

МПС РФ  
Дальневосточный государственный университет путей сообщения

**ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ  
ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ**

Рабочая программа  
и задания на контрольные работы №1 и №2  
с методическими указаниями  
для студентов III курса  
специальности  
**2102. АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Хабаровск  
1999



МПС РФ  
Дальневосточный государственный университет путей сообщения

**ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ  
ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ**

Рабочая программа  
и задания на контрольные работы №1 и №2  
с методическими указаниями  
для студентов III курса  
специальности  
**2102. АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Хабаровск  
1999

Рецензент:

профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Г.П. Малай

Нахалов В.А. Электронные устройства железнодорожной автоматики телемеханики и связи: Рабочая программа, задание на курсовые работы и методические указания для студентов ИИФО.

Дана программа курса, методические указания по выполнению контрольных работ и рекомендуемая литература.

Предназначены для студентов специальностей 2102 заочной формы обучения.



## **Рабочая программа по дисциплине "Электронные устройства в железнодорожной автоматике, телемеханике и связи"**

Данный курс, базируясь на курсах высшей математики, физики и теоретических основах электротехники, служит фундаментом для изучения всех специальных дисциплин.

Курс знакомит студентов с физическими принципами действия, характеристиками, параметрами и применением современных электронных приборов и элементной базы, созданной на их основе, а также подготавливает студентов к самостоятельному решению задач, связанных с проектированием, разработкой и эксплуатацией электронных устройств и систем, содержащих современную элементную базу.

### 1. Введение

Основные этапы развития электроники. Классификация электронных приборов. Роль электронных устройств в системах автоматике, телемеханике и связи на железнодорожном транспорте.

Литература: [1,2]

### 2. Полупроводниковые приборы 2.1. Физические основы электроники

Зонная теория полупроводников. Распределение электронов по квантовым состояниям. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимости в примесных полупроводниках. Основные положения теории электропроводимости полупроводников. Токи в полупроводниках. Контактные явления в полупроводниках. Образование электронно-дырочного перехода. Физические процессы при прямом и обратном смещении р-п перехода. Виды пробоев р-п перехода. Барьерная емкость р-п перехода. Контакт металла с полупроводником. Другие типы переходов.

Литература: [1,2,6]

### 2.2. Полупроводниковые диоды

Вольт-амперная характеристика и параметры диодов. Типы полупроводниковых диодов, технология их изготовления и особенности применения. Выпрямительный диод. Простейшие схемы выпрямителей.

Стабилитроны. Стабисторы. Варикапы. ВЧ и СВЧ – диоды. Туннельный диод. Лавинопролетный диод. Диод Ганна.

Литература: [1,2,6]

## 2.3. Транзисторы

Биполярный транзистор. Принцип действия, характеристики, параметры, режимы работы, схемы включения.

Эквивалентные схемы. Влияние температуры на параметры транзисторов.

Частотные и импульсные свойства транзисторов. Технология изготовления транзисторов.

Полевые транзисторы. Принцип действия, характеристики, параметры. Разновидности полевых транзисторов. Эквивалентные схемы. Приборы с зарядовой связью.

Литература: [1,2,6]

## 2.4. Тиристоры

Принцип действия. Характеристики и параметры. Разновидности тиристоров. Однопереходный транзистор.

Литература: [1,2,6]

## 2.5. Электронно-оптические преобразователи

Физические процессы в приборах. Классификация. Фотодиод. Фототранзистор. Фототиристор. Светодиод. Оптрон. Газоразрядные и излучающие приборы. Электронно-лучевые приборы. Жидкокристалльные индикаторы.

Литература: [1,2]

## 3. Микроэлектроника

Основные направления развития: интегральная и функциональная микроэлектроника. Общая характеристика этих направлений.

Интегральные микросхемы. Классификация. Технология изготовления. Сравнительная характеристика различных интегральных схем.

Перспективы развития микроэлектроники и ее новые направления.

Литература: [1,2,5]

## 4. Усилители электрических сигналов

Усилители на биполярных транзисторах. Основные характеристики и параметры усилителей. Выбор режима работы. Фиксация рабочей точки. Температурная стабилизация. Широкополосные усилители. Усилители мощности. Отрицательная обратная связь и ее влияние на показатели усилителя. Усилители на полевых транзисторах.

Операционные усилители (ОУ). Характеристика и параметры идеального ОУ. Основные узлы ОУ – дифференциальный усилитель, генератор стабильного тока (ГСТ), сдвигатель уровня. Основные схемы включения ОУ в устройствах, выполняющих основные аналоговые математические операции.

Усилители на специализированных микросхемах.

Литература: [1,3,6]

## 5. Функциональные узлы импульсных устройств

Импульсный режим работы диодов и транзисторов. Ограничители. Фиксаторы уровня. Ключевые схемы. Триггеры и их разновидности. Мультивибраторы. Одновибраторы. Блокинг-генераторы. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН). Способы построения функциональных генераторов. Импульсные генераторы на базе ОУ. Интеграторы и дифференциаторы.

Литература: [1,3,4,5,7]

## 6. Элементы и узлы цифровых устройств

Основные логические схемы, их параметры. Логические интегральные микросхемы ТТЛ, ЭСТЛ, И<sup>2</sup>Л, МОП и КМОП. Интегральные триггеры. Триггер с эмиттерной связью. Регистры. Счетчики импульсов. Интегральные счетчики импульсов. Преобразователи кодов. Селекторы-мультиплексоры. Дешифраторы. Компараторы. Селекторы импульсов. Микросхемы памяти. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

Литература: [1,3,5,7]

В первом семестре изучаются разделы 1, 2, 3 и 4 до абзаца “Операционные усилители”.



## Задание на контрольную работу №1

Прежде чем приступить к выполнению контрольной работы необходимо изучить материал курса в соответствии с программой, используя рекомендованную литературу. Работа, выполненная по варианту, не соответствующему шифру, не проверяется и не зачитывается.

### Задача 1

По исходным данным, приведенным в табл.1 и 2 определить ток в цепи, состоящей из источника напряжения  $E$ , резистора  $R$  и диода. Рабочая точка находится на прямой ветви диода. Привести схему.

Таблица 1

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Напряжение источника питания $E$ , В	5	4	10	3	6	6	3	10	4	5
Сопротивление резистора $R$ , кОм	1	2	2	0,5	2	1	2	3	2	1,5

Таблица 2

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Обратный ток насыщения диода $I_0$ , мкА	2	5	7	9	10	5	2	3	7	4
Температура $^{\circ}K$	300	200	200	300	200	300	300	300	200	200

### Задача 2

По исходным данным, приведенным в табл.3, требуется определить недостающие параметры стабилизатора напряжения, схема которого приведена на рис.1.

Таблица 3

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Напряжение стабилизации $U_{CT}$ , В	10	13	13	10	9	9	14	14	10	13
Ток стабилизации $I_{CT\ min}$ , мА	30	20	25	20	18	30	35	20	35	30
Ток стабилизации $I_{CT\ max}$ , мА	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2
Сопротивление $R1$ , кОм	1	*	1	*	0,5	*	1,5	*	0,8	*
Сопротивление $R2$ , кОм	0,5	2,2	1	1	0,5	2	0,8	1	0,8	2,5
Напряжение $E_{min}$ , В	*	16	*	18	*	15	*	17	*	18
Напряжение $E_{max}$ , В	*	24	*	25	*	21	*	25	*	25

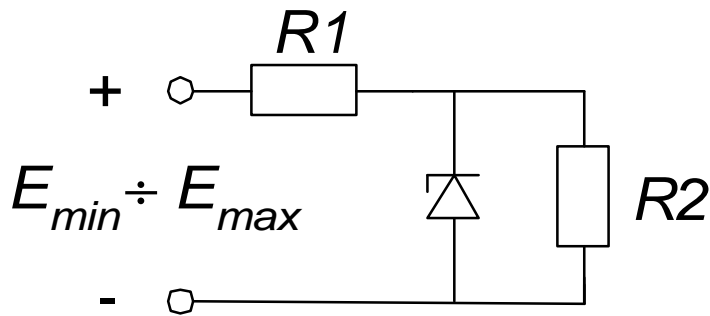


Рис.1

### Задача 3

Транзистор включен в усилительный каскад по схеме с общим эмиттером. Каскад питается от одного источника напряжения  $E$ . Для подачи смещения в цепи базы используется гасящий резистор. Генератор входного сигнала подключен к базе транзистора через разделительный конденсатор. По исходным данным, приведенным в табл.4, 5 и характеристикам транзистора, используемым в примере (см. методические указания к задаче 2) требуется:

а) построить линию  $P_{Kmax}$ ;

б) по выходным характеристикам найти: постоянную составляющую тока коллектора  $I_{K0}$ ; постоянную составляющую напряжения коллектор-эмиттер  $U_{KЭ0}$ ; амплитуду переменной составляющей тока коллектора  $I_{mK}$ ; амплитуду выходного напряжения  $U_{mK}=U_{mKЭ}$ ; коэффициент усиления по току  $K_i$ ; выходную мощность  $P_{ВЫХ}$ ; мощность, рассеиваемую на нагрузке постоянной составляющей тока коллектора  $P_{K0}$ ; полную потребляемую мощность в коллекторной цепи  $P_0$ ; КПД коллекторной цепи  $h$ . Проверить, не превышает ли мощность, выделяемая на коллекторе в режиме покоя  $P_{K0}$ , максимально допустимую мощность  $P_{Kmax}$ ;

в) с помощью входной характеристики определить: напряжение смещения  $U_{БЭ0}$ ; амплитуду входного сигнала  $U_{mБЭ}$ ; входную мощность  $P_{ВХ}$ ; коэффициент усиления по напряжению  $K_U$  и по мощности  $K_P$ ; входное сопротивление каскада  $R_{ВХ}$ ; сопротивление резистора  $R_B$  и емкость разделительного конденсатора  $C_P$ . Диапазон усиливаемых колебаний 100Гц–100кГц. Начертить схему усилительного каскада.

### Задача 4

В рабочей точке усилителя, рассмотренного в задаче 3, найти параметры  $h_{11Э}$ ,  $h_{21Э}$ ,  $h_{22Э}$ ,  $R_{ВЫХ}=1/h_{22Э}$ , и аналитически рассчитать  $K_i$ ,  $K_U$ ,  $K_P$ ,  $R_{ВХ}$ .

Таблица 4

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Напряжение источника питания $E_K, В$	9	12	14	16	18	17	15	13	11	9
Сопротивление резистора $R, кОм$	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3

Таблица 5

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Ток базы в рабочей точке $I_{Б0}, мА$	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Мощность, рассеиваемая коллектором $P_{Кmax}, мВт$	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Амплитуда тока базы $I_{мБ}, мА$	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

## Задание на контрольную работу №2

### Задача 1

Рассчитать, при каких напряжениях  $U_{ВХ}$  транзистор в схеме, приведенной на рис.2, будет находиться:

- в режиме насыщения;
- в режиме отсечки;
- в активном режиме.

Исходные данные приведены в табл.6 и 7.

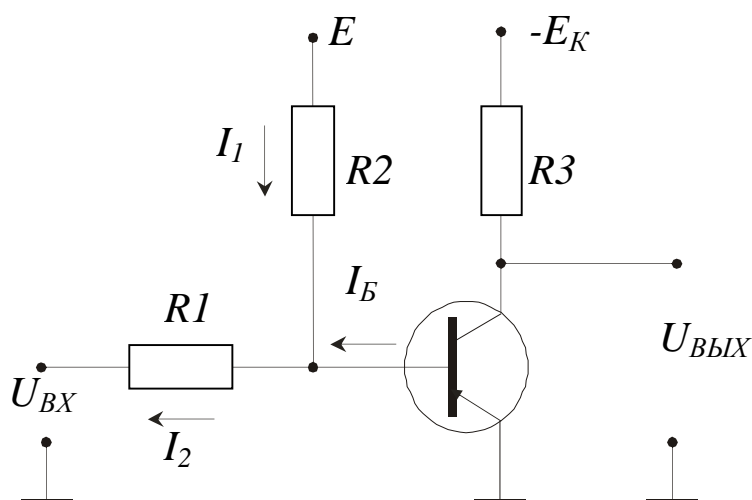


Рис.2

Таблица 6

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Сопротивление $R_1$ , кОм	10	10	20	30	20	10	10	10	20	20
Сопротивление $R_2$ , кОм	10	20	10	30	20	10	20	30	20	10
Сопротивление $R_3$ , кОм	1	2	3	2	1	3	1	3	3	1
Коэффициент передачи тока $b$	60	50	40	30	20	20	30	40	50	60

Таблица 7

Исходные данные	Предпоследняя цифра варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Напряжение источника $E_K$ , В	-10	+15	-10	+12	+9	-10	+10	-15	+15	+15
Напряжение источника $E$ , В	-10	+15	-10	+12	+9	-12	-3	+4	-2	-3
Напряжение порога $U_{ПОР}$ , В	0	+0,6	-0,6	0	+0,6	0	+0,6	-0,6	0	+0,6
Обратный ток $I_{КО}$ , мкА	20	2	4	30	1	10	2	4	20	2

### Задача 2

Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и каналом n-типа используется в цепи усилительного каскада, изображенного на рис.3. По исходным данным, приведенным в табл.8, определить: напряжение смещения затвор-исток  $U_{ЗИ}$ , крутизну транзистора в рабочей точке  $S$ , сопротивление резистора в цепи истока  $R_1$ , сопротивление нагрузки в цепи стока  $R_2$ , напряжение сток-исток  $U_{СИ}$ .

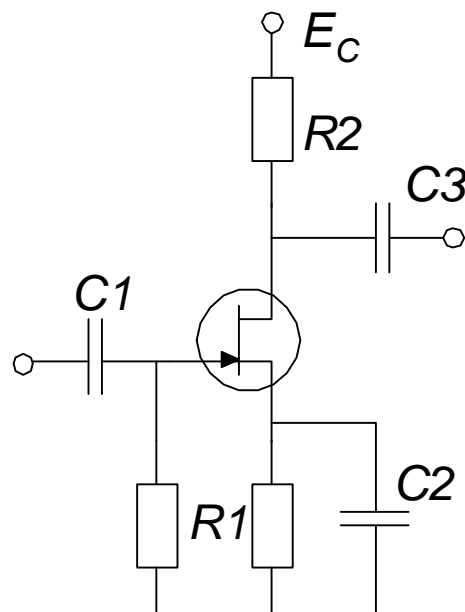


Рис.3

Таблица 8

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Напряжение отсечки $U_{отс}$ , В	3	2	3	4	2	2	1,5	3,5	2,5	2
Ток стока max $I_{Cmax}$ , мА	10	10	15	15	6	10	4	12	8	5
Ток стока в рабочей точке $I_C$ , мА	3	2	4	3	3	3	2	3	2	2
Коэффициент усиления $ K_U $	10	15	15	10	10	8	10	10	15	8
Напряжение $E_C$ , В	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20

### Методические указания к выполнению контрольных работ

Контрольные работы состоят из расчетно-пояснительных записок и графического материала (схемы, характеристики).

В расчетно-пояснительной записке следует привести задание, решение задач с кратким пояснением, описание схем, перечень используемой литературы.

В расчетной части необходима запись всего хода решения задачи, используемых формул с подстановкой числовых значений и указаниями размерности.

Графическую часть рекомендуется выполнять на отдельных листах миллиметровой бумаги.

Все элементы схемы должны изображаться в виде стандартных условных обозначений в соответствии с действующим ГОСТом.

Ответы на вопросы следует давать по возможности кратко, но вместе с тем достаточно полно, ясно и точно.

### Контрольная работа №1

#### Задача 1

Задача решается графо-аналитическим методом.

1. Используя значение  $I_0$  и задаваясь напряжением диода ( $U=0,1В$ ;  $0,2В$ ;  $0,3В$  и т.д. до  $0,7В$ ) построить вольт-амперную характеристику в соответствии с уравнением:

$$I = I_0 \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right),$$

где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл - заряд электрона;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К - постоянная Больцмана.

2. На том же графике построить нагрузочную прямую, используя уравнение:

$$I = \frac{E - U}{R}.$$

Точка пересечения нагрузочной прямой с вольт-амперной характеристикой и есть решение задачи. Нагрузочная прямая строится по двум точкам: если  $I=0$ , то  $U=E$ , если  $U=0$ , то  $I=E/R$ .

Решение приведено на рис. 4

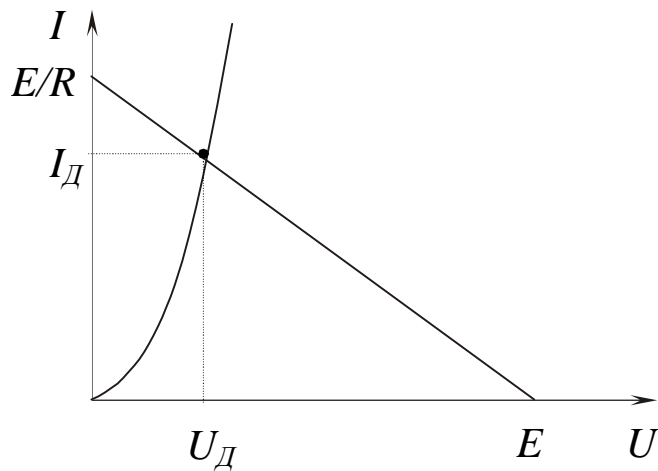


Рис.4

### Задача 2

Для решения задачи необходимо использовать следующие соотношения:

$$R1 = \frac{E_{cp} - U_{cm}}{I_{cpct} + I_n},$$

где

$$E_{cp} = 0,5(E_{min} + E_{max});$$

$$I_{cpct} = 0,5(I_{cm\ min} + I_{cm\ max});$$

$$I_n = \frac{U_{cm}}{R_n}.$$

Напряжение источника питания:

$$E = U_{cm} + R1(I_n + I_{cm}).$$

### Задача 3

Рассмотрим пример. Исходные данные:  $E_K=10В$ ,  $I_{B0}=0,3мА$ ,  $R_H=500кОм$ ,  $P_{Kmax}=150мВт$ . Диапазон усиливаемых колебаний 80Гц–5кГц. Схема приведена на рис.5. При отсутствии справочной литературы студент может

воспользоваться характеристиками транзистора, на которых рассмотрен пример.

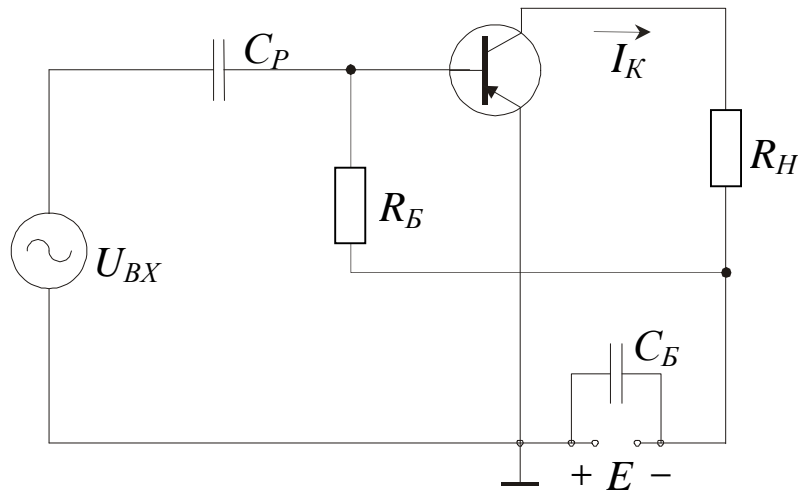


Рис.5

Порядок решения задачи следующий. На семействе выходных характеристик строим линию максимально допустимой мощности, используя уравнение:

$$I_{K \max} = \frac{P_{K \max}}{|U_{KЭ}|} = \frac{150 \cdot 10^{-3}}{|U_{KЭ}|}$$

Подставляя в него значения  $U_{KЭ}$ , равные, например, -7,5; -10; -15 и -20В, получаем значения  $I_K$ , равные 20; 15; 10 и 7,5мА соответственно. Построенная по этим точкам линия  $P_{K \max}$  показана на рис.6а.

Затем, используя уравнение линии нагрузки  $I_K = (E + U_{KЭ}) / R_H$ , на семействе выходных характеристик наносим линию нагрузки: при  $I_K = 0$   $U_{KЭ} = -E = -10В$  - первая точка линии нагрузки; при  $U_{KЭ} = 0$   $I_K = E / R_H = 10 / 500 = 20мА$  - вторая точка линии нагрузки.

Точка пересечения линии нагрузки с характеристикой, соответствующей постоянной составляющей тока базы  $I_{B0} = 300мкА$ , определит рабочую точку. Ей будет соответствовать постоянная составляющая тока коллектора  $I_{K0} = 6мА$  и постоянная составляющая напряжения  $U_{KЭ0} = -7В$ .

Амплитуду переменной составляющей тока коллектора определим как среднюю:

$$I_{mK} = \frac{I_{K \max} - I_{K \min}}{2} = \frac{9 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,5мА.$$

Дальнейший расчет показан ниже.

Амплитуда переменного напряжения на нагрузке:

$$U_{mR} = U_{mKЭ} = I_{mK} R_H = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1,75В.$$

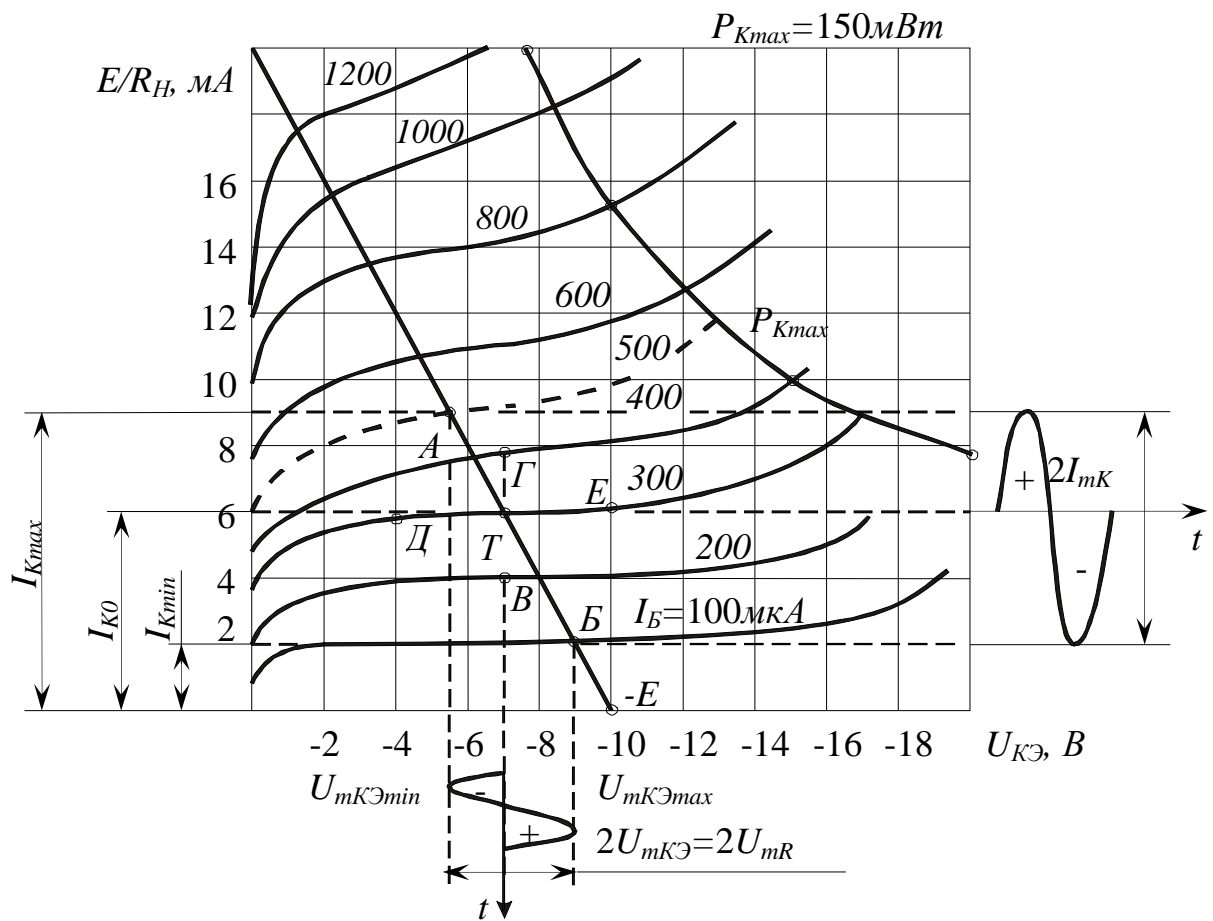


Рис.6а

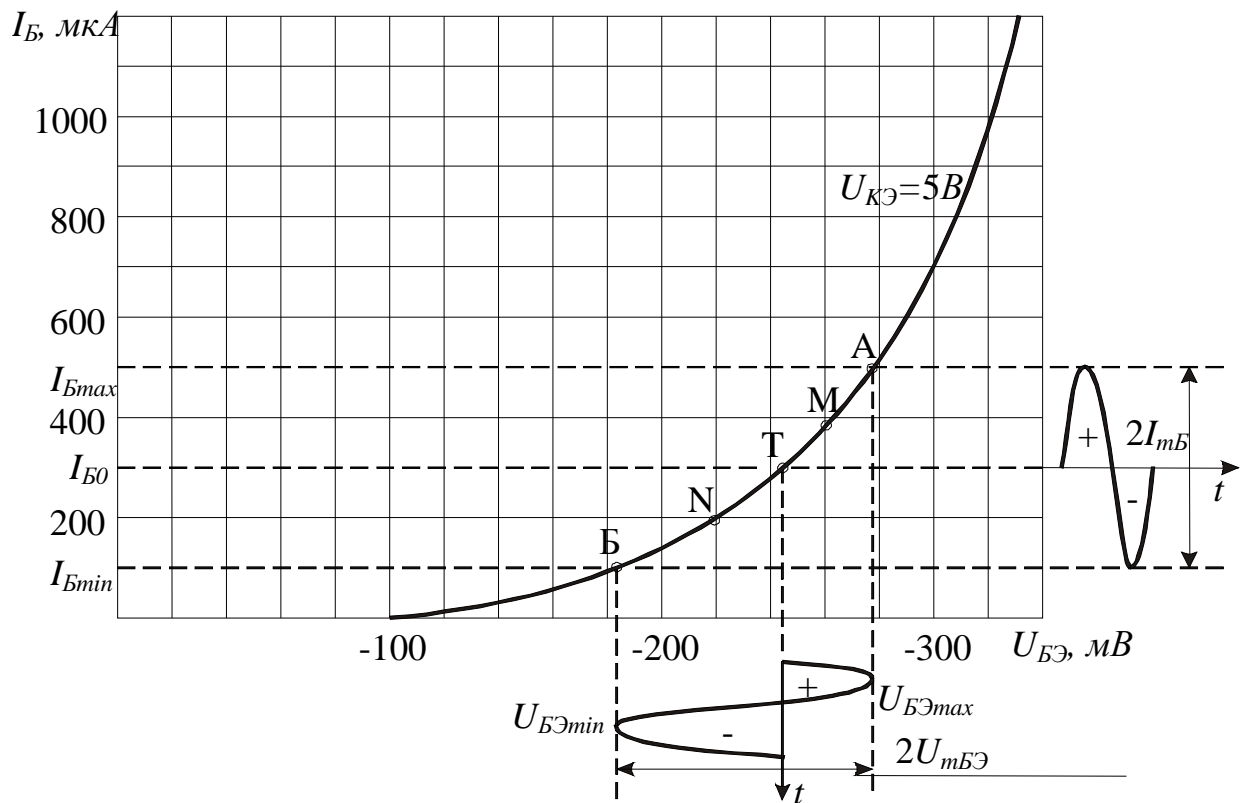


Рис.6б



Коэффициент усиления по току:

$$K_i = \frac{I_{mK}}{I_{mB}} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 17,5.$$

Выходная мощность:

$$P_{ВЫХ} = 0,5 I_{mK} U_{mR} = 0,5 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,75 = 3 мВт.$$

Полная потребляемая мощность в коллекторной цепи:

$$P_0 = EI_{K0} = 10 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 60 мВт.$$

КПД коллекторной цепи:

$$h = \frac{P_{ВЫХ}}{P_0} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 10^{-3}} = 0,05 = 5\%.$$

Мощность, рассеиваемая на коллекторе постоянной составляющей коллекторного тока:

$$P_{K0} = I_{K0} |U_{KЭ0}| = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 7 = 42 \cdot 10^{-3} < P_{K \max} = 150 мВт,$$

т.е. режим работы допустим.

Далее расчет ведем по семейству входных характеристик (рис.6б). Поскольку у транзисторов входные характеристики расположены близко друг к другу, то в качестве рабочей входной характеристики можно принять одну из статических характеристик, снятую при  $U_{KЭ} = -5В$ .

Это можно сделать в том случае, если источник усиливаемых колебаний работает как генератор тока, т.е., когда внутреннее сопротивление источника колебаний значительно больше входного сопротивления транзистора. Из графика находим:

$$|U_{эЭ0}| = 246 мВ \approx 0,25В.$$

Амплитуда входного напряжения:

$$U_{mБЭ} = \frac{277 \cdot 10^{-3} - 187 \cdot 10^{-3}}{2} = \frac{90 \cdot 10^{-3}}{2} = 45 мВ.$$

Модуль коэффициента усиления по напряжению:

$$|K_U| = \frac{U_{mКЭ}}{U_{mБЭ}} = \frac{1,75}{45 \cdot 10^{-3}} = 39.$$

Коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = |K_I K_U| = 39 \cdot 17,5 = 690.$$

Входная мощность:

$$P_{ВХ} = 0,5 I_{mБ} U_{mБ} = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 4,5 мкВт.$$

Входное сопротивление:

$$R_{BX} = \frac{U_{mБЭ}}{I_{mБ}} = \frac{45 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 2250 \text{ Ом}.$$

Сопротивление резистора:

$$R_B = \frac{E - |U_{mБЭ0}|}{I_{Б0}} = \frac{10 - 0,25}{0,3 \cdot 10^{-3}} = 32,5 \text{ кОм}.$$

Емкость конденсатора  $C_P$  определяется из условия:

$$\frac{1}{\omega_H C_P} = \frac{R_{BX}}{10},$$

где  $\omega_H$  - низшая рабочая частота.

И тогда:

$$C_P = \frac{10}{\omega_H R_{BX}} = \frac{10}{2\pi f_H R_{BX}} = \frac{10}{6,28 \cdot 80 \cdot 225} \approx 90 \text{ мкФ}.$$

#### Задача 4

В рабочей точке усилителя, рассмотренного в задаче 3, найти параметры  $h_{11Э}$ ,  $h_{21Э}$ ,  $h_{22Э}$ ,  $R_{ВЫХ} = 1/h_{22Э}$  и аналитически рассчитать  $K_I$ ,  $K_U$ ,  $K_P$ ,  $R_{ВХ}$ .

Решение: Рассчитаем параметры в рабочей точке при  $U_{КЭ} = -7\text{В}$  и  $I_{К0} = 6\text{мА}$ :

$$h_{21Э} = b = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_{КЭ} = \text{const}}.$$

По точкам В и Г (рис. 6а) определим:

$$h_{21Э} = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 18,5.$$

По точкам Д и Е определим:

$$h_{22Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} \right|_{I_B = \text{const}};$$

$$h_{22Э} = \frac{0,7 \cdot 10^{-3}}{6} = 0,117 \cdot 10^{-3} = 117 \text{ мкСм};$$

$$R_{ВЫХ} = \frac{1}{h_{22Э}} = \frac{1}{0,117 \cdot 10^{-3}} = 8,5 \text{ кОм};$$

параметр

$$h_{11Э} = \left. \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} \right|_{U_{КЭ} = const} .$$

По точкам М и N (рис.6б) определим:

$$h_{11Э} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{0,19 \cdot 10^{-3}} = 210 \text{ Ом} .$$

С помощью найденных параметров определим искомые значения по приближенным формулам.

Коэффициент усиления по току  $K_I \approx h_{21Э} \approx 18,5$ , точнее:

$$K_I = \frac{h_{21Э} R_{ВЫХ}}{R_H + R_{ВЫХ}} = \frac{18,5 \cdot 8,5 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 10^3 + 8,5 \cdot 10^3} = 17,5 .$$

(сходится с графо-аналитическим расчетом).

Входное сопротивление:

$$R_{ВХ} \approx h_{11Э} \approx 210 \text{ Ом} .$$

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U \approx \frac{-h_{21Э} R_H}{R_{ВХ}} \approx \frac{-18,5 \cdot 500}{210} = -44 ,$$

точнее

$$K_U = \frac{-17,5 \cdot 500}{210} = -41,5 .$$

Коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = |K_I K_U| = 17,5 \cdot 41,5 = 725 .$$

## Контрольная работа №2

### Задача 1

Для получения режима насыщения необходимо на вход ключа подать такое напряжение  $U_{ВХ}$ , при котором будет протекать ток:

$$I_B \geq I_{БН} = \frac{E_K}{bR_3} .$$

Для получения режима отсечки необходимо обеспечить напряжение на базе:

$$|U_B| \leq |U_{ПОР}| ,$$

где  $U_{ПОР}$  - пороговое напряжение транзистора (для германиевых транзисторов  $U_{ПОР} \approx 0$ , для кремниевых  $U_{ПОР} \approx 0,6В$ ).

Условие отсечки для n-p-n транзисторов:

$$U_B < U_{ПОР}.$$

Условие отсечки для p-n-p транзисторов:

$$U_B > -U_{ПОР}.$$

По исходным данным табл.6 студент должен определить тип транзистора и материал изготовления и начертить схему с учетом типа транзистора (p-n-p или n-p-n).

В качестве примера рассмотрим ключ на германиевом p-n-p транзисторе. Для других вариантов нужно учесть знак  $E_K$ ,  $E$  и величину  $U_{ПОР}$ .

Условие насыщения транзистора:

$$I_B \geq \frac{E_K}{bR_3},$$

для рассматриваемой схемы можно записать в виде:

$$I_B = i_2 - i_1 = -\frac{U_{BX}}{R_1} - \frac{E}{R_2} \geq \frac{E_K}{bR_3},$$

откуда получим:

$$U_{BX} \leq -\frac{ER_1}{R_2} - \frac{E_K}{bR_3}.$$

Условие отсечки транзистора  $U_B / 0$  перепишем в виде:

$$U_B = U_{BX} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + E \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_{K0} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \geq 0,$$

откуда следует:

$$U_{BX} \geq -E \frac{R_1}{R_2} + R_1 I_{K0}.$$

Условие активного режима:

$$-E \frac{R_1}{R_2} + R_1 I_{K0} > U_{BX} > -E \frac{R_1}{R_2} - \frac{E_K}{bR_3}.$$

Следует помнить, что нужно учитывать знак источника смещение  $E$ .

При записи студент обязан объяснить смысл формул, по которым производится расчет.

## Задача 2

Для решения задачи необходимо использовать основные соотношения для полевого транзистора с встроенным затвором:

$$I_C = I_{C \max} \left( 1 - \frac{|U_{3И}|}{U_{ОТС}} \right)^2,$$

$$S_{\max} = \frac{2I_{C \max}}{U_{ОТС}},$$

$$S = S_{\max} \left( 1 - \frac{|U_{3И}|}{U_{ОТС}} \right) = \frac{2\sqrt{I_C I_{C \max}}}{U_{ОТС}}.$$

Стоко-затворная характеристика приведена на рис.7.

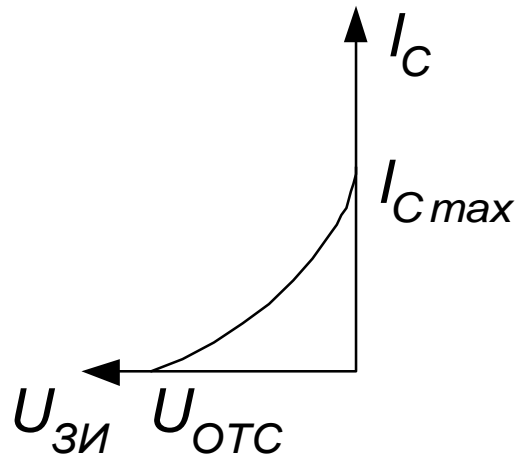


Рис.7

## Вопросы

### Последняя цифра шифра

- Вариант 1. Опишите физические процессы, протекающие в стабилитроне. Приведите простейшую схему стабилизатора напряжения.
- Вариант 2. Опишите принцип действия, характеристики и параметры биполярного транзистора.
- Вариант 3. Опишите принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором.
- Вариант 4. Опишите принцип действия тиристора.
- Вариант 5. Кратко опишите физические процессы, протекающие в диоде, работающем под внешним смещением.
- Вариант 6. Кратко опишите физические принципы работы светодиодов и оптронов.
- Вариант 7. Приведите классификацию интегральных микросхем по функциональному назначению.
- Вариант 8. Основные параметры интегральных микросхем.
- Вариант 9. Опишите основные элементы полупроводниковых интегральных микросхем. Методы изоляции.
- Вариант 0. Перспективы развития микроэлектроники и ее новые направления.

## Литература

1. Электронные устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Под ред. А.В. Шилейко. М.:Транспорт, 1989.
2. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.:Энергоатомиздат, 1989.
3. Быстров Ю.А., Мироненко И.Г. Электронные цепи и устройства. М.:Высшая школа, 1989.
4. Ерофеев Ю.Н. Импульсные устройства. М.:Высшая школа, 1989.
5. Игумнов Д.В., Королев Г.В. Основы микроэлектроники. М.:Высшая школа, 1991.
6. Основы промышленной электроники. Под ред. В.Г. Герасимова. М.:Высшая школа, 1989.
7. Фролкин В.Т., Попов Л.И. импульсные устройства. М.:Советское радио, 1989.
8. Бодилловский В.Г. Электронные приборы и усилители на железнодорожном транспорте. М.:Транспорт, 1995.

