

Bipolární tranzistor - VA-charakteristiky

- Úkol:**
1. Pro zapojení se společným emitorem změřte výstupní charakteristiku $I_C = f(U_{CE})$ / při $I_B = \text{konst.}$ (5 křivky)
 2. Změřte vstupní charakteristiku $I_B = f(U_{BE})$ / při $U_{CE} = \text{konst.}$ (2 křivky)
 3. Změřte převodní charakteristiku $I_C = f(I_B)$ / při $U_{CE} = \text{konst.}$ (2 křivky)
 4. Do grafu vynesete změřené charakteristiky a sestrojíte převodní charakteristiku z výstupních a porovnáte se změřenou charakteristikou.
 5. Určete h-parametry v pracovním bodě.

1.1 Pokyny pro měření

1. Výstupní charakteristika

Pro daný tranzistor nastavte postupně proud báze

$$I_B = 10; 20; 30; 40; 50 \mu\text{A}.$$

Pro každou hodnotu I_B změřte závislost

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

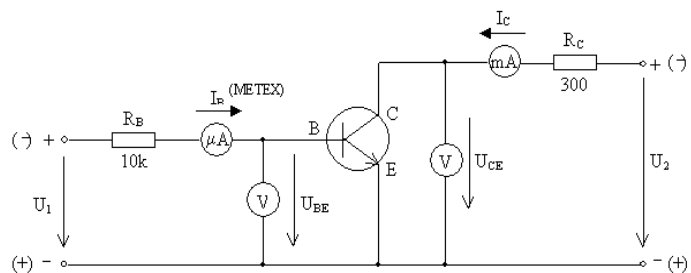
pro $I_{C\text{max}} = \text{cca } 10\text{mA}$, to bude při $U_{CE} = 5 \div 6\text{V}$

Pozn. V případě, že I_C při zadaných hodnotách I_B je $I_C > 20\text{mA}$, volte nižší hodnoty I_B , např. 5, 10, 15, 20, 25 μA .

2. Vstupní charakteristika

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

Pro $U_{CE} = 3$ a 5V nastavujte napětí U_{BE} tak, aby odpovídající proudy báze byly opět 10; 20; 30; 40; 50 μA .



Obrázek 25: Zapojení pro měření

3. Převodní charakteristika

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

Pro zvolené hodnoty U_{CE} (3 a 5V) zjistěte zadanou závislost.

4. Zvolte vhodná měřítka a charakteristiky zakreslete do zadaného souřadného systému.

Z naměřených závislostí vyjádřete hybridní parametry náhradního lineárního obvodu pro pracovní bod $P (U_{CE} = 5\text{V}, I_B = 30\mu\text{A})$.

Vstupní odpor $[\Omega]$

$$h_{11e} = \left[\frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \right]_{U_{CE} = \text{konst.}}$$

Proudový zesilovací činitel (β)

$$h_{21e} = \left[\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right]_{U_{CE} = \text{konst.}}$$

Zpětný napěťový přenos

$$h_{12e} = \left[\frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \right]_{I_B = \text{konst.}}$$

Výstupní vodivost [S]

$$h_{22e} = \left[\frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \right]_{I_B = \text{konst.}}$$

1.2 Měření a jeho vyhodnocení

Výstupní charakteristika $I_C = f(U_{CE}) / \text{při } I_B = \text{konst.}$

$I_B =$

$U_{CE} [V]$										
$I_C [mA]$										

 $I_B =$

$U_{CE} [V]$										
$I_C [mA]$										

 $I_B =$

$U_{CE} [V]$										
$I_C [mA]$										

 $I_B =$

$U_{CE} [V]$										
$I_C [mA]$										

 $I_B =$

$U_{CE} [V]$										
$I_C [mA]$										

Vstupní charakteristika $I_B = f(U_{BE}) /$ při $U_{CE} = \text{konst.}$

 $U_{CE} =$

$U_{BE} [V]$										
$I_B [mA]$										

 $U_{CE} =$

$U_{BE} [V]$										
$I_B [mA]$										

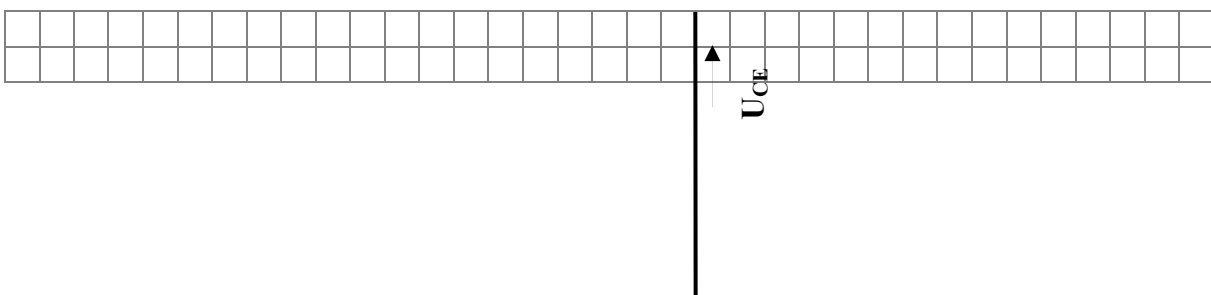
Převodní charakteristika $I_C = f(I_B) /$ při $U_{CE} = \text{konst.}$

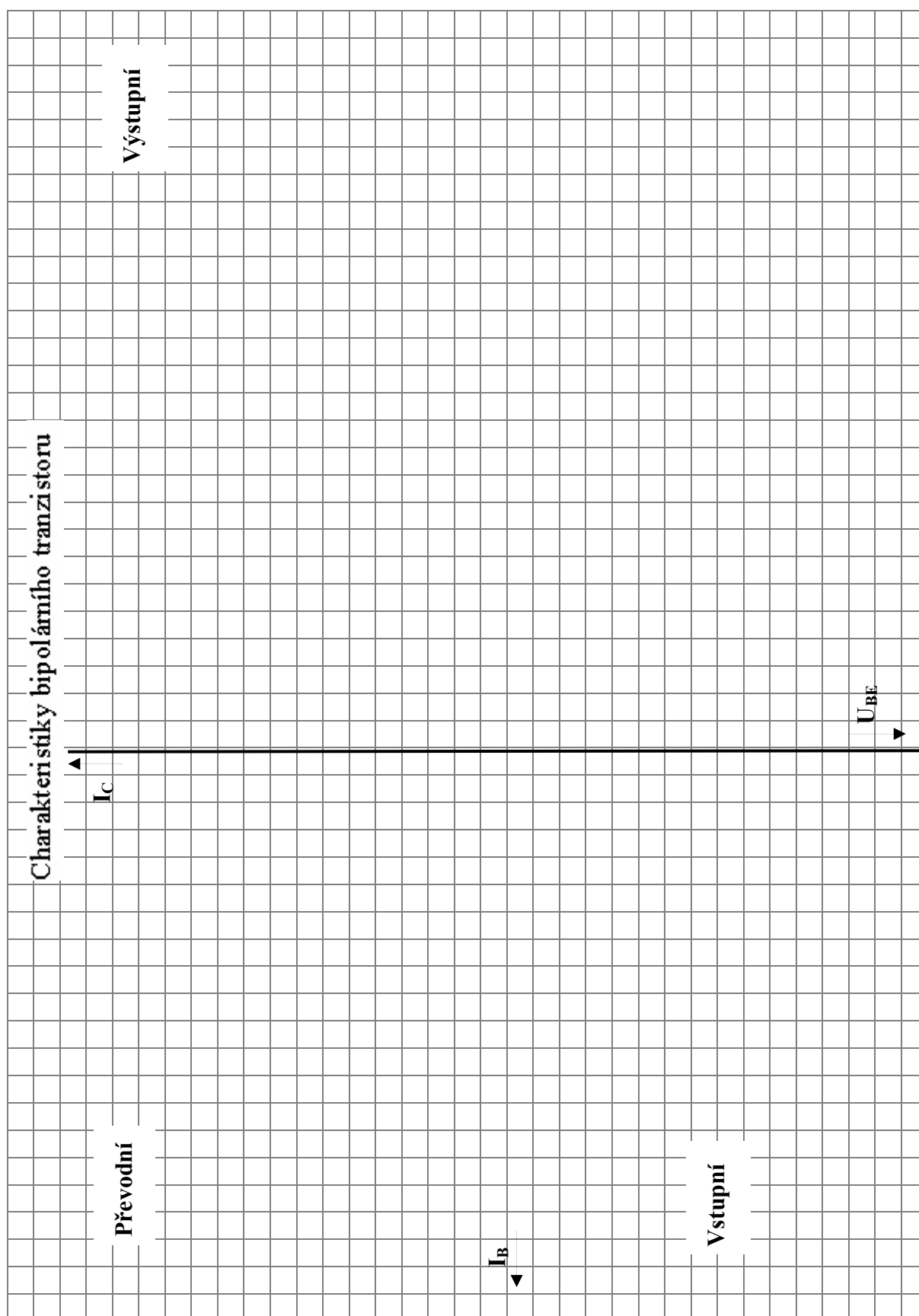
 $U_{CE} =$

$I_B [V]$										
$I_C [mA]$										

 $U_{CE} =$

$I_B [V]$										
$I_C [mA]$										

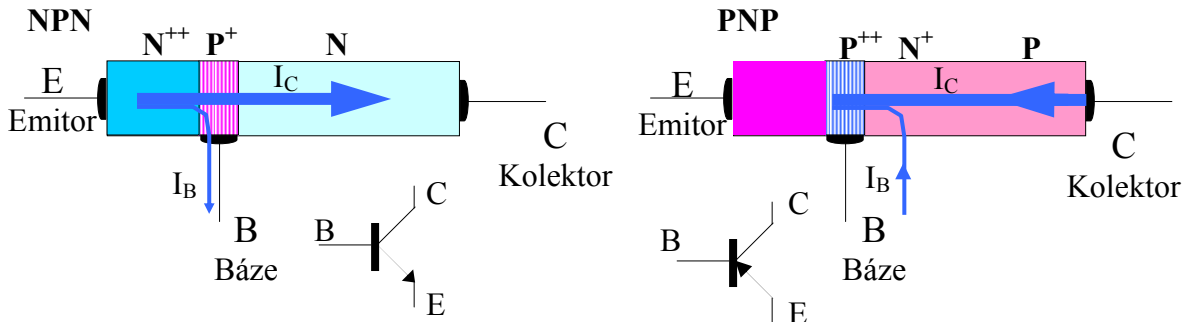




1.3 Teoretické poznámky

1.3.1 Bipolární tranzistor

Bipolární tranzistor se skládá alespoň ze tří různě dotovaných oblastí tvořících dva přechody PN v těsném uspořádání. Principiální uspořádání tranzistoru NPN a PNP je na obr.V-2. Názvy emitoru a kolektoru respektují skutečnost, že silně dotovaný emitor N^{++} (event. P^{++}) emituje elektrony (event. díry) do úzké báze P^+ (event. N^+), kterou většina z nich projde a je přitahována kolektorem N (event. P). Množství prošlých částic z emitoru do kolektoru lze přitom ovládat velikostí proudu báze. Elektrické parametry jsou závislé na stupni dotace a rozměrech jednotlivých oblastí. Emitor je tedy dotován nejvíce, kolektor nejméně.



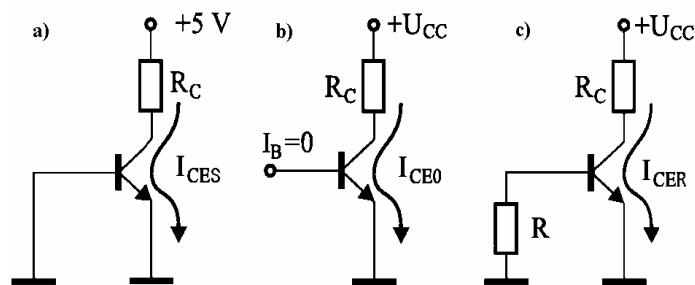
Obrázek 26: Rozdělení proudů v bipolárním tranzistoru

1.3.2 Princip činnosti

Bipolární tranzistor se skládá ze dvou P-N přechodů (báze-emitor BE a báze-kolektor BC), které lze polarizovat čtyřmi možnými způsoby. Odtud pak vyplývají čtyři možné režimy činnosti. Podle polarizace přechodů P-N tranzistoru NPN je jejich přehled možných pracovních režimů uveden v následující tabulce ve výstupní VA-charakteristice na obr.V-4.

Polarizace přechodu BE	Polarizace přechodu BC	Režim
$U_B < U_{Te}$	$U_{BC} \leq 0$	Závěrný - Nevodivý
$U_{BE} \geq U_{Te}$	$U_{BC} < 0$	Normální aktivní
$U_{BE} < 0$	$U_{BC} \geq U_{Tc}$	Inverzní aktivní
$U_{BE} > U_{Te}$	$U_{BC} > 0$	Saturace

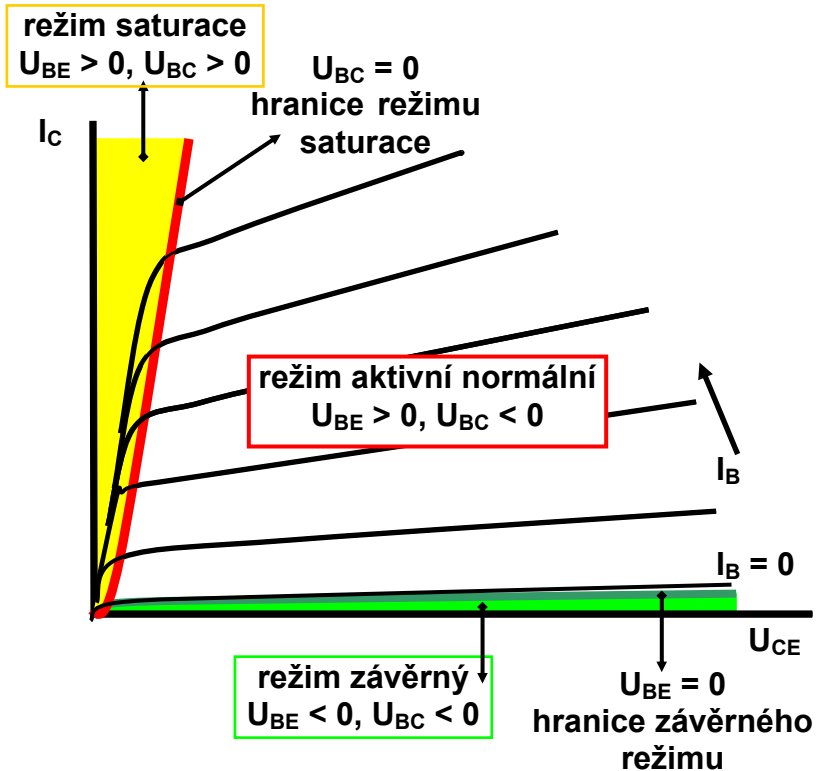
(U_{Te} je prahové napětí emitorového a U_{Tc} kolektorového přechodu).



Obrázek 27: Nevodivý režim tranzistoru

V nevodivém režimu (obr. 27, zapojení SE) představuje přechod B-E energetickou bariéru bránící průchodu elektronů z emitoru do báze a děr z báze do emitoru. Do kolektoru mohou být elektrickým polem závěrně polarizovaného přechodu B-C extrahovány jen minoritní elektrony z úzké báze, kterých je ale málo.

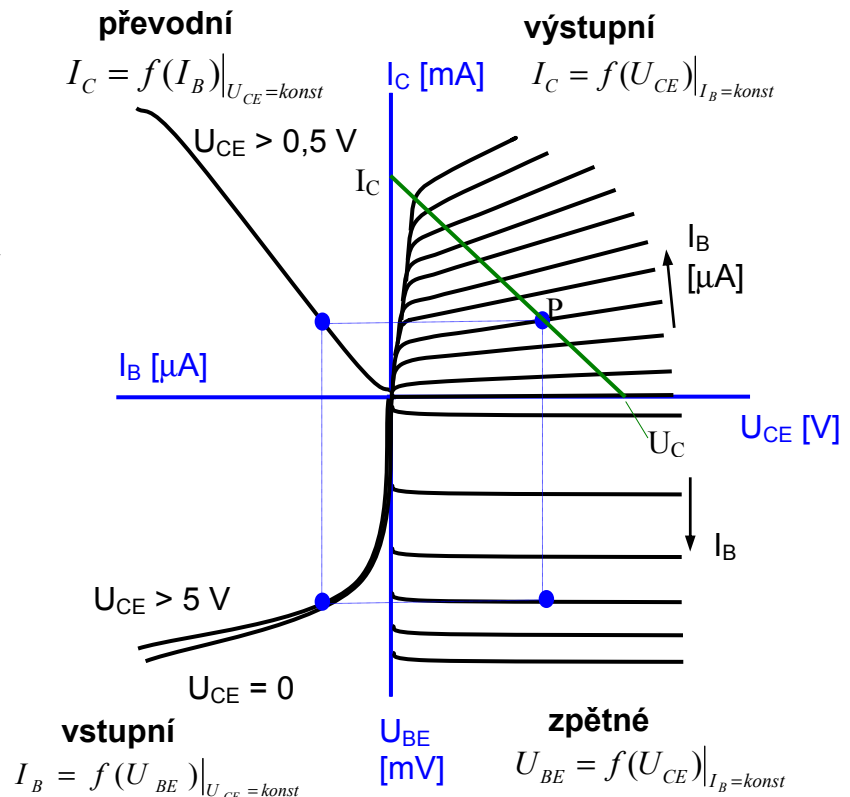
V zapojení na obr. 27a,b,c je výsledkem tohoto stavu průtok malého, tzv. zbytkového proudu. Pro zapojení *a*) je tento proud označen I_{CES} , kde *S* značí zkrat (*Short*) báze na zem. Zbytkový proud je z uvedených zapojení nejmenší. V případě *b*) je celý proud I_{CB0} přechodu B-C zesilován na přechodu B-E a I_{CEO} je tak ze všech případů největší. V zapojení *c*) je zbytkový proud I_{CER} ve srovnání s *b*) menší, protože je část proudu I_{CB0} odvedena rezistorem *R*. Výrazného snížení zbytkového proudu lze dosáhnout zapojením zdroje napětí do báze (namísto rezistoru *R*) tak, že závěrně polarizuje přechod B-E. Pro daný tranzistor tedy závisí hodnota zbytkového proudu na způsobu jeho zapojení do obvodu. Jednotlivé pracovní oblasti jsou vyznačeny na obr. 28 ve VA-charakteristikách.



Obrázek 28: Pracovní režimy tranzistoru

Charakteristiky

Typické charakteristiky bipolárního tranzistoru pro tranzistor NPN v zapojení SE

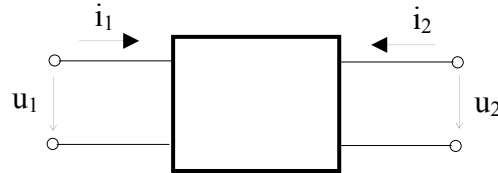


Obrázek 29: Sít' charakteristik

1.3.3 Popis bipolárního tranzistoru rovnicemi dvojbranu

Bipolární tranzistor jako zesilovač je do obvodu připojen prostřednictvím dvou párů svorek – vstupních a výstupních. Jedna svorka je vždy společná vstupu i výstupu. Podle elektrody, která je společná jsou rozlišena tři zapojení tranzistoru - se společnou bází (**SB**), se společným kolektorem (**SC**) a se společným emitorem (**SE**). Z tohoto hlediska je možné jej, posuzovat jako dvojbran, který lze popsat čtyřmi soustavami rovnic sestavených ze dvou párů veličin, popisujících vstupní a výstupní svorky dvojbranu - u_1, i_1 a u_2, i_2 (obr.30). Jsou to tzv. rovnice kaskádní, impedanční, admitanční a hybridní. Konkrétní soustava rovnic pro popis tranzistoru se vždy volí podle konkrétních požadavků, zapojení a typu tranzistoru. Pro zapojení se společným emitorem se užívá popisu rovnicemi hybridními:

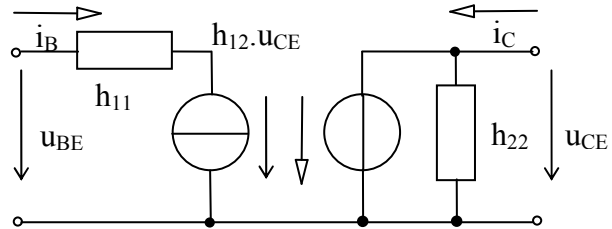
$$\begin{aligned} u_1 &= h_{11}i_1 + h_{12}u_2 \\ i_2 &= h_{21}i_1 + h_{22}u_2 \end{aligned}$$



Obrázek 30: Obecný dvojbran

$$\begin{aligned} u_{BE} &= h_{11e} \cdot i_B + h_{12e} \cdot u_{CE} \\ i_C &= h_{21e} \cdot i_B + h_{22e} \cdot u_{CE} \end{aligned}$$

Jestliže se připustí možnost linearizace charakteristik tranzistoru v rámci pracovní oblasti, lze vytvořit tzv. náhradní lineární obvod (NLO) s řízenými zdroji napětí a proudu podle obr.31.



Obrázek 31: Náhradní lineární obvod

Koeficienty (tzv. hybridní) v rovnicích lze vyjádřit z mezních pracovních stavů obvodu, tj. ze stavu nakrátko a naprázdno ze strany vstupu a výstupu. V těchto režimech bude vždy jedna veličina rovna nule a výsledné vztahy pro koeficienty h budou vypadat následovně:

Ze strany vstupu - výstup nakrátko

$$h_{11e} = \left[\frac{u_{BE}}{i_B} \right]_{u_{CE}=0} \quad \text{Vstupní odpor } [\Omega]$$

Ze strany výstupu - vstup naprázdno

$$h_{12e} = \left[\frac{u_{BE}}{u_{CE}} \right]_{i_B=0} \quad \text{Zpětný napěťový přenos}$$

$$h_{21e} = \left[\frac{i_C}{i_B} \right]_{u_{CE}=0} \quad \text{Proudový zesilovací činitel } (\beta)$$

$$h_{22e} = \left[\frac{i_C}{u_{CE}} \right]_{i_B=0} \quad \text{Výstupní vodivost } [S]$$

Index e zdůrazňuje, že se jedná o zapojení se společným emitorem. U rovnic je uveden i fyzikální význam koeficientů h a jejich rozměr. Koeficienty jednotlivých typů rovnic (kaskádní, impedanční, admitanční a hybridní) lze vzájemně převádět. Pro některá zapojení nemusí mít některé typy koeficientů smysl.

Bipolární tranzistor potřebuje ke svému buzení výkon do báze (v zapojení se společným emitorem) nebo emitorového (v zapojení se společnou bází) obvodu. Z popsaného principu funkce bipolárního tranzistoru totiž plyne, že primární veličinou ve vstupním obvodu je proud, který teče buď do báze (zapojení SE) nebo do emitoru (zapojení SB) bipolárního

tranzistoru. Tato vlastnost neumožňuje integrovat větší množství (řádově tisíce) bipolárních tranzistorů na jediném čipu, neboť generované Jouleovo teplo by miniaturní čip nebyl schopen odvést. Bipolární tranzistory se proto používají zejména v analogových integrovaných obvodech, kde není tak vysoká hustota integrace, a v číslicových obvodech malé a střední hustoty integrace. Například řada druhů integrovaných operačních zesilovačů je konstruována na bipolárních tranzistorech, z číslicových obvodů jsou to technologie MTL (merged transistor logic) a ECL (emitter coupled logic); posledně zmíněná technologie se používá pro konstrukce velmi rychlých, tzv. zápisníkůvých pamětí (scratchpad memory) s dobou přístupu okolo 1 ns.