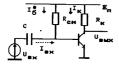
ОЭ (Б 1, 11, 14, 17, 24):

Пример расчета конкретной схемы. Пусть необходимо построить простейший тр усилитель с коэффициентом усиления 50, пинейным диапазоном выходных напряжений \pm 5 B, частотой среза в области низких частот 500 Гц. Свойства усилителя в области вархних честот не определены. Требования по потребляемой мощности отсутствуют.

Для примера воспользуемся популярным транзистором КТ315А, для которого средняя величина $\beta = 45$, и $U_{6a} \approx 400\,$ Ом (при рабочих токах базы). Поскольку размах выходного напряжения 10 В, а напряжение $U_{K3,K}$ для используемого транзистора не больше 0.5B, то напряжение питания целесообразно выбрать 12 В. Для заданного коэффициента усиления величина коллекторного резистора из соотношения (4.1) — 440Ом. Начальное положение рабочей точки на коллекторной характеристике определим из следую щего эмпирического соотношения $U_{8\text{MX}}^0 = (E_\Pi - U_{K\,3.H})\,/\,2$, поскольку коллекторные характеристики в справочниках приводятся редко. В нашем случае искомая величина равна 5,75 В. Из соотношений (4.2) и (4.3) теперь можно определить величину резистора смещения. $R_{\text{с м}}$ = 37 к O м . Осталось определить величину разделительного конденсатора. Поскольку величина входного сопротивления усилительного каскада $R_{\text{BX}} = R_{\text{CM}} \| r_{\text{5-9}} pprox r_{\text{5-9}}$, то искомую величину можно определить из соотношения $C = 1 / 2\pi f_{c p} r_{69}$. C=70 мкФ.

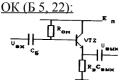


$$\mathbf{R}_{K} = |\mathbf{k}_{u}\mathbf{r}_{6}|_{9} / \beta$$
, при $\mathbf{R}_{6} = 0$ (4.1)

5. Расчет начального тока базы (ток начального смещения)

 $I_6^0 = (\mathbf{E}_{\pi} - \mathbf{U}_{Bbix}^0) / \beta \mathbf{R}_{\kappa}$ резистора смешения

 $R_{c_M} = (E_{\pi} - U_{63}) / I_6^0$ (4.3)



сопротивление смешения

$$\mathbf{R}_{\text{C M}} = \frac{\mathbf{E}_{\Pi} - \mathbf{U}_{6} \, _{3} - (\mathbf{I} + \beta) \mathbf{I}_{6} \mathbf{R}_{M}}{\mathbf{I}_{6}^{0}} = \frac{\mathbf{E}_{\Pi} - \mathbf{U}_{6} \, _{3} - \mathbf{U}_{90}}{\mathbf{I}_{6}^{0}} \quad \text{(4.5)}$$
 гле $\mathbf{I}_{6}^{0} = \mathbf{I}_{K}^{0} \, / \, \beta$ или $\mathbf{I}_{6}^{0} = \mathbf{E}_{\Pi} \, / \, (2\mathbf{R}_{M_{max}} \beta)$.

рис. 4.12. Смещение в схеме

Пример расчета эмиттерного повторителя. Требуется рассчитать схему эмиттерного повтори-теля, работающего на нагрузку не менее 200 Ом на частоте выше 100 Гц при напряжении питания 12 В. Входное сопротивление должно быть не менее 10 кОм. Амилитудное значение входного (выходного) на-пряжения 5 В. Расчет сводится к определению требований к транзистору ЭП, расчету резистора смещения

не требова ий к транзистору. Критичными при выборе транзистора, если не зад ня рабочая частота, являются коэффициент передачи по току $oldsymbol{eta}$ и допустимый ток коллектора $\, {f I}_{{f x}_{
m max}} \,$ Величину в можно определить из требования к величине входного сопротивления. Поскольку $R_{\text{вах эп}} = (1+\beta)R_{\text{H}} \Big| R_{_{\text{C M}}}$, то для его определения необходимо знать величину $R_{\text{C M}}$. Однако $R_{_{\text{C M}}}$ определяется, исходя из β транзистора. Этот замкнутый круг, типичный для расчета электронных схем, можно разорвать, предположив, что $R_{\text{с м}} = (1+\beta)R_{\text{H}}$ и $R_{\text{вх эп}} = (1+\beta)R_{\text{H}} \ / \ 2$, тогда $\beta \geq 100$ и $R_{c\,M} = 50\,$ к $O_{M}\,$ из (4.5),что не противоречит сделанному предположению. Величине входного сопротивления при этом около 14 кОм, что удовлетворяет исходным требованиям. Теперь определим величину коллекторного тока эмиттерного повторителя. $I_{K_{max}} = U_{mblX_{max}} / R_{H_{max}}$.В нашем случае, при

 $U_{_{BMX}}{_{max}} = E_{_{\Pi}} / 2 + U_{_{BX}}{_{max}} = 11 \; B$, $I_{_{K}}{_{max}} = 55 \; MA$. Допустимый ток коплектора транзистора допжен быть больше максимального рабочего тока на 30-40%. Обратите внимание, что величина эмиттерного резистора рассматриваемого повторителя может быть существенно меньше резистора нагрузки. В нашем случае целесообразно задать эмиттерный резистор, исходя из требований потребляемой мощности в отсутствие входного сигнала без нагрузки, т.е. 200 Ом.

2. Определение величин переходных конденсаторов. Переходные конденсаторы определяются аналогично усилителю с Н-смещением. Оба этих конденсатора определяют частоту среза АЧХ в области

нижих частот. Тогда конденсатор во входной цели C_1 = $1 / 2\pi f_{c,p} R_{\text{EX}} \approx 0.1 \text{ м.к.} \Phi$, и конденсатор в вы-

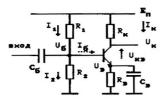
ходной цепи $C_2 = 1 / 2\pi f_{c\,p} R_{H} \approx 8$ м $\kappa \Phi$. Все схемные элементы эмиттерного повторителя опреде

Усилитель с Н-смещением (Б 6, 18):

Пример расчета усилителя с Н-смещением.
В качестве исходных данных используем данные прим деле. Расчет включает в себя два этапа — расчет величин схем чет разделительного и эмиттерного конденсаторов

я проводится также, как и в рассмотре ием является использование эмиттерного резиьного каскала. Особенностью схемы с Н-смеше стора. Строгое аналитическое определение его величины отсутствует. Обычно величину $\, R_{\! \, 9} \,$ определяют как $0.1..0_23R_K$, поскольку увеличение R_a приводит к уменьшению линейного диагазона выходных напряжений $\left(\left(\mathbf{E}_{\pi} - \mathbf{U}_{2} \right) / 2 \right)$, а уменьшение его связано с ростом зависимости ха-рактеристик каскада от величины β . В нашем случае выберем величину 110 Ом. Поскольку $I_{\kappa} \approx I_{3}$, то напряжение эмиттера $U_3 = I_3 R_3 = 1.4 B$, а напряжение базы $U_6 = U_6 + U_{63H} = 2.1 \, B$. При этом ток базы I_6 = I_κ / β = 0.3E – 3 A а R_6 = (E_π – U_6) / I_6 = 33 κ О κ . Для определения конкретных величин резисторов R_1 и R_2 воспользуемся соотношениями $R_1 = R_6 / 2$ и $R_2 = U_6 / (E_{\pi} - U_6)R_1$. Тогда $R_1 = 16.5 \text{ kOm} R_2 = 3.8 \text{ kOm}$.

2. Теперь можно определить величины разделительного и эмиттерного конденсаторов. Оба этих конденсатора определяют частоту среза АЧХ в области нижих частот. Тогда $C_3 = 1 / 2\pi f_{\rm c.p.}^2$ ${
m C_3} = 1 \, / \, 2\pi f_{c\,p}$. Все схемные элементы усилительного каскада определи



<u>Б13</u> Рассчитайте значение входного сопротивления кремниевого биполярного транзистора при токе эмиттера - , коэф бэта - , и температуре – $R_{\rm ex}=\phi_{\rm T}/\frac{I_{\rm 6}}{I_{\rm 6}}$ $\beta=\frac{I_{\rm k}}{I_{\rm 6}}/\frac{I_{\rm 6}}{I_{\rm 6}}=\frac{I_{\rm 9}}{I_{\rm 9}}-\frac{I_{\rm k}}{I_{\rm 6}}$

Усилители на МДП-транзисторах (Б 3, 20, 21, 23):

В заключение приведем примеры расчета схем смещения усилительных каскадов на основе ДП транзисторов с встроенным и индуцированным каналом.

1. Усилительный каскад на основе МДП транзистора со встроенным каналом (рис. 4.8 г).

Пусть задан п канальный транзистор с напряжением отсечки –3 В и крутизной g=0.002 A/B. Необхоемо построить усилительный каскад с коэффициентом усиления не менее 40 и входным сопротивлением на нижней частоте не менее 100 кОм. Амплитуда входного напряжения не более 0.2 В. Требуется опреде-

пить величины стокового резистора и резистора в цели затвора, а также величину переходного конденса-тора при нижней граничной частоте усиления 200 Гц. Величина стокового резистора определяется из требуемого коэффициента усиления как $\mathbf{R}_{c} = \frac{\left|\mathbf{k}_{u}\right|}{2} = 2$ кОм. Поскольку входной ток используемого транзис

тора отсутствует, то величина резистора в цепи затвора определяется непосредственно из требуемого

входного сопротивления. $C_u = 1 / 2\pi f_{\Gamma p} R_3$ или $C_u = 8$ нФ.

2. Усилительный каскад на основе МДП транзистора с индуциро Пусть задан n канальный траизистор с напряжением отсечки 3 В и кругизной g=0.002 A/B. Необхо-о построить усилительный каскад с коэффициентом усиления не менее 40 и входным сопротивлением на нижней частоте не менее 100 кОм. Амплитуда входного напряжения не более 0.2 В. Напря ния 12 В. Требуется определить величины стокового резистора и резисторов в цепи затвора, а также величину переходного конденсатора при нижней граничной частоте усиления 200 Гц. Величина стокового резистора определяется из требуемого коэффициентв усилвимя как $\mathbf{R}_c = |\mathbf{k}_u| / \mathbf{g} = 2$ к \mathbf{O} м . При этом начальный ток стока в пологой области (линейное усиление) определяется как половина максимального тока стока, при котором напряжение на выходе не менее порогового напряжения

$$I_c = (E_{\Pi} - U_0)2R_c = 2.25 \text{ MA}$$
.

ия, определяющее этот ток вычиспим, исходя из выражения для тока стока в пологой области

$$I_c=g_0 \frac{(U_3-U_0)^2}{2}$$
, или $U_3=\sqrt{\frac{2I_c}{k_0}}+U_0$, если $g_0pprox g \ /\ U_0=7E-3$, то $U_s=3.85\ B$

Величины резисторов делителя смещения рассчитываются из двух условий - требуемая величина цения и требуемое входное сопротивление. Здвсь необходимо руководствоваться таким

$$R_2 = \frac{(1+a)R_{BX}}{a}$$
, $R_1 = aR_2$, $a = (E_{\pi} - U_3) / U_3$.

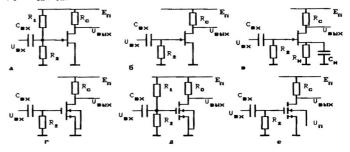
В нашем случае R2=100 кОм, R1 =315 кОм. Величина переходной емкости рвссчитывается анело-

 $U_{3 \, \text{H}} - U_{0} = 2 U_{0}$ для транзистора с индуцированным каналом

U_{зи} = 2U₀ для транзистора со встроенным каналом

называется удельной крутизиой

д_п — кругизну управления по подложке, которая меньше крутизны управления по затвору $g = \partial I_c / \partial U_c = g_0 U_{3 \, \text{H}}$ (при $U_{3H}(U_{cH})$ всего в несколько раз (3-10).



полевых транзисторов.

а-г) смещенне начального пложения рабочей точки в транзисторах со встроенным кана-

лом, д) H-смещение в усилителе на основе МДП транзисора с индуцированным каналом, е) смещение за счет нодключения нодложки МДП транзисора с индуцированным каналом

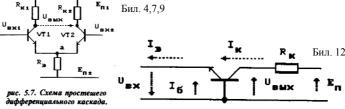
к источнику напряжения.

<u>Б4</u> Рассчитайте синфазный коефициент усиления дифференциального каскада выполненого на основе кремниевого биполярного транзистора. Сопротивление коллектора 3 кОм, сопротивление эммитора 2 кОм. ϕ -ла: $k_c = R_k/2R_3$

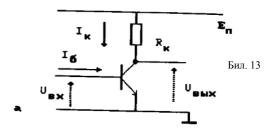
<u>Б7</u> Рассчитайте входное дифф сопротивление дифф каскада выполненого на основе креемниевого быполярного транзистора. Если начальный ток ..., бета транзистора ... ϕ -ла: $r_{\tilde{6}9} = r_9 + r_{\tilde{6}}(l_{\tilde{6}}); \quad r_{\tilde{6}9} = r_9 + r_{\tilde{6}}; \quad R_{ex\,\partial} = 2r_{\tilde{6}9}$

<u>Б9</u> Рассчитать дифференциальный коеф. усиления диф. каскада выполненого на основе кремниевых биполярных транзисторов, если R коллектора 3 кОм, начальный ток эмитера $I_0 = 2$ мА. Ф-ла: $K_{\perp} = (R_k * I_0)/2 * \phi_T$

φ₁ - температурный потенциал p-n перехода (для кремния равен 25мВ).

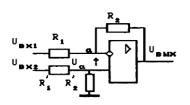


 $\underline{\bf 612}$ Рассчитайте значение входного сопротивления кремниевого бт при включении с общей базой при сопротивлении переходов эмиттера и коллектора $(\mathbf{r}_{6}, \mathbf{r}_{9}, \beta)$ -заданы. $\mathbf{r}_{69} = \mathbf{r}_{9} + \mathbf{r}_{6}(I_{6})$ или $\mathbf{r}_{69} = \mathbf{r}_{9} + \mathbf{r}_{6}$; $R_{ex} = \mathbf{r}_{69} / \beta$;



<u>Б15</u> Модуль коэф передачи по инверсному и неинверсному входах ОУ равен 8, напряжение на инвертирующем входе = 1, на неинвертирующем =2. Укажите величину напряжения на выходе.

$$\mathbf{U}_{\mathtt{B}\mathtt{b}\mathtt{I}\mathtt{X}} = \mathbf{K}_{\mathtt{H}}\mathbf{U}_{\mathtt{B}\mathtt{X}_{1}} - \mathbf{K}_{\mathtt{H}\,\mathtt{H}}\mathbf{U}_{\mathtt{B}\mathtt{X}_{2}} \; .$$

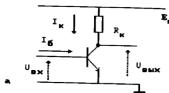


$$K_{_{\text{H H}}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_1^{'}}{R_1 + R_2^{'}}$$

$$\begin{split} K_{\text{и и}} &= \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ &\text{Если } R_1 = R_1 \quad \text{и } R_2 = R_2 \quad , \\ K_{\text{и и}} &= \frac{R_2}{R_1} \quad \text{и } \left| K_{\text{и и}} \right| = \left| K_{\text{и}} \right|. \end{split}$$

рнс. 5.26. Реализация равных коэф-фицнентов передачи в дифференциальном включении операционного усилителя.

<u>Б17</u> Расчитайте значение коэф. усиления кремниевого биполярного тр-ра в нормалльном активном режиме при колекторном сопротивлении 5кОм, токе коллектора 2мА, сопротивл прямо смещенного перехода



$$\begin{split} \mathbf{g_m} &= \mathbf{I_K} / \phi_T \\ \mathbf{R_{BX}} &= \frac{\Delta U_{69}}{\Delta I_6} \approx \frac{\phi_T}{I_6} = \mathbf{r_{69}} \\ \text{при } \mathbf{r_{K9}}) \rangle \mathbf{R_k} \quad \mathbf{k_u} &= -\beta \frac{\mathbf{R_K}}{\mathbf{r_{69}}} \end{split}$$

ис. 3.3. Схема включения бинолярного транзистора с щим эмиттером, осиовная схема включения (а) и эквивалентная схема (б).

<u>Б26</u> Определить, как изменится выходное напряжение транзисторного каскада по схеме с общим эмиттером при изменении температуры окружающей среды от $+20^{\circ}$ до -60°

