

Банк заданий по специальной части вступительного испытания в магистратуру**Задание экзаменационного билета № 6 (20 баллов)****Тема: Твердотельная электроника**

Задание 6.1

1. Нарисуйте энергетическую диаграмму pn -перехода при нулевом смещении, подпишите энергетические уровни, отметьте контактную разность потенциалов, отметьте ширину области пространственного заряда – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте изображение полупроводникового диода, отметьте анод и катод – максимум 4 балла.
3. Нарисуйте вольт-амперную характеристику идеального pn -перехода, подпишите оси, отметьте контактную разность потенциалов и ток насыщения – максимум 4 балла.
4. Нарисуйте на том же графике вольт-амперную характеристику диода с учётом влияния сопротивления базы, и генерационно-рекомбинационных токов укажите влияние каждой составляющей, объясните причину этого влияния – максимум 4 балла.
5. Нарисуйте вольт-амперную характеристику диода при трёх различных температурах, подпишите оси, отметьте влияние температуры, объясните причины этого влияния – максимум 4 балла.

Задание 6.2.

1. Нарисуйте энергетическую диаграмму $nprn$ -транзистора при нулевом смещении, подпишите энергетические уровни, отметьте области базы, эмиттера и коллектора, отметьте эмиттерный и коллекторный переходы, их ширины областей пространственного заряда и высоты потенциальных барьеров – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте условно-графическое обозначение $nprn$ -транзистора, отметьте контакт эмиттера, базы и коллектора – максимум 4 балла.
3. Напишите выражение для коэффициента усиления тока базы, поясните, от чего он зависит и методы повышения его значения – максимум 4 балла.
4. Нарисуйте семейство входных и выходных вольт-амперных характеристик $nprn$ -транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером, подпишите оси, отметьте, чем различаются кривые в семействе – максимум 4 балла.
5. Нарисуйте нагрузочную кривую на том же семействе вольт-амперных характеристик, отметьте рабочие точки, соответствующие режиму насыщения, режиму отсечки, активному режиму – максимум 4 балла

Задание 6.3

1. Нарисуйте энергетическую диаграмму pnp -транзистора при нулевом смещении, подпишите энергетические уровни, отметьте области базы, эмиттера и коллектора – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте условно-графическое обозначение pnp -транзистора, отметьте контакт эмиттера, базы и коллектора – максимум 4 балла.
3. Напишите выражение для коэффициента усиления тока базы, поясните, от каких составляющих он зависит и методы повышения каждой составляющей – максимум 4 балла.

4. Нарисуйте семейство входных и выходных вольт-амперных характеристик pnp - транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером, подпишите оси, отметьте, чем различаются кривые в семействе – максимум 4 балла
5. Нарисуйте нагрузочную кривую на том же семействе вольт-амперных характеристик, отметьте рабочие точки, соответствующие режиму насыщения, режиму отсечки, активному режиму – максимум 4 балла

Задание 6.4

1. Нарисуйте энергетическую диаграмму pnp -транзистора при нулевом смещении, подпишите энергетические уровни, отметьте области базы, эмиттера и коллектора – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте условно-графическое обозначение pnp -транзистора, отметьте контакт эмиттера, базы и коллектора – максимум 4 балла.
3. Напишите выражение для коэффициента усиления тока эмиттера, поясните, как изменится этот коэффициент при уменьшении ширины базовой области и почему – максимум 4 балла.
4. Нарисуйте семейство входных и выходных вольт-амперных характеристик pnp - транзистора, включённого по схеме с общей базой, подпишите оси, отметьте, чем различаются кривые в семействе, отметьте соответствие трех характерных точек на входных и выходных ВАХ – максимум 4 балла.
5. Нарисуйте нагрузочную кривую на том же семействе вольт-амперных характеристик, отметьте рабочие точки, соответствующие режиму насыщения, режиму отсечки, активному режиму – максимум 4 балла.

Задание 6.5

1. Нарисуйте энергетическую диаграмму pnp -транзистора при нулевом смещении, подпишите энергетические уровни, отметьте области базы, эмиттера и коллектора – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте условно-графическое обозначение pnp -транзистора, отметьте контакт эмиттера, базы и коллектора – максимум 4 балла.
3. Напишите выражение для коэффициента усиления тока эмиттера, поясните, как изменится этот коэффициент при уменьшении ширины базовой области и почему – максимум 4 балла
4. Нарисуйте семейство выходных вольт-амперных характеристик pnp -транзистора, включённого по схеме с общей базой, подпишите оси, отметьте, чем различаются кривые в семействе, отметьте соответствие трех характерных точек на входных и выходных ВАХ – максимум 4 балла.
5. Нарисуйте нагрузочную кривую на том же семействе вольт-амперных характеристик, отметьте рабочие точки, соответствующие режиму насыщения, режиму отсечки, активному режиму – максимум 4 балла.

Задание 6.6.

1. Нарисуйте энергетическую диаграмму динистора (двухэлектродного тиристора) при нулевом смещении, подпишите энергетические уровни, подпишите области анода, катода и баз – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте энергетическую диаграмму динистора в рабочем режиме, подпишите энергетические уровни, подпишите области анода, катода и баз – максимум 4 балла
3. Нарисуйте условно-графическое обозначение динистора, отметьте контакты анода и катода – максимум 4 балла.
4. Нарисуйте вольт-амперную характеристику динистора, подпишите оси, отметьте ток и напряжение включения, ток удержания – максимум 4 балла.
5. Поясните физические процессы, приводящие к переключению прибора из высокоомного состояния в низкоомное – максимум 4 балла.

Задание 6.7

1. Нарисуйте структуру n -канального МДП-транзистора с изолированным затвором, отметьте области истока и стока, затвор и подзатворный диэлектрик, укажите типы проводимостей всех областей – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте условно-графическое обозначение n -канального МДП-транзистора с изолированным затвором, отметьте контакты стока, истока, затвора и подложки – максимум 4 балла.
3. Нарисуйте передаточную характеристику n -канального МДП-транзистора с изолированным затвором, подпишите оси, укажите знаки напряжений, отметьте пороговое напряжение – максимум 4 балла.
4. Нарисуйте семейство выходных вольт-амперных характеристик n -канального МДП-транзистора с изолированным затвором, включённого по схеме с общим истоком, подпишите оси, отметьте, чем различаются кривые в семействе – максимум 4 балла.
5. Нарисуйте нагрузочную кривую на том же семействе вольт-амперных характеристик, отметьте рабочие точки, соответствующие работе в пологой области и области крутых характеристик – максимум 4 балла.

Задание 6.8

1. Нарисуйте структуру p -канального МДП-транзистора с изолированным затвором, отметьте области истока и стока, затвор и подзатворный диэлектрик, укажите типы проводимостей всех областей – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте условно-графическое обозначение p -канального МДП-транзистора с изолированным затвором, отметьте контакты стока, истока, затвора и подложки – максимум 4 балла.
3. Нарисуйте передаточную характеристику p -канального МДП-транзистора с изолированным затвором, подпишите оси, укажите знаки напряжений, отметьте пороговое напряжение – максимум 4 балла.
4. Нарисуйте семейство выходных вольт-амперных характеристик p -канального МДП-транзистора с изолированным затвором, включённого по схеме с общим истоком, подпишите оси, отметьте, чем различаются кривые в семействе – максимум 4 балла.
5. Нарисуйте нагрузочную кривую на том же семействе вольт-амперных характеристик, отметьте рабочие точки, соответствующие работе в пологой области и области крутых характеристик – максимум 4 балла.

Задание 6.9

1. Нарисуйте структуру n -канального полевого транзистора с управляющим pn -переходом, отметьте области истока и стока, затвор и канал, укажите типы проводимостей всех областей – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте условно-графическое обозначение n -канального полевого транзистора с управляющим pn -переходом, отметьте контакты стока, истока, затвора – максимум 4 балла.
3. Нарисуйте передаточную характеристику n -канального полевого транзистора с управляющим pn -переходом, подпишите оси, укажите знаки напряжений, отметьте напряжение отсечки и максимальный ток стока – максимум 4 балла.
4. Нарисуйте семейство выходных вольт-амперных характеристик n -канального полевого транзистора с управляющим pn -переходом, включённого по схеме с общим истоком, подпишите оси, отметьте, чем различаются кривые в семействе – максимум 4 балла.
5. Нарисуйте нагрузочную кривую на том же семействе вольт-амперных характеристик, отметьте рабочие точки, соответствующие работе в пологой области и области крутых характеристик – максимум 4 балла.

Задание 6.10

1. Нарисуйте структуру p -канального полевого транзистора с управляющим pn -переходом, отметьте области истока и стока, затвор и канал, укажите типы проводимостей всех областей – максимум 4 балла.
2. Нарисуйте условно-графическое обозначение p -канального полевого транзистора с управляющим pn -переходом, отметьте контакты стока, истока, затвора – максимум 4 балла.
3. Нарисуйте передаточную характеристику p -канального полевого транзистора с управляющим pn -переходом, подпишите оси, укажите знаки напряжений, отметьте напряжение отсечки и максимальный ток стока – максимум 4 балла.
4. Нарисуйте семейство выходных вольт-амперных характеристик p -канального полевого транзистора с управляющим pn -переходом, включённого по схеме с общим истоком, подпишите оси, отметьте, чем различаются кривые в семействе – максимум 4 балла.
5. Нарисуйте нагрузочную кривую на том же семействе вольт-амперных характеристик, отметьте рабочие точки, соответствующие работе в пологой области и области крутых характеристик – максимум 4 балла.

Пример выполнения задания 6.4

Решение

1.

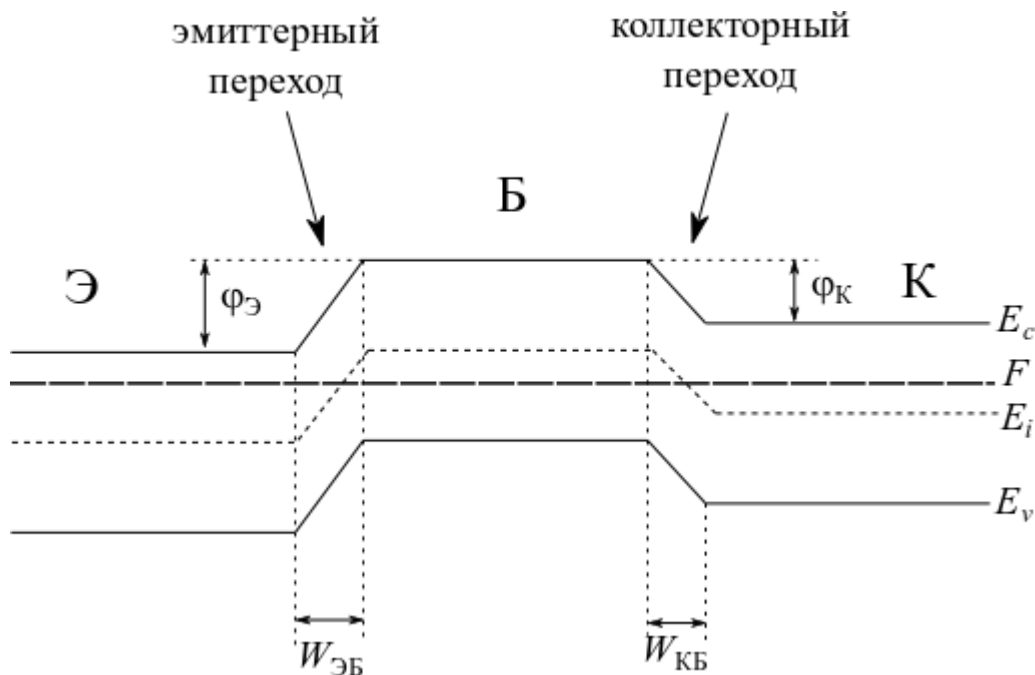


Рис. 1. Энергетическая диаграмма npn -транзистора

2.

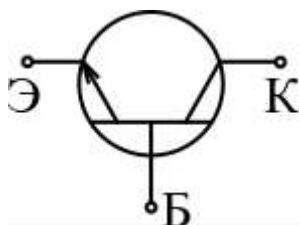


Рис. 2. Условно-графическое обозначение npn -транзистора

3.

С уменьшением ширины базовой области благодаря уменьшению рекомбинационных потерь возрастает количество неосновных носителей заряда, инжектированных из эмиттера, способных дойти до области пространственного заряда коллекторного перехода и

экстрагироваться в коллектор. При этом коэффициент переноса $\kappa = \text{ch}^{-1}\left(\frac{W_B}{L_n}\right)$, где W_B – толщина базы, L_n – диффузионная длина неосновных носителей заряда (электронов), возрастает и, как следствие, растёт коэффициент передачи тока эмиттера $\alpha = \gamma \cdot \kappa$, где γ – коэффициент инжекции.

4.

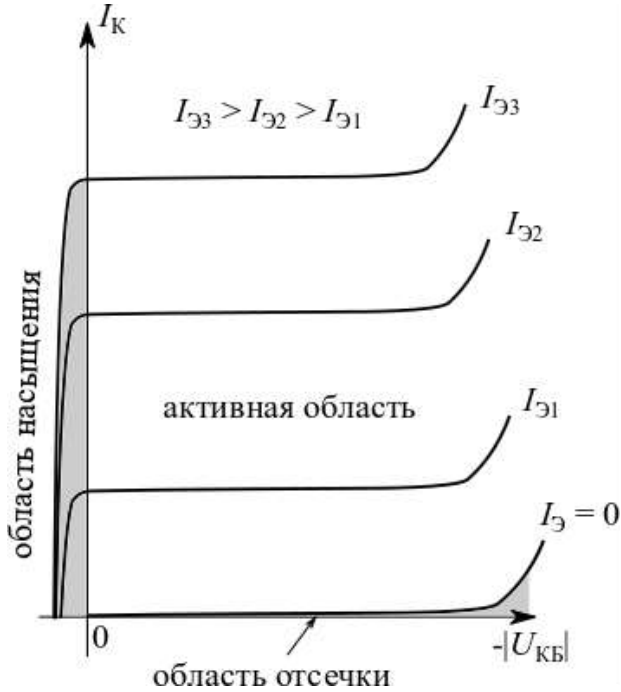


Рис. 3 Выходные вольт-амперные характеристики *pnp*-транзистора, включённого по схеме с общей базой

5.

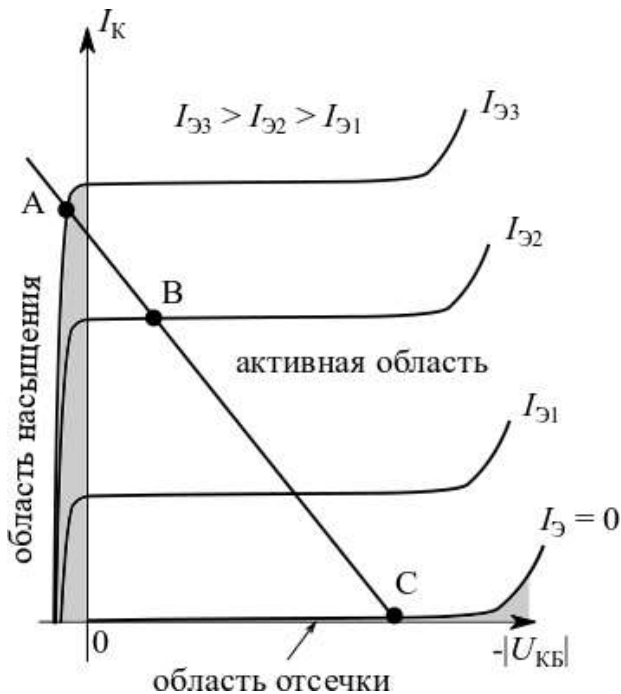


Рис. 4 Выходные вольт-амперные характеристики *pnp*-транзистора, включённого по схеме с общей базой, с нагрузочной кривой

Рабочая точка А соответствует работе транзистора в режиме насыщения, рабочая точка В – в активном режиме, рабочая точка С – в режиме отсечки.

Задание экзаменационного билета № 7 (20 баллов)

Тема: Квантовая и оптическая электроника

Задание 7.1

1. Найти толщину среды, имеющей населённость $N_1 = 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $N_2 = 10^{21} \text{ см}^{-3}$, если интенсивность прошедшего через неё излучения увеличилась в 1000 раз, а эффективное сечение усиления $\sigma_g = 10^{-20} \text{ см}^2$.
2. Время жизни метастабильного верхнего уровня некоторого атома составляет 10^{-5} с , что во много раз меньше времени жизни основного стабильного уровня. Найти, при какой циклической частоте спектральная плотность мощности убывает в e^2 раз, если при однородном уширении степень монохроматичности соответствующего перехода между уровнями составляет $5 \cdot 10^{-11}$.

Задание 7.2

1. Найти отношение коэффициентов Эйнштейна и спектральную объемную плотность энергии для системы атомов с невырожденными уровнями с энергиями $W_1 = -1,8 \text{ эВ}$ и $W_2 = -1,33 \text{ эВ}$, если заселенность первого уровня в 1000 раз больше заселенности второго уровня.
2. Дан двухзеркальный лазерный резонатор с радиусами кривизны зеркал $R_1 = 20 \text{ см}$ и $R_2 = 10 \text{ см}$ и длиной 25 см. Найти размеры пучка на первом и втором зеркале, а также положение перетяжки относительно 2-го зеркала, если радиус перетяжки равен 1 мм.

Задание 7.3

1. Полезные потери двухзеркального симметричного конфокального резонатора He-Ne лазера ($n = 1$), излучающего на длине волны 1,153 мкм, составляют 20%, а диссипативные потери 2%. Найти добротность резонатора, если известно, что радиус пучка в перетяжке равен 0,2 мм.
2. Найти резонансную длину волны квантового перехода с некоторого верхнего уровня на основной, если длина когерентности получившегося излучения составляет 10 м, а степень монохроматичности равна 10^{-6} . Определить также время жизни верхнего уровня и величину его расщепления ΔW (в мкэВ).

Задание 7.4

1. В стеклянной колбе находится газообразный неон, нагретый до $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Найти длину и время когерентности той части излучения неона, которая соответствует резонансному переходу между уровнями с энергиями $W_2 = -19,59 \text{ эВ}$ и $W_1 = -21,56 \text{ эВ}$.
2. Найти долю диссипативных потерь в резонаторе He-Ne лазера (длина волны излучения $\lambda = 632,8 \text{ нм}$, показатель преломления активной среды $n = 1$) длиной 50 см, если для энергетических коэффициентов пропускания зеркал 0,02 и 0,25 добротность резонатора равна 10^7 .

Задание 7.5

1. Логарифмический коэффициент усиления среды равен 40 дБ. Найти входную и выходную интенсивность излучения, если известно, что её величина при прохождении через эту среду изменилась на 100 Вт/м^2 .
2. Дана линза со следующими параметрами $R_1 = \infty$, $d = 2 \text{ см}$, $R_2 = -50 \text{ см}$, $n = 1,52$, где R_1 и R_2 – радиусы кривизны первой и второй преломляющих поверхностей, d – толщина линзы, n – показатель преломления. Найдите положение изображения осевой

точки, расположенной слева от первой преломляющей поверхности на расстоянии 25 см. Постройте качественный рисунок хода луча.

Задание 7.6

1. Во сколько раз изменится *логарифмический* коэффициент усиления активной среды определённой толщины, если для одинаковой инверсии населённостей её молекул ($N_2 - N_1$) эффективное сечение усиления увеличится в 1,5 раза.

2. Даны две линзы с задними фокусными расстояниями $f_1' = 5$ см, $f_2' = 10$ см. Слева на расстоянии 2 см от первой линзы располагается предмет. Найти построенное данной системой положение изображения осевой точки предмета, если известно, что система коллимирующая. Действительным или мнимым будет изображение?

Задание 7.7

1. Излучение с интенсивностью 5 мВт/см^2 проходит через среду, в которой почти все молекулы находятся в основном состоянии: $N_\Sigma \approx N_1 = 10^{11} \text{ мм}^{-3}$. Найти изменение интенсивности ΔI , если в среде толщиной 50 мм эффективное сечение поглощения составляет 10^{-15} см^2 .

2. Найти отношение размеров гауссова пучка на первом и втором зеркале лазерного двухзеркального резонатора, если второе зеркало плоское, а для первого зеркала выполняется условие $L = 0,75R_1$, где L – длина резонатора, R_1 – радиус кривизны первого зеркала. Определить положение перетяжки.

Задание 7.8

1. В двухуровневой квантовой системе с невырожденными энергетическими уровнями, разность энергий которых составляет 0,84 эВ, заселённость уровня 2 в течение $t_1 = 50$ мкс изменилась в 500 000 раз. Найти время жизни 2-го уровня и коэффициент Эйнштейна для вынужденного излучения. Во сколько раз уменьшится заселённость 2-го уровня ещё через $t_2 = 100$ мкс?

2. Вычислите размер перетяжки гауссова пучка, выходящего из двухзеркального лазерного резонатора длиной $L = 50$ см и радиусами кривизны зеркал $R_1 = 2L$, $R_2 = 4L$, если средняя энергия фотона в лазерном излучении составляет 1,27 эВ. Чему равна *кривизна* волновой поверхности на расстоянии $5L$ от второго зеркала, если оно выходное?

Задание 7.9

1. Длина когерентности в случае доплеровского уширения одной из линий излучения атомов водорода при температуре 400 °С составляет 21 мм. Чему равна энергия (в эВ) соответствующего перехода на резонансной длине волны?

2. Найти возможные длины исходного симметричного двухзеркального лазерного резонатора с радиусами кривизны зеркал 5 м, если длина соответствующего эквивалентного симметричного конфокального резонатора равна 3 м.

Задание 7.10

1. Найти резонансную длину волны излучательного квантового перехода, если при степени монохроматичности 10^{-7} время когерентности составляет 50 наносекунд.

2. Перетяжка гауссова пучка в двухзеркальном лазерном резонаторе находится на расстоянии 3 м от первого зеркала с радиусом кривизны 2 м. Найдите радиус кривизны второго зеркала, если длина резонатора составляет 50 см.

Пример выполнения задания 7.1

Решение первого задания

Из закона Бугера-Ламберта-Бера следует, что для коэффициента усиления K справедливо следующее выражение:

$$K(d) = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}} = \exp[\alpha_g \cdot d] = \exp[\sigma_g (N_2 - N_1) \cdot d],$$

где $I_{\text{ВХ}}$, $I_{\text{ВЫХ}}$ – соответственно, интенсивности вошедшего в среду и вышедшего из неё излучения, α_g – показатель поглощения среды, σ_g – эффективное сечение перехода (поглощения), N_1 , N_2 – населенности нижнего и верхнего энергетического уровня, d – толщина среды. Таким образом

$$\ln K(d) = \sigma_g (N_2 - N_1) \cdot d .$$

находим толщину среды:

$$d = \frac{\ln K(d)}{\sigma_g (N_2 - N_1)} = 7,7 \text{ мм}$$

Решение второго задания

Нормированный энергетический спектр при естественном уширении имеет одинаковый вид как для линейной частоты ν , так и для циклической частоты ω : $\varphi_\nu(\nu) = \varphi_L(\nu) = \varphi_L(\omega)$, и определяется лоренцевым контуром:

$$\varphi_L(\omega) = \frac{1}{e^2} = \frac{1}{1 + \left[\frac{2(\omega - \omega_0)}{\Delta\omega_L} \right]^2},$$

где ω_0 – резонансная частота нормированного спектра, $\Delta\omega_L$ – полуширина спектральной линии (полная ширина на половине уровня от максимума нормированного спектра). При этом, степень монохроматичности μ определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\Delta\omega_L}{\omega_0}.$$

Таким образом, $\omega_0 = \Delta\omega_L / \mu$. Время жизни τ можно выразить через $\Delta\omega_L$ следующим образом:

$$\Delta\nu_L = \frac{1}{\pi\tau},$$
$$\Delta\omega_L = \Delta\nu_L \cdot 2\pi = \frac{2}{\tau};$$

где $\Delta\nu_L$ – полуширина линии в области частот. В итоге получаем:

$$\frac{1}{e^2} = \frac{1}{1 + \left[\frac{2 \left(\omega - \frac{\Delta\omega_L}{\mu} \right)}{\Delta\omega_L} \right]^2},$$

$$2 \frac{\left(\omega - \frac{\Delta\omega_L}{\mu} \right)}{\Delta\omega_L} = \sqrt{e^2 - 1};$$

$$\omega = \frac{\Delta\omega_L}{2} \cdot \left(\sqrt{e^2 - 1} + \frac{2}{\mu} \right) = \frac{1}{\tau_2} \cdot \left(\sqrt{e^2 - 1} + \frac{2}{\mu} \right) = 4 \cdot 10^{15} \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Задание экзаменационного билета № 8 (20 баллов)

Тема: Схемотехника

Задание 8.1

Исходные данные:

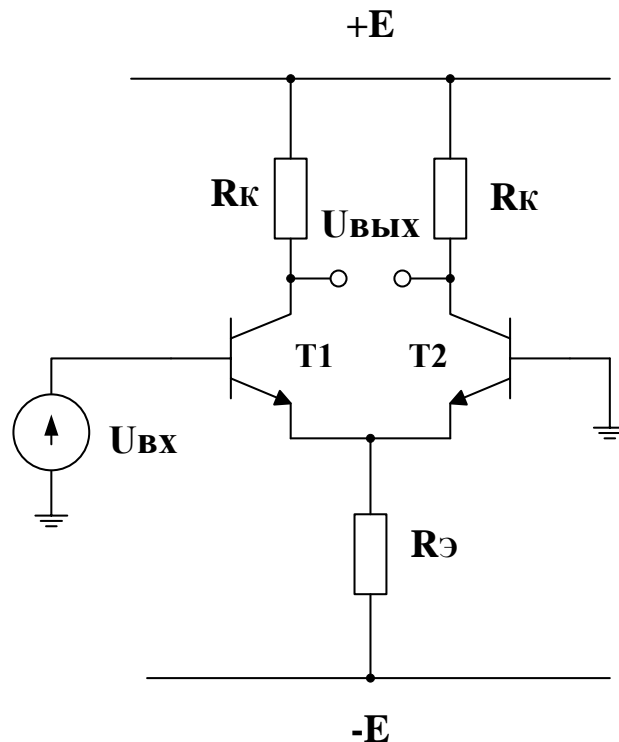
$E = \pm 12\text{В}$; $R_K = 1\text{ кОм}$; $R_{\text{Э}} = 1\text{ кОм}$;

напряжение база – эмиттер транзисторов T1 и T2: $U_{\text{БЭ}} = 0,5\text{ В}$;

омическое сопротивление базы транзисторов T1 и T2: $r_{\text{Б}} = 120\text{ Ом}$;

дифференциальное сопротивление эмиттера транзисторов T1 и T2: $r_{\text{Э}} = 10\text{ Ом}$;

коэффициент усиления транзисторов T1 и T2: $\beta = 100$.



1. Определить координаты точки покоя транзисторов T1 и T2 – максимум 4 балла.
2. Определить входное сопротивление каскада при заданном подключении входного сигнала – максимум 4 балла.
3. Определить выходное сопротивление каскада при заданном подключении входного сигнала – максимум 4 балла.
4. Определить дифференциальный коэффициент усиления каскада по напряжению – максимум 4 балла.
5. Пояснить, как изменится дифференциальный коэффициент усиления каскада по напряжению, если в выходную цепь каскада подключить резистор $R_{\text{н}} = 2\text{ кОм}$ – максимум 4 балла.

Задание 8.2

Исходные данные:

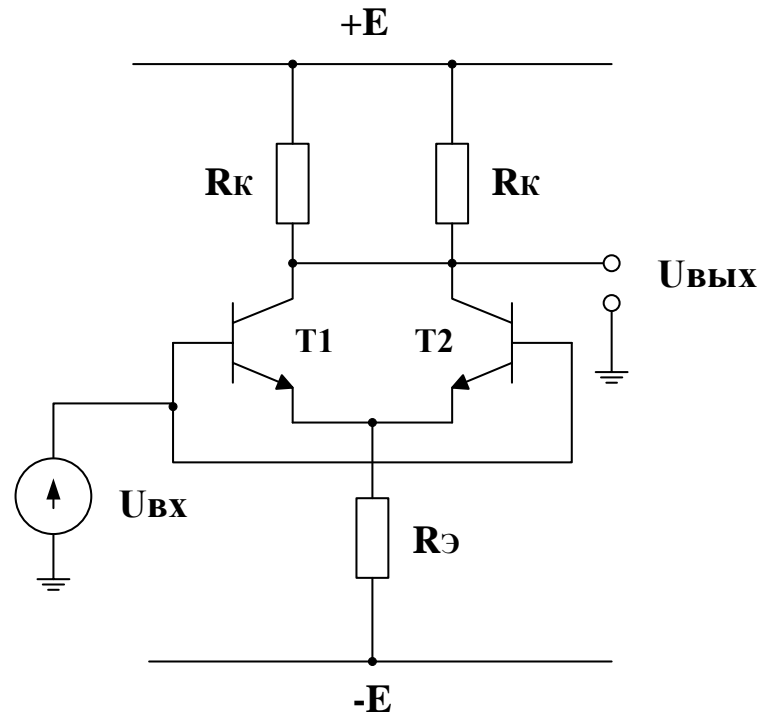
$E = \pm 12\text{В}$; $R_K = 1\text{ кОм}$; $R_{\text{Э}} = 1\text{ кОм}$;

напряжение база – эмиттер транзисторов T1 и T2: $U_{\text{БЭ}} = 0,5\text{ В}$;

омическое сопротивление базы транзисторов T1 и T2: $r_{\text{Б}} = 120\text{ Ом}$;

дифференциальное сопротивление эмиттера транзисторов T1 и T2: $r_{\text{Э}} = 10\text{ Ом}$;

коэффициент усиления транзисторов T1 и T2: $\beta = 100$.



1. Что такое дифференциальная и синфазная составляющие входного сигнала и определить их значения для данного каскада.
2. Определить входное сопротивление каскада при заданном подключении входного сигнала – максимум 4 балла.
3. Определить выходное сопротивление каскада при заданном подключении входного сигнала – максимум 4 балла.
4. Определить коэффициент передачи синфазного сигнала в каскаде – максимум 4 балла.
5. Пояснить, что такое коэффициент ослабления синфазного сигнала – максимум 4 балла.

Задание 8.3

Исходные данные:

$E = \pm 12\text{В}$; $R_K = 1\text{кОм}$; $R_{Э} = 0,5\text{кОм}$; $R_B = 3,3\text{кОм}$;

напряжение стабилитрона D1 на рабочем участке: $V_{ст.} = 6,6\text{В}$;

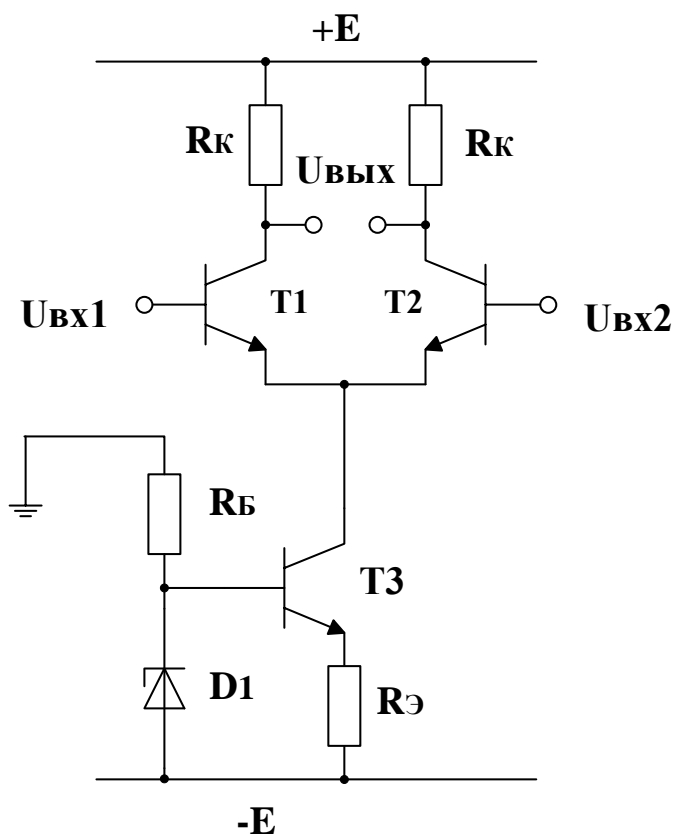
напряжение база – эмиттер транзисторов T1, T2 и T3: $U_{БЭ} = 0,6\text{В}$;

омическое сопротивление базы транзисторов T1, T2 и T3: $r_B = 120\text{Ом}$;

дифференциальное сопротивление эмиттера транзисторов T1, T2 и T3: $r_{Э} = 10\text{Ом}$;

дифференциальное сопротивление коллектора транзисторов T1, T2 и T3: $r_K = 100\text{кОм}$;

коэффициент усиления транзисторов T1, T2 и T3: $\beta = 100$.



1. Определить токи коллекторов транзисторов T1 и T2 в режиме покоя – максимум 4 балла.
2. Определить напряжения на коллекторах транзисторов T1 и T2 в режиме покоя – максимум 4 балла.
3. Определить входное сопротивление каскада при дифференциальном входном сигнале – максимум 4 балла.
4. Определить выходное сопротивление каскада при дифференциальном входном сигнале – максимум 4 балла.
5. Определить дифференциальный коэффициент усиления каскада по напряжению – максимум 4 балла.

Задание 8.4

Исходные данные:

$E = \pm 12\text{В}$; $R_K = 1\text{ кОм}$; $R_E = 0,5\text{ кОм}$; $R_B = 3,3\text{ кОм}$;

напряжение стабилитрона D1 на рабочем участке: $V_{ст.} = 6,6\text{ В}$;

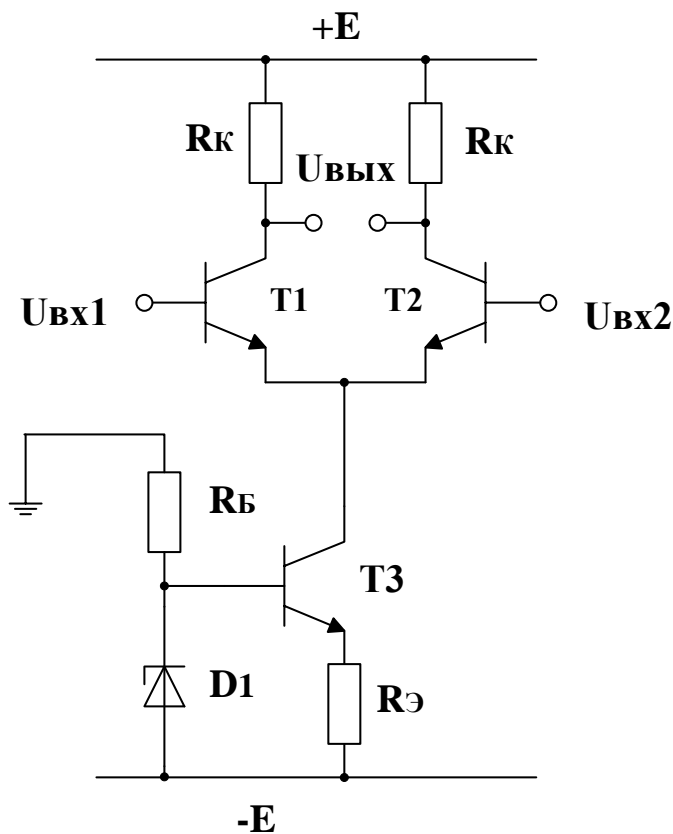
напряжение база – эмиттер транзисторов T1, T2 и T3: $U_{БЭ} = 0,6\text{ В}$;

омическое сопротивление базы транзисторов T1, T2 и T3: $r_B = 120\text{ Ом}$;

дифференциальное сопротивление эмиттера транзисторов T1, T2 и T3: $r_{э} = 10\text{ Ом}$;

дифференциальное сопротивление коллектора транзисторов T1, T2 и T3: $r_k = 100\text{ кОм}$;

коэффициент усиления транзисторов T1, T2 и T3: $\beta = 100$;



1. Определить ток стабилитрона D1 – максимум 4 балла.
2. Определить ток коллектора транзистора T3 – максимум 4 балла.
3. Определить входное сопротивление каскада при синфазном входном сигнале – максимум 4 балла.
4. Определить выходное сопротивление каскада при синфазном входном сигнале – максимум 4 балла.
5. Определить коэффициент передачи синфазного сигнала в каскаде – максимум 4 балла.

Задание 8.5

Исходные данные:

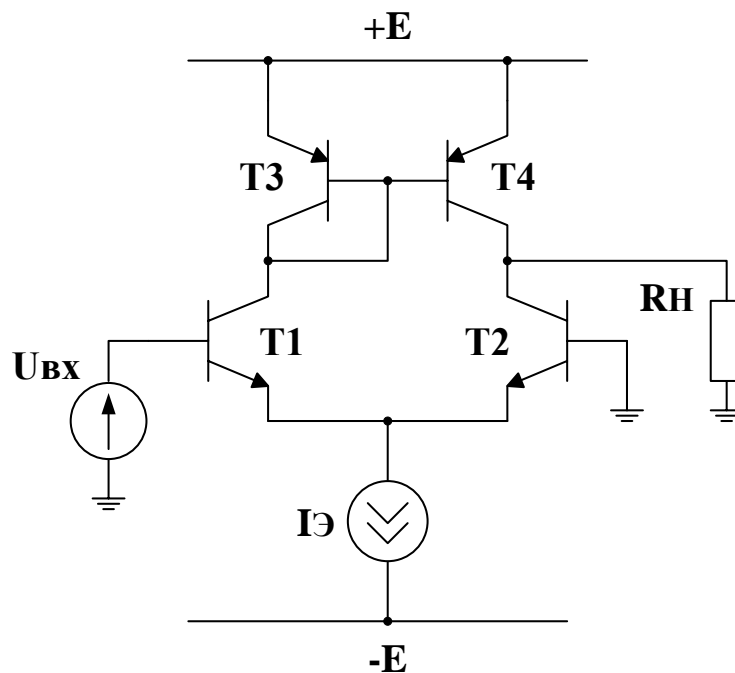
$E = \pm 12\text{В}$; $R_H = 10\text{ кОм}$;

омическое сопротивление базы транзисторов T1, T2, T3 и T4: $r_B = 120\text{ Ом}$;

дифференциальное сопротивление эмиттера транзисторов T1, T2, T3 и T4: $r_E = 10\text{ Ом}$;

дифференциальное сопротивление коллектора транзисторов T1, T2, T3 и T4: $r_K = 200\text{ кОм}$;

коэффициент усиления транзисторов T1, T2, T3 и T4: $\beta = 400$;



1. Определить токи коллекторов транзисторов T1 и T2 в режиме покоя при нулевом входном сигнале – максимум 4 балла.
2. Определить ток коллектора транзистора T4 в режиме покоя при нулевом входном сигнале – максимум 4 балла.
3. Определить ток и напряжение на сопротивление нагрузки в режиме покоя при нулевом входном сигнале – максимум 4 балла.
4. Определить входное сопротивление каскада при дифференциальном входном сигнале – максимум 4 балла.
5. Определить дифференциальный коэффициент усиления каскада по напряжению – максимум 4 балла.

Задание 8.6

Исходные данные:

$E=24$ В; $U_{оп}=2,5$ В; $R_1=27$ кОм; $R_2=9$ кОм; $R_H=1$ кОм;

омическое сопротивление базы транзистора T1: $r_B=100$ Ом;

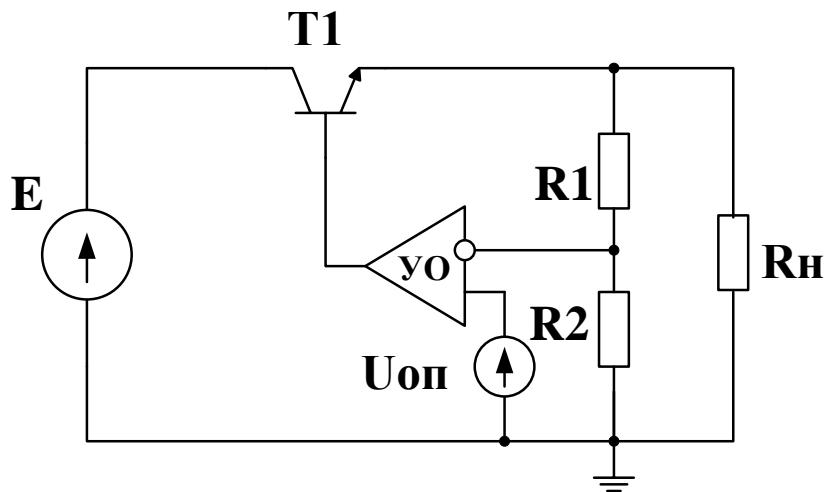
дифференциальное сопротивление эмиттера транзистора T1: $r_{э}=9,8$ Ом;

дифференциальное сопротивление коллектора транзистора T1: $r_{к^*}=10$ кОм;

коэффициент передачи тока эмиттера транзистора T1: $\alpha=0,98$;

коэффициент усиления напряжения усилителя ошибки: $K_u=100$;

максимальное изменение входного напряжения $\Delta E=3,6$ В.



1. Определить стабилизированное напряжение на нагрузке – максимум 4 балла.
2. Определить ток коллектора транзистора Т1 – максимум 4 балла.
3. Определить мощность потерь в транзисторе Т1 – максимум 4 балла.
4. Определить коэффициент стабилизации для абсолютных изменений входного и выходного напряжения – максимум 4 балла.
5. Определить изменение выходного напряжения при заданном изменении входного напряжения – максимум 4 балла.

Задание 8.7

Исходные данные:

$E=24\text{ В}$; $U_{оп}=2,5\text{ В}$; $R1=27\text{ кОм}$; $R2=9\text{ кОм}$; $Rn=1\text{ кОм}$;

омическое сопротивление базы транзистора Т1: $r_B=100\text{ Ом}$;

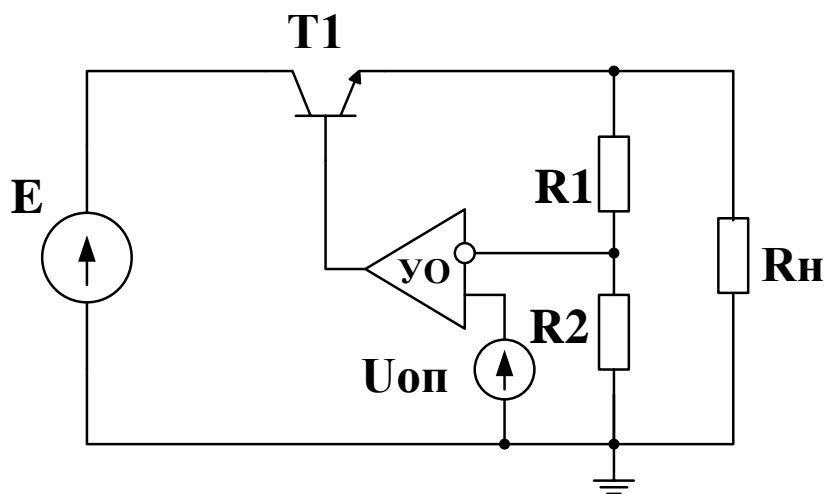
дифференциальное сопротивление эмиттера транзистора Т1: $r_э=9,8\text{ Ом}$;

дифференциальное сопротивление коллектора транзистора Т1: $r_k^*=10\text{ кОм}$;

коэффициент передачи тока эмиттера транзистора Т1: $\alpha=0,98$;

коэффициент усиления напряжения усилителя ошибки: $K_u=100$;

максимальное относительное изменение входного напряжения $\delta E=15\%$.



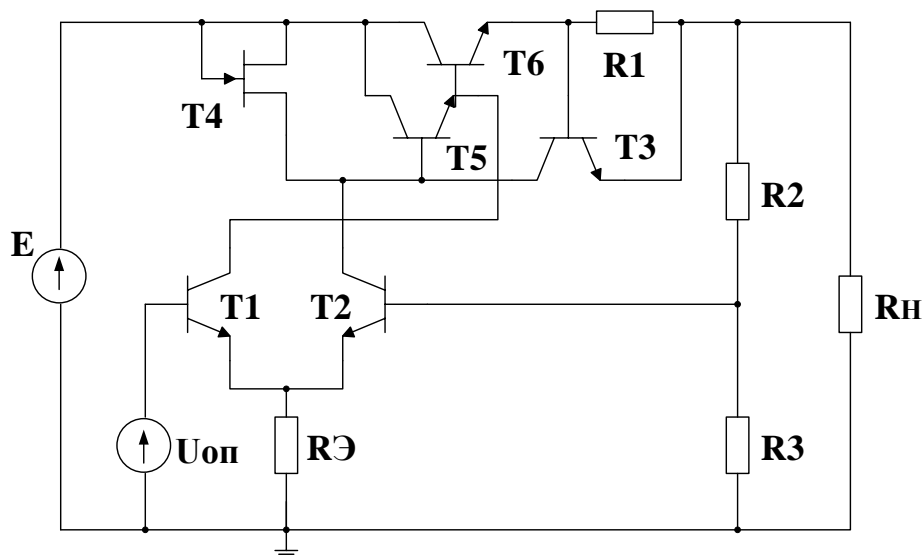
1. Определить возможный диапазон изменения стабилизированного напряжения на нагрузке – максимум 4 балла.

2. Определить напряжение коллектор – эмиттер транзистора T1 – максимум 4 балла.
3. Определить выходное сопротивление стабилизатора – максимум 4 балла.
4. Определить коэффициент стабилизации для относительных изменений входного и выходного напряжения – максимум 4 балла.
5. Определить относительное изменение выходного напряжения при заданном относительном изменении входного напряжения – максимум 4 балла.

Задание 8.8

Исходные данные:

$E=20$ В; $U_{оп}=2,5$ В; $R_1=33$ Ом; $R_2=27$ кОм; $R_3=9$ кОм; $R_H=1$ кОм;
 пороговое напряжение база – эмиттер транзистора T3: $U_{БЭ}=0,65$ В;

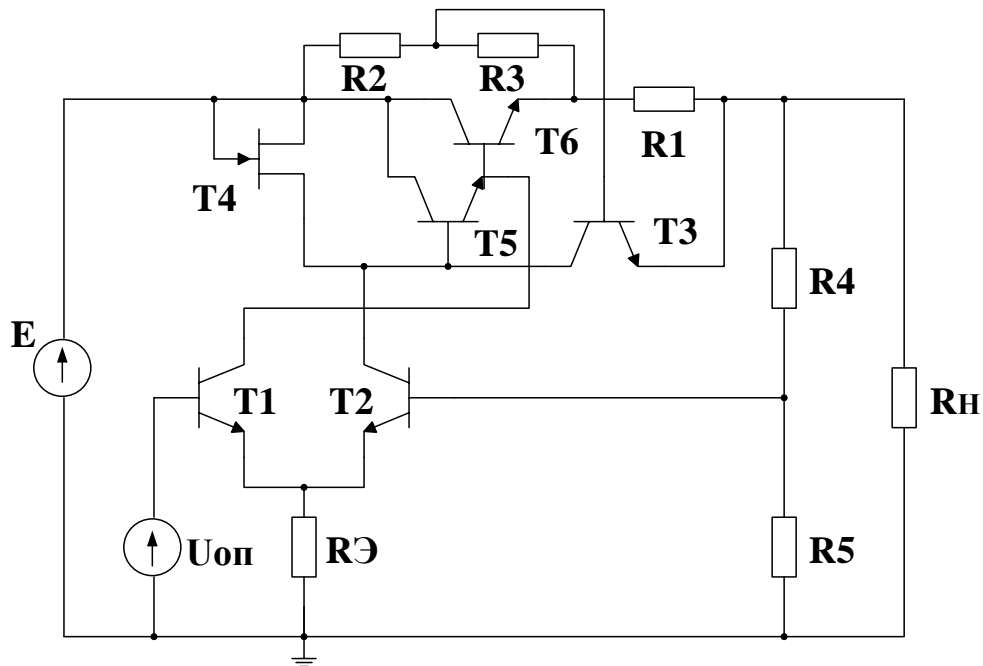


1. Определить тип интегрального стабилизатора напряжения и выделить его основные узлы – максимум 4 балла.
2. Определить стабилизированное напряжение на нагрузке – максимум 4 балла.
3. Определить номинальную мощность потерь в регулирующем транзисторе – максимум 4 балла.
4. Определить пороговый ток срабатывания защиты – максимум 4 балла.
5. Построить нагрузочную характеристику стабилизатора при заданном способе токовой защиты – максимум 4 балла.

Задание 8.9

Исходные данные:

$E=20$ В; $U_{оп}=2,5$ В; $R_1=14$ Ом; $R_2=24$ кОм; $R_3=680$ Ом; $R_4=22$ кОм; $R_5=22$ кОм; $R_H=1$ кОм;
 пороговое напряжение база – эмиттер транзистора T3: $U_{БЭ}=0,65$ В;

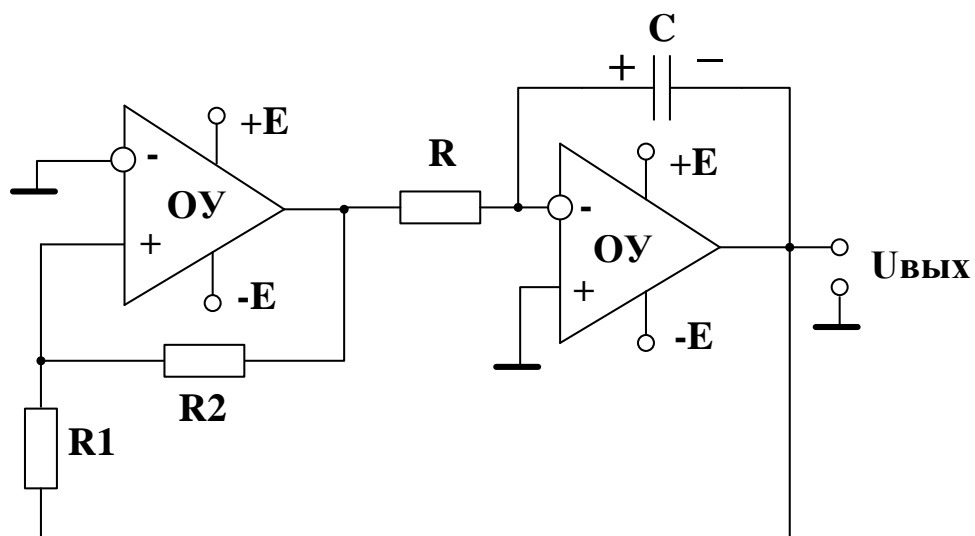


1. Определить тип интегрального стабилизатора напряжения и выделить его основные узлы – максимум 4 балла.
2. Определить пороговый ток срабатывания защиты – максимум 4 балла.
3. Определить ток ограничения при срабатывании защиты – максимум 4 балла.
4. Построить нагрузочную характеристику стабилизатора при заданном способе токовой защиты – максимум 4 балла.
5. Перестроить линию токовой защиты в координатах выходной характеристики регулирующего транзистора – максимум 4 балла.

Задание 8.10

Исходные данные:

$E = \pm 12$ В; $R_1 = 3$ кОм; $R_2 = 3,6$ кОм; $R = 1$ кОм; $C = 0,3$ мкФ.



1. Определить форму и амплитуду импульсов на выходе интегратора – максимум 4 балла.
2. Определить период и частоту следования импульсов на выходе интегратора – максимум 4 балла

3. Построить диаграмму выходного напряжения регенеративного компаратора – максимум 4 балла.
4. Построить диаграмму напряжения на конденсаторе интегратора – максимум 4 балла.
5. Построить диаграмму выходного напряжения интегратора – максимум 4 балла.

Пример выполнения задания 8.3

Задание 8.3

Исходные данные:

$E = \pm 12\text{В}$; $R_K = 1\text{кОм}$; $R_{\text{Э}} = 0,5\text{кОм}$; $R_B = 3,3\text{кОм}$;

напряжение стабилитрона D1 на рабочем участке: $V_{\text{ст.}} = 6,6\text{В}$;

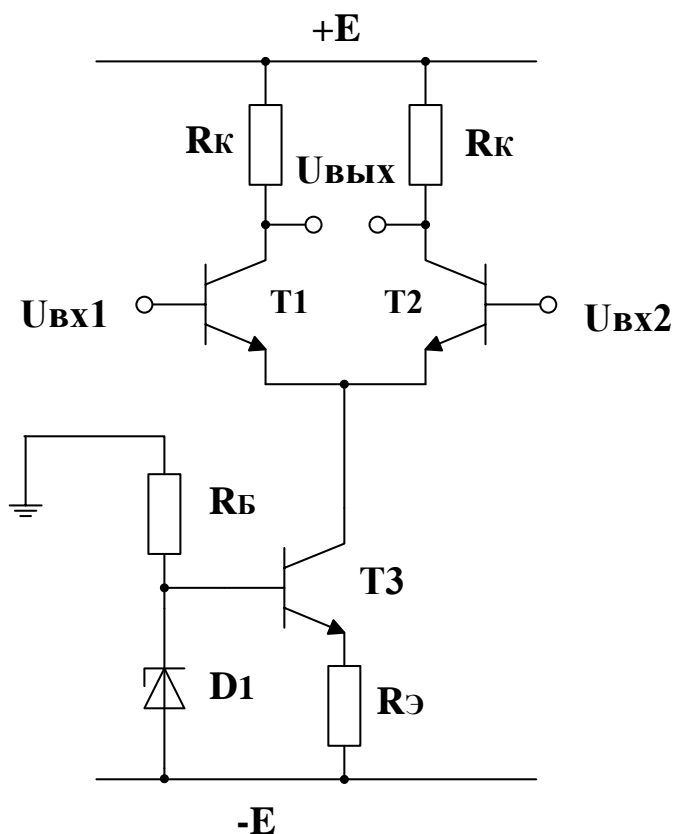
напряжение база – эмиттер транзисторов T1, T2 и T3: $U_{\text{БЭ}} = 0,6\text{В}$;

омическое сопротивление базы транзисторов T1, T2 и T3: $r_{\text{Б}} = 120\text{Ом}$;

дифференциальное сопротивление эмиттера транзисторов T1, T2 и T3: $r_{\text{Э}} = 10\text{Ом}$;

дифференциальное сопротивление коллектора транзисторов T1, T2 и T3: $r_{\text{К}} = 100\text{кОм}$;

коэффициент усиления транзисторов T1, T2 и T3: $\beta = 100$;



1. Определить токи коллекторов транзисторов T1 и T2 в режиме покоя – максимум 4 балла.
2. Определить напряжения на коллекторах транзисторов T1 и T2 в режиме покоя – максимум 4 балла.
3. Определить дифференциальный коэффициент усиления каскада по напряжению – максимум 4 балла.

4. Определить входное сопротивление каскада при дифференциальном входном сигнале – максимум 4 балла.
5. Определить выходное сопротивление каскада при дифференциальном входном сигнале – максимум 4 балла.

Решение

Напряжение на резисторе $R_{Э}$ определяется по формуле:

$$U_{R_{Э}} = V_{CT} - U_{БЭ} = 6B.$$

Тогда ток в цепи эмиттера транзистора Т3 равен:

$$I_{ЭТ3} = \frac{U_{R_{Э}}}{R_{Э}} = 12mA.$$

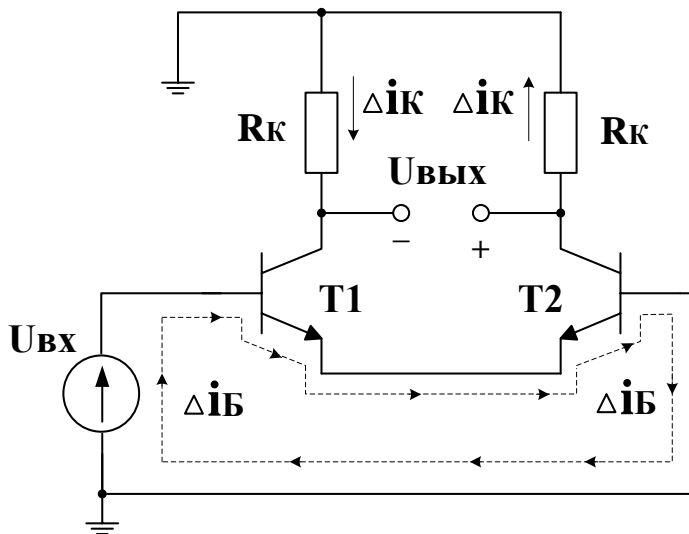
При равенстве параметров транзисторов Т1 и Т2 их эмиттерные (коллекторные) токи равны половине тока коллектора транзистора Т3:

$$I_{ЭТ1,2} \approx I_{КТ1,2} \approx \frac{I_{ЭТ3}}{2} = 6mA.$$

При этом напряжения на коллекторах транзисторов Т1 и Т2 в режиме покоя определяются по формуле:

$$U_{КЭТ1,2} = E - R_{К} I_{КТ1,2} = 6B.$$

Эквивалентная схема дифференциального каскада для малых приращений при дифференциальном подключении входного сигнала $U_{вх}$ имеет следующий вид:



Определим изменение тока базы в транзисторах Т1 и Т2 используя второй закон Кирхгофа для входного контура:

$$\Delta i_{Б} = \frac{U_{БХ}}{2r_{БХОЭ}};$$

где $r_{БХОЭ} = r_{Б} + r_{Э}(1 + \beta)$ – входное сопротивление биполярного транзистора, включенного по схеме ОЭ.

Изменение тока коллектора при этом:

$$\Delta i_{К} = \beta \Delta i_{Б} = \frac{\beta U_{БХ}}{2r_{БХОЭ}}.$$

Тогда напряжение на выходе $U_{вых}$ можно определить следующим образом:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 2\Delta i_K R_K = \frac{\beta U_{\text{ВХ}} R_K}{r_B + r_3(1 + \beta)}.$$

При этом коэффициент усиления по напряжению Кидиф равен:

$$Ku_{\text{диф}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{\beta R_K}{r_B + r_3(1 + \beta)} = 88,5.$$

Входное дифференциальное сопротивление каскада равно:

$$R_{\text{ВХ}} = 2r_{\text{ВХОЭ}} = 2,26\text{кОм}.$$

Выходное сопротивление каскада $R_{\text{ВЫХ}} = 2R_K = 2\text{кОм}.$

Директор ИРЭ

И.Н. Мирошникова