

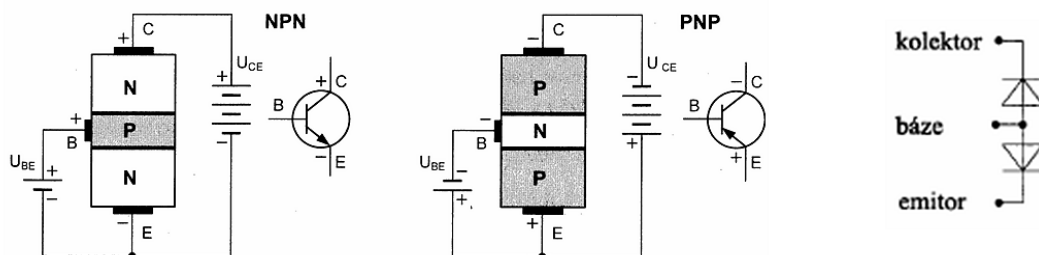
## 7.11 Tranzistory

Tranzistor je základním stavebním prvkem v elektronice. Má schopnost zesilovat napětí, nebo proud, nebo obojí současně. Používá se nejen jako **diskrétní součástka** (každý tranzistor v samostatném pouzdrě), ale také v **integrováných obvodech**. Název vyplývá ze slovního spojení **TRANS**fer re**REZISTOR**, které mu dali v roce 1947 při jeho objevení. Důvodem byla změna jeho odporu mezi dvěma svorkami řízená velikostí proudu v řídicím obvodu do třetí elektrody. V průběhu let byly vyvinuty různé typy tranzistorů. Podle použitého principu je lze rozdělit do dvou základních skupin – na bipolární tranzistory a na tranzistory řízené polem

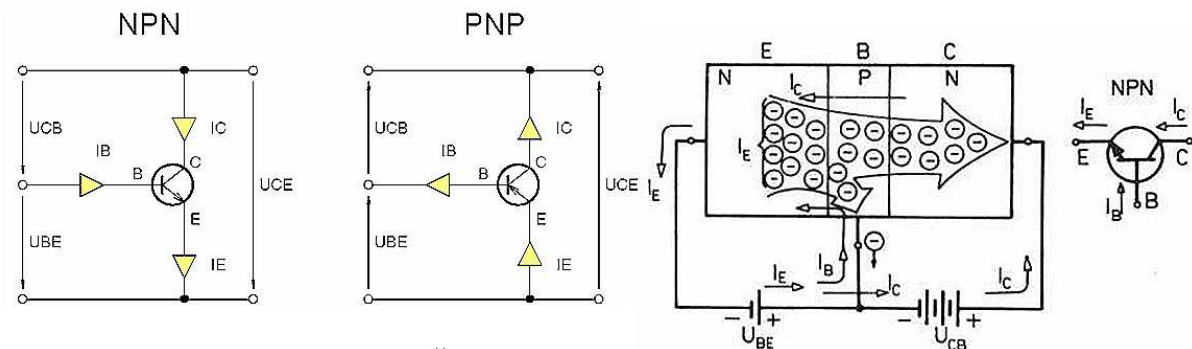
### Bipolární tranzistory

Bipolární tranzistor je třívrstvá polovodičová součástka, obsahuje dva PN přechody, jeho vývody se nazývají báze (B), kolektor (C) a emitor (E). Podle vnitřní struktury dělíme tranzistory na NPN a PNP. Oba typy pracují na stejném principu činnosti, ale s opačnou polaritou napájecího napětí.

NPN má na kolektoru vždy kladné napětí PNP má na kolektoru vždy záporné napětí



Tranzistor si můžeme představit jako spojení dvou polovodičových diod, z nichž jednu tvoří kolektor-báze a druhou emitor-báze.

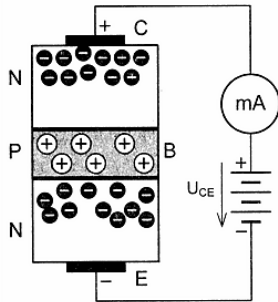


#### Princip činnosti tranzistoru (např. NPN).

Na **emitor** je přivedeno **záporné napětí**, na **kolektor kladné**.  $U_{BE}$  je zpravidla menší než  $U_{CE}$ . Přechod báze-emitor je v podstatě dioda zapojená v propustném směru, přechod kolektor-báze je zapojen v závěrném směru. Teče-li proud obvodem báze-emitor, dostávají se elektrony z oblasti emitoru (polovodič N) do oblasti báze. Protože na kolektoru je větší napětí než na bázi a oblast báze (polovodič P) je velmi tenká, většina elektronů je stržena do oblasti kolektoru.

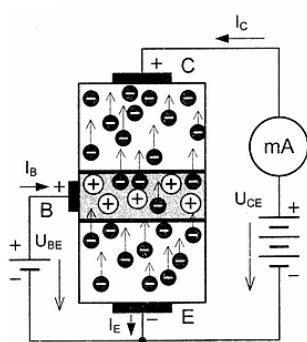
Z toho vyplývá, že **protéká-li proud obvodem báze-emitor ( $I_B$ )**, začne **protékat proud i mezi kolektorem a emitorem ( $I_C$ )** přes přechod kolektor - báze, který je v závěrném směru. **Proud kolektoru je závislý na proudu báze**. U moderních tranzistorů, které mají velmi tenkou oblast báze, platí, že  **$I_C$  je mnohem větší než  $I_B$** , protože většina elektronů se z emitoru nedostane do báze, ale do kolektoru. Lze zjednodušeně říci, že tranzistor působí jako zesilovač proudu - malému řídicímu proudu ( $I_B$ ) odpovídá velký proud řízený ( $I_C$ ).

Aby tranzistor takto fungoval, musí platit několik konstrukčních pravidel. Oblast báze musí být velmi tenká (cca 0,01mm), tj. oba přechody tranzistoru (báze-emitor a báze-kolektor) musí být velmi blízko sebe. Při větší vzdálenosti se přechody chovají jako a samostatné diody. Aby bylo zesílení co největší, má přechod báze-kolektor větší plochu než přechod báze-emitor. Polovodič  $N^{++}$  v oblasti emitoru má také mnohem více příměsí (více dotován) než polovodič N v kolektoru. Proto nejsou vývody kolektoru a emitoru vzájemně záměrné. Prohodíme-li kolektor a emitor, tranzistor bude sice zesilovat, avšak zesílení bude velmi malé.



Připojíme k tranzistoru ss napětí  $U_{CE}$

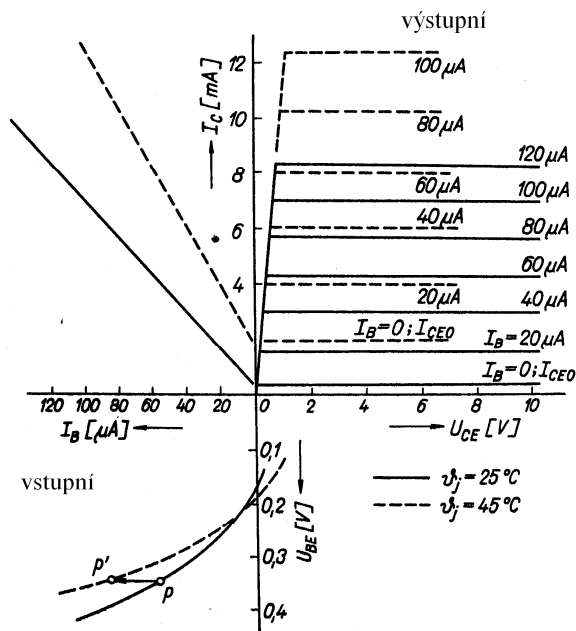
- Tranzistor je **zavřený**
- Emitorový přechod (mezi B a E) – propustný směr, ale kolektorový přechod (mezi B a C) – nepropustný směr  $\Rightarrow$  proud obvodem nemůže protékat!



Mezi bázi a emitor připojíme další ss napětí  $U_{BE}$ :

- Tranzistor je **otevřený**
- Protože je emitorový přechod v propustném stavu, pak účinkem  $U_{BE}$  začnou volné elektrony proudit z emitoru do báze.
- Ve skutečnosti je báze velmi tenká (cca 0,01mm), a tak většina elektronů (cca 97%) setrvačností pronikne až ke kolektorovému přechodu kde jsou přitahovány kladným pólem kolektoru.

Vlastnosti tranzistoru můžeme znázornit graficky pomocí VA charakteristiky tranzistoru.



Vliv teploty na stejnosměrné charakteristiky (zjednodušené průběhy)

Křivky se sbíhají na tzv. **mezní přímce**. Při úplném otevření tranzistoru ( $U_{BE} = 0,7V$  a  $U_{CE}$  se blíží nule) tranzistor již nemůže zesilovat proud, dojde ke změně polarizace přechodu B-C ze

V prvním kvadrantu je **výstupní charakteristika**  $I_C = f(U_{CE})$ , ve třetím kvadrantu **vstupní charakteristika** - závislost  $I_B$  a  $U_{BE}$ .

Vstupní charakteristika tranzistoru je podobná VA charakteristice diody. U **křemíkového tranzistoru je typická hodnota napětí  $U_{BE} = 0,6 V$** . Tranzistor se nachází v normálním aktivním režimu. Tranzistor v tomto režimu pracuje jako zesilovač. Platí:  $I_C = h_{21} \cdot I_B$ . Je-li tranzistor otevřen, musíme na něm vždy tuto hodnotu naměřit. Při nižších hodnotách  $U_{BE}$  musí být uzavřen (obvodem kolektor - emitor neprotéká proud).

Výstupní charakteristika je popsána soustavou křivek, kde parametrem je proud báze. Je z ní vidět, že proud kolektoru je převážně závislý na proudu báze. Všechny

závěrného do propustného směru a tranzistor se chová jako kdyby mezi kolektorem a emitorem byl velmi malý odpor. Říkáme, že tranzistor je ve stavu **saturation** - nasycení. Typická hodnota **saturačního napětí**  $U_{CE}$  je u moderních tranzistorů malého výkonu (do 1 W) asi **0,2 V**. U výkonových tranzistorů bývá **1 až 2 V**.

**Při saturaci se tranzistor chová jako sepnutý spínač**, na kterém je malý úbytek napětí. Dochází k ní při dostatečně velkém proudu báze, kdy již není možné aby platilo:  $I_C = h_{21} \cdot I_B$ . Proud kolektoru je pak omezen hodnotami dalších součástí (kolektorový odpor  $R_z$ ). Pokud je na **bázi tranzistoru napětí menší než 0,6 V**, potom  $I_B \cong 0$ . Obvodem kolektor-emitor teče pouze **zbytkový proud** (řádově 1  $\mu A$ ), tranzistor se chová jako **rozepnutý spínač**.

### Proudový zesilovací činitel $h_{21E}$

Je základním parametrem, který charakterizuje vlastnosti tranzistoru. Vyjadřuje proudové zesílení tranzistoru, tj. kolikrát větší proud protéká kolektorem než bází. Lze ho vypočítat pomocí vztahu  $h_{21} = I_C / I_B$ . Je to bezrozměrné číslo, jeho velikost závisí na typu tranzistoru a pohybuje se mezi 100 až 900. V katalogu součástek bývá uvedeno pro konkrétní typ rozmezí (např. 50 až 250). U výkonových tranzistorů bývá zesílení menší (10 - 100). Skutečnou hodnotu zjistíme měřením. Běžné digitální multimetry bývají opatřeny speciálními svorkami (soklem) pro zasunutí měřeného tranzistoru a měří pouze statické (stejnoseměrné) zesílení. U specializovaných měřících přístrojů můžeme nezávisle nastavit stejnosměrné napětí  $U_{CE}$  i proud  $I_B$  a vlastní měření  $h_{21e}$  probíhá dynamicky, tj. střídavým napětím.

### Mezní hodnoty tranzistoru

Aby při činnosti nedošlo k přetížení tranzistoru, a tím ke zkrácení doby jeho života nebo k jeho zničení, nesmí být překročeny určité tzv. mezní hodnoty, které pro jednotlivé typy tranzistorů udává výrobce v katalogu. Protože nepříznivý vliv má na činnost tranzistoru také vyšší teplota, uvádějí se mezní hodnoty při určité teplotě tranzistoru.

K přetížení by mohlo dojít těmito vlivy

- velké napětí mezi elektrodami
- velkým procházejícím proudem
- vysokou teplotou přechodu.

Překročení přípustného napětí mezi elektrodami by mohlo způsobit napěťový průraz přechodu PN. Překročení mezní hodnoty procházejícího mezního proudu má za následek zpravidla přerušování přívodu k elektrodám tranzistoru. Příliš vysoká teplota přechodu může způsobit nevratné změny ve struktuře polovodičového krystalu. Oteplování tranzistoru je způsobeno ztrátovým výkonem, který se mění v tranzistoru na teplo. Největší část z celkového tepla vzniká v přechodu báze-kolektor a z kolektoru je odváděno vyzářením do okolí různými druhy chladičů.

U tranzistoru tedy potřebujeme znát maximální napětí kolektor-emitor  $U_{CEmax}$ , maximální kolektorový proud  $I_{Cmax}$ , maximální kolektorový ztrátový výkon  $P_{C tot}$ .

Platí, že  $P_C = U_{CE} \times I_C$

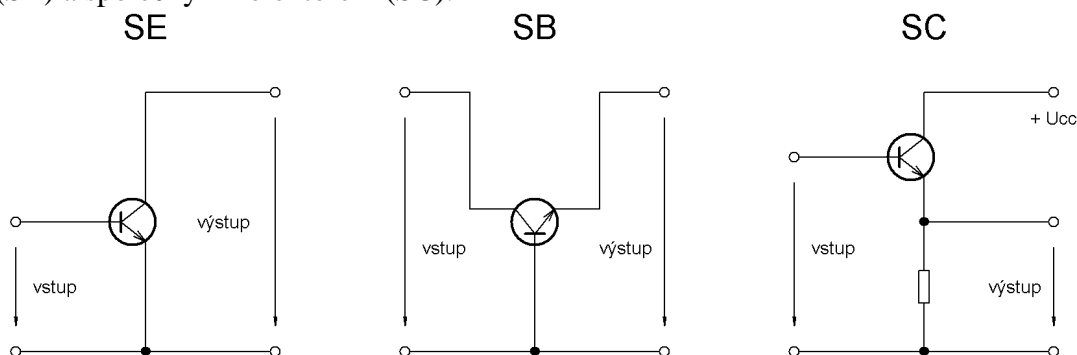
Dále nesmíme překročit maximální proud báze  $I_{B max}$ , což v případě potřeby zajišťujeme ochranným rezistorem v sérii se vstupem (bází nebo emitorem). Pro tranzistory malého výkonu to bývá zpravidla 5-20mA.

Jelikož je přechod B-E navržen s ohledem na dosažení vysoké hodnoty proudového zesílení  $h_{21E}$ , nesmíme na bázi přivést záporné napětí (proti emitoru) větší než 5V (typická hodnota), aby nedošlo k průrazu přechodu B-E.

U tranzistoru dále musíme sledovat tzv. mezní kmitočet. Proudové nosiče s rostoucím kmitočtem totiž nestačí sledovat změny na vstupních svorkách. To se projevuje zmenšováním změny výstupního proudu, tranzistor se chová, jakoby ztrácel schopnost zesilovat. Proto udáváme např. mezní kmitočet  $f_{max}$ , při němž je výkonové zesílení tranzistoru rovno 1.

## Způsoby zapojení tranzistoru

Protože tranzistor má pouze tři vývody, je jeden z nich využíván společně pro vstup i výstup a hovoříme o třech základních zapojeních. Se společným emitorem (SE), společnou bází (SB) a společným kolektorem (SC).



Nejčastěji se využívá zapojení se společným emitorem, které má velké proudové, napěťové i výkonové zesílení. Zapojení se společným kolektorem nalezneme u zesilovačů, kde je požadován nízký výstupní odpor. Zapojení se společnou bází se pro svůj malý vstupní odpor používalo ve vstupních obvodech vysokofrekvenčních zesilovačů z důvodu dobrého přizpůsobení impedanci kabelů a antén (50 až 300 $\Omega$ ).

Přehled vlastností jednotlivých zapojení			
veličina	SE	SB	SC
vstupní odpor ( $R_{vst}$ )	malý až střední	malý	velmi malý
výstupní odpor ( $R_{výst}$ )	velký	velmi velký	malý
napěťové zesílení	velký	velké	menší než 1
proudové zesílení	velký	menší než 1	velké
výkonové zesílení	velké	malé až střední	malé až střední

## Použití tranzistoru

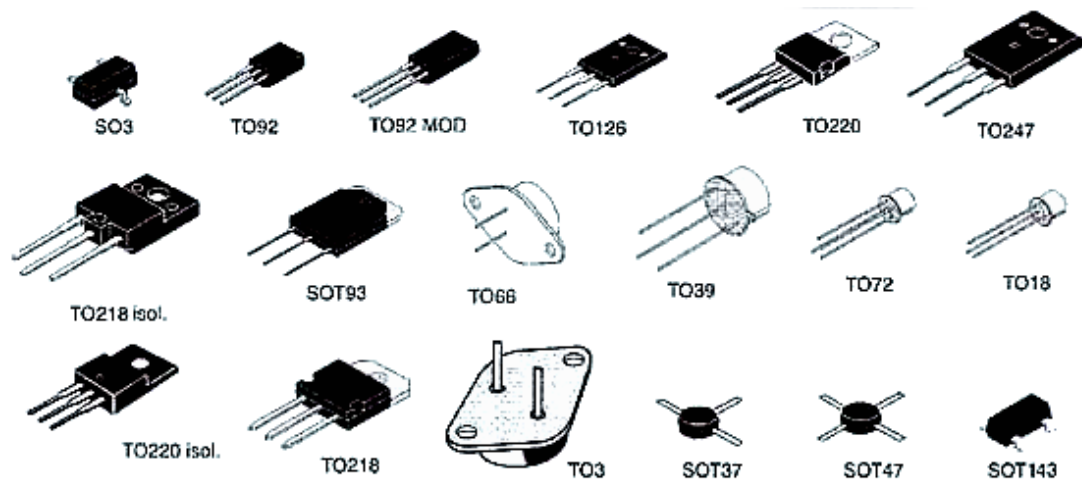
Jako zesilovač signálu - na bázi se přivádí malý řídicí proud, kterým se ovládá velký proud v kolektorovém obvodu.

Jako spínač - neprochází-li proud bází, je tranzistor zavřený a funguje jako rozepnutý spínač. Při průchodu určitého proudu bází se tranzistor otevírá a funguje jako sepnutý spínač.

Tranzistor se dá využít také v aktivních filtrech, stabilizátorech, logických obvodech a dalších.

## Zapouzdření tranzistorů

Vlastní polovodičový systém tranzistoru má nepatrná rozměry a nachází se v různých pouzdrech. Pouzdra se liší tvarem a materiálem. Vyrábějí se z kovu nebo plastu. Kovová pouzdra (např. TO3) jsou dražší, zato lépe odvádějí ztrátové teplo z tranzistorového systému a jsou tedy vhodná pro tranzistory většího výkonu. Setkáváme se také s kombinací kovu a plastu (např. TO220). Potom z plastového pouzdra vystupuje kovová destička, určená k upevnění na chladič. Jejím prostřednictvím se ztrátové teplo odvádí z tranzistoru. Výrobci se většinou v tvaru a velikosti pouzder neliší a proto pouzdra nesou mezinárodně používané kódové označení.



### Označování polovodičů

K dispozici je velký výběr druhů a typů polovodičů, které jsou vyráběny ve světě celou řadou výrobců. K nejznámějším patří Texas Instruments, Siemens, Philips, Toshiba a další. Ne všichni výrobci však používají důsledně stejné kódování. Dále se budeme zabývat pouze evropským způsobem kódování. To dělí kódování všech polovodičů do dvou skupin.

- polovodiče pro průmyslové použití se označují třemi písmeny a dvěma číslicemi
- polovodiče používané v komerční elektronice (spotřební) se označují dvěma písmeny a třemi číslicemi

Za číselným znakem obvykle následuje další písmeno pro bližší specifikaci (velikost  $h_{21}$ ,  $U_{CEmax}$  apd.).

#### **Kódové značení tranzistorů**

První písmeno (v obou jmenovaných skupinách)

- A – germaniové tranzistory
- B – křemíkové tranzistory

Druhé písmeno (v obou jmenovaných skupinách)

- C – nízkofrekvenční tranzistory
- D – nízkofrekvenční výkonové tranzistory
- F – vysokofrekvenční tranzistory
- L – vysokofrekvenční výkonové tranzistory
- S – spínací tranzistory
- U – spínací výkonové tranzistory

Třetí písmeno (ve druhé skupině)

- X, Y, Z - zpravidla výrobce sděluje jiné informace

Číselný údaj za písemným znakem

Obsahuje rozlišení ve stejných skupinách týkající se druhu pouzdra, vodivosti NPN/PNP, bipolární / unipolární, velikosti napětí, proudu, mezní kmitočet atd.

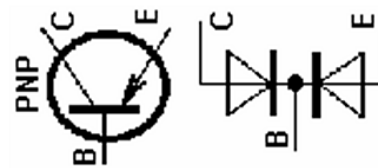
Pro tranzistory mimoevropských výrobců je nutno pro vyhledání potřebných údajů použít katalog.

### Měření tranzistorů

Potřebujeme-li změřit tranzistor, můžeme použít speciální měřicí přístroje jako jsou např. měřič tranzistorů (BM529).

Pro orientační kontrolu funkčnosti tranzistoru nám však postačí ohmmetr popř. multimetr, který je vybaven testem diod. Z vnitřního zapojení je vidět, že lze tranzistor proměřit jako dvě diody: B-E a B-C. Měříme jak propustný, tak i závěrný směr.

## Vnitřní zapojení tranzistorů



Měřením kolektor, bázi, emitor. Je však nutno dát pozor a nezaměnit kolektor s emitorem. Má-li tranzistor kovové pouzdro, je toto pouzdro většinou spojeno s kolektorem. Měření testem diod nelze však použít u tranzistoru typu darlington.

Některé multimetry jsou vybaveny soklem pro měření tranzistorů. Na těchto přístrojích lze orientačně změřit parametr  $h_{21E}$ .

Zdroj: Dílenská příručka – Elektronika I

Internet - [http://elnika.sweb.cz/mer\\_sou/str12.html](http://elnika.sweb.cz/mer_sou/str12.html)