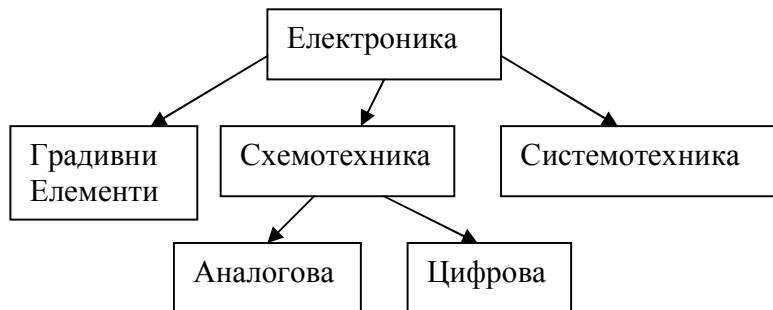


АНАЛОГОВА СХЕМОТЕХНИКА

ПРОМЕНЛИВОТОКОВИ УСИЛВАТЕЛИ

ВЪВЕДЕНИЕ В УСИЛВАТЕЛИТЕ:



Схемотехниката се дели на аналогова според вида на сигнала. Той може да бъде аналогов или цифров. Аналоговият сигнал се изменя монотонно (за близки времена, величините са близки) и при него носител на информацията е самото изменение. Цифровият сигнал се изменя рязко и носител на информацията е броят импулси например.

Усилвател: Усилвателят представлява преобразувател на ел.енергия на необходимия за работа му токоизточник (захранване) в друг вид ел.енергия, подходяща за подаване на блока в изходната му верига (товар), при което подаването на енергията се управлява от източника на сигнала (генератор).

Генератор: Източник на сигнал. Това е преобразувател на някакъв вид енергия в ел.енергия. Генератор на хармонични трептения – източник на незатихващи трептения с честота, определена от елементите в схемата.

Всеки усилвател върви в комплект с генератор, захранване (U_{cc}) и товар. Тези четири блока са задължителни. Входната и изходната верига на усилвател могат да се представят чрез еквивалентни схеми:

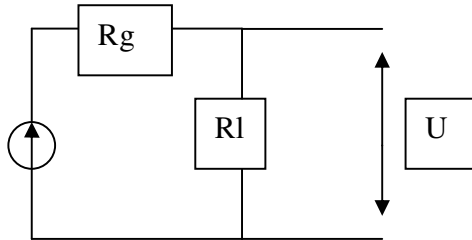
1. Генератор на напрежение последователно на R_g , последователно на R_l
2. Генератор на ток успоредно на R_g , успоредно на R_l .

За усилването на електрически сигнали е характерно следното:

- изходната мощност е по-голяма от входната за сметка на захранващия източник
- изходният и входният сигнал трябва да са еднакви по форма, за да се запази информацията, която се съдържа в тях
- отношението на изходния и входния сигнал трябва да е независимо от честотата и амплитудата

Усилвателният елемент /транзисторът/ и електрическите вериги, които служат за връзка с източника на сигнала и с товара, образуват усилвателно стъпало.

Оптимално използване на източниците на енергия:



Искаме U да е най-близко до E : тоест падът на напрежение в изходната част да е възможно най-голям. За да стане това R_L трябва да е максимално голямо, а R_g нищожно. Когато R_L е много голямо по закона на Ом, падът на напрежение върху него е също голям.

При верига с токов генератор J , R_g е паралелно на R_L . Колкото по-голямо е R_L , толкова по-малко ток ще отива през него (токът се движи по пътя на най-малкото съпротивление). R_L тогава следва да клони към нула, а R_g да е много голямо, за да може токът да минава почти изцяло през изходната верига.

Параметри на усилвателите:

A_u – коефициент на усилване по напрежение

A_i – коефициент на усилване по ток

A_r – предаване U_o/I_i

A_g – стръмност на предаване I_o/U_i

$$A_u.dB = 20 \lg A_u$$

Предавателна Характеристика: определя зависимостта на изходното напрежение от входното. Делта U_o характеризира изкривяванията (разлика между идеалният усилвател без разлика в сигналите, и реалният усилвател). При много високи входни напрежения усилването се намалява. Изкривяванията дължащи се на нелинейната зависимост между изходният сигнал и входният сигнал се наричат **нелинейни изкривявания**. Това се дължи на нелинейността на характеристиките на активните елементи. K е коефициент на нелинейни изкривявания. Това е като при звука: един тон е съставен от много хармоници. Като вземем например един инструмент, всяка от неговите частици трепти по различен начин, обаче в синхрон с другите частици. Образуват се хармоници, като първият е основен и е равен на основната честота. Следващите хармоници са кратни на основния хармоник. С увеличаване на номера на хармоника, амплитудата му намалява (от по-високата честота следва по-малкият период). **Линейни изкривявания** се пораждат от бобини и кондензатори. Изразяват се в нееднаквото усилване на хармонични сигнали с различна честота. Те са два вида: честотни и фазови.

U_{osc} е някакво изходно напрежение, което се дължи на смущения. (СМ – common mode). Дължи се на шума на отделните елементи. Шум е точно това пораждаване на някакво напрежение, което излиза като U_{osc} .

$$U_{icm} = U_{osc}/A_u$$

U_{icm} е шум приведен към входа.

$U_{imin}/U_{icm} = 2; 5; 10; \dots$ Показва колко пъти U_{imin} превишава шумът на усилвателя – минимален сигнал.

$D = U_{\text{imax}}/U_{\text{imin}}$ е динамичният обхват на усилвателя и показва способността на усилвателя да усилва както малки, така и големи сигнали. Стремиме се D да е възможно най-голямо, за да може усилвателят да усилва и много малки и много големи сигнали.

АЧХ: Амплитудно-Честотна характеристика

Дава зависимостта на A_u от честотата: тоест показва ни как се изменя A_u при промяна на честотата. При идеален усилвател графиката е права линия – усилвателят усилва по еднакъв начин всякакви сигнали. При реален усилвател, A_u се намалява при много ниски и много високи честоти. Това се дължи преди всичко на влиянието на свързващите капацитети и на намаляване на коефициента на усилване по напрежение на самите транзистори при повишаване на честотата. Следователно АЧХ е неравномерна, и тази неравномерност пряко следва от предавателната характеристика. Практиката е показала, че най-голямото спадане на K_u , което все още не се забелязва от човешкото ухо, е 30% или 3dB спрямо стойността му при средни честоти – A_{med} .

A с колибка отгоре се нарича нормиран коефициент на усилване. Нормирана величина е например да мериме дължината на игрище, чрез дължината на бюро. Тоест използваме една единица за да изразим друга, като величината ни е дължина.

A с колибка ще бъде отбелязвана: A .

$^A = A/A_{\text{med}}$, като A_{med} е като отправна точка за нормирането на A . Делта f е честотна работна лента и определя честотен диапазон при който характеристиката е права линия.

ФЧХ: Фазово-честотна характеристика

Честотни изкривявания. Това са изкривявания, които се дължат на нееднаквото усилване на сигналите с различни честоти. На практика усилвателите не усилват еднакво различните хармоници на входния сигнал, с което се изменя тяхното съотношение, а това поражда изменение на тембъра на звука и именно това е резултатът от честотните изкривявания.

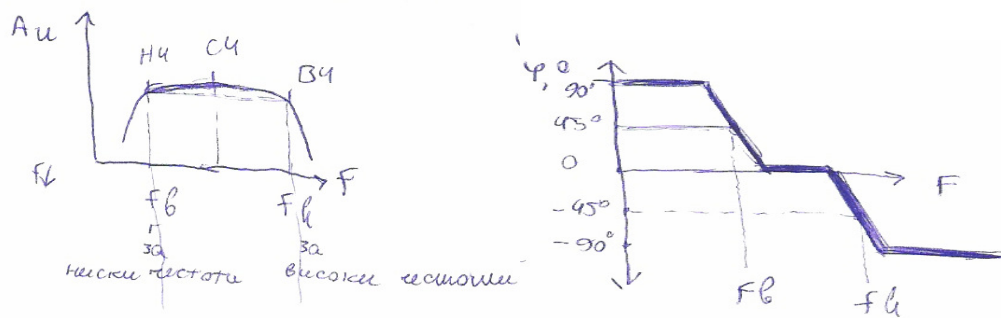
Фазови изкривявания. Този вид изкривявания се пораждат от честотозависими елементи в усилвателите /кондензатори, бобини, транзистори и др./ При усилване на синусоиден сигнал фазовите изкривявания предизвикват изоставане или избързване на изходния сигнал спрямо входния. Това избързване или изоставане се нарича още допълнително дефазиране и трябва да се разграничава от основното дефазиране, породено от начина на включване на транзисторите. Допълнителното дефазиране на сигнала зависи от неговата честота и се изразява с фазово-честотната характеристика на усилвателя. При граничната честота на усилвателя ъгълът на допълнителното дефазиране е -45° .

Дефинира се M – коефициент на честотни изкривявания.

$M_b = A_{\text{med}}/A(f_b)$ което се превръща чрез нормиране в $1/^A(f_b)$ (за ниската граница).

$M_h = 1/^A(f_h)$ – за високата граница.

M е безразмерна величина – $M, \text{dB} = 20 \lg M$



Първата характеристика е амплитудно-честотна, а втората е фазово-честотна. Делта f е $F_h - F_b$. При фазовата характеристика се вижда веднага, че в делта f диапазона, няма дефазирание на сигнала (допълнително дефазирание). Разглеждаме два типа усилватели: нискочестотни и високочестотни. Двете по-горни графики са общи и за двата типа усилватели. По-късно ще бъдат разгледани графиките и поотделно.

Видове входни сигнали:

1. Променливи (променливотокови).
 - а) хармонични – преобладават съставки в определен честотен диапазон ($f_{min} \dots f_{max}$).
 - б) импулсни – f е в интервала $[0 \dots \text{безкрайност}]$.
2. Постояннотокови – скоростта на изменение на моментната им стойност е произволно малка.

ОБРАТНИ ВРЪЗКИ:

Посоката на сигнала е от входа към изхода. Обратната връзка представлява предаване на сигнали от изхода към входа. Активните елементи имат вътрешна обратна връзка (паразитна). Външната обратна връзка се създава със специални блокове за Обратна Връзка, с цел подобряване на параметрите на усилвателя.

Положителна Обратна Връзка: при нея падовете на напрежение не са дефазирани.

Отрицателна Обратна Връзка: имаме дефазирание на напреженията.

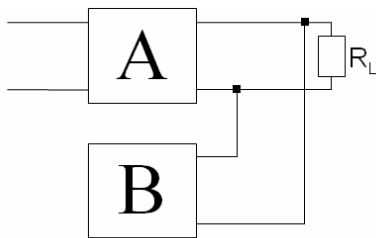
За обратни връзки, дефинираме следните параметри:

$$F = \frac{A}{A_F}$$

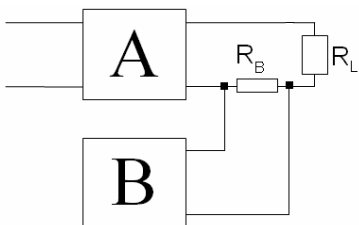
Дълбочина на обратната връзка. Отношението на усилването без ОВ към усилването с обратна връзка: A_F . За отрицателна обратна връзка $F > 1$, а за положителна $F < 1$.

Основни видове ОВ, спрямо ВХОД и ИЗХОД:

ИЗХОД:

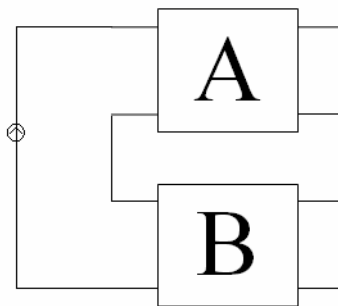


Обратна Връзка по Напрежение

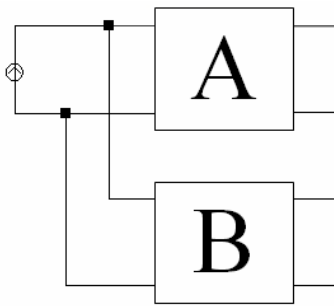


Обратна Връзка по Ток

ВХОД:

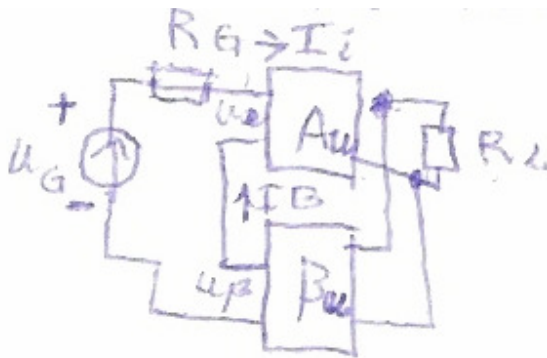


Със сумиране на напрежения, последователна.



Със сумиране на токове, паралелна.

УСИЛВАТЕЛ С ПОСЛЕДОВАТЕЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА ПО НАПРЕЖЕНИЕ:



За блокът бета (това е обратната връзка) имаме входно и изходно съпротивление съответно: R_{ib} и R_{ob} .

За блокът А (усилвателят) имаме входно и изходно съпротивление съответно: R_{ia} и R_{oa} .

R_{ia} е отношение на входното напрежение към входния ток. U_i/I_i .

$R_{oa} = U_o/I_o$.

1. Нека падът на напрежение върху блокът бета (U_b) да е 0. Тогава ще протича входен ток I_i и ще създава пад на напрежение U_i , което блокът А ще усилва. Това напрежение ще излиза на изхода като U_o (такъв е и падът на напрежение върху товара).
2. Когато имаме пад на напрежение върху този блок, използваме втори закон на Кирхоф за напреженията (по контури). Тръгваме от източника U_g и го взимаме с плюс. След това минаваме през блок А и взимаме неговото напрежение с плюс. При минаването в блок В взимаме падът или с плюс или с минус. Имаме два варианта:

$U_i = U_g - U_b$ – за **Отрицателна ОБ**

$U_i = U_g + U_b$ – за **Положителна ОБ**

Тоест при отрицателна ОБ, имаме следната особеност: входният пад на напрежение за усилвателя се получава като разлика между U_g и U_b . Ако U_b е 0, $U_i \sim U_g$, но сега е много по-малко. От това следва, че и U_o намалява, а от това следва, че като цяло – усилването намалява. Тоест, отрицателната обратна връзка намалява усилването.

Положителната ОБ, увеличава усилвателните способности на схемата.

НАПРЕЖЕНИЕ:

$R_{ia} \gg R_g$ (за да може падът на напрежение да е повече върху R_{ia}).

$R_{ia} \gg R_{ob}$ (R_{ob} е от лявата страна на блокът бета).

НАПРЕЖЕНИЕ:

$R_{ib} \gg R_1 \parallel R_{oa}$.

$V_u = U_b/U_o$. (изходното за B е U_b).

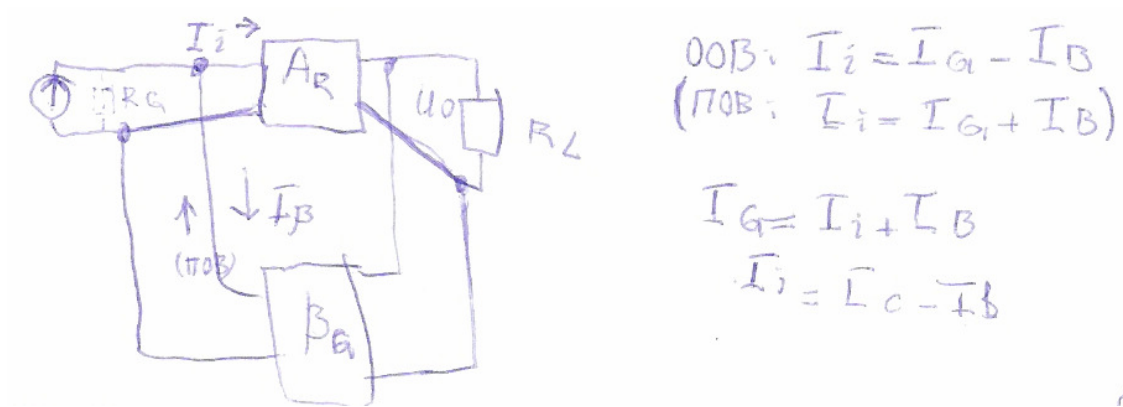
$A_u = U_o/U_i$.

$A_{f(-)} = U_o/U_g = U_o/U_i + U_b = U_o/U_i + V_u \cdot U_o = A_u / (1 + V_u \cdot A_u)$

R_g клони към нула, от което следва $A_u \sim A_{f(-)} \sim A_{uf(-)}$.

Когато имаме последователна ОБ винаги пресмятаме напрежения, като първо написваме знаците за определените блокове.

УСИЛВАТЕЛ С ПАРАЛЕЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА ПО НАПРЕЖЕНИЕ:



Щом е паралелна, значи трябва да посоките на токовете. Използваме първи закон на Кирхоф за възел.

ТОК:

$R_{ia} \ll R_g$

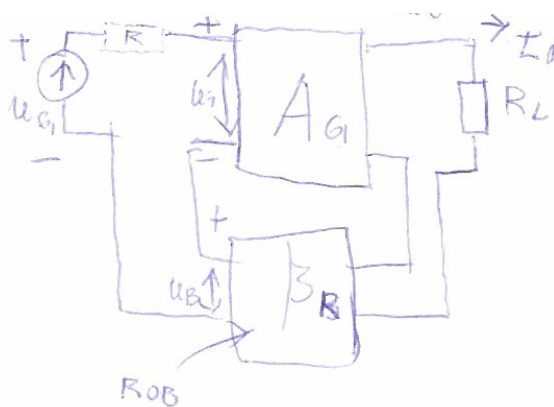
$R_{ia} \ll R_{ob}$

НАПРЕЖЕНИЕ:

$R_{ib} \gg R_1 \parallel R_{oa}$

Всички тези произхождат от оптималното използване на източниците на енергия. За да имаме по-голям ток, трябва съпротивлението да ни е по-малко.

УСИЛВАТЕЛ С ПОСЛЕДОВАТЕЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА ПО ТОК:



НАПРЕЖЕНИЕ:

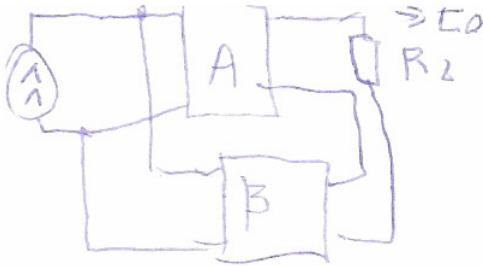
$R_{ia} \gg R_g$

$R_{ia} \gg R_{ob}$

ТОК:

$R_{ib} \ll R_l$

УСИЛВАТЕЛ С ПАРАЛЕЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА ПО ТОК:



ТОК:

$R_{ia} \ll R_g$

$R_{ia} \ll R_{ob}$

ТОК:

$R_{ib} \ll R_l$

Свойства и параметри на усилвателите с ОБ:

ПОВ и ООВ влияят по противоположен начин върху параметрите и характеристиките на усилвателите.

УСИЛВАТЕЛ С ПОСЛЕДОВАТЕЛНА ОБ:

$U_i = U_g - U_b$

$A_u = U_o / U_i$

$B_u = U_b / U_o$

$$R_{iF(-)} = \frac{U_{iA}}{I_{iF(-)}}$$

F-Feed back

$$\begin{aligned} U_a &= U_i + U_b = U_i + B_u \cdot U_o = \\ &= U_i + B_u \cdot A_u \cdot U_i = (1 + B_u \cdot A_u) \cdot U_i = \\ &= (1 + B_u \cdot A_u) \cdot R_{iA} \cdot I_{iF(-)} \end{aligned}$$

$$R_{iF(-)} = \frac{(1 + B_u \cdot A_u) \cdot R_{iA} \cdot I_{iF(-)}}{I_{iF(-)}}$$

В крайна сметка се получава, че ОВ спрямо изхода не влияе върху изменението на R_{ia} .

Последователната и паралелната ОВ влияят по противоположен начин на параметрите и характеристиките на усилвателите.

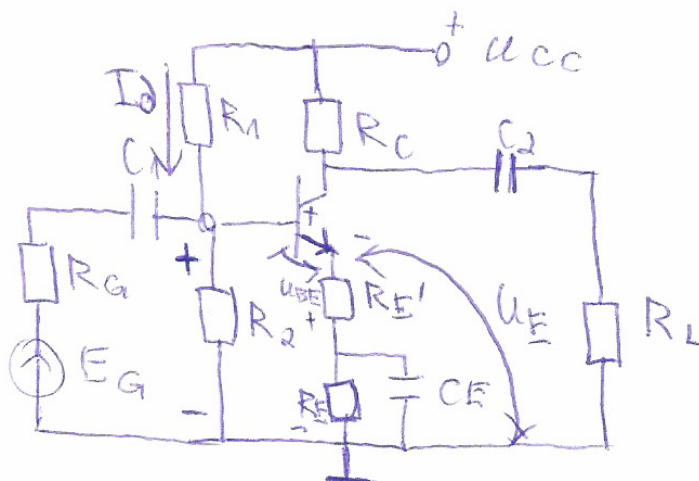
Нека R_1 да намалее. U_o също намалява, а оттам и U_b . Щом $U_i = U_g - U_b$, то U_i се увеличава, а оттам се увеличава U_o .

ООВ по напрежение стабилизира изходното напрежение. Тя намалява изходното съпротивление. ООВ по ток стабилизира изходния ток, като увеличава изходното съпротивление.

ООВ разширява честотната работна лента на усилвателя.

ВАЖНО:

След всичко това трябва да се знае следното: Само при паралелна рисуваме посоки на токове, а при последователна използваме полярността на напреженията. U_g винаги отгоре е с плюс, а отдолу с минус. Същото се отнася и за блокът А. За блокът В това зависи от вида на обратната връзка. Отгоре е плюс при ООВ, а иначе е минус при ПОВ.



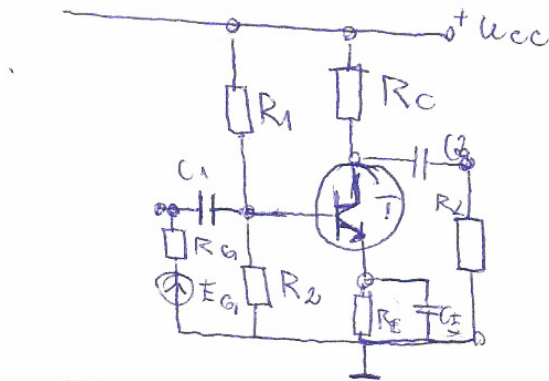
След като ОВ са разбрани, тогава следва да се разгледа практическата схема. Падът на напрежение върху R_2 е нашето U_g . Плюсьт е отгоре а минусът отдолу. U_{cc} определя накъде тече токът I_d и съответно поляритета на U_g . U_{be} винаги е в права посока, което е същото като да кажем, че падът на напрежение върху блокът А винаги се взима с плюс отгоре и минус отдолу. Токът, който протича през блокът бета създава пад на напрежение с плюс отгоре и минус отдолу (Отрицателна ОВ).

Кои елементи образуват Обратната връзка по ток в схемата? Зависи какъв сигнал е пуснат. При постоянен ток, влияние указват R_e' и R_e (C_e има много голямо съпротивление по прав ток. При променлив ток, влияние указва R_e и C_e , като C_e блокира Обратната връзка по променлив ток, защото има много малко съпротивление).

ВАЖНО:

Когато в схемата текат променлива и постоянна съставка на тока, бъдете сигурни че знаете откъде минава всяка от тях и ги отделяйте като отделни явления. Нарисувайте, например, променливата съставка на тока (пътя и) с вълнообразна черта, а постоянната с права черта.

Нискочестотни Усилватели:



Входната Верига:

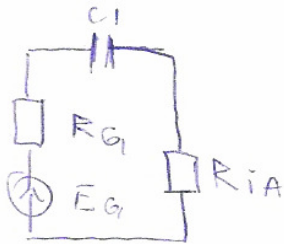
R_1 е успоредно на R_2 . Еквивалентното им съпротивление наричаме R_b .

$$R_b = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{ia} = R_b \parallel r_{be}$$

R_{be} е съпротивлението база-емитер на транзистора в схемата.

Сега вече имаме входната верига при нискочестотен усилвател.



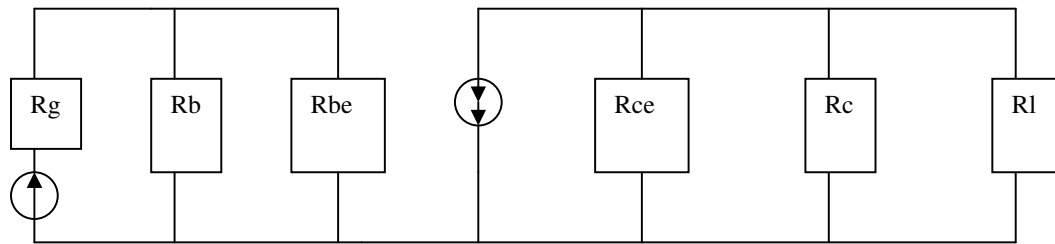
Просто сме намерили еквивалентното съпротивление R_{ia} .

Изходната Верига:

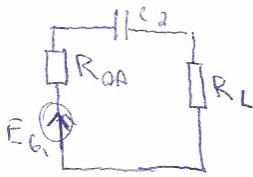
Гледаме първата схема на тази страница. На нея не е дадено r_{ce} , но всъщност го има – съпротивлението между колектор-емитер на транзистора.

$$R_{oa} = r_{ce} \parallel R_c$$

Още от първите уроци, се знае че входната и изходната верига могат да се представят като съвкупности от генератор на напрежение или ток със неговото съпротивление последователно или успоредно на товара. При входната верига R_g е генераторното съпротивление, а R_{ia} е товара. При изходната верига, R_{oa} е генераторното съпротивление, а R_l е товара.

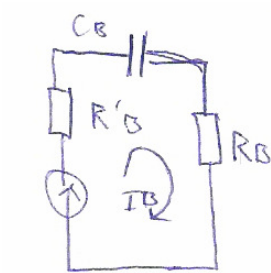


Това е Усилвателно стъпало по схема общ емитер. Биполярният транзистор е представен като четириполюсник с общ четвърти полюс. Тоест общ емитер. От тук лесно се виждат изходната и входната верига.



Ето я и изходната верига.

Обобщена схема за нискочестотен усилвател:



Просто слагаме нов индекс В. При ниски честоти (омега клони към нула), имаме увеличаващо се съпротивление на кондензатора: X_c :

$$X_{cb} = 1/\omega \cdot C_b$$

От това следва, че I_b се намалява, а оттук следва че изходното напрежение във веригата се намалява. Оттук A_b се намалява. Ето защо в АЧХ нискочестотният участък показва спадане на усилването по напрежение.

Времеконстанта на нискочестотната верига:

T_b е TA_{0b} и е времеконстанта на НЧ верига. И тя определя времената на елементите във веригата.

$$T_b = C_b(R_b' + R_b'')$$

Съответно имаме честотата F_z :

$$F_z = 1/2\pi \cdot T_b$$

$$\frac{F}{F_2} \quad f_2 = \frac{1}{2\pi \cdot T_B} \quad \left| \quad \tau_B = C_B (R'_B + R''_B) \right.$$

$$\hat{A}_B = \frac{u/E}{|\psi_c|} \quad \omega \rightarrow \infty \quad \hat{A}_B = \frac{u_B/E}{u_B/E} \quad \omega \rightarrow \infty$$

Както се вижда \hat{A}_B е нормиран коефициент на усилване, който се определя от отношението на усилването при нормални условия към усилването при много ниски честоти. \hat{A}_B което трябва да е колибка с точка всъщност е нормиран коефициент при дадено U_B .

$$\hat{A}_B(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 \cdot \tau_B^2}}}$$

Всичко това се прави с една единствена цел: да се изведе зависимост между усилването на сигнала и линейните изкривявания M .

Знаеме от първите уроци че:

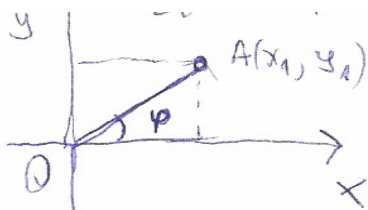
$$M_b = 1/\hat{A}(f_b)$$

Ако преобърнем зависимостта се получава, че:

$$\hat{A}(f_b) = 1/M_b$$

Това M_b (линейни изкривявания) е съвкупност от всичките фазови и честотни изкривявания. Тези изкривявания се внасят от елементите в схемата и се изразяват с нееднаквото усилване на сигнали с различна честота. Тоест M_b се определя от времеконстантата на веригата и от ъгловата честота.

A_B е комплексно число и като всяко такова има две съставки:



1. Дължината от точка O до x_1, y_1 . (Което е абсолютната стойност).
2. Ъгъл ϕ .

$$|\hat{A}_B| = \hat{A}_B(\omega) \quad \varphi_B = \operatorname{arctg} \frac{1}{\omega \cdot \tau_B}$$

АЧХ \nearrow ФЧХ

Значи за да избереме усилвател за ниски честоти, задаваме:

1. Някаква работна честота.
2. Определяме изкривяванията M_b .

Знаеме, че M_b се разпределя по елементите в схемата: $M_{c1} = M_{c2} = M_{ce}$.

И сега вече трябва да изчислим:

1. \hat{A}_{c1}

Затога изчисляваме ТАО(C_1), което например е: $C_1(R_g + R_{ia})$.

$$\hat{A}_B(\omega) \sim \hat{A}_{c1}(\omega) \cdot \hat{A}_{c2}(\omega) \cdot \hat{A}_{ce}(\omega)$$

Високочестотни Усилватели:

C_1 , C_2 , C_e , C_b не влияят при високи честоти, тъй като тяхното съпротивление по променлив ток се намалява. При ВЧ влияят някакви паразитни и монтажни капацитети, но най-вече инерционните свойства на транзистора.