что и на рис. 3.1);
- включить в линейные провода каждой фазы последовательно активное, индуктивное и емкостное сопротивление, значения которых указаны в строке "линия";
- включить последовательно в каждую ветвь первой нагрузки, соединенной в треугольник, сопротивления, значения которых указаны в строке "1-я нагр.";
- включить последовательно в каждую ветвь второй нагрузки, соединенной в звезду, сопротивления, значения которых указаны в строке "2-я нагр.";
- включить последовательно в нулевой провод ключ и сопротивления, значения которых указаны в строке "0-провод";
- включить в схему измерительные приборы, указанные в нижней строке карточки.

3.2. Содержание задания

1. Разложить в ряд Фурье несинусоидальную периодическую ЭДС фазы А. Для дальнейших расчетов использовать первые три гармоники.

2. Выполнить графическую проверку правильности разложения кривой ЭДС в ряд Фурье.

3. Определить показания заданных в расчетной схеме приборов: амперметров, ваттметра и вольтметра. Все измерительные приборы электромагнитной системы.

4. Рассчитать и построить кривую изменения напряжения по времени между указанными в нижней строке карточки точками схемы рис. 3.1. Расчеты пунктов 3 и 4 выполнить для замкнутого и разомкнутого положения ключа.

Результаты расчетов по п. 1,3 и 4 заносятся в табл. 3.2. По этой таблице осуществляется контроль расчета задания.

Таблица 3.1

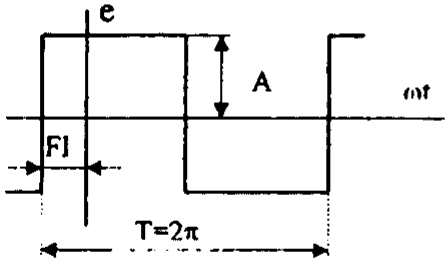
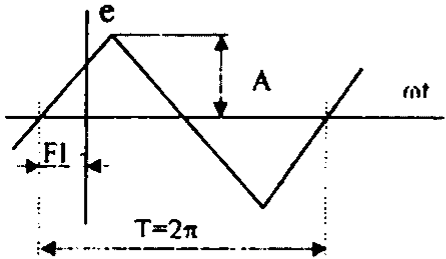
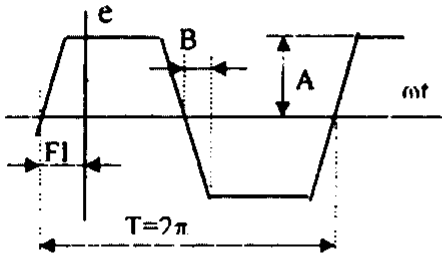
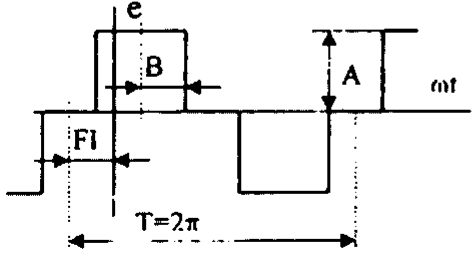
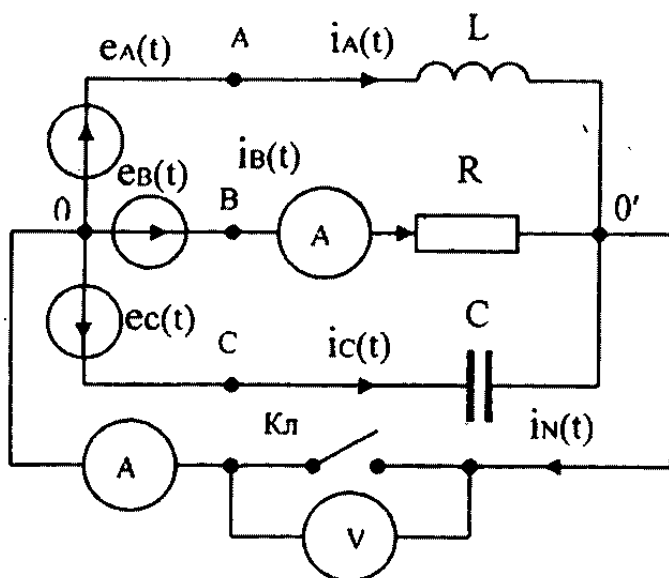
<p>Графики ЭДС фазы А</p>	$e_A(t) = \sum_{k=1}^{k=\infty} E_m^k \sin[k(\omega \cdot t + FI)]$ <p>E_m^k -амплитуда гармоники - k.</p>
 <p>Рис. 1</p>	$E_m^k = \frac{4 \cdot A}{k \cdot \pi}$
 <p>Рис. 2</p>	$E_m^k = \frac{8 \cdot A \cdot (-1)^{\frac{k-1}{2}}}{\pi^2 \cdot k^2}$ <p>$k=1,3,5\dots$</p>
 <p>Рис. 3</p>	$E_m^k = \frac{720 \cdot A \cdot \sin(k \cdot B)}{k^2 \pi^2 \cdot B}$ <p>Углы B и FI задаются в градусах.</p>
 <p>Рис. 4</p>	$E_m^k = \frac{4 \cdot A \cdot \cos[k \cdot (90^\circ - B)]}{k \cdot \pi}$

Таблица 3.2

Номер гармоники	ЭДС фазы А		Ток линии	Ток первой нагрузки-	Ток второй нагрузки-	Мощность
	E_A		I_L	I_{H1}	I_{H2}	P_w
	В		А	А	А	Вт
1						
3						
5						
Показание прибора	U_{v1}	U_{v2}	I_{A1}	I_{A2}	I_{A3}	$P_{w\Sigma}$
Ключ замкнут						
Ключ разомкнут						
Ток в нулевом проводе I_N			Действующее значение напряжения между заданными точками $U(,)$			
			Ключ замкнут		Ключ разомкнут	

3.3. Задачи для самостоятельного решения

Задача № 3.3.1.



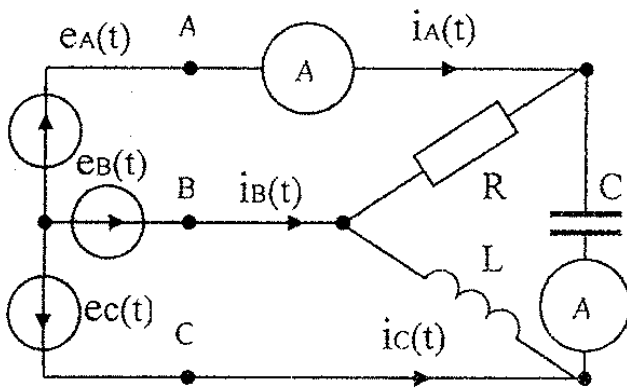
Напряжение фазы А симметричного трёхфазного генератора:

$$e_A(t) = 50\sin(\omega t) + 30\sin(3\omega t) + 10\sin(5\omega t) \text{ В.}$$

$R = 0.5 \text{ кОм}$, $C = 0.5 \text{ мкФ}$, $L = 0.4 \text{ Гн}$.

Найти показания вольтметра и амперметров электромагнитной системы для замкнутого и разомкнутого положения ключа "Кл".

Задача № 3.3.2.



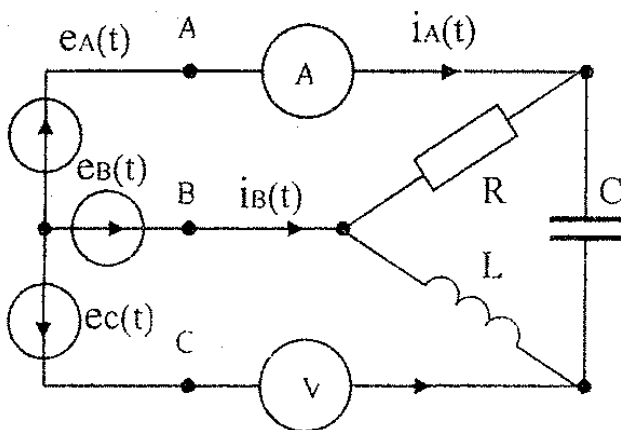
Напряжение фазы А симметричного трёхфазного генератора:

$$e_A(t) = 10\sin(\omega t) + 5\sin(3\omega t) + 3\sin(3\omega t) \text{ В.}$$

$$\omega = 314 \text{ рад/с, } R = 50 \text{ Ом, } C = 10 \text{ мкФ, } L = 0.3 \text{ Гн.}$$

Найти показания амперметров электромагнитной системы.

Задача № 3.3.3.



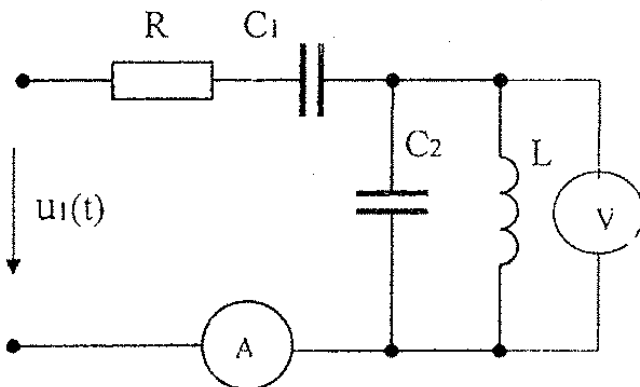
Напряжение фазы А симметричного трёхфазного генератора:

$$e_A(t) = 50\sin(\omega t) + 30\sin(3\omega t) + 10\sin(3\omega t) \text{ В.}$$

$$\omega = 314 \text{ рад/с, } R = 20 \text{ Ом, } C = 5 \text{ мкФ, } L = 0.2 \text{ Гн.}$$

Найти показания амперметра и вольтметра электромагнитной системы.

Задача № 3.3.4.



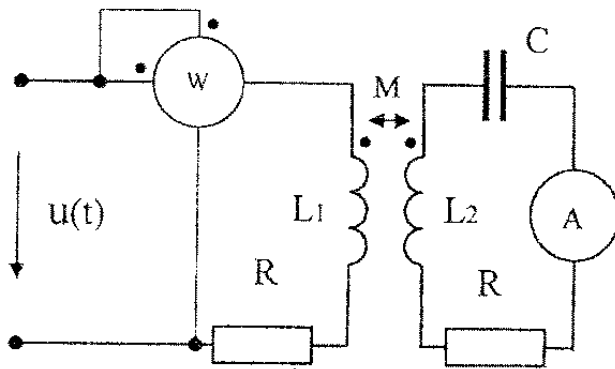
На вход схемы подаётся напряжение:

$$u_1(t) = 5 + 5\sin(1000t) + 3\sin(3000t) \text{ В.}$$

$$R = 0.5 \text{ кОм, } C_1 = 0.5 \text{ мкФ, } C_2 = 1.0 \text{ мкФ, } L = 0.4 \text{ Гн.}$$

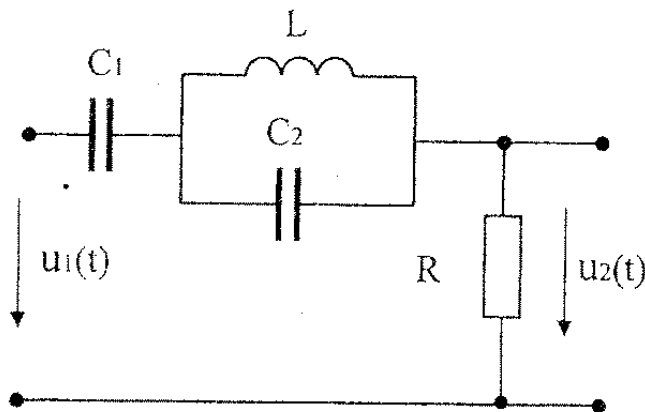
Найти показания вольтметра и амперметра электромагнитной системы.

Задача № 3.3.5.



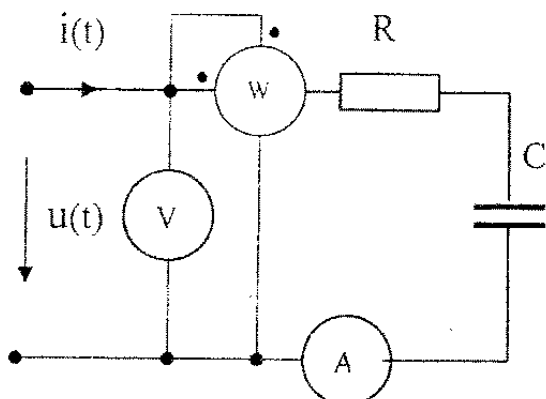
$u(t) = 10 + 5\sin(2000t)$ В,
 $R = 500$ Ом, $C = 0.5$ мкФ,
 $L_1 = 0.2$ Гн, $L_2 = 0.4$ Гн, $M = 0.1$ Гн
 Найти показание
 ваттметра и амперметра
 электромагнитной системы.

Задача № 3.3.6.



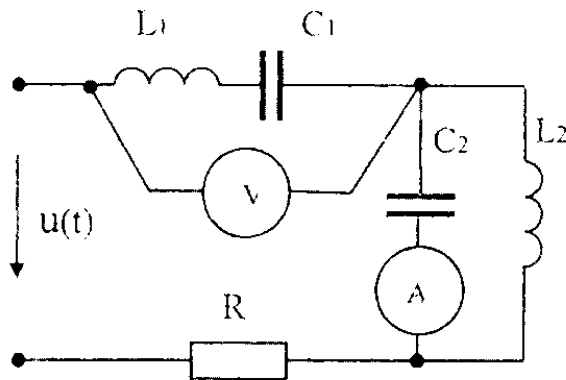
На вход схемы подаётся
 напряжение:
 $u_1(t) = 10 + 5\sin(1000t) + 2\sin(3000t)$
 $R = 1$ кОм, $L = 0.4$ Гн.
 На выходе:
 $u_2(t) = 2\sin(3000t)$ В.
 Найти значения C_1 и C_2 .

Задача № 3.3.7.



Ток в схеме представляется
 соотношением:
 $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t) + 0.5 \cdot I_m \cdot \sin(3\omega t) +$
 $0.25 \cdot I_m \cdot \sin(5\omega t)$ А.
 Показания приборов:
 $P_W = 420$ Вт, действующие
 значения $U_V = 260$ В, $I_A = 1.5$ А.
 Частота сети: $f = 50$ Гц.
 Найти величины I_m , R и C .

Задача № 3.3.8.



$$u(t) = 25 + 15 \sin(\omega t) + 10 \sin(3\omega t) \text{ В.}$$

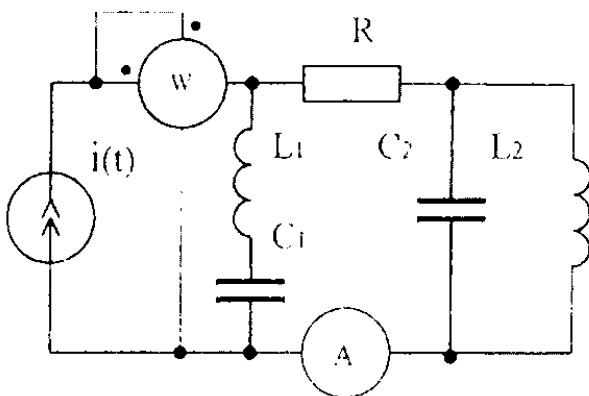
Сопротивления элементов на частоте первой гармоники:

$$X_{L1} = 6 \text{ Ом, } X_{C1} = 6 \text{ Ом, } X_{L2} = 1 \text{ Ом, } X_{C2} = 9 \text{ Ом.}$$

$$\text{Частота } \omega = 100 \text{ рад/с. } R = 20 \text{ Ом.}$$

Определить показания приборов электромагнитной системы

Задача № 3.3.9.



Ток источника тока:

$$i(t) = 5 + 5 \sin(\omega t) + 3 \sin(3\omega t) \text{ А.}$$

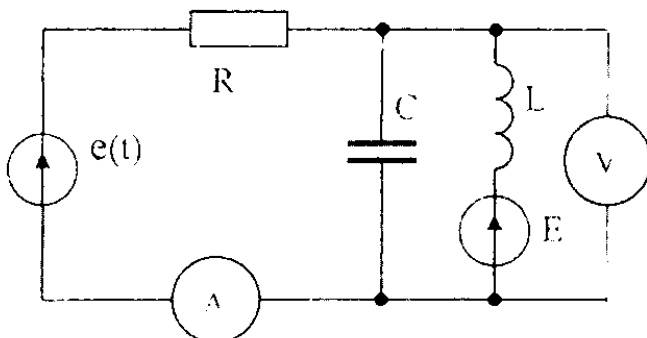
Сопротивления элементов на частоте первой гармоники:

$$X_{L1} = 9 \text{ Ом, } X_{C1} = 9 \text{ Ом, } X_{L2} = 2 \text{ Ом, } X_{C2} = 18 \text{ Ом.}$$

$$\text{Частота } \omega = 100 \text{ рад/с. } R = 20 \text{ Ом.}$$

Определить показания амперметра электромагнитной системы и ваттметра.

Задача № 3.3.10.



$$e(t) = 4 + 345 \sin(1000t) + 12 \sin(2000t) \text{ В}$$

$$R = 4 \text{ Ом, } E = 12 \text{ В, } C = 50 \text{ мкФ,}$$

$$L = 5 \text{ мГн.}$$

Найти показания вольтметра и амперметра электромагнитной системы.

4. Расчетно-графическое задание № 4'

Расчет переходных процессов в электрических цепях

Задание служит для освоения студентами наиболее распространенных методов расчета переходных процессов в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами. Это классический метод, операторный метод, метод Богатырева, метод расчета с применением интеграла Дюамеля и частотный метод.

Задача по расчету переходного процесса в нелинейном элементе, приведенная в задании, иллюстрирует возможность сведения ее к расчету переходного процесса в линейной цепи, благодаря применению метода кусочно-линейной аппроксимации характеристики нелинейного элемента.

В основу задания положена трехконтурная электрическая схема, различный характер переходного процесса, в которой обеспечивается изменением ее параметров и конфигурации, а также разными законами изменения электродвижущей силы источника питания во времени. Переходные процессы в этой схеме предлагается рассчитать различными методами.

4.1 Формирование схемы задания

В качестве исходных данных для расчета задания студент получает от преподавателя индивидуальную карточку, по которой составляется расчетная схема. Пример карточки и соответствующие ей схемы, составляемые для различных пунктов задания, приведены на рис. 4.1 – 4.6.

Схема по данным карточки составляется в такой последовательности:

- на поле чертежа нанести и пронумеровать четыре узла;
- включить между узлами соответствующие ветви, содержащие резисторы $R_1 \div R_6$, и пронумеровать их;
- включить последовательно в ветви с соответствующими сопротивлениями источник ЭДС- E , емкость- C и индуктивность- L (например, в соответствии с данными карточки E_5 в ветвь с R_5 , L_1 в ветвь с R_1 и C_3 в ветвь с R_3);
- направить ЭДС- E и токи $i_1 \div i_6$ от начала к концу соответствующей ветви.

Характер коммутации задан словом «зам» - замыкается или «раз» - размыкается. Ключ располагается параллельно с коммутируемым сопротивлением, если он после коммутации замкнут «зам», и последовательно, если разомкнут «раз».

4.2. Содержание задания

1. Рассчитать классическим методом переходный процесс для исходной схемы рис.4.2, пункт 1 задания индивидуальной карточки. Определить указанные там же значения тока или напряжения. Значение емкости C для апериодического процесса (в карточке «ап – кий») взять заданное как C_a , а для колебательного (в карточке «кол – ный») как C_k . ЭДС - E величина постоянная во времени.

2. Рассчитать операторным методом переходный процесс для исходной схемы рис.4.2, пункт 2 задания индивидуальной карточки. Определить указанное значение тока или напряжения. Величина ЭДС и емкости задаётся как в первом пункте.

3. Рассчитать переходный процесс методом Богатырева и определить указанные значения тока (напряжения). Для получения расчетной схемы необходимо: - в соответствии с пунктом 3 карточки задания, замкнуть (сокращенное обозначение «зак») один из реактивных элементов исходной схемы; если в схеме остается емкость, то ее значение взять как для колебательного процесса; источник постоянной ЭДС - E заменить синусоидальным источником $e(t) = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$, где максимальное значение - E_m равно E . В карточке задания угловая частота ω обозначена как $\Omega M G$, а начальная фаза φ как $F I$. Для приведенного примера получается схема рис.4.3, а.

4. Рассчитать переходный процесс с помощью интеграла Дюамеля для указанного в карточке тока или напряжения. Для получения расчетной схемы ключ поместить в ветвь с источником ЭДС, который должен включать источник в схему после коммутации. Один из реактивных элементов необходимо замкнуть в соответствии с пунктом задания, если в схеме остается емкость, то ее величина выбирается как для колебательного процесса. График напряжения источника ЭДС задается в табл.4.1 (номер графика указан в карточке задания). Значение ЭДС - E_0 взять по первому пункту задания, а значение - t_0 определить по соотношению: $t_0 = 2\pi/\omega$. Схема для заданного примера приведена на рис.4.3, б.

5. Рассчитать переходный процесс в нелинейной электрической цепи для указанного в п. 5 карточки задания тока или напряжения одним из следующих методов:

- кусочно-линейной аппроксимации;
- графического интегрирования;
- последовательных интервалов;
- переменных состояния.

Расчетная схема формируется из основной (рис.4.2) следующим путем: ключ помещается в ветвь с источником ЭДС и включает ее после коммутации; величина ЭДС берется из первого пункта задания; один из реактивных элементов L или C закорачивается в соответствии с п. 5 карточки задания; оставшийся реактивный элемент заменяется нелинейным с заданной характеристикой. Для индуктивности задается вебер-амперная характеристика $\psi(i)$, в карточке - PSI и - I; для ёмкости - кулон-вольтная характеристика $q(u)$, в карточке -Q и -U. Схема для данного примера приведена на рис.4.4, а.

6. Рассчитать частотным методом указанное в пятом пункте задания значение тока или напряжения. Ёмкость или индуктивность считать линейными элементами. Источник напряжения считается величиной постоянной и равной E . Схема для заданного примера приведена на рис.4.4, б.

7. Рассчитать методом переменных состояния переходные процессы для токов или напряжений пунктов 1 и 2 настоящего задания.

НОМЕР	УЗЛЫ	R	КЛЮЧ	ЗАМ. R4	ЗАДАНИЕ-4*N1011101	
ВЕТВИ	НАЧ-КОН	Ом	E5=	100.0 В	-----	
-----	-----	-----	L1=	0.02 Гн	1.АП-КИЙ	ОПР. IC3
1	1 - 4	60.0	C3к=	7.0E+00 МКФ	2.КОЛ-ЫЙ	ОПР. IR2
2	3 - 2	70.0	C3а=	2.5E+00 мкФ	3.ЗАК. С	ОПР. IL1
3	2 - 4	50.0	OMG=	300. 1/с	4.ЗАК. С	ОПР. IR6
4	1 - 2	50.0	FI=	0. град.	5.ЗАК. L	ОПР. UC3
5	1 - 3	60.0	-----			
6	3 - 4	40.0	ДЛЯ ПУНКТА 4 E5 (Т) ВЗЯТЬ ПО РИС.25			

ХАРАКТЕРИСТИКА НЕЛИНЕЙНОГО ЭЛЕМЕНТА						
Q (К)	10.0	1.92E-06	3.07E-06	4.02E-06	4.3E-06	4.75E-06
U (В)	10.0	2.62	4.19	5.94	6.98	8.73

Рис. 4.1. Пример карточки задания № 4

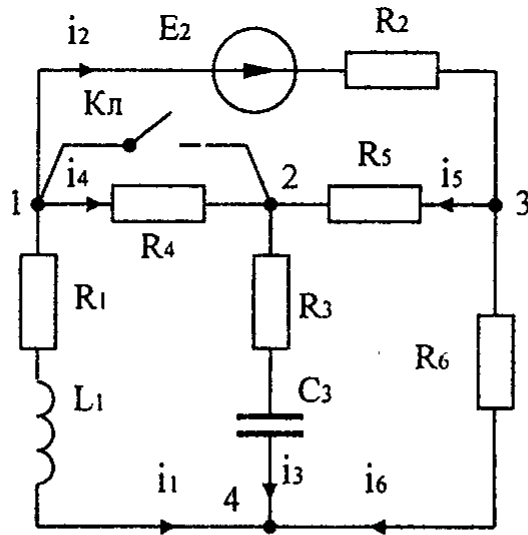


Рис. 4.2. Пример расчетной схемы к п. 1 и 2 задания

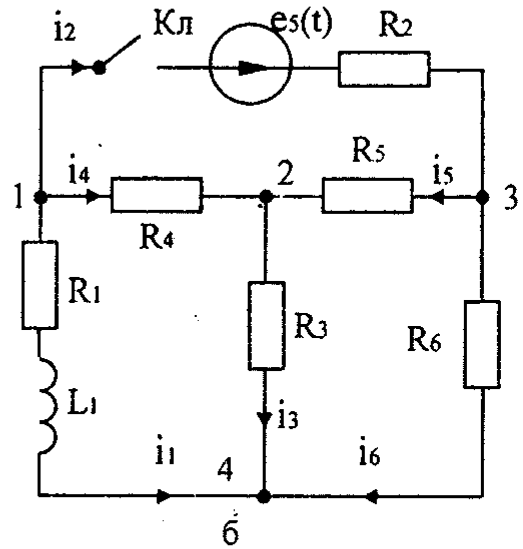
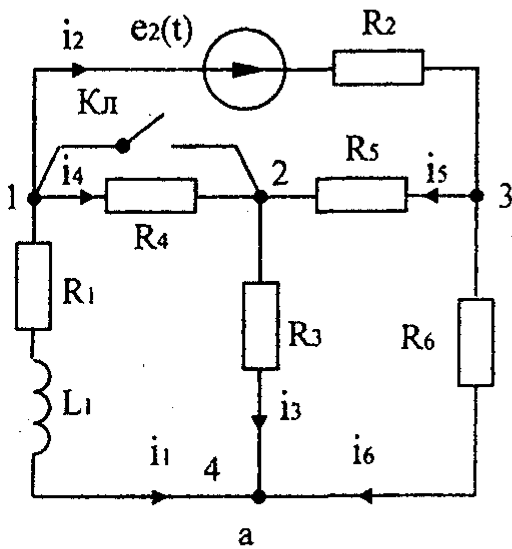


Рис. 4.3. Примеры расчетных схем к пунктам 3 и 4 задания

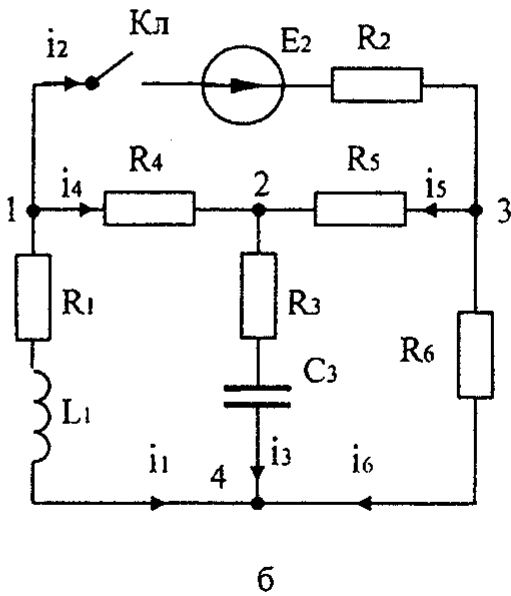
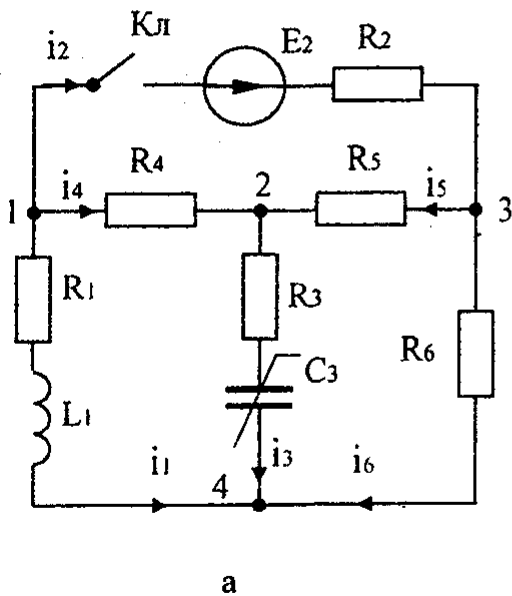


Рис. 4.4. Примеры расчетных схем к п. 5 и 6 задания

Графики ЭДС для пункта 4 задания

Таблица 4.1, а

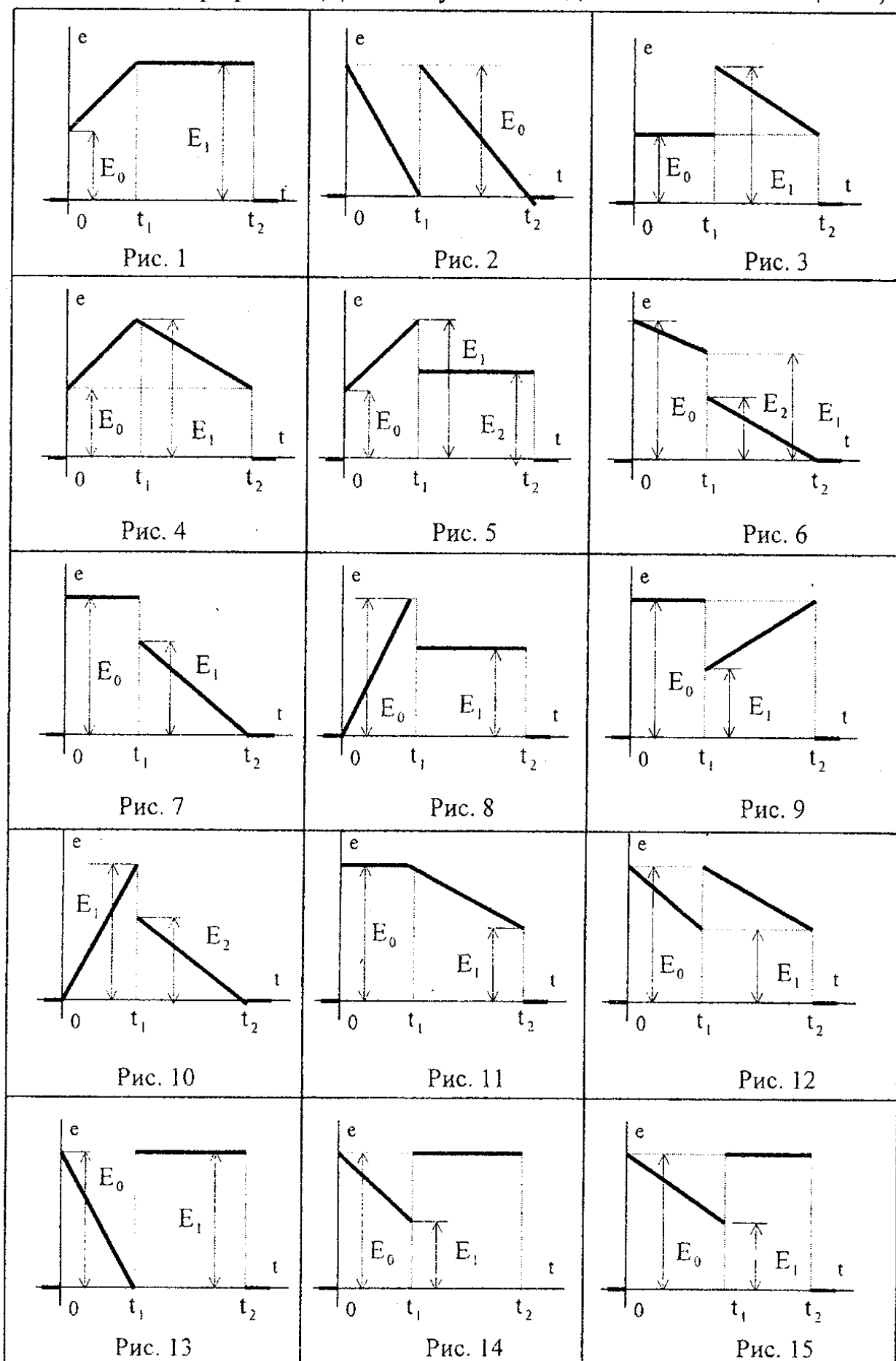
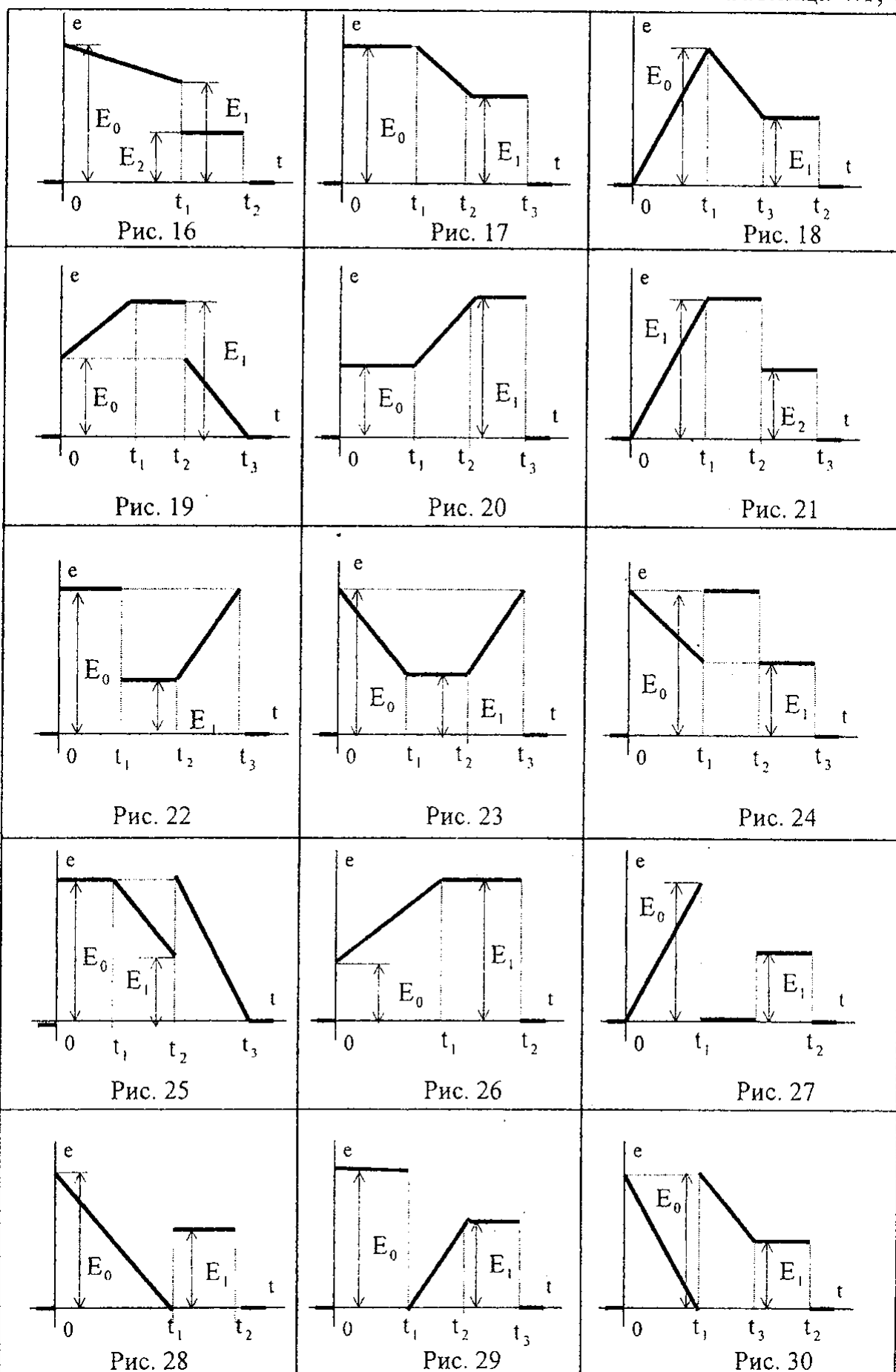


Таблица 4.1, б



Результаты расчетов п. 1 ÷ 6 заносятся в таблицу 4.2, по которой осуществляется контроль расчета задания.

Таблица 4.2

1,2- Классический и операторный методы					$u_c(0-)=$		$i_L(0-)=$		
Апериодический процесс									
b	q	p_1	p_2	$f(0)$	$f'(0)$	$f_{\text{пр}}$	A_1	A_2	
Колебательный процесс									
b	q	β	$\omega_{\text{св}}$	$f(0)$	$f'(0)$	$f_{\text{пр}}$	A	ψ	
3. Метод Богатырева						4. Интеграл Дюамеля			
F_M	φ	A	p	$f(0)$	$f_{\text{пр}}(0)$	$f_{\text{св}}(0)$	$K_{\text{пр}}$	A	p
5. Расчёт переходного процесса в цепи с нелинейным сопротивлением									
$R_{\text{вх}}$	$E_{\text{эг}}$	t=	0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	
		f(t)=							
6. Частотный метод расчета (метод трапеций)									
$R_{\text{вх}}$	$E_{\text{эг}}$	$\omega=$	0	$\Delta\omega_1$	$2\Delta\omega_1$	$4\Delta\omega_1$	t=	0	
		Re=					f(t)=		

В табл. 4.2.

Для 1 и 2 пунктов задания:

$u_c(0-)$, $i_L(0-)$ – значения напряжения на конденсаторе и тока через индуктивность в момент коммутации;

b, q – коэффициенты нормированного характеристического уравнения $p^2 + b \cdot p + q = 0$;

p_1 , p_2 – корни характеристического уравнения для апериодического процесса;

β , $\omega_{\text{св}}$ – коэффициент затухания и частота свободных колебаний;

$f(0)$, $f'(0)$ – значение искомой функции тока или напряжения и её производной в момент коммутации при $t=0+$;

$f_{\text{пр}}$ – значение искомой функции тока или напряжения в установившемся после коммутационном режиме при $t=\infty$;

A_1 , A_2 , A и ψ – постоянные интегрирования.

Для 3 пункта задания:

F_M , φ – амплитуда и фаза принуждённой составляющей;

A , p – постоянная интегрирования и корень характеристического уравнения

$f(0)$, $f_{пр}(0)$, $f_{св}(0)$ – значение тока в индуктивности или напряжения на конденсаторе и значения её принуждённой и свободной составляющих в момент коммутации.

Для 4 пункта задания:

$K_{пр}$, A , p – принуждённая составляющая, постоянная интегрирования и корень характеристического уравнения для переходной функции.

Для 5 пункта задания:

$R_{вх}$, $E_{эг}$ – значения входного сопротивления и напряжения эквивалентного генератора, составленных относительно зажимов нелинейного сопротивления для после коммутационного режима;

$f(t)$ – значения искомого тока или напряжения для ряда значений времени – t .

Для 6 пункта задания:

$R_{вх}$, $E_{эг}$ – значения входного сопротивления и напряжения эквивалентного генератора, составленных относительно зажимов индуктивности или ёмкости для после коммутационного режима;

ω – текущее значение угловой частоты;

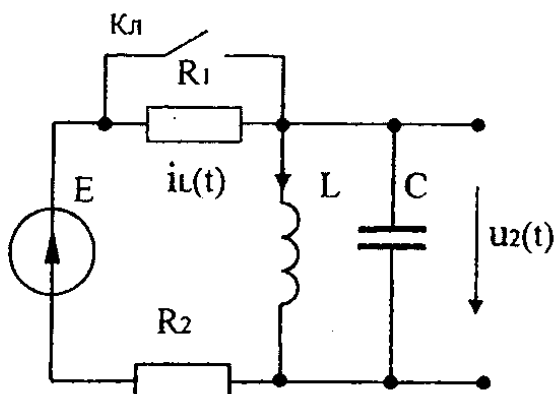
Re – значения вещественной частотной характеристики для ряда значений угловой частоты;

$\Delta\omega_1 = \omega_{\max}/4$, где ω_{\max} – максимальное значение угловой частоты трапеции;

$f(t)$ – значения искомого тока в индуктивности или напряжения на ёмкости для ряда значений времени – t .

4.3. Задачи для самостоятельного решения

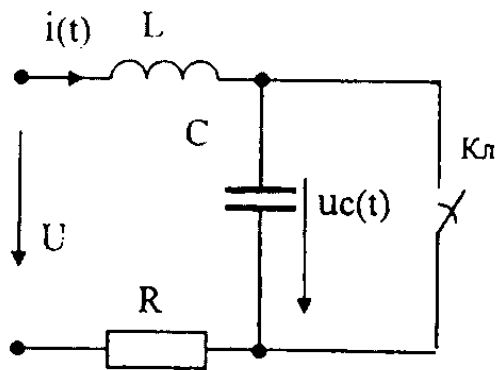
Задача № 4.3.1.



$E=25$ В $R_1=50$ Ом, $R_2=50$ Ом,
 $L=0.04$ Гн, $C=5$ мкФ.

Найти законы изменения $u_2(t)$ и $i_L(t)$ после размыкания ключа “Кл”.

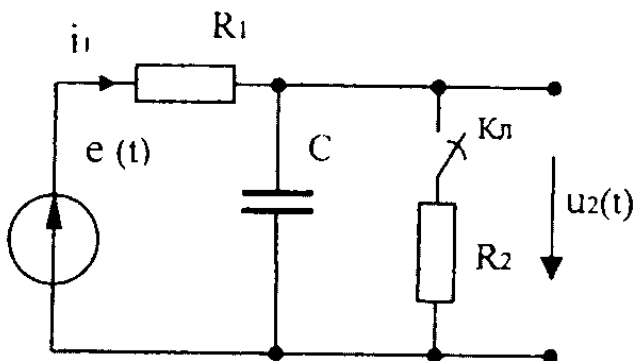
Задача № 4.3.2.



$U=15\text{ В}$
 $R=2\text{ кОм}$, $L=0.05\text{ Гн}$,
 $C=0.5\text{ мкФ}$.

Найти закон изменения $i(t)$ $u_C(t)$ после размыкания ключа “КЛ”.

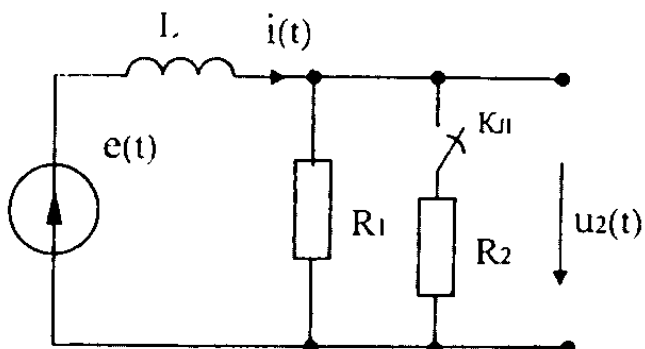
Задача № 4.3.3.



$e(t)=5\sin(1000t+45^\circ)\text{ В}$
 $R_1=2\text{ кОм}$, $R_2=4\text{ кОм}$,
 $C=0.25\text{ мкФ}$.

Найти законы изменения $i_1(t)$ и $u_2(t)$ после замыкания ключа “КЛ”.

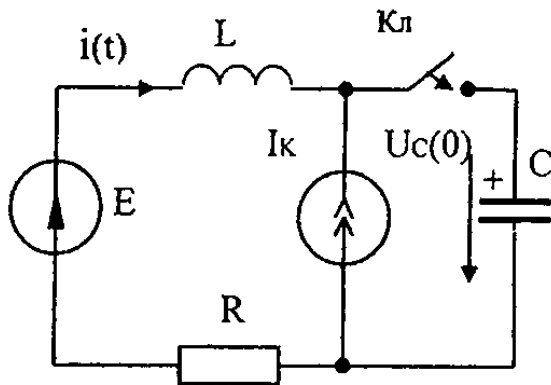
Задача № 4.3.4.



$e(t)=20\sin(1000t+30^\circ)\text{ В}$
 $R_1=100\text{ Ом}$, $R_2=50\text{ Ом}$, $L=0.2\text{ Гн}$.

Найти законы изменения $i(t)$ и $u_2(t)$ после замыкания ключа “КЛ”.

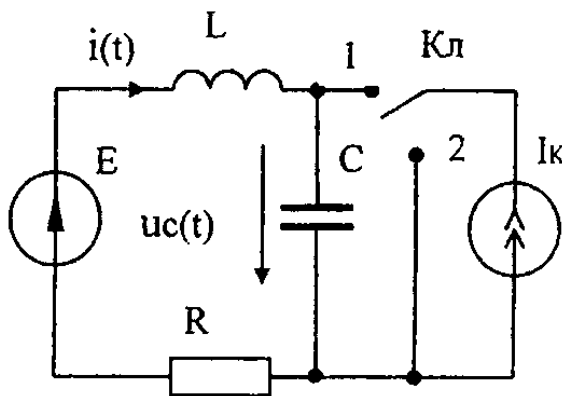
Задача № 4.3.5.



$E=40$ В, $I_k=0.1$ А,
 $U_c(0)=20$ В, $R=500$ Ом,
 $L=0.04$ Гн, $C=0.5$ мкФ.

Найти закон изменения
 тока $i(t)$ после замыкания
 ключа "Кл".

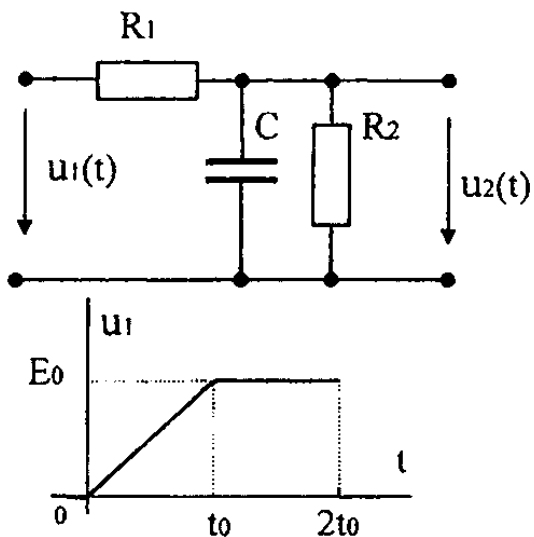
Задача № 4.3.6.



$E=40$ В, Ток источника тока
 $I_k=0.1$ А, $R=300$ Ом, $L=0.05$ Гн,
 $C=1.5$ мкФ.

Найти законы изменения $i(t)$
 и $u_c(t)$ после переключения
 ключа "Кл" из положения 2 в 1.

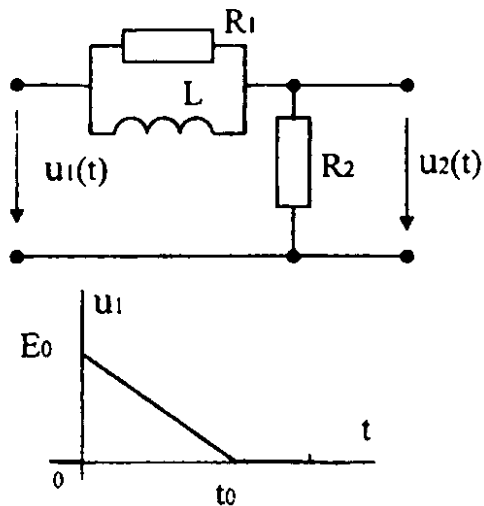
Задача № 4.3.7.



На вход цепи подаётся
 напряжение $u_1(t)$ с параметрами:
 $E_0=10$ В, $t_0=2$ мс.
 $R_1=2$ кОм, $R_2=4$ кОм,
 $C=0.25$ мкФ.

Найти закон изменения
 напряжения на выходе цепи- $u_2(t)$.

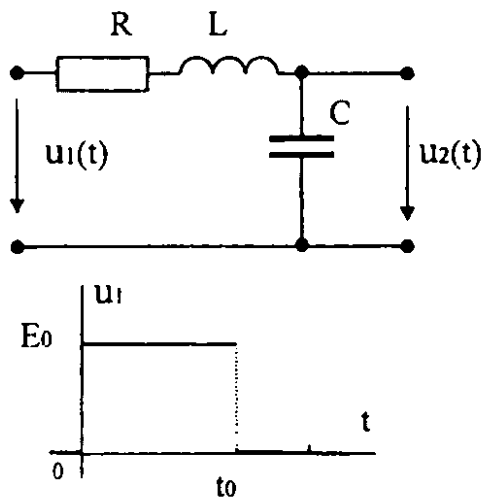
Задача № 4.3.8.



На вход цепи подаётся напряжение $u_1(t)$ с параметрами:
 $E_0=20$ В, $t_0=5$ мс.
 $R_1=1$ кОм, $R_2=1$ кОм,
 $L=150$ мГн.

Найти закон изменения напряжения на выходе цепи- $u_2(t)$.

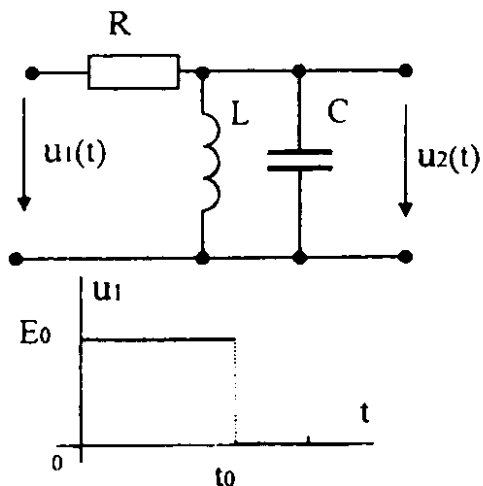
Задача № 4.3.9.



На вход цепи подаётся напряжение $u_1(t)$ с параметрами:
 $E_0=10$ В, $t_0=2$ мс.
 $R=1$ кОм, $L=30$ мГн, $C=0.2$ мкФ.

Найти закон изменения напряжения на выходе цепи- $u_2(t)$.

Задача № 3.10.



На вход схемы подаётся напряжение $u_1(t)$:
 $E_0=5$ В, $t_0=2$ мс.
 $R=1$ кОм, $L=50$ мГн, $C=0.2$ мкФ.

Найти $u_2(t)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Страхов С. В. Основы теории цепей. - М., 1989.
2. Атабеков Г. И. Линейные электрические цепи. -М.,1976.- Ч. 1, 2.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М., 1984.
5. Белецкий А. Ф. Теория линейных электрических цепей. - М., 1986.
5. Нейман Л. Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. - М., 1981.-Ч. 1, 2.
6. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по высшей математике. - М., 1986.