

## ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ РК МОДУЛЯ 1

Задачи составлены на основе примеров, рассмотренных на семинарах. Некоторые из задач требуют применения графических методов определения параметров полупроводникового прибора по его ВАХ, используемых при выполнении лабораторных работ 1 и 2.

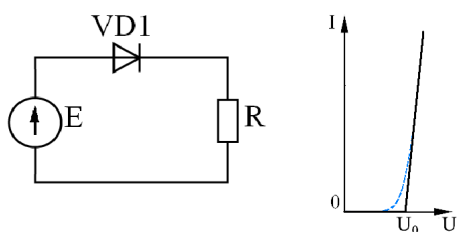
### Диоды и стабилитроны

#### 1. Определение режима работы диода графоаналитическим методом.

Для диода – рассматривалось на семинаре 2. Приводится схема выпрямителя (см. ниже) и ВАХ диода, даны значения  $E$  и  $R$ . На графике ВАХ строится нагрузочная прямая, координаты точки пересечения ВАХ и нагрузочной прямой дают режим работы. Может потребоваться найти дифференциальное сопротивление диода в соотв. Точке – см. ЛР1.

Аналогичная задача со стабилитроном (в некоторых группах на семинаре 2 могла не рассматриваться, см. ниже)

#### 2. Диод в выпрямительной схеме. Постоянное входное напряжение.



1.1 Дано: параметры аппроксимации ВАХ диода  $VD1$  ( $U_0$ ,  $r_d$ );  
тепловое сопротивление переход - окр. среда  $R_{T}^{П-С}$  = ;  
максимальная допустимая температура перехода  $t_{п}^0$  = ;  
 $E$  = ,  $R$  = .

Определить: ток диода  $I_d$ , напряжение на диоде  $U_d$ ; напряжение на резисторе  $U_R$  ;  
мощность, рассеиваемую на диоде  $P_{расс}$ ; максимально допустимую температуру окр. среды.

Если  $U_d = U_0 + I_d r_d$ , то закон Кирхгофа для рассматриваемой цепи

$$E = U_d + I_d R = U_0 + I_d(r_d + R)$$

Тогда

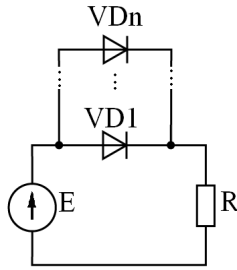
$$I_d = (E - U_0) / (r_d + R); U_R = I_d R; P_{расс} = U_d I_d = (U_0 + I_d r_d) I_d = U_0 I_d + I_d^2 r_d$$

$$t_{п}^0 - t_c^0 = P_{расс} R_{T}^{П-С}$$

Варианты формулировки задания:

- определить, будет ли работоспособен диод в заданном режиме при  $t_c^0$  = .

1.2 Аналогичная задача для схемы с последовательным или параллельным соединением **н** **идентичных** диодов ( $n=2...4$ ). – не будет, можно изучить, кому интересно.

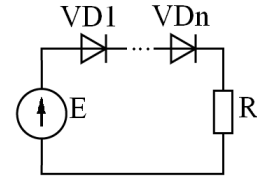


Учесть, что  $I_R = nI_d$ .

Тогда

$$E = U_d + nI_d R = U_0 + I_d r_d + nI_d R$$

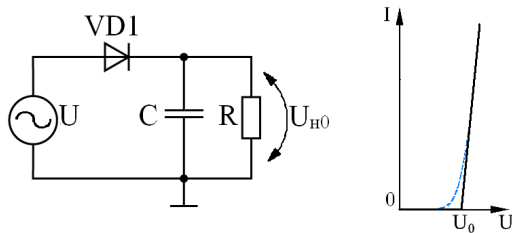
Ток одного диода  $I_d = (E - U_0) / (r_d + nR)$



Учесть, что  $E = nU_d + I_d R = nU_0 + nI_d r_d + I_d R$

$$I_d = (E - nU_0) / (nr_d + R)$$

## 2. Диод в выпрямительной схеме с конденсатором. Переменное входное напряжение.



2.1. Дано: параметры аппроксимации ВАХ диода VD1 ( $U_0$ ,  $r_d$ );

(**Примечание.** Здесь указано сопротивление диода по переменному току  $r_d$ , а на семинарах использовалось сопротивление базы диода  $r_b$  – в нашем случае приблизительно то же самое)

соотношение между средним током нагрузки и амплитудой импульса тока заряда

конденсатора:  $I_{Cm} = kI_{n0}$  (**к может быть задано в условиях задачи в диапазоне 5...10**).

тепловое сопротивление переход - окр. среда  $R_{T}^{П-С} =$  ;

максимальная допустимая температура перехода  $t_{п}^{\circ} =$  ;

амплитуда входного напряжения  $U_m =$  ; частота  $F =$  ;  $R =$  ;  $C =$  .

Определить: постоянную составляющую напряжения в нагрузке  $U_{n0}$ ; средний ток нагрузки (он же - постоянная составляющая тока нагрузки)  $I_{n0}$  ; размах пульсаций  $\Delta U_n$ ; мощность, рассеиваемую на диоде  $P_{расс}$ ; максимально допустимую температуру окр. среды.

Вместо R может быть задан  $I_{n0}$ .

Могут быть другие варианты задания, например:

- определить минимальную величину C, обеспечивающую заданный размах пульсаций  $\Delta U_n$  (пример, рассмотренный на семинаре),
- определить  $U_m$  для заданных  $\Delta U_n$ ,  $U_{n0}$  и  $I_{n0}$  (пример, рассмотренный на семинаре),
- нужен ли радиатор для обеспечения заданного режима при заданной температуре окр. среды и др.

При решении можно использовать соотношения, данные на семинарах

$$U_{n0} \approx I_{n0} R, I_{n0} \approx U_{n0} / R$$

$$U_m \approx U_{n0} + 0,5\Delta U_n + U_d = U_{n0} + 0,5\Delta U_n + U_0 + I_{n0} r_d$$

Если импульс ток заряд конденсатора амплитудой  $I_{Cm}$  имеет форму близкую к синусоидальной, то энергетически он будет эквивалентен прямоугольному импульсу тока амплитудой  $I_{Cэфф} = 0,707I_{Cm}$ . Тогда приблизительно можно полагать, что конденсатор C заряжается **постоянным** током  $I_{Cэфф}$  за время  $t_{зар}$  и разряжается током  $I_{n0}$  за время  $t_{разр}$  .

Тогда  $I_{Cэфф} / I_{H0} \approx t_p / t_{зар}$ , или  $0,707 I_{Cм} / I_{H0} = 0,707k \approx t_p / t_3$ ,

Т. к.  $T = t_{зар} + t_{разр} = t_p \left( 1 + \frac{1}{0,707k} \right)$ , то

$$t_{разр} = \frac{0,707k}{1 + 0,707k} \cdot T = \frac{0,707k}{(1 + 0,707k)F}, \quad t_{зар} = \frac{T}{1 + 0,707k}.$$

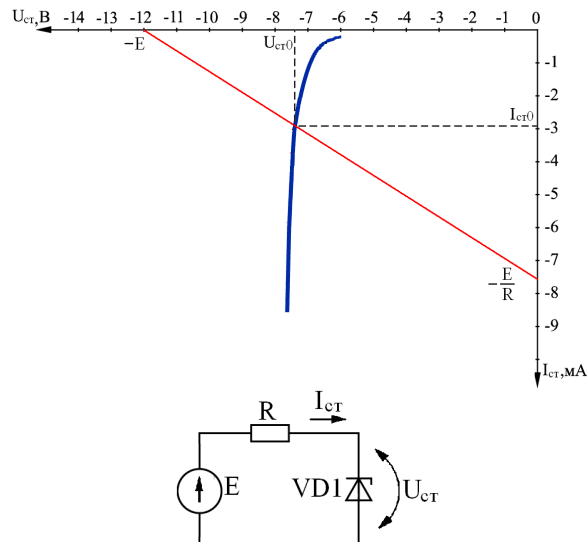
$$\Delta U_H = I_{H0} t_{разр} / C, \text{ или } C_{min} = I_{H0} t_{разр} / \Delta U_H$$

$$P_{расс} \approx (U_0 I_{H0} + I_{H0}^2 r_d)(t_{зар} / T) + (U_0 I_{Cэфф} + I_{Cэфф}^2 r_d)(t_{зар} / T) = \\ = (U_0 (I_{H0} + I_{Cэфф}) / (1 + 0,707k)) + (r_d (I_{H0}^2 + I_{Cэфф}^2) / (1 + 0,707k))$$

$$t_{п}^o - t_c^o = P_{расс} R_T \Pi - C$$

### 2.3. Определение режима работы диода графоаналитическим методом.

По ВАХ стабилитрона определить режим его работы ( $I_{ст0}$ ,  $U_{ст0}$ ) и  $r_{диф}$  для заданных значений  $E$  и  $R$



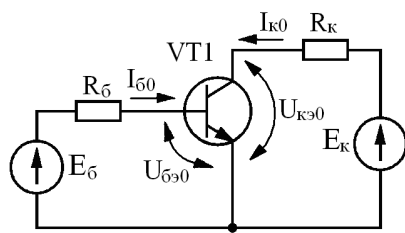
Режим работы стабилитрона определяется как координаты точки пересечения ВАХ стабилитрона и нагрузочной прямой:

$$E = I_{ст} R + U_{ст}$$

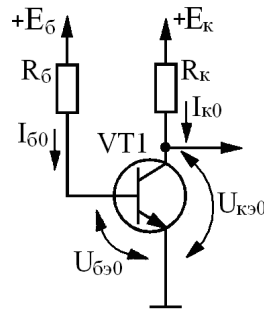
Дифференциальное сопротивление определяется по методике, применяемой при выполнении лабораторной работы 1. Может быть задано 1 или 2 значения  $E$ .

## Биполярный транзистор в схеме ОЭ

Представление схемы в задаче



- общий случай, вид как на семинаре



То же, но другом виде

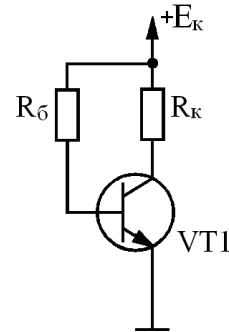


Схема для распространенного случая  $E_б = E_к$

1.1. Дано: схема с указанными  $E_б$ ,  $E_к$ ,  $R_б$ ,  $R_к$ ; входная ВАХ, семейство выходных ВАХ; может быть дана ВАХ передачи.

Графически определить по ВАХ режим покоя VT1 ( $U_{бэ0}$ ,  $U_{кэ0}$ ,  $I_{б0}$ ,  $I_{к0}$ ) и соответствующие ему h-параметры VT1.

Потребуется определить один или два h-параметра из четырех.

Для определения режима покоя транзистора на графиках ВАХ по стандартной методике построить нагрузочные прямые для входной и выходной цепей транзистора. Сначала определяется режим покоя входной цепи VT1 ( $U_{бэ0}$ ,  $I_{б0}$ ) как координаты точки пересечения входной ВАХ VT1 и нагрузочной прямой для входной цепи:

$$E_б = I_{б0}R_б + U_{бэ0}$$

Далее ищем на графике семейства выходных ВАХ характеристику, построенную для найденного  $I_{б0}$ , если найдем – будет приятное совпадение. Скорее всего этого не случится, поэтому выходную ВАХ для  $I_{б0}$  строим приближенно между имеющимися на графике характеристиками для  $I_б$  несколько больше и несколько меньше  $I_{б0}$ . Определяем режим покоя выходной цепи VT1 ( $U_{кэ0}$ ,  $I_{к0}$ ) как координаты точки пересечения выходной ВАХ, построенной для  $I_{б0}$ , и нагрузочной прямой для выходной цепи

$$E_к = I_{к0}R_к + U_{кэ0}$$

Далее определить требуемые h-параметры транзистора в точках покоя по методике, использованной при выполнении лабораторной работы 2.

Все необходимые построения выполнять на бланке задачи.

1.2. Дано: схема с указанными  $E_б$ ,  $E_к$ ,  $R_б$ ,  $R_к$ . Параметры транзистора: материал (германий или кремний);  $\beta =$  ;  $U_{кэ\text{ нас}} =$  .

Рассчитать режим покоя VT1 ( $U_{кэ0}$ ,  $I_{б0}$ ,  $I_{к0}$ ) и мощность  $P_{\text{расс}}$ , рассеиваемую на транзисторе.

При расчете режима покоя входной цепи задаться приближенным значением  $U_{бэ0}$ , характерным для транзисторов из кремния или германия, обосновать используемое

приближение. Рассчитать  $I_{B0}$  по формуле, полученной на основе закона Кирхгофа для входной цепи VT1.

По рассчитанному значению  $I_{B0}$  определить  $I_{K0}$ . Рассчитать  $U_{KЭ0}$  по формуле, полученной на основе закона Кирхгофа для выходной цепи VT1.

1.3. Дано: схема с указанными  $E_B$ ,  $E_K$ . Параметры транзистора: материал (германий или кремний),  $\beta =$  ;  $U_{KЭ\text{ нас}} =$  . Задан режим покоя выходной цепи VT1  $U_{KЭ0} =$  ;  $I_{K0} =$  .

Рассчитать  $R_B$  и  $R_K$ , обеспечивающие заданные  $U_{KЭ0}$  и  $I_{K0}$ .

Рассчитать режим покоя VT1 при замене транзистора на экземпляр с  $\beta' =$  .

Вначале на основе закона Кирхгофа для выходной цепи VT1 получить формулу для определения  $R_K$  по заданным  $E_K$  и  $U_{KЭ0}$ , рассчитать  $R_K$ . Пересчитать  $I_{K0}$  в  $I_{B0}$ . На основе закона Кирхгофа для входной цепи VT1 получить формулу для определения  $R_B$  по заданным  $E_B$  и  $U_{BЭ0}$ , рассчитать  $R_B$  (значением  $U_{BЭ0}$  задаться приближенно, см. предыдущий пример).

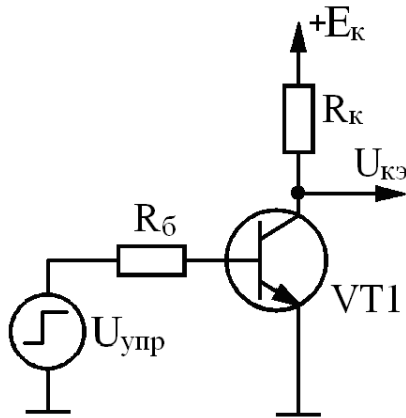
Далее пояснить, почему режим покоя входной цепи в данной схеме при замене VT1 на экземпляр с другим значением  $\beta = \beta'$  изменится незначительно. Проверить, не войдет ли VT1 с  $\beta = \beta'$  в режим насыщения:

- определить значение  $I_{KH} = (E_K - U_{KЭ\text{ нас}})/R_K$  и  $I_{BH} = I_{KH}/\beta'$

- сравнить  $I_{B0}$  с  $I_{BH}$  ; если  $I_{B0} < I_{BH}$ , то режим активный, тогда новое значение тока покоя коллектора  $I'_{K0} = \beta' I_{B0}$ , новое значение  $U'_{KЭ0} = E_K - I'_{K0} R_K$ ; если  $I_{B0} > I_{BH}$ , то транзистор будет в режиме насыщения,  $I'_{K0} = I_{KH}$  ,  $U'_{KЭ0} = U_{KЭ\text{ нас}}$

## Ключ на биполярном транзисторе с ОЭ

Основная схема



Интервал 1 – режим отсечки:

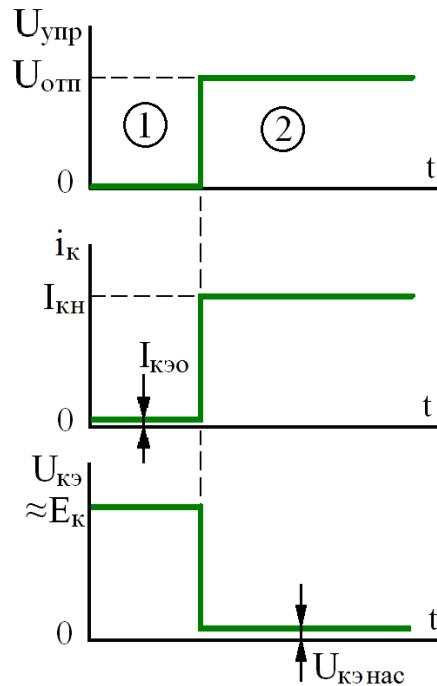
$$U_{упр} = U_{зап} = 0; i_k = I_{кэ0} \ll I_{кн};$$

$$U_{кэ} = E_k - I_{кэ0} R_k \approx E_k$$

Интервал 2 – режим насыщения:

$$U_{упр} = U_{отп}; i_k = I_{кн};$$

$$U_{кэ} = U_{кэ\text{ нас}} \ll E_k$$



Основные расчетные формулы

Законы Кирхгофа для выходной и входной цепей при режиме насыщения

$$E_k = I_{кн} R_k + U_{кэ\text{ нас}}; \quad U_{отп} = I_{б\text{ отп}} R_b + U_{бэ\text{ нас}};$$

$$\text{ток коллектора насыщения } I_{кн} = (E_k - U_{кэ\text{ нас}}) / R_k \quad (1)$$

$$\text{ток базы насыщения } I_{бн} = I_{кн} / \beta \quad (2)$$

$$\text{отпирающий ток базы } I_{б\text{ отп}} = (U_{отп} - U_{бэ\text{ нас}}) / R_b \quad (3)$$

$$\text{условие насыщения: } I_{б\text{ отп}} > I_{бн} \quad (4)$$

$$\text{степень насыщения } S = I_{б\text{ отп}} / I_{бн} = \beta I_{б\text{ отп}} / I_{кн} \quad (5) \text{ (обычно } S=2\dots5)$$

мощность, рассеиваемая на транзисторе в статическом режиме  $P_{\text{расс}} \approx U_{кэ\text{ нас}} I_{кн}$

мощность, рассеиваемая на транзисторе в импульсном режиме  $P_{\text{расс}} \approx (U_{кэ\text{ нас}} I_{кн}) t_{\text{и}} / T$   
( $t_{\text{и}}$  – длительность отпирающих импульсов,  $T$  – период повторения отпирающих импульсов)

Выбор транзистора:

$U_{кэ\text{ доп}} > E_k; I_{к\text{ доп}} > I_{кн}$ ; т. к. изначально  $U_{кэ\text{ нас}}$  неизвестно, но в большинстве случаев

$U_{кэ\text{ нас}} \ll E_k$ , поэтому ориентировочно  $I_{к\text{ доп}} > E_k / R_k$

$\beta > S I_{кн} / I_{б\text{ отп}}$  – следует из (4) и (5). Если задан максимальный допустимый выходной ток генератора управляющего сигнала  $I_{упр\text{ доп}}$ , то  $I_{б\text{ отп}}$  не должен его превышать, поэтому  $\beta > S I_{кн} / I_{упр\text{ доп}}$

Примеры задач

1.1. Дано: схема ключа (см. выше) с указанными  $E_k, R_b, R_k; U_{отп} = \dots; U_{зап} = 0$ .

Параметры VT1:  $\beta = \dots; U_{кэ\text{ нас}} = \dots; U_{бэ\text{ нас}} = \dots$ .

Рассчитать:  $I_{кн}; I_{б\text{ отп}}; I_{бн}; S$ .

1.2. Дано: схема ключа (см. выше) с указанными  $E_k, R_b, R_k; U_{отп} = \dots; U_{зап} = 0$ .

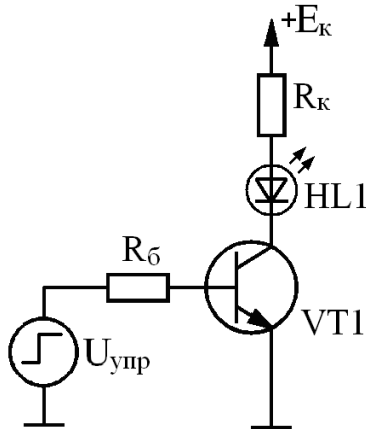
Определить требования к транзистору VT1 для работы в данной схеме со степенью насыщения не менее заданной  $S_{\min} =$  .

1.3. Дано: схема ключа (см. выше) с указанными  $E_k =$  ;  $R_k =$  ;  $U_{отп} =$  ;  $U_{зап} = 0$

Параметры VT1:  $\beta =$  ;  $U_{кэ\text{ нас}} =$  ;  $U_{бэ\text{ нас}} =$  .

Рассчитать  $R_b$ , при котором обеспечивается заданная степень насыщения  $S =$  .

По (1) определяем  $I_{кн}$ , через  $\beta$  пересчитываем его в  $I_{бн}$ , далее считаем  $I_{б\text{ отп}} = S I_{бн}$  .  
Из закона Кирхгофа для входной цепи получаем выражение для расчета  $R_b$ .



1.4. Ключ на VT1 управляет работой светодиода HL1: при  $U_{упр} = 0$  VT1 в режиме отсечки, ток светодиода равен 0, светодиод не горит; при  $U_{упр} = U_{отп}$  VT1 переходит в режим насыщения, ток светодиода  $I_{HL1} = I_{кн}$  , светодиод горит.

Дано: схема ключа с указанными  $E_k$ ;

$U_{отп} =$  ;  $U_{зап} = 0$ . Задана степень насыщения  $S =$  .

Параметры VT1:  $\beta =$  ;  $U_{кэ\text{ нас}} =$  ;  $U_{бэ\text{ нас}} =$  .

Заданная яркость достигается при токе светодиода  $I_{HL1} = I_{кн} =$  . Прямое напряжение светодиода  $U_{HL1} =$  .

Рассчитать  $R_b$  и  $R_k$ ,

Закон Кирхгофа при введении в выходную цепь ключа светодиода:

$E_k = I_{кн} R_k + U_{кэ\text{ нас}} + U_{HL1}$ , откуда  $R_k = (E_k - U_{HL1} - U_{кэ\text{ нас}}) / I_{HL1}$

Далее – аналогично предыдущему примеру.