

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Электротехнический факультет
Кафедра электротехники и электроники

Информационно-измерительная техника и электроника.

Рабочая программа, контрольные задания и методические указания.

Для студентов заочного отделения специальности “Электроснабжение”.

Киров 2006

УДК 621.317(07)
И741

Информационно-измерительная техника и электроника.

Рабочая программа, методические указания по выполнению контрольных работ и вопросы для подготовки к зачету и экзамену. Для студентов заочного отделения специальности “Электроснабжение”.

Составители: к.т.н., профессор Разуваев Ю.П.
к.т.н., доцент Епифанов С.Н.
к.т.н., доцент Красных А.А.

Рецензент: к.т.н., доцент Соловьев С.Л.,
каф. электроснабжения

Редактор А.Н. Корсаков

Подписано в печать

Усл. печ. л.

Заказ

Тираж

610000, г. Киров, ул. Московская, 36

© Вятский государственный технический университет, 2006

Права на данное издание принадлежат Вятскому
государственному техническому университету

Содержание:

Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе	4
1. Информационно-измерительная техника.....	4
1.1. Рабочая программа	4
1.2. Перечень лабораторных работ	8
1.3. Контрольная работа. Задания и методические указания.....	8
1.4. Вопросы к зачету или экзамену по курсу “Информационно-измерительная техника”	16
1.5. Литература по информационно-измерительной технике.	17
2. Электроника.....	18
2.1. Рабочая программа	18
2.2. Перечень лабораторных работ по электронике	19
2.3. Контрольная работа. Задания и методические указания.....	19
2.4. Вопросы к экзаменам по курсу «Электроника»	51
2.5. Литература по электронике.....	54

Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Курс “Информационно-измерительная техника и электроника” дает возможность овладеть современными научными методами познания природы на уровне, необходимом для решения задач, имеющих естественно-научное содержание и возникающих при выполнении профессиональных функций.

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов уровня подготовки, соответствующего Государственным требованиям, чтобы студенты:

знали и могли использовать методы и средства измерений, электронные приборы и устройства;

имели навыки использования средств информационно-измерительной техники, составления схем измерения и проведения экспериментов в электротехнических установках.

Задачи первой части дисциплины — изучение видов и средств измерений, измерительных преобразователей, аналоговых электромеханических измерительных приборов, электронных аналоговых и цифровых приборов, осциллографов, знакомство с информационно-измерительными системами.

Задачи второй части дисциплины — изучение физических основ полупроводниковой электроники, современной элементной базы, основных электронных устройств, принципов построения электронных схем систем автоматического регулирования, управления и контроля в электроэнергетике.

Знание основ электроники, схемотехники, электронных устройств позволяет специалистам профессионально пользоваться технической документацией и схемами систем автоматики и контроля, применяемых в электроэнергетике, а также принимать участие в их разработке.

Дисциплина базируется на курсах физики, высшей математики, теоретических основ электротехники.

1. Информационно-измерительная техника

1.1. Рабочая программа

1.1.1. Введение

Содержание курса. Информационно-измерительная техника и электрические измерения. Электрические измерения как средства контроля качества изделий и материалов. Значение электрических измерений в автоматизированных системах управления процессами. Роль электрических измерений в научных исследованиях. Краткий исторический обзор развития информационно-измерительной техники. Значение развития приборостроительной промышленности и использования электрических измерений в техническом прогрессе.

Роль российских ученых в развитии измерительной техники.

1.1.2. Общие сведения об электроизмерительных приборах. Аналоговые электромеханические измерительные приборы

Электроизмерительные приборы (ЭИП), их классификация. Характеристики ЭИП (класс точности, чувствительность, цена деления, диапазоны измерений и показаний, частотный диапазон, входное сопротивление, надежность и др.)

Аналоговые электромеханические ЭИП. Статическое равновесие подвижной части. Уравнение шкалы. Общие узлы и устройства аналоговых ЭИП.

Опоры: с трением скольжения, растяжки, подвесы.

Отсчетные устройства: циферблаты со шкалами, указатели стрелочные и световые.

Устройства для создания противодействующего момента. Корректор нуля.

Успокоители (демпферы): воздушные и магнитоиндукционные.

Логометрические измерительные механизмы: идея устройства, уравнение статического равновесия подвижной части.

Условные обозначения на циферблате.

1.1.3. Измерительные цепи . Измерительные преобразователи тока и напряжения

Измерительные цепи. Измерительные преобразователи, их типы.

Масштабные измерительные преобразователи.

Делители тока и напряжения: шунты, добавочные резисторы, усилители. Назначение, устройство, характеристики.

Измерительные трансформаторы: трансформаторы тока и напряжения. Принцип работы, векторные диаграммы, погрешности.

1.1.4. Системы электромеханических приборов непосредственной оценки

Магнитоэлектрические приборы. Устройство и теория измерительных механизмов. Амперметры, вольтметры и омметры. Характеристики и области применения. Магнитоэлектрический гальванометр.

Магнитоэлектрические приборы с преобразователями переменного тока в постоянный. Выпрямительные приборы. Термоэлектрические приборы. Электронные аналоговые вольтметры. Основы теории приборов, свойства, характеристики и области применения.

Электромагнитные приборы. Устройство и теория измерительных механизмов. Амперметры, вольтметры и фазометры. Логометры. Резонансный частотомер. Характеристики и области применения.

Электродинамические приборы. Амперметры, вольтметры, ваттметры. Ферродинамические приборы.

Электростатические вольтметры. Устройство, свойства, характеристики и области применения.

Индукционные приборы. Устройство и теория измерительных механизмов. Однофазные счетчики электрической энергии, векторная диаграмма цепи напряжения и тока.

1.1.5. Измерение и регистрация изменяющихся во времени электрических величин Способы регистрации изменяющихся во времени электрических величин.

Самопишущие электромеханические приборы. Элементы конструкции самопишущих приборов: форма диаграмм, привод, записывающее устройство. Понятие о динамической погрешности приборов.

Светолучевые шлейфовые осциллографы. Назначение, устройство. Теория осциллографического гальванометра, динамические погрешности записи.

Магнитография, регистраторы аварии.

Электронно-лучевые осциллографы. Обобщенная структурная схема, назначение отдельных блоков. Электронно-лучевая трубка. Генератор развертки. Особенности импульсных осциллографов. Применение для наблюдения и измерения параметров в электрических цепях.

1.1.6. Цифровые измерительные приборы

Основные понятия и определения. Квантование по уровню и дискретизация во времени непрерывной измеряемой величины. Системы счисления и коды. Основные характеристики цифровых измерительных приборов (ЦИП). ЦИП последовательного счета: фазометры, периодометры, время-импульсные вольтметры, интегрирующие вольтметры. Узлы ЦИП. ЦИП с непосредственным преобразованием в код частоты, частотомеры. ЦИП с непосредственным преобразованием в код напряжения постоянного тока: вольтметры с последовательным уравниванием, вольтметры с поразрядным уравниванием. Цифровые вольтметры переменного тока. Цифровые омметры. Методические и инструментальные погрешности ЦИП. Характеристика современных ЦИП и перспективы их развития.

1.1.7. Измерение электрических величин методами сравнения с мерой

Потенциометры (компенсаторы) постоянного и переменного тока. Принцип действия и устройство потенциометров. Измерение электродвижущей силы (э.д.с.), напряжения, токов и сопротивлений потенциометром постоянного тока. Измерение комплексных значений э.д.с., напряжений и сопротивлений потенциометрами переменного тока. Автоматические потенциометры.

Мосты постоянного тока. Теория одинарных и двойных мостов. Измерение сопротивлений в широком диапазоне значений. Автоматические мосты.

Общая теория мостов переменного тока. Мосты для измерения индуктивности, добротности, емкости, тангенса угла потерь конденсаторов. Цифровые мосты.

1.1.8. Приборы и методы измерения параметров электрической цепи (сопротивления, емкости, индуктивности)

Измерение сопротивления постоянному току: метод амперметра и вольтметра; электромеханические и электронные омметры и мегаомметры. Измерение сопротивления изоляции. Особенности измерения малых сопротивлений. Измерение сопротивления заземления. Определение мест повреждений в кабелях и линиях.

Измерение емкости и индуктивности: методом ваттметра, вольтметра и амперметра; с помощью электронно-лучевого осциллографа (по характеру переходного процесса).

Измерение емкости: с помощью баллистического гальванометра; комбинированным прибором (тестером); электродинамическим фарадметром.

Измерение индуктивности: электродинамическим логометром; с помощью амперметра и вольтметра на постоянном и переменном токе.

Методы измерения взаимной индуктивности.

1.1.9. Измерение мощности и энергии

Измерение мощности в цепях постоянного и однофазного переменного тока. Измерение активной и реактивной мощности в трехфазных цепях. Методы одного, двух и трех приборов. Схемы включения приборов. Векторные диаграммы. Определитель чередования фаз.

Измерение активной энергии. Устройство одно-, двух- и трехэлементного индукционных счетчиков. Схемы включения счетчиков энергии в однофазных и трехфазных цепях.

1.1.10. Измерение частоты и сдвига фаз

Измерение частоты: осциллографические методы, электромеханические частотомеры. Электронные аналоговые и цифровые частотомеры. Волномеры.

Измерение угла сдвига фаз: осциллографические методы, электродинамические фазометры. Прибор ВАФ-85М.

1.1.11. Магнитные измерения

Общие сведения. Измерение магнитного потока в постоянном магнитном поле индукционно-импульсным методом. Веберметр.

Измерение магнитной индукции и напряженности магнитного поля индукционно-импульсным методом. Тесламетр с датчиком Холла.

Основные характеристики магнитных материалов. Ваттметровый способ определения потерь на перемагничивание.

1.1.12. Измерение неэлектрических величин.

Общие сведения об измерениях неэлектрических величин электрическими методами. Структурные схемы приборов для измерения неэлектрических величин. Параметрические первичные измерительные преобразователи: реостатные, тензочувствительные, термочувствительные, фотоувствительные, индуктивные, емкостные. Генераторные первичные измерительные преобразователи: индукционные, термоэлектрические, фотоэлектрические, пьезоэлектрические. Устройство, принцип действия, функция преобразования, параметры, характеристики, достоинства, недостатки. Примеры применения в приборах для измерения геометрических размеров, механических величин, вибрации, скорости вращения и т.д.

Электрические измерения теплотехнических величин (температуры, давления, расхода и количества вещества, уровня и др.). Датчики ГСП.

1.1.13. Информационно-измерительные системы и измерительно-вычислительные средства.

Общие сведения об измерительных информационных системах (ИИС). Обобщенная структурная схема ИИС. Классификация ИИС: структурные схемы, принцип действия, назначение, особенности. Телеизмерительные системы: типы систем, структурные схемы, принцип действия, назначение, особенности. Системы автоматического контроля и технической диагностики. ИИС на основе агрегатных комплексов государственной системы приборов и средств автоматизации. Общие сведения об измерительно-вычислительных средствах. Измерительно-вычислительные комплексы. Микропроцессоры в измерительных приборах.

1.2. Перечень лабораторных работ

1.2.1. Измерение активной и реактивной мощности в трехфазных цепях различными методами.

1.2.2. Измерения электрических величин в трехфазных цепях различными приборами: измерительный комплект с определителем чередования фаз, вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85М, трехфазные счетчики активной и реактивной энергии, прибор для определения $\cos \varphi$.

1.2.3. Электронно-лучевой осциллограф и его применение в электроизмерительной технике.

1.2.4. Методы и приборы для измерения неэлектрических величин.

1.2.5. Поверка и испытания электромеханических приборов.

1.2.6. Одноэлементный индукционный счетчик активной энергии в однофазной цепи синусоидального тока.

1.2.7. Компенсационные методы измерения эдс, токов, сопротивлений. Обработка результатов измерений.

1.2.8. Методы и приборы для измерения сопротивлений постоянному току.

1.3. Контрольная работа. Задания и методические указания

1.3.1. Общие требования

Выполнение контрольной работы (КР) является важным этапом в процессе изучения теоретического материала. Правильное решение задач является критерием степени усвоения материала студентом. Все задачи необходимо решать самостоятельно, опираясь на проработанный теоретический материал.

КР должна быть выполнена в сроки, установленные учебным планом.

Исходные данные для решения каждой задачи берутся из соответствующих таблиц по номеру варианта, которым является последняя цифра шифра.

При выполнении КР следует соблюдать следующие требования:

1) Контрольные работы оформляются в тетради чернилами тщательно и аккуратно, листы тетради должны быть пронумерованы, у каждого листа должны быть поля шириной 3см для замечаний рецензента.

2) Условия в контрольной работе записываются полностью. Все действия при решении выполняются в той же последовательности и под теми же номерами, как указано в тексте задачи. Расчеты должны сопровождаться четкими пояснениями, а обозначения должны быть расшифрованы. Для цифровых значений ответов указываются размерности.

3) Схемы, векторные диаграммы и графики выполняются с использованием чертежных инструментов на бумаге в клетку. Условные графические обозначения, применяемые в схемах, приведены в справочнике (Л. 1.5.4, с. 292...340).

4) В конце контрольной работы приводится список литературы, которая использовалась при выполнении контрольной работы, проставляются дата и подпись студента.

1.3.2. Задача 1

Исходный прибор (ИП), тип которого указан в таблице 1, с пределом измерения I_n используется для получения комбинированного прибора ампервольтметра с пределами измерения по току I_x и по напряжению U_{x1} и $\sim U_{x2}$. Напряжение батареи питания омметра $U_B = 5 \text{ В} \pm 20\%$. Схема ампервольтметра приведена на рис.1.1, данные — в табл. 1.1.

Примечание: данные исходного прибора, необходимые для расчетов, берутся из справочника (Л. 1.5.3, 1.5.8).

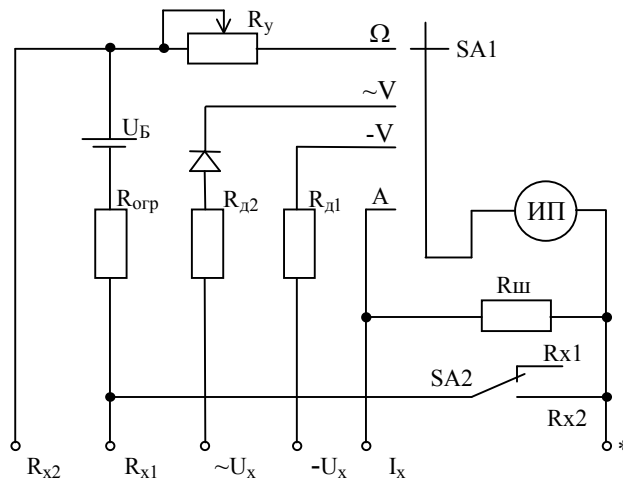


Рис.1.1

1.3.2.1. Из общей схемы ампервольтметра (рис. 1.1) выделить отдельные схемы амперметра, вольтметра для измерения постоянного U_x , вольтметра для измерения переменного U_x , омметра с последовательным включением R_x , омметра с параллельным включением R_x .

1.3.2.2. Рассчитать сопротивление шунта $R_{ш}$ амперметра (переключатель SA1 — в положении A) с пределом измерения I_x .

1.3.2.3. Рассчитать сопротивление добавочного резистора $R_{д1}$ вольтметра (переключатель SA1 — в положении -V) с пределом измерения $-U_x$.

1.3.2.4. Рассчитать сопротивление добавочного резистора $R_{д2}$ вольтметра (переключатель SA1 — в положении $\sim V$) с пределом измерения $\sim U_x$.

$$R_{д2} = (U_{cp}/I_H) - R_0, \text{ где } U_{cp} = \sim U_x \cdot \sqrt{2} / \pi.$$

1.3.2.5. Определить значение максимальной абсолютной погрешности измерения тока $\pm \Delta I_x$, напряжения $\pm \Delta U_{x1}$ и $\pm \Delta U_{x2}$, исходя из класса точности исходного прибора. (Класс точности шунта и добавочных резисторов не учитывать).

1.3.2.6. Определить собственное потребление мощности A , $-V$, $\sim V$.

1.3.2.7. Рассчитать ограничивающее сопротивление $R_{огр}$ и сопротивление R_y установки нуля в схеме омметра с последовательным включением R_x (переключатель SA1 — в положении Ω , а SA2 — R_{x1}). Показать, что для омметра с параллельным включением R_x $R_{огр}$ и R_y будут иметь те же значения.

1.3.2.8. Начертите циферблат разработанного ампервольтметра. Размеры циферблата должны соответствовать размерам исходного прибора, указанным в справочнике. На циферблате привести шесть проградуированных (произвольно, но в соответствии с пределами измерений I_H , I_x , U_{x1} , U_{x2} ,) шкал: исходного микроамперметра, амперметра с пределом I_x , вольтметров с пределами $-U_x$ и $\sim U_x$ и омметров с последовательным и параллельным включением R_x . На шкале омметров привести не менее пяти значащих отметок (кроме 0 и ∞).

1.3.2.9. Определить величину температурной погрешности δ_t (в %) амперметра при измерении тока I_x , если температура окружающей среды изменилась от 20°C до $t^\circ\text{C}$.

Примечание:

- а) шунт выполнен из манганина;
- б) обмотка рамки из медного провода;
- в) дополнительную погрешность исходного прибора не учитывать.

Воспользоваться формулой:

$$\delta_t = \frac{I_{н.и.} - I_{н.д.}}{I_{н.д.}} \cdot 100,$$

где $I_{н.д.}$ — действительное значение (I_H , мкА) тока, взятое из таблицы 1.1 (при 20°C); $I_{н.и.}$ — измеренное значение тока. Оно отличается от действительного, т.к. при температуре $t^\circ\text{C}$ сопротивление R_0 рамки ИП изменится:

$$R_{0t} = R_0 [1 + \alpha(t - 20)],$$

где $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$, град $^{-1}$ — температурный коэффициент сопротивления меди. Сопротивление шунта, выполненного из манганина, не изменится. Произойдет изменение токов в параллельных ветвях при $I_x = \text{const}$.

Таблица 1.1

Дано	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Тип ИП	M2027	M901	M136	M97	M901	M2003	M2027	M906	M2003	M906
2. I_H , мкА	100	50	50	200	300	1000	500	500	500	1000
3. I_x , А	1	1	1	5	5	5	10	10	10	1
4. $-U_x$, В	100	50	10	200	100	10	500	200	100	50
5. $\sim U_x$, В	50	100	150	200	250	300	400	500	600	1000
6. t , $^\circ\text{C}$	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80

1.3.3. Задача 2

1.3.3.1. Нарисовать схему включения через измерительные трансформаторы приборов для измерения тока I_1 , напряжения U_1 и активной мощности P_1 (по данным табл. 1.2) в однофазной цепи переменного тока частотой 50 Гц.

Таблица 1.2

Дано	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. P_1 , кВт	1450	4500	820	25	3600	1900	465	3410	1180	2640
2. U_1 , В	500	480	460	500	470	490	500	485	475	450
3. $\cos \varphi_1$	1	0,95	0,9	0,85	0,8	1	0,95	0,9	0,85	1

1.3.3.2. Выбрать по справочнику (Л. 1.5.3, 1.5.8) трансформатор тока и амперметр, трансформатор напряжения и вольтметр, обеспечивающие измерение с относительными погрешностями соответственно δ_I и δ_U менее 2%. Определите коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов и показания приборов.

Примечание: Для расчетов действительных погрешностей δ воспользоваться приближенной формулой:

$$\delta = K_{\Pi} \frac{X_{\Pi}}{X} + K_T,$$

где K_{Π} , K_T — классы точности соответствующих прибора и трансформатора;

X_{Π} — предел измерения соответствующего прибора;

X — показание прибора.

1.3.3.3. Выбрать по справочнику (Л. 1.5.3, 1.5.8) ваттметр для измерения активной мощности. Указать цену деления шкалы прибора. (Для всех вариантов количество делений шкалы равно 150). Определить показание ваттметра.

1.3.3.4. Описать, на что влияют и от чего зависят относительная и угловая погрешности измерительных трансформаторов.

1.3.4. Задача 3

В симметричной трехфазной цепи (рис.1.2) с линейным напряжением U_L и линейным током I_L активная мощность, потребляемая нагрузкой, измеряется с помощью двух ваттметров $W1$ и $W2$. В эту же цепь включен двухэлементный счетчик Wh активной энергии. Данные для решения задачи приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Дано	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Схема, рис.	2а	2б	2в	2а	2б	2в	2а	2б	2в	2а
2. U_L , В	127	220	380	127	220	380	127	220	380	220
3. I_L , А	10	5	1	10	5	1	10	5	1	5
4. n_1 , дел	110	55	76	110	0	32,9	0	110	32,9	110
5. n_2 , дел	110	110	38	0	95,3	0	110	55	0	55
6. А, об/кВт·ч	450	750	2500	2000	1200	4000	1250	1280	5000	800
7. t , мин	10	3	5	12	8	6	7	4	5	10
8. N, об	167	61	120	445	179	140	155	144	133	260

1.3.4.1. Указать, в каких случаях применяют методы одного, двух или трех ваттметров для измерения мощности в трехфазной цепи.

1.3.4.2. Нарисовать векторную диаграмму трехфазной цепи для активной нагрузки ($\varphi = 0$) и выделить на ней векторы напряжения и тока, под действием которых находятся параллельные и последовательные цепи ваттметров.

1.3.4.3. Записать выражения для расчетов показаний ваттметров W_1 и W_2 , предварительно по векторной диаграмме определив для каждого прибора знак перед углом 30° .

Примечание: в общем случае $P_{W_{1,2}} = U_L I_L \cos(\varphi \pm 30^\circ)$,

где U_L, I_L — линейные напряжение и ток;

φ — угол сдвига между векторами напряжения и тока в фазе.

1.3.4.4. Построить графики $P_{W_1} = f_1(\varphi)$, $P_{W_2} = f_2(\varphi)$ и активной мощности трехфазной цепи $P = f_3(\varphi)$ при изменении φ от -90° (емкостная нагрузка) до $+90^\circ$ (индуктивная нагрузка).

1.3.4.5. Считая, что цена деления у обоих ваттметров одинакова, по заданным отклонениям n_1 и n_2 рассчитать величину угла φ и показания каждого прибора. Скорректировать векторную диаграмму (п. 1.3.4.2.) с учетом полученного значения угла φ . Определить активную мощность нагрузки трехфазной цепи.

1.3.4.6. Рассчитать по показаниям ваттметров реактивную мощность нагрузки трехфазной цепи.

1.3.4.7. Определить относительную погрешность счетчика W_h , если его передаточное число равно A , а диск счетчика сделал N оборотов за время t . Сопоставить с классом точности счетчика — 2,5.

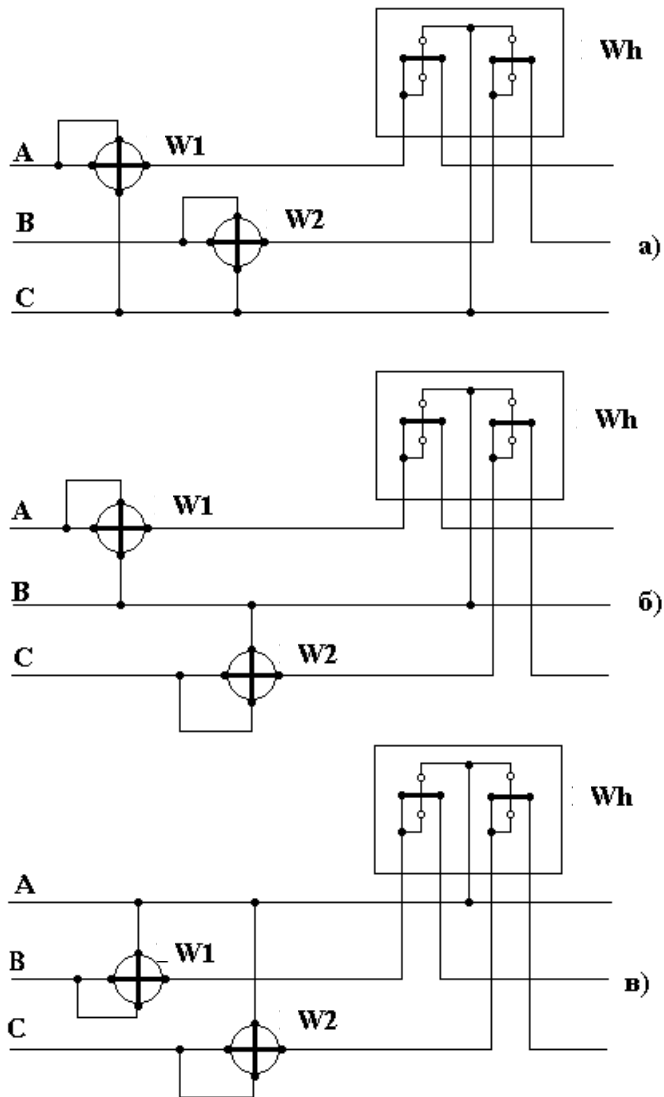


Рис. 1.2

1.3.5. Задача 4

На экране электронно-лучевого осциллографа (ЭО) типа С1-93 (Л. 1.5.1, с.183) получено неподвижное изображение n периодов исследуемого сигнала синусоидальной формы (рис. 1.3 для $n = 2$), занимающих по горизонтали L дел. Удвоенная амплитуда изображения равна H дел. Данные для решения задачи приведены в таблице 4.

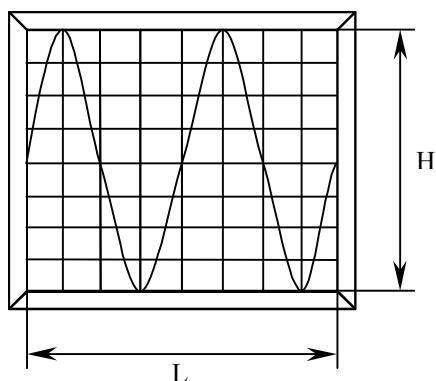


Рис. 1.3

1.3.5.1. Привести рисунок изображения сигнала на экране ЭО для заданного варианта.

1.3.5.2. Определить амплитудное U_m и действующее U значения исследуемого напряжения, если у откалиброванного осциллографа переключатель “V/дел” установлен в положении k_V .

1.3.5.3. Определить период T_c и частоту f_c исследуемого сигнала, если переключатель длительности развертки “время/дел” установлен в положение k_T , а множитель растяжки $k_p=0,2$ или 1.

1.3.5.4. Для полученного в 1.3.5.1. изображения найти период пилообразного напряжения развертки T_p , поданного на горизонтально отклоняющие пластины.

1.3.5.5. На входы Y и X осциллографа С1-93 поданы два сигнала синусоидальной формы и одинаковой частоты. Определить угол сдвига фаз φ между этими сигналами, если на экране осциллографа получен эллипс с параметрами A и B, как показано на рис. 1.4 (Л. 1.5.1, с.273).

1.3.5.6. Построить изображение фигуры Лиссажу на экране ЭО, если на отклоняющие пластины Y и X поданы сигналы синусоидальной формы с одинаковой амплитудой. Частоты сигналов f_Y и f_X , а начальные углы сдвига фаз равны φ_Y и φ_X . (Пример построения приведен в Л. 1.5.1., с. 192, рис. 9.11. Отличие заключается в том, что в контрольной работе на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа подается синусоидальное напряжение, а не пилообразное, как в примере.)

1.3.5.7. Дать оценку точности измерения напряжения, частоты и угла сдвига фаз с помощью ЭО. (Л. 1.5.1, с. 184...186, 260, 274, 275.)

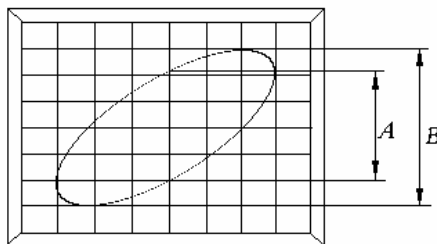


Рис. 1.4. Изображение на экране ЭО при измерении угла сдвига фаз

Таблица 1.4

Дано	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. n , периодов	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2
2. L , дел	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7
3. H , дел	2	3	4	5	2	3	4	5	4	5
4. K_V , В/дел	5	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1
5. K_T , мкс/дел	0,1	1	10	100	0,1	1	10	100	10	1
6. k_p	1	0,2	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	1	0,2
7. A , дел	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	2
8. B , дел	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
9. f_Y , Гц	100	200	100	200	100	300	500	750	500	200
10. f_X , Гц	200	100	200	100	300	100	750	500	500	200
11. φ_Y , град	0	0	0	90	0	0	0	0	0	90
12. φ_X , град	0	0	90	0	0	0	0	0	90	0

1.3.6. Задача 5

Для указанного в табл. 5 первичного измерительного преобразователя (ИП) неэлектрической величины в электрическую:

1.3.6.1. Привести рисунок устройства и объяснить принцип действия ИП. Если имеются разновидности ИП, то привести 2-3 рисунка с пояснениями.

1.3.6.2. Привести функцию преобразования данного ИП в аналитическом и графическом виде, а также параметры и характеристики.

1.3.6.3. Начертить схемы включения (измерительные цепи) для данного ИП.

1.3.6.4. Указать причины погрешностей ИП и привести схемы (способы) компенсации их.

1.3.6.5. Перечислить достоинства и недостатки.

1.3.6.6. Указать область применения данных ИП.

Таблица 1.5

Вариант	Тип измерительного преобразователя
0	Тензочувствительные (Л. 1.5.6, 1.5.7)
1	Емкостные (Л. 1.5.6, 1.5.7)
2	Индуктивные (Л. 1.5.6, 1.5.7)
3	Термочувствительные провололочные (Л. 1.5.6, 1.5.7)
4	Термочувствительные полупроводниковые (Л. 1.5.6, 1.5.7)
5	Датчики ГСП для измерения теплоэнергетических величин (Л. 1.5.6, 1.5.7)
6	Пьезоэлектрические (Л. 1.5.6, 1.5.7)
7	Индукционные (Л. 1.5.6., 1.5.7.)
8	Термоэлектрические (Л. 1.5.6, 1.5.7)
9	Фотоэлектрические (Л. 1.5.6, 1.5.7)

1.4. Вопросы к зачету или экзамену по курсу “Информационно-измерительная техника”

1.4.1. Общие сведения об аналоговых электроизмерительных приборах.

1.4.2. Измерительные преобразователи тока и напряжения.

1.4.3. Магнитоэлектрические приборы. Устройство и теория измерительных механизмов. Амперметры, вольтметры и омметры. Характеристики и области применения.

1.4.4. Выпрямительные и термоэлектрические измерительные приборы.

1.4.5. Электронные аналоговые вольтметры напряжения постоянного и переменного тока.

1.4.6. Электромагнитные приборы. Устройство и теория измерительных механизмов. Амперметры, вольтметры, фазометры, частотомеры. Характеристики и области применения.

1.4.7. Электродинамические приборы. Амперметры, вольтметры, ваттметры, частотомеры.

1.4.8. Электростатические вольтметры. Устройство, свойства, характеристики и области применения.

1.4.9. Индукционные приборы. Устройство и теория измерительных механизмов. Однофазные счетчики электрической энергии, векторная диаграмма цепи напряжения и тока.

1.4.10. Самопишущие электромеханические приборы. Элементы конструкции, форма диаграммы, привод, записывающее устройство.

1.4.11. Светолучевые шлейфовые осциллографы. Назначение, устройство. Теория осциллографического гальванометра. Динамические погрешности записи.

1.4.12. Светолучевые и электронные (цифровые) регистраторы аварии.

1.4.13. Электронный осциллограф: структурная схема; принцип действия; измерение напряжения, частоты, угла сдвига фаз; классы точности ЭО.

1.4.14. Цифровые вольтметры с преобразованием во временной интервал: структурная схема, временная диаграмма, принцип действия, погрешности, достоинства и недостатки.

1.4.15. Цифровые вольтметры с двойным интегрированием: структурная схема, временные диаграммы, принцип действия, погрешности, достоинства и недостатки.

1.4.16. Цифровые вольтметры с последовательным уравниванием: структурная схема, временные диаграммы, принцип действия, погрешности, достоинства и недостатки.

1.4.17. Цифровые вольтметры с поразрядным уравниванием: структурная схема, временные диаграммы, принцип действия, погрешности, достоинства и недостатки.

1.4.18. Цифровые электронно-счетные частотомеры: структурная схема, временные диаграммы, принцип действия, погрешности, достоинства и недостатки.

1.4.19. Потенциометры (компенсаторы) постоянного тока. Принцип действия и устройство. Измерение эдс, напряжений, токов и сопротивлений. Автоматические потенциометры.

1.4.20. Мосты постоянного тока. Теория одинарных и двойных мостов. Автоматические мосты.

1.4.21. Методы и приборы для измерения сопротивления постоянному току.

1.4.22. Методы и приборы для измерения емкости, индуктивности и взаимной индуктивности.

1.4.23. Измерение мощности в цепях постоянного и однофазного переменного тока. Измерение активной и реактивной мощности в трехфазных цепях. Методы одного, двух и трех приборов. Схемы включения приборов. Векторная диаграмма. Определитель чередования фаз.

1.4.24. Измерение активной и реактивной энергии. Устройство одно-, двух- и трехэлементных индукционных счетчиков энергии. Схемы включения в однофазных и трехфазных цепях.

1.4.25. Методы и приборы для измерения частоты и угла сдвига фаз. Прибор ВАФ-85М.

1.4.26. Методы и приборы для измерения магнитных величин.

1.4.27. Параметрические датчики для измерения неэлектрических величин: реостатные, тензочувствительные, индуктивные, емкостные. Устройство, принцип действия, функция преобразования, схемы включения, достоинства и недостатки. Примеры использования.

1.4.28. Генераторные датчики для измерения неэлектрических величин: индукционные, термоэлектрические, пьезоэлектрические. Устройство, принцип действия, функция преобразования, схемы включения, достоинства и недостатки. Примеры использования.

1.4.29. Методы и приборы для измерения температуры.

1.4.30. Информационно-измерительные системы и измерительно-вычислительные средства.

1.5. Литература по информационно-измерительной технике.

Основная:

1.5.1. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. — М: Высшая школа, 1989.

1.5.2. Электрические измерения. Под ред. Малиновского В.Н. — М: Энергоатомиздат, 1985.

1.5.3. Справочник по электроизмерительным приборам. Под ред. Илюнина К.К. — Л: Энергоатомиздат, 1983.

1.5.4. Электротехнический справочник: в 3 т. Т.1. Общие вопросы. Электротехнические материалы. Под ред. Герасимова В.Г. — М: Энергоатомиздат, 1985.

Дополнительная:

1.5.5. Электрические измерения. Под ред. Фремке А.В., Душина Е.М. — Л: Энергия, 1980.

1.5.6. Евтихеев Н.Н. и др. Измерение электрических и неэлектрических величин. — М: Энергоатомиздат, 1990.

1.5.7. Левшина Е.С. Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. — Л: Энергоатомиздат, 1983.

1.5.8. Епифанов С.Н. Красных А.А. Электроизмерительные приборы. Справочное пособие. Киров, 1997.

2. Электроника

2.1. Рабочая программа

2.1.1. Введение

Область применения устройств электроники. Основные преимущества средств полупроводниковой электроники. Краткий обзор истории развития электроники, ее современное состояние и перспективы.

2.1.2. Полупроводниковые приборы

Устройство, принцип работы, характеристики и параметры выпрямительных диодов и стабилитронов. Область их применения.

Устройство и принцип действия биполярных транзисторов. Схемы включения транзисторов и их сравнительная оценка. Основные характеристики и параметры транзисторов. Эквивалентные схемы и частотные свойства, динамический режим работы биполярного транзистора.

Однопереходные транзисторы. Полевые транзисторы. Устройство, принцип работы, характеристики и применение тиристоров, разновидности тиристоров. Симметричные тиристоры - симисторы. Неуправляемые переключающие диоды - динисторы.

Классификация фотоэлектронных полупроводниковых приборов. Принцип работы, характеристики, параметры и применение фотодиодов. Принцип работы, характеристики и применение фоторезисторов, фототранзисторов, фототиристоров. Светодиоды. Оптроны.

Интегральные аналоговые и цифровые микросхемы /ИМС/.

2.1.3. Электронные усилители

Назначение и классификация усилителей. Основные характеристики и параметры усилителей. Классы усиления. Выбор и обеспечение режима работы транзисторов в усилителях. Способы термостабилизации рабочей точки транзисторных усилителей.

Работа усилительного каскада с RC-связью при усилении гармонических сигналов. Эквивалентная схема усилительного каскада с RC-связью. Сущность и виды обратных связей в усилителях. Влияние обратных связей на основные параметры усилителей. Паразитные обратные связи и методы борьбы с ними.

Эмиттерные повторители.

Усилители с трансформаторной связью. Однотактные и двухтактные усилители мощности, особенности их работы. Назначение и особенности построения усилителей постоянного тока (УПТ). Дрейф нуля и методы его снижения. Балансные схемы усилителей постоянного тока. Дифференциальные УПТ. УПТ по системе М-ДМ.

Операционные усилители (ОУ). Назначение и основные свойства ОУ, их применение.

2.1.4. Электронные генераторы гармонических колебаний

Общая характеристика и классификация генераторов. LC-генераторы с внешним возбуждением. LC-автогенераторы, условия самовозбуждения автогенераторов. RC-автогенераторы. Способы стабилизации частоты генераторов.

2.1.5. Импульсные устройства

Общие сведения об импульсах. Транзисторные ключи. Дифференцирующие и интегрирующие цепи. Логические элементы “И”, “ИЛИ”, “НЕ”, их реализация и применение. Дiodные ограничители. Усилители-ограничители.

Генераторы прямоугольных импульсов на цифровых ИМС. Генераторы пилообразного напряжения. Мультивибраторы. Ждущие мультивибраторы (одновибраторы). Блокинг-генераторы. Триггеры. Счетчики. Распределители. Понятие о микропроцессорах.

Назначение и применение электронных реле. Фотореле. Реле времени.

2.1.6. Устройства преобразовательной техники

Выпрямители. Назначение, классификация и параметры выпрямителей. Однофазные неуправляемые и управляемые выпрямители, работающие на активную и индуктивную нагрузку. Особенности работы выпрямителей на емкостную нагрузку. Трехфазные управляемые выпрямители, работающие на активную и индуктивную нагрузку.

Сглаживающие фильтры. Классификация, основные требования, схемы построения и методика расчета фильтров.

Стабилизаторы. Основные принципы стабилизации напряжения и тока. Параметрические и компенсационные стабилизаторы. Импульсные стабилизаторы напряжения.

Особенности импульсного метода регулирования постоянного напряжения. Классификация широтно-импульсных преобразователей (ШИП). Нереверсивные зависимые и независимые ШИП. Параллельные и последовательные ШИП.

Инверторы и преобразователи частоты транзисторные и тиристорные. Общая характеристика преобразования постоянного тока в переменный. Классификация инверторов. Инверторы, ведомые сетью. Автономные инверторы напряжения, тока и резонансные. Трехфазные автономные инверторы.

Структурные схемы преобразователей частоты. Регулирование выходного напряжения автономных инверторов и преобразователей частоты. Улучшение формы кривой выходного напряжения.

Схемы управления преобразователями. Системы управления преобразователями. Системы управления выпрямителями, широтно-импульсными преобразователями и автономными инверторами.

2.2. Перечень лабораторных работ по электронике

2.2.1. Исследование неуправляемых полупроводниковых выпрямителей.

2.2.2. Исследование управляемого выпрямителя и регулятора переменного напряжения на тиристорах.

2.2.3. Исследование транзисторного усилителя.

2.2.4. Исследование цифровых ИМС.

2.3. Контрольная работа. Задания и методические указания

Общие требования

В настоящих методических указаниях приведены задания на три контрольных работы (КР): «Разработка схемы, расчет и выбор элементов неуправляемого выпрямителя» (2.3.1); «Разработка схемы, расчет и выбор элементов управляемого выпрямителя, разработка схемы и выбор элементов блока управления» (2.3.2); «Расчет транзисторного усилителя мощности» (2.3.3).

Конкретные задания на выполнение КР указывается преподавателем. Общие требования по оформлению КР те же, что указаны в п. 1.3.1.

Номер варианта выбирается по двум последним цифрам шифра студента. Если две последние цифры NN больше 50, то номер варианта берется равным (NN - 50). Исходные данные для выполнения КР 2.3.1 и 2.3.2 приведена в таблице 2.1, а для КР 2.3.3 – в таблице 2.4.

2.3.1. Разработка схемы, расчет и выбор элементов неуправляемого выпрямителя со сглаживающим фильтром.

2.3.1.1. Исходными данными для выполнения этой работы являются:

1. Питающая сеть: число фаз, частота и схема (одно-, трехфазная, трех- или четырехпроводная), величина напряжения (для четырехпроводной трехфазной системы линейное и фазное напряжение задаются через дробную черту).

2. Нагрузка: номинальные значения напряжения и тока по средним значениям (т.е. по показаниям приборов магнитоэлектрической системы), коэффициент пульсаций.

Исходные данные определяются по таблице 2.1. вариантов задания.

2.3.1.2. Выполнение работы заключается в выборе электрической схемы выпрямителя по табл. 2.2., в которой заданы все необходимые расчетные соотношения, позволяющие по заданным для сети и нагрузки величинам рассчитать и с помощью справочной литературы выбрать элементы, определить параметры сглаживающего фильтра и его схему. К этой работе относятся графы 1 - 7 этой таблицы.

Пользуясь ориентировочными данными табл. 2.3, выбрать схему и определить параметры силового трансформатора.

При проведении расчетов и выборе элементов следует учитывать следующие дополнительные указания:

1. При выборе полупроводниковых элементов по току и допустимому обратному напряжению принимать коэффициент запаса 1,2—1,3 по отношению к расчетным величинам.

2. При отсутствии диодов на расчетные значения напряжений и токов следует применять последовательное и параллельное соединения. При последовательном соединении применяется шунтирование диодов сопротивлениями из расчета один килоом на вольт обратного напряжения по схеме рис. 2.1а.

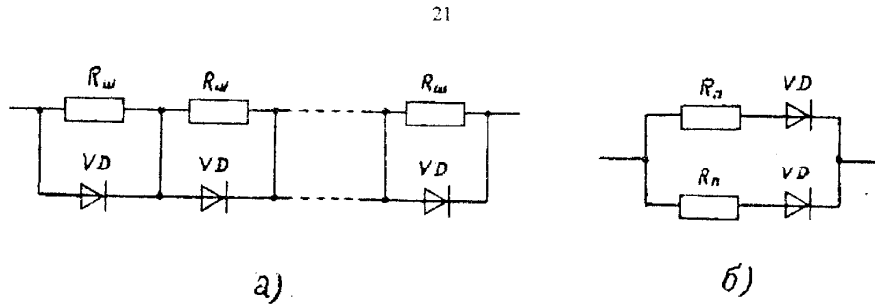


Рис. 2.1

При параллельном соединении величина последовательного сопротивления должна быть больше сопротивления диода в проводящем направлении — рис.2.1б.

3. При выборе электрической схемы согласующего трансформатора для трехфазной сети одну из систем обмоток (с первичной или вторичной стороны) соединять треугольником для уменьшения влияния третьей гармоники.

4. При расчете напряжений обмоток трансформатора и его мощности следует руководствоваться табл. 2.3, где заданы относительные значения падений напряжений на обмотках, КПД и $\cos\phi$ в зависимости от мощности.

5. При выборе конденсаторов фильтра предпочтение следует отдавать оксидным конденсаторам типов К-50, К-52, К-53, но при этом следует принимать во внимание, что рабочее напряжение таких конденсаторов, выпускаемых отечественной промышленностью, ограничено величиной 450В.

6. Проверку устойчивости диодов к ударным токам следует производить по амплитуде напряжения на вторичной обмотке трансформатора:

при RC—фильтре по формуле
$$I_{y\partial} \leq \frac{U_{2m}}{R_{\phi}};$$

при LC—фильтре по формуле
$$I_{y\partial} \leq \frac{U_{2m} \cdot T_c}{4L_{\phi}} = \frac{U_{2m}}{4L_{\phi} f_c},$$

где $T_c = \frac{1}{f_c}$ — период напряжения сети.

$$E_1 = U_1 \left(1 - \frac{\Delta U_1}{100} \right);$$

$$E_2 = U_2 \left(1 + \frac{\Delta U_2}{100} \right).$$

— ЭДС первичной и вторичной обмоток трансформатора с учетом падений напряжений на них.

Затем определяются:

$$S_1 = \frac{E_2 I_2}{\eta \cdot \cos \varphi}; \quad I_1 = \frac{S_1}{U_1};$$

Примечание к табл. 2.1: последняя графа 8 таблицы 2.1 относится к КР 2.3.2 — «Разработка управляемого выпрямителя, для которого кратность регулирования определена как отношение $\frac{U_{н.ном}}{U_{н.мин}}$ ».

Таблица 2.1

№ варианта	Сеть			нагрузка			кратность регулир. напряж. на нагр. упр. выпр. Кр
	число фаз и схема	напряжение, В	Частота, Гц	U _н , В	I _н , А	K _{нн} = $\frac{U_{m1}}{U_n}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
00	1	110	200	400	50	0,15	6
01	1	110	400	2000	0,3	0,01	2
02	1	220	50	500	10	0,02	5
03	3	380/220	50	400	100	0,03	10
04	3	220/127	50	250	25	0,01	15
05	3	220	400	350	150	0,05	3
06	3	220	200	200	15	0,03	4,5
07	3	220	1000	800	10	0,10	6
08	1	110	50	5000	0,1	0,01	3
09	1	110	400	100	5	0,005	10
10	3	380/220	400	150	100	0,03	2,5
11	3	220/127	200	450	50	0,015	15
12	3	220	50	80	30	0,05	7,5
13	3	220	400	75	110	0,02	8
14	1	220	50	100	15	0,025	10
15	1	110	1000	150	25	0,04	12
16	1	220	400	250	5	0,02	4
17	1	110	200	350	15	0,02	2
18	3	380/220	400	12	500	0,05	4
19	3	220/127	400	24	300	0,03	2,5
20	3	220	400	36	200	0,02	5
21	3	220	50	48	150	0,03	6
22	1	110	200	12	50	0,10	4
23	1	220	400	36	30	0,05	10
24	1	127	50	24	100	0,05	5
25	1	380	50	100	10	0,03	2
26	1	220	200	200	5	0,01	4
27	3	380/220	200	150	8	0,02	2,5

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
28	3	220/127	50	250	15	0,03	3,5
29	3	220	200	56	25	0,015	5
30	3	220	1000	48	35	0,02	6
31	1	127	50	1000	10	0,01	20
32	1	220	200	24	20	0,03	15
33	1	110	400	6	200	0,05	5
34	1	110	1000	2000	0,5	0,005	8
35	3	220	400	100	30	0,15	3
36	3	380/220	50	250	150	0,1	2,5
37	3	220/127	50	150	40	0,02	7,5
1	2	3	4	5	6	7	8
38	3	220	200	300	5	0,05	4
39	1	110	200	350	15	0,003	5
40	1	110	400	60	70	0,008	6
41	1	110	1000	12	1000	0,08	3,5
42	1	220	50	24	500	0,05	4
43	1	127	50	100	15	0,01	5
44	3	220	50	48	3000	0,1	15
45	3	380/220	200	24	100	0,03	5
46	3	220	400	800	2	0,001	2
47	3	220/127	400	3000	0,2	0,002	8
48	1	220	50	800	5	0,015	10
49	1	220	200	750	10	0,02	7,5

Таблица 2.3

Частота, Гц	Величины	Мощность номинальная, Вт				
		15—50	50—150	150—300	300—1000	свыше 1000
50	$\Delta U_1, \%$	15—5	5—4	4—3	3—1	—
	$\Delta U_2, \%$	20—10	10—8	8—6	6—2	—
	η	0,5—0,8	0,8—0,9	0,9—0,93	0,93—0,95	0,98
	$\cos \varphi$	0,9—0,93	0,93—0,95	0,95—0,93	0,93—0,94	—
400	$\Delta U_1, \%$	8—4	4—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5	0,5
	$\Delta U_2, \%$	10—5	5—2,0	2,0—1,2	1,2—0,5	0,5
	η	0,87	0,87—0,94	0,94—0,96	0,96—0,97	0,97
	$\cos \varphi$	0,84	0,84—0,95	0,95—0,96	0,96—0,99	0,99

№ п/п	Название схемы выпрямителя	Принципиальная схема	Токи диода		
			Форма тока за период	Среднее значение тока	Действ. значение тока
1.	Однофазная однополупериодная			I_H	$1,57I_H$
2.	Однофазная двухполупериодная на трансформаторе со средней точкой			$0,5I_H$	$0,707I_H$
3.	Однофазная двухполупериодная мостовая схема			$0,5I_H$	$0,707I_H$
4.	Однофазная с удвоением напряжения			$0,5I_H$	$0,707I_H$
5.	Трехфазная однополупериодная с нулевым проводом			$0,33I_H$	$0,58I_H$
6.	Трехфазная мостовая (схема Ларионова)			$0,33I_H$	$0,58I_H$
7.	Трехфазная мостовая (схема Ларионова)			$0,33I_H$	$0,58I_H$
8.	Трехфазная с шестигречевой звездой			$0,167I_H$	$0,408I_H$

Таблица 2.2

Обратное значение напряжения на диоде	Частота пульсаций	Коэффициент пульсаций	Действ. значение U_2 на вторичн. обмотке	Действ. значение тока втор. обмотки I_2	Действ. знач. фазного тока перв. обмотки I_1	Действ. знач. лин. тока перв. обмотки I	Разложение в ряд Фурье напряжения на нагрузке
$3,14U_H$	f_C	1,57	$2,22U_H$	$1,57I_H$	$1,57 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$1,57 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$u_H(t) = \frac{U_m}{\pi} + \frac{U_m}{2} \sin \alpha t - \frac{2U_m}{\pi} \times$ $\times \left(\frac{\cos 2\alpha t}{1.3} + \frac{\cos 4\alpha t}{3.5} + \frac{\cos 6\alpha t}{5.7} + \dots \right)$
$3,14U_H$	$2f_C$	0,67	$1,11U_H$	$1,57I_H$	$I_H \frac{U_2}{U_1}$	$I_H \frac{U_2}{U_1}$	Для п.п. 2, 3 $u_H(t) = \frac{2U_m}{\pi} - \frac{4U_m}{\pi} \left(\frac{\cos 2\alpha t}{1.3} + \frac{\cos 4\alpha t}{3.5} + \frac{\cos 6\alpha t}{5.7} + \dots \right)$
$3,14U_H$ на оба плеча $1,57U_H$ на одно плечо	$2f_C$	0,67	$1,11U_H$	$1,11I_H$	$I_H \frac{U_2}{U_1}$	$I_H \frac{U_2}{U_1}$	
U_H	$2f_C$	-	$0,36U_H$	$0,707I_H$	$0,707 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$0,707 I_H \frac{U_2}{U_1}$	
$2,1U_H$	$3f_C$	0,25	$0,855U_H$	$0,58I_H$	$0,47 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$0,821 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$u_H(t) = \frac{3\sqrt{3}U_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\cos 3\alpha t}{2.4} - \frac{\cos 6\alpha t}{5.7} + \frac{\cos 9\alpha t}{8.10} - \dots \right)$
$2,1U_H$ для обоих плеч $1,57U_H$ для одного плеча	$6f_C$	0,057	$0,741U_H$	$0,472I_H$	$0,82 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$0,82 I_H \frac{U_2}{U_1}$	Для п.п. 6, 7, 8
$2,1U_H$ для обоих плеч $1,57U_H$ для одного плеча	$6f_C$	0,057	$0,428U_H$	$0,82I_H$	$0,82 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$1,42 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$u_H(t) = \frac{3U_m}{\pi} \left(1 + \frac{2\cos 6\alpha t}{5.7} - \frac{2\cos 12\alpha t}{11.13} + \frac{2\cos 18\alpha t}{17.19} - \dots \right)$
$2,1U_H$	$6f_C$	0,057	$0,741U_H$	$0,408I_H$	$0,581 I_H \frac{U_2}{U_1}$	$0,82 I_H \frac{U_2}{U_1}$	

2.3.1.3. Расчет и выбор элементов сглаживающего фильтра.

Наиболее распространенные сглаживающие фильтры выполняются по принципиальным схемам, изображенным на рис. 2.2, а-д.

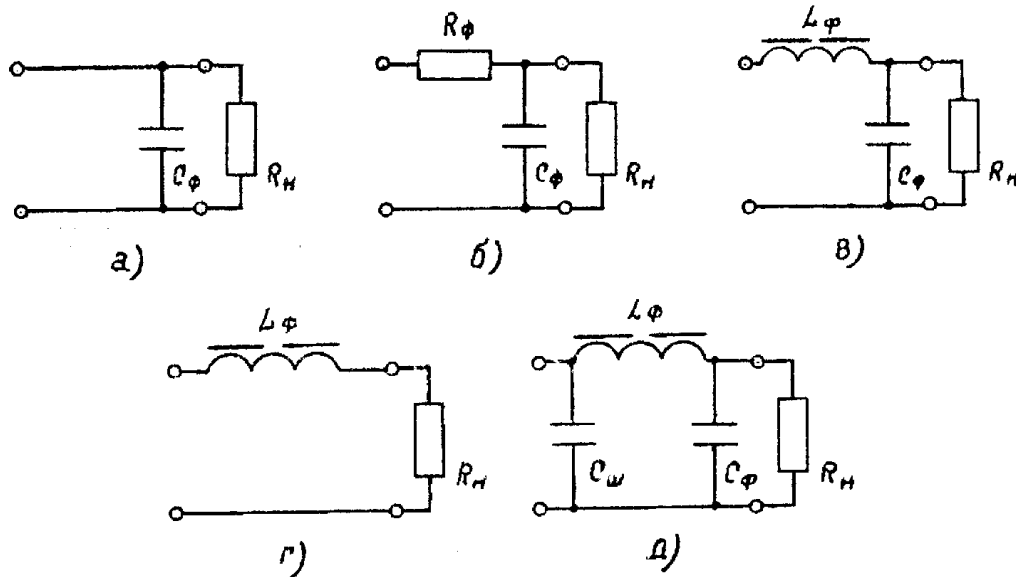


Рис. 2.2

Схема рис. 2.2,а применяется только для маломощных высоковольтных выпрямителей, т.е. при наличии между сетью и выпрямителем маломощного повышающего трансформатора, обладающего, как правило, значительной индуктивностью рассеяния L_s , ограничивающей ударный ток через диоды при первоначальном включении. При этом, для выбора величины емкости C_ϕ , используется соотношение

$$\frac{1}{\omega_n C_\phi} \ll R_n$$

Для высоковольтных маломощных выпрямителей (R_n - тысячи и десятки тысяч Ом) это условие легко выполняется.

В случае трудности ограничения ударных токов для диодов сглаживающий фильтр выполняется по схеме рис. 1.2,б, в которой R_ϕ выбирается из условия:

$$R_\phi \geq \frac{U_{2m}}{I_{уд}}$$

Здесь U_{2m} - амплитуда напряжения, подведенного к выпрямителю.

$I_{уд}$ - допустимый однократный ток перегрузки для выбранных диодов выпрямителя.

Конденсатор фильтра C_ϕ должен удовлетворять условию, поставленному для предыдущей схемы. При этом нужно учитывать падение выпрямленного напряжения на сопротивление R_ϕ и увеличивать выходное напряжение выпрямителя на величину $\Delta U_B \cong R_\phi \cdot I_{н\text{ ном}} + n \cdot \Delta U$, здесь n - число последовательных диодов, работающих одновременно (в одном полупериоде).

Наиболее распространенной схемой сглаживающего фильтра является изображенная на рис. 2.2,в, которая не накладывает ограничений как по величине мощности, так и по величине напряжения на нагрузке. При этом L_ϕ и C_ϕ фильтра должны удовлетворять условию:

$$C_\phi L_\phi \geq \frac{q+1}{\omega_\Pi^2},$$

где: $q = \frac{K_\Pi}{K_{\Pi\Pi}}$ - коэффициент сглаживания фильтра;

K_Π - коэффициент пульсации на входе фильтра (выходе выпрямителя);

$K_{\Pi\Pi}$ - коэффициент пульсаций на нагрузке (выходе фильтра).

Одна из величин выбирается по соответствующему справочнику (предпочтительнее C_ϕ), другая - из приведенного соотношения.

Нужно иметь в виду, что для низковольтных выпрямителей (десятки вольт) величины L_ϕ и C_ϕ должны быть ограничены пределами

$$L_\phi < 10^{-3} \text{ Гн}; \quad C_\phi < (2 \dots 5) \cdot 10^4 \text{ мкФ},$$

а для высоковольтных выпрямителей (сотни вольт)

$$L_\phi < 0,1 \text{ Гн}; \quad C_\phi < 10 \dots 100 \text{ мкФ}.$$

При выборе в качестве C_ϕ оксидных конденсаторов следует принимать во внимание, что рабочее напряжение конденсаторов, выпускаемых отечественной промышленностью, ограничено величиной $U_{\text{доп}} < 450 \text{ В}$.

Фильтр по схеме рис. 2.2,г применяется при напряжениях на нагрузке 2—10 вольт при токах нагрузки в сотни и тысячи ампер.

При этом индуктивность фильтра должна удовлетворять условию

$$L_\phi \gg \frac{R_H}{\omega_\Pi},$$

а также должно быть учтено падение напряжения на диодах выпрямителя и активном сопротивлении дросселя фильтра.

В случае, если нагрузка выпрямителя может генерировать напряжение высокой частоты, то выход выпрямителя шунтируется безындукционным конденсатором $C_{\text{ш}}$ по схеме рис. 2.2, д. Емкость этого конденсатора удовлетворяет условию

$$C_{\text{ш}} \cong (10^{-3} \dots 10^{-2}) \text{ С, мкФ}.$$

2.3.2. Разработка схемы, расчет и выбор элементов управляемого выпрямителя, разработка схемы и выбор элементов блока управления

2.3.2.1. Исходные данные для выполнения этой работы также выбираются по табл. 2.1 с учетом графы 8, в которой задана кратность регулирования напряжения на нагрузке - отношение номинального напряжения к минимальному.

Наибольшим распространением пользуются как полностью управляемые выпрямители, когда все диоды выпрямительной схемы заменяется тиристорами, так и не полностью управляемые выпрямители, (по мостовой схеме), как однофазные, так и трехфазные, в которых тиристорами заменяется только катодная группа диодов.

В некоторых случаях, особенно в маломощных однофазных высоковольтных управляемых выпрямителях, регулирование можно осуществлять в цепи переменного напряжения с первичной стороны трансформатора, т.к. в этих случаях удастся ограничиться использованием тиристоров с напряжением 500—800 В.

Однофазный регулятор переменного напряжения в этом случае выполняется по одной из схем рис. 2.3,а,б.

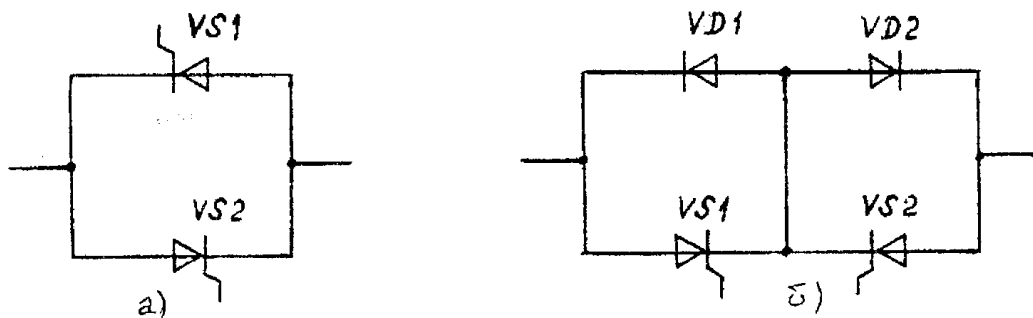


Рис. 2.3

В любом случае, следует предпринимать меры по устранению подмагничивания сердечника согласующего трансформатора постоянным током. Для этого независимо от схемы выпрямителя, применяется одна фазосдвигающая цепочка, обеспечивающая получение нужного угла включения тиристоров по каждому полупериоду, т.е. импульсы, следующие с удвоенной частотой по отношению к частоте питающей сети, следует распределять по двум каналам в однофазных выпрямителях; аналогично, импульсы, следующие с утроенной (ушестеренной) частотой, нужно распределять по трем (шести) каналам в трехфазных выпрямителях.

Исключение составляет регулятор переменного напряжения по схеме рис.2.3,б, где импульсы удвоенной частоты можно подавать одновременно на оба тиристора, т.к. обратное напряжение на тиристорах отсутствует.

При отсутствии тиристоров на нужное напряжение переключения и обратное напряжение следует применять последовательное соединение тиристоров, принимая специальные меры по одновременному запуску всех тиристоров цепочки (например, по схеме рис. 2.4,а), равномерному распределению напряжения между последовательно соединенными тири-

сторами (например, по рис. 2.4,б) и ограничению величин $\frac{dU}{dt}$ (по схеме рис. 2.4,в).

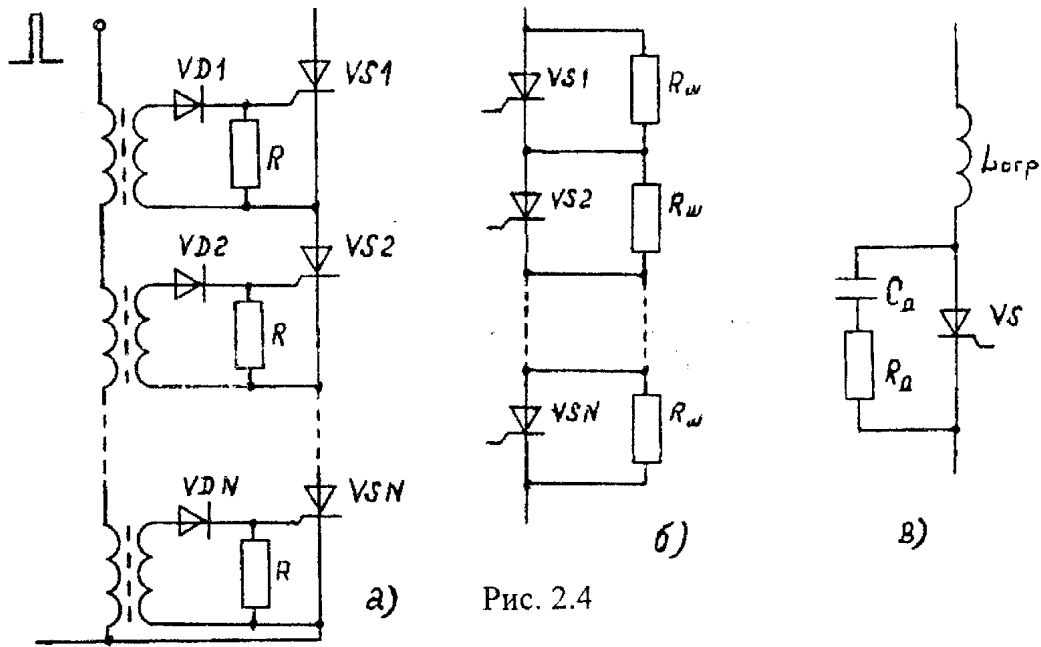


Рис. 2.4

На рис. 2.4,а $R=50—100$ Ом в соответствии с техническими условиями на тиристоры.

На рис. 2.4,б $R_{ш}$ берется из расчета один килоом на вольт обратного напряжения, приходящегося на один тиристор.

На рис. 2.4,в $R_{д}=10—30$ Ом; $C_{д}=0,03—0,1$ мкФ; $L_{огр} \geq \frac{U_{ш}}{dI/dt}$; где $L_{огр}$ в Гн, $\frac{dI}{dt}$ в $\frac{А}{с}$.

В необходимых случаях применяется параллельное соединение тиристоров, при этом необходимо принимать меры по токораспределению между параллельными тиристорами по одной из схем рис. 2.5,а,б.

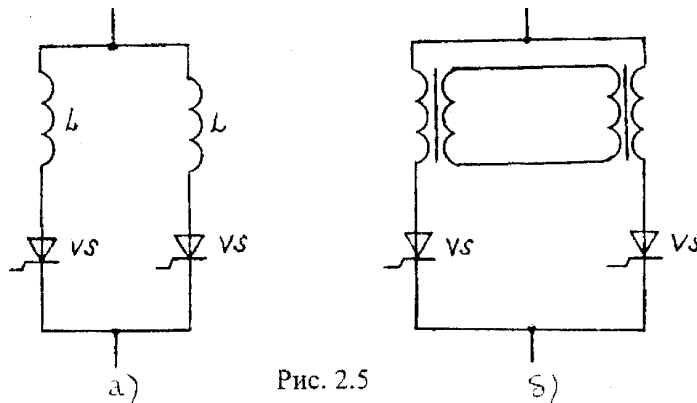


Рис. 2.5

Следует иметь в виду, что и при параллельном, и при последовательном соединениях коэффициент использования тиристоров по напряжению и току снижается до 0,7—0,9 и, по возможности, следует обходиться без применения таких технических решений.

2.3.2.2. Рекомендации по разработке схем блоков управления тиристорных выпрямителей

В современных условиях, при наличии большой номенклатуры цифровых и аналоговых интегральных микросхем (ИМС) различных серий и функциональных назначений, целесообразнее всего разработку блоков управления проводить с их использованием.

Условные обозначения наиболее распространенных цифровых и аналоговых ИМС различного назначения приведены на рис. 2.6,а-и.

Наряду с ИМС применяются такие элементы как маломощные диоды, кремниевые стабилитроны, оптоэлектронные элементы, оптопары и т.п.

Как известно, цифровые ИМС надежнее функционируют от импульсных и пороговых элементов. Такие напряжения получают из напряжения сети с помощью формирующих цепей; с их помощью получают опорные импульсы, жестко связанные по частоте и фазе с напряжением сети, по отношению к опорным импульсам тем или иным способом получают сдвинутые по фазе и сформированные по амплитуде, длительности управляющие импульсы, распределяют по нужному числу каналов, равных числу тиристоров выпрямителя, затем их усиливают по мощности и используют для управления.

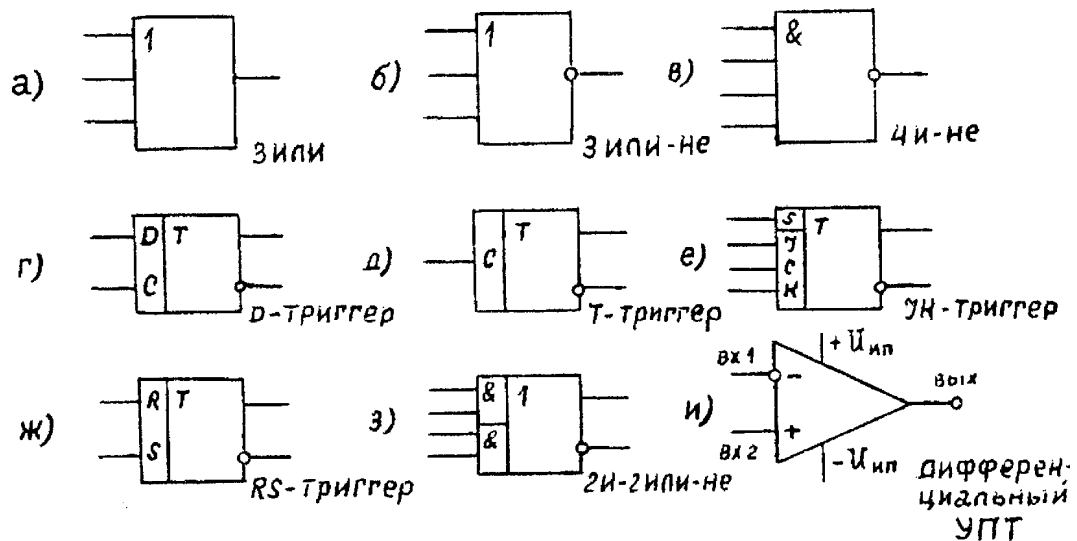


Рис. 2.6

Для получения сдвига импульсов по фазе, а также формированию их по амплитуде и длительности применяют одновибраторы (ждущие мультивибраторы). Схема одновибратора на трех ИМС 2И-НЕ приведена на рис.2.7.

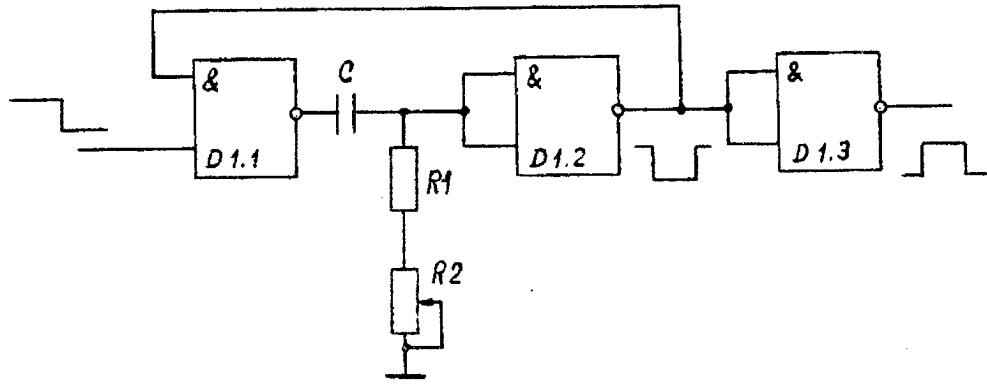


Рис. 2.7

Запуск одновибратора производится отрицательным перепадом напряжения по управляющему входу; длительность “опрокинутого” состояния определяется постоянной времени $(R_1 + R_2)C = \tau$ цепи и может быть фиксированной или плавно изменяться в широких пределах с помощью переменного резистора; на выходе элемента Д 1.2 импульс получается в отрицательной полярности, элемент Д 1.3 работает в режиме инвертора.

Прямоугольные импульсы из синусоидального напряжения сети можно получить с помощью простейшей схемы, изображенной на рис. 2.9.

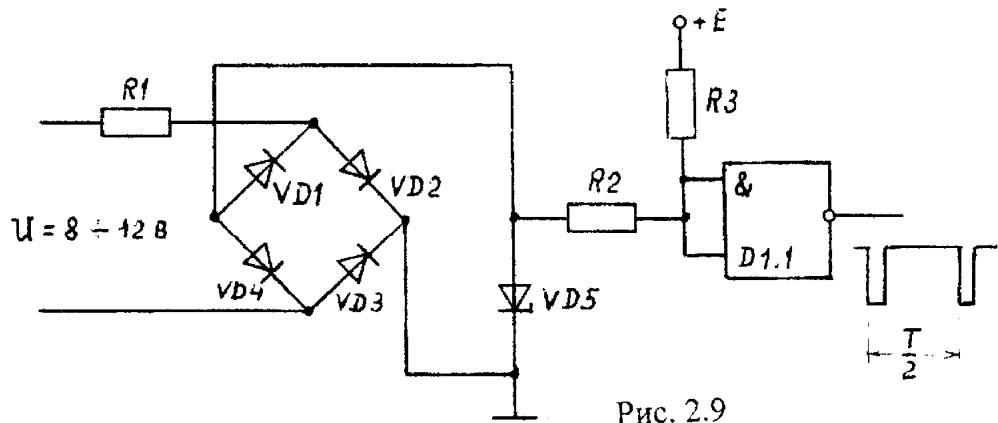


Рис. 2.9

Кремниевый стабилитрон КС (VD5) выбирается на 5—15 В в зависимости от напряжения питания ИМС, величина сопротивления резистора R_1 зависит от тока стабилизации VD5.

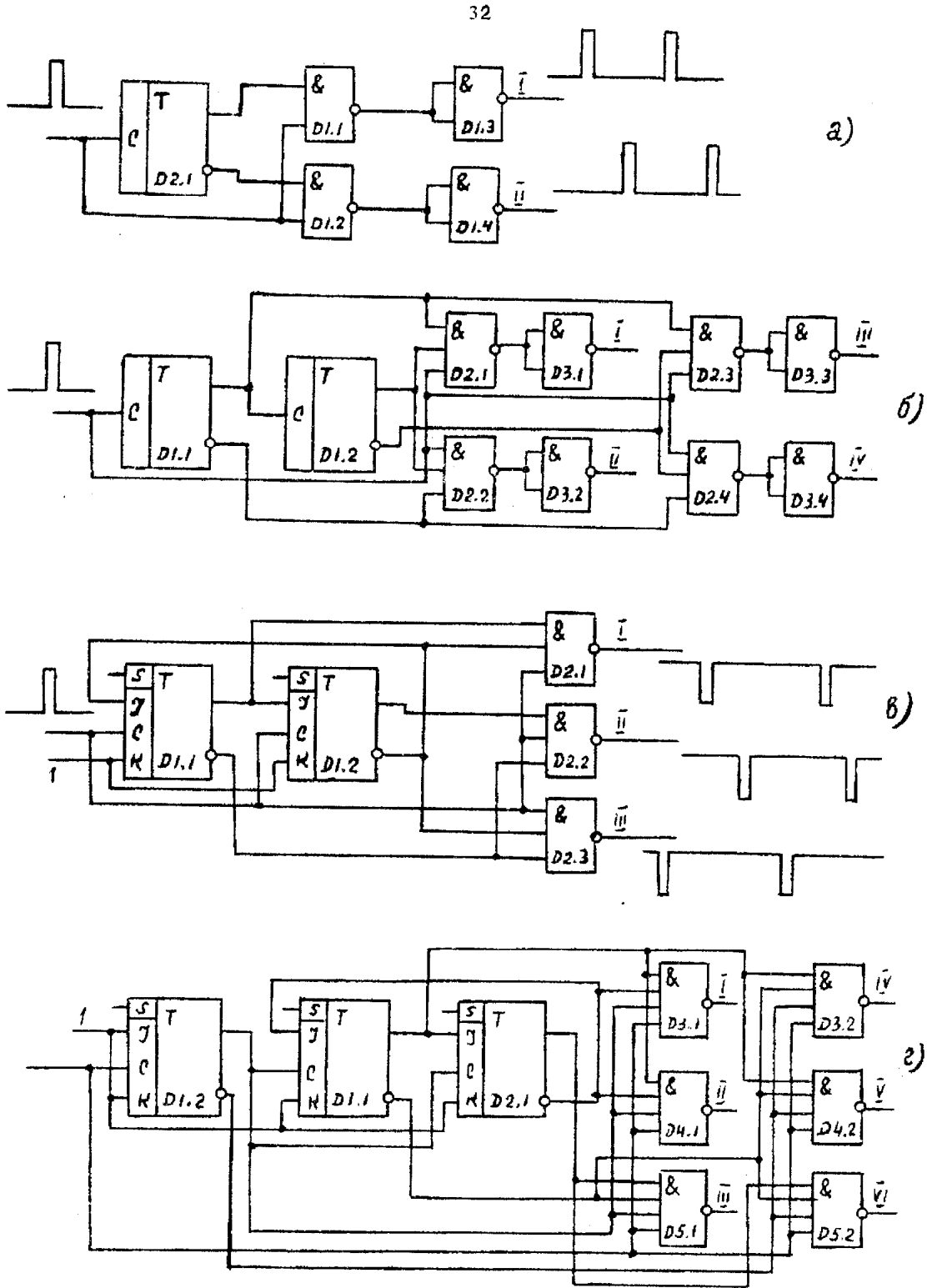


Рис. 2.8

$$R_1 = \frac{U - U_{ст}}{I_{ст}}$$

Резисторы R_2, R_3 выбираются в пределах 1—10 кОм в зависимости от выбранных ИМС.

Распределение импульсов по двум - четырем или трем - шести каналам выполняется по схемам рис.2.8,а-г.

На рис. 2.8, в,г импульсы получены в отрицательной полярности и необходимо поставить инверторы, что на рисунках не изображено для упрощения.

Для присоединения к тиристорам импульс должен быть усилен по мощности до нужной величины, для этой цели используются транзисторные усилители мощности по схеме с общим коллектором — эмиттерные повторители.

Схема такого усилителя приведена на рис. 2.10.

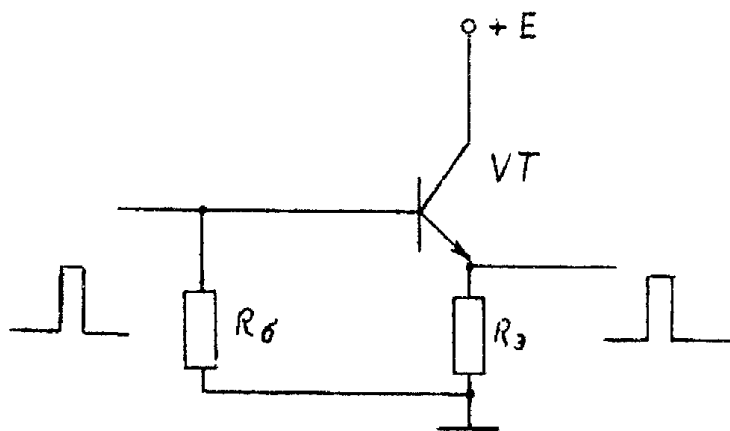


Рис. 2.10

2.3.3. Расчет транзисторного усилителя мощности.

2.3.3.1. Принципиальная электрическая схема трехкаскадного усилителя низкой частоты на биполярных транзисторах типа p-n-p

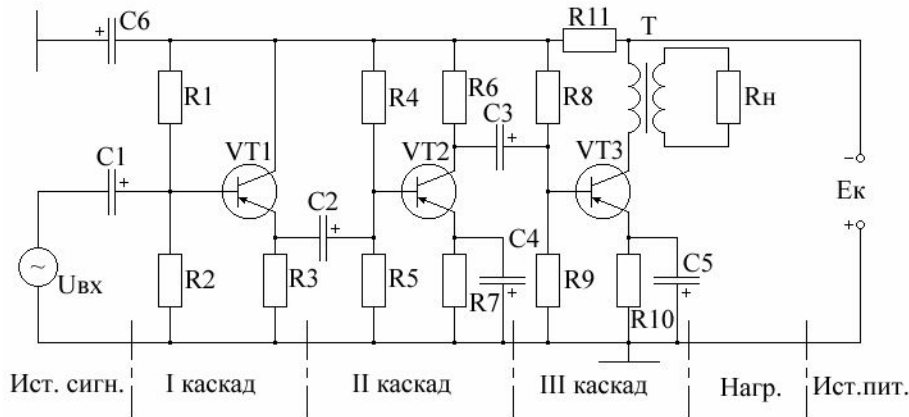


Рис. 3.1

Назначение элементов схемы:

$R1$ и $R2$, $R4$ и $R5$, $R8$ и $R9$ - резисторы, образующие делители напряжения для смещения рабочей точки соответствующих транзисторов.

$R3$, $R6$ - сопротивления нагрузки соответственно первого и второго каскадов.

$R7$, $R10$ - резисторы, создающие последовательную отрицательную обратную связь по постоянному току для стабилизации рабочей точки каскадов (эмиттерная стабилизация).

$R11$, $C6$ - элементы сглаживающего RC-фильтра.

$C1$, $C2$, $C3$ - разделительные конденсаторы, предназначенные для передачи переменных сигналов на входы каскадов; постоянная составляющая напряжения при этом не передается.

$C4$, $C5$ - конденсаторы, шунтирующие резисторы $R7$, $R10$. Этим устраняется отрицательная обратная связь для усиливаемых сигналов и коэффициент усиления усилителя не уменьшается.

T - выходной трансформатор, предназначенный для согласования выходного сопротивления оконечного каскада с сопротивлением нагрузки.

Первый каскад усилителя является входным и выполнен на транзисторе с общим коллектором (эмиттерный повторитель). Такой каскад обладает высоким входным сопротивлением, низким выходным сопротивлением и наименьшими искажениями всех видов, но коэффициент усиления по напряжению у него меньше единицы.

Второй каскад выполнен по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Основное назначение его - усиление напряжения. Одновременно он является предоконечным каскадом и поэтому должен обеспечить необходимую мощность для работы оконечного каскада.

Третий, выходной каскад - усилитель мощности с трансформаторным выходом, предназначен для выделения необходимой мощности сигнала в сопротивлении нагрузки.

Расчет многокаскадного усилителя производят от выхода к входу.

2.3.3.2. Графический расчет однотактного выходного каскада мощного усиления в

режиме А.

В усилителях мощности при условии максимального использования транзистора по мощности, действующие сигналы велики и охватывают большую часть рабочих участков характеристик. Из-за нелинейности последних аналитические методы расчета дают большие погрешности и поэтому применяют графический метод. Этот метод обладает большой наглядностью, и овладение им позволяет глубже понять принцип действия транзисторных усилителей.

В работе требуется рассчитать каскад мощного усиления при условии получения максимальной мощности и минимальных нелинейных искажений в нагрузке R_H , выполненный по схеме рис.3.2.

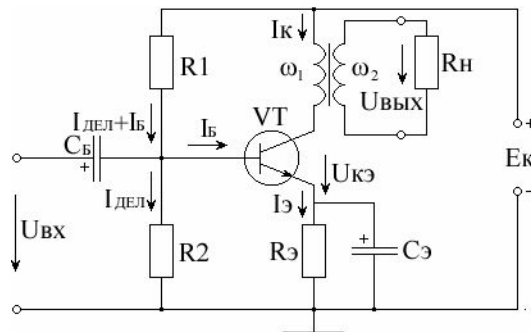


Рис. 3.2

Заданы тип транзистора, допустимая мощность рассеяния на коллекторе $P_{K \max}$ и сопротивление нагрузки R_H . Данные для расчета приведены в таблице 2.4. Характеристики и справочные данные некоторых транзисторов даны в приложении 1.

2.3.3.2.1. На семействе выходных характеристик (рис. 3.3) транзистора проводят линию допустимой мощности по значению $P_{K \max}$. Для этого задаются 5 - 6 значениями U_{Ki} (в пределах от 0 до $U_{KЭ \max}$), находят соответствующие им токи

$$I_{Ki} = \frac{P_{K \max}}{U_{Ki}}$$

и строят кривую 1.

2.3.3.2.2. Проводят линию нагрузки АВ, которая является графическим выражением уравнения динамической выходной характеристики усилительного каскада

$$U_{KЭ} = E - IR_{K\sim} \quad \text{или} \quad I_K = \frac{E - U_{KЭ}}{R_{K\sim}}.$$

При этом руководствуются следующими соображениями. Линия АВ должна быть касательной или несколько смещена влево-вниз от кривой допустимой мощности.

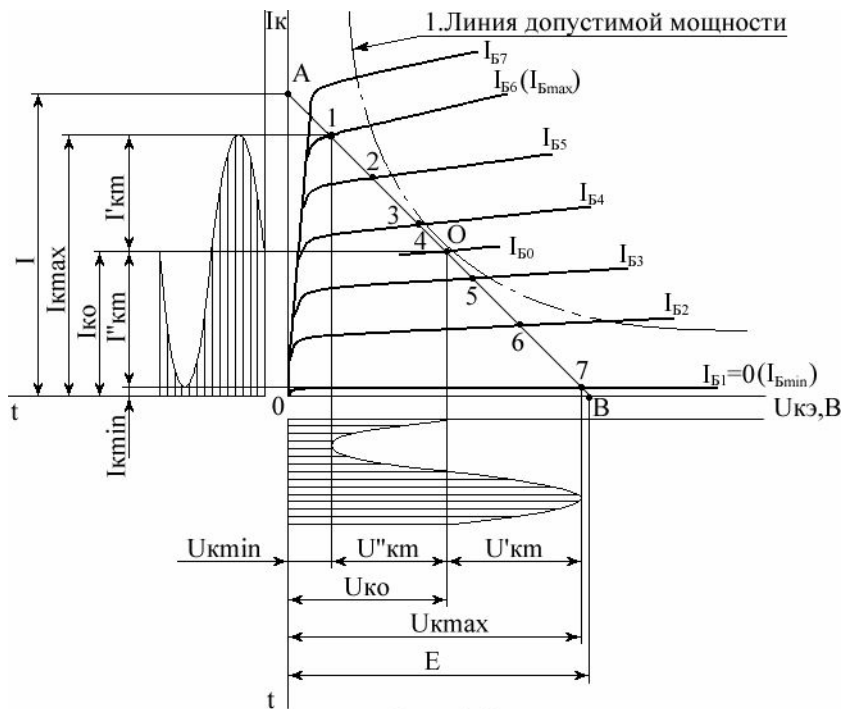


Рис. 3.3

(Это требование вытекает из условия отдачи максимальной мощности). Отрезки 1-4 и 4-7 должны быть примерно равны между собой, что соответствует меньшим нелинейным искажениям. Это может быть только в том случае, если точка 1 не выходит на нелинейные участки характеристик.

2.3.3.2.3. Определяют сопротивление коллекторной нагрузки переменному току

$$R_{k\sim} = \frac{E}{I}$$

где E и I - значения напряжения и тока, определяемые точками пересечения линии нагрузки с осями координат на рис.3.3.

2.3.3.2.4. Определяют рабочую точку 0 на линии нагрузки

$$I_{B0} = \frac{I_{Bmax} + I_{Bmin}}{2},$$

где I_{Bmax} и I_{Bmin} - токи базы, соответствующие выходным характеристикам, на которых находятся точки 1 и 7. Рабочую точку 0 отмечают на пересечении линий нагрузки с выходной характеристикой для I_{B0} . Если такой характеристики нет, то ее проводят усредненно, как показано на рис.3.3.

2.3.3.2.5. Режим покоя транзисторов (входной сигнал отсутствует) определяется рабочей точкой 0. По графику рис.3.3 находят постоянные составляющие тока коллектора I_{K0} и напряжения на коллекторе U_{K0} . Мощность покоя, потребляемая от источника питания и рассеиваемая на коллекторе:

$$P_{K0} = I_{K0}U_{K0}.$$

Ток смещения базы I_{B0} был найден ранее. Напряжение смещения базы U_{B0} будет найдено в п. 2.3.3.2.8.

2.3.3.2.6. Находят напряжение источника питания E_K . Для этого задаются значениями падения напряжения на сопротивлении r_1 первичной обмотки трансформатора и сопротивлении $R_{\mathcal{E}}$ эмиттерной стабилизации, равными $0.1 E_K$. Тогда $E_K = \frac{U_{K0}}{0.8}$

Сопротивление эмиттерной стабилизации

$$R_{\mathcal{E}} = \frac{U_{\mathcal{E}}}{I_{\mathcal{E}0}},$$

где $I_{\mathcal{E}0} = I_{K0} + I_{B0} \approx I_{K0}$, $U_{\mathcal{E}} = 0.1 E_K$.

2.3.3.2.7. Определяют из рис.3.3 амплитуды переменных сигналов.

Амплитуда тока базы

$$I_{Bm} = \frac{I_{B \max} - I_{B \min}}{2}.$$

Амплитуда тока коллектора

$$I_{Km} = \frac{I'_{Km} + I''_{Km}}{2} = \frac{I_{K \max} - I_{K \min}}{2}.$$

Амплитуда напряжения на коллекторе

$$U_{Km} = \frac{U'_{Km} + U''_{Km}}{2} = \frac{U_{K \max} - U_{K \min}}{2}.$$

Мощность переменного сигнала на выходе

$$P_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{2} I_{Km} U_{Km}$$

Заштрихованные участки на рис.3.3 показывают, как изменяются ток коллектора и напряжение $U_{K\mathcal{E}}$ транзистора за период сигнала.

2.3.3.2.8. По входной характеристике транзистора (рис.3.4) определяют напряжение смещения базы U_{B0} , амплитуду входного напряжения $U_{Bm} = U_{\text{ВХ}m}$, мощность входного сигнала $P_{\text{ВХ}}$ и входное сопротивление транзистора $R_{\text{ВХ}}$.

Для этого на входную характеристику переносят точки 1...7, соответствующие токам базы от $I_B=0$ до $I_B = I_{B \max}$. Строят графики входных сигналов $i_B(t)$ и $u_B(t) = u_{\text{ВХ}}(t)$. Заштрихованные площади показывают, как изменяются ток в цепи базы и напряжение $U_{B\mathcal{E}}$.

Напряжение смещения базы - U_{B0} .

Амплитуда входного сигнала

$$U_{\text{ВХ}m} = U_{Bm} = \frac{U'_{Bm} + U''_{Bm}}{2} = \frac{U_{B \max} - U_{B \min}}{2}.$$

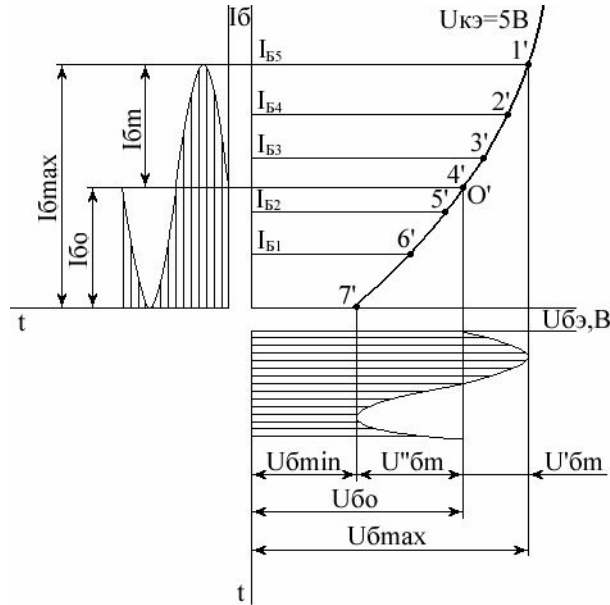


Рис. 3.4

Мощность входного сигнала, которую должен обеспечить предоконечный каскад на транзисторе VT2 (рис.3.1).

$$P_{BX} = \frac{1}{2} I_{\text{Бм}} U_{\text{Бм}}.$$

Входное сопротивление транзистора переменному току за период сигнала

$$R_{BX \text{ ОЭ}} = \frac{U_{BXm}}{I_{BXm}}.$$

2.3.3.2.9. Определяют коэффициенты усиления каскада.

По току

$$K_I = \frac{I_{Km}}{I_{\text{Бм}}}.$$

По напряжению

$$K_U = \frac{U_{Km}}{U_{\text{Бм}}}.$$

По мощности

$$K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = K_I K_U.$$

2.3.3.2.10. Сопротивления делителя рассчитывают по формулам:

$$R_2 = \frac{U_{\text{Б0}} + U_{\text{Э}}}{I_{\text{Д}}}; \quad R_1 = \frac{E_{\text{К}} - U_{\text{Б0}} - U_{\text{Э}}}{I_{\text{Д}} + I_{\text{Б0}}}.$$

где $U_{\text{Б0}}$ и $I_{\text{Б0}}$ - напряжение смещения и ток базы, взятые для рабочей точки 0 (рис.3.4); $I_{\text{Д}}$ - ток делителя; $U_{\text{Э}}$ - падение напряжения на $R_{\text{Э}}$.

Величину $I_{\text{Д}}$ обычно выбирают в пределах $(1...5) I_{\text{Б0}}$ в зависимости от мощности и режима работы транзистора. Увеличение $I_{\text{Д}}$ повышает стабильность работы каскада, но при этом увеличивается потребляемая мощность.

2.3.3.2.11. Для определения коэффициента нелинейных искажений (коэффициента гармоник K_G) необходимо построить сквозную динамическую характеристику переменного тока, представляющую собой зависимость выходного тока от ЭДС источника сигнала: $I_{ВЫХ} = I_K = f(U_{ИСТ})$. Для ее построения вычисляют для точек пересечения (1...7) нагрузочной прямой со статическими выходными характеристиками значения ЭДС источника сигнала $U_{ИСТ}$ входной цепи по выражению:

$$U_{ИСТ} = U_{ВХ} + I_{ВХ} R_{ИСТ},$$

где $R_{ИСТ} = \frac{R_{КПРЕД} R_D}{R_{КПРЕД} + R_D}$ - внутреннее сопротивление источника сигнала переменному току;

$$R_D = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \text{ т.к. для переменного тока } R1 \text{ и } R2 \text{ включены параллельно;}$$

$R_{КПРЕД}$ принимаем произвольно (т.к. не производим расчета предоконечного каскада) равным 1 кОм (оно также включено параллельно с R_D для переменного тока); $U_{ВХ} = U_B$ и $I_{ВХ} = I_B$ - входное напряжение и входной ток для взятых точек пересечения (рис.3.4).

Для указанных точек (1...7) значения $I_{ВЫХ} = I_K$ определяют по выходным характеристикам (рис.3.3). По значениям $U_{ИСТ}$ и $I_{ВЫХ}$ строят сквозную динамическую характеристику каскада (рис.3.5).

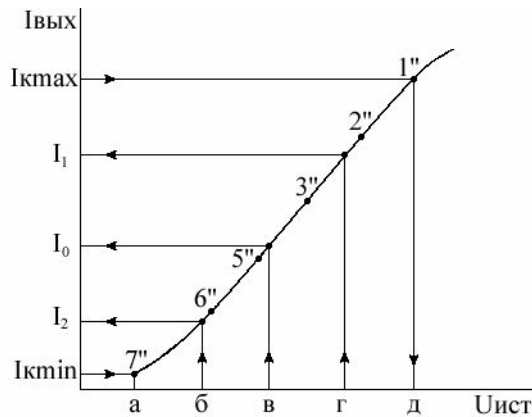


Рис. 3.5

Для расчета K_G применяют метод пяти ординат. Для этого две крайние точки сквозной динамической характеристики, соответствующие $I_{K\min}$ и $I_{K\max}$, проектируют на горизонтальную ось (отрезок $ад$, рис.3.5). Разделив этот отрезок на четыре равные части, находят точки I_1 , I_0 , I_2 , соответствующие точкам $б$, $в$, $г$. После этого вычисляют амплитуды первой, второй, третьей и четвертой гармоник выходного тока и его среднее значение по формулам:

$$I_{1m} = \frac{I_{\max} - I_{\min} + I_1 - I_2}{3},$$

$$I_{2m} = \frac{I_{\max} + I_{\min} - 2I_0}{4},$$

$$I_{3m} = \frac{I_{\max} - I_{\min} - 2(I_1 - I_2)}{6},$$

$$I_{4m} = \frac{I_{\max} + I_{\min} - 4(I_1 + I_2) + 6I_0}{12},$$

$$I_{CP} = \frac{I_{\max} + I_{\min} + 2(I_1 + I_2)}{6}.$$

Правильность вычисления найденных токов можно проверить по выражению:

$$I_{1m} + I_{2m} + I_{3m} + I_{4m} + I_{CP} = I_{\max}.$$

Коэффициент гармоник определяют по формуле

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{I_{2m}^2 + I_{3m}^2 + I_{4m}^2}}{I_{1m}} \cdot 100\%.$$

Проанализируйте полученное значение K_{Γ} и укажите пути уменьшения его.

2.3.3.2.12. Сопротивление емкости $C_{\mathcal{C}}$ на частоте сигнала должно быть в 10...15 раз меньше $R_{\mathcal{C}}$.

$$C_{\mathcal{C}} = \frac{(10...15) \cdot 10^6}{2\pi f_{\mathcal{C}} R_{\mathcal{C}}}, \text{ мкФ.}$$

Для расчетов возьмите $f_{\mathcal{C}} = 1000$ Гц.

2.3.3.2.13. Емкость разделительного конденсатора

$$C_{\mathcal{B}} = \frac{0.16 \cdot 10^6}{f_{\mathcal{C}} (R_{\text{ВЫХ}} + R_{\text{ВХ.СЛ}})}, \text{ мкФ,}$$

$$R_{\text{ВЫХ}} + R_{\text{ВХ.СЛ}} = R_{\text{КПРЕД}} + \frac{R_{\text{ВХ}} R_{\mathcal{D}}}{R_{\text{ВХ}} + R_{\mathcal{D}}}.$$

Принимаем $R_{\text{КПРЕД}} = 1$ кОм, $R_{\mathcal{D}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

2.3.3.2.14. Коэффициент полезного действия каскада в режиме А не превышает 50%:

$$\eta_A = \frac{P_{\sim}}{P_0} \cdot 100\%,$$

где $P_0 = E_K I_{\mathcal{C}0} + I_{\mathcal{D}}^2 (R_1 + R_2)$ - подводимая от источника мощность;

$P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{K_m} U_{K_m}$ - мощность, отдаваемая каскадом в нагрузку.

2.3.3.2.15. Коэффициент трансформации выходного (согласующего) трансформатора определяют по формуле:

$$n = \sqrt{\frac{R_{K_{\sim}}}{\eta_T R_H}},$$

где $\eta_T = 0.7...0.93$ - КПД выходного трансформатора, зависящий от мощности и условий работы.

2.3.3.2.16. Необходимую поверхность охлаждения радиатора $S_{\text{ОХЛ}}$ определяют по приближенной формуле:

$$S_{OХЛ} = \frac{1200...1500}{\frac{T_{П\max} - T_{ОКР.\max}}{P} - R_{ТТ}}, \text{ см}^2$$

где $S_{OХЛ}$ - вся поверхность радиатора с обеих сторон;

$T_{П\max}$ - максимальная температура коллекторного перехода (из справочника);

$T_{ОКР.\max}$ - максимально возможная температура окружающей среды, °С (для расчета возьмите $T_{ОКР.\max} = 50^\circ\text{C}$);

$R_{ТТ}$ - тепловое сопротивление транзистора, °С/Вт (из справочника);

$P = P_{K0} + P_{B0} = I_{K0}U_{K0} + I_{B0}U_{B0}$ - мощность, выделяемая в транзисторе, Вт.

2.3.3.3. Аналитический расчет усилительного каскада.

Осуществляют с помощью малосигнальных h -параметров. Транзистор в условиях малого сигнала можно рассматривать как линейный активный четырехполюсник, для которого справедливы зависимости:

$$U_B = h_{11}I_B + h_{12}U_K,$$

$$I_K = h_{21}I_B + h_{22}U_K,$$

h -параметры могут быть определены по характеристикам транзистора (рис.3.6).

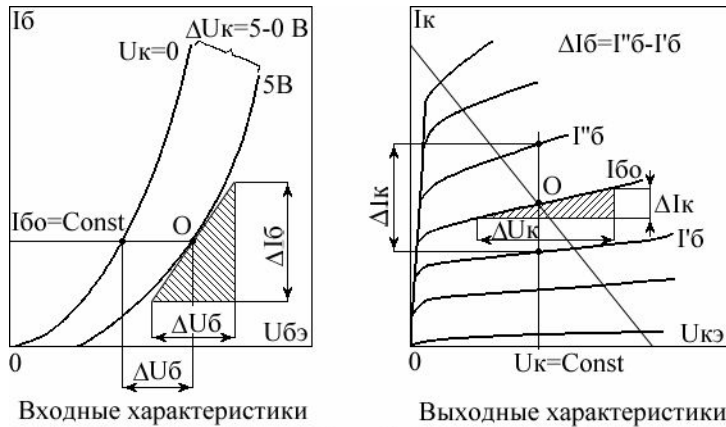


Рис. 3.6

По входным характеристикам в рабочей точке 0 находят:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B}, \text{ при } U_K = const - \text{входное сопротивление, Ом};$$

$$h_{12} = \frac{\Delta U_B}{\Delta U_K} \text{ при } I_B = const - \text{коэффициент обратной связи по напряжению};$$

По выходным характеристикам в рабочей точке 0:

$$h_{21} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \text{ при } U_K = const - \text{статический коэффициент усиления по току, } h_{21} = \beta;$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_K} \text{ при } I_B = const - \text{выходная проводимость.}$$

Учитывая, что безразмерный параметр h_{12} для транзистора, включенного по схеме с ОЭ, мал, на практике применяют $h_{12} = 0$.

На рис.3.7 приведена упрощенная схема замещения усилительного каскада, по которой рассчитывают значения сопротивлений и коэффициентов усиления.

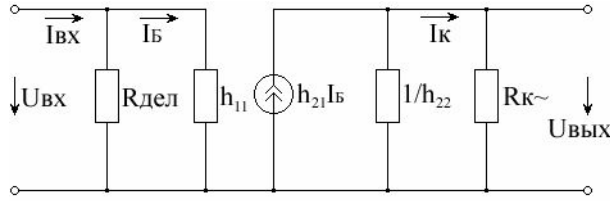


Рис. 3.7

Входное сопротивление каскада

$$R_{BX} = \frac{R_D h_{11}}{R_D + h_{11}}.$$

Выходное сопротивление каскада

$$R_{ВЫХ} = \frac{R_{K\sim}}{1 + R_{K\sim} h_{22}}.$$

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{h_{21} R_{K\sim}}{h_{11} (1 + R_{K\sim} h_{22})}.$$

Коэффициент усиления по току

$$K_I = \frac{I_{ВЫХ}}{I_{ВХ}} = \frac{h_{21} R_D}{(R_D + h_{11})(1 + R_{K\sim} h_{22})}.$$

Коэффициент усиления по мощности

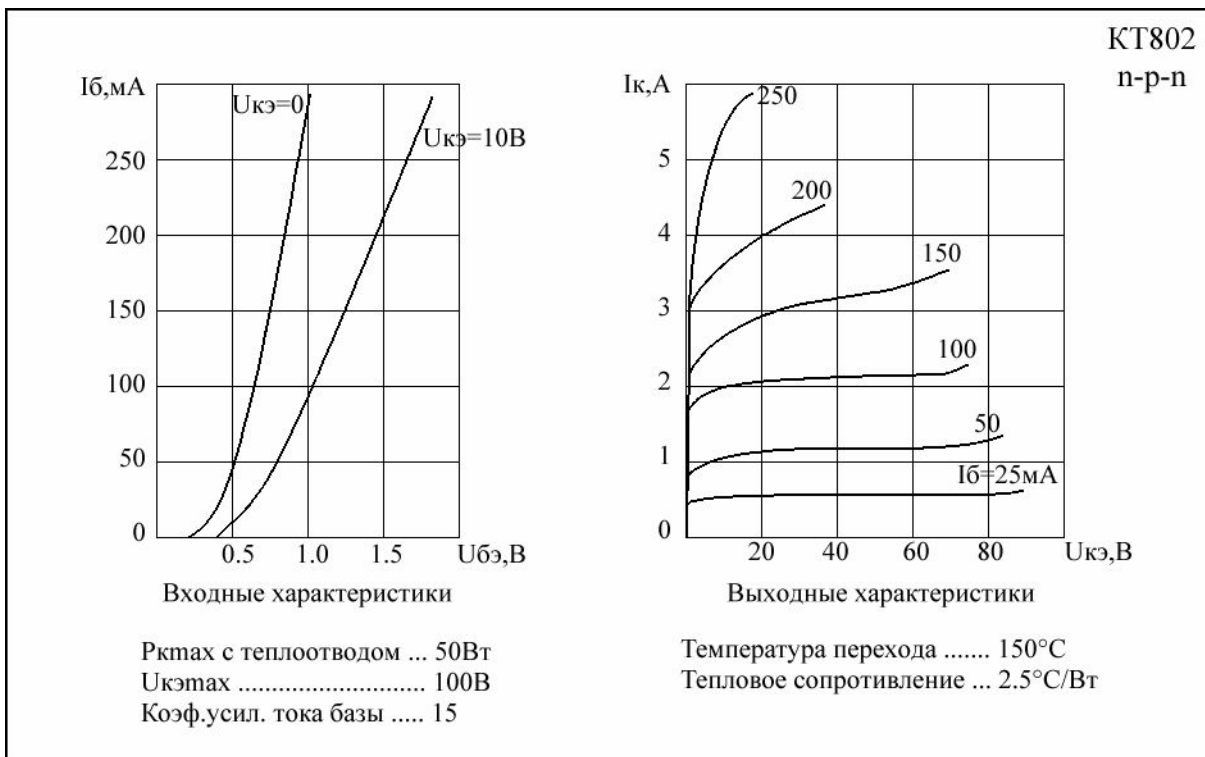
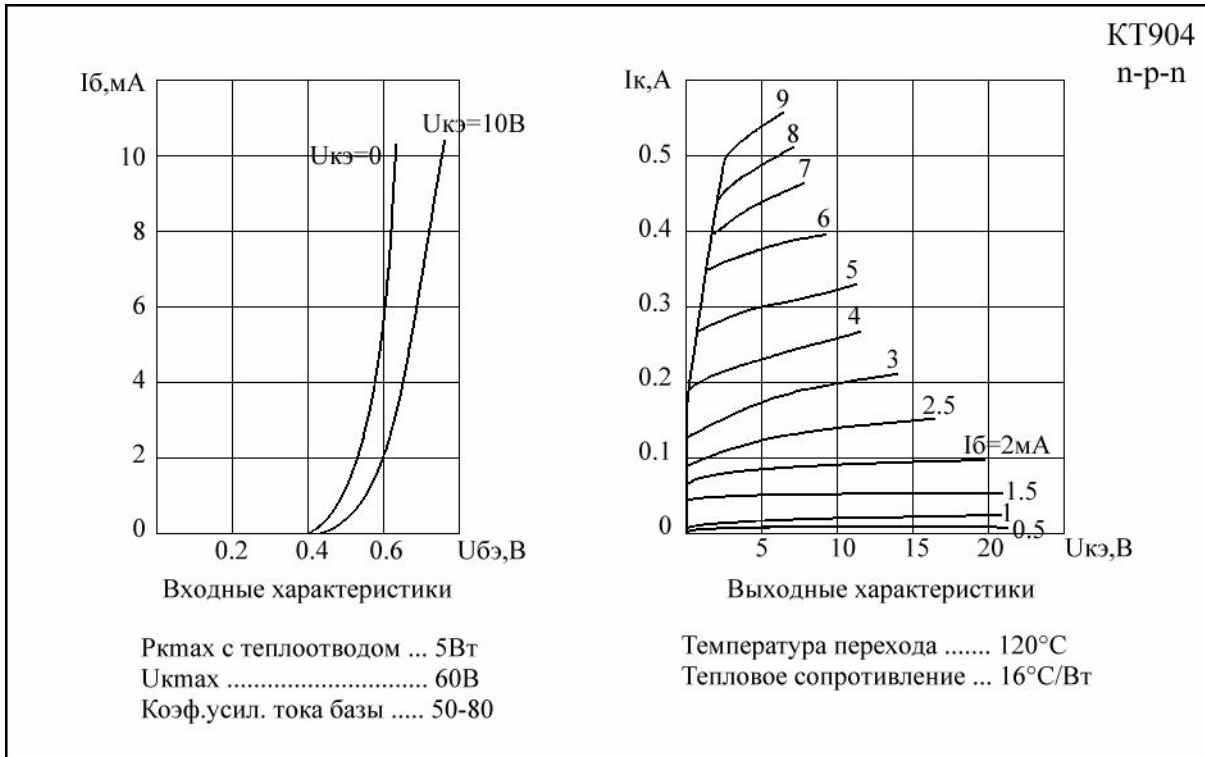
$$K_P = K_U K_I.$$

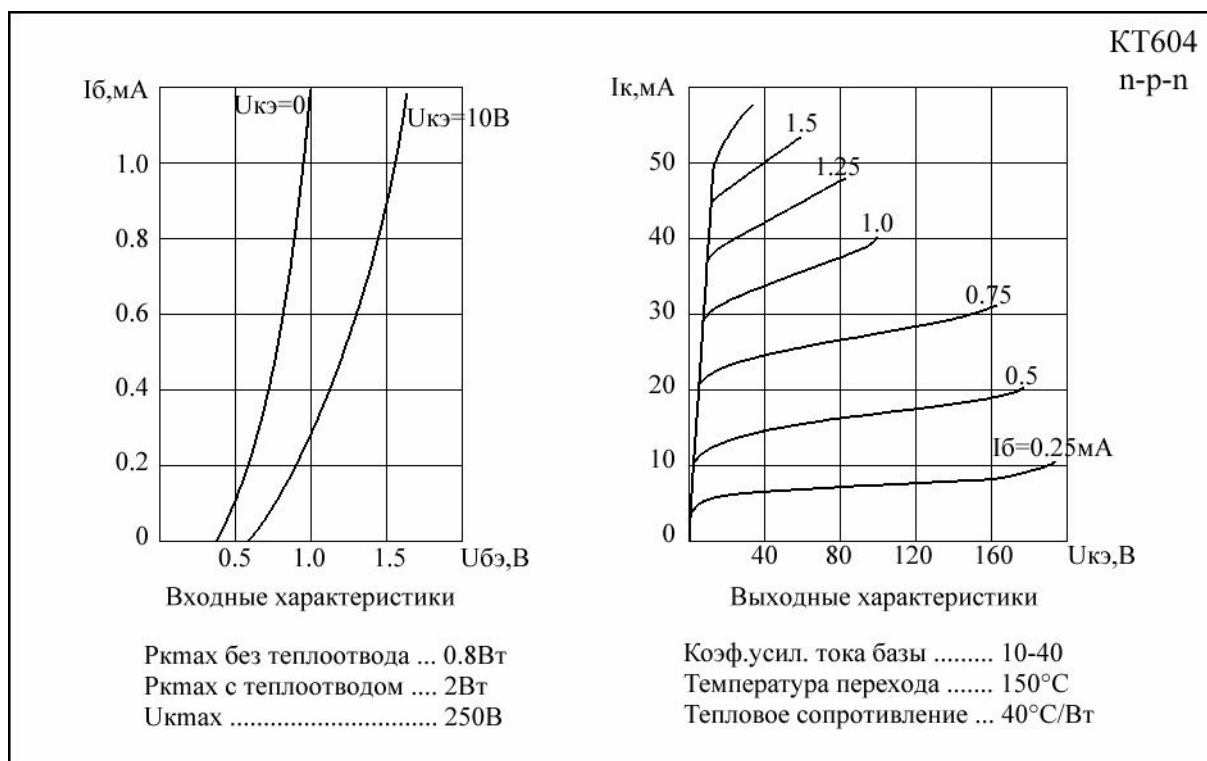
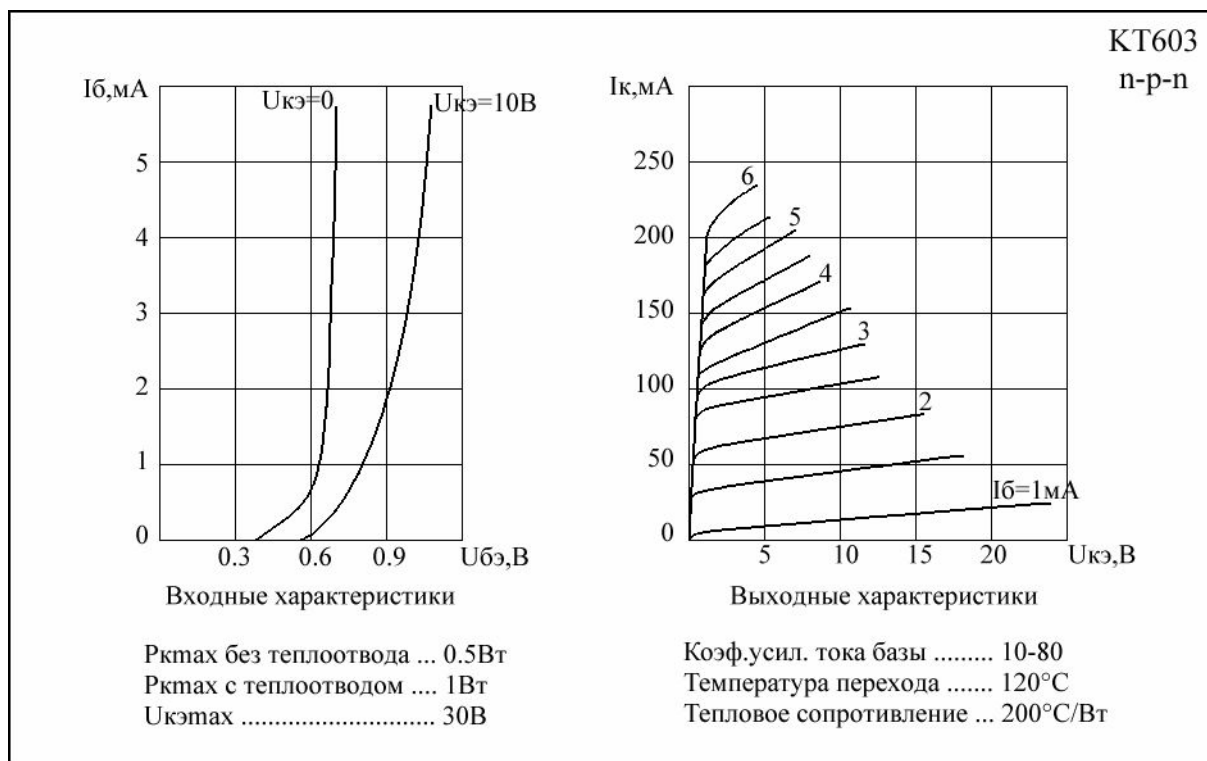
Сравните параметры усилительного каскада, полученные в п.3, с результатами графического расчета и объясните имеющиеся расхождения.

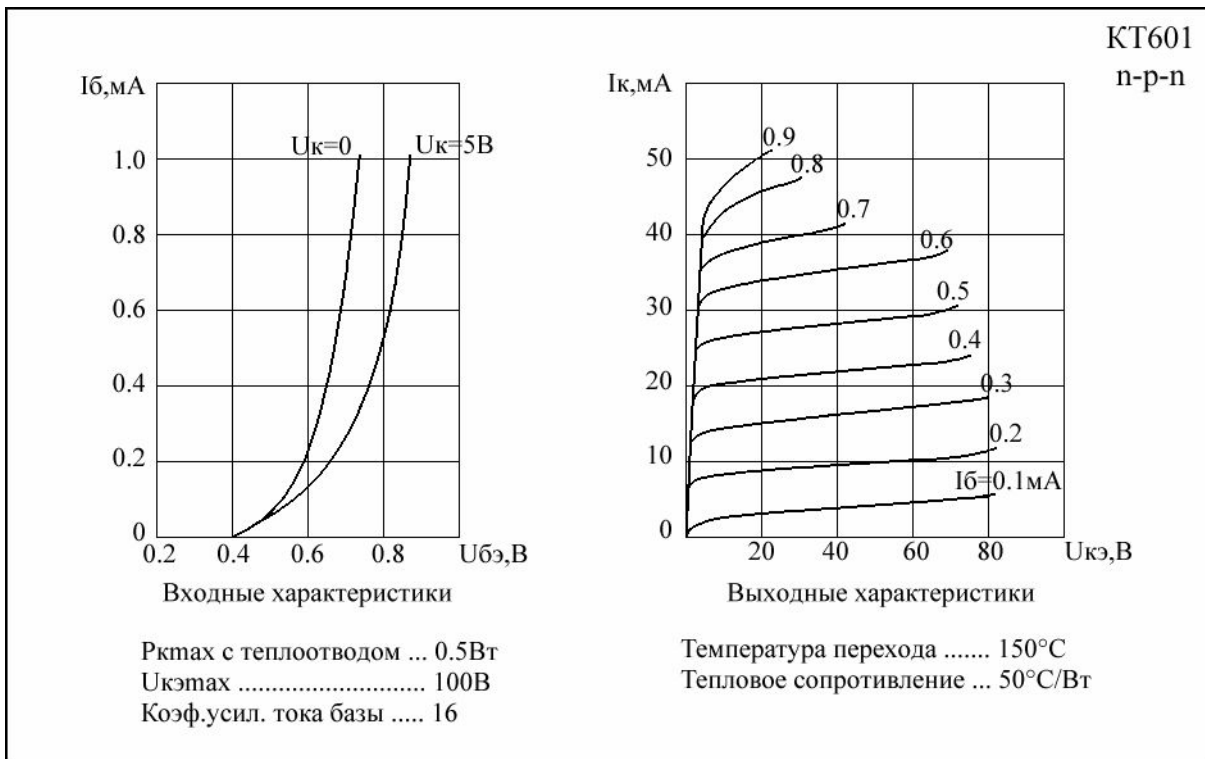
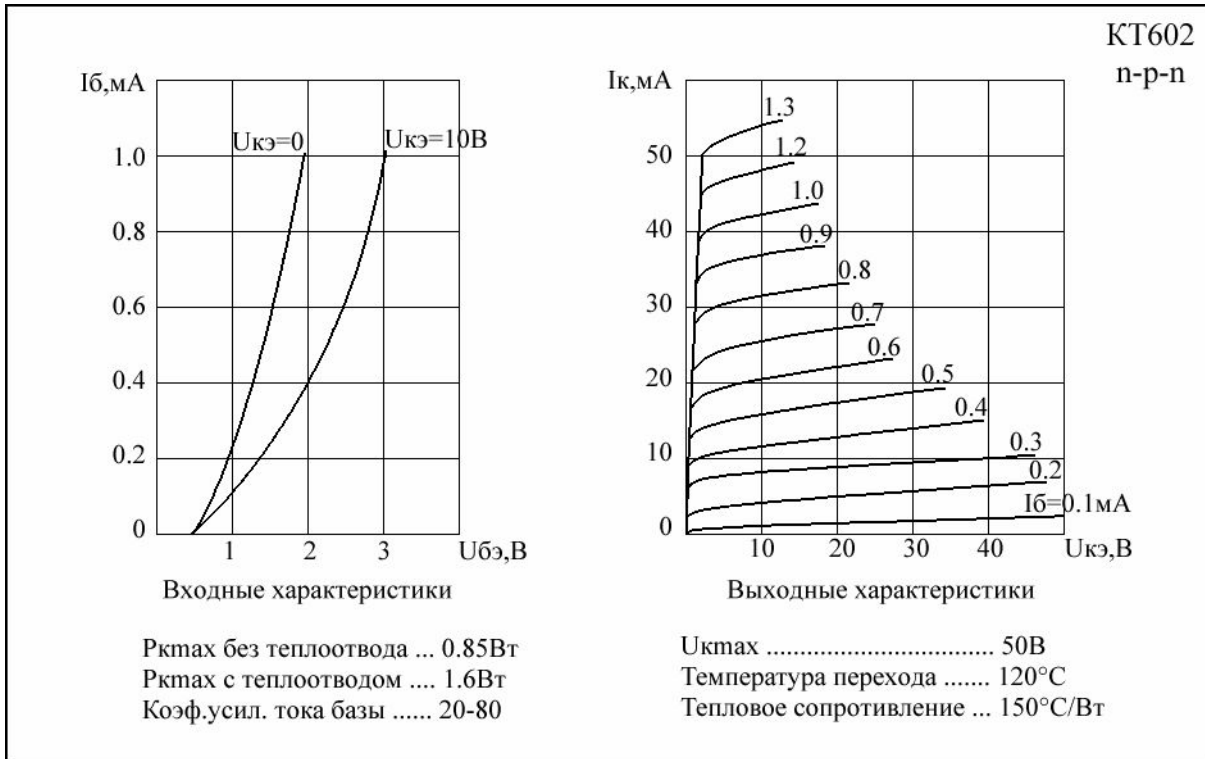
2.3.3.4. Данные для выполнения КР 2.3.3 берутся из таблицы 2.4.

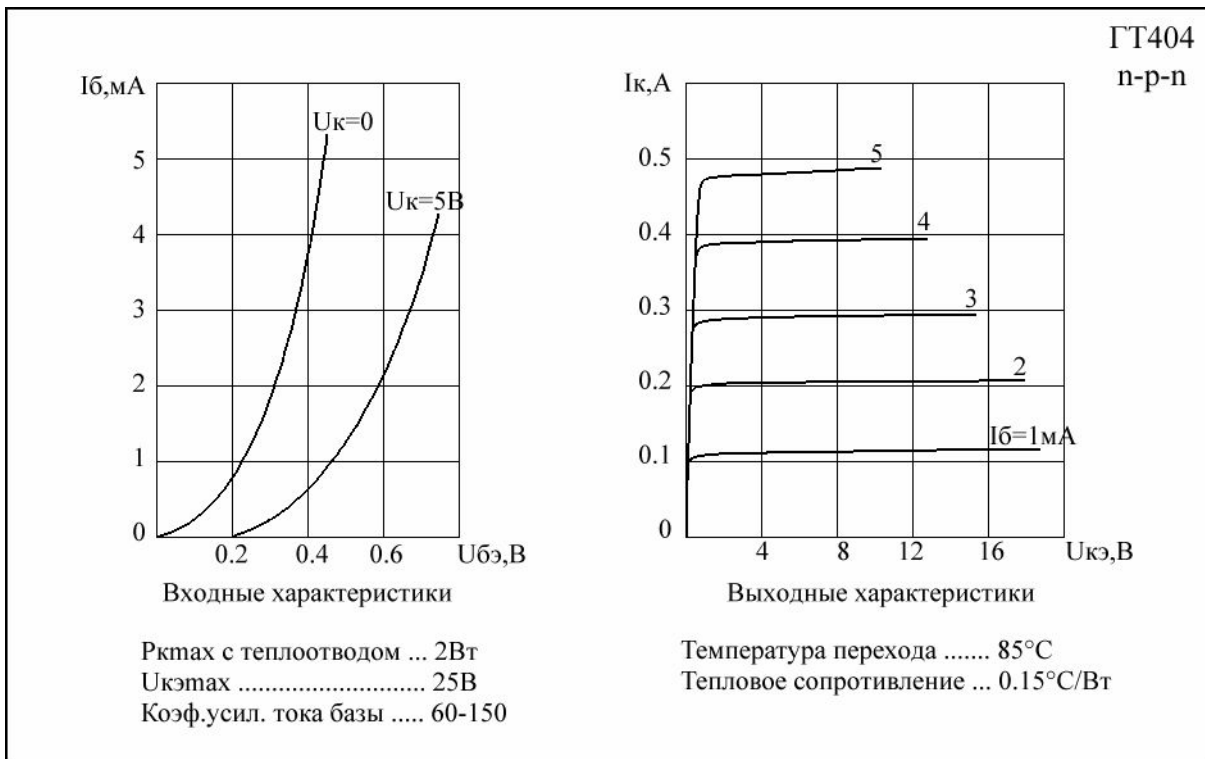
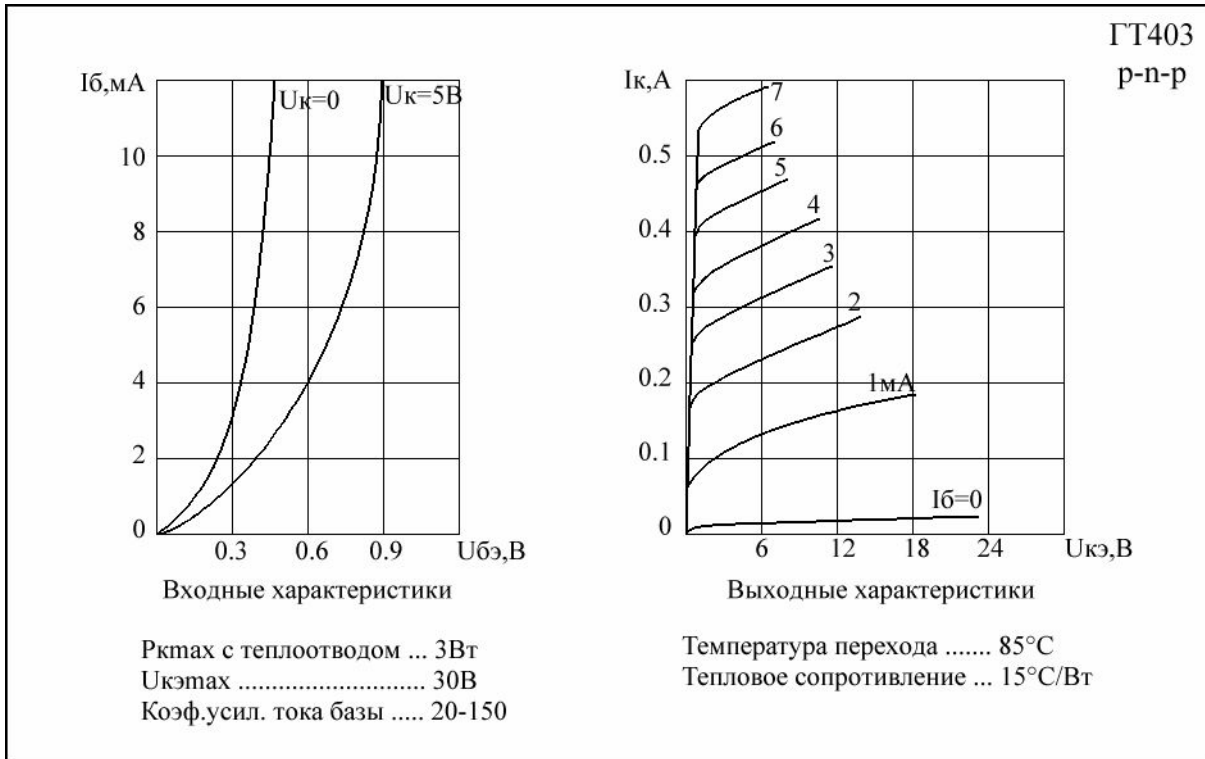
Таблица 2.4

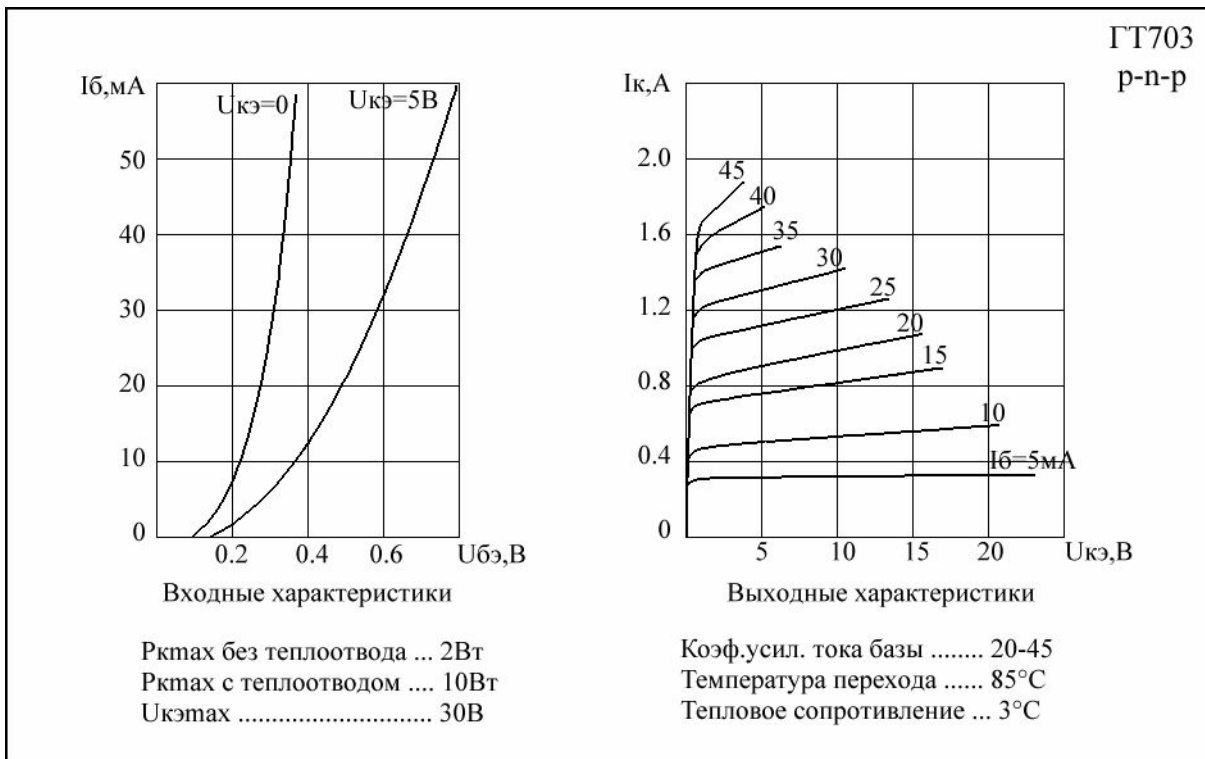
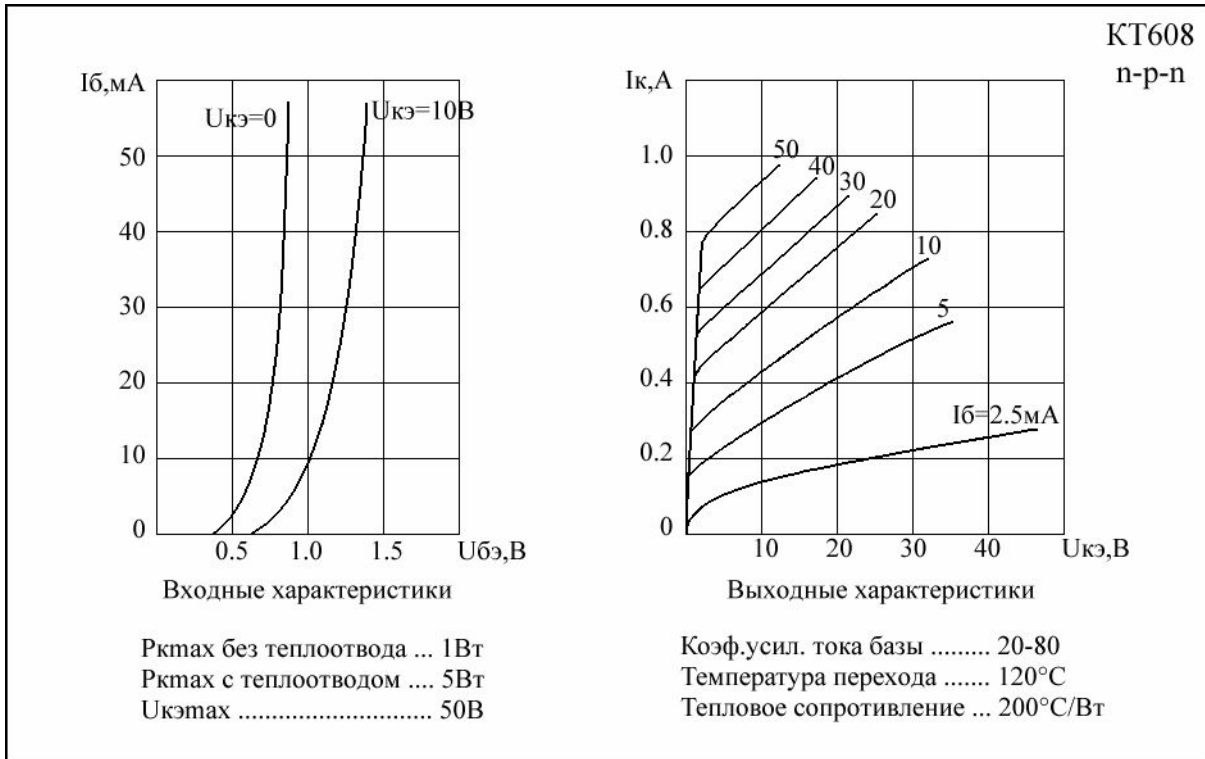
№ вар.	Транзистор		Нагрузка $R_{н}, \text{ Ом}$		№ вар.	Транзистор		Нагрузка $R_{н}, \text{ Ом}$
	тип	$P_{к \text{ max}}$				тип	$P_{к \text{ max}}$	
00	КТ904	4	0,5		25	КТ314	0,8	100
01	КТ802	100	1,0		26	П701	12	150
02	КТ603	1	2,0		27	П609	1,2	300
03	КТ604	2	4,0		28	ГТ403	1,8	5000
04	КТ602	0,5	3,0		29	КТ904	2	500
05	КТ601	1,0	0,5		30	КТ802	60	1000
06	ГТ403	3,0	5		31	КТ603	0,5	2000
07	ГТ404	4,0	1000		32	КТ604	1,0	4000
08	КТ608	10,0	6000		33	КТ602	0,3	3000
09	ГТ703	10,0	8000		34	КТ601	0,6	5000
10	1Т403	5,0	5000		35	ГТ404	2,4	10
11	КТ314	1,0	1000		36	КТ608	6,0	6
12	П701	15	1500		37	ГТ703	6,0	8
13	П609	1,5	3000		38	1Т403	3,0	5
14	ГТ403	2,4	500		39	КТ314	0,6	10
15	КТ904	3	50		40	П701	10	15
16	КТ802	80	100		41	П609	1,0	30
17	КТ603	0,75	200		42	КТ601	0,5	5,0
18	КТ604	1,5	400		43	ГТ404	1,6	1,0
19	КТ602	0,4	300		44	ГТ703	4,0	0,8
20	КТ601	0,8	500		45	1Т403	2,0	0,5
21	ГТ404	3,2	100		46	КТ314	0,5	1,0
22	КТ608	8,0	600		47	П701	7,5	1,5
23	ГТ703	8,0	800		48	П609	0,75	3,0
24	1Т403	4,0	500		49	КТ904	1,5	0,5

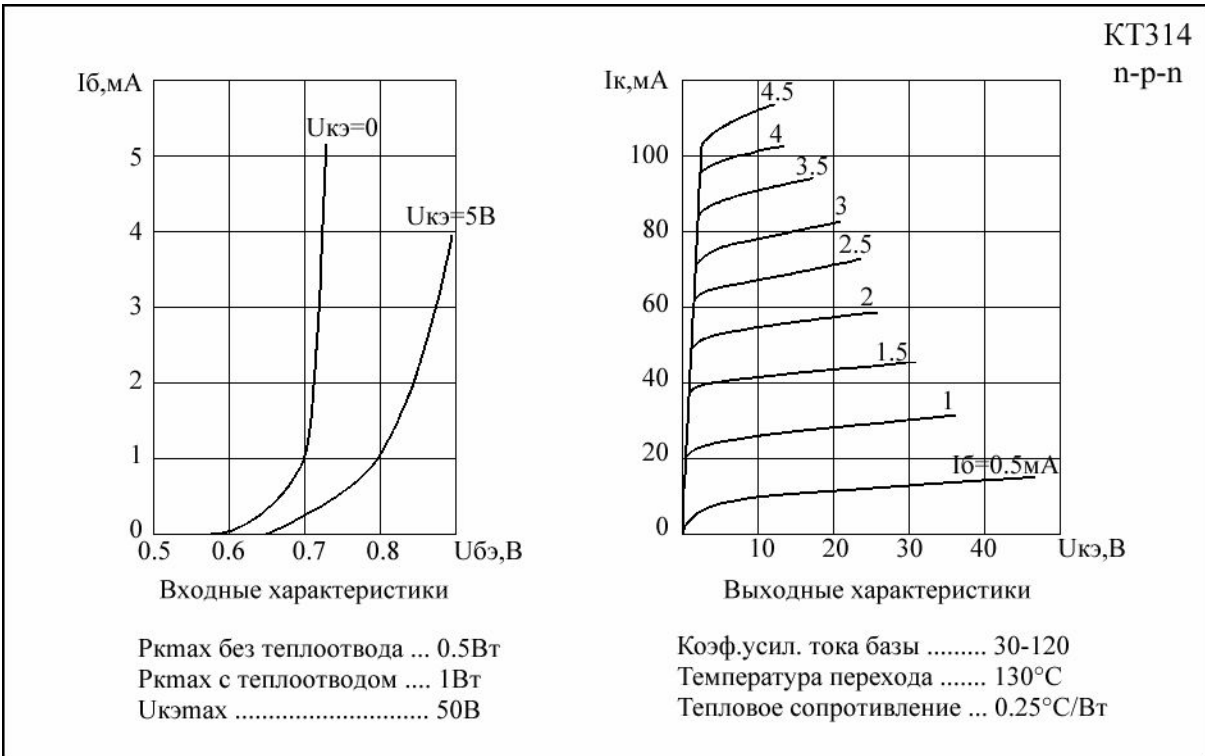
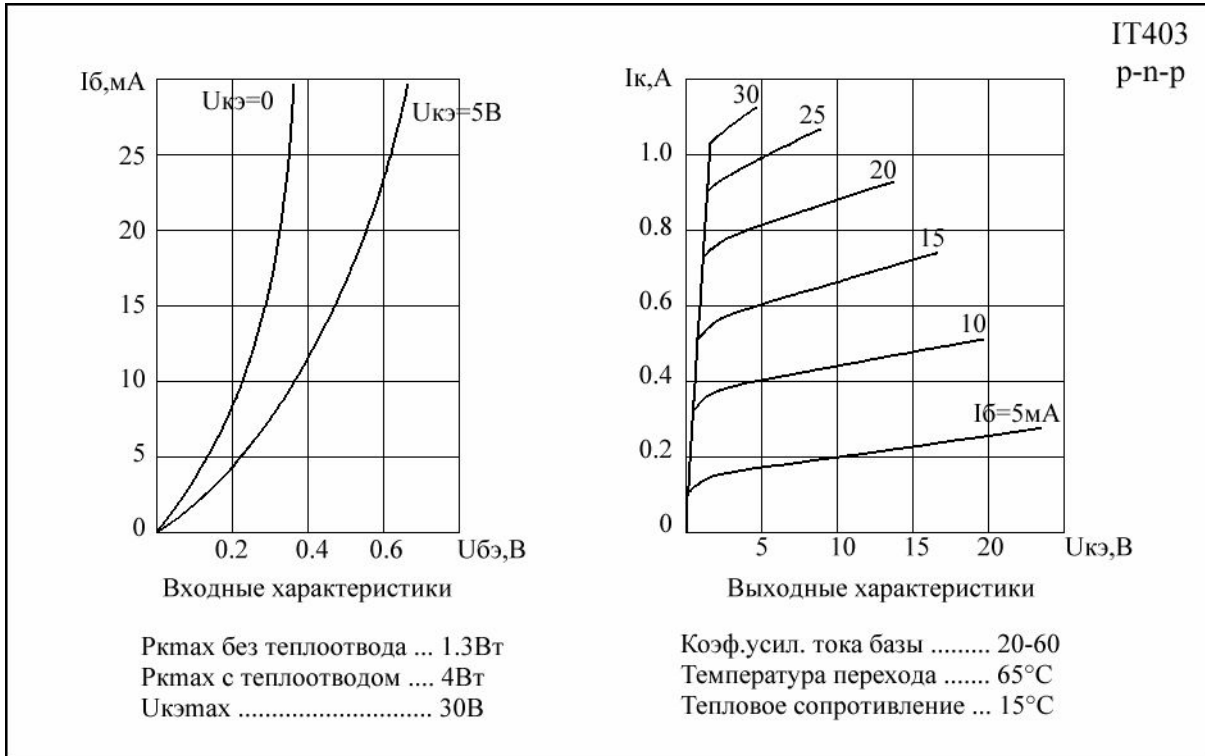


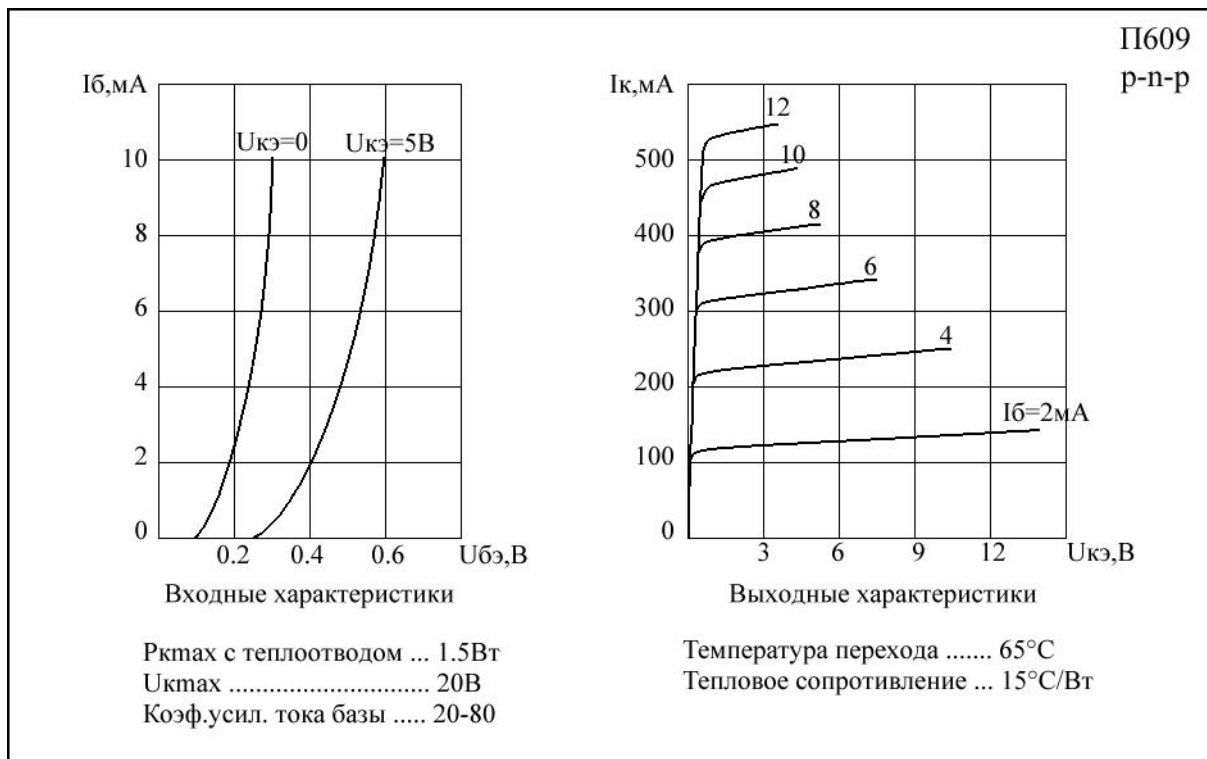
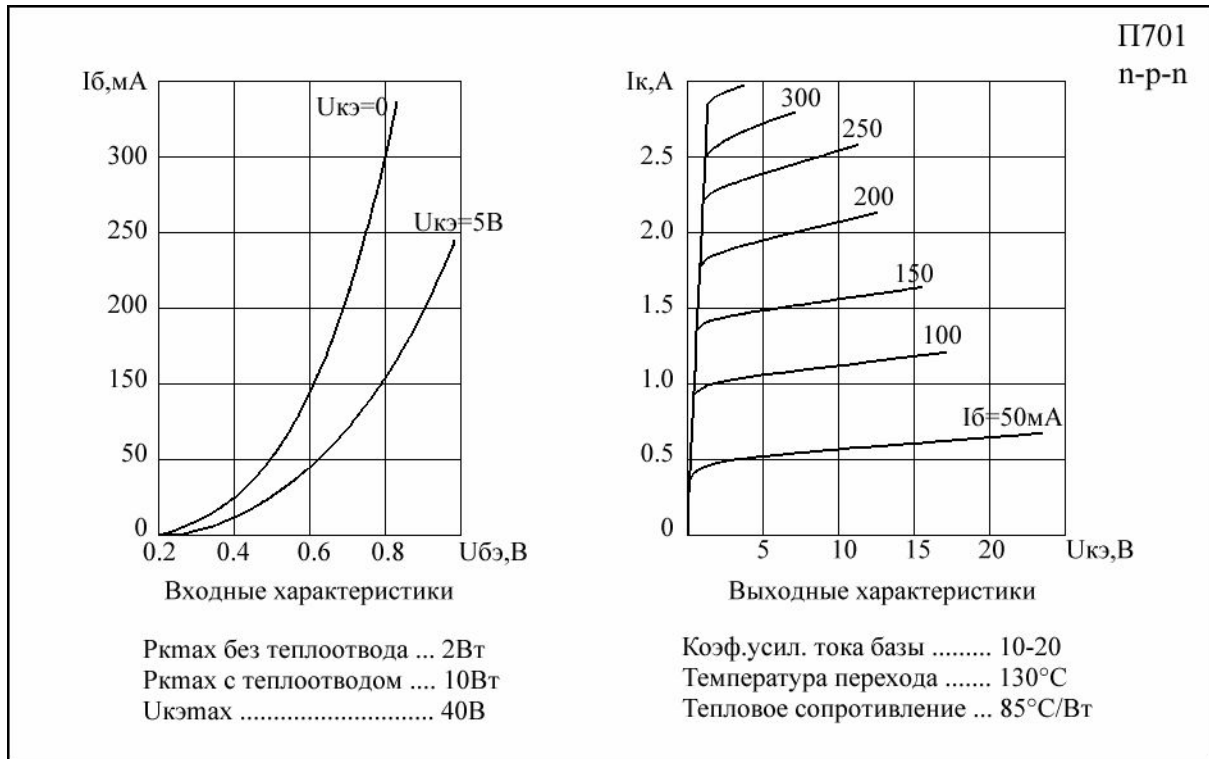












2.4. Вопросы к экзаменам по курсу «Электроника»

2.4.1. Общие сведения о полупроводниковых приборах, их классификации.

2.4.2. Полупроводниковые приборы с двухслойной структурой: диоды, кремниевые

2.4.3. Полупроводниковые приборы с двухслойной структурой: туннельные диоды, варикапы, их характеристики.

2.4.4. Светодиоды, фотодиоды, оптопары, их назначение, области применения.

2.4.5. Полевые транзисторы с управлением по р-n- переходу и с изолированным затвором, их характеристики.

2.4.6. Прибор с четырехслойной структурой - динистор, характеристики и применение.

2.4.7. Прибор с четырехслойной структурой - тиристор, его характеристики и параметры, запираемые тиристоры, оптотиристоры.

2.4.8. Прибор с пятислойной структурой - симистор, его характеристики.

2.4.9. Неуправляемый однофазный однополупериодный выпрямитель.

2.4.10. Неуправляемый однофазный двухполупериодный выпрямитель на трансформаторе со средней точкой.

2.4.11. Неуправляемый однофазный двухполупериодный выпрямитель по мостовой схеме.

2.4.12. Неуправляемый однофазный выпрямитель по схеме с удвоением напряжения.

2.4.13. Неуправляемые выпрямители по схеме умножения напряжения.

2.4.14. Неуправляемые трехфазные однополупериодные выпрямители в четырехпроводной системе.

2.4.15. Неуправляемые трехфазные выпрямители на трансформаторе со средней точкой (шести лучевая звезда).

2.4.16. Неуправляемые трехфазные мостовые выпрямители (схема Ларионова).

2.4.17. Неуправляемые трехфазные выпрямители по схеме двенадцати лучевая звезда.

2.4.18. Сглаживающие RC- фильтры.

2.4.19. Сглаживающие LC- фильтры.

2.4.20. Управляемые однофазные однополупериодные выпрямители.

2.4.21. Управляемые однофазные двухполупериодные выпрямители по схеме управляемого и полууправляемого моста.

2.4.22. Трехфазные однополупериодные управляемые выпрямители.

2.4.23. Трехфазные управляемые выпрямители по схеме управляемого и полууправляемого моста.

2.4.24. Инверторный выпрямитель.

2.4.25. Тиристорные регуляторы переменного напряжения и мощности.

2.4.26. Полупроводниковые приборы с трехслойной структурой - биполярные транзисторы с проводимостью р-п-р и п-р-п типа, их характеристики и параметры.

2.4.27. Фототранзисторы и оптооттранзисторы.

2.4.28. Транзисторные усилители сигналов переменного напряжения по схеме с общим коллектором (ОК) - эмиттерные повторители.

2.4.29. Транзисторные усилители сигналов переменного напряжения по схеме с общим эмиттером (ОЭ), характеристики, назначения элементов.

2.4.30. Транзисторные усилители постоянного тока (УПТ), особенности работы, вопросы стабильности, дрейфа нуля. ИМС.

2.4.31. Транзисторные усилители постоянного тока по схеме М-ДМ.

2.4.32. Усилители постоянного тока в интегральном микросхемном (ИМС) исполнении, их характеристики.

2.4.33. Транзисторные RC- генераторы синусоидального напряжения.

2.4.34. Транзисторные LC- генераторы синусоидального напряжения.

2.4.35. Параметрический стабилизатор постоянного напряжения.

2.4.36. Компенсационный стабилизатор постоянного напряжения на транзисторах.

2.4.37. Компенсационный стабилизатор постоянного тока на транзисторах.

2.4.38. Тиристорные стабилизаторы постоянного напряжения.

2.4.39. Реализация основных логических операций И, ИЛИ, НЕ с помощью пассивных и активных элементов.

2.4.40. Дискретные (цифровые) логические элементы в интегральном микросхемном исполнении, их условное обозначение на принципиальных схемах.

2.4.41. Аналоговые решающие элементы на ИМС: инверторы, сумматоры, масштабные усилители, интеграторы, дифференцирующие элементы.

2.4.42. Формирующие цепи: назначение, примеры реализации.

2.4.43. Мультивибраторы на дискретных ИМС.

2.4.44. Ждущие мультивибраторы на дискретных ИМС, их назначение.

2.4.45. Д-триггер на четырех ИМС типа 2И-НЕ.

2.4.46. Т-триггер.

2.4.47. Универсальный JK- триггер.

2.4.48. Деление импульсов по двум и четырем каналам.

2.4.49. Деление импульсов по трем каналам.

2.4.50. Деление импульсов по шести каналам.

2.4.51. «Фазовый» способ получения сдвига управляющих импульсов по фазе.

2.4.52. «Вертикальный» способ получения сдвига управляющих импульсов по фазе.

2.4.53. Классификация тиристорных преобразователей напряжения и частоты.

2.4.54. Типы искусственной коммутации (выключения) тиристоров.

2.4.55. Тиристорные прерыватели постоянного тока.

2.4.56. Тиристорный резонансный инвертор.

2.4.57. Тиристорный преобразователь напряжения на трансформаторе со средней точкой.

2.4.58. Полумостовой тиристорный преобразователь напряжения.

2.4.59. Мостовой тиристорный преобразователь тока.

2.4.60. Мостовой автономный инвертор тока с удвоением частоты.

2.4.61. Регулировка выходного напряжения в автономном инверторе за счет фазового сдвига двух синусоидальных напряжений.

2.4.62. Автономный инвертор с регулировкой за счет изменения длительности полупериодов выходного напряжения.

2.4.63. Тиристорные генераторы ударного возбуждения.

2.4.64. Трехфазный мостовой автономный инвертор.

2.4.65. Автономный инвертор синусоидального напряжения с широтно-импульсной модуляцией.

2.4.66. Автономный инвертор с феррорезонансным стабилизатором на выходе.

2.4.67. Трехфазный тиристорный устроитель частоты.

2.4.68. Тиристорный делитель частоты вдвое.

2.4.69. Вентильный двигатель с автономным тиристорным инвертором.

2.4.70. Особенности работы транзисторных преобразователей напряжения и частоты.

2.4.71. Защита тиристорных инверторов от коротких замыканий при срывах инвертирования.

2.5. Литература по электронике

1. Горбачев, Г.Н. Промышленная электроника / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин. -М: Энергоатомиздат, 1988.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. - М: Высшая школа, 1982.
3. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник /Под общ. ред. Н.Н. Горюнова. - М: Энергоатомиздат, 1982.
4. Мощные полупроводниковые приборы. Диоды: Справочник /Под ред. А.В. Голомедова. - М: Радио и связь, 1985.
5. Чебовский, О.Г. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник /О.Г. Чебовский, Л.Г. Моисеев, Р.П. Недошивин. - М: Энергоатомиздат, 1985г.
6. Справочник по электрическим конденсаторам. /Под ред. И.И. Четверткова, В.Ф. Смирнова. - М: Радио и связь, 1983.
7. Резисторы: Справочник /Под ред. И.И. Четверикова. - М: Энергоатомиздат. 1981.
8. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник /В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, В.М. Петухов. - М: Радио и связь, 1988.
9. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник. /С.В. Якубовский и др. - М: Радио и связь, 1990.
10. Полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник /Под ред. Н.Н. Горюнова. - М: Энергоатомиздат, 1983г.
11. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: Справочник /Под ред. А.В. Голомедова. - М: Радио и связь, 1989.