

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический
университет**

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ

**Методические указания
к расчетно-графическим работам
по дисциплине «Теоретические основы электротехники»**

Уфа 2007

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ

Методические указания
к расчетно-графическим работам
по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

Уфа 2007

Составитель В.С. Лукманов

УДК 621.3 (07)

ББК 31.2 (я7)

Расчет электрических и магнитных цепей: Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Лукманов –Уфа: УГАТУ, 2007. -30 с.

Методические указания соответствуют требованиям, предъявляемым государственным образовательным стандартом к содержанию дисциплины «Теоретические основы электротехники».

Приведены варианты расчетно-графических работ, рекомендации по выполнению, а также пример оформления расчетно-графической работы.

Предназначены для студентов электротехнических специальностей, изучающих дисциплину «Теоретические основы электротехники».

Табл. 2. Ил.37. Библиогр.:17 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. каф. ТОЭ Т.М. Крайнова;
д-р техн. наук, проф. каф. ЭМ Л.Э. Рогинская

© Уфимский государственный авиационный
технический университет, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Расчетно-графическая работа № 1. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	5
Расчетно-графическая работа №2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.....	7
Расчетно-графическая работа №3. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ.....	9
Расчетно-графическая работа №4. РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МЕТОДОМ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ.....	15
.....	
Литература.....	17
Приложение.....	19

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях приведены задания расчетно-графических работ, составленные в соответствии с типовой программой по дисциплине “Теоретические основы электротехники” для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений.

Формирование вариантов заданий осуществлено с помощью ЭВМ. Значение параметров элементов схем, а в ряде случаев и топология расчетных схем, индивидуальны для каждого студента.

Каждое задание содержит поясняющий текст, рекомендации по преобразованию схемы и условие задачи.

Расчетно-графическая работа выполняется на листах 11 формата и должна содержать следующие основные разделы:

- расчетная схема с подклеенной машинной распечаткой индивидуального задания;
- условия задачи;
- расчет;
- необходимые графики и диаграммы.

При оформлении работы следует руководствоваться следующими правилами:

1. Рисунки, графики, схемы, символы, размерности физических величин выполняются в соответствии с требованиями ГОСТа.
2. Расчет каждой искомой величины следует выполнять сначала в общем виде, а затем в полученную формулу подставить числовые значения и привести окончательный результат с указанием единицы измерения. Решение задач не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований и арифметических расчетов.
3. Промежуточные расчеты и конечный результат должны быть ясно выделены из общего текста.
4. В ходе решения задачи не следует изменять однажды принятые направления токов, напряжений, наименование узлов и т.д. При решении одной и той же задачи различными методами одна и та же величина должна обозначаться одним и тем же буквенным символом.

Пример оформления расчетно-графической работы приведен в Приложении.

Расчетно-графическая работа № 1 РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На рис. 1.1. представлена исходная схема электрической цепи

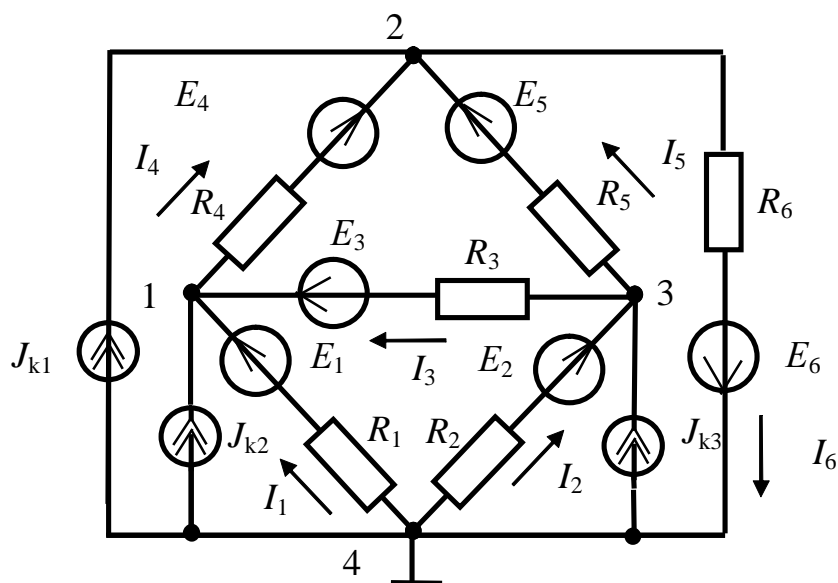


Рис.1.1

По исходной схеме электрической цепи и машинной распечатке индивидуального задания сформируйте свою расчетную схему. Для этого участок цепи, где величина источника ЭДС приравнена к нулю - закоротите, а участок цепи где величина источника тока приравнена к нулю - разомкните. Так, например, для индивидуального задания 111111-3 расчетная схема приобретает вид представленный на рис.1.2.

111111-3		
$R_1=80$	$R_2=90$	$R_3=90$
$R_4=10$	$R_5=10$	$R_6=20$
$E_1=200$	$E_2=-300$	$E_3=0$
$E_4=0$	$E_5=0$	$E_6=0$
$IK_1=-8$	$IK_2=0$	$IK_3=0$

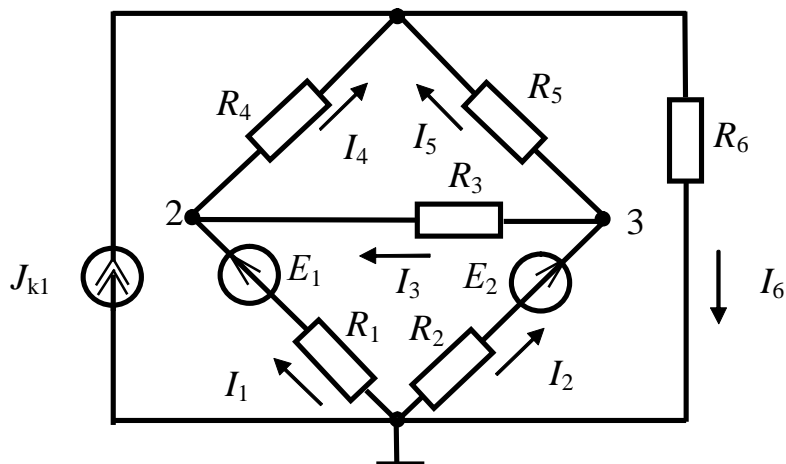


Рис.1.2

В машинной распечатке индивидуального задания сопротивления резисторов R указаны в омах [Ом], величины источников ЭДС E – в вольтах [В], а источников тока J – в амперах [А].

Задания

1. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для нахождения токов во всех ветвях расчетной схемы.
2. Определить токи во всех ветвях методом контурных токов.
3. Определить токи во всех ветвях схемы методом узловых потенциалов, приняв потенциал четвертого узла равным нулю.
4. Результаты расчета токов, проведенного двумя методами, свести в таблицу и сравнить их между собой.
5. Составить баланс мощностей в расчетной схеме, вычислив отдельно суммарную мощность источников электрической энергии и суммарную мощность нагрузок.
6. Определить ток I_1 , используя метод эквивалентного генератора.

Начертить в масштабе потенциальную диаграмму для любого контура, содержащего два источника ЭДС.

РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

- перед выполнением п.2 и преобразовать источник тока в источник ЭДС, расчет вести для полученной схемы, а затем совершить обратный переход;
- в п.6 при определении входного сопротивления двухполюсника следует применить преобразование соединения “треугольником” в соединение “звездой”;
- отрицательные значения источников ЭДС и токов учитывать непосредственно при отыскании численных значений контурных ЭДС или узловых токов;
- полученные результаты округлить до сотых долей.

Расчетно-графическая работа №2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

На рис. 2.1 представлена исходная схема электрической цепи

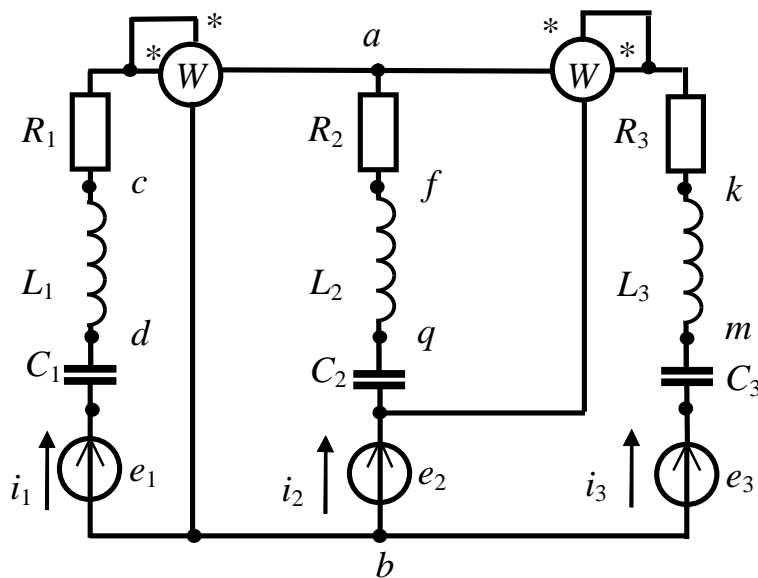


Рис.2.1

По исходной схеме электрической цепи и машинной распечатке индивидуального задания сформируйте свою расчетную схему.

В столбцах распечатки указаны величины активных сопротивлений, индуктивностей, емкостей, действующие значения и начальные фазы источников ЭДС соответственно элементов первой, второй и третьей ветвей электрической схемы. Если в распечатке

указано нулевое значение – это означает, что данный элемент в расчетной схеме отсутствует. Так, например, для индивидуального задания 22222-1 расчетная схема приобретает вид, представленный на рис.2.2.

В машинной распечатке индивидуального задания активные сопротивления R указаны в омах [Ом], индуктивности L – в миллигенри [мГн], емкости C – в микрофарадах [мкФ], действующие значения ЭДС источников E – [В], начальная фаза Φ – в градусах [град]. Для всех вариантов частоту f принять равной 50 Гц.

<u>22222 - 1</u>			
R	10	36	34
L	80	81	0
C	13	0	0
E	213	219	0
Φ	51	252	0

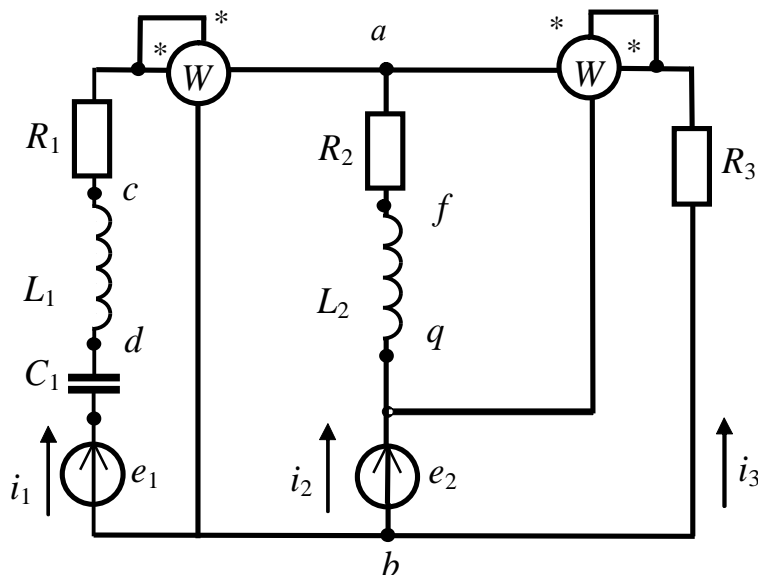


Рис.2.2

Задания

1. Определить комплексы действующих значений токов во всех ветвях, воспользовавшись одним из методов расчета линейных электрических цепей.
2. Определить показания ваттметров.
3. Составить баланс активных и реактивных мощностей.
4. Построить в масштабе топографическую диаграмму напряжений, совместив ее с векторной диаграммой токов.
5. Записать в общем виде уравнения Кирхгофа в дифференциальной и комплексной формах, полагая что между двумя индуктивностями есть магнитная связь.

РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

- при выполнении п. 1 результат расчета токов представить в показательной форме записи комплексного числа;

- в п. 2 и п. 3 расчет осуществлять через полную комплексную мощность;
- в п. 5 одноименные концы катушек маркировать произвольно. Если в схеме есть только одна ветвь с индуктивностью, то при выполнении этого пункта включить дополнительную индуктивность в другую ветвь.

Расчетно-графическая работа №3 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

Задача 1. В соответствии с индивидуальным заданием дана электрическая цепь в которой в момент времени $t = 0$ происходит коммутация (рис.3.1). В цепи действует постоянная ЭДС E . Требуется определить закон изменения во времени тока после коммутации в одной из указанных ветвей схемы или напряжения на каком-либо элементе.

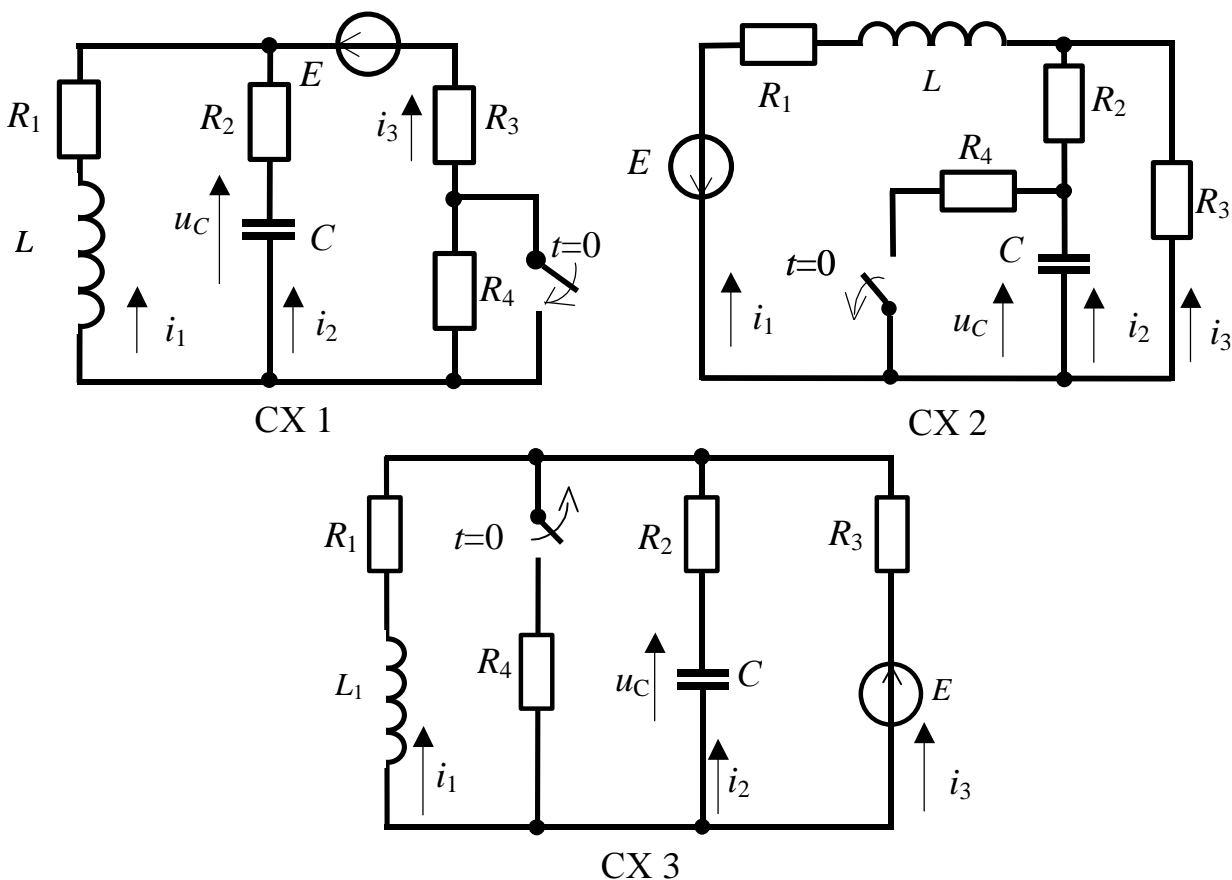


Рис. 3.1

РГР-3			
387665-14 СХ 3			
R_1	R_2	R_3	R_4
30	86	37	66
L	C	E	
54	79	56	
Найти I_2			

Рис. 3.2

В машинной распечатке индивидуального задания (рис. 3.2) указано: в первой строчке цифры индивидуального задания, вариант и номер расчетной схемы; в третьей строчке под соответствующими обозначениями R_1, R_2, R_3, R_4 – величины активных сопротивлений; в пятой строчке – величины индуктивности,

емкости и ЭДС источника электрической энергии.

В машинной распечатке индивидуального задания сопротивления R указаны в омах [Ом], индуктивности L – в миллигенри [мГн], емкости C – в микрофарадах [мкФ], ЭДС источников E – в вольтах [В].

В последней строчке закон изменения тока (или напряжения) во времени который необходимо найти.

Задания

1. Рассчитать закон изменения тока (напряжения) в функции времени классическим методом.

2. Рассчитать закон изменения тока (напряжения) в функции времени операторным методом.

3. На основании полученного аналитического выражения построить график изменения искомой величины в зависимости от времени на интервале от $t=0$ до $t=3\tau$.

Задача 2. Дана электрическая схема (рис. 3.3 – 3.8) на входе которой действует напряжение, изменяющееся во времени по заданному закону $u(t)$ (рис. 3.9 – 3.12).

Номер варианта, если не оговорено особо, следует выбрать по двум последним цифрам зачетной книжки.

В табл. 3.1 в соответствии с номером варианта приведен номер рисунка схемы и номер графика, на котором приведен график изменения во времени приложенного напряжения (рис. 3.9 – 3.18).

Задание

Определить закон изменения во времени тока в одной из указанных ветвей схемы или напряжения на заданном участке схемы.

РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

- задачу решить с помощью интеграла Дюамеля;
- искомую величину следует записать аналитически в общем виде для всех интервалов времени;
- в каждом ответе следует выполнить приведение подобных членов относительно $e^{\alpha t}$, t и выделить постоянную составляющую;
- коэффициенты B и k представить через A и t_1 .

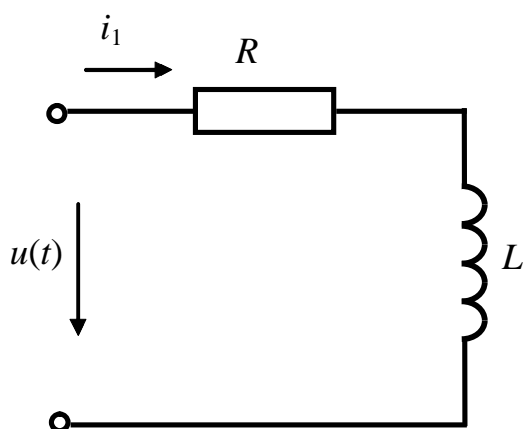


Рис.3.3

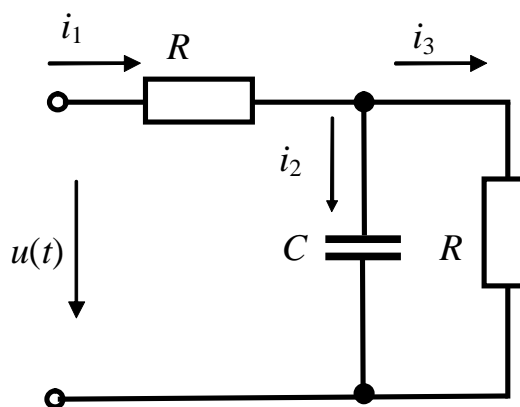
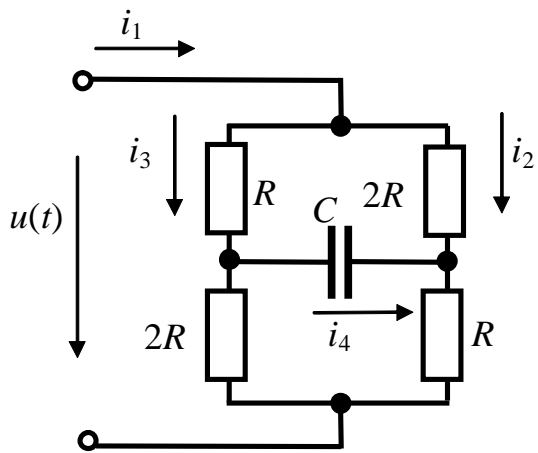
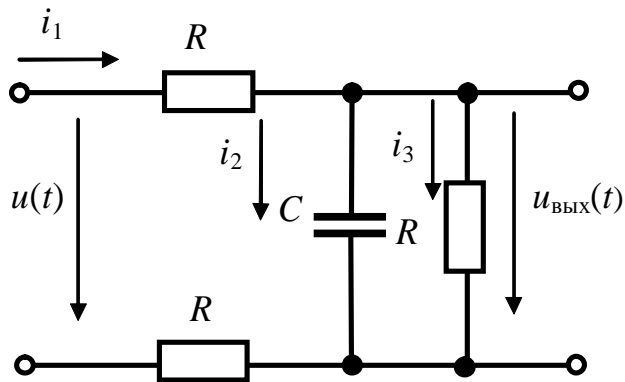


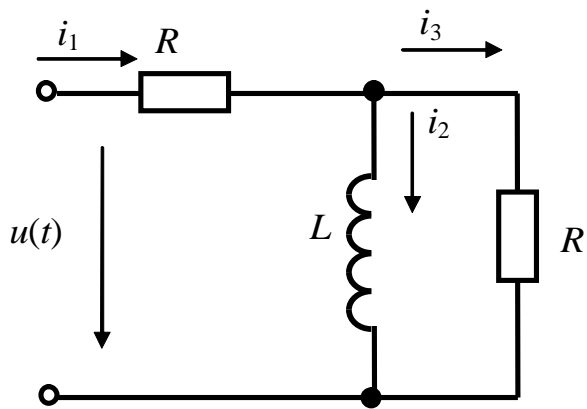
Рис.3.4



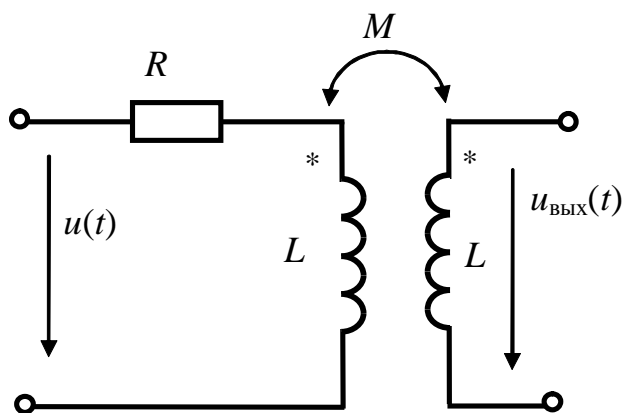
Puc.3.5



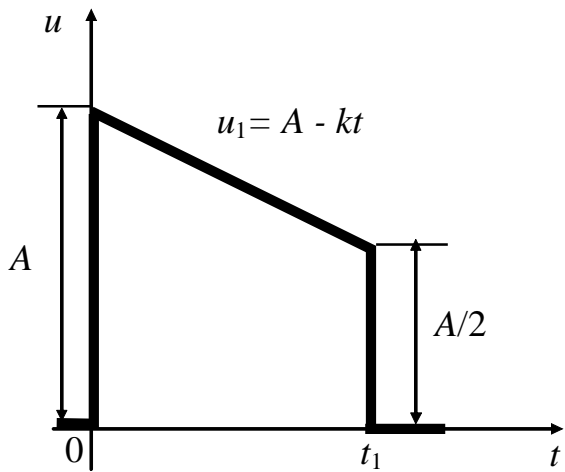
Puc.3.6



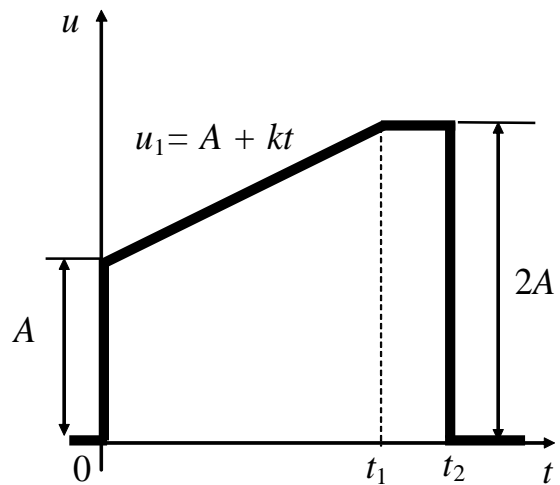
Puc.3.7



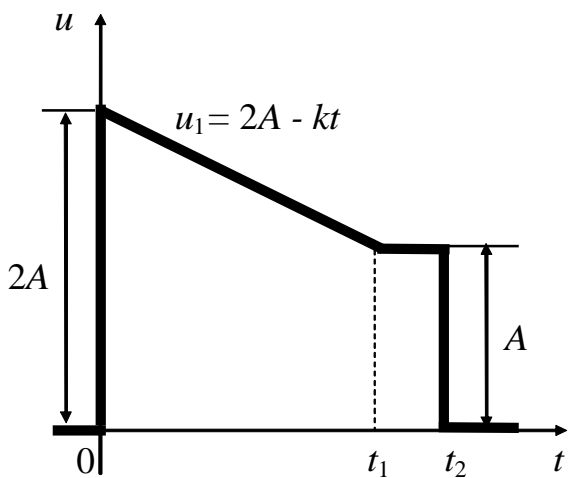
Puc.3.8



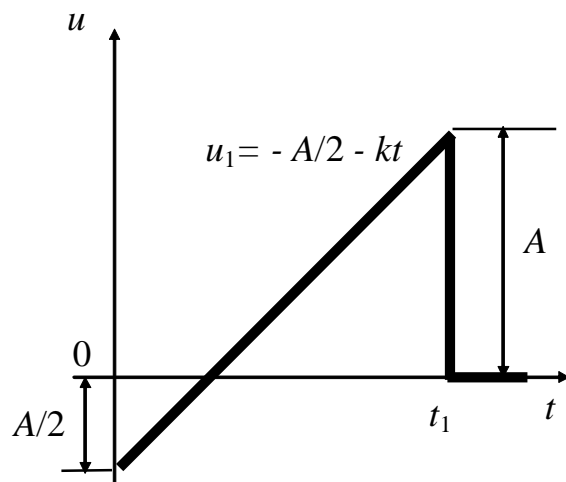
Puc.3.9



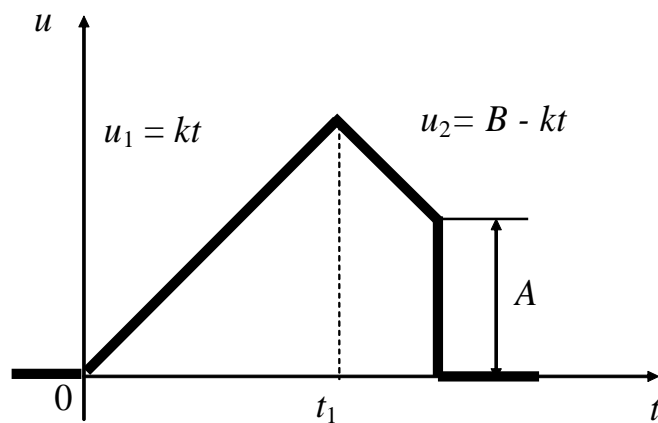
Puc.3.10



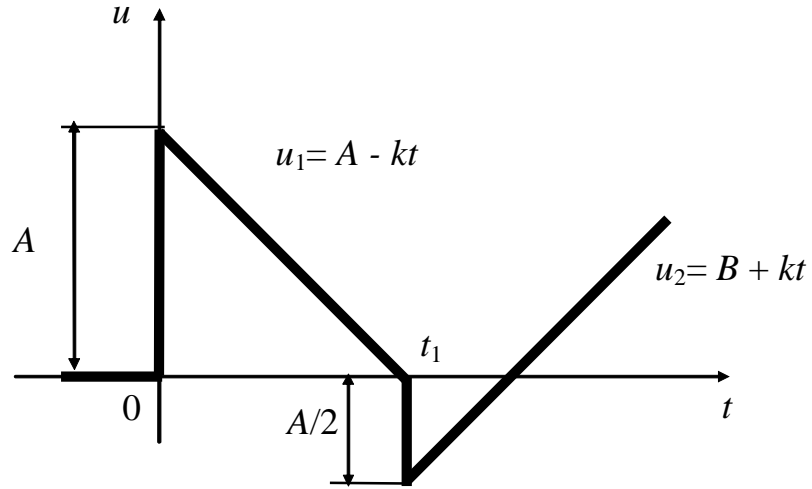
Puc.3.11



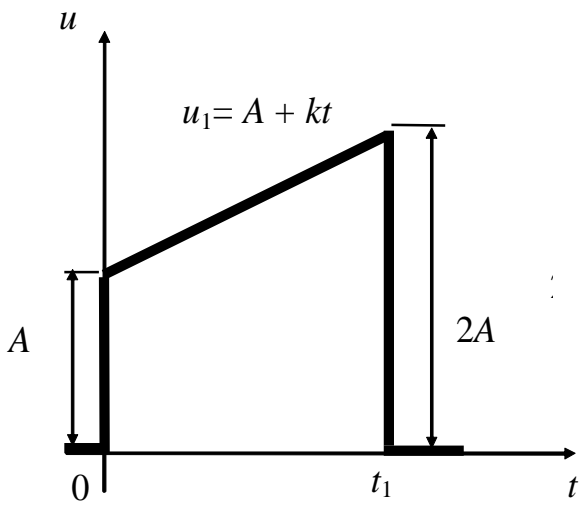
Puc.3.12



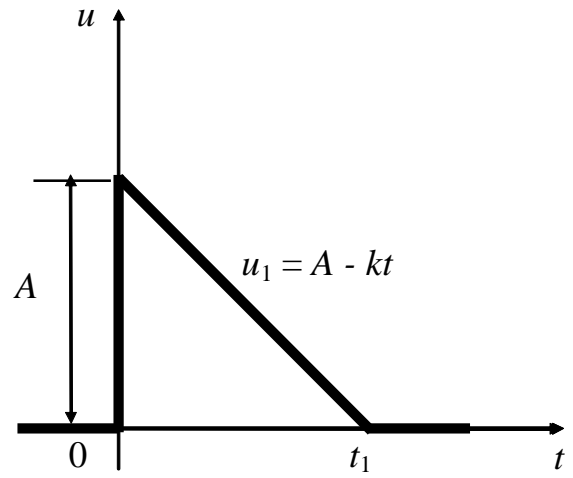
Puc.3.13



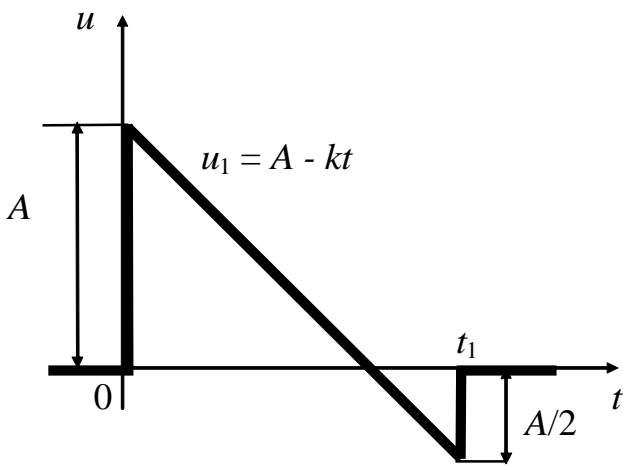
Puc.3.14



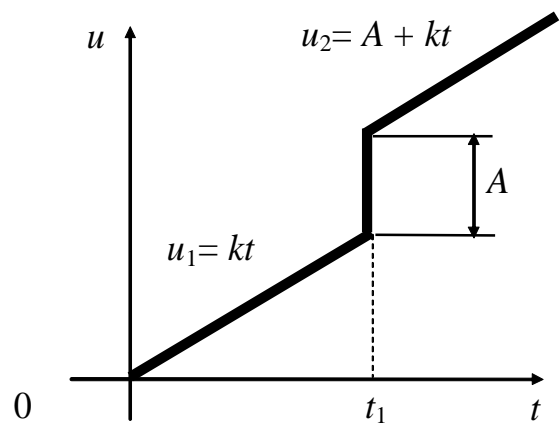
Puc.3.15



Puc.3.16



Puc.3.17



Puc.3.18

Таблица 3.1

Номер варианта	Номер рисунка схемы	Номер рисунка графика	Требуется определить	Номер варианта	Номер рисунка схемы	Номер рисунка графика	Требуется определить
01	3.5	3.9	i_4	33	3.7	3.12	i_3
02	3.4	3.9	u_R	34	3.4	3.12	u_c
03	3.6	3.9	$u_{\text{ВЫХ}}$	35	3.7	3.11	u_L
04	3.4	3.11	i_1	36	3.6	3.11	i_2
05	3.3	3.9	i_1	37	3.5	3.12	u_c
06	3.4	3.10	i_2	38	3.8	3.18	$u_{\text{ВЫХ}}$
07	3.6	3.13	i_1	39	3.5	3.16	i_2
08	3.7	3.9	i_1	40	3.5	3.10	i_3
09	3.7	3.12	i_2	41	3.5	3.13	i_4
10	3.3	3.10	u_L	42	3.4	3.15	u_R
11	3.6	3.9	i_3	43	3.6	3.13	$u_{\text{ВЫХ}}$
12	3.4	3.9	i_3	44	3.5	3.15	i_1
13	3.5	3.9	i_3	45	3.3	3.13	i_1
14	3.4	3.9	u_c	46	3.4	3.17	i_2
15	3.7	3.10	u_L	47	3.6	3.17	i_1
16	3.6	3.10	i_2	48	3.7	3.17	i_1
17	3.5	3.16	u_c	49	3.7	3.16	i_2
18	3.8	3.13	$u_{\text{ВЫХ}}$	50	3.3	3.12	u_L
19	3.5	3.9	i_2	51	3.6	3.15	i_3
20	3.5	3.9	i_3	52	3.4	3.18	i_3
21	3.5	3.10	i_4	53	3.7	3.15	i_3
22	3.5	3.13	u_R	54	3.5	3.18	u_c
23	3.6	3.12	$u_{\text{ВЫХ}}$	55	3.7	3.12	u_L
24	3.5	3.12	i_1	56	3.6	3.12	i_2
25	3.3	3.10	i_1	57	3.5	3.13	u_c
26	3.4	3.11	i_2	58	3.8	3.15	u_L
27	3.6	3.14	i_1	59	3.5	3.13	i_2
28	3.7	3.13	i_1	60	3.5	3.12	i_3
29	3.7	3.14	i_2	61	3.3	3.14	i_4
30	3.3	3.11	u_L	62	3.4	3.15	u_R
31	3.6	3.12	i_3	63	3.6	3.14	$u_{\text{ВЫХ}}$
32	3.4	3.17	i_3	64	3.5	3.18	i_1

Расчетно-графическая работа №4

РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МЕТОДОМ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Задана нелинейная магнитная цепь с магнитопроводом из ферромагнитного материала и двумя обмотками (рис.4.1), схема замещения которой представлена на рис.4.2

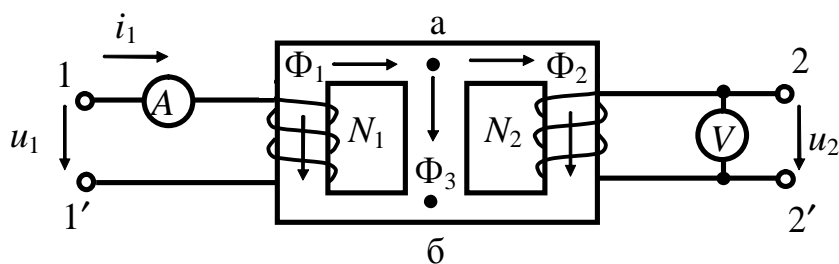


Рис.4.1

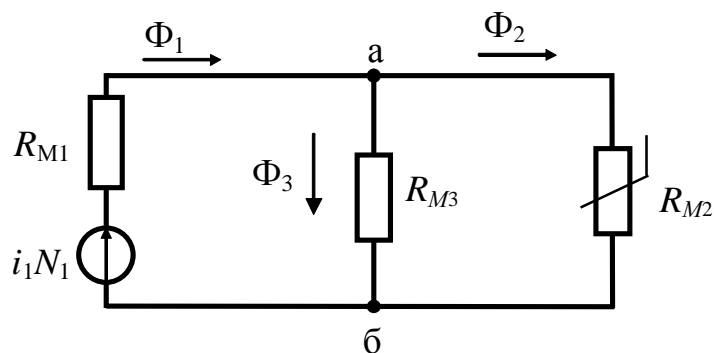


Рис.4.2

К зажимам обмотки N_1 подключен источник синусоидального напряжения $u_1 = U_{\max} \sin \omega t$, а обмотка N_2 разомкнута. Левый и средний стержни магнитопровода работают в линейном режиме и на схеме замещения (рис.4.2) заданы линейными магнитными сопротивлениями R_{M1} и R_{M3} . Правый стержень магнитопровода может достигать состояния насыщения и на схеме замещения представлен нелинейным магнитным сопротивлением R_{M2} .

Магнитная характеристика правого стержня $\Phi_2(U_{aб})$ для вариантов 1 – 7 представлена на рис.4.3.

Идеальная кривая намагничивания $B_2(H)$ материала правого стержня для вариантов 8 – 14 представлена на рис. 4.4.

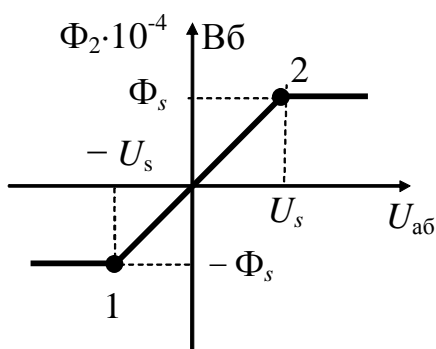


Рис.4.3

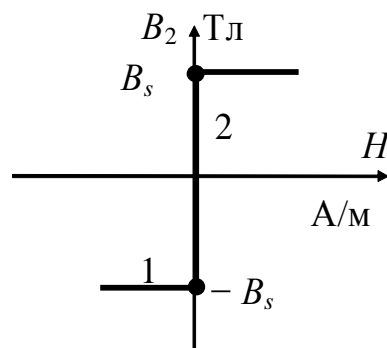


Рис.4.4

С22-322312-14			
R_{M1}	R_{M3}	U_s	U_M
5	7	0	220
Φ_s	B_s	N_1	N_2
0	4	50	130
Найти АМЭ			

Рис. 4.5

В машинной распечатке индивидуального задания (рис. 4.5) в первой строке указан шифр и вариант задания. Во второй строке R_{M1} и R_{M3} – магнитные сопротивления первого и третьего стержней, U_s – магнитное напряжение, соответствующее участку насыщения кривой $\Phi = f(U_{ab})$ (рис.4.3), U_M – амплитудное значение приложенного напряжения. В третьей строке –

соответствующие численные значения R_{M1} , R_{M3} , U_s , U_M . В четвертой строке Φ_s – поток, соответствующий участку насыщения (рис.4.3), B_s – индукция, соответствующая участку насыщения (рис.4.4), N_1 и N_2 – количество витков первичной и вторичной обмотки трансформатора соответственно.

В индивидуальных заданиях амплитудное значение приложенного напряжения U_M указано в вольтах [В], магнитное напряжение U_s – в амперах [А], Магнитное сопротивление $R_{M1} \cdot 10^3$, $R_{M3} \cdot 10^3$ – в генри [Гн], магнитный поток Φ_s – в веберах [Вб], магнитная индукция B – в теслах [Тл], ω – [с⁻¹]. Для вариантов 8–14 площадь поперечного сечения правого стержня $S_2 = 100 \text{ мм}^2$.

В последней строке указан параметр, который необходимо определить: показание амперметра или вольтметра магнитоэлектрической (АМЭ, УМЭ) или электромагнитной (АЭМ, УЭМ) системы.

Задания

1. Выразить аналитически и построить графики $u_1(\omega t)$, $i_1(\omega t)$, $u_2(\omega t)$, $\Phi_1(\omega t)$, $\Phi_2(\omega t)$, $\Phi_3(\omega t)$.
2. Определить показания приборов для случаев, когда прибор:
 -) магнитоэлектрической системы;
 -) электромагнитной системы.
3. Определить точки перехода с участка перемагничивания на участок насыщения.
4. Разложить в ряд Фурье кривую выходного напряжения $u_2(\omega t)$, ограничиваясь первыми четырьмя членами ряда.
5. Определить коэффициент искажения k_u и коэффициент высших гармоник k_T .

Литература

Учебники

1. Теоретические основы электротехники: Учеб. для вузов/К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.-4-е изд., доп. для самот. изучения курса. -СПб.:Питер.-(Учебник для вузов).- Т.1.-2003.-463 с.:ил.
2. Теоретические основы электротехники: Учеб. для вузов/К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.-4-е изд., доп. для самот. изучения курса. -СПб.:Питер.-(Учебник для вузов).- Т.2.-2003.-576 с.:ил.
3. Теоретические основы электротехники: Учеб. для вузов/К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.-4-е изд., доп. для самот. изучения курса. -СПб.:Питер.-(Учебник для вузов).- Т.3.-2003.-377 с.:ил.
4. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для вузов.-10-е изд., стереотип.-М.: Гардарики,2003.-638 с.:ил.;
5. Теоретические основы электротехники /Под общ. ред. Ионкина П.А. Т.1, Т.2. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1976. – 452 с.
6. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1989. –444с.
7. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. - М.: Энергия, 1979. – 612 с.

Задачники

8.Сборник задач по теоретическим основам электротехники: Учеб. пособие /Бессонов Л.А. и др. – М.: Высшая школа, 2000. –528с.

9.Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники: Учеб.пособие для вузов /Под ред. П.А. Ионкина. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 768с.

10.Виноградова Л.Е., Лукманов В.С. Сборник тестовых заданий по теории электрических цепей (часть 1): Учеб. пособие. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2000. – 95с.

11.Сборник задач по теоретически основам электротехники: Учебное пособие / Л.Е. Виноградова, А.В. Гусаров, В.И. Журавская, В.С. Лукманов, Л.С. Медведева; Уфимск. гос.авиационн.техн.ун-т.– Уфа: УГАТУ, 2002. – 31с.

Учебные пособия

12.Лукманов В.С. Теоретические основы электротехники. Часть I. Теория линейных электрических цепей: Учебное пособие /В.С.Лукманов; Уфимск. гос. авиац.техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2005. – 120 с

13.Шебес М.Р., Каблукова Н.В. Задачник по теории линейных электрических цепей: Учеб.пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1982. – 488 с.

14.Зайчик М.Ю. Сборник учебно-контрольных задач по теории электрических цепей: Учеб. пособие. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.

15.Виноградова Л.Е., Лукманов В.С., Чечулина И.Е. и др. Расчет электрических цепей: Учеб. пособие. – Уфа: Уфим.гос. авиац. техн. ун-т, 2000. – 96с

Справочники

16.Татур Т.А. Основы теории электрических цепей: Справочное пособие. – М.: Высшая школа, 1980. – 265с.

17.Опорный конспект по теории электрических цепей: Методические указания /Сост.: Виноградова Л.Е., Лукманов В.С., Медведева Л.С.и др. – Уфа: Уфим.гос. авиац техн. ун-т ,1997.-35с.

Составитель ЛУКМАНОВ Виталий Сабирович

Пример оформления контрольной работы

Уфимский государственный авиационный технический университет
Кафедра теоретических основ электротехники

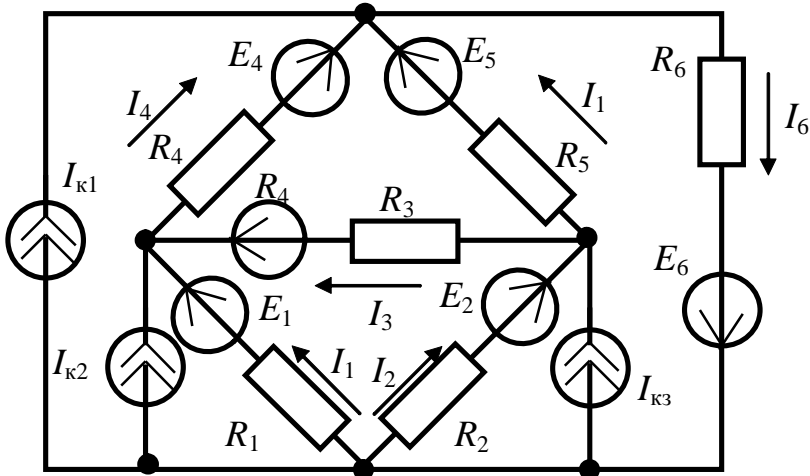
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

**Расчет линейных электрических цепей
постоянного тока**

Выполнил: студент

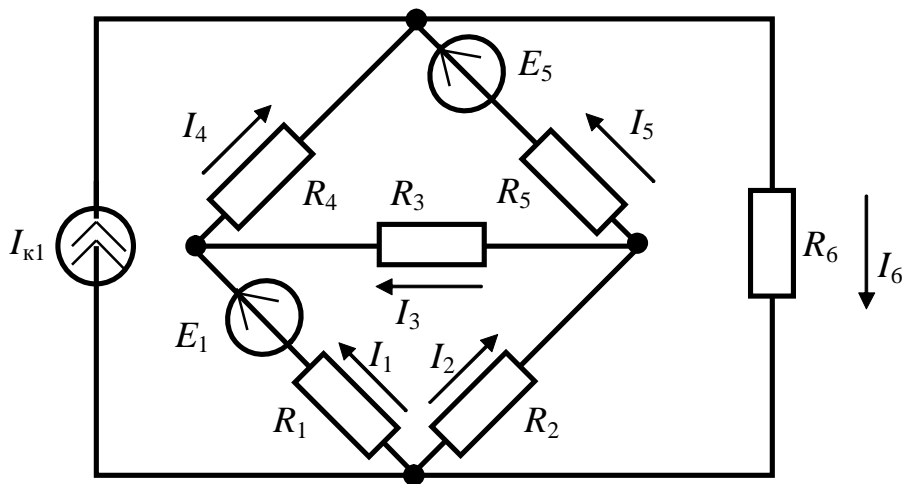
Проверил: преподаватель

Уфа 2007



221425 - 3
 $R_1=90$ $R_2=40$ $R_3=10$
 $R_4=70$ $R_5=80$ $R_6=30$
 $E_1=-250$ $E_2=0$
 $E_3=0$ $E_4=0$
 $E_5=-150$ $E_6=0$
 $I_{к1}=5$ $I_{к2}=0$
 $I_{к3}=0$

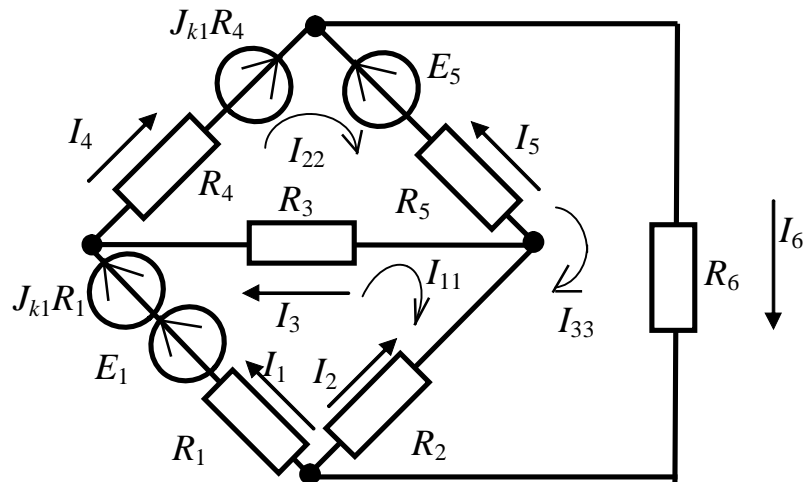
СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ
 ПО ПЕРВОМУ И ВТОРОМУ ЗАКОНАМ КИРХГОФА



Уравнения записать самостоятельно.

РАСЧЕТ ЦЕПИ МЕТОДОМ КОНТУРНЫХ ТОКОВ

Проведем эквивалентное преобразование источника тока в источник ЭДС



Определяем количество необходимых уравнений по первому и второму закону Кирхгофа

$$n_{\text{I}} = Y - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$n_{\text{II}} = B - B_J - (Y - 1) = 7 - 1 - 4 + 1 = 3$$

Введем контурные токи I_{11} , I_{22} , I_{33} :

$$I_1 = I_{11};$$

$$I_2 = I_{33} - I_{11};$$

$$I_3 = I_{22} - I_{11};$$

$$I_4 = I_{22};$$

$$I_5 = I_{33} - I_{22};$$

$$I_6 = I_{33}.$$

Запишем уравнения по методу контурных токов:

$$\begin{cases} I_{11}R_{11} - I_{22}R_{12} - I_{33}R_{13} = E_{11}; \\ I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} - I_{33}R_{23} = E_{22}; \\ -I_{11}R_{31} - I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} = E_{33}. \end{cases}$$

Определим собственные и взаимные сопротивления:

$$R_{11} = R_1 + R_2 + R_3 = 90 + 40 + 10 = 140, \text{ Ом};$$

$$R_{22} = R_4 + R_5 + R_3 = 70 + 80 + 10 = 160, \text{ Ом};$$

$$R_{33} = R_2 + R_5 + R_6 = 40 + 80 + 30 = 150, \text{ Ом};$$

$$R_{12} = R_{21} = R_3 = 10, \text{ Ом};$$

$$R_{13} = R_{31} = R_2 = 40, \text{ Ом};$$

$$R_{32} = R_{23} = R_5 = 80, \text{ Ом};$$

Определим контурные ЭДС:

$$E_{11} = E_1 + J_{k1} R_1 = -250 + 5 \cdot 90 = 200, \text{ В};$$

$$E_{22} = J_{k1} R_4 - E_5 = 5 \cdot 70 - (-150) = 500, \text{ В};$$

$$E_{33} = E_5 = -150, \text{ В}.$$

Составим матрицу сопротивлений, матрицу-столбец контурных ЭДС и найдем контурные токи:

$$\begin{vmatrix} 140 & -10 & 40 \\ -10 & 160 & -80 \\ -40 & -80 & 150 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} 200 \\ 500 \\ -150 \end{vmatrix}, \quad \begin{aligned} I_{11} &= 2,0469, \text{ А}; \\ I_{22} &= 3,8533, \text{ А}; \\ I_{33} &= 1,2007, \text{ А}. \end{aligned}$$

Находим реальные токи:

$$I_1 = I_{11} - J_{k1} = 2,0469 - 5 = -2,9531, \text{ А};$$

$$I_2 = I_{33} - I_{11} = 1,2007 - 2,0469 = -0,8462, \text{ А};$$

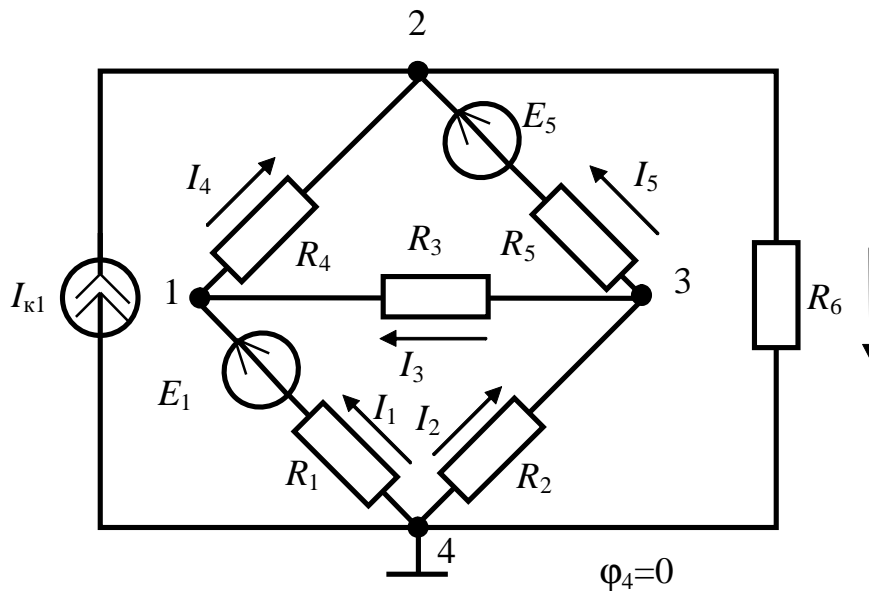
$$I_3 = I_{22} - I_{11} = 3,8533 - 2,0469 = 1,8064, \text{ А};$$

$$I_4 = I_{22} - J_{k1} = 3,8533 - 5 = -1,1467, \text{ А};$$

$$I_5 = I_{33} - I_{22} = 1,2007 - 3,8533 = -2,6526, \text{ А};$$

$$I_6 = I_{33} = 1,2007, \text{ А}.$$

РАСЧЕТ ЦЕПИ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ



Определяем количество необходимых уравнений

$$n_1 = Y - 1 = 3$$

Запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} G_{11}\varphi_{11} - G_{12}\varphi_{22} - G_{13}\varphi_{33} = J_{11} \\ -G_{21}\varphi_{11} + G_{22}\varphi_{22} - G_{23}\varphi_{33} = J_{22} \\ -G_{31}\varphi_{11} - G_{32}\varphi_{22} - G_{33}\varphi_{33} = J_{33} \end{cases}$$

Определяем взаимную и собственную проводимости:

$$G_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{90} + \frac{1}{10} + \frac{1}{70} = 0,114286, \text{ См};$$

$$G_{22} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{70} + \frac{1}{80} + \frac{1}{30} = 0,039286, \text{ См};$$

$$G_{33} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{40} + \frac{1}{10} + \frac{1}{80} = 0,1375, \text{ См};$$

$$G_{12} = G_{21} = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{70} = 0,014286, \text{ См};$$

$$G_{13} = G_{31} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} = 0,100000, \text{ См};$$

$$G_{23} = G_{32} = \frac{1}{R_5} = \frac{1}{80} = 0,012500, \text{ См}.$$

Определяем узловые токи.

$$J_{11} = \frac{E_1}{R_1} = -\frac{250}{90} = -2,778, \text{ А};$$

$$J_{22} = J_{k1} + \frac{E_5}{R_5} = 5 + \left(-\frac{150}{80}\right) = 3,125, \text{ А};$$

$$J_{33} = -\frac{E_5}{R_5} = -\left(-\frac{150}{80}\right) = 1,875, \text{ А}.$$

Составим матрицу проводимостей и матрицу-столбец узловых токов, и найдем потенциалы узлов.

$$\begin{vmatrix} 0,125397 & -0,014286 & -0,100000 \\ -0,014286 & 0,039286 & -0,012500 \\ -0,100000 & -0,012500 & 0,137500 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} -2,778 \\ 3,125 \\ 1,875 \end{vmatrix},$$

$$\varphi_{11} = 15,777 \text{ В}, \quad \varphi_{22} = 96,058 \text{ В}, \quad \varphi_{33} = 33,843 \text{ В}.$$

Пользуясь обобщенным законом Ома определяем токи во всех ветвях.

$$I_1 = \frac{E_1 - (\varphi_{11} - \varphi_{44})}{R_1} = \frac{-250 - (15,777 - 0)}{90} = -2,9525, \text{ А};$$

Продолжение прил.

$$I_2 = \frac{(\varphi_{44} - \varphi_{33})}{R_2} = \frac{(0 - 33,843)}{40} = -0,8461, \text{ A};$$

$$I_3 = \frac{(\varphi_{33} - \varphi_{11})}{R_3} = \frac{(33,843 - 15,777)}{10} = 1,8066, \text{ A};$$

$$I_4 = \frac{(\varphi_{11} - \varphi_{22})}{R_4} = \frac{(15,777 - 96,058)}{70} = -1,1469, \text{ A};$$

$$I_5 = \frac{E_5 + (\varphi_{33} - \varphi_{22})}{R_5} = \frac{-150 + 33,843 - 96,058}{80} = -2,6527, \text{ A};$$

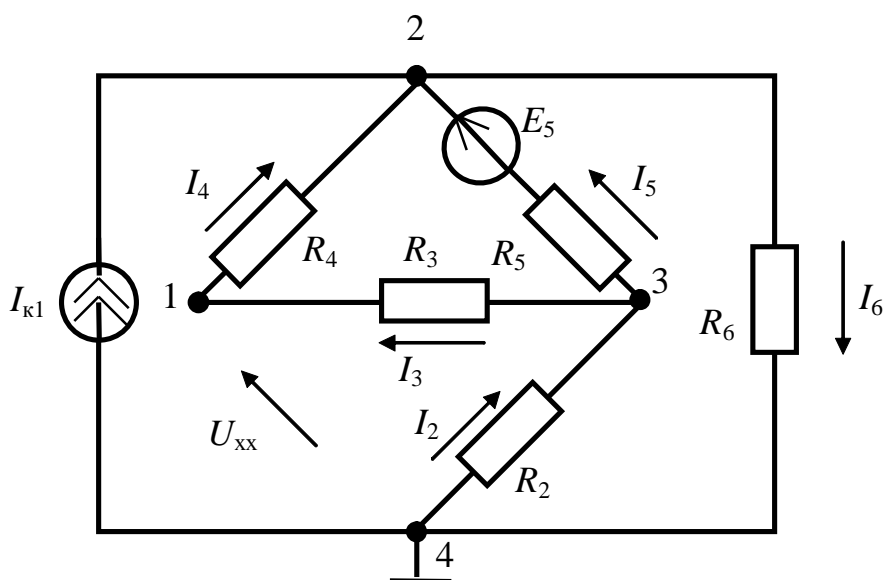
$$I_6 = \frac{(\varphi_{22} - \varphi_{44})}{R_6} = \frac{(96,058 - 0)}{30} = 1,2007, \text{ A}.$$

Таблица

ТАБЛИЦА ТОКОВ

Токи	$I_1[\text{A}]$	$I_2[\text{A}]$	$I_3[\text{A}]$	$I_4[\text{A}]$	$I_5[\text{A}]$	$I_6[\text{A}]$
МКТ	-2,9531	-0,8462	1,8064	-1,1467	-2,6526	1,2007
МУП	-2,9525	-0,8461	1,8066	-1,1469	-2,6527	1,2007

МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА

1. Определение U_{xx} 

По методу узловых потенциалов определяем:

$$\begin{cases} G_{11}\varphi_{11} - G_{12}\varphi_{22} - G_{13}\varphi_{33} = J_{11} \\ -G_{21}\varphi_{11} + G_{22}\varphi_{22} - G_{23}\varphi_{33} = J_{22} \\ -G_{31}\varphi_{11} - G_{32}\varphi_{22} - G_{33}\varphi_{33} = J_{33} \end{cases}$$

$$G_{11} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{70} = 0,114286, \text{ См};$$

$$G_{22} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{70} + \frac{1}{80} + \frac{1}{30} = 0,039286, \text{ См};$$

$$G_{33} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{40} + \frac{1}{10} + \frac{1}{80} = 0,137500, \text{ См};$$

$$G_{12} = G_{21} = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{70} = 0,014286, \text{ См};$$

$$G_{13} = G_{31} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} = 0,100000, \text{ См};$$

$$G_{23} = G_{32} = \frac{1}{R_5} = \frac{1}{80} = 0,0125, \text{ См};$$

$$J_{11} = 0, \text{ А};$$

$$J_{22} = J_{k1} + \frac{E_5}{R_5} = 5 + \left(-\frac{150}{80}\right) = 3,125, \text{ А};$$

$$J_{33} = -\frac{E_5}{R_5} = 150 \cdot 0,0125 = 1,875, \text{ А}.$$

Составим матрицу проводимостей и матрицу-столбец узловых токов и найдем потенциалы узлов.

$$\begin{vmatrix} 0,114286 & -0,014286 & -0,100000 \\ -0,014286 & 0,039286 & -0,012500 \\ -0,100000 & -0,012500 & 0,137500 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} 0 \\ 3,125 \\ 1,875 \end{vmatrix},$$

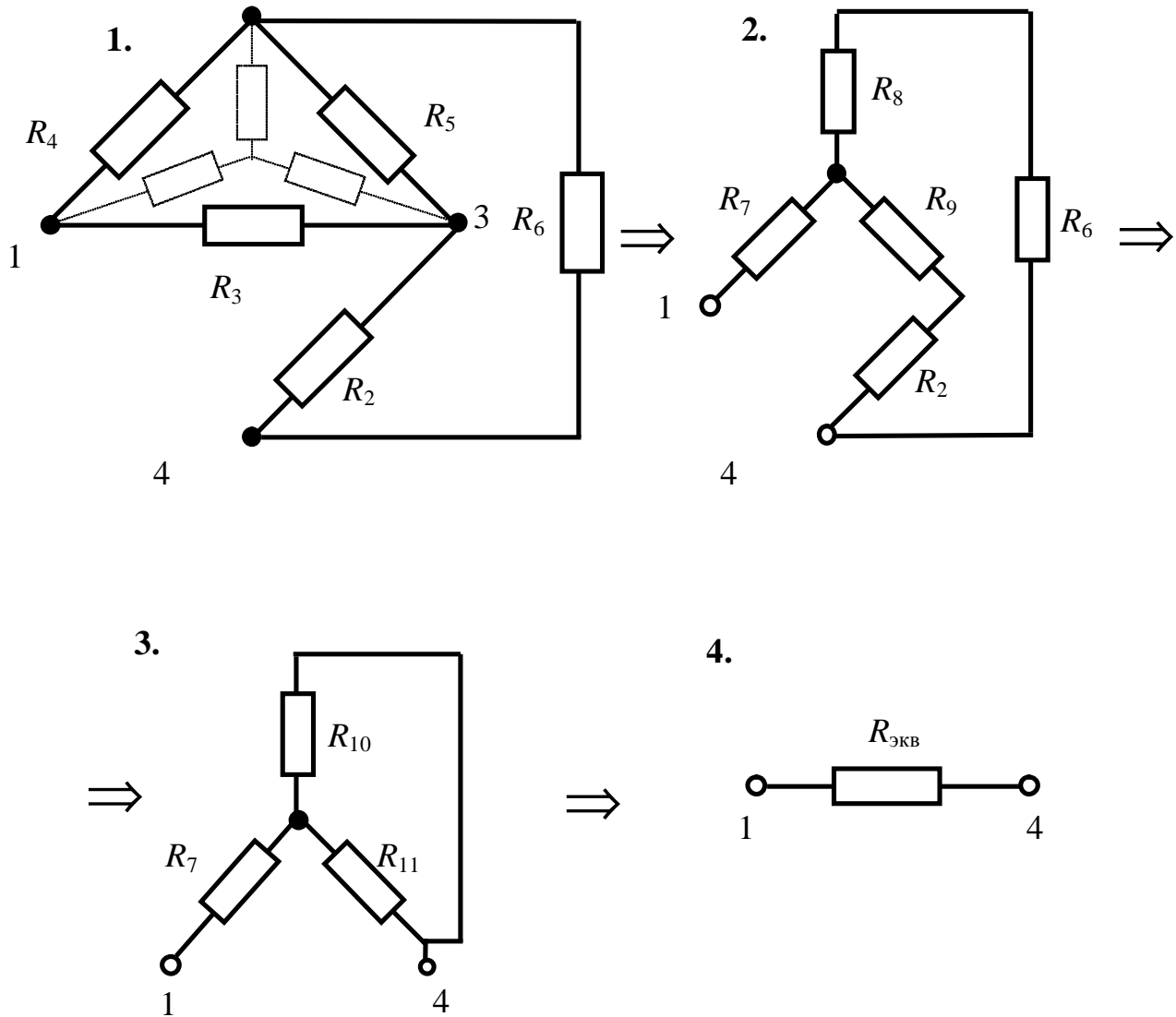
$$\varphi_{11} = 124,22 \text{ В}, \quad \varphi_{22} = 162,50 \text{ В}, \quad \varphi_{33} = 118,75 \text{ В}.$$

Напряжение холостого хода

$$U_{xx} = -\varphi_{11} + E_1 = -124,22 + (-250) = -374,22 \text{ В}.$$

2. Расчет эквивалентного сопротивления

Последовательность преобразования сопротивлений



$$R_8 = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5 + R_3} = \frac{70 \cdot 80}{70 + 80 + 10} = 35,00 \text{ Ом};$$

$$R_9 = \frac{R_5 R_3}{R_4 + R_5 + R_3} = \frac{80 \cdot 10}{70 + 80 + 10} = 5,00 \text{ Ом};$$

$$R_7 = \frac{R_4 R_3}{R_4 + R_5 + R_3} = \frac{70 \cdot 10}{70 + 80 + 10} = 4,38, \text{ Ом};$$

Продолжение прил.

$$R_{10} = R_8 + R_6 = 35 + 80 = 115,00 \text{ Ом};$$

$$R_{11} = R_9 + R_2 = 5 + 40 = 45,00 \text{ Ом};$$

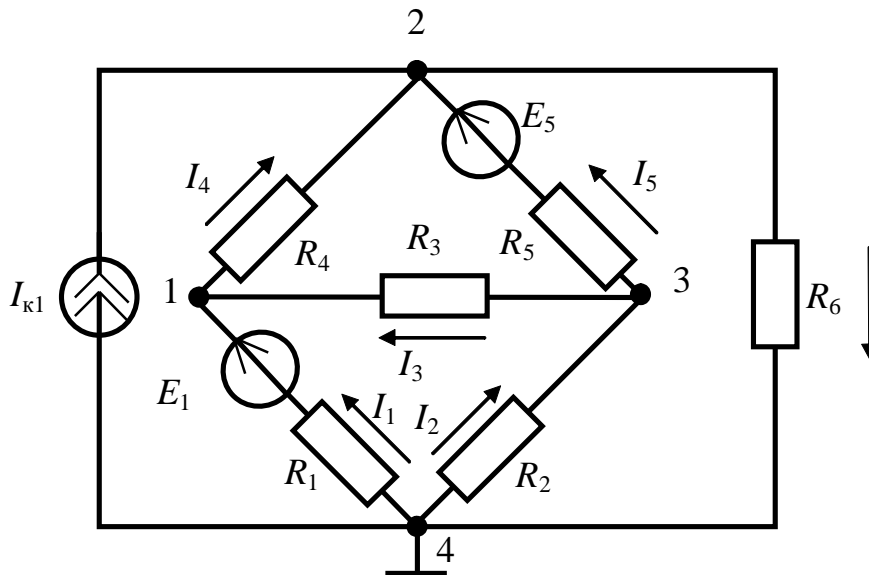
$$R_{\text{экв}} = \frac{R_{10}R_{11}}{R_{10} + R_{11}} + R_7 = \frac{115 \cdot 45 + 4,38}{115 + 45} = 360,72, \text{ Ом.}$$

Определим ток I_1 по методу эквивалентного генератора.

$$I_1 = \frac{U_{\text{xx}}}{R_{\text{экв}} + R_1} = -\frac{374,22}{36,72 + 90} = -2,95, \text{ А.}$$

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГРАММА

Для построения потенциальной диаграммы найдем потенциалы всех указанных узлов



$$\varphi_5 = \varphi_4 - I_1 R_1 = 0 - (-2,9525) 90 = 265,72, \text{ В};$$

$$\varphi_1 = \varphi_5 + E_1 = 265,72 - 250 = 15,72, \text{ В};$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 - I_4 R_4 = 15,72 - (-1,1469) 70 = 96,00, \text{ В};$$

$$\varphi_6 = \varphi_2 - E_5 = 96,00 + 150 = 246,00, \text{ В};$$

$$\varphi_3 = \varphi_6 + I_5 R_5 = 246,00 + (-2,6527) 80 = 33,78, \text{ В.}$$

Окончание прил.

Построение потенциальной диаграммы осуществляется на миллиметровой бумаге с указанием масштаба.

Построить потенциальную диаграмму самостоятельно.

БАЛАНС МОЩНОСТЕЙ

$$\sum_{i=1}^n P_{i \text{ потребит.}} = \sum_{i=1}^n P_{i \text{ ист.}},$$

$$\begin{aligned} I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 &= E_1 I_1 + E_5 I_5 + J_{k1} \Phi_{22}; \\ 2,9525^2 \cdot 90 + 0,8461^2 \cdot 40 + 1,8066^2 \cdot 10 + 1,1469^2 \cdot 70 + 2,6527^2 \cdot 80 + \\ + 1,2007^2 \cdot 30 &= -250(-2,9525) + (-150)(-2,6527) + 5 \cdot 96,058; \\ 1616,29 \text{ Вт} &\cong 1616,19 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Баланс выполняется.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ

Методические указания
к расчетно-графическим работам
по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

Подписано к печати 07.03.2007. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr.
Усл. печ. л. 1,9. Усл. кр.-отт. 1,9. Уч.-изд. л. 1,8.
Тираж 100 экз. Заказ №
ГОУ ВПО
Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса,12