

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Программа, методические указания
и контрольные работы для студентов
заочного факультета**

**Санкт-Петербург
2013**

В.И. Королев, В.П. Николаев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Санкт-Петербург
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ
ПОЛИМЕРОВ»**

**Кафедра автоматизированного электропривода
и электротехники**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Программа, методические указания
и контрольные работы для студентов
заочного факультета**

**Санкт-Петербург
2013**

Электротехника и электроника: программа методические указания и контрольные работы для студентов заочного факультета/ В.И. Королёв, В.П. Николаев; СПб.: –СПбГТУРП., 2013.- 46 с.

В методических указаниях в соответствии с учебной программой приводится методика расчетов основных параметров электрических цепей постоянного тока, трехфазных цепей переменного тока, трансформаторов, асинхронных трехфазных электрических двигателей, двигателей постоянного тока, усилителя на биполярном транзисторе, выпрямителей и указания для выполнения контрольных работ.

Предназначаются для студентов заочного факультета, изучающих дисциплину «Электротехника и электроника».

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированного электропривода и электротехники Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров В.К.Пономаренко;

канд. техн. наук, доцент, ведущий инженер ООО НПО «СПб ЭК»

Е.Н. Ковалев

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой автоматизированного электропривода и электротехники Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров (протокол № 1 от 28.10.2013 г.).

Утверждены к изданию методической комиссией факультета автоматизированных систем управления технологическими процессами (протокол № 3 от 29. 10. 2013 г.).

Рекомендованы к изданию Редакционно-издательским советом университета.

Корректор Т.А. Смирнова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2013 г., изд. № 93

Подп. к печати 28.10.2013. Формат 60×84/16. Бумага тип № 1.

Печать офсетная. Печ. л.3,0. Уч. –изд. л..3,0. Тираж 200 экз.

Изд.№ 93. Цена «С». Заказ

Ризограф Санкт – Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, 198095, СПб.,ул. Ивана Черных, 4.

© Королёв В.И., Николаев В.П., 2013

© Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, 2013

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Введение

Изучение курса «Электротехника и электроника» необходимо для создания теоретической базы при изучении специальных дисциплин, связанных с автоматизацией технологических процессов, электроснабжением и электрооборудованием различных отраслей.

Инженер любой специальности должен знать устройство, принцип действия, характеристики и эксплуатационные возможности электрических машин, электроизмерительных приборов, различных аппаратов и другого электрооборудования, способы регулирования и управления ими.

Электрические цепи

Цепи постоянного тока и методы их исследования

Основные понятия и соотношения. Электрический ток, напряжение и ЭДС. Закона Ома и Кирхгофа. Сопротивление проводника. Работа и мощность электрического тока.

Простейшие цепи при последовательном, параллельном и смешанном соединении приемников и их расчет с использованием закона Ома. Использование законов Кирхгофа для расчета сложных электрических цепей. Расчет сложных цепей методом контурных токов.

Электрические цепи синусоидального тока

Элементы электрической цепи синусоидального тока; индуктивный и емкостной элементы. Источники электрической энергии синусоидального тока. Амплитудное, среднее и действующее значения синусоидальных ЭДС напряжений и токов. Представление синусоидальных величин вращающимися векторами и комплексными числами. Закон Ома для простейших цепей переменного тока. Законы Кирхгофа для цепей синусоидального тока. Комплексный метод анализа цепей синусоидального тока. Неразветвленная цепь синусоидального тока. Активная, реактивная и полная мощности цепи переменного тока. Повышение коэффициента мощности электрических устройств. Резонанс в электрических цепях.

Трехфазные цепи переменного тока

Трехфазные электротехнические устройства. Соединение источника энергии и приемника по схеме звезда-звезда или звезда-треугольник.

Симметричные и несимметричные трехфазные цепи. Активная, реактивная и полная мощности трехфазной системы.

Трансформаторы

Общие сведения о трансформаторах. Принцип действия однофазного трансформатора. Уравнения однофазного трансформатора. Схема замещения и векторная диаграмма однофазного трансформатора. Опыты холостого хода и короткого замыкания. Внешние характеристики трансформатора. Мощность потерь в трансформаторе. Особенности трехфазных трансформаторов, группы соединений обмоток трансформаторов. Автотрансформаторы. Измерительные трансформаторы тока и напряжения.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

Полупроводниковые приборы

Общие сведения о полупроводниковых приборах. Полупроводниковые диоды. Транзисторы. Тиристоры. Оптоэлектронные приборы.

Выпрямительные устройства

Назначение и классификация выпрямительных устройств в зависимости от схем выпрямления, мощности. Принцип действия, временные диаграммы токов и напряжений, упрощенные расчеты выпрямительных устройств с активным сопротивлением нагрузки, собранных по однофазной и трехфазной мостовым схемам. Сглаживающие фильтры: емкостной, Г-образный, П-образный. Управляемые выпрямители на тиристорах.

Усилители электрических сигналов

Классификация и типы усилителей. Классы усиления. Три схемы включения транзисторов в усилительных каскадах. Обратная связь в усилителях. Многокаскадные усилители. Характеристики усилителей. Усилители постоянного тока. Операционные усилители.

Импульсные устройства

Принципы построения и режимы работы импульсных устройств. Мультивибратор на транзисторах, на операционном усилителе. Триггеры, назначение и область применения. Схема триггеров. Способы управления триггерами.

Машины постоянного тока

Общие сведения. Устройство машин постоянного тока. Анализ работы щеточного токосъема. Обмотки барабанного якоря. ЭДС и электромагнитный момент машин постоянного тока. Генератор с независимым возбуждением. Самовозбуждение генераторов. Генератор с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением. Режим двигателя. Двигатель с параллельным возбуждением. Двигатель с последовательным возбуждением.

Асинхронные машины

Общие сведения. Устройство трехфазных двигателей. Вращающееся магнитное поле. Режимы работы асинхронной машины. ЭДС статора, ЭДС и ток ротора. Скольжение. Векторная диаграмма и схема замещения фазы двигателя. Энергетическая диаграмма. Механическая характеристика двигателя. Пуск двигателей. Регулирование скорости асинхронных двигателей.

Синхронные машины

Общие сведения. Устройство синхронной машины. Режимы работы. Получение синусоидальной ЭДС синхронного генератора. Уравнение электрического состояния фазы синхронного генератора. Векторная диаграмма. Мощность и КПД генератора. Электромагнитный момент и угловая характеристика. U – образная характеристика генератора. Регулирование активной и реактивной мощности генератора. Работа синхронной машины в режиме двигателя. Схема замещения и векторная диаграмма фазы синхронного двигателя. Электромагнитный момент и угловая характеристика двигателя. U -образная характеристика двигателя. Пуск синхронного двигателя.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛАМ КУРСА

Цепи постоянного тока и методы их расчета

Одним из важных вопросов этого раздела является расчет распределения токов в разветвленных цепях с несколькими источниками питания, который проводится различными методами. Наибольшее внимание следует уделить методам непосредственного применения законов Кирхгофа и контурных токов. Пусть цепь, которую нужно рассчитать, содержит m ветвей и n узлов. Так как по каждой ветви протекает ток, то число неизвестных токов равно числу ветвей, и для определения их необходимо m уравнений.

Последовательность расчета

а) Обозначают токи во всех ветвях ($I_1, I_2, \dots, I_m$), произвольно выбирая их направления, которые указывают стрелками;

б) составляют по первому закону Кирхгофа уравнения для $(n-1)$ узлов;

в) недостающие $m - (n-1)$ уравнения получают по второму закону Кирхгофа, для чего выбирают в схеме $m - (n-1)$ независимых контуров. Выбирают произвольно направление обхода этих контуров (по движению часовой стрелки или против него) и обозначают их на схеме;

г) для выбранных контуров и направлений их обхода составляют уравнения по второму закону Кирхгофа.

В результате получается система из m уравнений. Решение этой системы позволяет определить не только численные значения токов, но и их действительные направления. Если решение привело к отрицательному знаку для какого-либо тока, то его действительное направление противоположно первоначально выбранному.

В качестве примера рассмотрим цепь, схема которой изображена на рис.1

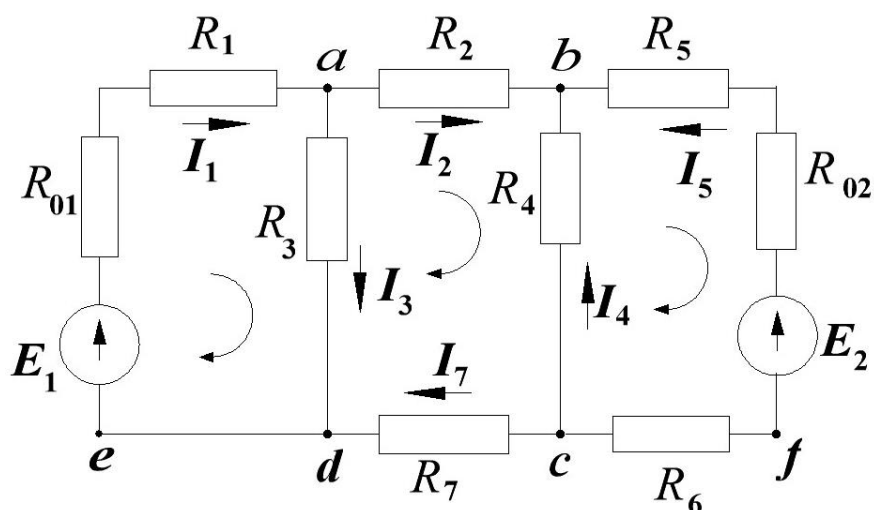


Рис.1 Разветвленная цепь постоянного тока

Схема содержит 6 ветвей и 4 узла ($m=6, n=4$). На схеме показаны направления токов всех ветвей. По первому закону Кирхгофа составляем три уравнения для узлов a, b, c :

узел a : $I_1 - I_2 - I_3 = 0$;

узел b : $I_2 + I_4 + I_5 = 0$;

узел c : $-I_5 - I_4 - I_7 = 0$.

По второму закону Кирхгофа составляем 3 уравнения для контуров $adea, abcd, bfc$ (направления обхода принимаем по часовой стрелке):

контур $adea$

$$E_1 = I_1(R_{01} + R_1) + I_3R_3;$$

контур $abcd$

$$0 = I_2R_2 - I_4R_4 + I_7R_7 - I_3R_3;$$

контур bfc

$$-E_2 = -I_5(R_{02} + R_5 + R_6) + I_4R_4.$$

Таким образом, при расчете цепи по методу непосредственного применения закона Кирхгофа необходимо решить систему из шести уравнений, что является трудоемкой операцией. При расчете сложных цепей с большим числом узлов целесообразно использовать метод контурных токов, позволяющий уменьшить число решаемых уравнений, на число уравнений записанных по первому закону Кирхгофа. При решении методом контурных токов число уравнений по второму закону Кирхгофа равно числу независимых контуров. В нашем случае (рис. 2) таких контуров – три : $adea, abcd$ и bfc .

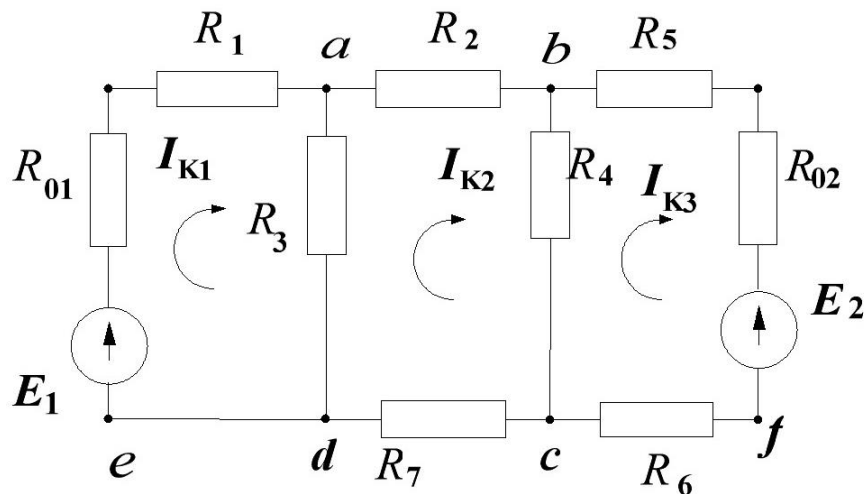


Рис.2. Схема для расчета токов в ветвях методом контурных токов

Последовательность расчета

а) Вводя понятие «контурный ток», произвольно задаются направлениями этих токов в контурах I_{K1} ; I_{K2} , I_{K3} . Удобнее все токи направлять в одном направлении, например, по часовой стрелке;

б) для каждого контура составляют уравнения по второму закону Кирхгофа. Обход контура принимается совпадающим с направлением контурного тока:
контур $adea$

$$E_1 = I_{K1}(R_{01} + R_1 + R_3) - I_{K2}R_3;$$

контур $abcd$

$$0 = I_{K2}(R_2 + R_4 + R_7 + R_3) - I_{K1}R_3 - I_{K3}R_4;$$

контур bfc

$$-E_2 = I_{K3}(R_5 + R_{02} + R_6 + R_4) - I_{K2}R_4;$$

в) совместное решение записанных уравнений позволяет определить контурные токи;

г) токи во внешних ветвях схемы равны по величине соответствующим контурным токам; токи во внутренних ветвях схемы определяются как сумма или разность соответствующих контурных токов.

Для рассматриваемого примера:

$$I_1 = I_{K1}; \quad I_2 = I_{K2}; \quad I_3 = I_{K1} - I_{K2}; \quad I_4 = I_{K3} - I_{K2}; \quad I_5 = I_{K3} - I_{K3}; \quad I_7 = I_{K2}.$$

Электрические цепи синусоидального тока

В результате изучения данного раздела студенты должны:

1) знать содержание терминов: резистор; индуктивная катушка; индуктивность; индуктивное сопротивление; емкость; емкостное сопротивление; начальная фаза; угол сдвига фаз; период; частота; мгновенное; действующее и среднее значения синусоидальных величин, полная, активная и реактивная мощности; активное и реактивное сопротивления;

2) понимать особенности электромагнитных процессов в электрических цепях синусоидального тока; энергетические соотношения в цепях синусоидального тока; экономическое значение коэффициента мощности;

3) уметь представлять гармонически изменяющиеся величины тригонометрическими функциями, векторами и комплексными числами;

При изучении явлений резонанса необходимо усвоить следующее.

При резонансе напряжение и ток на зажимах цепи всегда совпадают по фазе. Настройка цепи на резонанс зависит от схемы соединений емкости и индуктивности. Для последовательного соединения условием резонанса является равенство индуктивного и емкостного сопротивлений: $X_L = X_C$. Для цепи, содержащей параллельный контур, в одной из ветвей, которого находится индуктивность, а в другой – емкость, условием резонанса является равенство реактивных проводимостей: $B_L = B_C$.

При расчете цепей синусоидального тока приходится совершать математические операции, которые удобно производить над комплексными действующими значениями токов и напряжений, рассматривая их как векторы. Величины векторов при этом равны действующим значениям тока и напряжения, а начальная фаза определяет положение вектора относительно положительной горизонтальной оси координат. При положительной начальной фазе вектор повернут на соответствующий угол против движения часовой стрелки, а при отрицательной - по направлению движения часовой стрелки. Совокупность векторов, изображающих синусоидальные ЭДС, напряжения и токи одной частоты, называют векторной диаграммой.

Трехфазные цепи переменного тока

При изучении трехфазных цепей особое внимание необходимо обратить на преимущества, которые дает трехфазная система по сравнению с однофазной. Рассматривая схемы соединения приемников энергии, необходимо уяснить связь между фазными и линейными напряжениями в схеме соединения звездой, а также между фазными и линейными токами в схеме соединения треугольником.

Расчет трехфазной цепи в симметричном режиме сводится к расчету одной фазы и производится аналогично расчету обычной цепи однофазного тока.

После изучения настоящего раздела студенты должны:

- 1) знать основные элементы трехфазных цепей, способы соединений фаз источников энергии и включения в трехфазную цепь приемников;
- 2) понимать роль нейтрального провода; влияние характера нагрузки на величину тока в нейтральном проводе;
- 3) уметь анализировать различные режимы симметричных и несимметричных цепей.

В качестве примера рассмотрим схему, показанную на рис.3

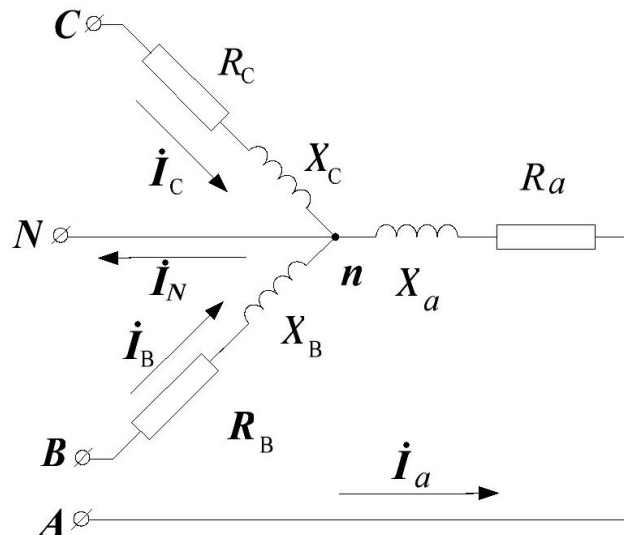


Рис.3. Трехфазная цепь, при соединении приемников электрической энергии звездой с нулевым проводом

В четырехпроводную трехфазную сеть с заданным линейным напряжением $U_{\text{л}}=220$ В включен приемник, активные и индуктивные сопротивления фаз которого соответственно равны: $R_A=3$ Ом, $X_A=4$ Ом, $R_B=4$ Ом, $X_B=3$ Ом, $R_C=6$ Ом, $X_C=8$ Ом.

Принимаем начальную фазу напряжения $\dot{U}_A$ за нуль. В этом случае:

$$\dot{U}_A = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 127 \text{ В}, \quad \dot{U}_B = 127 e^{-j120^\circ} \text{ В}, \quad \dot{U}_C = 127 e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

Находим линейные токи:

$$\underline{i}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{127}{3 + j4} = \frac{127}{5e^{j53^\circ}} = 25,4e^{-j53^\circ} \text{ А};$$

$$\underline{i}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{127e^{-j120^\circ}}{4 + j3} = \frac{127e^{-j120^\circ}}{5e^{j37^\circ}} = 25,4e^{-j157^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{127 e^{-j120^\circ}}{8 + j5} = \frac{127 e^{-j120^\circ}}{10 e^{j37^\circ}} = 12,7 e^{-j83^\circ} \text{ A.}$$

Ток в нейтральном проводе определяется как геометрическая сумма линейных токов:

$$\begin{aligned} \dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c &= 25,4 e^{-j53^\circ} + 25,4 e^{-j157^\circ} + 12,5 e^{-j83^\circ} = \\ &= 25,4 \cdot 0,587 - j25,4 \cdot 0,798 - 25,4 \cdot 0,913 - j25,4 \cdot 0,39 + 12,7 \cdot 0,104 + \\ &\quad + j12,7 \cdot 0,992 = -6,97 - j17,57 = 18,9 e^{-j112^\circ} \text{ A} \end{aligned}$$

Векторная диаграмма показана на рис.4 .

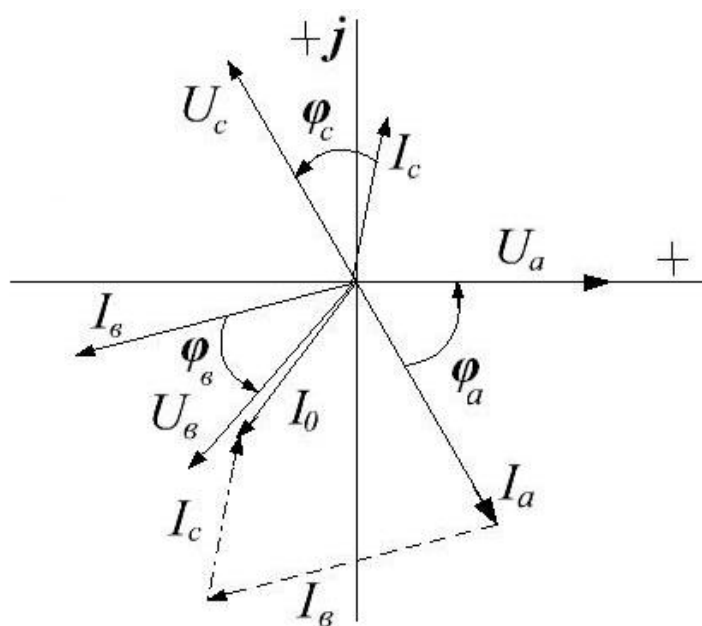


Рис.4. Векторная диаграмма для схемы, изображенной на рис.3

Трансформаторы

Рассматривая физические процессы, возникающие в трансформаторе, необходимо обратить внимание на то, что при изменении нагрузки трансформатора от холостого хода до номинального режима магнитный поток может считаться практически постоянным и равным магнитному потоку в режиме холостого хода. Это в свою очередь определяет постоянство потерь в стали, которые определяются из режима холостого хода.

При рассмотрении режима короткого замыкания получается, что магнитный поток в сердечнике трансформатора настолько мал, что им можно пренебречь. При этом режиме потери в стали трансформатора практически

равны нулю, а потери в меди (в обмотках трансформатора) равны потерям при номинальной нагрузке. Величины токов, напряжений и мощностей, получаемых из опытов холостого хода и короткого замыкания, позволяют определить основные параметры трансформатора.

В паспорте трехфазных трансформаторов приводятся номинальная мощность, номинальные напряжения (линейные напряжения), номинальные токи (линейные токи), мощность потерь.

После изучения настоящего раздела студенты должны:

1) знать основные элементы конструкции трансформатора; выражение коэффициента трансформации; уравнения электрического состояния трансформатора правила включения измерительных приборов для определения напряжения, токов и мощностей;

2) понимать назначение опытов холостого хода и короткого замыкания; сущность приведения параметров вторичной обмотки трансформатора к первичной; различие опыта короткого замыкания и эксплуатационного короткого замыкания; причины изменения напряжения на вторичной обмотке трансформатора;

3) уметь анализировать различные режимы работы трансформатора; понимать паспортные данные трансформатора.

Последовательность расчета трансформаторов Т – образной схемы замещения, внешней характеристики и зависимости коэффициента полезного действия (КПД) от коэффициента загрузки (β).

Для трехфазного трансформатора мощностью $S=180\text{кВА}$, соединение обмоток которого $Y/Y - 0$, известно; номинальное напряжение на зажимах первичной обмотки $U_{1H} = 10000\text{В}$; напряжение холостого хода на зажимах вторичной обмотки $U_{20} = 525\text{В}$; напряжение короткого замыкания $U_K\% = 5,0\%$, мощность короткого замыкания $P_K = 4100\text{ Вт}$, мощность холостого хода $P_0=1200\text{ Вт}$, ток холостого хода $I_0 = 0,07 I_{1H}$.

Определить сопротивления обмоток трансформатора и сопротивления намагничивающего контура. Построить:

1) зависимость напряжения вторичной обмотки U_2 от коэффициента загрузки β ($U_2=f(\beta)$ – внешняя характеристика),

2) зависимость коэффициента полезного действия η от коэффициента загрузки β .

Составить Т-образную схему замещения трансформатора.

Решение

Определяем номинальный ток первичной обмотки:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_{1H}} = \frac{180 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 10,39\text{А}$$

Определяем ток холостого хода и $\cos \varphi_0$:

$$I_0 = 0,07 \cdot I_{1H} = 0,07 \cdot 10,39 = 0,73 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot I_0} = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 10000 \cdot 0,73} = 0,095.$$

Сопротивления короткого замыкания :

$$Z_K = \frac{U_K \%}{100 \cdot I_{1H}} = \frac{5 \cdot 10000}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,39} = 27,78 \text{ Ом},$$

$$R_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_{1H}^2} = \frac{4100}{3 \cdot 10,39^2} = 12,66 \text{ Ом},$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{27,78^2 - 12,66^2} = 24,73 \text{ Ом}.$$

Сопротивления первичной обмотки и приведенных к первичной обмотке сопротивления вторичной обмотки:

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_K}{2} = \frac{12,66}{2} = 6,33 \text{ Ом},$$

$$X_1 = X'_2 = \frac{X_K}{2} = \frac{24,73}{2} = 12,36 \text{ Ом},$$

Сопротивления вторичной обмотки:

$$R_2 = R'_2 / k^2 = 6,33 / 19^2 = 0,017 \text{ Ом},$$

$$X_2 = X'_2 / k^2 = 12,36 / 19^2 = 0,034 \text{ Ом},$$

где $k = U_{1H} / U_{20} = 10000 / 525 = 19$ (коэффициент трансформации)

Сопротивления контура намагничивания

$$Z_0 = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 0,73} = 7908 \text{ Ом},$$

$$R_0 = \frac{P_0}{3 \cdot I_0^2} = \frac{1200}{3 \cdot 0,73^2} = 750 \text{ Ом},$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} = \sqrt{7908^2 - 750^2} = 7872 \text{ Ом}.$$

Для построения внешней характеристики $U_2 = f(\beta)$ определяем потерю напряжения во вторичной обмотке трансформатора:

$$\Delta U_{2\%} = \beta (U_{a\%} \cdot \cos \varphi_2 + U_{p\%} \cdot \sin \varphi_2),$$

где $\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности нагрузки.

$U_{a\%}$, $U_{p\%}$ – активное и реактивное относительные падения напряжений:

$$U_{a\%} = U_{K\%} \cos \varphi_K = 5 \cdot 12,66 / 27,78 = 2,27 \%;$$

$$U_{p\%} = U_{K\%} \sin \varphi_K = 5 \cdot 24,73 / 27,78 = 4,45 \%,$$

$$\text{где } \cos \varphi_K = R_K / Z_K; \sin \varphi_K = X_K / Z_K.$$

Напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора определяется по формуле:

$$U_2 = U_{20} / 100 (100 - \Delta U_{2\%}).$$

Задаваясь различными значениями β , определяем падения напряжения на обмотке трансформатора $\Delta U_{2\%}$ и напряжения на зажимах вторичной обмотки.

Построение зависимости $\eta = f(\beta)$ производится по формуле:

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + P_K \cdot \beta^2}$$

Т-образная схема замещения (эквивалентная схема) показана на рис.5

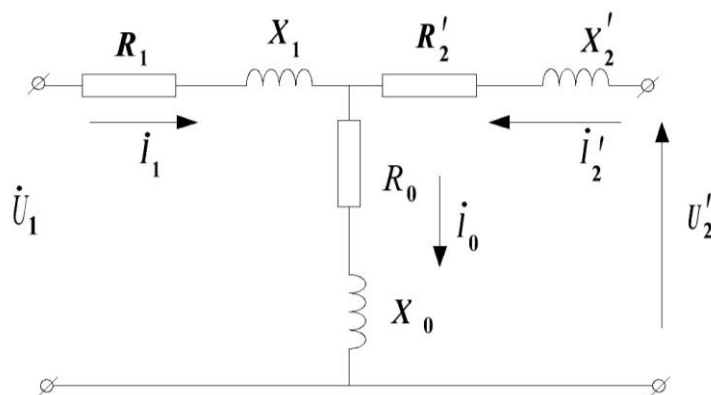


Рис.5 Схема замещения трансформатора

Усилители переменного тока на транзисторах являются одним из самых распространенных полупроводниковых устройств. Усилители подразделяются на усилители тока, предварительные (напряжения) и усилители мощности. Предварительные транзисторные усилители состоят из одного или нескольких каскадов.

Для каскадов предварительного усиления наибольшее применение получили схемы с реостатно-емкостной связью. В зависимости от способа включения транзистора различаются три схемы каскадов:

- с общим эмиттером - ОЭ (рис. 6а);
- с общей базой - ОБ (рис. 6б);
- с общим коллектором - ОК (рис. 6в).

Наиболее распространенным является каскад с ОЭ, так как он обеспечивает усиление тока (коэффициент усиления по току $10 \div 200$) и напряжения (коэффициент усиления по напряжению $30 \div 1000$).

Расчет усилительного каскада можно провести по входным и выходным характеристикам транзистора. На выходных характеристиках строится линия нагрузки, вдоль которой изменяются значения коллекторных токов при изменении значений токов базы. Точка покоя выбирается на нагрузочной прямой в зависимости от режима работы каскада.

Для получения минимальных нелинейных искажений в каскадах напряжения выбирается режим работы класса А. Класс А характеризуется тем, что при подаче входного сигнала рабочая точка не выходит за пределы тех участков входной и выходной характеристик транзистора, где существует пропорциональность между изменениями коллекторного и базового токов.

Температурная стабилизация режима покоя осуществляется введением отрицательной обратной связи по постоянному току на сопротивлении $R_э$. Для того, чтобы включение $R_э$ не снижало коэффициентов усиления по напряжению и току для усиливаемых сигналов переменного тока, резистор $R_э$ шунтируют конденсатором $C_э$ достаточно большой емкости.

Пример расчета усилителя

В задании рассчитывается каскад транзисторного усилителя напряжения низкой частоты с реостатно-емкостной связью. Транзистор включен по схеме с общим эмиттером (рис.6а).

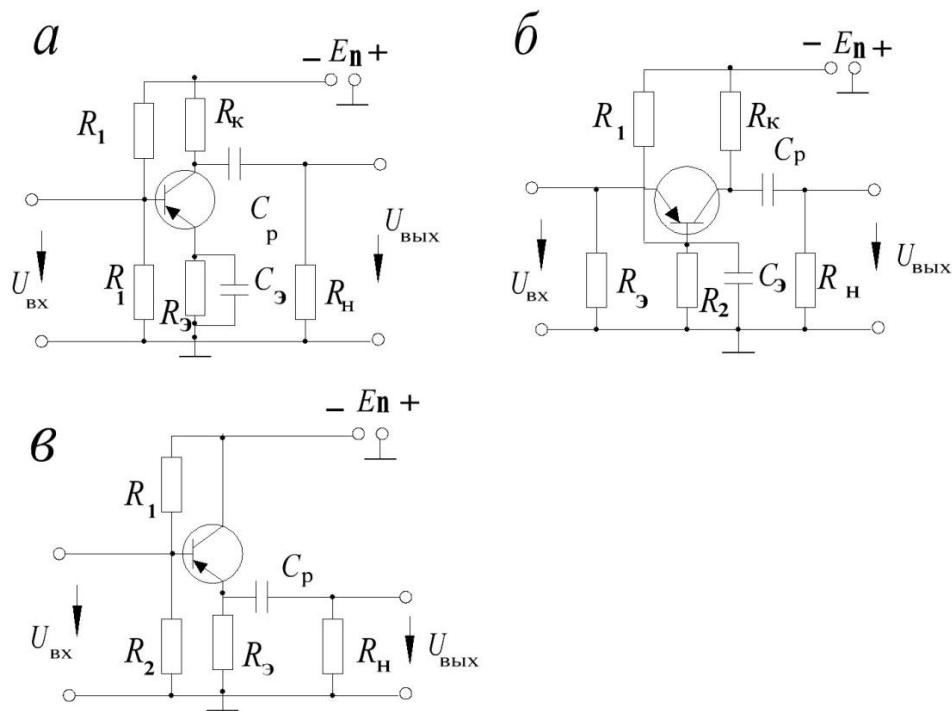


Рис.6 Усилительные каскад с ОЭ (а), ОБ (б), ОК (в)

Исходные данные:

- 1) амплитуды напряжения на выходе каскада $U_{\text{вых м}}$;
- 2) сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$;
- 3) нижняя граничная частота $f_{\text{н}}$;
- 4) напряжение источника питания $E_{\text{п}}$;
- 5) режим работы – А.

Определить:

- 1) тип транзистора;
- 2) коэффициент усиления каскада по напряжению K_U ;
- 3) сопротивление коллекторной нагрузки $R_{\text{к}}$;
- 4) сопротивление R_3 и емкость C_3 в цепи эмиттера;
- 5) сопротивления делителя напряжения R_1 и R_2 ;
- 6) емкость разделительного конденсатора $C_{\text{р}}$.

Порядок выполнения задания

1. Выбор типа транзистора.

Для выбора типа транзистора определяются:

- а) наибольшее допустимое напряжение между коллектором и эмиттером

$$U_{\text{кэ доп}} \geq (1,1-1,3) E_{\text{п}};$$

б) наибольший допустимый ток коллектора

$$I_{K \partial on} > 2 I_{km},$$

где I_{km} – амплитуда переменной составляющей тока коллектора.

$$I_{km} = (5 - 10) U_{вых м} / R_H.$$

По рассчитанным $U_{KЭ \partial on}$ и $I_{K \partial on}$ выбирается тип транзистора (табл. 1).

Таблица 1

Тип транзистора	Коэффициент усиления по току β	Максимально допустимые параметры		
		$I_{K \partial on}$, мА	$U_{KЭ \partial on}$, В	рассеиваемая мощность коллектора P_K , мВт
1	2	3	4	5
МП 20 А	105	45	20	150
МП 20 Б	125			
МП 20 В	60			
МП 20 Г	105			
МП 20 Д	125			
МП 21 В	60		30	
МП 21 Г	60		30	
МП 21 Д	125		35	
МП 21 Е	105		35	
МП 35	13	20	15	150
МП 36 А	15		15	
МП 37, МП 37 А	15		15	
МП 37 Б	25		30	
МП 38	25		15	
МП 38 А	45		15	
МП 39	12	20	15	150
МП 39 Б	20			
МП 40	20			
МП 40 А	20			
МП 41	30			
МП 41 А	50			
МП 42	20	45	15	200
МП 42 А	30			
МП 42 Б	45			

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
ГТ 108 А	20	50	18	75
ГТ 108 Б	35			
ГТ 108 В	60			
ГТ 108 Г	110			
МП 114	9	10	60	150
МП 115	9		30	150
МП 116	15		15	150

Для выбранного типа транзистора выписать значение коэффициента усиления по току и привести семейство входных и выходных характеристик для схемы с ОЭ.

2. Построение нагрузочной прямой.

Для этого на семействе выходных характеристик $I_K = f(U_{KЭ})$ при $I_Б = const$ проводится нагрузочная прямая (рис. 7).

Нагрузочная прямая строится по двум точкам: точка «1» – определяется величиной напряжения питания $E_П$, точка «О» – точка покоя (рабочая), положение которой определяется заданным режимом работы усилителя. В данной схеме координатами точки «О» будет ток покоя $I_{КО} = (1,05 \div 1,2) I_{Кт}$ и напряжение покоя $U_{КЭО} = U_{ВЫХ т} + U_{КЭ ост}$. Для маломощных транзисторов $U_{КЭ ост} = (0,5 \div 1)В$.

По нагрузочной прямой графически определяется минимальное, максимальное и амплитудное значения тока коллектора ($I_{К мин}$, $I_{К макс}$ и $I_{К т}$), соответствующие коллекторным напряжениям, необходимым для получения на выходе $U_{ВЫХ т}$.

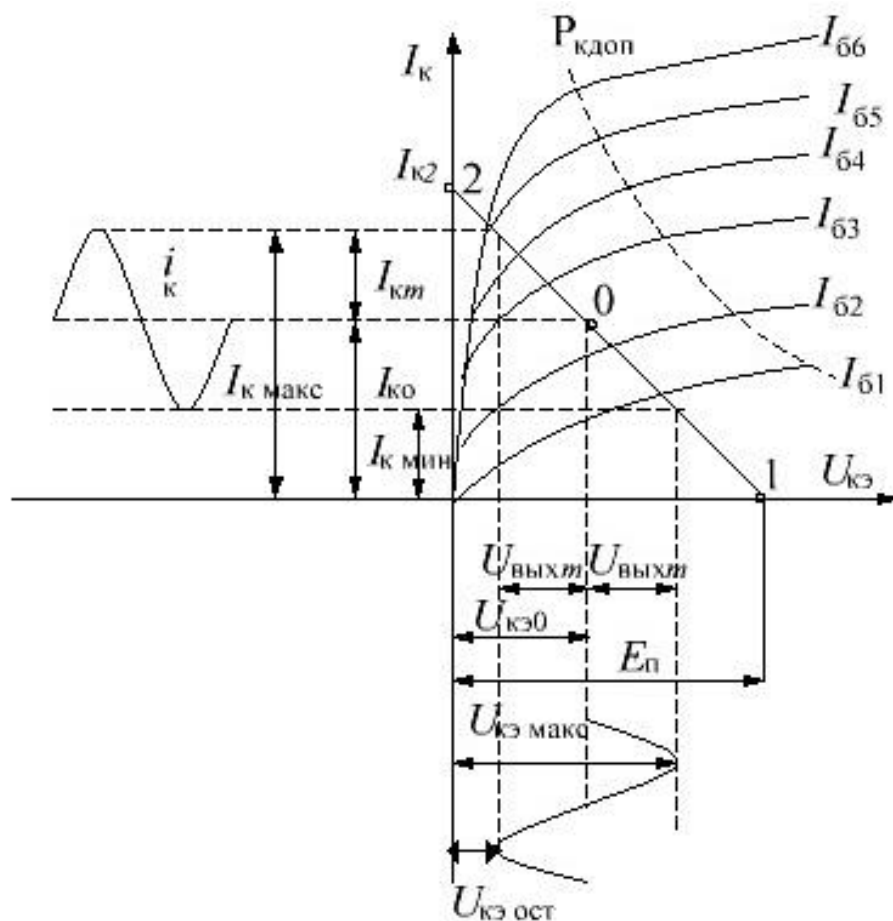
Далее определяются амплитудные значения входного тока $I_{Б т}$ и входного напряжения $U_{Б т}$, необходимые для обеспечения заданного значения $U_{ВЫХ т}$. Амплитудные значения тока $I_{Б т}$, максимальное $I_{Б макс}$ и минимальное $I_{Б мин}$ определяются делением соответствующих значений коллекторных токов ($I_{К т}$, $I_{К макс}$, $I_{К мин}$) на коэффициент усиления по току β выбранного транзистора:

$$I_{Б т} = I_{К т} / \beta$$

$$I_{Б макс} = I_{К макс} / \beta$$

$$I_{Б мин} = I_{К мин} / \beta$$

а)



б)

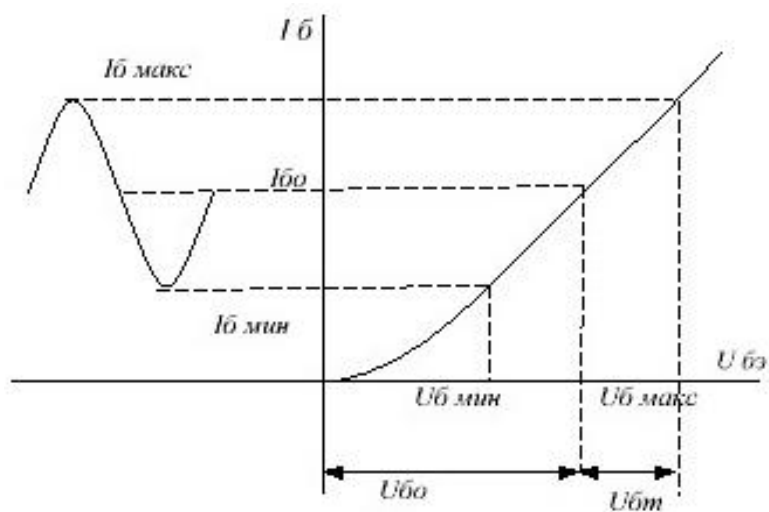


Рис.7 Выходные (а) и входные (б) характеристики транзистора

По входной характеристике транзистора $I_Б = f(U_Б)$ для $U_К = -5$ В (рис. 7б) и найденным значениям $I_Б макс$, $I_Б мин$ и $I_Бт$ определяются $U_Б макс$, $U_Б мин$ и $U_Бт$.

3. Коэффициент усиления каскада по напряжению

$$K_U = U_{\text{вых}m}/U_{\text{бт}}$$

4. Определение величин сопротивлений R_K , R_3 и емкости C_3 .

По выходным характеристикам определяем ток I_{K2} , соответствующий точке пересечения нагрузочной прямой с осью тока коллектора (точка 2). Тогда общее сопротивление в цепи эмиттер-коллектор:

$$R_{об} = E_{п}/I_{K2}.$$

Сопротивление

$$R_K = R_{об}/(1,15 \div 1,25) \quad \text{и} \quad R_3 = R_{об} - R_K.$$

Емкость

$$C_3 \geq \frac{10}{2\pi f_H R_3}.$$

5. Определение сопротивлений делителя напряжения R_1 и R_2 :

$$R_1 = \frac{E_n - U_{б0} - I_{ко}R_3}{I_d + I_{б0}};$$

$$R_2 = \frac{U_{б0} + I_{ко}R_3}{I_d},$$

где $I_d = (2 \div 5) \cdot I_{б0}$ – ток делителя; $I_{б0}$, $U_{б0}$ – ток и напряжение определяемые по входной характеристике в точке покоя (рис.7).

6. Определение емкости разделительного конденсатора C_p :

$$C_p = 1/2\pi f_H (R_K + R_H) \sqrt{M_H^2 - 1},$$

где $M_H = 1,41$ – допустимый коэффициент частотных напряжений в области низких частот.

Усилители постоянного тока и операционные усилители

Усилители постоянного тока (УПТ) предназначены для усиления сигналов, медленно изменяющихся во времени, т.е. сигналов, частота которых приближается к нулю. В таких усилителях связь источника сигнала с входом усилителя и межкаскадные связи не могут быть осуществлены посредством конденсаторов и трансформаторов, поскольку это привело бы к снижению до нуля коэффициента усиления при $f = 0$. Поэтому в УПТ осуществляется непосредственная связь источника входного сигнала с входной цепью усилителя, и аналогичная связь между каскадами, что

приводит к тому, что выходное напряжение определяется не только усиленным полезным сигналом, но и ложным сигналом, создаваемым за счет изменения во времени параметров режимов работы каскадов. Самопроизвольное изменение выходного напряжения УПТ при неизменном напряжении входного сигнала называется дрейфом нуля усилителя. Радикальным средством уменьшения дрейфа нуля является применение балансных каскадов.

Операционные усилители (ОУ) относятся к усилителям постоянного тока с большим коэффициентом усиления. Однако, без дополнительных внешних элементов (резисторов, конденсаторов) во входной цепи и цепи обратной связи ОУ используются крайне редко. Устройства на базе ОУ могут выполнять следующие операции: инвертирование, дифференцирование, интегрирование входного сигнала, суммирование нескольких входных сигналов.

Выпрямительные устройства

Основными элементами выпрямителя являются трансформатор и диоды, с помощью которых обеспечивается одностороннее протекание тока в цепи нагрузки, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее. Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения к выходу выпрямителя подключают электрический сглаживающий фильтр.

В зависимости от числа фаз питающего источника переменного напряжения различают схемы однофазного и трехфазного питания. В зависимости от числа пульсаций за период питающего напряжения в кривой выпрямленного напряжения различают три схемы: с однократными пульсациями (однополупериодный выпрямитель); с двухкратными пульсациями (однофазные схемы с нулевым выводом и мостовая); с трехкратными пульсациями (трехфазная схема с нулевым выходом); с шестикратными пульсациями (трехфазная мостовая).

Основными величинами, характеризующими эксплуатационные свойства выпрямителя, являются: среднее значение выпрямленного напряжения U_d и тока I_d , КПД η , коэффициент пульсаций, представляющий собой отношение амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения $U_{(1)m}$ к его среднему значению U_d :

$$K_{n1} = \frac{U_{(1)m}}{U_d}.$$

В зависимости от схемы выпрямителя коэффициент пульсации составляет: 1,57 - для однополупериодной схемы; 0,67 - для однофазной мостовой схемы; 0,057 - для трехфазной мостовой.

Для выпрямителей средней и большой мощности применяются трехфазные мостовые схемы (рис. 8). Трехфазная мостовая схема содержит трехфазный трансформатор, 6 диодов и нагрузку R_H . Диоды объединены в две группы: анодную (2,4,6) и катодную (1,3,5). В каждый момент времени в схеме работают два диода: один из катодной группы, другой из анодной группы. Из катодной группы ток пропускает диод с наиболее высоким потенциалом анода, из анодной группы – с наиболее низким потенциалом катода.

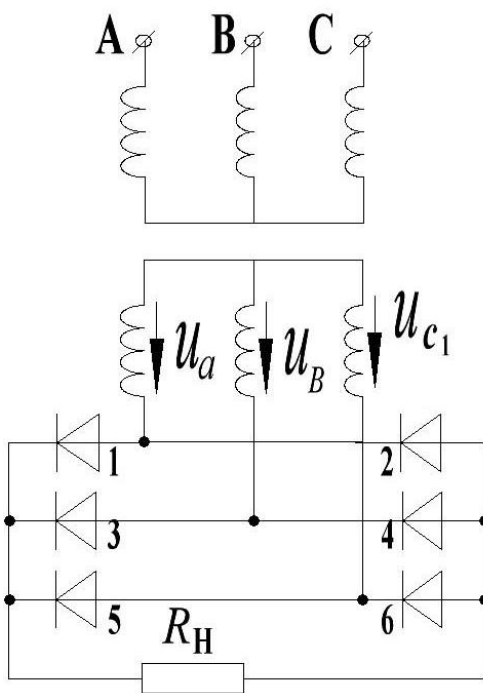


Рис.8 Трехфазный мостовой выпрямитель

На рис. 9 изображены временные диаграммы фазных напряжений вторичной обмотки трансформатора u_a , u_b , $u_c = f(t)$ и график выпрямленного напряжения $u_H = f(t)$, который состоит из участков линейных напряжений вторичных обмоток трансформатора.

Например, в интервал времени $t_1 - t_2$ (рис. 9) ток возникает в цепи диод D_1 – нагрузочный резистор R_H – диод D_4 , так как к этим диодам приложено линейное напряжение u_{ab} , которое в этот интервал времени больше других линейных напряжений. В интервале времени $t_2 - t_3$ открыты диоды D_1, D_6 , так как к ним приложено наибольшее в это время линейное напряжение u_{ac} , и т.д. нетрудно видеть, что во все интервалы времени токи в нагрузочном резисторе R_H имеют одно и то же направление.

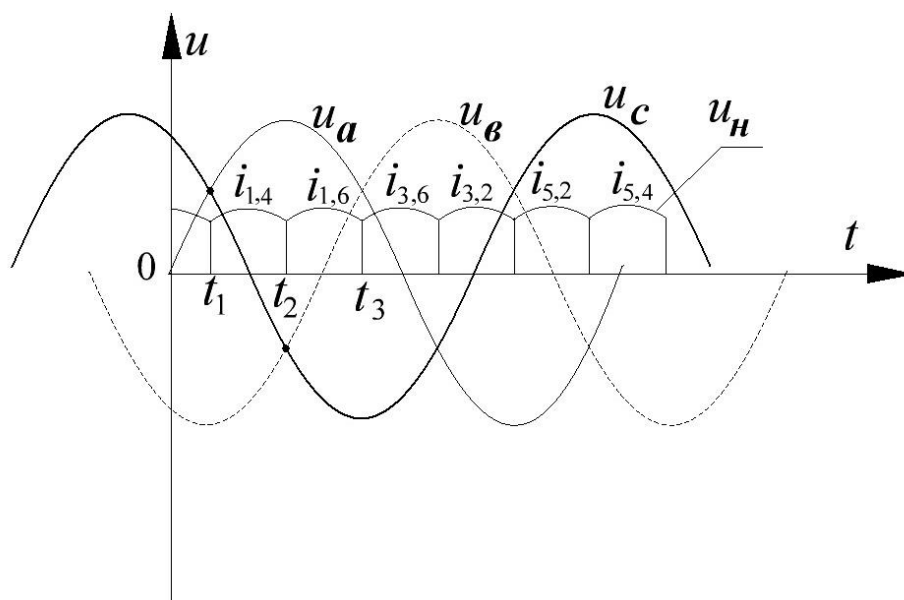


Рис.9. Временная диаграмма напряжений и токов

Пример расчета трехфазного мостового выпрямителя

Исходные данные:

Среднее значение выпрямленного напряжения $U_H (U_d)$;

среднее значение выпрямленного тока $I_H (I_d)$;

действующее значение первичного напряжения U_1 ;

частота питающего напряжения 50 Гц.

Изобразить схему выпрямителя и график временных диаграмм токов и напряжений при работе выпрямителя на активную нагрузку.

Определить: тип диодов, мощность трансформатора.

Выбор выпрямительных диодов

Для выбора диодов определяется среднее значение выпрямленного тока, протекающего через диод, $I_d = 0,33 I_H$ и максимальное значение обратного напряжения на вентиле $U_{обр макс} = 1,045 U_H$

По I_d и $U_{обр макс}$ выбирается диод из табл. 2. Если обратное напряжение выбранного диода меньше расчетного $U_{обр макс}$, то следует выбирать несколько последовательно включенных диодов так, чтобы сумма их обратных напряжений была больше $U_{обр макс}$.

Таблица 2

Тип диода	Средний выпрямленный ток, А	Обратное напряжение (амплитудное значение), В
Д 226 Б	0,3	300
Д 226 В		200
Д 226 Г		150
Д 226 Д		70
Д 229 В	0,4	100
Д 229 Д		200
Д 229 Д		300
Д 229 Е		400
Д 229 Ж	0,7	100
Д 229 И		200
Д 229 К		300
Д 229 Л		400
Д 242	10	100
Д 242 А	10	
Д 242 Б	5	
Д 243	10	200
Д 243 А	10	
Д 243 Б	5	
Д 245	10	300
Д 245 А	10	
Д 245 Б	5	
Д 246	10	400
Д 246 А	10	
Д 246 Б	5	
Д 247	10	500
Д 247 Б	5	
Д 248 Б	5	600

Расчет мощности трансформатора

Действующее значение ЭДС вторичной обмотки трансформатора

$$E_2 = 0,427 U_H.$$

Коэффициент трансформации трансформатора

$$n = \frac{E_2}{U_1}.$$

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора

$$I_2 = 0,317 I_H.$$

Действующее значение тока первичной обмотки трансформатора

$$I_1 = 0,317n I_H.$$

Расчетная мощность трансформатора

$$S_T = 1,05 U_H \cdot I_H(\text{ВА}).$$

Импульсные устройства

При изучении раздела программы «Импульсные устройства» особое внимание следует уделить рассмотрению широко распространенных в импульсной технике мультивибраторов и триггеров, на базе которых строятся основные узлы вычислительной, измерительной и преобразовательной техники.

Мультивибраторы относятся к числу релаксационных импульсных генераторов, у которых быстрые процессы изменения состояния схемы чередуются с относительно медленными процессами разряда и заряда конденсаторов (конденсатора), в течение которых схема остается в квазиравновесии. Условия этого равновесия нарушаются лишь на определенном этапе разряда конденсатора, при этом происходит новый скачок состояния схемы. В отличие от мультивибратора триггер переходит из одного состояния в другое скачком только при подаче внешних импульсов управления.

Машины постоянного тока

После изучения данного раздела студент должен иметь четкое представление об устройстве, принципе действия и области применения машин постоянного тока; понимать назначения основных конструктивных элементов; знать особенности работы в генераторном и двигательном режимах; уметь анализировать характеристики генераторов, механические

характеристики двигателей; проводить сравнительный анализ способов регулирования скорости двигателей с независимым и последовательным возбуждением; знать назначение и отличия пусковых и регулировочных сопротивлений. Уметь рассчитывать параметры двигателей постоянного тока.

Пример расчета параметров двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

Двигатель параллельного возбуждения, присоединенный к сети с напряжением $U_n = 220$ В, потребляет при номинальной нагрузке ток $I_n = 15$ А, а при холостом ходе – $I_0 = 1,8$ А. Сопротивление обмотки якоря $R_{я} = 0,82$ Ом, а сопротивление обмотки возбуждения $R_{в} = 200$ Ом. Номинальная скорость вращения $n_n = 1350$ об/мин.

Определить номинальную мощность на валу двигателя, номинальный КПД, номинальный момент, пусковой ток $I_{п}$ при пуске двигателя без реостата, сопротивление пускового реостата R_p при условии $I_{пр} = 2,5 I_n$, пусковой момент при пуске с реостатом. При расчетах принять, что магнитные и механические потери не зависят от нагрузки.

Номинальная мощность на валу двигателя $P_{2н} = P_{1н} - \sum \Delta P$,
где $\sum \Delta P$ – потери в двигателе; $P_{1н}$ – потребляемая мощность;

$$P_{1н} = U_n \cdot I_n = 220 \cdot 15 = 3300 \text{ Вт} = 3,3 \text{ кВт}.$$

Для определения потерь в цепи якоря и цепи возбуждения надо знать ток якоря $I_{ян}$ и ток возбуждения $I_{в}$:

$$I_{в} = \frac{U_n}{R_{в}} = \frac{220}{200} = 1,1 \text{ А},$$

$$I_{ян} = I_n - I_{в} = 15,0 - 1,1 = 13,9 \text{ А}.$$

Потери в обмотке якоря в номинальном режиме и в цепи возбуждения:

$$\Delta P_{ян} = I_{ян}^2 R_{я} = 13,9^2 \cdot 0,82 = 158,43 \text{ Вт},$$

$$\Delta P_{в} = I_{в}^2 R_{в} = 1,1^2 \cdot 200 = 242 \text{ Вт}.$$

Магнитные и механические потери

$$\Delta P_{м} = P_0 - \Delta P_{я0} - \Delta P_{в},$$

где $P_0 = U_H \cdot I_0 = 220 \cdot 1,5 = 330$ Вт ; $\Delta P_{я0}$ - потери в цепи якоря при холостом ходе:

$$\Delta P_{я0} = (I_0 - I_B)^2 \cdot R_{я} = (1,5 - 1,1)^2 \cdot 0,82 = 0,13 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_M = 330 - 0,13 - 242 = 87,87 \text{ Вт}.$$

Суммарные потери в двигателе в номинальном режиме

$$\sum \Delta P_H = 158,43 + 242 + 87,87 = 488,3 \text{ Вт}.$$

Номинальная мощность на валу двигателя

$$P_{2H} = 3300 - 488,3 = 2811,7 \text{ Вт} \approx 2,8 \text{ кВт}.$$

Номинальный КПД

$$\eta_H = \frac{P_{2H}}{P_{1H}} = \frac{2,8}{3,3} = 0,844.$$

Номинальный вращающий момент

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_{2H}}{n_H} = 9550 \cdot \frac{2,8}{1350} = 19,8 \text{ Нм}.$$

Пусковой ток двигателя при пуске без реостата

$$I_{п} = \frac{U_H}{R_{я}} = \frac{220}{0,82} = 258,3 \text{ А}.$$

Сопротивление пускового реостата определяется из равенства

$$I_{пр} = 2,5 \cdot I_{яH} = \frac{U_H}{R_{я} + R_p}, \text{ из чего}$$

$$R_p = \frac{U_H}{2,5 I_{яH}} - R_{я} = \frac{220}{(2,5 \cdot 13,9)} - 0,82 = 5,51 \text{ Ом}.$$

Вращающий момент двигателя определяется уравнением:

$$M = C_M \Phi I_{я},$$

где C_M – конструктивная постоянная,

Φ – магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения. Полагая магнитный поток неизменным, пусковой момент двигателя при включении в цепь якоря дополнительного сопротивления определяется по формуле:

$$M_{\Pi} = M_H \cdot \frac{I_{\Pi}}{I_{ян}} = 19,8 \cdot 2,5 = 49,5 \text{ Нм}.$$

Асинхронные машины

Данный раздел посвящен изучению устройства трехфазной асинхронной машины, особенностей ее работы в различных режимах и области ее применения, после изучения изложенного в этом разделе материала необходимо знать условия возникновения вращающегося магнитного поля, электромагнитного момента асинхронного двигателя; вид механических характеристик; способы пуска, регулирование частоты вращения и реверса двигателей.

Эксплуатационные свойства асинхронного двигателя наглядно демонстрируются его механической характеристикой, которая может быть построена по данным каталога и рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{2M_K}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}},$$

где M_K – критический (максимальный) момент двигателя;

S_K – скольжение при котором двигатель развивает критический момент.

Зная отношение критического момента к номинальному $M_K/M_H = \lambda$, и определив номинальный момент как

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_{2H}}{n_H},$$

где P_{2H} – номинальная мощность двигателя, n_H номинальная частота вращения ротора, можно получить выражение для S_K

$$S_K = S_H \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}).$$

Зная M_K и S_K и задаваясь значениями S в пределах от 0 до 1, легко построить механическую характеристику $n = f(M)$, помня, что $n = n_0(1-S)$, где $n_0 = \frac{60f}{p}$ – скорость вращающегося магнитного поля, об/мин.; f – частота питающей сети; p – число пар полюсов машины.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

Цепи постоянного тока и методы их исследования .

1. Какое соединение называется последовательным, параллельным и смешанным.
2. Сформулируйте законы Кирхгофа и запишите их выражения.
3. Изложите сущность метода расчета сложных электрических цепей с использованием законов Кирхгофа.
4. Изложите сущность расчета сложных электрических цепей методом контурных токов.
5. В чем заключается преимущество расчета методом контурных токов по сравнению с методом непосредственного применения законов Кирхгофа.

Электрические цепи синусоидального тока.

1. Сформулируйте определения мгновенного, амплитудного, среднего и действующего значения синусоидальных величин.
2. Что называется периодом, частотой, угловой частотой, начальной фазой и сдвигом фаз?
3. Сформулируйте законы Кирхгофа и запишите их выражения для цепей переменного тока.
4. Изложите сущность расчета электрических цепей символическим (комплексным) методом.
5. Напишите выражение для мгновенного значения тока в цепи, состоящей из соединенных последовательно элементов R и L , если к зажимам цепи приложено напряжение $U = U_m \cdot \sin \omega t$.
6. Напишите выражение для активной, реактивной и полной мощности цепи переменного тока.
7. Сформулируйте условия возникновения резонансов в электрических цепях переменного тока.
8. От чего зависит коэффициент мощности ($\cos \varphi$) и для чего стремятся его повысить?
9. Что такое векторная диаграмма? Каков порядок ее построения?

Трехфазные цепи переменного тока.

1. В чем состоит преимущество трехфазной системы перед однофазной?
2. Напишите выражения для активной, реактивной и полной мощности трехфазной системы.

3. Начертите схему включения электрических приемников, соединенных в треугольник, и укажите на ней измерительные приборы для измерения линейных и фазных токов и напряжений.

4. Начертите схему включения трех электрических приемников, соединенных в звезду, и укажите на ней измерительные приборы для измерения линейных и фазных токов и напряжений.

5. Укажите соотношения для симметричной нагрузки между фазными и линейными значениями напряжений и токов при соединении электрических приемников звездой и треугольником?

Трансформаторы.

1. Назначение и принцип работы трансформатора.

2. Почему обмотки высшего и низшего напряжения размещаются на общем магнитопроводе?

3. Начертите векторную диаграмму трансформатора в режиме холостого хода.

4. Как проводится опыт короткого замыкания трансформатора?

5. Какие потери в трансформаторе являются постоянными, а какие переменными?

6. Как устроен трехфазный трансформатор?

7. Каковы преимущества и недостатки автотрансформаторов?

Полупроводниковые приборы и устройства.

1. Что такое собственный, электронный и дырочный типы электропроводимости полупроводников с точки зрения структуры вещества и зонной теории?

2. Какие контактные явления происходят в p-n переходах? Что такое контактная разность потенциалов?

3. Чем обусловлены выпрямительные свойства p-n перехода?

4. Какова структура плоскостного биполярного транзистора? Какие напряжения подаются на его p-n переходы в разных режимах работы?

5. Приведите классификацию усилителей по различным признакам. Назовите основные параметры и характеристики усилителей. Начертите амплитудную и частотную характеристики усилителя.

6. Какие схемы включения транзисторов применяются в усилителях? Какие межкаскадные связи используются в усилителях?

7. Начертите схему усилителя переменного напряжения на транзисторе, включенного по схеме с общим эмиттером, с температурной

стабилизацией. Укажите назначение всех элементов схемы.

8. Поясните принцип работы усилителя при подаче на его вход синусоидального напряжения небольшой амплитуды. Как выбирается рабочая точка усилителя.

9. Начертите схему балансного УПТ на транзисторах. Поясните, почему она обладает уменьшенным дрейфом нуля.

10. Что называется операционным усилителем? Какие устройства реализуются на базе операционных усилителей.

11. Начертите мостовые схемы однофазного и трехфазного выпрямителей. Объясните работу схем.

12. Начертите временные графики изменения напряжений и токов в трехфазном мостовом выпрямителе.

13. Начертите схему и объясните принцип работы мультивибратора.

14. Начертите схему и объясните принцип работы триггера.

Машины постоянного тока.

1. Объясните устройство машин постоянного тока.

2. Объясните работу машин постоянного тока в режиме генератора и двигателя.

3. От каких величин зависит ЭДС обмотки якоря?

4. От каких величин зависит электромагнитный момент двигателя постоянного тока?

5. Напишите уравнения электрического состояния для генератора и двигателя.

6. Какие существуют способы регулирования скорости вращения двигателей постоянного тока?

7. Сопоставьте способы регулирования скорости вращения двигателя и дайте их оценку.

Асинхронные машины.

1. Объясните принцип работы асинхронного двигателя.

2. Как образуется вращающееся магнитное поле?

3. От каких величин зависит вращающий момент асинхронного двигателя?

4. Какая часть кривой $n = f(M)$ соответствует устойчивой работе двигателя и какая – неустойчивой?

5. Перечислите способы пуска асинхронного двигателя.

6. Перечислите возможные способы регулирования скорости

вращения асинхронного двигателя.

7. Почему при введении реостата в цепь ротора асинхронного двигателя с фазным ротором пусковой ток уменьшается, а пусковой момент увеличивается?

8. Какие зависимости называются рабочими характеристиками асинхронного двигателя?

9. Поясните диаграмму преобразования энергии в асинхронном двигателе?

Синхронные машины.

1. Объясните устройство синхронной машины.
2. Как осуществляется пуск синхронного двигателя?
3. Как изменить режим работы синхронной машины?
4. При каких условиях синхронный двигатель работает в качестве синхронного компенсатора?

5. Как сохранить запас устойчивости при возросшем тормозном моменте?

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Прежде чем приступить к выполнению контрольной работы, нужно ознакомиться с помещенными ниже указаниями. Несоблюдение этих указаний может стать причиной того, что представленная работа не будет зачтена или даже не будет принята к рецензированию. Общие требования, предъявляемые к оформлению контрольной работы:

1. Каждая работа выполняется в отдельной тетради, на обложке которой должны быть написаны: фамилия, имя, и отчество студента, домашний адрес, номер учебного шифра, номер контрольной работы.

2. На каждой странице должны быть оставлены поля шириной не менее 3 см для замечаний рецензента.

3. Текст, формулы и числовые выкладки должны быть написаны четко и аккуратно.

4. Схемы и графики должны быть выполнены с помощью чертежных инструментов.

5. Электрические схемы должны вычерчиваться с соблюдением установленных графических обозначений элементов схем.

6. Графики должны быть вычерчены на миллиметровой или клеточной бумаге. На координатных осях должны быть построены шкалы; отметки на них должны быть равномерными и выражаться числами вида $1 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$ или $5 \cdot 10^n$ (n – любое целое число или нуль).

7. В конце контрольной работы нужно поставить дату выполнения и подпись.

8. Если контрольная работа не зачтена, то все необходимые поправки должны быть сделаны в той же тетради после подписи рецензента. Нельзя вносить какие-либо исправления в текст или графики, уже просмотренные рецензентом.

Контрольная работа 1

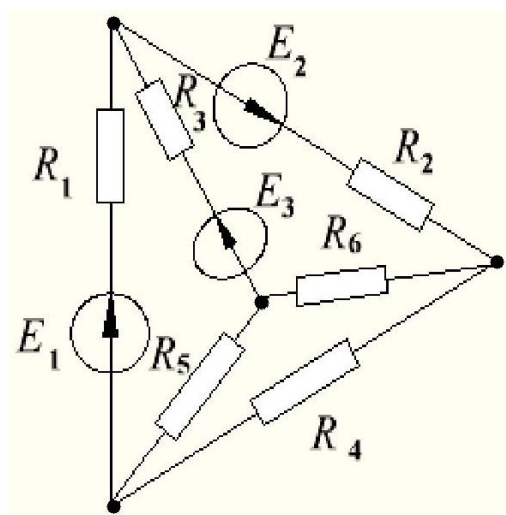
Задача 1. Для электрической схемы, изображенной на рис.10-19, по заданным в табл. 3 сопротивлениям и ЭДС:

- 1) составить систему уравнений, необходимых для определения токов по первому и второму законам Кирхгофа;
- 2) найти все токи, пользуясь методом контурных токов.

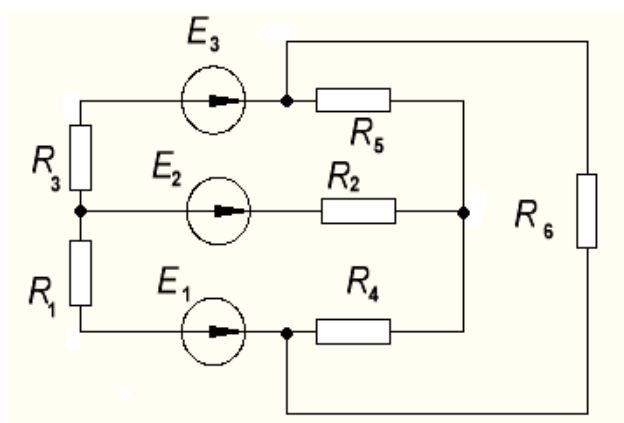
Таблица 3

Вариант	Рис.	E_1	E_2	E_3	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
-	-	B	B	B	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
0	10	22	24	10	2,2	1,0	9,2	4,0	10,0	6,0
1	11	55	18	4	8,8	4,0	3,8	2,0	4,0	4,0
2	12	36	10	25	4,0	8,4	3,5	1,0	2,0	7,0
3	13	16	5	32	9,0	3,6	2,8	4,0	1,0	5,0
4	14	14	25	28	5,9	3,2	8,0	2,0	2,0	6,0
5	15	5	16	30	6,4	4,0	3,7	2,0	5,0	3,0
6	16	10	6	24	4,3	5,3	6,0	6,0	3,0	1,0
7	17	6	20	4	4,0	6,8	5,2	4,0	3,0	3,0
8	18	21	4	10	5,0	7,2	2,6	8,0	1,0	1,0
9	19	4	9	18	3,5	10,0	4,7	8,0	10,0	2,0

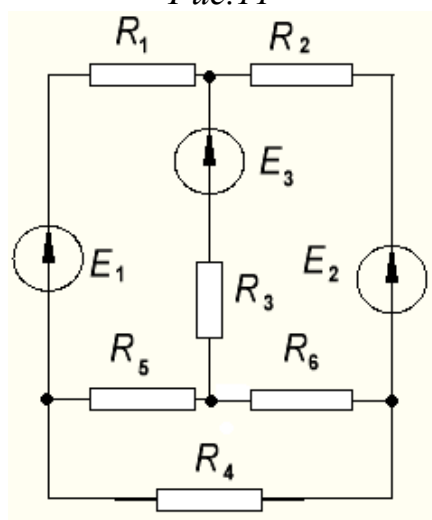
Схемы для расчета токов (рис.10-19)



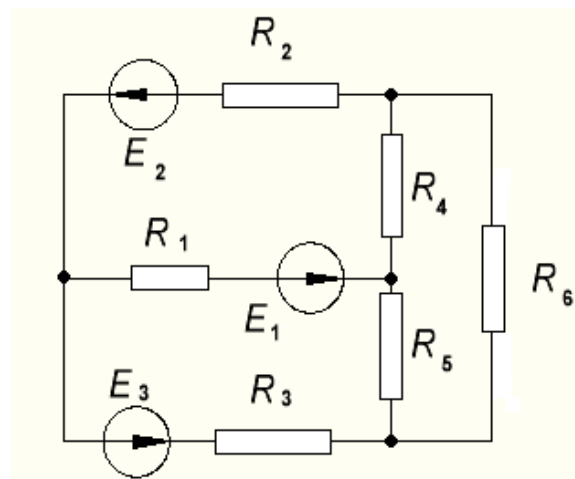
Puc.10



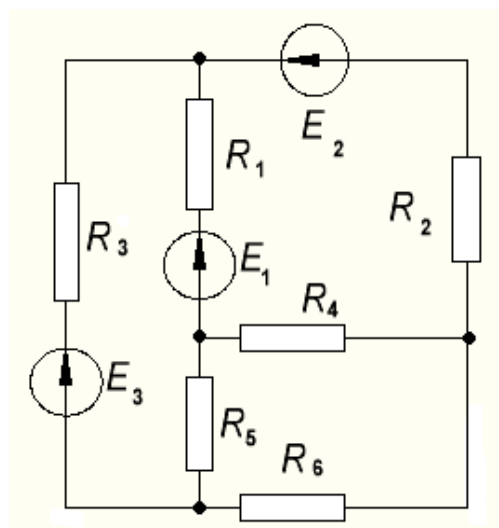
Puc.11



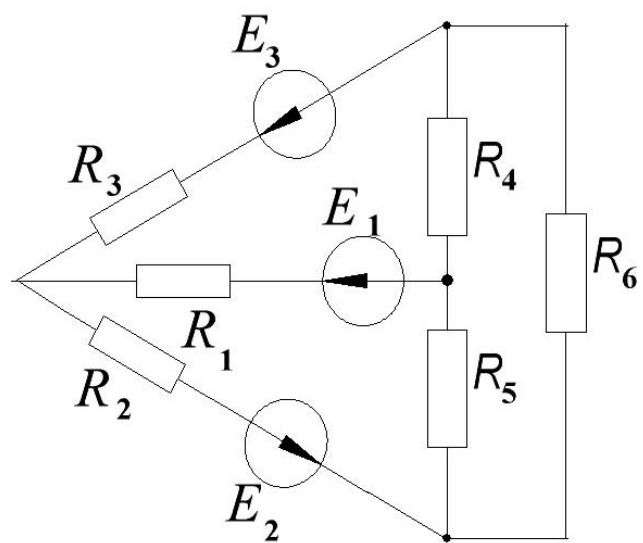
Puc.12



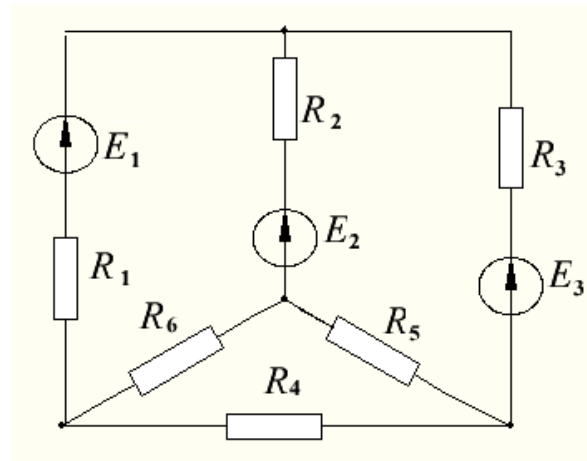
Puc.13



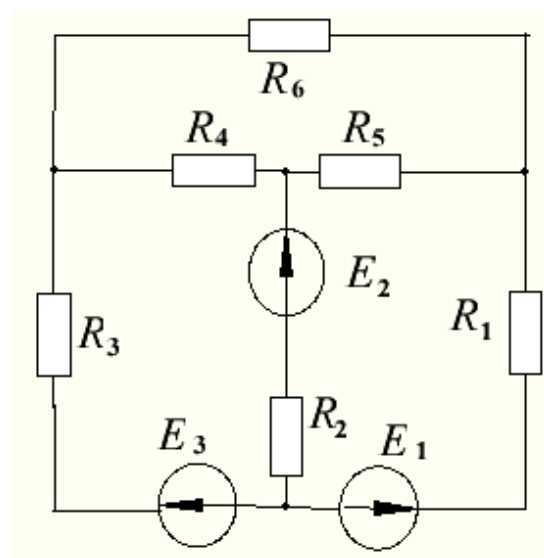
Puc.14



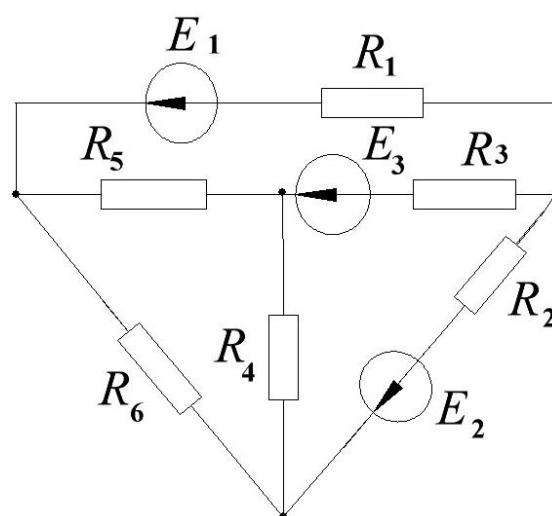
Puc.15



Puc.16



Puc.17



Puc.18

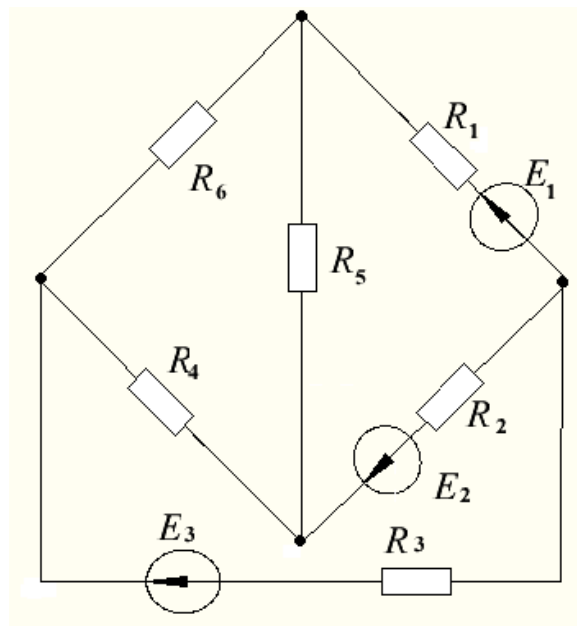


Рис.19

Задача 2

Для электрической схемы, изображенной на рис.20-23, по заданным в табл.4 параметрам и линейному напряжению определить фазные токи, активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно, построить векторную диаграмму и графически определить ток в нейтральном проводе.

Таблица 4

Вариант	Рис.	U_{Δ} В	R_a Ом	X_a Ом	R_b Ом	X_b Ом	R_c Ом	X_c Ом
0	20	200	4	-3	3	-4	6	8
1	20	380	6	-8	4	-3	8	6
2	20	660	8	-6	3	-3	4	3
3	21	220	1,5	2	8	6	3	4
4	21	300	3	4	4,5	6	4	3
5	21	660	9	12	8	6	1,5	2
6	22	220	1,5	-2	2	1,5	3	4
7	22	380	4	-3	3	4	6	4,5
8	22	660	4,5	-6	12	9	8	6
9	23	380	10	-	-	5	-	-20

Схемы для расчета трехфазных цепей (рис.20 – 23).

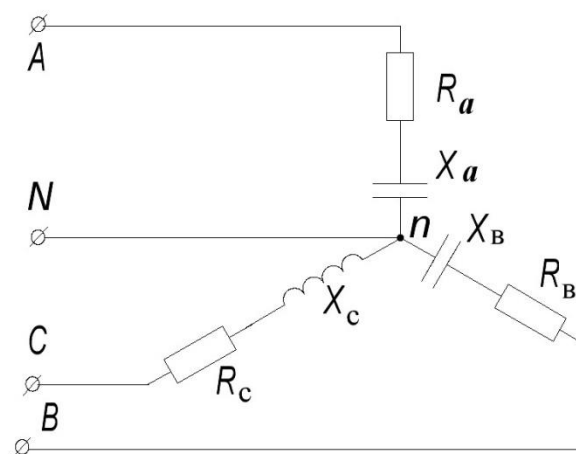


Рис.20

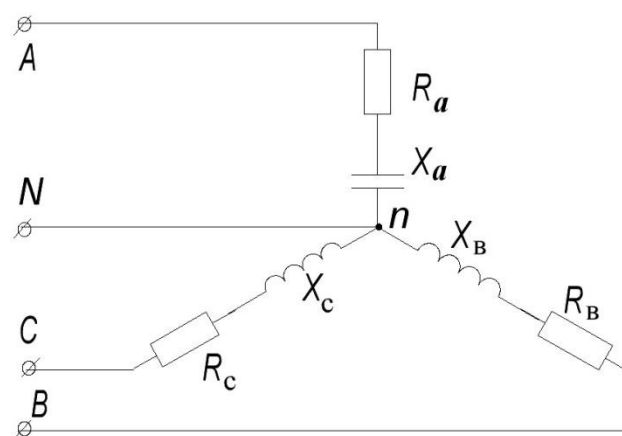


Рис.21

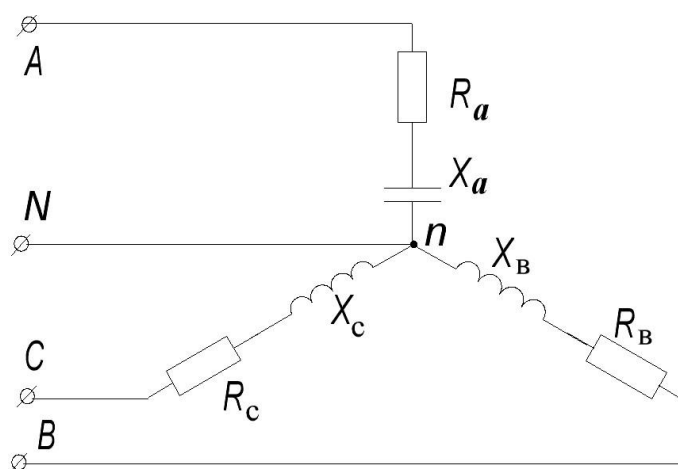


Рис.22

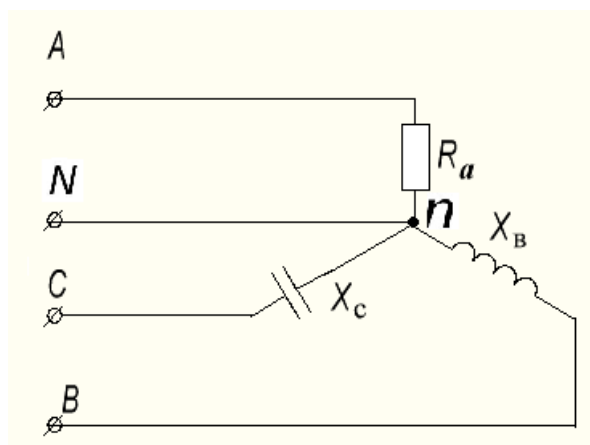


Рис.23

Контрольная работа 2

Задача 1

Для трехфазного трансформатора, номинальные данные которого приведены в табл.5, определить коэффициент мощности в режиме холостого хода, сопротивления первичной и вторичной обмоток R_1 , X_1 , R_2 , X_2 и сопротивление намагничивающего контура Z_0 , R_0 , X_0 . Построить внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(\beta)$ и зависимость КПД от коэффициента загрузки $\eta = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 0,75$. Начертить эквивалентную схему трансформатора. Схема соединения обмотки трансформатора - Y/Y - 0.

Таблица 5

Вариант	S	U_{1H}	U_{20}	U_K	P_K	P_0	I_0
-	кВА	В	В	%	Вт	Вт	%
0	10	6300	400	5,0	335	105	10,0
1	30	10000	400	5,0	850	300	9,0
2	50	10000	400	5,0	1350	440	8,0
3	75	10000	230	5,0	1850	590	7,5
4	100	10000	525	5,0	2400	730	7,5
5	240	10000	525	5,0	5100	1600	7,0
6	420	10000	230	5,0	700	2100	6,5
7	25	5000	230	4,5	600	125	3,0
8	25	10000	230	4,7	690	125	3,0
9	40	10000	230	4,5	680	180	3,0

Задача 2

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, номинальная мощность которого P_n , включен в сеть под номинальное напряжение U_n с частотой $f = 50$ Гц. Определить : номинальный I_n и пусковой I_p токи, номинальный M_n , пусковой M_p при $S = 1$ и максимальный M_k моменты, полные потери в двигателе при номинальной нагрузке ΔP_n . Построить механическую характеристику двигателя $n = f(M)$.

Как изменится пусковой момент двигателя при снижении напряжения на его зажимах на 15% и возможен ли пуск двигателя при этих условиях с номинальной нагрузкой? Данные для расчета приведены в табл.6.

Таблица 6

Вариант	U_n	P_n	S_n	η_n	$\cos \varphi_n$	р (число пар полюсов)	$M_k/M_n = \lambda$	$\frac{I_p}{I_n}$
	В	кВт	%	%	-	-	-	-
0	220	4,0	2,0	85,5	0,89	1	2,2	7,0
1	220	7,5	3,5	87,0	0,89	1	2,2	7,0
2	220	13,0	3,5	88,0	0,89	1	2,2	7,0
3	220	40,0	3,0	89,0	0,91	1	2,2	7,0
4	220	75,0	3,0	90,0	0,92	1	2,2	7,0
5	380	10,0	3,0	88,0	0,87	2	2,0	7,0
6	380	17,0	3,0	89,0	0,89	2	2,0	7,0
7	380	22,0	3,0	90,0	0,90	2	2,0	7,0
8	380	30,0	3,0	91,0	0,91	2	2,0	7,0
9	380	55,0	3,0	92,0	0,92	2	2,0	7,0

Задача 3

Двигатель параллельного возбуждения, присоединенный к сети с напряжением U_n , потребляет при номинальной нагрузке ток I_n , а при холостом ходе – I_0 . Сопротивление обмотки якоря $R_{я}$, сопротивление обмотки возбуждения R_b , номинальная скорость вращения n_n .

Определить номинальную мощность на валу двигателя, номинальный КПД, номинальный вращающий момент, пусковой ток при пуске двигателя без пускового реостата, сопротивление реостата при $I_n = 2,5 I_n$ и пусковой момент при пуске двигателя с реостатом. При решении принять, что

механические и магнитные потери не зависят от нагрузки и скорости вращения. Данные двигателя приведены в табл.7.

Таблица 7

Вариант	U_H	I_H	I_0	$R_{я}$	$R_{я}$	n_H
	В	А	А	Ом	Ом	об/мин
0	220	15	1,6	1,2	180	1025
1	110	100	9,5	0,11	50	1000
2	220	16,3	1,78	1,16	75	1025
3	220	19,8	2,0	1,5	150	960
4	220	32	2,8	0,94	120	1600
5	220	40	4,2	0,52	190	1420
6	220	32	3,5	0,62	200	1350
7	220	60	6,8	0,40	130	935
8	220	50	5,7	0,40	150	1340
9	220	102	9,5	0,12	110	750

Контрольная работа 3

Задача 1

Рассчитать каскад транзисторного усилителя напряжения, принципиальная схема которого изображена на рис.6а. Исходные данные приведены в табл. 8. Семейство входных и выходных характеристик транзисторов показано на рис.24-29.

Таблица 8

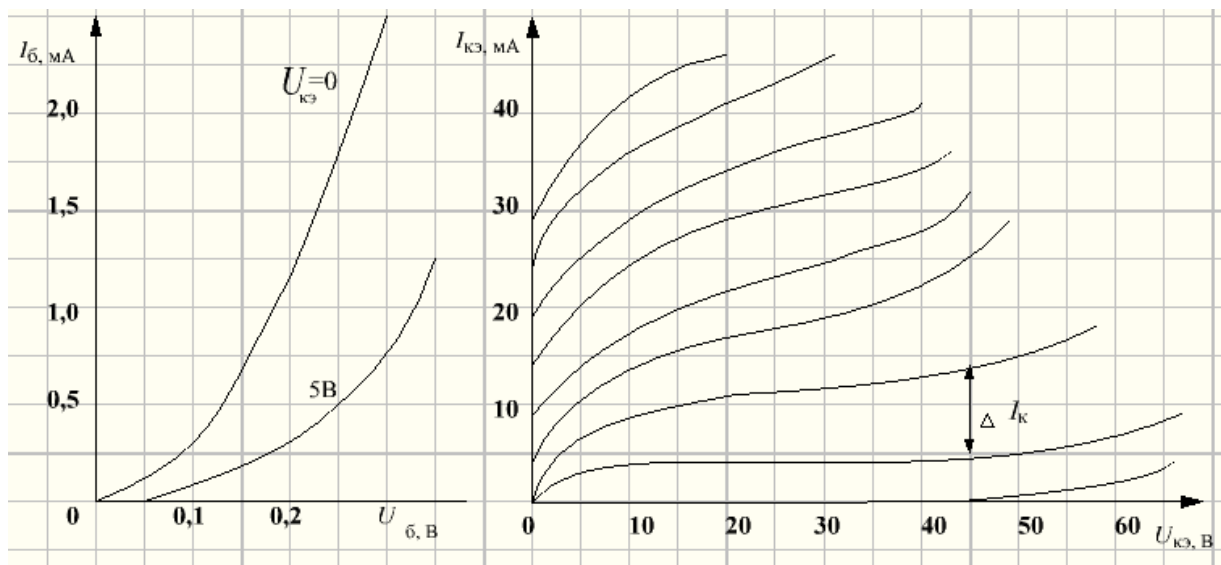
Вариант	$U_{\text{вых м}}$	R_H	f_H	E_H
	В	Ом	Гц	В
0	4	6000	150	15
1	3	5500	120	12
2	8	5000	90	30
3	2	3500	200	10
4	3	1500	180	12
5	7	3000	130	25
6	5	3500	100	16
7	10	10000	170	40
8	4	5000	90	20
9	5	6500	140	20

Задача 2

Рассчитать трехфазный мостовой выпрямитель, схема которого показана на рис.8. Исходные данные для расчета указаны в табл. 9.

Таблица 9

Вариант	U_H В	I_H А	U_1 В	f Гц
0	160	0,8	380	50
1	250	1	380	50
2	80	2	220	50
3	70	20	220	50
4	150	12	380	50
5	240	0,75	380	50
6	80	1,1	220	50
7	270	1,8	380	50
8	200	82,2	380	50
9	220	8	380	50

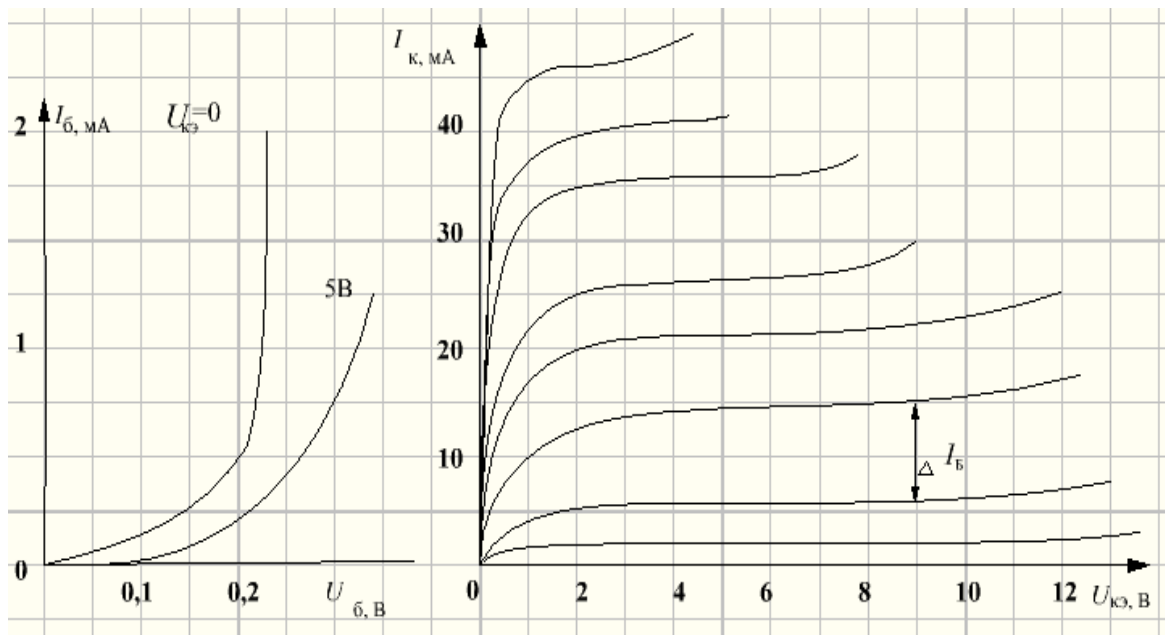


МП 20А, МП 20Г, МП 21Е - $\Delta I_6 = 50$ мкА

МП 20Б, МП 20Д, МП 21Д - $\Delta I_6 = 40$ мкА

МП 20В, МП 21Д - $\Delta I_6 = 100$ мкА

Рис. 24

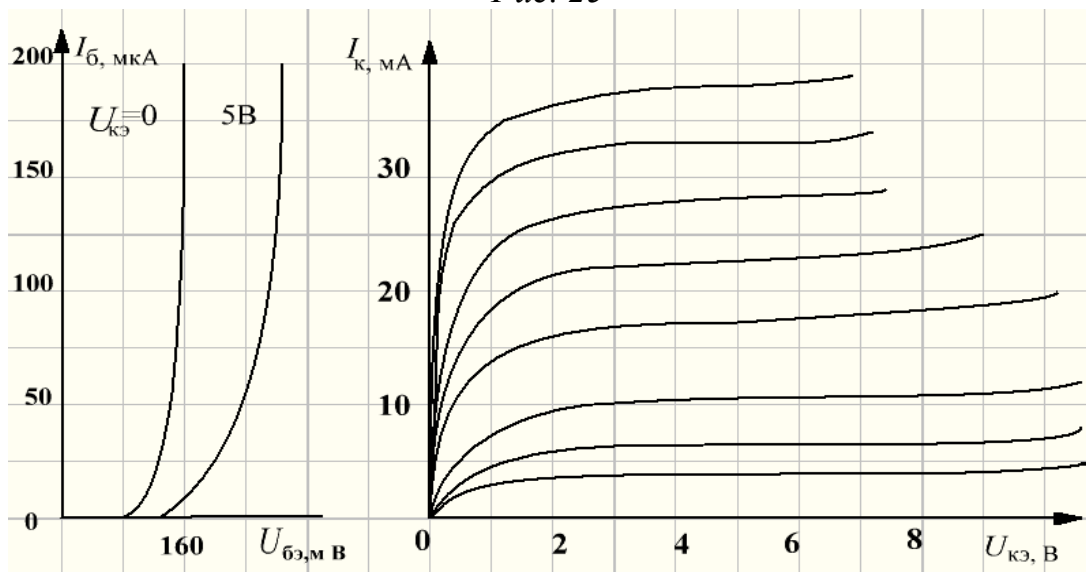


МП 39 - $\Delta I_{\text{г}} = 400 \text{ мкА}$;

МП 39Б, МП 40А, МП 41 - $\Delta I_{\text{г}} = 200 \text{ мкА}$;

МП 41А - $\Delta I_{\text{г}} = 100 \text{ мкА}$

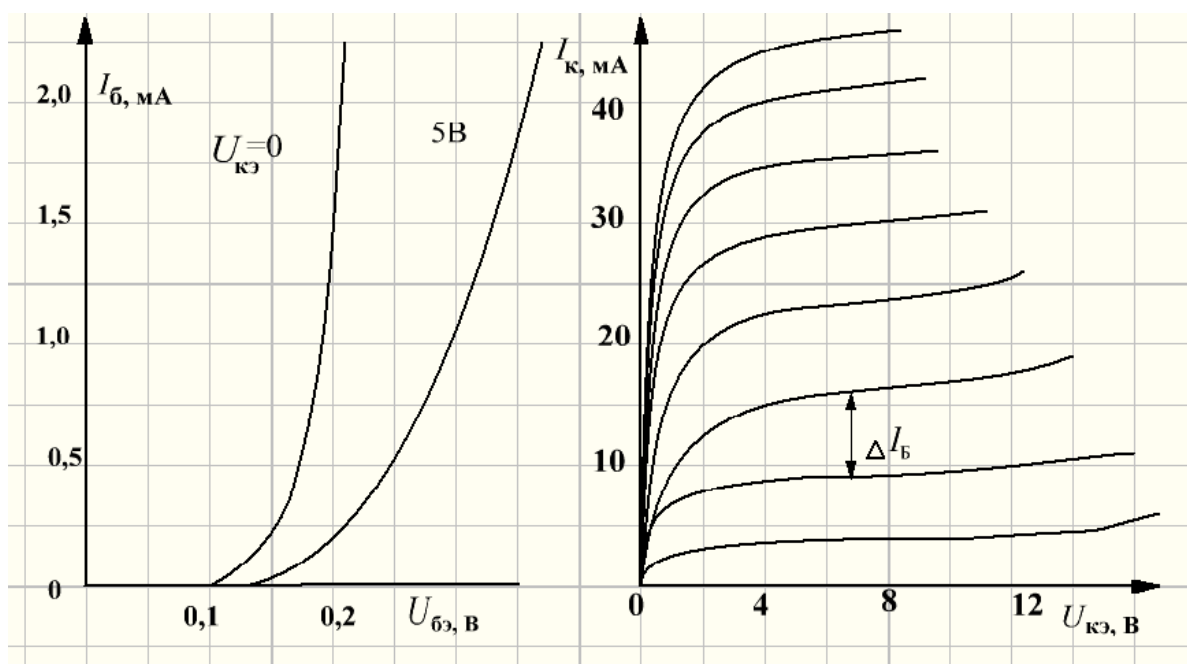
Рис. 25



ГТ 108А, ГТ 108Б - $\Delta I_{\text{г}} = 100 \text{ мкА}$;

ГТ 108В, ГТ 108Г - $\Delta I_{\text{г}} = 50 \text{ мкА}$

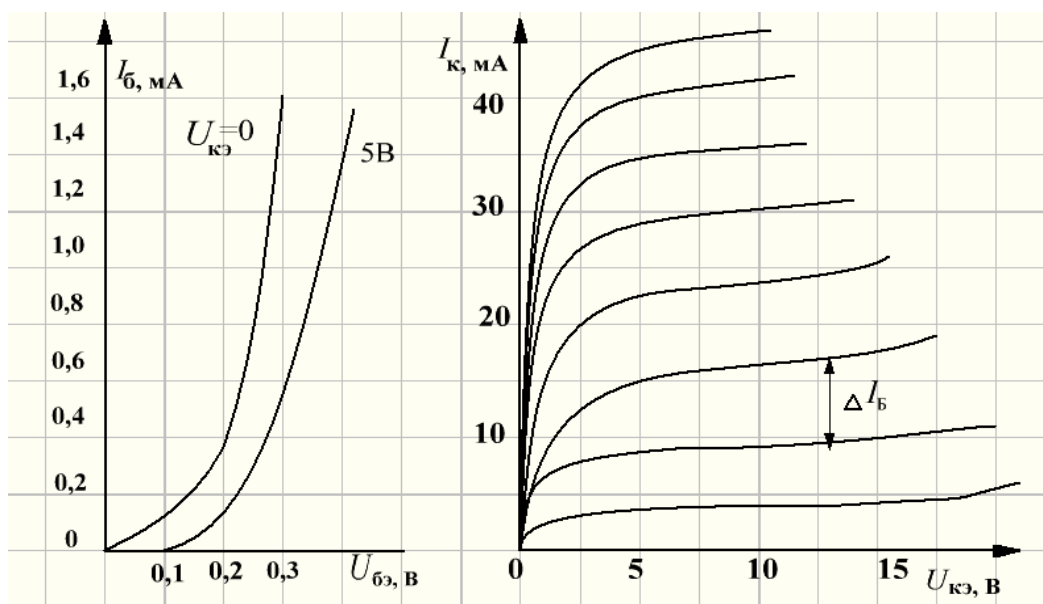
Рис. 26



МП 42, МП 42А - $\Delta I_{\text{Г}} = 150 \text{ мкА}$;

МП 42Б - $\Delta I_{\text{Г}} = 100 \text{ мкА}$

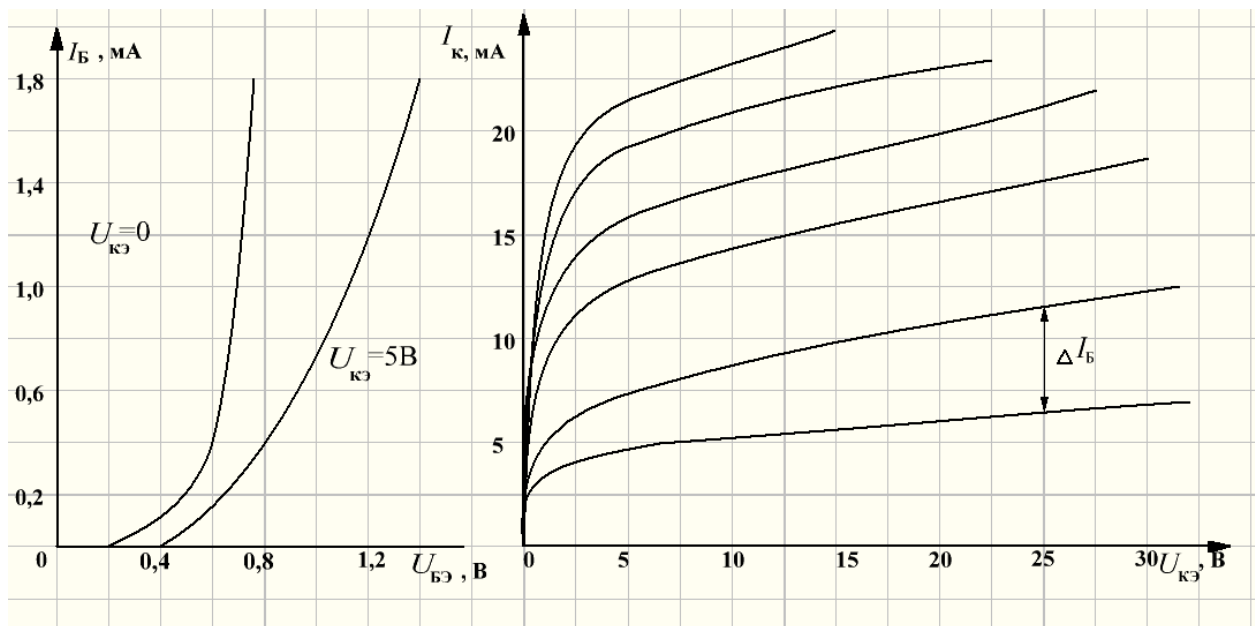
Рис. 27



МП 35, МП 36А, МП 37Б, МП 38 - $\Delta I_{\text{Г}} = 200 \text{ мкА}$

МП 37, МП 37А - $\Delta I_{\text{Г}} = 300 \text{ мкА}$, МП 38А - $\Delta I_{\text{Г}} = 50 \text{ мкА}$

Рис. 28



МП 114, МП 115 - $\Delta I_B = 0,3$ мА;

МП 116 - $\Delta I_B = 0,25$ мА

Рис. 29

Библиографический список

- Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
- Кузовкин В.А. Электротехника. – М.: Логос, 2011.
- Кулик В.Д. Электроника. – СПб.: СПбГТУРП, 2009.
- Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
- Пономаренко В.К. Электротехника. Ч. I. – СПб.: СПбГТУРП, 2010.

Содержание

Рабочая программа.....	3
Методические указания к разделам курса	6
Вопросы для самоподготовки	29
Указания к выполнению контрольных работ.....	32
Контрольная работа 1	33
Контрольная работа 2	39
Контрольная работа 3	41
Библиографический список.....	45

Учебное издание

Владимир Иванович Королев, Виктор Петрович Николаев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Программа, методические указания и контрольные
работы для студентов заочного факультета**

Редактор и корректор

Техн. редактор

Темплан

Подп. к печати Формат. Бумага тип №.

Печать офсетная. Уч. –изд. л.; усл. печ. л.. Тираж экз.

Изд. №. Цена «С». Заказ №

Ризограф Санкт – Петербургского государственного технологического
университета растительных полимеров, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.