



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

С.Г. Камзолова

ЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

**Учебно-методическое пособие
по проведению практических занятий**

*для студентов II курса
по специальности 10.05.02
очной формы обучения*

**Москва
2017**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

Кафедра основ радиотехники и защиты информации
С.Г. Камзолова

ЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

**Учебно-методическое пособие
по проведению практических занятий**

*для студентов II курса
по специальности 10.05.02
очной формы обучения*

Москва-2017

ББК 6Ф0.3

К18

Рецензент канд. техн. наук, доц. А.В. Сбитнев

Камзолова С.Г.

К18 Электроника и схемотехника: учебно-методическое пособие по проведению практических занятий. – М.: МГТУ ГА, 2017. – 24 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электроника и схемотехника» по учебному плану для студентов II курса специальности 10.05.02 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 21.02.2017 г. и методического совета 21.02.2017 г.

I. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Основные определения:

Полупроводник – вещество, основным свойством которого является сильная зависимость удельной проводимости от внешних факторов;

Носители заряда – электроны зоны проводимости и дырки валентной зоны;

Генерация носителей заряда – образование пар электрон-дырка;

Рекомбинация носителей заряда – исчезновение пар носителей заряда;

Диффузия – направленное движение носителей заряда вследствие градиента концентрации;

Дрейф – направленное движение носителей заряда при наличии электрического поля;

Электрически переход – переходный слой между областями твёрдого тела с различными типами или значениями проводимости;

Диод – полупроводниковый прибор, имеющий один выпрямляющий электрический переход и два вывода.

Чтобы через диод протекал ток, нужно к аноду «А» приложить положительное относительно катода «К» напряжение (рис.1.1).

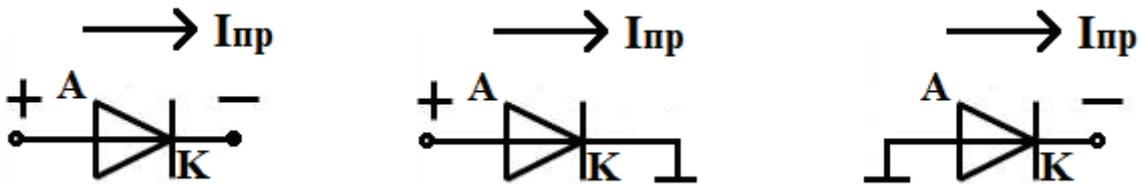


Рис. 1.1

Во всех этих случаях через диод течёт прямой ток.

В противном случае – обратный ток $I_{обр}$, он мал и говорят, что к диоду прикладывается обратное напряжение – $U_{обр}$.

Примеры:

1. Ток течёт от «+» к «-», то есть через диод протекает прямой ток (рис. 1.2).

Его величина $I_{пр} \approx \frac{E}{R_H} = \frac{5}{510} \approx 10 \text{ мА}$

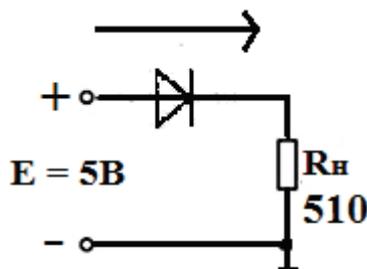


Рис.1.2

2. Направление тока соответствует $I_{обр}$, то есть к диоду приложено $U_{обр} = E_2 - E_1 = 10 - 7 = 3V$ (рис. 1.3)

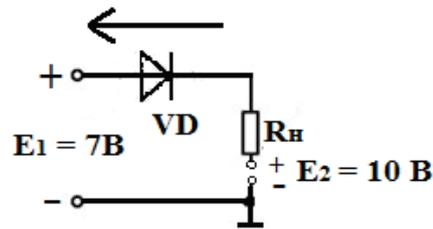


Рис.1.3

3. Определить дифференциальное сопротивление диода в т.А (рис.1.4)

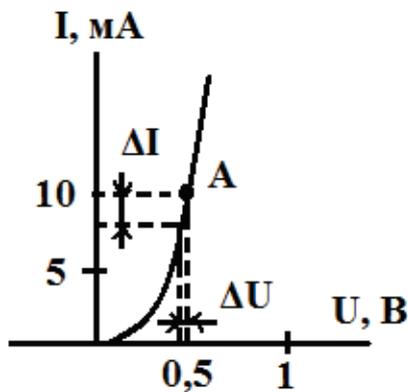


Рис. 1.4

Решение:

$$r_{диф_A} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_{т.А}$$

Величина « Δ » такая, чтобы она соответствовала обязательно линейному участку ВАХ. В пределах линейного участка « Δ » может быть выбрана произвольно, но обязательно захватывать т.А.

$$r_{диф_A} = \left. \frac{0,5 - 0,4}{10 - 8} \right|_{т.А} = \frac{0,1}{2} = 50 \text{ Ом}$$

4. Построить нагрузочную прямую и определить координаты точки покоя (рис.1.5).

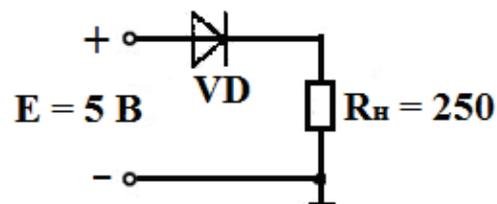
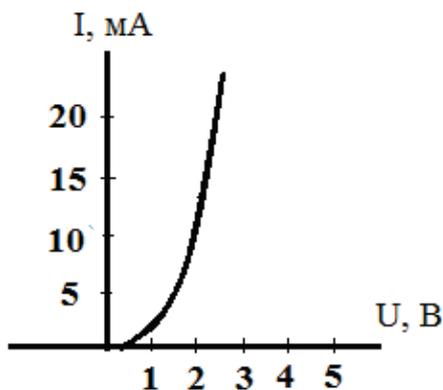


Рис.1.5

Решение:

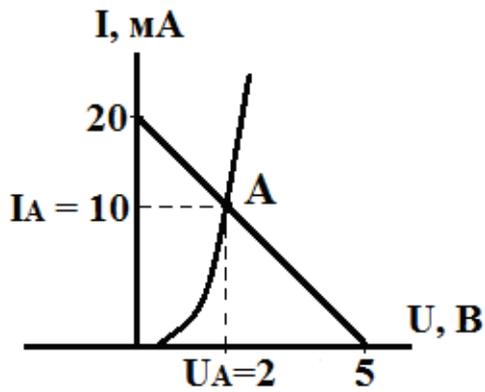


Рис.1.6

Схема состоит из 2-х частей – нелинейной (VD) и линейной (E, R_н).

ВАХ нелинейной части – это ВАХ диода.

ВАХ линейной может быть построена методом холостого хода и короткого замыкания.

$$U_{\text{хх}} = 5\text{В}, I = 0; I_{\text{кз}} = \frac{E}{R_{\text{н}}} = \frac{5}{250} = 20\text{мА}, U = 0.$$

Это и есть нагрузочная прямая (рис.1.6).

Точка пересечения «А» нагрузочной прямой и ВАХ диода определяет точку покоя. Её

координаты: $U_{\text{А}} = 2\text{В}; I_{\text{А}} = 10\text{мА}$.

5. Обеспечить положение точки покоя А, указанное на ВАХ (рис.1.7) выбором R_н.

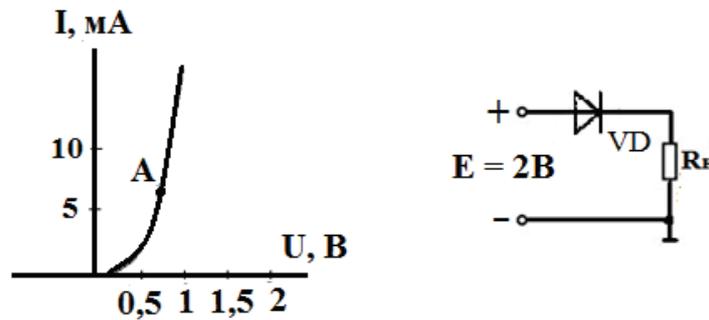


Рис.1.7

Решение: $I = 0, U = E$ - одна координата нагрузочной прямой (т.В); т. А – вторая.

Проводим линию R_н через А и В (рис.1.8).

$$R_{\text{н}} = \frac{E}{I_{\text{кз}}} = \frac{2}{13} \cong 150\text{ Ом}.$$

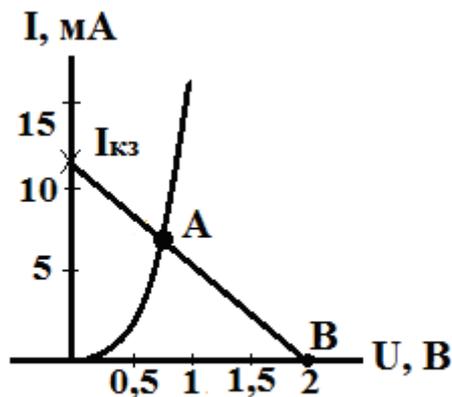


Рис.1.8

6. К диоду приложено, кроме постоянного напряжения E , ещё и переменное $E(t)$. Точки приложения E и $E(t)$ – одни и те же («1» и «2», рис.1.9). Поэтому $E(t)$ перемещает нагрузочную прямую $E-R_H$ параллельно самой себе. Рабочая точка движется по ВАХ: $A' A''$ (рис.1.10).

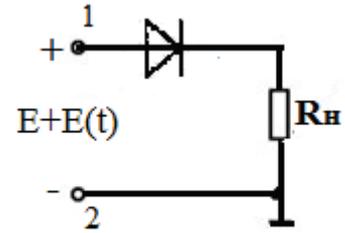


Рис.1.9

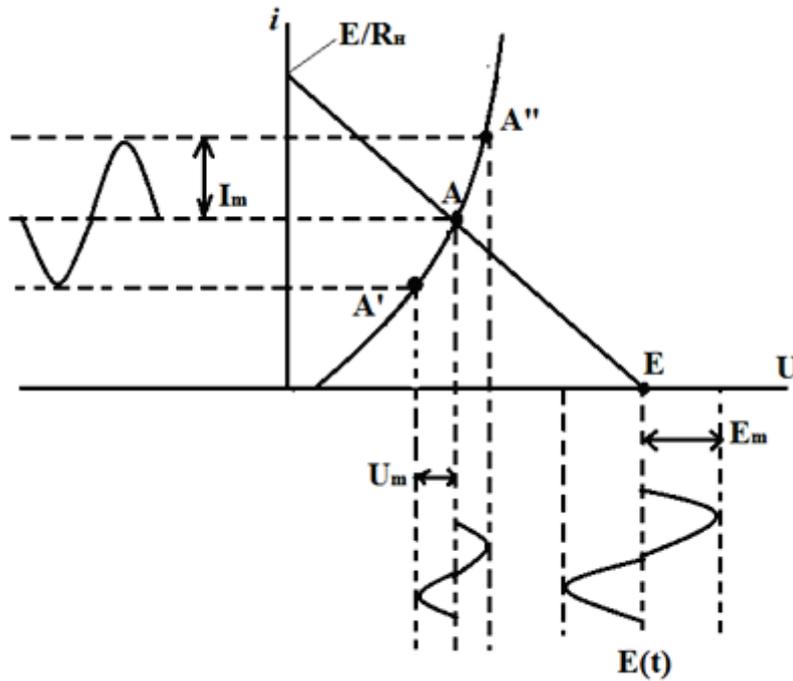


Рис. 1.10

7. Дана схема стабилизатора на стабилитроне (рис.1.11). E нестабильно, то есть может меняться в диапазоне $E \pm \Delta E$.

По ВАХ стабилитрона (рис.1.12) можно определить допустимые значения E : соединяем E с серединой рабочего участка ВАХ (т. А). Перемещаем прямую EA параллельно самой себе, не выходя за значения $I_{ст.min}$ и $I_{ст.max}$

По оси абсцисс определяем $\pm \Delta E$.

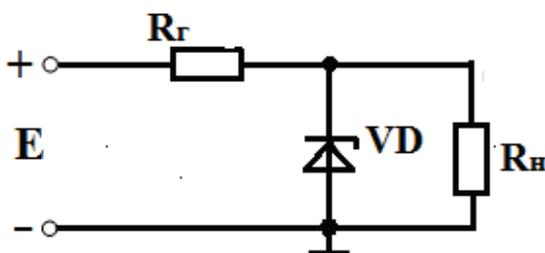


Рис. 1.11

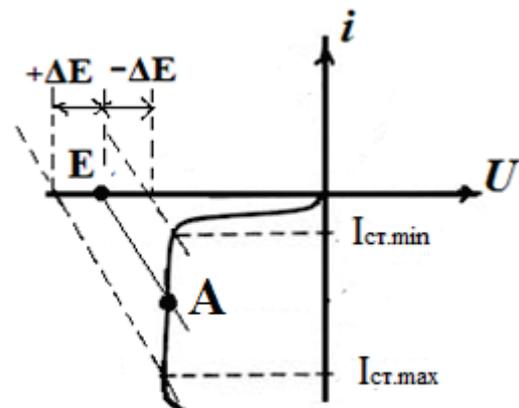
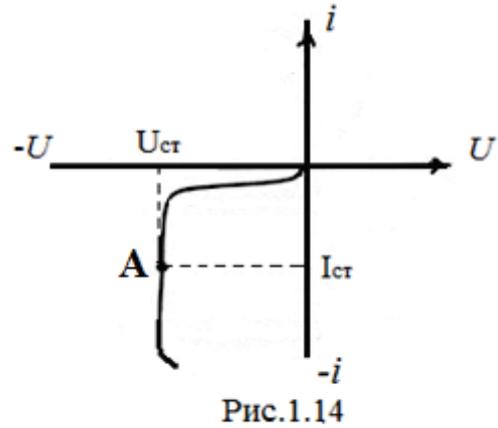
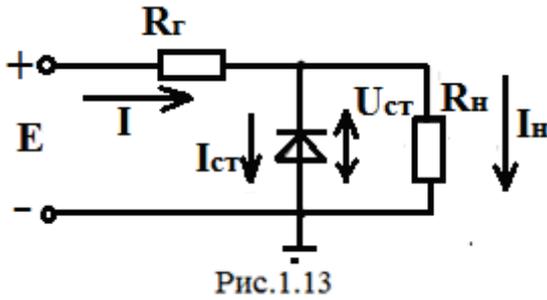


Рис.1.12

8. Выбор точки покоя стабилитрона в схеме стабилизатора производится сопротивлением R_{Γ} (рис.1.13). Пусть E может меняться симметрично в стороны увеличения и уменьшения, то есть $+\Delta E = -\Delta E$. Тогда выбираем точку покоя A в середине рабочей зоны (рис. 1.14). Ей соответствуют $I_{\text{ст}}$, $U_{\text{ст}}$.



$$R_{\Gamma} = \frac{E - U_{\text{ст}}}{I}, \quad I = I_{\text{ст}} + I_{\text{H}} = I_{\text{ст}} + \frac{U_{\text{ст}}}{R_{\text{H}}}$$

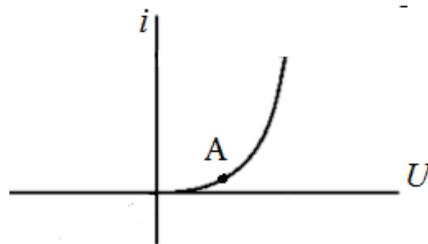
Диоды различного назначения

а) Смесительный диод – для преобразования высокочастотных сигналов в сигналы промежуточной частоты.

Материал – арсенид галлия, электрический переход – переход Шотки. Точка покоя – на квадратичном участке ВАХ (рис. 1.15), что даёт возможность получить

$$\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{с}} - \omega_{\Gamma},$$

где $\omega_{\text{пр}}$ – промежуточная частота, $\omega_{\text{с}}$ – частота сигнала, ω_{Γ} – частота гетеродина.



б) Детекторный диод выделяет из АМ-сигналов сигнал более низкой частоты (рис.1.16).

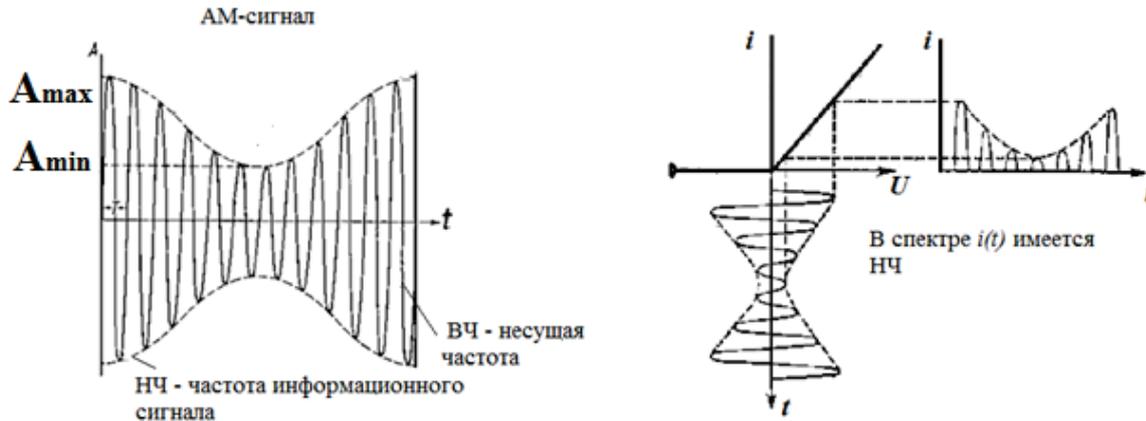


Рис.1.16

в) Переключательный диод – для применения в устройствах управления уровнем СВЧ-мощности (рис. 1.17)

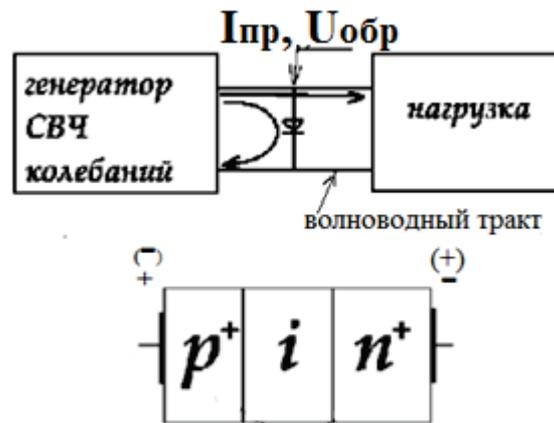


Рис.1.17

г) Лавинно-пролётный диод – для генерации СВЧ-колебаний (рис.1.18)

В области p-n перехода при $U_A + U_{\sim}$ развивается лавинный пробой. Электроны и дырки разделяются полем p-n-перехода: дырки – в p^+ -область, электроны – в n^+ -область.

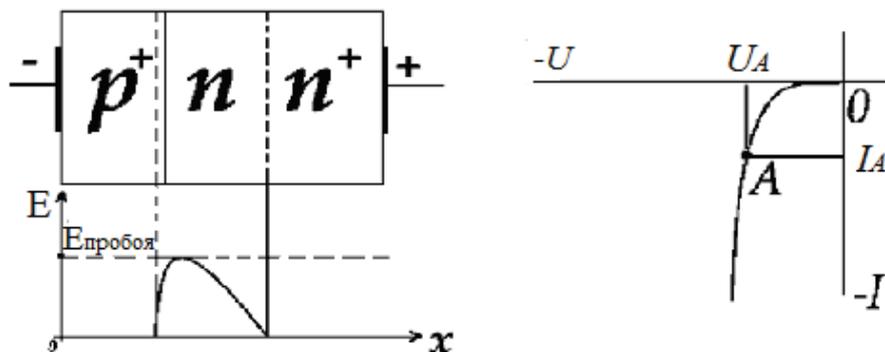


Рис.1.18

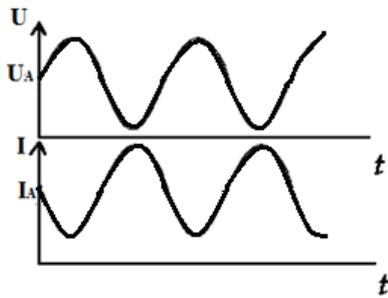


Рис.1.19

Принцип работы основан на задержке тока относительно напряжения, вызванной конечной скоростью развития лавины и движения носителей заряда.

Фазовый сдвиг 180° (рис.1.19) (частный случай) \rightarrow отрицательное дифференциальное сопротивление \rightarrow генерация колебаний.

д) Туннельный диод – на основе вырожденного полупроводника (с большим содержанием примесей), результатом чего является то, что энергетические уровни примесей p- и n-областей одинаковы и электроны примеси туннелируют (для них нет потенциального барьера) в p-область (рис.1.20).

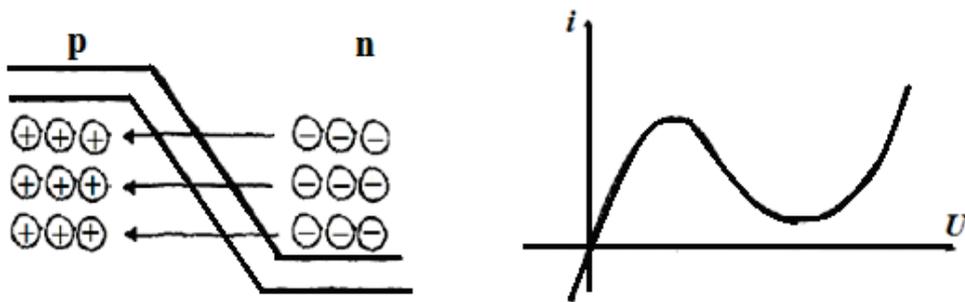


Рис.1.20

е) Обращённый диод – с критическим содержанием примесей (рис.1.21)

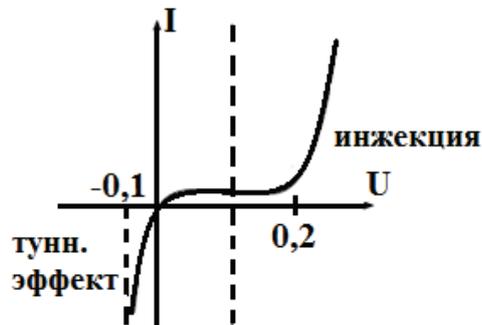


Рис.1.21

ж) Варикап - $C_{\text{вар}} = f(U_{\text{обр}})$, рис.1.22

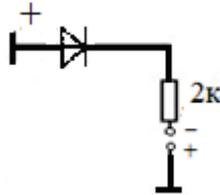


Рис.1.22

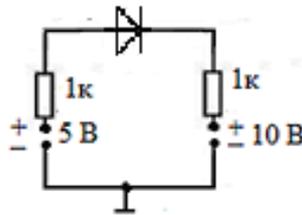
з) Диод Ганна – генератор СВЧ-колебаний; используется свойство полупроводника, находящегося в сильном магнитном поле, генерировать СВЧ-колебания.

Задачи для самостоятельного решения.

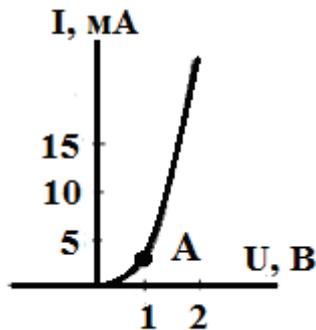
1) Определить состояние диода (открыт или закрыт) и, соответственно, $I_{пр}$ или $U_{обр}$.



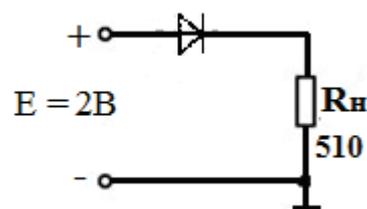
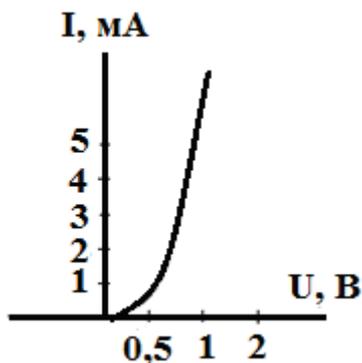
2) Определить состояние диода (открыт или закрыт) и, соответственно, $I_{пр}$ или $U_{обр}$.



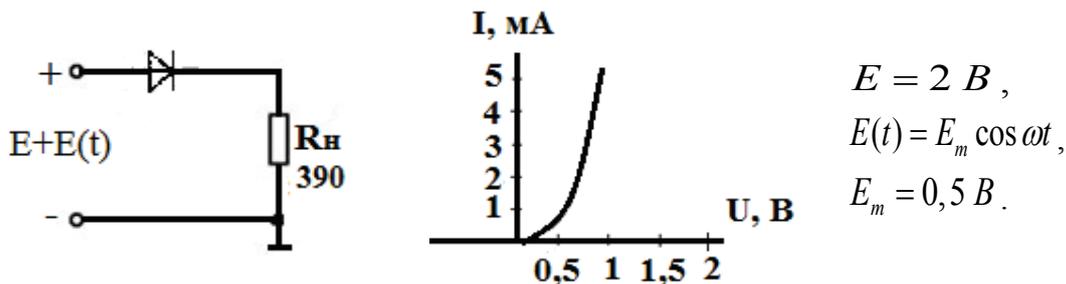
3) Определить дифференциальное сопротивление диода в точке А.



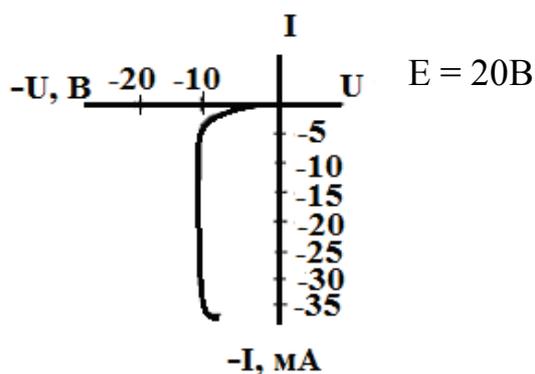
4) Построить нагрузочную прямую и определить ток покоя.



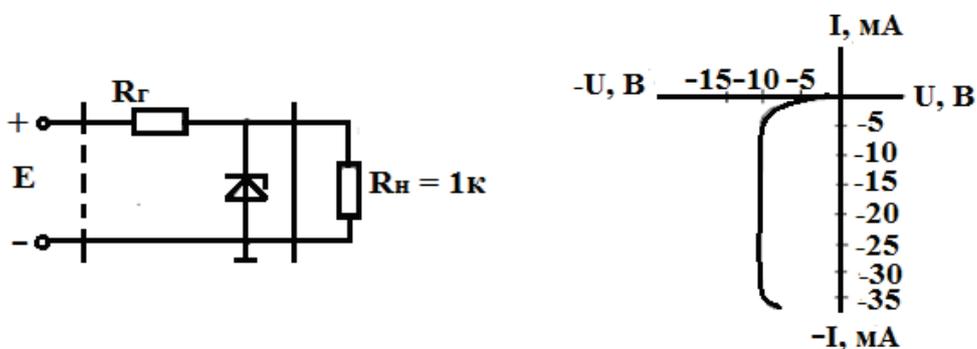
5) Определить переменную составляющую тока I_m в схеме.



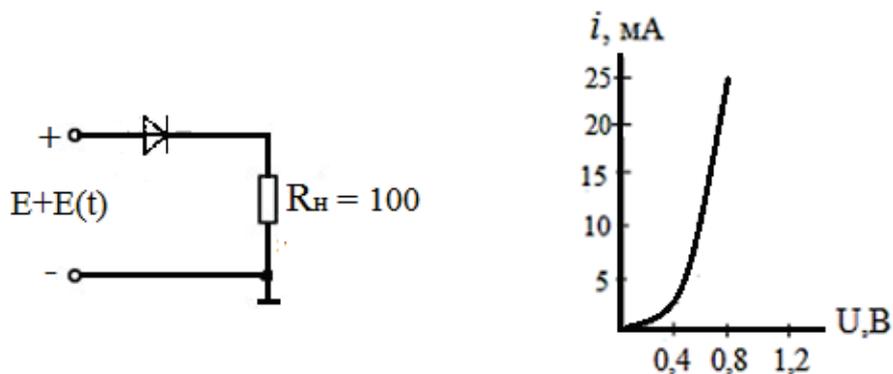
6) Определить допустимые изменения ($\pm \Delta E$) стабилизируемого напряжения:



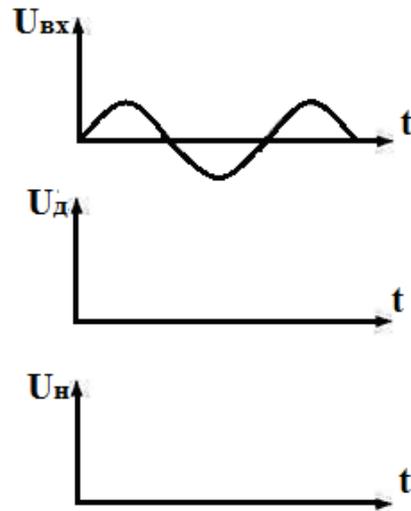
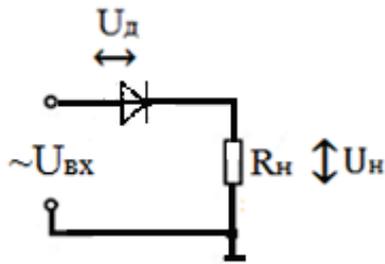
7) Определить R_r : $E = 20\text{V}$



8) Укажите стрелками траекторию движения рабочей точки при напряжении $E = 1,2 \text{ В}$ и переменном сигнале $E(t) = E_m \cos \omega t$, $E_m = 0,4 \text{ В}$.



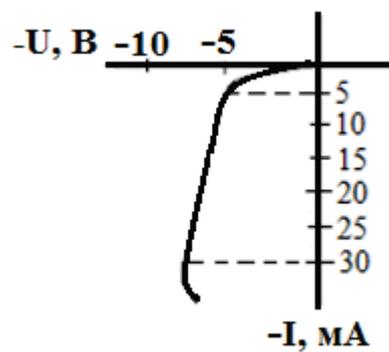
9) Нарисуйте эюры U_d и U_H :



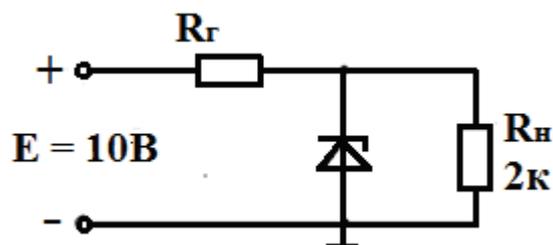
10) На ВАХ стабилитрона выбрать точку покоя, если стабилизируемое напряжение может только увеличиваться.



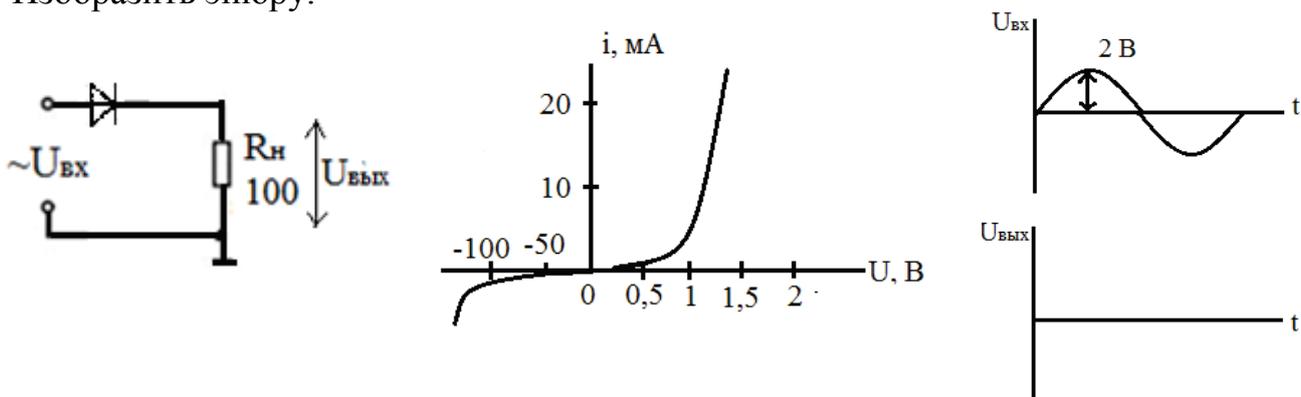
11) Рассчитать дифференциальное сопротивление стабилитрона.



12) Рассчитать R_r для стабилитрона.



13) Определите тип диода, материал, положение точки покоя и амплитуду $U_{\text{ВЫХ}}$. Изобразить эппюру.



II. БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

Основные определения:

Биполярный транзистор – полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими р-п-переходами и тремя выводами, процессы в котором определяются инжекцией и экстракцией носителей заряда;

Инжекция – переход основных носителей заряда через пониженный потенциальный барьер в область, где они будут неосновными;

Экстракция – освобождение базы от неосновных носителей заряда;

Режим работы отсечки – когда оба перехода смещены в обратном направлении; насыщения, когда оба перехода смещены в прямом направлении; активный – эмиттерный переход смещен в прямом направлении, коллекторный – в обратном.

ЗАДАЧИ

1. В каком режиме находится БТ в схеме (рис.2.1).

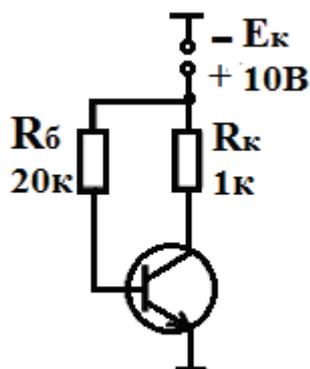


Рис. 2.1.

$\beta = 20$
 $(\beta = \frac{I_k}{I_b} - \text{справочная величина для транзисторов одного типа})$

2. Построить линию переменного тока для схемы на рис.2.2

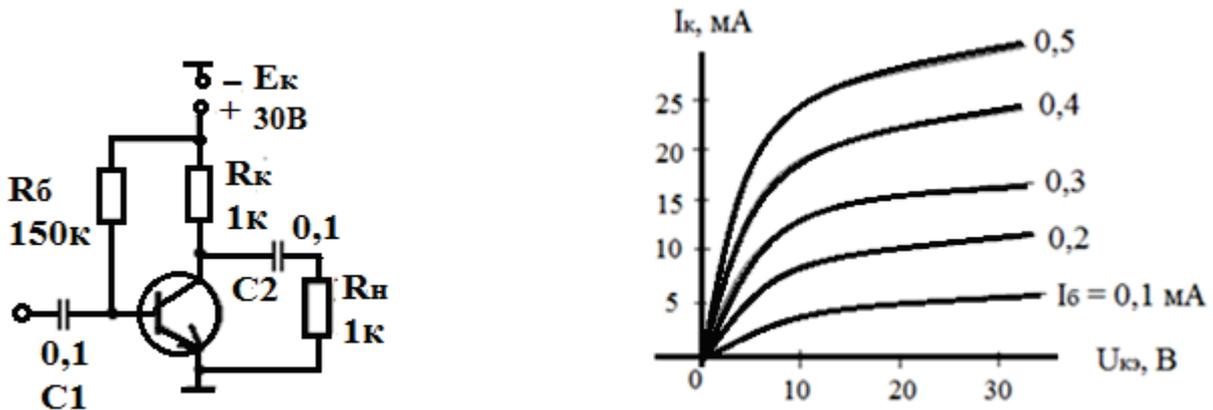


Рис.2.2

$$f_{\text{вх}} = 1 \text{ МГц}$$

3. Рассчитать $I_{\text{э}}$, $\beta = 80$ (рис.2.3)

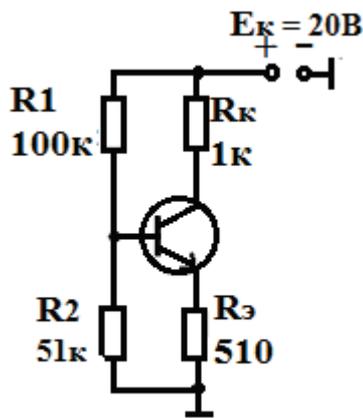


Рис.2.3

4. Проверить наличие режима отсечки (рис.2.4)

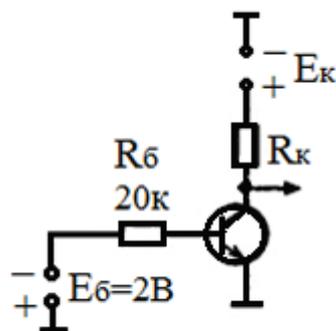


Рис.2.4

$$I_{\text{к0}}_{\text{max}} = 100 \text{ мкА}$$

5. Определить степень насыщения транзистора в схеме на рис.2.5.

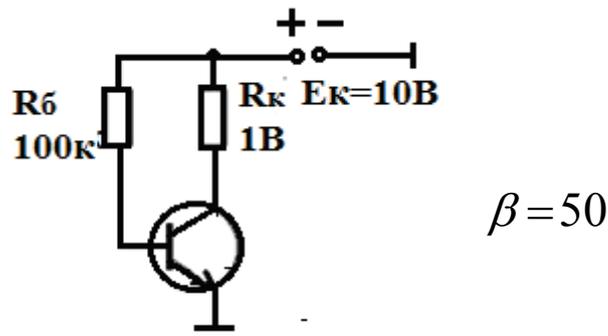


Рис. 2.5

6. Определить амплитудное значение $U_{\text{ВХМ}}$ при подаче sin-го сигнала с $U_{\text{ВХМ}}$ (рис. 2.6).

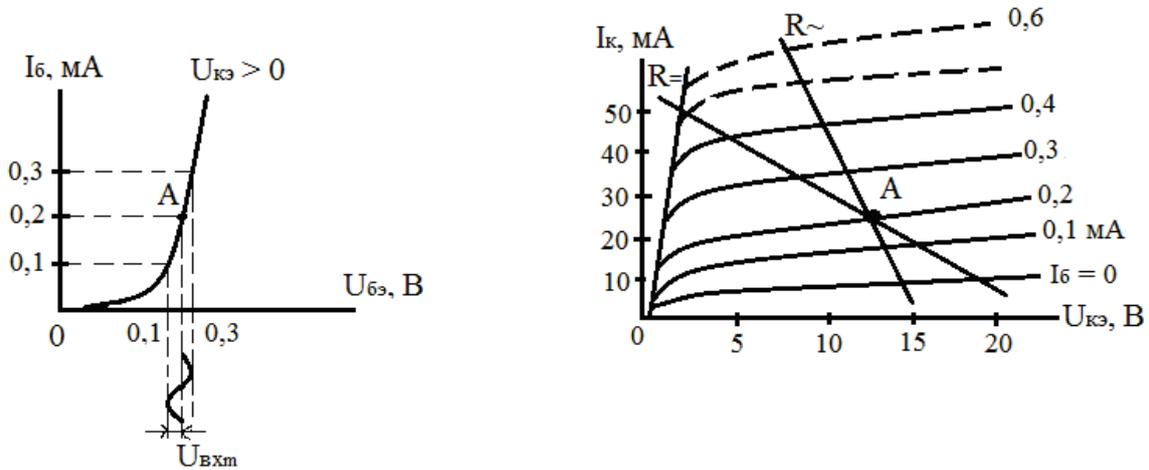


Рис. 2.6

7. Определить U_3 при $I_6 = 0,2$ mA

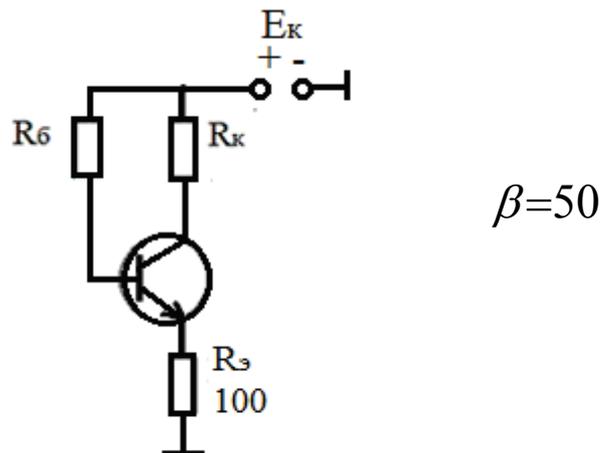


Рис. 2.7

8. Определить режим работы БТ для схемы на рис. 2.8.

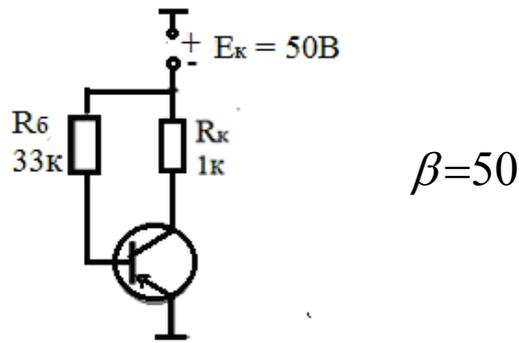


Рис. 2.8

9. Определить амплитуду входного сигнала по $U_{\text{вых}}(t)$ – рис. 2.9.

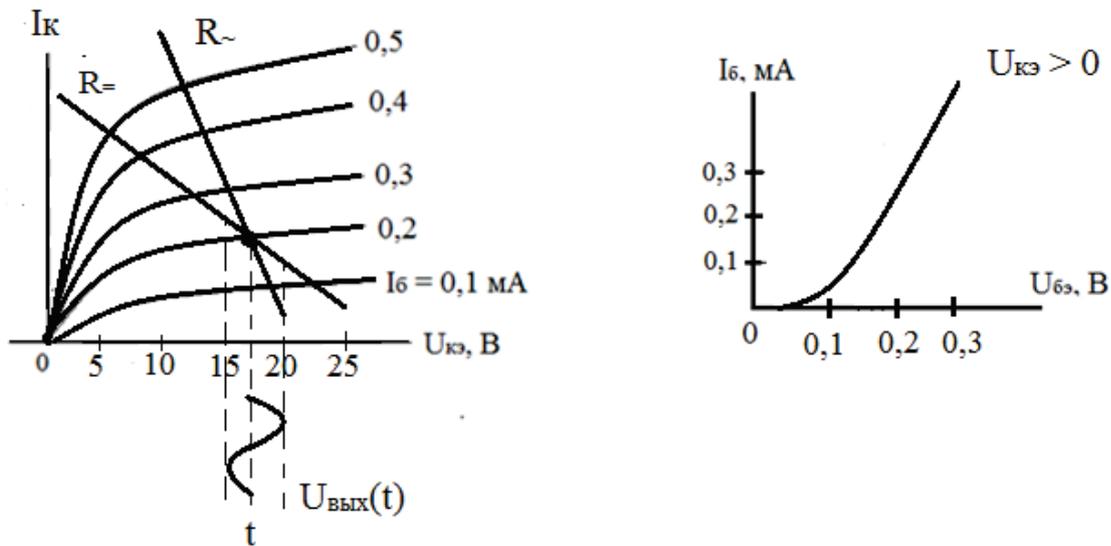


Рис.2.9

10. Определить полярность и амплитуду $U_{\text{вх}}$ (сигнал импульсный), при которых $U_{\text{вых}} \approx 20 \text{ В}$; $\beta=20$ (рис. 2.10).

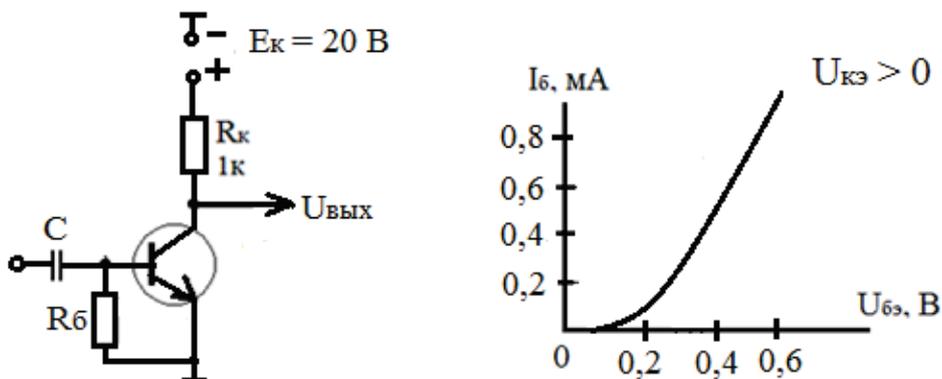


Рис. 2.10

11. Определить амплитуду и полярность входного напряжения, переключающего БТ ключа (рис. 2.11) из режима отсечки (т. А) в режим насыщения со степенью $S = 1,1$. Определить амплитуду и полярность выходного напряжения.

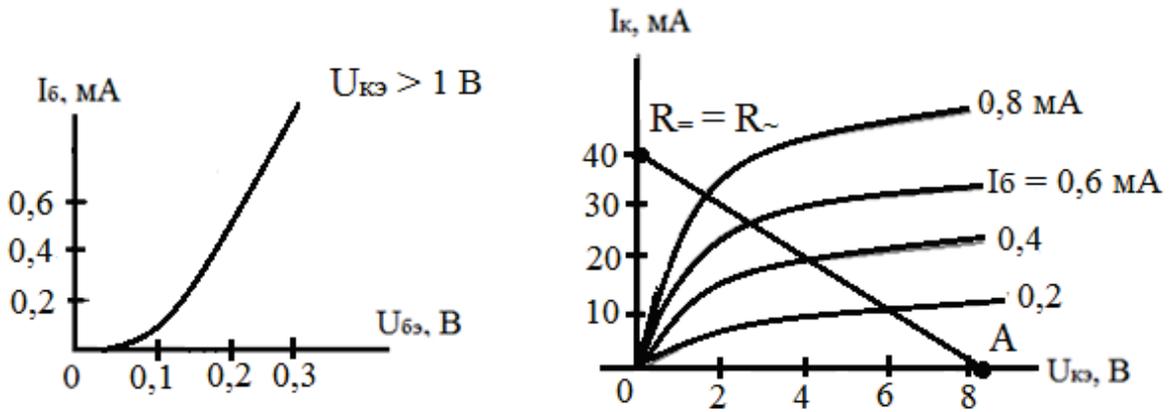


Рис. 2.11

12. Нарисовать эюры $U_{\text{ВЫХ1}}$ и $U_{\text{ВЫХ2}}$ для схемы на рис. 2.12.

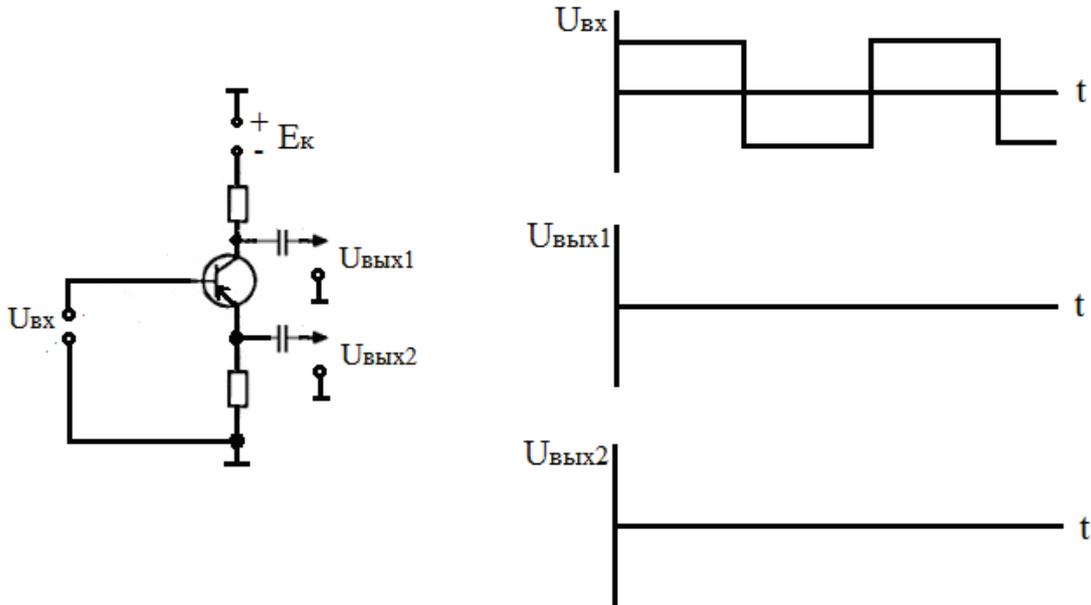
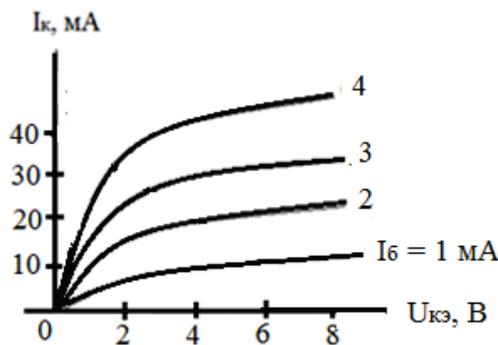


Рис. 2.12

13. Найти зону безопасной работы БТ (рис. 2.13).



$$I_{\text{к доп}} = 50 \text{ мА}$$

$$U_{\text{кэ доп}} = 15 \text{ В}$$

$$P_{\text{к доп}} = 100 \text{ мВт}$$

Рис. 2.13

14. Обеспечить положение рабочей точки транзистора (рис. 2.14). Рассчитать $h_{11э}$, $h_{21э}$ и $h_{22э}$.

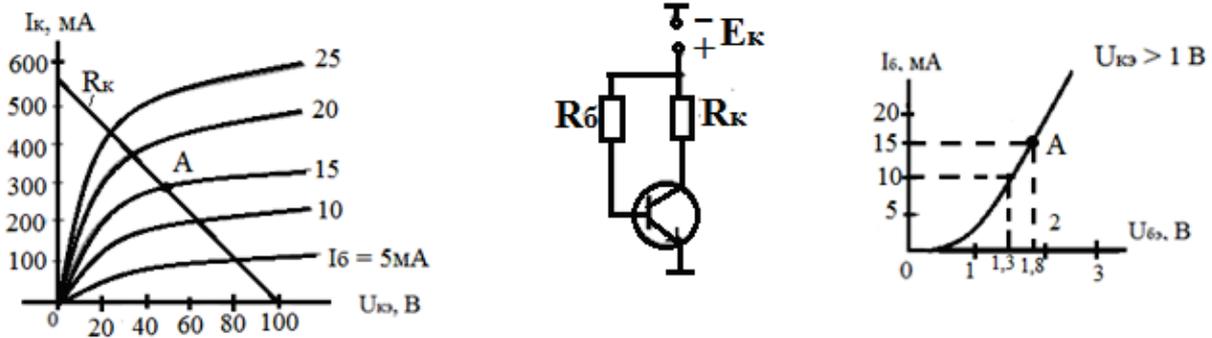


Рис. 2.14

15. Определить $I_б$ схемы на рис. 2.15.

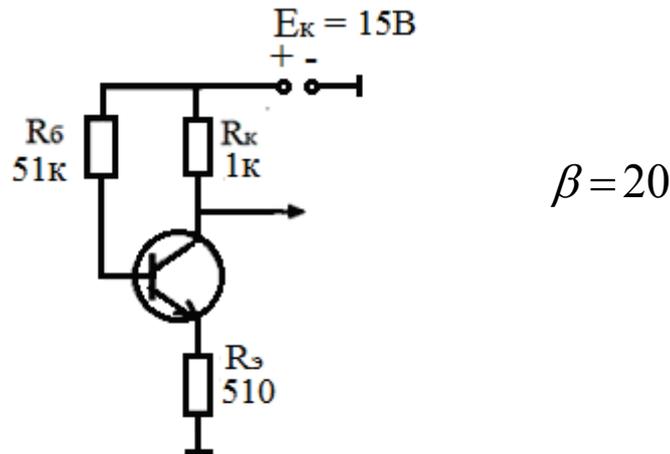


Рис. 2.15

16. Выбрать все элементы схемы, обеспечить режим насыщения с $S=1$ (рис. 2.16).

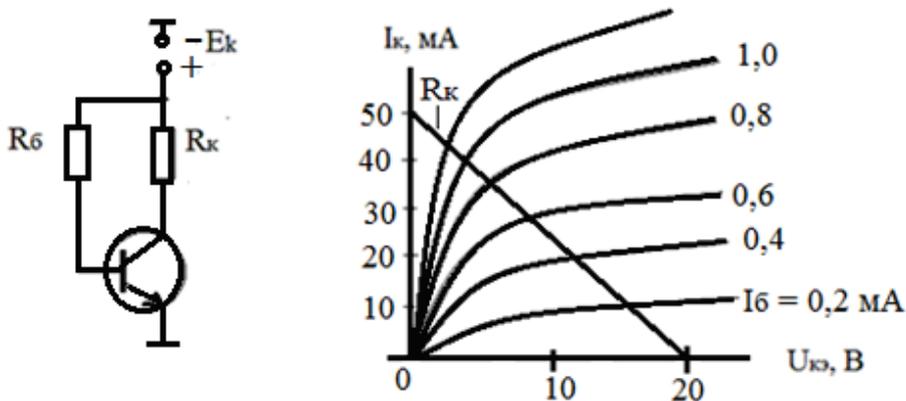


Рис. 2.16

Пояснения к задачам

1. Если БТ открыт, то для определения режима (активный, насыщения) нужно определить степень насыщения $S = \frac{I_{\sigma}}{I_{\sigma_H}}$.

Если $S < 1$, то режим активный; если $S \geq 1$, то насыщения.

I_{σ_H} можно найти по формуле $I_{\sigma_H} \approx \frac{E_K}{\beta R_K}$ или по выходной ВАХ как параметр

кривой, исходящей из точки насыщения.

I_{σ} определяется в зависимости от способа задания точки покоя.

2. Для построения линии переменного тока необходимо:

- Построить нагрузочную прямую постоянного тока по точкам:

$$U_{кэ} = E_K, I_K = 0;$$

$$U_{кэ} = 0, I_K = \frac{E_K}{R_{\Sigma}}$$

- Определить I_{σ} ;
- Указать точку покоя;
- Определить R_{Σ} ;

Обычно $X_C = \frac{1}{\omega C} \approx$ мало, тогда сопротивление ёмкости можно не

учитывать.

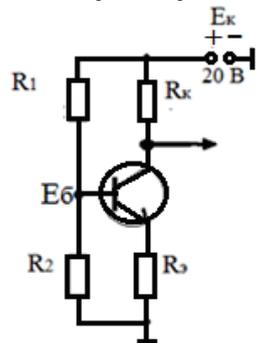
- Построить вспомогательную прямую по точкам:

$$U_{кэ} = E_K, I_K = 0;$$

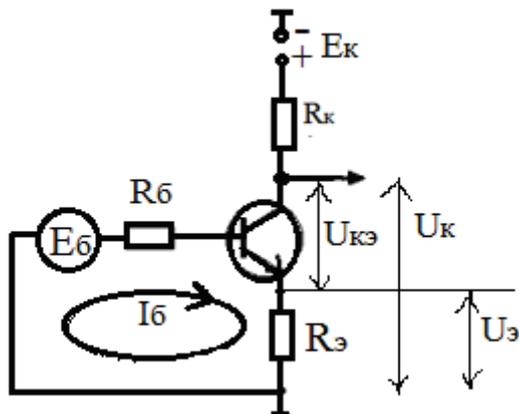
$$U_{кэ} = 0, I_K = \frac{E_K}{R_{\Sigma}}$$

- Провести линию R_{Σ} через точку покоя с наклоном вспомогательной прямой.

3. К расчёту схемы по постоянному току:



Преобразуем входную цепь:



ток делителя

$$E_{\text{б}} = \frac{E_{\text{к}}}{R_1 + R_2} \cdot R_2; \quad R_{\text{б}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Так как по $R_{\text{б}}$ протекает $I_{\text{б}}$, а по $R_{\text{э}}$ – ток $I_{\text{э}} = (1 + \beta)I_{\text{б}}$, то

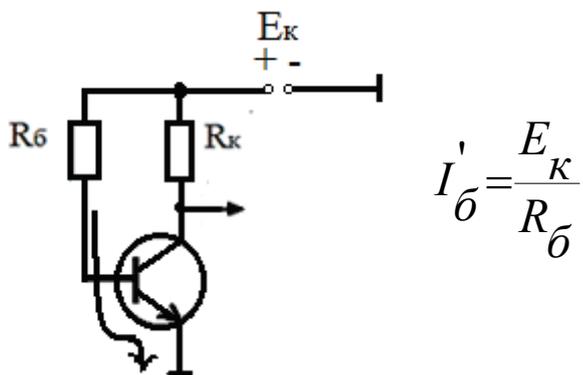
$$I_{\text{б}} = \frac{E_{\text{б}}}{R_{\text{б}} + (1 + \beta)R_{\text{э}}}$$

$$U_{\text{э}} = I_{\text{э}} \cdot R_{\text{э}}; \quad U_{\text{к}} = E_{\text{к}} - I_{\text{к}} R_{\text{к}}; \quad U_{\text{кэ}} = U_{\text{к}} - U_{\text{э}};$$

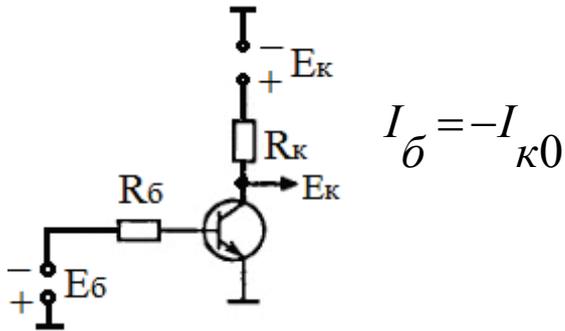
$$I_{\text{к}} = \beta I_{\text{б}}$$

Другие варианты задания точки покоя:

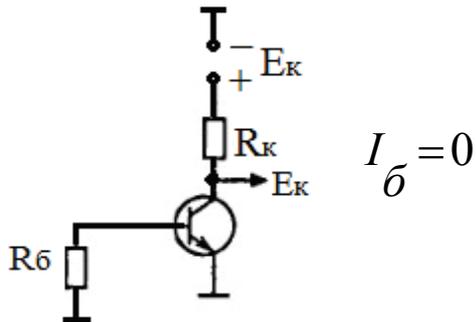
1)



2)

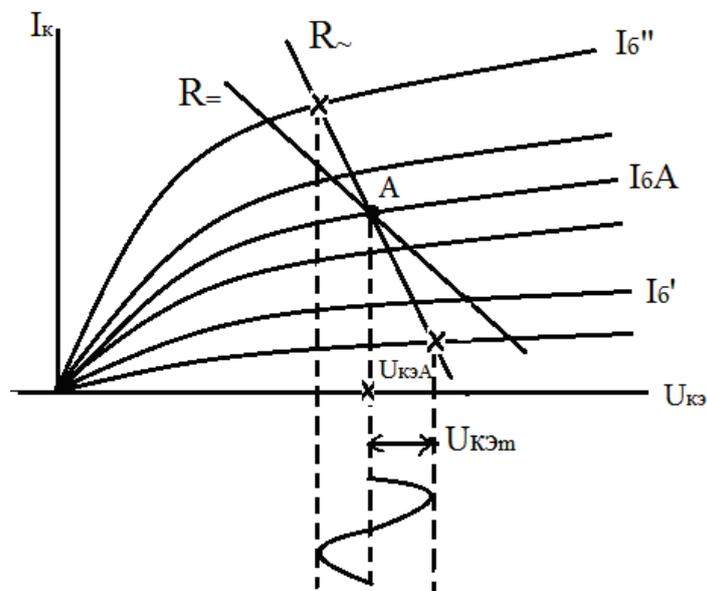


3)



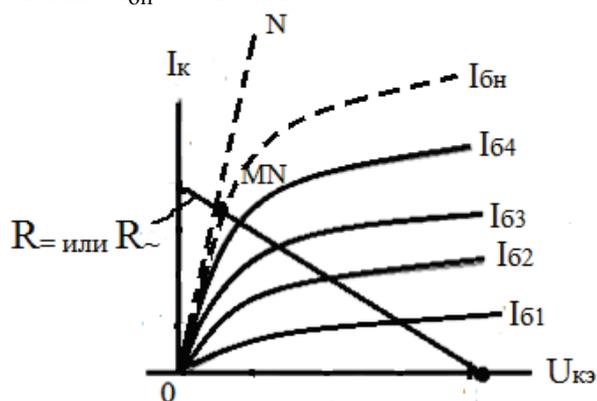
4. При проверке наличия режима определяется его обеспеченность элементами схемы. Например, для режима отсечки это $|E_{\delta}| > I_{к0\max} R_{\delta}$.

5. (к №6). Обратить внимание, что входной сигнал перемещает рабочую точку по R_{\sim} :



6. (к №10). Максимальный импульсный сигнал ($\sim E_{к}$) получается при переключении БТ из отсечки в насыщение, и наоборот. Необходимо определить режим схемы по постоянному току, а затем подать импульсный сигнал соответствующей полярности, который переключит БТ в противоположный режим.

7. (к №11). Определение $I_{бн}$ по ВАХ:

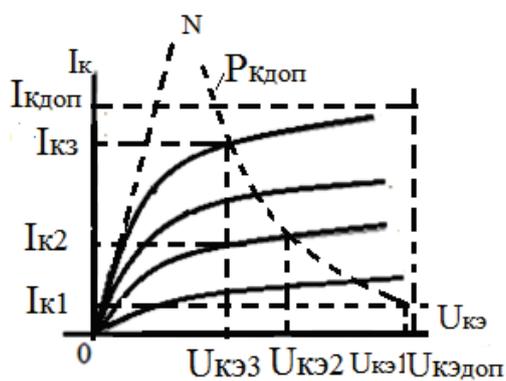


1) Проведем линию насыщения ON

2) Из точки MN проведем кривую и по ней – $I_{бн}$. (её вид приблизительно тот же, что и к ней ближайшей).

8*. (к №13).

$$P_{кдоп} = U_{кэ} I_{к}$$



Задавая произвольное значение

$$I_{к1} = \frac{P_{кдоп}}{U_{кэ1}}$$

$$U_{кэ1}$$

$$U_{кэ2}$$

$$U_{кэ3}$$

рассчитываем

$$I_{к2} = \frac{P_{кдоп}}{U_{кэ2}}$$

$$I_{к3} = \frac{P_{кдоп}}{U_{кэ3}}$$

Зона безопасной работы ограничена линией насыщения ON, $I_{кдоп}$, $U_{кэдоп}$, $P_{кдоп}$.

Содержание

1. Полупроводниковые диоды.....	3
2. Биполярный транзистор.....	13

Подписано в печать 17.03.2017 г.

Печать офсетная
0,27 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ №1725/155

0,95 уч.-изд. л.
Тираж 60 экз.

*Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
ООО «ИПП «ИНСОФТ»
107140, г. Москва, 3-й Красносельский переулок д.21, стр. 1*