

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.

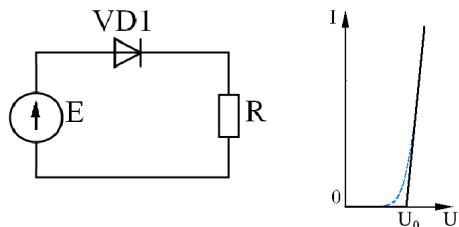
Диоды и стабилитроны

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 $R_T^{\text{П-С}} =$;

максимальная допустимая температура перехода $t_{\text{н.о}} =$;

$E =$, $R =$.

Определить: ток диода I_d , напряжение на диоде U_d ; напряжение на резисторе U_R ; мощность, рассеиваемую на диоде $P_{\text{расс}}$; 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

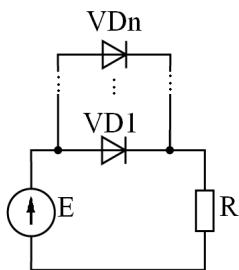
$$I_d = (E - U_d) / (r_d + R); U_R = I_d R; P_{\text{расс}} = U_d I_d = (U_0 + I_d r_d) I_d = U_0 I_d + I_d^2 r_d$$

$$t_{\text{н.о}} - t_{\text{c.о}} = P_{\text{расс}} R_T^{\text{П-С}}$$

Варианты формулировки задания:

- определить, будет ли работоспособен диод в заданном режиме при $t_c^{\text{o}} =$.

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

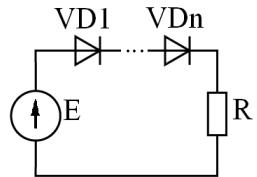


Учесть, что $I_R = nI_d$.

Тогда

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

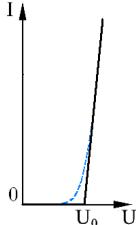
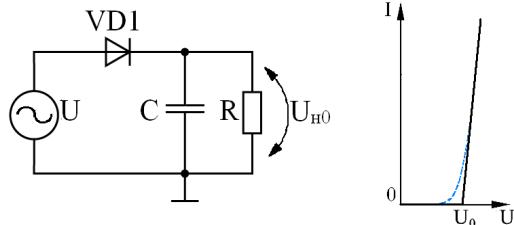
$$\text{Ток одного диода } I_d = (E - U_d) / (r_d + nR)$$



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 приближенно то же самое)

соотношение между средним током нагрузки и амплитудой импульса тока заряда конденсатора: $I_{Cm} = kI_{h0}$ (**k может быть задано в условиях задачи в диапазоне 5...10**).

тепловое сопротивление переход - окр. среда $R_T^{II-C} =$;

максимальная допустимая температура перехода $t_{p0} =$;

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

Определить: постоянную составляющую напряжения в нагрузке U_{h0} ; средний ток нагрузки (он же - постоянная составляющая тока нагрузки) I_{h0} ; размах пульсаций ΔU_h ; мощность, рассеиваемую на диоде P_{pacc} ; максимально допустимую температуру окр. среды.

Вместо R может быть задан I_{h0} .

Могут быть другие варианты задания, например:

- определить минимальную величину C , обеспечивающую заданный размах пульсаций ΔU_h (пример, рассмотренный на семинаре),
- определить U_m для заданных ΔU_h , U_{h0} и I_{h0} (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

$$U_{h0} \approx I_{h0}R, I_{h0} \approx U_{h0}/R$$

$$U_m \approx U_{h0} + 0,5\Delta U_h + U_d = U_{h0} + 0,5\Delta U_h + U_0 + I_{h0} r_d$$

Если импульс ток заряд конденсатора амплитудой I_{Cm} имеет форму близкую к синусоидальной, то энергетически он будет эквивалентен прямоугольному импульсу тока амплитудой $I_{C\text{эфф}} = 0,707I_{Cm}$. Тогда приближенно можно полагать, что конденсатор C заряжается **постоянным** током $I_{C\text{эфф}}$ за время $t_{\text{зар}}$ и разряжается током I_{h0} за время $t_{\text{разр}}$.

Тогда $I_{C\phi\phi} / I_{H0} \approx t_p / t_{зар}$, или $0,707I_{Cm} / I_{H0} = 0,707k \approx t_p / t_3$,

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

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

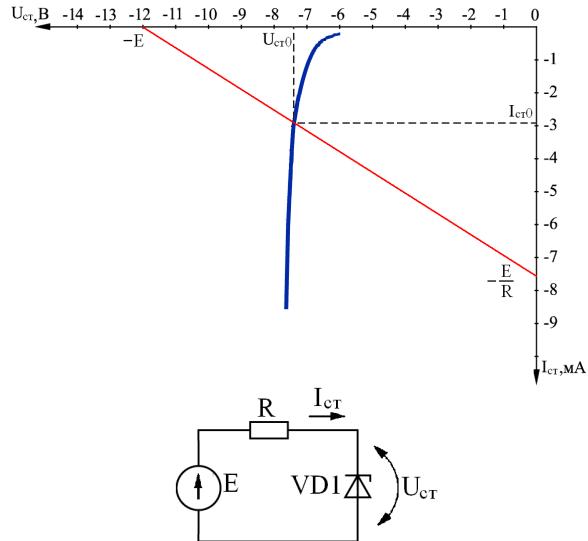
$$\Delta U_H = I_{H0} t_{разр} / C, \text{ или } C_{\min} = I_{H0} t_{разр} / \Delta U_H$$

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

$$t_{\Pi^0} - t_{c^0} = P_{\text{пacc}} R_T \Pi^0$$

2.3. Определение режима работы диода графоаналитическим методом.

По ВАХ стабилитрона определить режим его работы (I_{ct0} , U_{ct0}) и $r_{\text{диф}}$ для заданных значений E и R



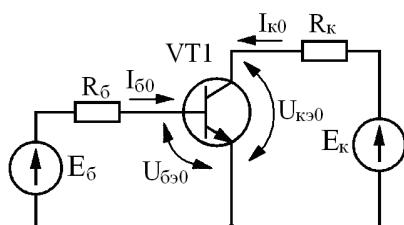
Режим работы стабилитрона определяется как координаты точки пересечения ВАХ стабилитрона и нагрузочной прямой:

$$E = I_{ct} R + U_{ct}$$

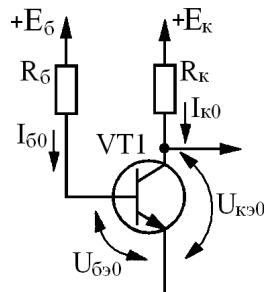
Дифференциальное сопротивление определяется по методике, применяемой при выполнении лабораторной работы 1. Может быть задано 1 или 2 значения E .

Биполярный транзистор в схеме ОЭ

Представление схемы в задаче



- общий случай, вид как на семинаре



То же, но другом виде

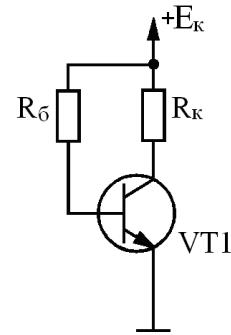


Схема для распространенного случая $E_b = E_k$

1.1. Дано: схема с указанными E_b , E_k , R_b , R_k ; входная ВАХ, семейство выходных ВАХ; может быть дана ВАХ передачи.

Графически определить по ВАХ режим покоя VT1 (U_{b30} , U_{k30} , I_{b0} , I_{k0}) 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_{b30} , I_{b0}) как координаты точки пересечения входной ВАХ VT1 и нагрузочной прямой для входной цепи:

$$E_b = I_{b0}R_b + U_{b30}$$

Далее ищем на графике семейства выходных ВАХ характеристику, построенную для найденного I_{b0} , если найдем – будет приятное совпадение. Скорее всего этого не случится, поэтому выходную ВАХ для I_{b0} строим приближенно между имеющимися на графике характеристиками для I_b несколько больше и несколько меньше I_{b0} . Определяем режим покоя выходной цепи VT1 (U_{k30} , I_{k0}) как координаты точки пересечения выходной ВАХ, построенной для I_{b0} , и нагрузочной прямой для выходной цепи

$$E_k = I_{k0}R_k + U_{k30}$$

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_b , E_k , R_b , R_k . Параметры транзистора: материал (германий или кремний); $\beta =$; $U_{k30\text{ нас}} =$.

Рассчитать режим покоя VT1 (U_{k30} , I_{b0} , I_{k0}) и мощность $P_{\text{расс}}$, рассеиваемую на транзисторе.

При расчете режима покоя входной цепи задаться приближенным значением U_{b30} , 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 $U_{k\alpha 0}$ 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), $\beta = \dots$; $U_{k\alpha \text{ нас}} = \dots$. Задан режим покоя выходной цепи VT1 $U_{k\alpha 0} = \dots$; $I_{k0} = \dots$.

Рассчитать R_b и R_k , обеспечивающие заданные $U_{k\alpha 0}$ и I_{k0} .

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

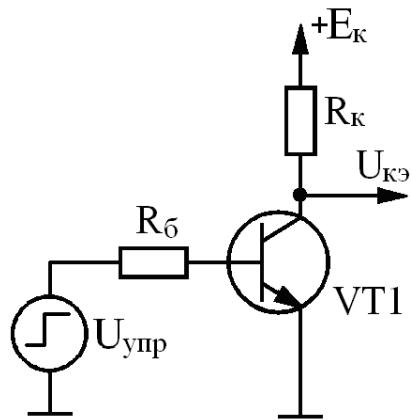
Вначале на основе закона Кирхгофа для выходной цепи VT1 получить формулу для определения R_k по заданным E_k и $U_{k\alpha 0}$, рассчитать R_k . Пересчитать I_{k0} в I_{b0} . На основе закона Кирхгофа для входной цепи VT1 получить формулу для определения R_b по заданным E_b и $U_{b\alpha 0}$, рассчитать R_b (значением $U_{b\alpha 0}$ 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 $I_{kn} = (E_k - U_{k\alpha \text{ нас}})/R_k$ и $I_{bh} = I_{kn}/\beta'$
- 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 $U'_{k\alpha 0} = E_k - I'_{k0} R_k$; если $I_{b0} > I_{bh}$, то транзистор будет в режиме насыщения, $I'_{k0} = I_{kn}$, $U'_{k\alpha 0} = U_{k\alpha \text{ нас}}$

Ключ на биполярном транзисторе с ОЭ

Основная схема



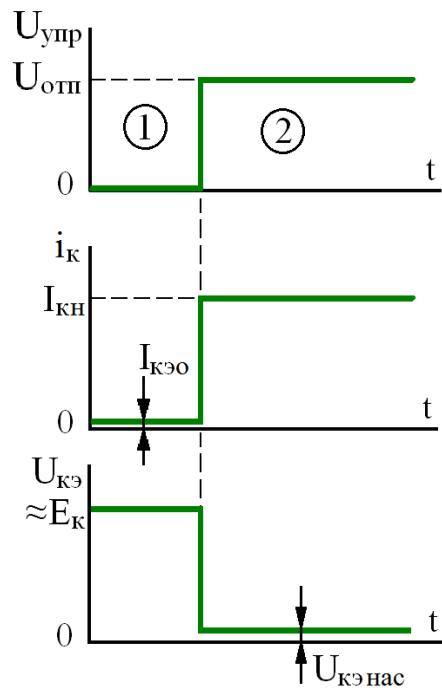
Интервал 1 – режим отсечки:
 $U_{\text{упр}} = U_{\text{зап}} = 0$; $i_k = I_{\text{кэо}} \ll I_{\text{кн}}$;

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

Интервал 2 – режим насыщения:

$$U_{\text{упр}} = U_{\text{отп}}; i_k = I_{\text{кн}}$$

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



Основные расчетные формулы

Законы Кирхгофа для выходной и входной цепей при режиме насыщения

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

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

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

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

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

$$\text{степень насыщения } S = I_{\text{б отп}} / I_{\text{бн}} = \beta I_{\text{б отп}} / I_{\text{кн}} \quad (5) \text{ (обычно } S=2\ldots5)$$

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

Выбор транзистора:

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

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

Примеры задач

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

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

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

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

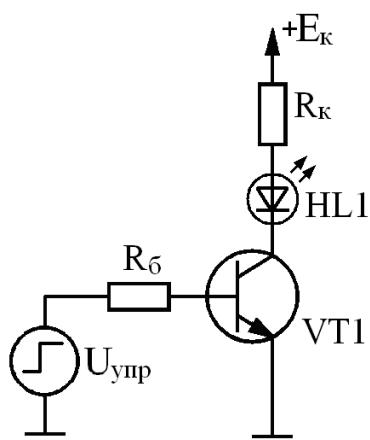
Определить требования к транзистору VT1 для работы в данной схеме со степенью насыщения не менее заданной $S_{\min} = \dots$.

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

Параметры VT1: $\beta = \dots$; $U_{k\text{ нас}} = \dots$; $U_{b\text{ нас}} = \dots$.

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

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



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

Дано: схема ключа с указанными E_k ; $U_{\text{отп}} = \dots$; $U_{\text{зап}} = 0$. Задана степень насыщения $S = \dots$.

Параметры VT1: $\beta = \dots$; $U_{k\text{ нас}} = \dots$; $U_{b\text{ нас}} = \dots$.

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

Рассчитать R_b и R_k ,

Закон Кирхгофа при введении в выходную цепь ключа светодиода:

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

Далее – аналогично предыдущему примеру.