

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

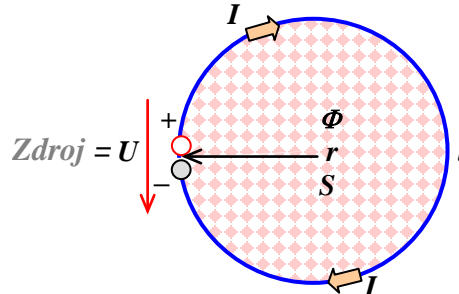
Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)



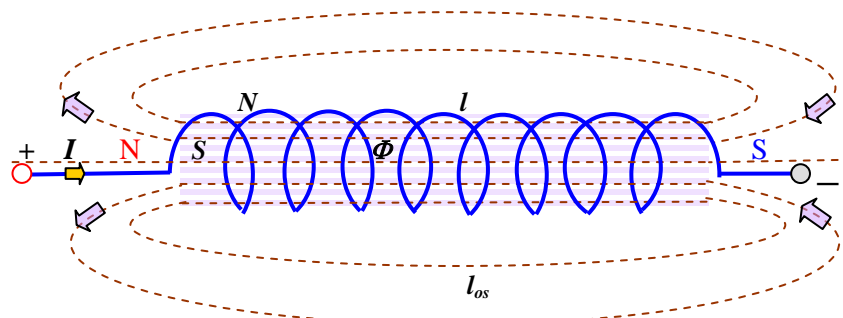
## Cívka

Ve vodiči připojeném ke svorkám zdroje vytváří elektrický proud  $I$  proudovou smyčku – závit s magnetickým tokem  $\Phi$  obíhajícím kolmo do plochy  $S$  vnitřního magnetického pole závitů. Zde závislost velikosti magnetického toku  $\Phi$  na velikosti elektrického proudu  $I$  udává vlastní indukčnost  $L$  závitů.



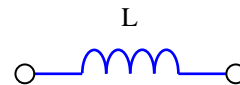
Magnetické pole uvnitř proudového závitu

V ideální proudové smyčce, která je vymezená stočeným vodičem o délce  $l$  do kruhového závitu o poloměru  $r$ , je magnetický tok  $\Phi$  rozložen v ploše  $S$ . Se vzdáleností od vodiče se jeho hustota snižuje



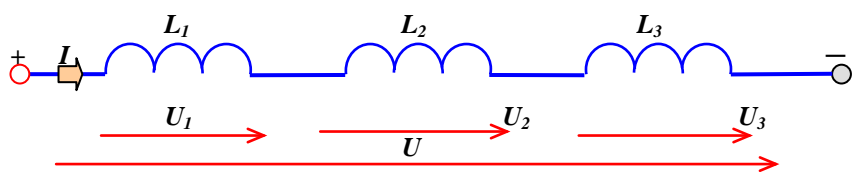
Magnetické pole cívky

Svinutím vodiče do izolovaných proudových závitů  $N$  seřazených za sebe nebo na sebe se vytvoří **cívka**. Průchodem elektrického proudu  $I$  v cívice se indukuje magnetický tok  $\Phi$ , který se uzavírá v okolí cívky.



Značení cívky

Uvnitř cívky je homogenní magnetické pole. Cívka může mít jádro vzduchové, plné, nejčastěji feromagnetické. Ve stejnosměrném obvodu se u cívky  $L$  uplatňuje rezistance  $R$  vodiče, ze kterého je navinuta.



Sériové zapojení cívek

Ve stejnosměrném obvodu platí pro sériové a také paralelní zapojení cívek  $L$  o napětí  $U$  a proudu  $I$  totéž, co pro sériové a paralelní zapojení rezistorů  $R$ .

### Vlastní indukčnost cívky

Vlastní indukčnost  $L$  vodiče je ve stejnosměrném obvodu závislost velikosti magnetického toku  $\Phi$  na velikosti proudu  $I$ , a to ve vodiči, tvořícího jeden závit.

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad [\text{H; Wb, A}]$$

Základní vlastností cívek je indukčnost. V  $N$  závitcích cívky  $L$  dochází ke spřažení magnetických toků  $\Psi$ .

$$\Psi = \Phi \cdot N \quad [\text{Wb; Wb}]$$

Vlastní indukčnost  $L$  cívky s  $N$  závitů tu vyjadřuje závislost velikosti spřažení magnetických toků  $\Psi$  na velikosti proudu  $I$  tekoucího cívku a tvořícího všechna magnetická pole u každého závitu.

$$L = \frac{\Psi}{I} = N \frac{\Phi \cdot N}{I}$$

[H; Wb, A; Wb, A]

Vlastní indukčnost  $L$  cívky s  $N$  závitů je též přímo úměrná permeabilitě  $\mu$ , dále ploše  $S$  průřezu magnetického obvodu, i počtu  $N$  závitů, ale je nepřímo úměrná délce  $l_{os}$  prostřední indukční čáry. Po dosazení se rovná:

$$L = \frac{B \cdot S \cdot N \cdot N}{H \cdot l_{os}} = \mu \frac{S \cdot N^2}{l_{os}}$$

[H; T, m<sup>2</sup>, A/m, m; H/m, m<sup>2</sup>, m]

## Magnetické pole cívky

Směr siločar magnetického pole v cívice je dán směrem proudu  $I$  a určí se pravidlem pravé ruky:

*Cívka se uchopí do pravé ruky tak, že prsty ukazují směr proudu  $I$  v závitěch a palec ukáže směr magnetických siločar v cívice.*

Cívku o  $N$  závitěch tvoří dlouhý vodič navinutý na válci. Válcová cívka s přímkovou osou a délkou  $l$ , která je větší než několiknásobný průměr  $d$  se nazývá solenoid. Po připojení ke zdroji protéká každým závitěm stejný ustálený elektrický proud  $I$ . Uvnitř solenoidu je homogenní magnetické pole s magnetickým tokem  $\Phi$ , složeným z jednotlivých toků  $\Phi_{I-N}$  všech závitů  $N$ , a jeho rozložení na vnitřním průřezu  $S$  cívky určuje hodnotu magnetické indukce  $B$  uvnitř.

Magnetomotorické napětí  $F_m$  magnetického pole cívky je buzeno součtem proudů  $I_{I-N}$  jednotlivých závitů  $N$ .

Hodnota intenzity magnetického pole  $H$  uvnitř je dána rozložením magnetomotorického napětí  $F_m$  podél střední indukční čáry  $l_{os}$  v délce  $l$  a kolem solenoidu.

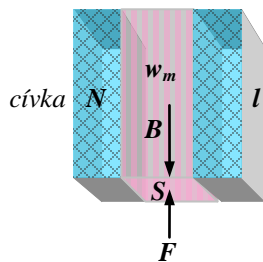
Charakteristickou vlastností cívky je indukčnost  $L$ . Ta přímo závisí nejen na počtu závitů  $N$  a jejich ploše  $S$ , ale také na permeabilitě  $\mu$  prostředí v cívice a jejím okolí. Nepřímo je závislá na délce  $l_{os}$  její střední oběhové siločáry.

Cívka  $L$  s plochou  $S$  průřezu a délkou  $l$  s homogenním magnetickým polem uvnitř a nestejným magnetickým polem kolem cívky se projevuje silovými účinky. Příčinou je energie  $W_m$  magnetického pole, která se vytvoří průtokem elektrického proudu  $I$  v závitěch  $N$  cívky  $L$ .

Velikost energie  $W_m$  magnetického pole je přímo úměrná magnetickému toku  $\Phi$  a magnetickému napětí  $U_m$ . Obě tyto magnetické veličiny jsou závislé na fyzických rozměrech cívky  $L$ , velikosti elektrického proudu  $I$ , a permeabilitě  $\mu$  materiálu, ze kterého je magnetický obvod zkonstruován. Dá se říci, že uvnitř cívky  $L$  se vzduchovým jádrem bude řádově menší energie  $W_m$  magnetického pole, než v cívice  $L$ , která má jádro feromagnetické.

## Elektromagnet

Feromagnetické jádro s plochou  $S$ , na kterém je navinuto  $N$  závitů cívky se nazývá elektromagnet, který při průtoku elektrického proudu  $I$  působí na okolí magnetickou silou  $F$ .



Znázornění elektromagnetu

Velikost působení magnetické síly  $F$  cívky projevující se na její dosedací ploše  $S$  závisí přímo na hustotě energie  $w_m$  magnetického pole v cívice, která se rovná polovičnímu součinu intenzity  $H$  magnetického pole a magnetické indukce  $B$  v cívice.

## Energie magnetického pole

Energie uvnitř cívky homogenního magnetického pole se zde označí  $W_{mi}$  a energie vně cívky potom symbolem  $W_{me}$  spojitěho nestejněměrného magnetického pole.

$$W_m = W_{me} + W_{mi} \quad W_{me} = W_{mi} = \frac{W_m}{2}$$

$$W_m = 2 \cdot W_{mi}$$

Velikost energie magnetického pole  $W_m$  je tak rovna vně a uvnitř cívky součinu magnetického toku  $\Phi$  a magnetického napětí  $U_m$ .

$$2 \cdot W_m = \Phi \cdot U_m \quad [J; Wb, A]$$

Velikost energie  $W_{mi}$  magnetického pole cívky v neferomagnetickém prostředí je rovna:

$$W_{mi} = W_m = \frac{\Phi \cdot U_m}{2} \quad [J; Wb, A,]$$

Hustota energie  $w_m$  homogenního magnetického pole uvnitř cívky je po dosažení indukce a intenzity:

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{B \cdot H}{2} \quad [J/m^3; J, m^3; T, A/m,]$$

## Přitažlivá síla elektromagnetu

Za energii magnetického pole  $W_m$  se dosadí součin síly  $F$  a délky  $l$  cívky, za objem  $V$  pak součin dosedací plochy  $S$  a délky  $l$  cívky.

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{F \cdot l}{S \cdot l} = \frac{F}{S} = \frac{B \cdot H}{2}$$

$$[J/m^3; J, m^3; N, m, m^2, m; N, m^2]$$

Z rovnosti hustoty energie  $w_m$  se tu vypočítá přitažlivá síla  $F$  podle vzorce:

$$F = \frac{B}{2} \frac{B}{\mu_0} S = \frac{B^2 \cdot S}{2 \cdot \mu_0}$$

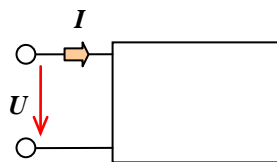
$$[N; T, m^2, H/m]$$

Přitažlivá síla  $F$  elektromagnetu se přibližně vypočte ze vzorce:

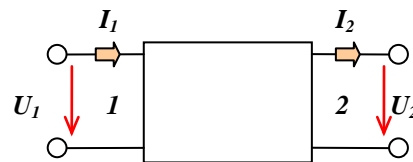
$$F \cong 4 \cdot 10^5 \cdot B^2 \cdot S \quad [N; T, m^2]$$

## Čtyřpól

Elektrotechnické prvky jako je článek, kondenzátor  $C$ , rezistor  $R$  a cívka  $L$  se do elektrického obvodu připojují dvěma různými svorkami a nazývají se dvojpóly. Zapojí-li se do proudového obvodu kombinace prvků čtyřmi svorkami, z nichž jedna ze svorek může být společná pro vstup i výstup, používá se pro ni název čtyřpól.

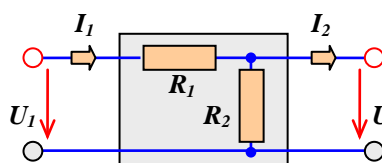


Dvojpól

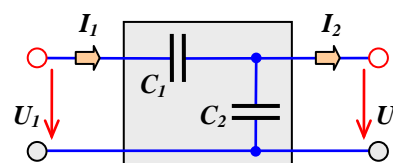


Čtyřpól

První levá vstupní část čtyřpólu se připojuje ke zdroji a druhá pravá výstupní část se stává zdrojem druhého obvodu. Pro čtyřpóly se zavádějí jednotná kritéria (charakteristiky), jimiž se hodnotí jejich vlastnosti. Vztahy jednotlivých vstupních a výstupních hodnot čtyřpólů se potom nazývají parametry.

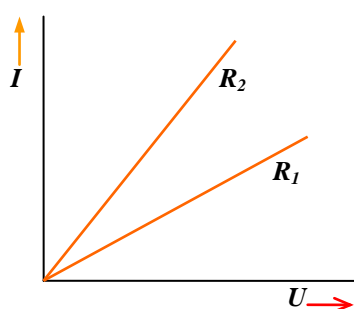


Rezistorová vazba

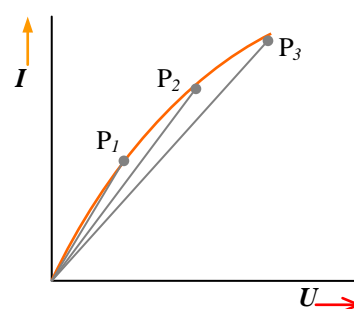


Kapacitní vazba

Čtyřpól se zapojením rezistorů  $R$ , nebo kondenzátorů  $C$  do série s propojovací společnou svorkou vstupního a výstupního obvodu vytváří jejich rezistorovou nebo kapacitní vazbu, čili je vazebním členem. Je-li vstupní napětí  $U_1$  vyvoláno vstupním proudem  $I_1$  na sériově zapojených rezistorech o výsledné rezistanci  $R_1+R_2$ , jedná se o vazbu rezistorovou. U ní je výstupní napětí  $U_2$  rovněž vyvoláno vstupním proudem  $I_1$ , ale pouze na rezistoru s rezistancí  $R_2$ . U kapacitní vazby jsou mezi sebou dva obvody propojovány nevodivě – napěťově.



Lineární prvek



Nelineární prvek

Vlastnosti elektrotechnických prvků, jimiž působí na velikost proudu  $I$  a napětí  $U$  v elektrických obvodech, se většinou zobrazují v pravouhlých souřadnicích charakteristikami. Blíží-li se tvar charakteristiky přímce, je prvek označen jako lineární, u něhož se vztah proudu  $I$  a napětí  $U$  řídí Ohmovým zákonem. Prvek s jiným tvarem charakteristiky je potom vždy nelineární.

Ve skutečnosti jsou všechny prvky obvodu více či méně nelineární. U některých nelineárních prvků probíhá charakteristika ve větším nebo menším rozsahu lineárně. Zjišťují-li se vlastnosti prvku ve velmi malém rozsahu jeho charakteristiky, lze i nelineární průběh nahradit přímkou.

### Přenos čtyřpólem

Poměr výstupní a vstupní veličiny vyjadřuje přenos  $A$  napětí  $U_1$  a proudu  $I_1$  vstupu čtyřpólu na jeho výstup s napětím  $U_2$  a proudem  $I_2$ .

$$A_i = \frac{I_2}{I_1};$$

$$A_u = \frac{U_2}{U_1};$$

$$A_p = \frac{P_2}{P_1};$$

Jsou-li výstupní veličiny menší než vstupní  $A < 1$ , pak vykazuje vazební člen útlum, který zde způsobují pasivní elektrotechnické prvky jako kondenzátor  $C$ , cívka  $L$ , rezistor  $R$ , taktéž dioda  $D$  a podobně.

### Rezistorová vazba

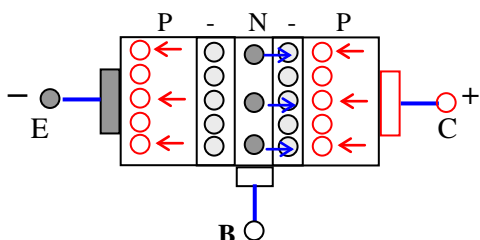
V rezistorové vazbě jsou mezi sebou propojeny dva obvody vodivě – proudově, z nichž vstupní obvod je tu napájen zdrojem proudu  $I_1$  o napětí  $U_1$ , a je potom na výstupu zdrojem napětí  $U_2$  a proudu  $I_2$  navazujícího obvodu.

### Kapacitní vazba

Vstupní obvod je taktéž u kapacitní vazby napájen ze zdroje o napětí  $U_1$  a proudu  $I_1$  nabíjecího oba připojené kondenzátory s kapacitami  $C_1$  a  $C_2$ . U kapacitní vazby je kondenzátor s kapacitou  $C_2$  zdrojem napětí  $U_2$  na výstupu s vybíjecím proudem  $I_2$  do navazujícího obvodu.

## Tranzistor

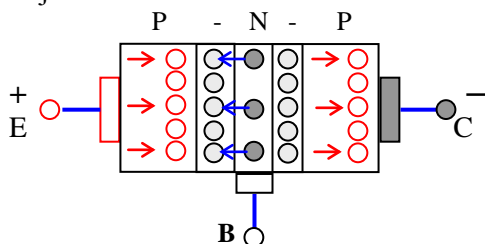
Nanesou-li se na sebe tři vrstvy polovodičů odlišných typů P–N–P nebo N–P–N, vzniknou na jedné vrstvě polovodiče dva přechody P–N nebo N–P. Takto konstruovaný elektronický prvek se třemi elektrodami emitorem E, bází B a kolektorem C se nazývá tranzistor.



*Přiložení tranzistoru P–N–P k napětí*

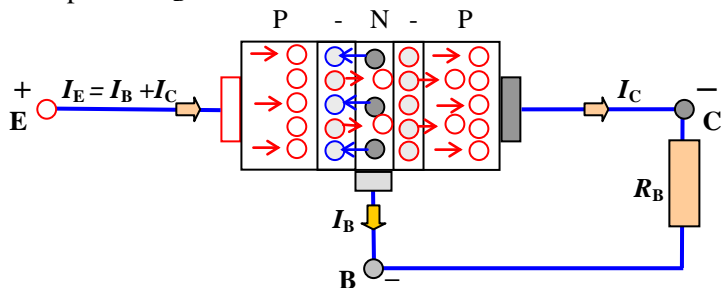
Připojením tranzistoru P–N–P k napětí  $U$  stejnosměrného zdroje na kolektor C kladnou +, a na emitor E zápornou – polaritou, dojde v emitoru E k přitažení kladných nositelů nábojů (děr) a v kolektoru C k odpuzení kladných nositelů nábojů. Záporní nositelé v bázi B volně zrekombinují, pásmo přechodu P–N mezi emitorem E a kolektorem C se rozšíří, a tranzistorem P–N–P téměř neprotéká žádný proud  $I$ , čili tranzistor je uzavřen.

Při opačném připojení tranzistoru na napětí  $U$  dojde v emitoru E naopak k odpuzení kladných nositelů nábojů (děr), a v kolektoru C k přitažení kladných nositelů nábojů. Záporní nositelé v bázi B volně zrekombinují, pásmo přechodu P–N mezi emitorem E a kolektorem C se rozšíří a tranzistorem opět neprotéká téměř žádný proud  $I$ , čili tranzistor P–N–P je uzavřen.



*Přiložení tranzistoru P–N–P k opačnému napětí*

Po následném připojení záporné polaroty zdroje na bázi B dojde pak v propustném směru přechodu P–N mezi emitorem E a bází B k průtoku proudu  $I_B$ .



*Proudové zapojení tranzistoru P–N–P*

Při dostatečně tenké vrstvě báze B umožní proud  $I_B$  přenášení kladných nositelů nábojů z emitru E přes bázi B do kolektoru C a to proudem  $I_C$  mezi kolektorem C a emitorem E. Proud  $I_E$  je pak složen z proudů  $I_B$  a  $I_C$ . Tranzistor P–N–P je otevřen. Závislost vstupních a výstupních veličin tranzistorů v proudovém zapojení se zobrazují ve voltampérových charakteristikách.

### Aktivní člen

Tranzistor je aktivním členem v proudovém obvodu a pracuje správně, je-li emitorová dioda zapojena v propustném směru a kolektorová dioda v závěrném směru. Je to zapouzdřený střet tří polovodičů se zakreslením šipky ve směru proudu  $I$ .

V tranzistoru je tu propojený daný proudový obvod vstupní s výstupním. Vstupní obvod 1 je vždy s připojenou bází B a schematicky se zakresluje z levé strany, výstupní obvod 2 potom z pravé strany. Poměr výstupní veličiny a veličiny vstupní zde udává zesílení  $A$  tranzistoru.

Základní vlastnosti tranzistoru v zapojení:

se společnou bází SB jsou: velké napěťové zesílení  $A_u$ , velké výkonové zesílení  $A_p$ , proudový zesilovací činitel  $\alpha$

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} < 1$$

a se společným emitorem SE: proudové zesílení  $A_i \gg 1$ , velké napěťové zesílení  $A_u$ , větší výkonové zesílení  $A_p$  než v zapojení SB, a taktěž i proudový zesilovací činitel  $\beta$  je mnohem větší

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \gg 1$$

### Charakteristika tranzistorů v zapojení SE

Výstupní charakteristika tranzistoru P-N-P je vynesena v prvním kvadrantu s funkcí  $I_C = f(U_{CE})$  při  $I_B = \text{konst}$

Kolektorová ztráta  $P_{Cmax}$  maximálně přípustná je zde ohraničená hyperbolou.

Ve druhém kvadrantu je zakreslena závislost

$$I_C = f(I_B) \text{ při } U_{CE} = \text{konst}$$

Vstupní charakteristika u tranzistoru je vynesena ve třetím kvadrantu jako funkce  $U_{BE} = f(I_B)$  při  $U_{CE} = \text{konst}$  což je vlastně charakteristika emitorové diody, zapojené v propustném směru.

Ve čtvrtém kvadrantu je zakreslena závislost

$$U_{BE} = f(U_{CE}) \text{ při } I_B = \text{konst}$$

Z výstupní charakteristiky je patrné, že tady jednotlivé charakteristiky vycházejí ze společné, tzv. mezní přímky. Ta je spojnicí dolních ohybů jednotlivých charakteristik.

Určuje velikost zbytkového napětí  $U_{zb}$  kolektoru při zcela úplném otevření tranzistoru, které obvykle nepřekračuje hodnotu 0,5 V.

Dále je patrné, že ještě při proudu  $I_B = 0$  protéká malý kolektorový proud  $I'_{C0}$ , jenž je trochu větší než proud  $I_{C0}$  v zapojení SB.

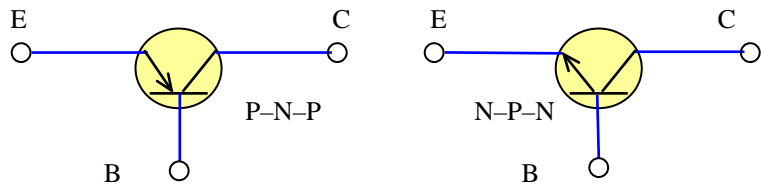
$$I'_{C0} = I_{C0}(1 + \beta)$$

Zbytkové proudy  $I'_{C0}$  a  $I_{C0}$  jsou závislé na teplotě, a tak ovlivňují celkový kolektorový proud  $I_C$ .

Zakreslený pracovní bod P se zde promítá do všech čtyř charakteristik.

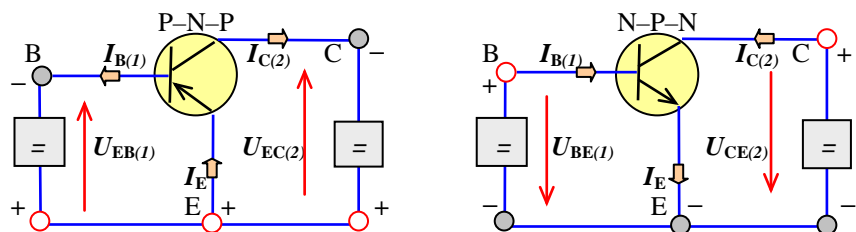
U tranzistorů P-N-P je emitorová dioda v propustném směru správně zapojena, pokud je emitor E připojen na kladnou polaritu zdroje a báze B na zápornou. Při tom kolektorová dioda musí být připojena v závěrném směru, tedy je kolektor C připojen na zápornou polaritu zdroje.

U tranzistorů N-P-N je tomu obráceně.



Schematické značení tranzistorů

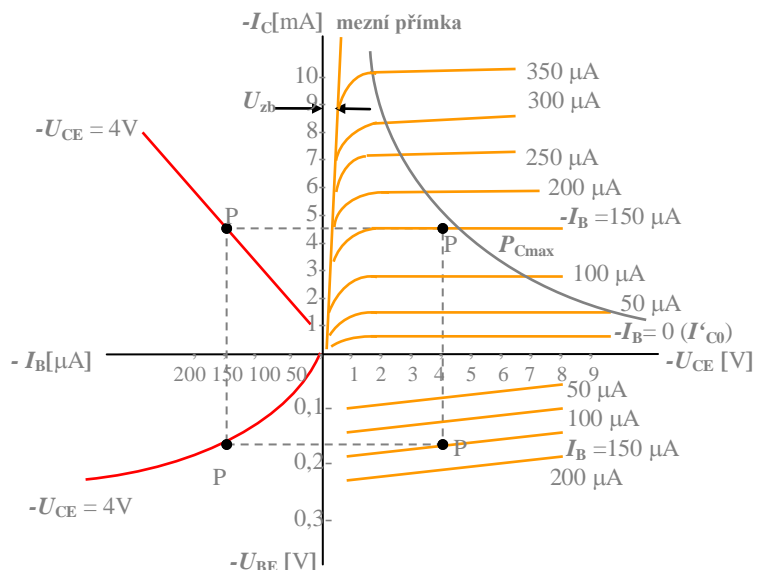
Podle společné elektrody vstupního a výstupního obvodu se zapojení tranzistorů rozlišují na zapojení se společnou bází SB a dále zapojení se společným emitorem SE a zapojení se společným kolektorem SC.



Zapojení tranzistorů se společným emitorem (SE)

### Charakteristiky tranzistorů

Vlastnosti tranzistorů a souvislosti mezi veličinami tranzistoru jsou dobře patrné z voltampérových charakteristik. Směr proudu se považuje za kladný, protéká-li ve směru přívod elektrody → polovodičový krystal; pro takto zvolené směry proudu u tranzistoru platí:  $I_E + I_C + I_B = 0$

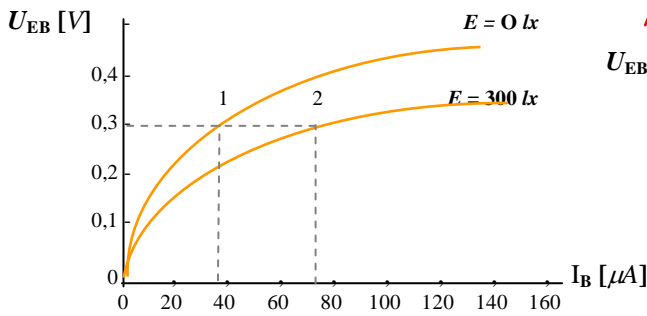


Soustava charakteristik tranzistoru P-N-P v zapojení se společným emitorem

Při běžných provozních podmínkách tranzistorů tekou proudy  $I_C$  a  $I_B$  proti zvolenému kladnému směru, značí se záporně (mínus). Napětí se vztahuje vždy ke dvěma svorkám, šipka napětí ukazuje ke svorce mínus. Symbol napětí  $U$  lze doplnit indexem s písmeny nebo čísly příslušných svorek, mezi kterými se napětí  $U$  vyskytuje. Pořadí znaků indexu se píše od znaku svorky kladné k záporné.

## Fototranzistor

Dopadem fotonů na bázi B tranzistoru P–N–P se při stejném napětí  $U_{EB}$  zvýší proud  $I_B$ , což má za následek i zvýšení proudu  $I_C$  kolektoru C.



Charakteristika přechodu emitor – báze fototranzistoru

V charakteristice fototranzistoru přejde při osvětlení  $E$  křivka 1 přechodu emitor E – báze B do křivky 2.

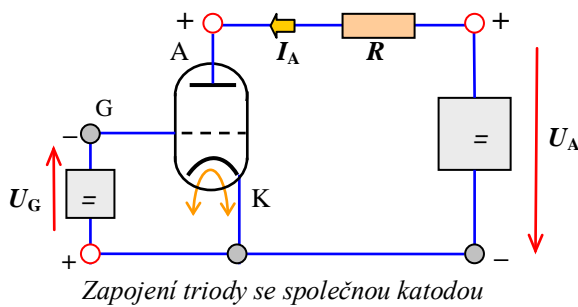
## Trioda

Umístí-li se ve vakuové elektronce mezi katodu K a anodu A ještě třetí elektroda mřížka G, nazývá se tato elektronka triodou. Elektrony, které emituje katoda K, přitahuje anoda A skrz mřížku G ve tvaru spirály.

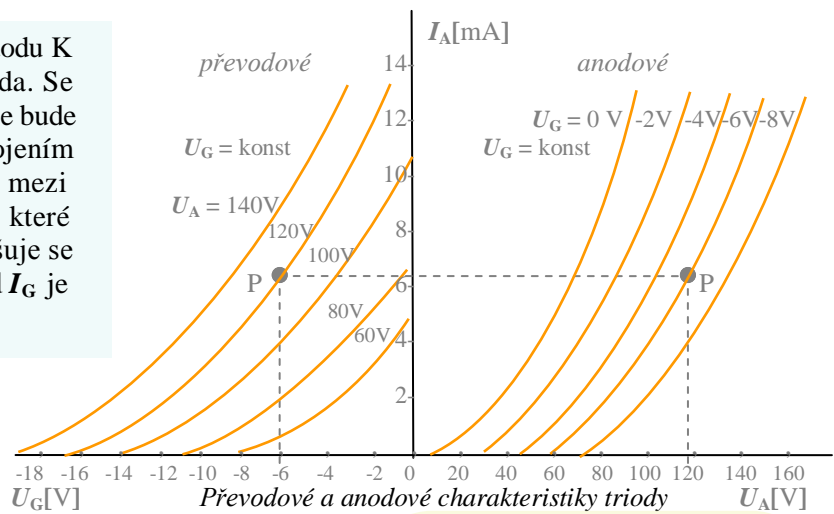
Připojí-li se mezi anodu A a katodu K napětí  $U_A$  chová se trioda jako dioda. Se zvětšováním anodového napětí  $U_A$  se bude anodový proud  $I_A$  zvětšovat. Připojením záporného mřížkového napětí  $U_G$  mezi mřížku G a katodu K se elektrony, které putují k anodě A odpuzují, a zmenšuje se anodový proud  $I_A$ . Mřížkový proud  $I_G$  je při tom nulový.

V obvyklém zapojení se společnou katodou SK bývá napětí  $-U_G$  mřížky záporné. Účinek zde záporně nabitě mřížky lze vyrovnávat zvyšováním anodového napětí  $U_A$ . Poněvadž je anoda A od katody K mnohem více vzdálená než

–li mřížka G, vyrovnává se potom změna mřížkového napětí  $-\Delta U_G$  násobně větší změnou napětí  $+\Delta U_A$  anody. Poměr obou změn napětí  $-\Delta U_G$  a  $\Delta U_A$  se zde nazývá zesilovacím činitelem triody  $\mu$ .



$$\mu = - \frac{\Delta U_A}{\Delta U_G} \quad (I = konst)$$



Převodové a anodové charakteristiky triody

Anodová charakteristika v pravé části zobrazuje závislost proudu  $I_A$  na napětí  $U_A$  při konstantním napětí  $U_G$   
 $I_A = f(U_A)$  při  $U_G = konst$   
 a je zde vynesena pro různá napětí  $U_G$ .

Převodová charakteristika v levé části pak udává závislost proudu  $I_A$  na napětí  $U_G$  při konstantním napětí  $U_A$   
 $I_A = f(U_G)$  při  $U_A = konst$   
 a je vynesena pro různá napětí  $U_A$ . Její sklon určuje strmost  $S$ , která je dána poměrem

$$S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_G} \quad (I = konst)$$

Pracovní body P lze z anodových charakteristik přenášet do převodných charakteristik P' a naopak.

## Zesílení signálu

Klidový pracovní bod P je u zesilovače třídy A nastaven asi doprostřed přímkové části dynamické charakteristiky, tu vytvořené pomocí zatěžovací přímky odpovídající výstupní zatěžovací rezistanci  $R_3$ . Tvar výstupního signálu má tvar vstupního signálu, který zde není zkrusován.

Klidový pracovní bod P je u zesilovače třídy B nastaven tak, že zesiluje pouze jednu půlperiodu vstupního signálu, druhá je potlačena.

Klidový pracovní bod P je u zesilovače třídy C posunut tak, že leží za bodem zániku proudu  $I_C$  kolektoru C, který protéká po dobu kratší, než je polovina zesilovaného kmitu. Zesílený signál je zde značně zkruslen.

## Činitel přenosu

Kladná zpětná vazba se vyjadřuje kladnou hodnotou součinu činitele přenosu  $\beta_{př}$  a zesílení  $A$ , záporná zpětná vazba zápornou hodnotou.

$$\beta_{př} = \frac{I_{zv}}{I_C} \Rightarrow$$

$$\beta_{př} \cdot I_C = I_{zv}$$

Signál na vstupu se zpětnou vazbou je složen podle vztahu

$$I_B + \beta_{př} I_C$$

Po dosažení zesílení  $A$  je:

$$I_C = A (I_B + \beta_{př} \cdot I_C)$$

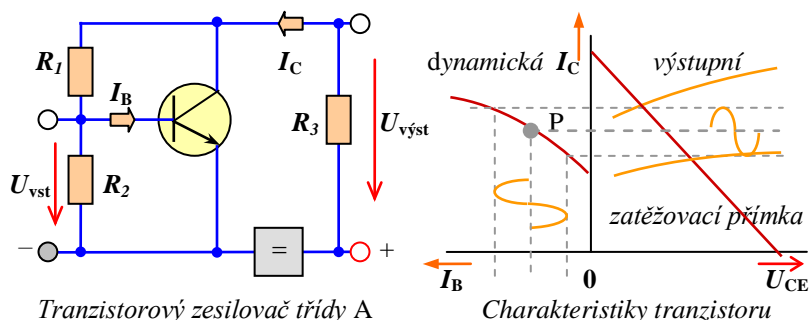
Po úpravě :

$$I_C = I_B \frac{A}{1 - \beta_{př} \cdot A}$$

Součin  $\beta_{př} \cdot A$  může tu mít kladnou nebo také zápornou hodnotu.

## Zesilovač proudu

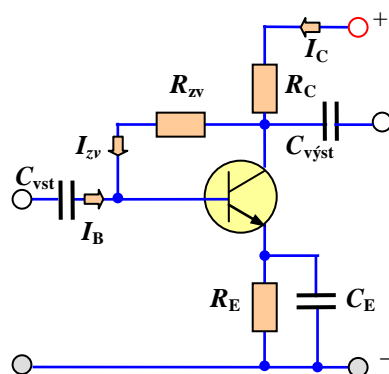
Malým vstupním proudem  $I_B$  báze B tranzistoru v zapojení SE se řídí velký výstupní proud  $I_C$  kolektoru C, čímž se zesiluje i vstupní elektrický signál.



Pracovní bod P tranzistoru se za tímto účelem nastavuje doprostřed dynamické charakteristiky, ve kterém tranzistor pracuje jako zesilovač. Střídavý signál  $U_{vst}$ , který je přiveden na vstup tranzistoru v zapojení SE se sčítá se stejnosměrnou složkou – superponuje s proudem  $I_B$ . Průběh signálu po zesílení závisí na nastavení klidového pracovního bodu P a je fázově posunut o  $180^\circ$ .

## Zpětná vazba

Přivede-li se část zesíleného signálu z výstupu zesilovače zpět na jeho vstup, jedná se o zpětnou vazbu. Může být kladná nebo záporná.



Záporná zpětná vazba tranzistoru NPN v zapojení SE

Kladná zpětná vazba zesílení  $A$  tranzistoru zvětší s větším zkruslením signálu. Naopak záporná zpětná vazba zesílení  $A$  zmenší se zmenšením zkruslení signálu. Vlastnosti zpětné vazby u tranzistorového zesilovače se udávají poměrem zpětnovazebního proudu  $I_{zv}$  a kolektorového proudu  $I_C$  nazvaném činitelem přenosu  $\beta_{př}$ .

Přivedení části zesíleného signálu z výstupu zesilovače zpět na jeho vstup lze provést celou řadou různých způsobů. V zásadě se rozlišuje zpětná vazba prostřednictvím rezistorů R, cívek L a kondenzátorů C.

Podle uplatňování vlivů použitých prvků R,L,C ve zpětné vazbě lze zpětné vazby rozlišovat na:

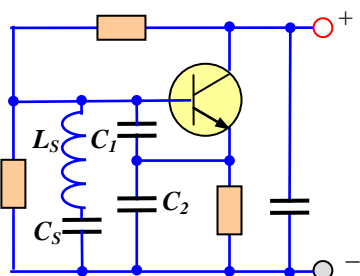
1. Komplexní zpětnou vazbu,
2. Jalovou zpětnou vazbu
3. Reálnou zpětnou vazbu, která může být dále
  - 3a. Kladná (pozitivní),
  - 3b. Záporná (negativní).

Kladná zpětná vazba se vyjadřuje kladnou hodnotou součinu činitele přenosu  $\beta_{př}$  a zesílení  $A$ , záporná zpětná vazba zápornou hodnotou.



## Oscilátor

Kladná zpětná vazba u zesilovače zvyšuje zesílení  $A$ , které může být nekonečné. To znamená, že na výstupu zesilovače jsou střídavé kmity, aniž by byly na vstup do rezonačního obvodu  $LC$  z vnějšího střídavého zdroje přivedeny.

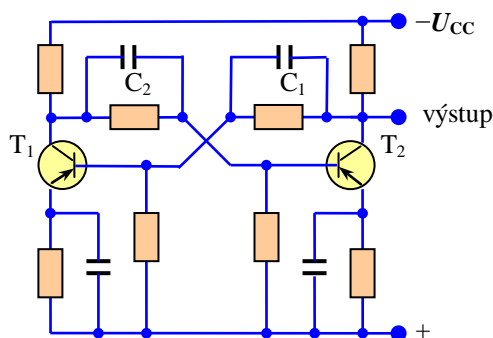


Tranzistorový Gourietův – Clappův oscilátor  $LC$

Oscilátorem se stane zesilovač, který svůj budící signál pro vstup odebírá ze svého výstupu. Při spojení s oscilačním obvodem kryje zesilovač ztráty v obvodu a tlumené kmity mění na netlumené.

Gourietův – Clappův oscilátor  $LC$  vykazuje velmi dobrou stálost kmitočtu  $f$ , který určují sériově zapojená indukčnost  $L_S$  a kapacita  $C_S$  v obvodu se zpětnovazebními kapacitami  $C_1$  a  $C_2$ . Velmi málo se u něj uplatňují změny parametrů tranzistoru a lze zanedbat i vliv nelinearity na posun kmitočtu  $f$ . Z jednoduchých zapojení je tento  $LC$  oscilátor vhodný pro provoz na jednom kmitočtu  $f$ .

Oscilace u zesilovačů se dají docílit i zpětnou  $RC$  vazbou. Potřebný fázový posuv lze dosáhnout kaskádním zapojením několika  $RC$  článků mezi vstup a výstup zesilovače. Kmity se dle průběhu dělí na sinusové a nesinusové obdélníkové nebo pilové. Dvoustupňový tranzistorový zesilovač v zapojení se společným emitorem SE a se silnou kladnou zpětnou vazbou je astabilní multivibrátor.



Astabilní multivibrátor

Předpokladem oscilací je, že kmitočet  $f$  musí být alespoň o řád níže než mezní kmitočet  $f_T$  použitého tranzistoru, a že výkon  $P_1$  potřebný pro buzení tranzistoru je zanedbatelný ve srovnání se spotřebovaným výkonem  $P_2$  v kmitavém obvodu.

Nejstabilnější kmitočet  $f$  má oscilátor řízený krystalem, který se chová obdobně jako rezonanční obvod  $LC$ . Shoduje-li se v obvodu s krystalem přiváděný kmitočet  $f$  s vlastním rezonančním kmitočtem  $f_r$  krystalu, je amplituda mechanických kmitů největší. Deformací vznikají na výbrusu krystalu elektrické náboje  $Q$ , působící zpětně do obvodu a obvod osciluje.

Střídavý proud  $I$  sinusového průběhu vytváří v prostoru kolem vodiče střídavé elektromagnetické pole vlnového průběhu. Ve vakuu se elektromagnetické vlny šíří rychlostí  $c_0 = 3 \cdot 10^8$  m/s světla.

### Podmínky oscilace

Je-li u zesilovače součin  $\beta \cdot A = 1$

kladný, má zesilovač zesílení  $A$  nekonečné, a s obvodem  $LC$  pak tu vytváří oscilátor kmity, které mají průběh blízky sinusovému.

### Rozdělení kmitočtů

Oscilátory jsou generátory kmitů. Kmity lze rozlišit na:

- kyvadlové 1 až 10 Hz
- průmyslové 50 Hz až 1kHz
- zvukové 10 Hz až 20 kHz
- ultrazvuk 20 kHz až 50 kHz
- nízké kmity do 100 kHz
- vysoké kmity od 100 kHz a výše.

Kmity se projevují a šíří vlněním. Každému kmitočtu  $f$  proto přísluší délka  $\lambda$  vlny.

Délka  $\lambda$  elektromagnetické vlny ve volném prostoru je:

$$\lambda = \frac{c_0}{f} \quad [\text{m; m/s, Hz}]$$

Elektromagnetické vlny se dělí podle délky  $\lambda$  vlny na:

milimetrové	1 až 10 mm
dekametrové	10 až 100 m
centimetrové	1 až 10 cm
hektometrové	100 až 1000 m
decimetrové	1 až 10 dm
kilometrové	1 až 10 km
metrové	1 až 10 m
myriametrové	10 až 100 km

V elektrotechnice používané kmitočty  $f$  se dělí podle délky  $\lambda$  vlny na rozsahy:

30 kHz	až	3 kHz
300 kHz	až	30 kHz
3 MHz	až	0,3 MHz
30 MHz	až	3 MHz
300 MHz	až	30 MHz
3 GHz	až	0,3 GHz
30 GHz	až	3 GHz
300 GHz	až	30 GHz

## Závislost indukance vodiče na kmitočtu

Střídavý proud  $i$  je ve vodiči rozložen ve vrstvách a to podle Kirchhoffova zákona v poměru k indukanci  $X_L$ .

$$X_L = \omega \cdot L$$

Velikost povrchového jevu se u střídavého proudu  $I$  určuje hloubkou  $h$  vniku do vodiče. Hloubka  $h$  vniku je vzdálenost od povrchu, ve které hustota  $J$  proudu poklesne působením povrchového jevu na 36,9 % hustoty  $J$  proudu na povrchu vodiče podle vzorce:

$$h = 503,3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}$$

[ mm;  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ , -, Hz]

Pro měděný vodič vychází zjednodušený tvar

$$h = 66,2 \frac{1}{\sqrt{f}} \quad [\text{mm}; \text{Hz}]$$

Význam povrchového jevu se také uplatňuje u střídavého proudu  $I$  při přenosu velkých výkonů  $P$  běžného kmitočtu 50 Hz, a u vysokých kmitočtů. U nejvyšších kmitočtů proniká střídavý proud  $I$  maximálně do hloubky  $3h$ . Od povrchu do středu vodiče má pak rozložení vniku střídavého proudu  $I$  ve vodiči exponenciální průběh.

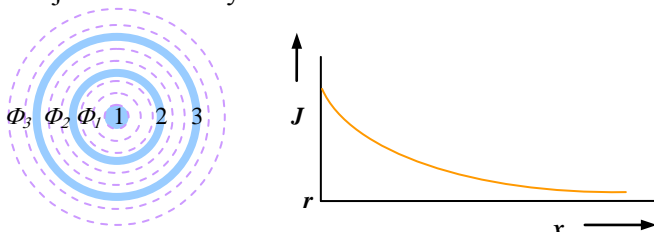
## Frekvenční propusti a zádrže

Bývají tvořeny kombinací indukčnosti  $L$  a kapacity  $C$  za účelem hranice k propouštění požadované frekvence  $f$ , nebo vytvoření jejího útlumu během přenosu, a to vysokofrekvenční energie  $W_{vf}$  po vedení, nebo i mezi zesilovacími stupni a pod..

## Povrchový jev (skinefekt)

Magnetické pole přímého vodiče, kterým protéká elektrický proud  $I$  je rozloženo jednak vně vodiče a jednak uvnitř. Plochu  $S$  průřezu vodiče lze rozložit do několika soustředěných vrstev  $S_{1..n}$  paralelně připojených na společný zdroj střídavého napětí  $U$ .

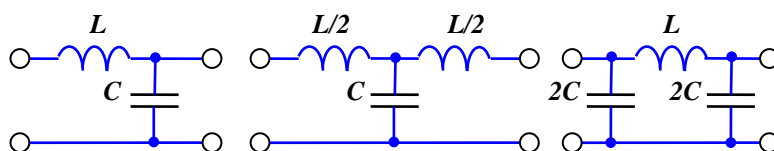
Proud  $I_1$  ve vnitřní vrstvě je menší a proud  $I_n$  ve vnější vrstvě větší. Uvnitř vodiče nerovnoměrně obíhají mezi vrstvami a kolem vnější vrstvy magnetické toky  $\Phi_{1..n}$ . Magnetické toky  $\Phi_n$  vzniklé proudy  $I_n$  vnějších vrstev protínají vnitřní vrstvy směrem do středu.



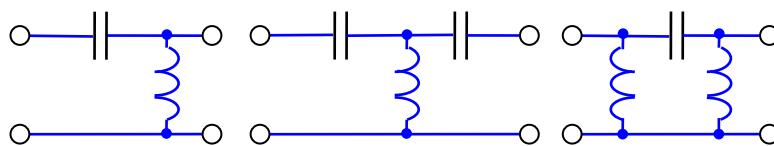
Rozložení magnetického pole ve vodiči    Rozložení hustoty proudu od povrchu

Vlastní indukčnost  $L_1$  vodiče je proto ve vnitřní vrstvě větší než vlastní indukčnost  $L_n$  ve vnější vrstvě. Tomu odpovídá i větší kmitočtově závislá indukance  $X_{L1}$  ve vnitřní vrstvě než vnější  $X_{Ln}$ .

## Frekvenční propusti



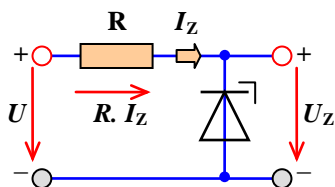
Dolnofrekvenční propust typu L, T a  $\pi$



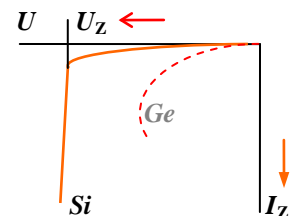
Hornofrekvenční propust typu L, T a  $\pi$

## Zenerova dioda

V závěrném směru Zenerovy diody je do dosažení Zenerova napětí  $U_Z$  závěrný proud  $I_Z$  téměř neměřitelný ( $10^{-8}$  až  $10^{-9}\text{A}$ ) a rezistance  $R$  téměř nekonečná. Dosáhne-li u křemíkové diody v závěrném směru napětí  $U_Z$  určité hranice, čili Zenerova napětí, nastává lavinovitý vzrůst zpětného proudu  $I_Z$  omezený pouze rezistancí  $R$ .



Zapojení Zenerovy diody



Závěrná charakteristika diody

Pokud se nepřekročí dovolené zatížení zpětným proudem  $I_Z$ , nedojde u Zenerovy diody k porušení diody; charakteristika je vratná. Zenerovy diody jsou křemíkové diody s technologicky zpracovaným poměrným množstvím aktivujících prvků a vyrábí se s napětím  $U_Z$  od 3V do několika set voltů a slouží ke stabilizaci napětí  $U$ .