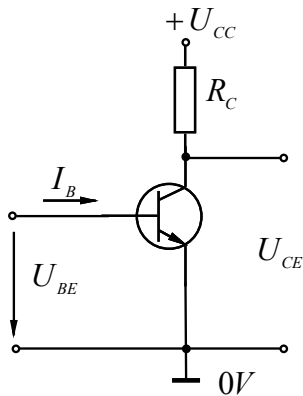
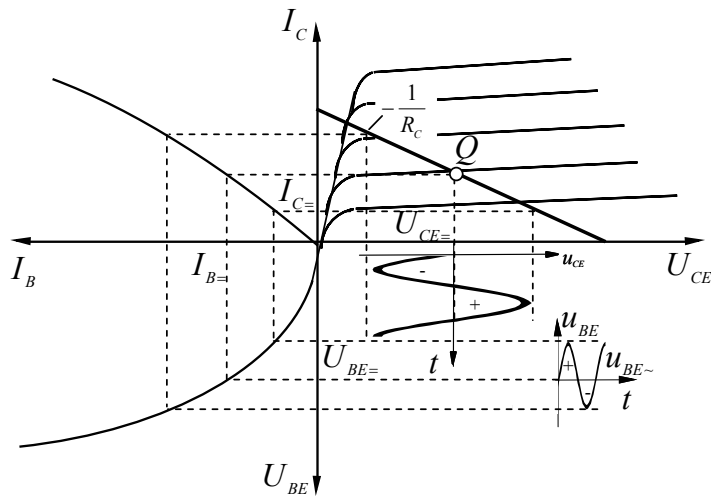


Едностъпален транзисторен усилвател схема общ емитер (ОЕ)



Фиг. 2.9.



Фиг. 2.10

Уравнение на товарната права

$$(2.35) \quad U_{CE} = U_{CC} - R_C * I_C,$$

$$(2.36) \quad I_B = U_{BE} / R_{i,OE} ,$$

$$(2.37) \quad I_C = \beta * I_B ,$$

$$(2.38) \quad U_{CE} = U_{CC} - \frac{\beta * R_C}{R_{i,OE}} U_{BE} .$$

Нека

$$(2.39) \quad U_{BE} = U_{BE,Q} + U_{BE\sim} ,$$

$U_{BE\sim}$ - амплитуда на синусоидално входно напрежение

$U_{BE,Q}$, - постоянното напрежение което задава определена *работна* точка Q от

товарната права, около която ще се изменя изходното напрежение.

$$(2.40) \quad U_{CE} = U_{CC} - \frac{\beta * R_C}{R_{i,OE}} U_{BE,Q} - \frac{\beta * R_C}{R_{i,OE}} U_{BE\sim} .$$

Изходното напрежение съдържа две компоненти:

$$(2.41) \quad U_{CE} = U_{CE,Q} + U_{CE\sim},$$

$U_{CE,Q}$ - постоянното напрежение в работната точка, дължащо се на входно $U_{BE,Q}$, и

$U_{CE\sim}$ - дължащо се на променливото входно напрежение $U_{BE\sim}$:

$$(2.42) \quad U_{CE,Q} = U_{CC} - \frac{\beta * R_C}{R_{i,OE}} U_{BE,Q},$$

$$(2.43) \quad U_{CE\sim} = -\frac{\beta * R_C}{R_{i,OE}} U_{BE\sim},$$

Коефициентът на усилване по напрежение в схема OE:

$$(2.44) \quad A_{u,OE} = \frac{U_{CE\sim}}{U_{BE\sim}} = -\frac{\beta * R_C}{R_{i,OE}}.$$

Коефициентът на усилване по ток в схема ОЕ:

$$(2.45) \quad A_{i,OE} = \frac{I_{C\sim}}{I_{B\sim}} = \beta,$$

Коефициентът на усилване по мощност:

$$(2.46) \quad A_{p,OE} = A_{u,OE} * A_{i,OE} = \frac{\beta^2 * R_C}{R_{i,OE}},$$

$$(2.47) \quad R_{i,OE} = \frac{\varphi_T}{I_B}.$$

Променливотоков усилвател

Във входната верига трябва да се свържат допълнителни елементи, с които да се зададе постоянното входно напрежение $U_{BE,Q}$,

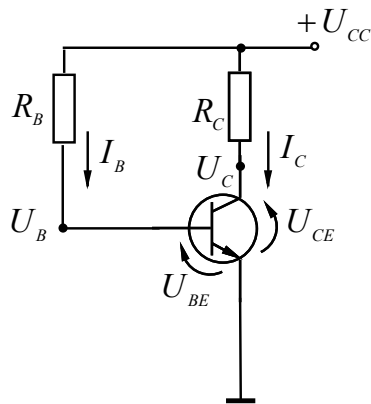
и кондензатор, през който да се подаде входното променливо напрежение $U_{BE=}$.

В изходната верига трябва променливият сигнал да се отдели от постоянното напрежение $U_{CE,Q}$.

За прехвърлянето му към следващото стъпало обикновено също се използва кондензатор.

Основни схеми за задаване на режима на работа

Схемата с резистор, свързан между базата и захранващия източник



Фиг. 2.11.

$$(2.48) \quad I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BEQ}}{R_B}, \text{ където } U_{BEQ} \approx 0,6V .$$

Основен недостатък на схемата е силното влияние на температурата върху положението на работната точка.

$$(2.49) \quad I_C = \beta * I_B + (1 + \beta) * I_{CBO} .$$

Изменението на колекторния ток ΔI_C е

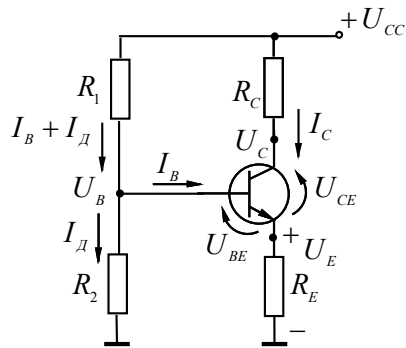
$$(2.50) \quad \Delta I_C = \Delta \beta * I_B + \Delta \beta * I_{CBO} + (1 + \beta) * \Delta I_{CBO} + \beta * \Delta I_B ,$$

и се дължи на трите температурнозависими параметра:

- обратния колекторен ток I_{CBO} ,
- коефициента на усилване по ток в схема β и
- напрежението U_{BE} , с температурен коефициент има стойност $\varepsilon \approx -2,2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.

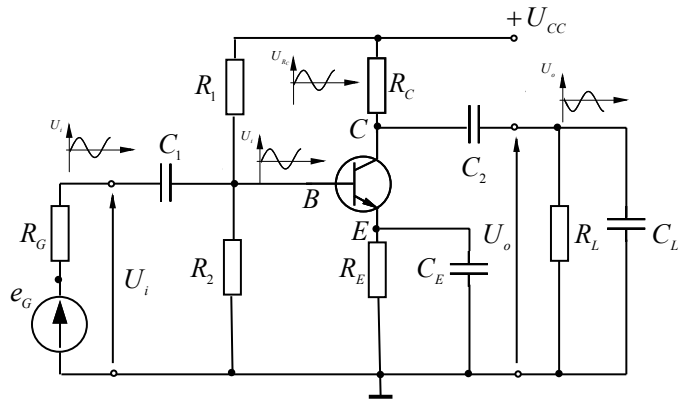
Схемата с четири резистора

Потенциалът U_B на базата на БТ \Rightarrow посредством делителя $R_1 - R_2$ и ООВ по ток \Rightarrow с емитерния резистор R_E .

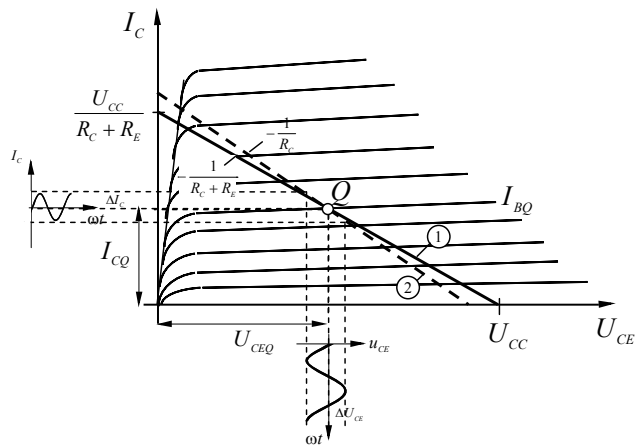


Фиг. 2.12.

Едностъпален променливотоков усилвател схема общ емитер (ОЕ)



Фиг. 2.13.



Фиг. 2.14.

$$(2.51) \quad R_{C,екв} = R_L \parallel R_C,$$

където $R_C \parallel R_L = \frac{R_C * R_L}{R_C + R_L}$.

Коефициентът на усилване по напрежение

Входното съпротивление на усилвателя

$$(2.52a) \quad R_{i,y} = R_B \parallel R_{i,OE},$$

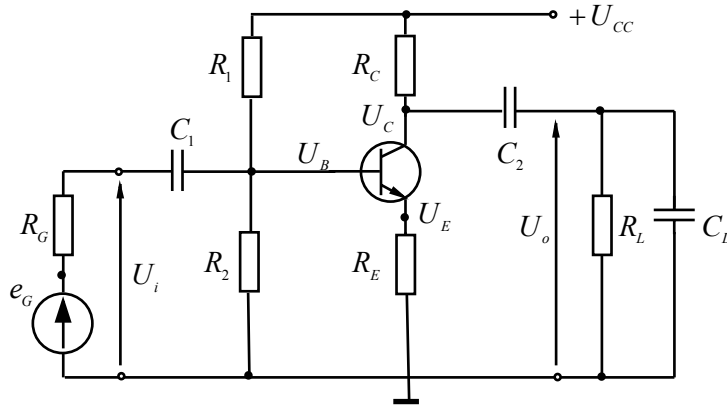
където $R_B = R_1 \parallel R_2$.

Изходното съпротивление на усилвателя

$$(2.52б) \quad R_{oA} = R_C \parallel R_{o,OE} \approx R_C,$$

тъй като $R_{o,OE} \gg R_C$.

Едностъпален усилвател схема ОЕ с ООВ по ток



Фиг. 2.15.

$$(2.53a) \quad A_U = \frac{\Delta U_C}{\Delta U_B} = \frac{-\Delta I_C * R_C}{\Delta U_{BE} + \Delta I_E * R_E}.$$

$\Delta I_C = \beta * \Delta I_B$; $\Delta I_E = (\beta + 1) * \Delta I_B$ и $\Delta U_{BE} = \Delta I_C * R_{i,OE} = (\beta + 1) * R_{i,OB}$, тогава

$$(2.53б) \quad A_U = -\frac{\beta * R_C}{R_{i,OE} + (\beta + 1) * R_E} = -\frac{\beta * R_C}{(\beta + 1) * (R_{i,OB} + R_E)}.$$

При $R_E \gg R_{i,OB}$ за коефициента на усилване се получава

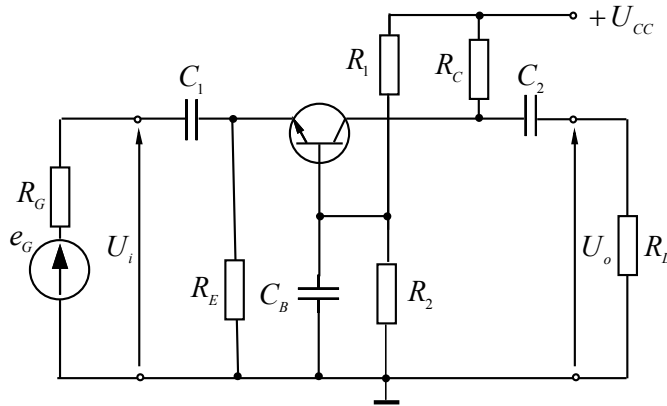
$$(2.53\text{в}) \quad A_U = -\frac{R_C}{R_E}.$$

При дълбока ООВ по ток коефициентът на усилване се определя от отношението на резисторите R_C и R_E и не зависи от параметрите на БТ.

При включване на товара R_L коефициентът на усилване добива вида

$$(2.53\text{г}) \quad A_U = -\frac{R_C \parallel R_L}{R_E}.$$

Едностъепенен транзисторен усилвател обща база (ОБ)



Фиг. 2.16.

$$\Delta i_C = \alpha * \Delta i_E = \alpha * \Delta u_{BE} / R_{i,OE},$$

$$\Delta u_{CB} = \Delta i_C * R_C = \alpha * R_C * \Delta U_{BE} / R_{i,OB}.$$

$$(2.54a) \quad A_U \approx \frac{\Delta u_{CB}}{\Delta u_{BE}} = \frac{\alpha * R_C}{R_{i,OB}}.$$

При включване на товар R_L

$$(2.54\text{б}) \quad A_U = \frac{\alpha * (R_C \parallel R_L)}{R_{i,OB}}.$$

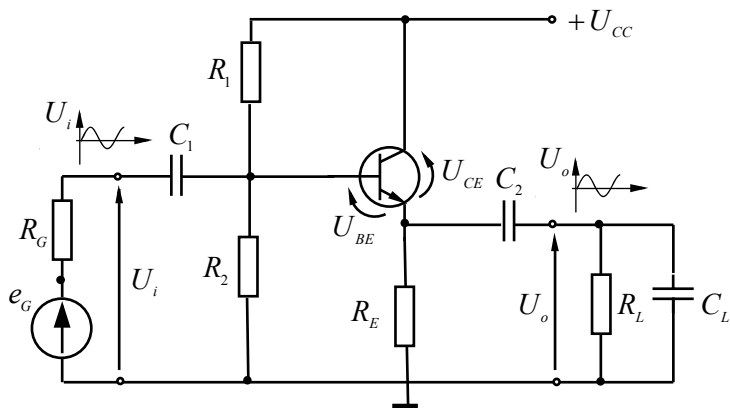
Входното съпротивление

$$(2.55\text{а}) \quad R_{iA} = R_E \parallel R_{i,OB}.$$

Изходното съпротивление на усилвателя схема ОБ

$$(2.55\text{б}) \quad R_{oA} = R_{o,OB} \parallel R_C \approx R_C.$$

Схема общ колектор (Емитерен повторител)



Фиг. 2.17.

$$A_U = \frac{\Delta U_E}{\Delta U_B} = \frac{\Delta I_E \cdot R_E}{\Delta U_{BE} + \Delta I_E \cdot R_E} = \frac{(\beta + 1) \cdot \Delta I_B \cdot R_E}{\Delta I_B \cdot R_{i,OE} + (\beta + 1) \cdot \Delta I_B \cdot R_E} = \frac{(\beta + 1) \cdot R_E}{R_{i,OE} + (\beta + 1) \cdot R_E},$$

ИЛИ

$$(2.566) \quad A_U = \frac{R_E}{R_{i,OB} + R_E}, \quad \text{където} \quad R_{i,OE} = (\beta + 1) \cdot R_{i,OB}.$$

Входното съпротивление на усилвателя се определя от паралелното свързване на еквивалентното съпротивление на базовия делител

$$(2.58) \quad R_B = R_1 \parallel R_2$$

и входното съпротивление на транзистора с емитерен резистор

$$(2.59a) \quad R_{i,OK} = \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B} = \frac{\Delta U_{BE} + \Delta I_E * R_E}{\Delta I_B} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} + \frac{\Delta I_E * R_E}{\Delta I_B} = R_{i,OE} + (1 + \beta) * R_E.$$

$$(2.59b) \quad R_{i,OK} = (1 + \beta) * (R_E + R_{i,OB}).$$

Коефициентът на усилване по ток

$$(2.60) \quad A_I = \frac{\Delta I_E}{\Delta I_B} = \beta + 1$$

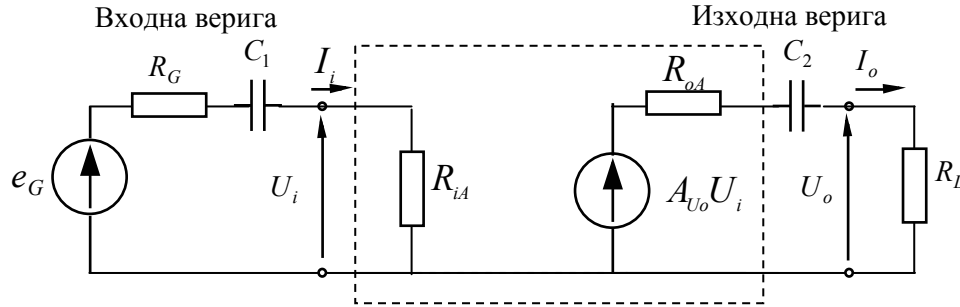
Изходното съпротивление

$$(2.61) \quad R_{oA} = R_E \parallel R_{i,OB} \approx R_{i,OB}.$$

Сравнение между усилвателните стъпала ОЕ, ОБ и ОК

Стъпало	Усилвател с ОЕ (фиг. 2.13)	Усилвател с ОБ (фиг. 2.16)	Усилвател с ОК (фиг. 2.17)
Входно съпротивление R_{iA}	$R_B \parallel R_{i,OE} \approx R_{i,OE}$	$R_{i,OB} \approx R_{i,OE} / (\beta + 1)$	$R_{i,OE} + (1 + \beta) * R_E$
Коефициент на усилване по напрежение A_U	$-\beta * (R_C \parallel R_L) / R_{i,OE}$	$\alpha * (R_C \parallel R_L) / R_{i,OB}$	$\frac{R_E}{R_{i,OB} + R_E}$
Изходно съпротивление R_{oA}	$\approx R_C$	$\approx R_C$	$\approx R_{i,OB}$
Коефициент на усилване по ток A_I	β	$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$	$1 + \beta$
Фазов ъгъл на изх. сигнал спрямо вх. сигнал	180 ел. градуса	0 ел. градуса	0 ел. градуса

Анализ на усилвателните стъпала при ниски честоти



Фиг. 2.18а.

$$I_i = \frac{e_G}{R_G + \frac{1}{j\omega C_1} + R_{iA}}. \quad U_i = I_i * R_{iA} = \frac{R_{iA}}{R_G + \frac{1}{j\omega C_1} + R_{iA}} e_G.$$

$$(2.64) \quad \dot{K}_{in} = \frac{U_i}{e_G} = \frac{R_{iA}}{R_G + R_{iA}} * \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega C_1 * (R_{iA} + R_G)}} = \frac{K_{in,o}}{1 - j \frac{f_{z_i}}{f}},$$

където

$K_{in,o} = \frac{R_{iA}}{R_G + R_{iA}}$ е коефициентът на усилване по напрежение за средни честоти, а

$f_{z_i} = \frac{1}{2\pi C_1 * (R_G + R_{iA})} \Rightarrow$ ниска гранична честота за входната верига.

За коефициента на предаване по напрежение на изходната верига

$$(2.65) \quad \dot{K}_{out} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_L * A_{Uo}}{R_{oA} + R_L} * \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega C_2 * (R_{oA} + R_L)}} = \frac{K_{out,o}}{1 - j \frac{f_{z_o}}{f}},$$

където:

$K_{out,o} = \frac{R_L}{R_{oA} + R_L} A_{Uo}$ е коефициентът на предаване за средни честоти, а

$f_{z_o} = \frac{1}{2\pi C_2 * (R_{oA} + R_L)} \Rightarrow$ ниска гранична честота за изходната верига.

Общата комплексна предавателна функция на схемата за ниски честоти

$$(2.66) \quad \dot{K}_U = \frac{U_o}{e_G} = \dot{K}_{in} * \dot{K}_{out} = \frac{K_{in,o}}{1 - j \frac{f_{z_i}}{f}} * \frac{K_{out,o}}{1 - j \frac{f_{z_o}}{f}}.$$

Модулът и фазата на комплексния коефициент на предаване:

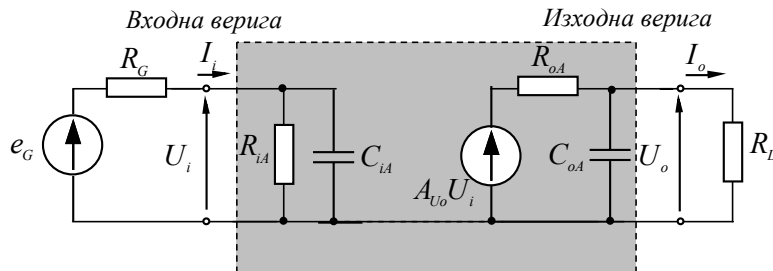
$$(2.67a) \quad K_U = \frac{K_o}{\sqrt{1 + (f_{z_i} / f)^2} * \sqrt{1 + (f_{z_o} / f)^2}},$$

където $K_o = K_{in,o} * K_{out,o}$, и

$$(2.67б) \quad \varphi = \arctg(f_{z_i} / f) + \arctg(f_{z_o} / f).$$

Формули (2.67a) и (2.67б) представляват амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристика на усилвателя за ниски честоти.

Анализ на усилвателните стъпала при високи честоти



Фиг. 2.186.

При увеличаване честотата на входния сигнал оказват влияние:

- инерционните качества на транзисторите, изразявани чрез честотната зависимост на коефициентите на предаване по ток α и β ,
- капацитетите на PN преходите и
- паразитните монтажни капацитети.

$$(2.70a) \quad \dot{K}_{in} = \frac{\dot{U}_i}{e_G} = \frac{R_{iA}}{R_{iA} + R_G} * \frac{1}{1 + j\omega C_{iA} * (R_{iA} \parallel R_G)} = \frac{K_{in,o}}{1 + j(f / f_{hi})} \text{ и}$$

$$(2.70б) \quad \dot{K}_{out} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{A_{Uo} * R_L}{R_L + R_{oA}} * \frac{1}{1 + j\omega C_{oA} * (R_{oA} \parallel R_L)} = \frac{K_{out,o}}{1 + j(f / f_{ho})},$$

където:

$K_{in,o} = R_{iA} / R_{iA} + R_G$ и $K_{out,o} = A_{Uo} R_L / (R_L + R_{oA})$ са коефициентите за средни честоти, а $f_{h_i} = 1/2\pi C_{iA} * (R_{iA} || R_G)$ и $f_{h_o} = 1/2\pi C_{oA} * (R_{oA} || R_L)$ са високите гранични честоти на АЧХ

Общата комплексна функция на схемата за високи честоти :

$$(2.71) \quad \dot{K}_U = \frac{\dot{U}_o}{e_G} = \underbrace{\frac{\dot{U}_i}{e_G}}_{\dot{K}_{in}} * \underbrace{\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}}_{\dot{K}_{out}} = \frac{K_{in,o} * K_{out,o}}{\left(1 + j \frac{f}{f_{h_i}}\right) * \left(1 + j \frac{f}{f_{h_o}}\right)},$$

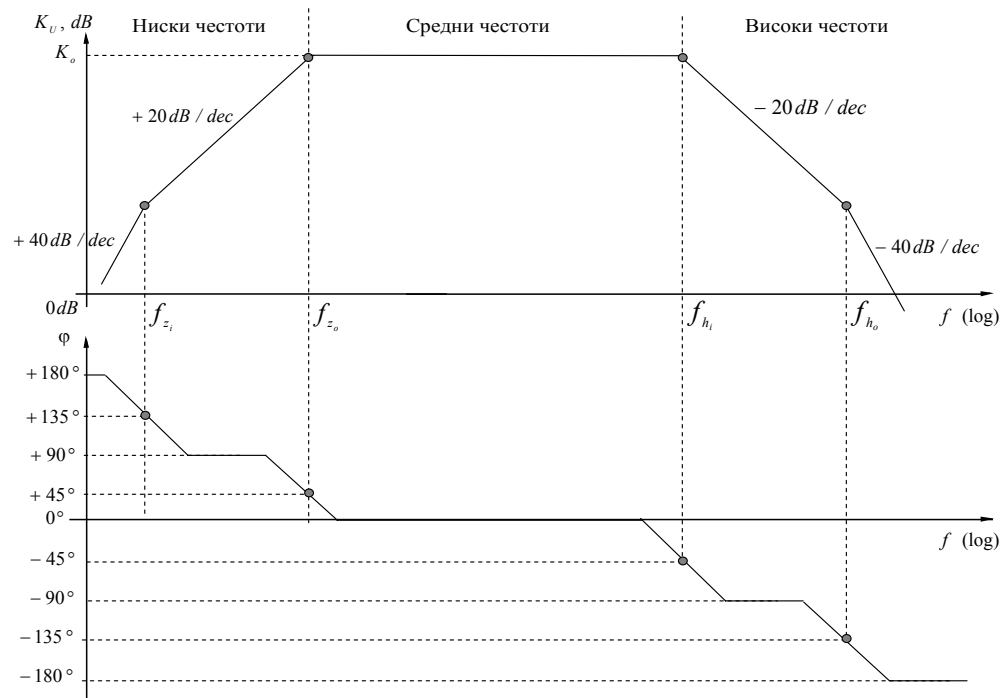
а модульът и фазата на комплексния коефициент на предаване са

$$(2.72a) \quad K_U = |\dot{K}_U| = \frac{K_o}{\sqrt{1 + (f / f_{h_i})^2} \sqrt{1 + (f / f_{h_o})^2}}$$

и

$$(2.72b) \quad \varphi = -\arctg(f / f_{h_i}) - \arctg(f / f_{h_o}),$$

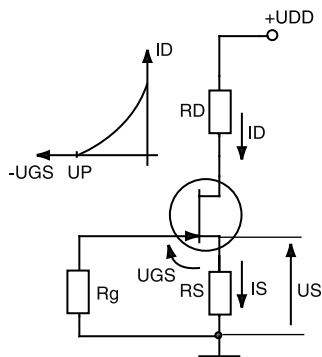
където $K_o = K_{in,o} K_{out,o}$ е коефициентът на усилване за средни честоти.



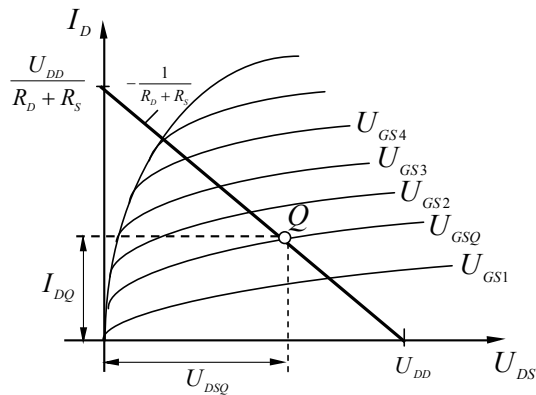
Фиг. 2.10

Едностъпални транзисторни усилватели с общ сорс (ОС) и общ дрейн (ОД)

Основна схема за захранване на полеви транзистор



Фиг. 2.20.



Фиг. 2.21

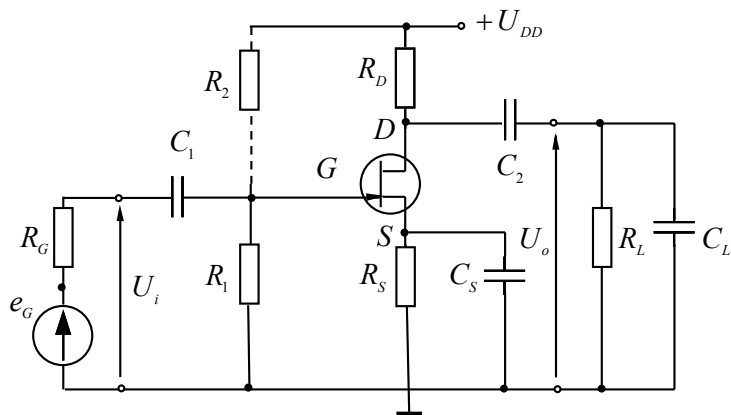
$$(2.75) \quad R_S \approx \frac{|U_{GS}|}{I_D},$$

Уравнението на товарната права в режим на покой.

$$(2.76a) \quad U_{DD} \approx I_D * (R_D + R_S) + U_{DS} \text{ или}$$

$$(2.76b) \quad U_{DS} = U_{DD} - I_D * (R_D + R_S).$$

Едностъпален усилвател по схема с общ сорс (ОС)



Фиг. 2.22.

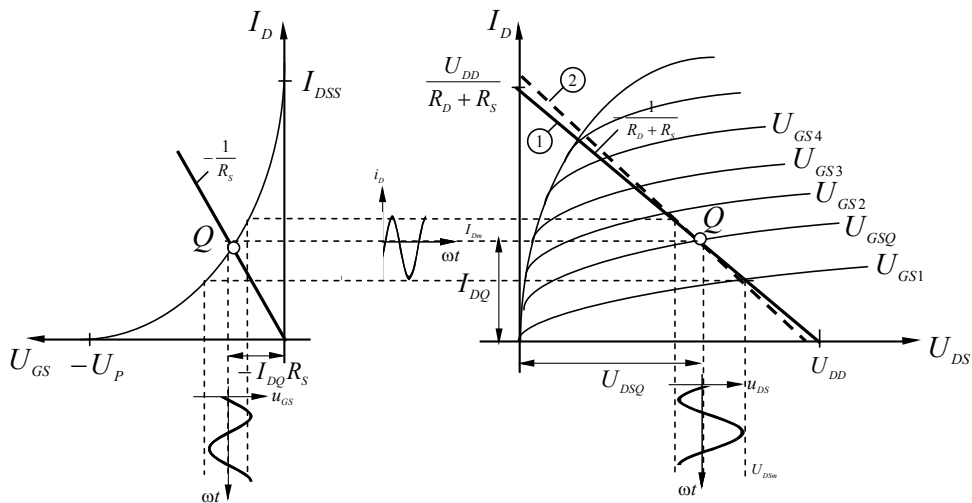
$$(2.77a) \quad U_{Gs} = U_G - U_S = 0V - I_S * R_S \text{ или}$$

$$(2.77б) \quad U_{Gs} = -I_S * R_S \approx -I_D * R_S,$$

където $I_S \approx I_D$ ($I_G \approx 0$), и

$$(2.77в) \quad U_{DD} \approx I_D * (R_S + R_D) + U_{DS} \text{ или}$$

$$(2.77г) \quad U_{DS} = U_{DD} - I_D * (R_S + R_D).$$



Фиг. 2.23.

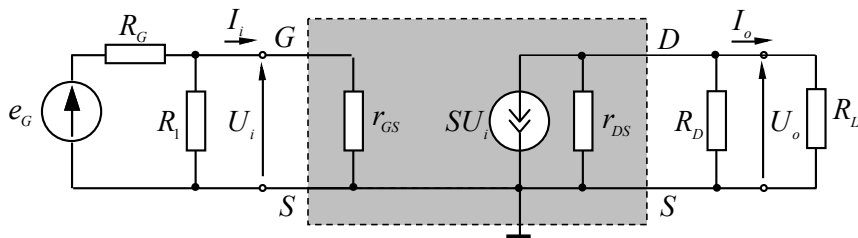
$$(2.78) \quad S = \left. \frac{dI_D}{dU_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{const}} .$$

Коефициентът на усилване по напрежение

$$(2.79) \quad A_U = \frac{U_o}{U_i} = -S(r_{DS} \parallel R_D) \approx -S * R_D, \quad \text{тъй като } r_{DS} \gg R_D.$$

При включване на товар R_L

$$(2.80) \quad A_U = -S(r_{DS} \parallel R_D \parallel R_L) \approx -S(R_D \parallel R_L).$$



Фиг. 2.25.

Входното и изходното съпротивление

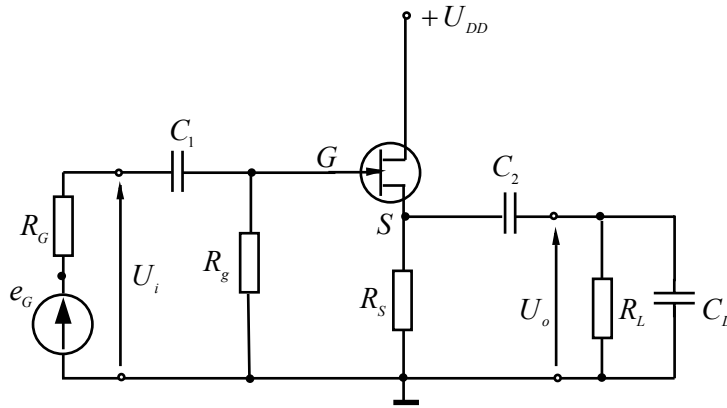
$$(2.81) \quad R_{iA} = \frac{U_i}{I_i} = R_1 \parallel r_{GS} \approx R_1 \text{ и}$$

$$(2.82) \quad R_{oA} = \frac{U_o}{I_o} = r_{DS} \parallel R_D \approx R_D, \quad \text{където } r_{DS} \gg R_D.$$

Коефициентът на усилване по ток е

$$(2.83) \quad A_i = A_U \frac{R_{iA}}{R_L} = A_U \frac{R_1}{R_L}.$$

Схема с общ дрейн (Сорсов повторител)



Фиг. 2.26.

$$(2.84a) \quad A_U = \frac{\Delta U_S}{\Delta U_G} = \frac{\Delta I_S * R_S}{\Delta U_{GS} + \Delta I_S * R_S} \approx \frac{\Delta I_D * R_S}{\Delta U_{GS} + \Delta I_D * R_S} \quad \text{или}$$

$$(2.84б) \quad A_U = \frac{S * R_S}{1 + S * R_S},$$

където $S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$ е стръмността на полевия транзистор.

При включване на товар R_L

$$(2.84\text{в}) \quad A_U = \frac{S(R_S \parallel R_L)}{1 + S(R_S \parallel R_L)}.$$

Входното и изходното съпротивление

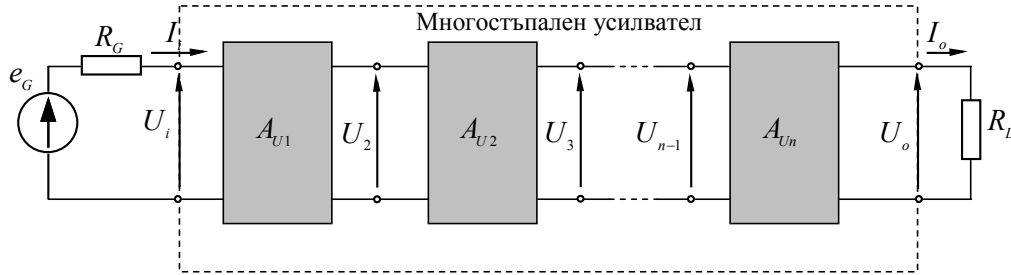
$$(2.85\text{а}) \quad R_{iA} \approx R_g \text{ и}$$

$$(2.85\text{б}) \quad R_{oA} \approx \frac{1}{S}.$$

Коефициентът на усилване по ток

$$(2.86) \quad A_I = A_U \frac{R_{iA}}{R_L} = A_U \frac{R_g}{R_L}.$$

Многостъпални усилватели



Фиг. 2.27.

$$A_{U1} = U_2 / U_i, \quad A_{U2} = U_3 / U_2, \quad \dots \quad A_{Un} = U_o / U_{n-1}.$$

$$(2.87) \quad A_U = A_{U1} * A_{U2} * \dots * A_{Un},$$

$$(2.88a) \quad 20 \lg A_U = 20 \lg A_{U1} + 20 \lg A_{U2} + \dots + 20 \lg A_{Un} \quad \text{или}$$

$$(2.88б) \quad A_{UdB} = A_{U1dB} + A_{U2dB} + \dots + A_{UndB}.$$

Входното съпротивление на многостъпалния усилвател се определя от входното съпротивление на първото стъпало.

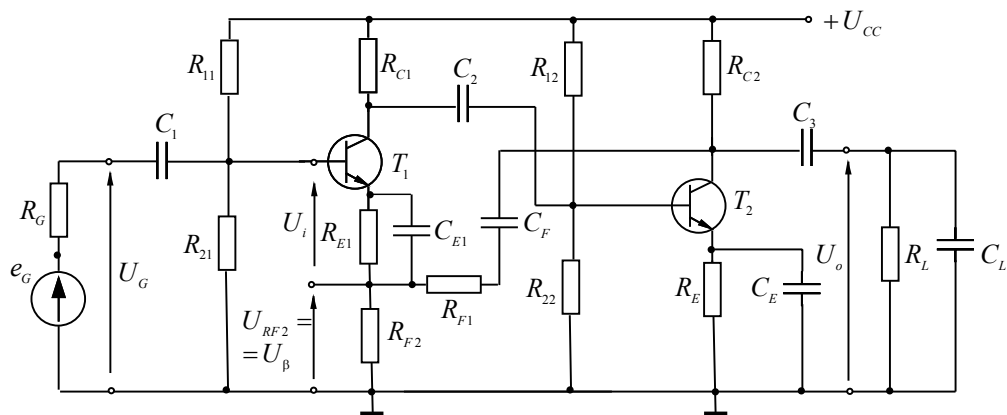
Изходното съпротивление – от изходното съпротивление на последното (крайното) стъпало.

Връзката между стъпалата може да бъде:

- *непосредствена (резистивна)* – постоянното и променливото напрежение на изхода на предидущото стъпало се подават директно към входа на следващото;
- *капацитивна* или *трансформаторна* – предава се само променливото напрежение;
- *оптронна* – може да се предава както постоянното, така и променливото напрежение, но между двете стъпала липсва галванична връзка (нямат обща точка).

Чрез въвеждане на отрицателна обратна връзка (ООВ), която обхваща повече от едно стъпало се подобряват входното съпротивление, изходното съпротивление, честотната лента, линейността на предавателната характеристика.

Електронна схема на усилвател с обратна връзка



Фиг. 2.28.

За общата ОВ коефициентът на ОВ по променлив ток е

$$(2.89) \quad \beta_{OOB} = \frac{U_{R_{F2}}}{U_o} = \frac{R_{F2}}{R_{F2} + R_{F1}}.$$

$$(2.90) \quad A_U = A_{U1} * A_{U2}, \quad \text{където:}$$

$A_{U1} \approx -(R_{C1} \parallel R_{iA2}) / R_{F2}$ и $A_{U2} \approx -(R_{C2} \parallel R_L) / R_{iOB2}$ са коефициентите на усилване на стъпалата поотделно, а

$R_{iA2} = R_{12} \parallel R_{22} \parallel R_{iOE2}$ е входното съпротивление на второто стъпало.

Ако общият коефициент на усилване по напрежение без ОВ A_U е много по-голям от единица

$$(2.91) \quad A_{F(-)} \approx \frac{1}{\beta_{OOB}} = \frac{R_{F2} + R_{F1}}{R_{F2}}.$$

Мощни усилвателни стъпала. Класове на усилване

Мощните стъпала се характеризират с почти пълно използване на възможностите на усилвателните елементи (биполярни и полеви транзистори).

Поради това особено значение за тях имат енергетичните параметри на стъпалото:
консумирана мощност,
максимална изходна мощност,
коэффициент на полезно действие и др.

нелинейни изкривявания.

Аудиоусилватели

Отдават голяма мощност при висок коэффициент на полезно действие.

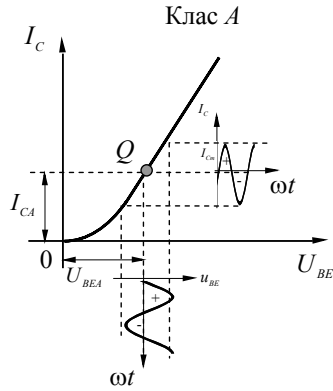
Товарът е озвучително тяло (тонколона или високоговорител) със съпротивление например 4Ω или 8Ω .

Изходната мощност \Rightarrow няколко вата до няколко десетки и стотици вата.

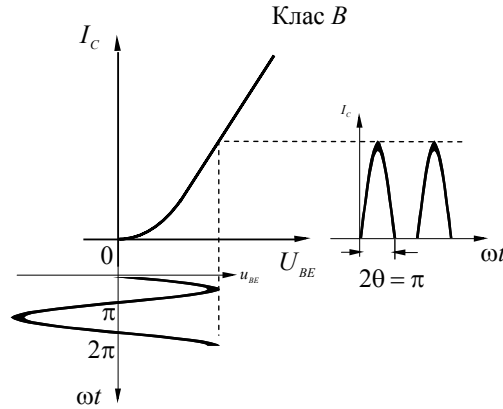
Честотен обхват от 20Hz до 20kHz

Малки нелинейни изкривявания ($k_h < 1\%$).

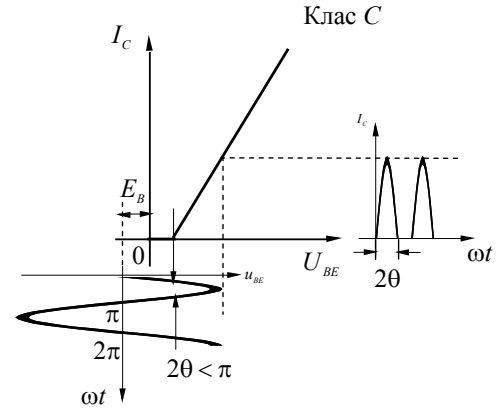
Класове на усилване



Фиг. 2.29.

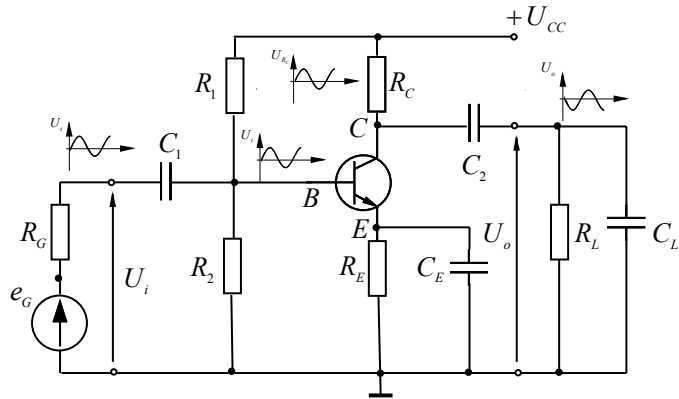


Фиг. 2.30.

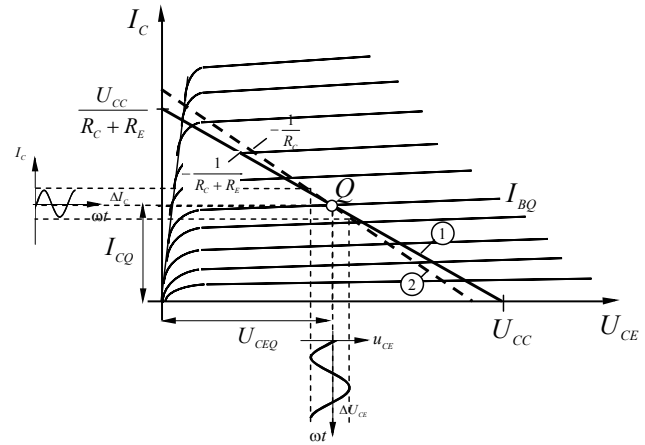


Фиг. 2.31.

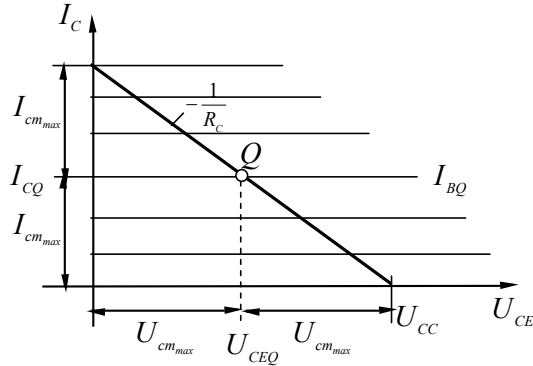
Еднотактни усилватели на мощност



Фиг. 2.13.



Фиг. 2.14.



Фиг. 2.32.

Работната точка трябва да има координати :

$$U_{CEQ} = U_{CC} / 2 \text{ и}$$

$$I_{CQ} \leq 2P_{Cmax} / U_{CC}$$

P_{Cmax} е максимално допустимата загубна мощност).

За синусоиден сигнал максималните амплитуди на колекторното напрежение U_{cm} и на колекторния ток I_{cm} са съответно

$$U_{cm_{max}} = U_{CC} / 2 \text{ и } I_{cm_{max}} = I_{CQ}.$$

Изходната променливотокова мощност, отдадена в товара при произволна амплитуда на входния сигнал, е

$$(2.92) \quad P_L = \frac{1}{2} U_{cm} * I_{cm} = \frac{1}{2} \frac{U_{cm}^2}{R_L} = \frac{1}{2} I_{cm}^2 * R_L.$$

Мощността, която се консумира от захранващия източник при синусоиден входен сигнал, е

$$(2.93) \quad P_{CC} = U_{CC} * I_{CC}.$$

За коефициента на полезно действие се получава

$$(2.94a) \quad \eta = P_L / P_{CC}.$$

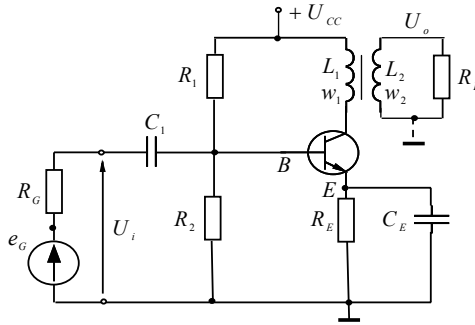
Коефициентът η има максимална стойност, когато U_{cm} и I_{cm} са максимални:

$$(2.94б) \quad \eta_{max} = P_{Lmax} / P_{CC} = \left(\frac{1}{2} U_{cm_{max}} * I_{cm_{max}} \right) / (U_{CC} * I_{CQ}) = \left(\frac{1}{2} \frac{U_{CC}}{2} I_{CQ} \right) / (U_{CC} * I_{CQ}) = 0,25.$$

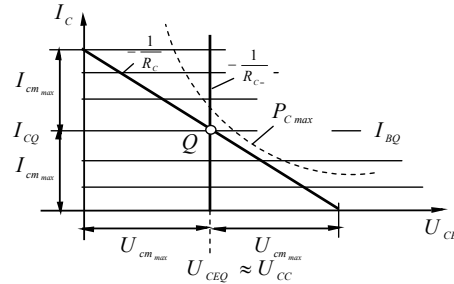
25% от P_{CC} отива в товара.

75% се преобразува в топлина, която се отделя върху колекторния преход (разсейваната мощност е $P_C = P_{CC} - P_L$).

Усилвател с изходящ трансформатор клас А



Фиг. 2.33а.



Фиг. 2.33б.

Товарното съпротивление по променлив ток:

$$(2.95) \quad R_C = r_{L1} + r'_{L2} + R'_L,$$

където r_{L1} е съпротивлението на проводника на първичната намотка,

$r'_{L2} = r_{L2} / n^2$ – съпротивлението на вторичната намотка, приведено към първичната намотка

$n = w_2 / w_1$ - коефициент на трансформация а

$R'_L = R_L / n^2$ е товарното съпротивление, приведено към първичната намотка.

Исходна мощност, която се отдава в първичната намотка:

$$(2.96) \quad P_{o\max} = \frac{1}{2} U_{cm\max} * I_{cm\max} = \frac{1}{2} U_{CC} * I_{CQ}.$$

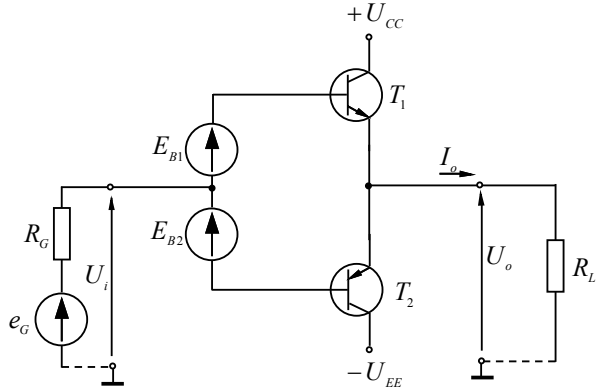
Коефициент на полезно действие на еднотактния трансформаторен усилвател на мощност

$$(2.97) \quad \eta_{\max} = P_{o\max} / P_{CC} = \frac{1}{2} (U_{CC} * I_{CQ}) / (U_{CC} * I_{CQ}) = 0,5.$$

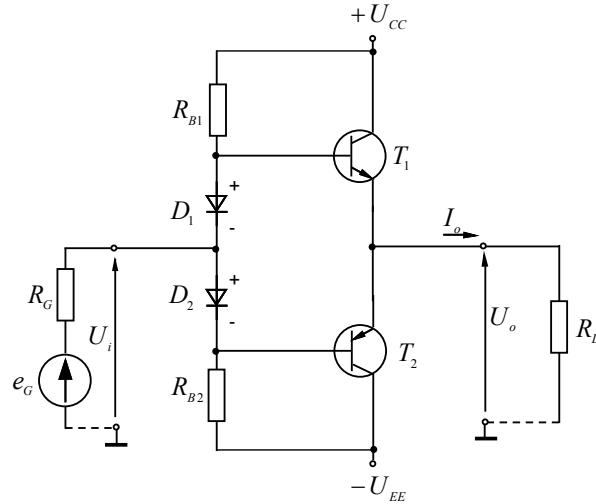
Загубите в трансформатора се отчитат чрез коефициента на полезно действие на трансформатора η_{TP} :

$$(2.98) \quad \eta_{TP} = P_L / P_o = (I_c^2 * R'_L) / (I_c^2 * R_C) = R_L / n^2 * R_C.$$

Двухтактни усилватели на мощност

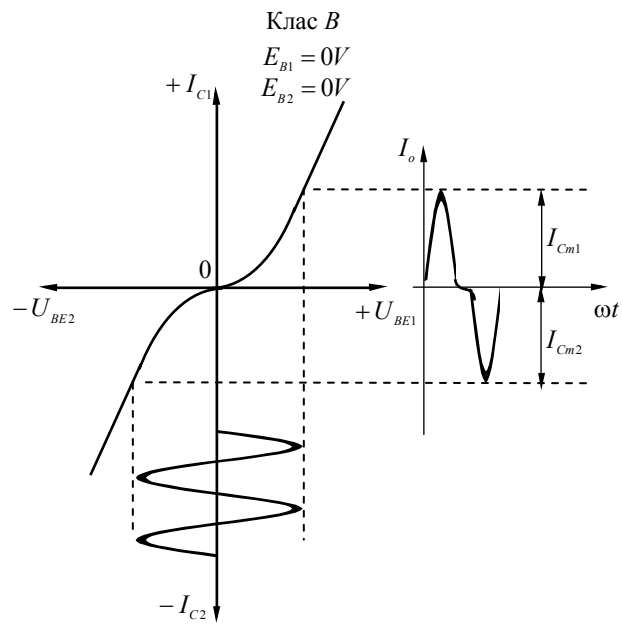


Фиг. 2.34а.

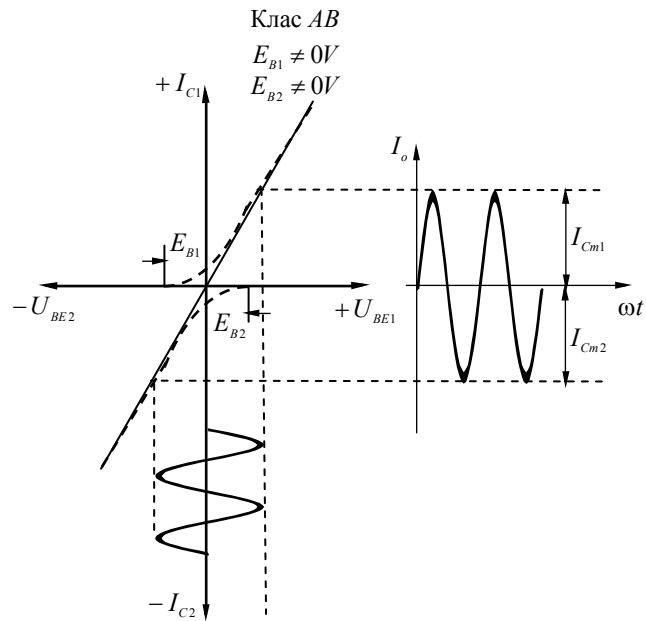


Фиг. 2.34б.

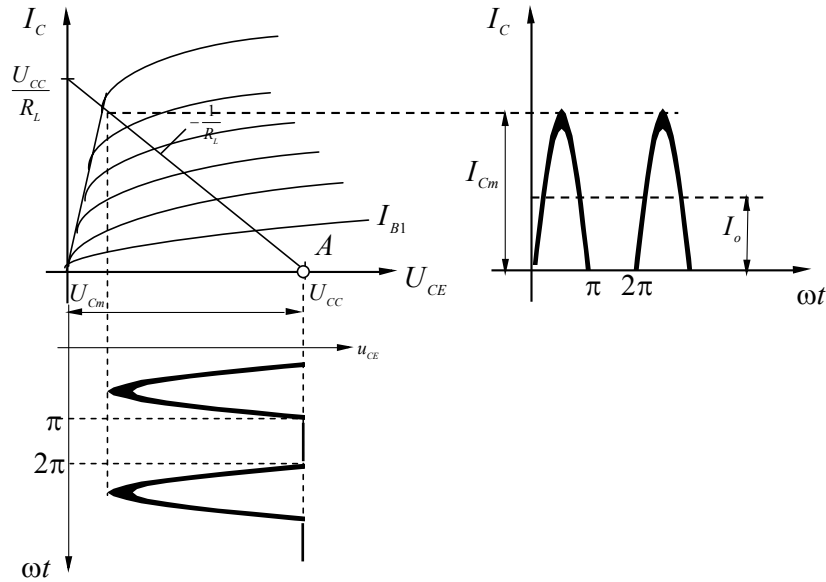
Двухтактният усилвател може да работи в клас *B* или в клас *AB*, които осигуряват голям коефициент на полезно действие и незначителна загубна мощност при покой.



Фиг. 2.35а.



Фиг. 2.35б.



Фиг. 2.36.

$$(2.99) \quad I_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_{cm} \sin \omega t * d\omega t = \frac{I_{cm}}{\pi} .$$

Мощността, консумирана от двата транзистора, ще бъде:

$$(2.100) \quad P_{CC} = 2 * I_o * U_{CC} = \frac{2}{\pi} * I_{cm} * U_{CC} = 0,636 * U_{CC} * \frac{U_{cm}}{R_L},$$

където максималната амплитуда на тока, протичащ през товара, е $I_{cm} = U_{cm} / R_L$.

Максималната мощност, която се отдава в товара, има вида

$$(2.101a) \quad P_L = \frac{1}{2} U_{cm} * I_{cm} = \frac{1}{2} * \frac{U_{cm}^2}{R_L}.$$

Ако се пренебрегне напрежението на насищане U_{CEsat} , се получава

$$(2.101b) \quad P_{Lmax} = \frac{1}{2} * \frac{U_{CC}^2}{R_L}.$$

Изходният ток се променя от 0А до $I_{cm} \approx \frac{U_{CC}}{R_L}$, а мощността, консумирана от захранването, се променя от 0 до P_{CCmax} .

$$(2.111) \quad P_{CCmax} = 2 * U_{CC} \frac{U_{CC}}{\pi * R_L} = \frac{2}{\pi} * \frac{U_{CC}^2}{R_L} = 0,636 \frac{U_{CC}^2}{R_L}.$$

Коефициентът на полезно действие на стъпалото е

$$(2.112) \quad \eta = \frac{P_L}{P_{CC}} = \frac{\pi}{4} * \frac{U_{cm}}{U_{CC}} = 0,785 \frac{U_{cm}}{U_{CC}}.$$

Коефициентът η е пропорционален на амплитудата на изходния сигнал и когато тя се променя от 0 до $-U_{cm} = U_{CC}$ (ако се пренебрегне U_{CEsat}), η се променя от 0 до $\eta_{max} = \frac{\pi}{4} = 0,785$ (78,5%).

Пример: За полезна мощност 2W, токозахранващият източник трябва да достави на изходното стъпало мощност $P_{CC} = \frac{P_L}{\eta_{max}} = \frac{2}{0,758} = 3,54$ W.

Тази мощност намалява с понижаване на амплитудата на сигнала.

Извод: батериите на един уокмен ще се изтощят по-бавно, ако музиката се слуша по-тихо.

Разсейваната (загубната) мощност за всеки един от транзисторите:

$$(2.113) \quad P_C = \frac{1}{2}(P_{CC} - P_L) = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{\pi} I_{cm} * U_{CC} - \frac{1}{2} \frac{U_{cm}^2}{R_L} \right) = \frac{1}{R_L} \left(\frac{1}{\pi} U_{cm} * U_{CC} - \frac{1}{4} U_{cm}^2 \right).$$

$$(2.114) \quad \frac{dP_C}{dU_{cm}} = \frac{1}{R_L} \left(\frac{1}{\pi} U_{CC} - \frac{1}{2} U_{cm} \right) = 0.$$

Амплитудата на напрежението, при което функцията има екстремум, е

$$(2.115) \quad U_{cm} = \frac{2}{\pi} U_{CC} = 0,636 U_{CC}.$$

Втората производна на функцията (2.114) е

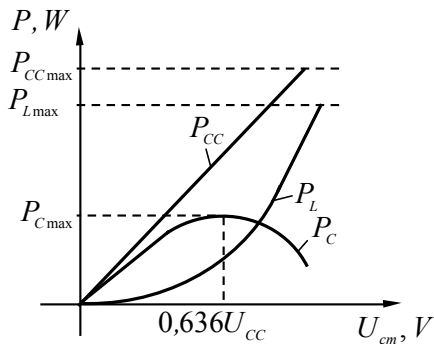
$$(2.116) \quad \frac{d^2 P_C}{dU_{cm}^2} = -\frac{1}{2R_L} < 0.$$

Втората производна е по-малка от нула. Следователно функцията (2.113) има максимум, който за $U_{cm} = \frac{2}{\pi} U_{CC}$ е

$$(2.117) \quad P_{Cmax} = \frac{U_{CC}^2}{\pi^2 R_L} \approx 0,1 \frac{U_{CC}^2}{R_L}.$$

При проектирането на усилватели е необходимо транзисторите да бъдат с максимално допустима мощност не по-малка от P_{Cmax} .

Мощностите P_{CC} , P_L и P_C от амплитудата на изходното напрежение U_{cm} .



Фиг. 2.37.