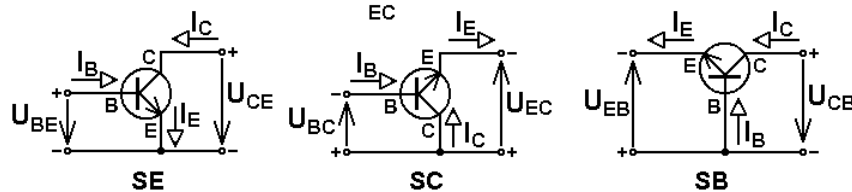


## Měření parametrů tranzistorů

## a) Bipolární tranzistory

U bipolárního tranzistoru se na vedení proudu podílí oba druhy nosičů náboje – elektrony i díry a proudem báze je možné měnit hodnotu značně většího kolektorového proudu. Podle elektrody, která je společná vstupním a výstupní částí obvodu rozlišujeme zapojení se společným emitorem (SE), kolektorem (SC) nebo společnou bází (SB). Každé z těchto zapojení má své charakteristické vlastnosti.

Nejčastěji se používá zapojení SE, které má velké proudové i napěťové zesílení, hodnota tohoto zesílení se také najde v katalozích. Zapojení SB má proudové zesílení menší 1, ale jeho napěťové zesílení je velké a naopak zapojení SC má velké proudové zesílení, ale napěťové zesílení je menší 1.



Zapojení tranzistorů

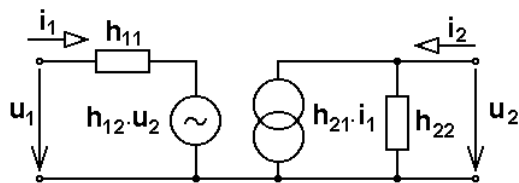
SE – se společným emitorem, SC – se společným kolektorem, SB – se společnou bází

Pro popis vlastností bipolárních tranzistorů se používají linearizované charakteristické rovnice s hybridními parametry.

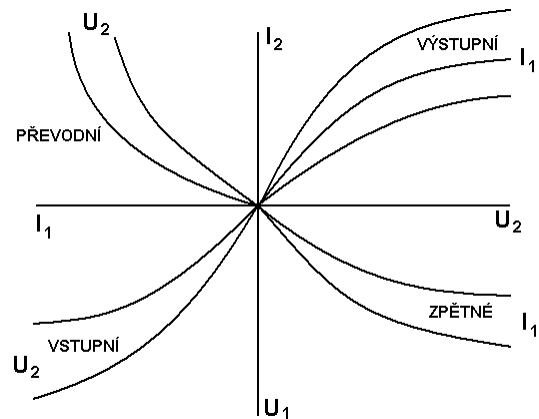
Linearizované charakteristické rovnice pro hybridní nahrazení:

$$u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2$$

$$i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2$$



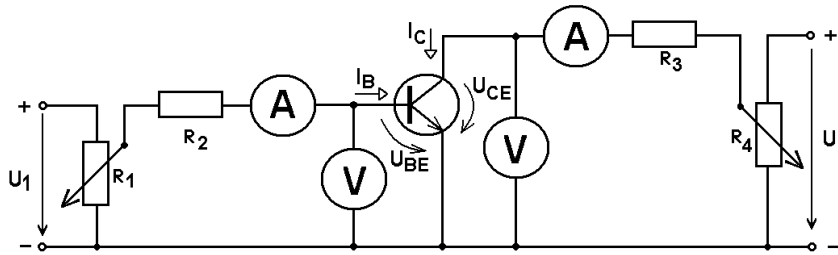
Náhradní obvod dvojbranu při hybridním nahrazení



Soustava hybridních charakteristik dvojbranu

Mezi nejčastěji měřené parametry tranzistorů patří:

- a) statické parametry:
- charakteristiky pro dané zapojení – ty lze měřit i pomocí osciloskopů,
  - zbytkový proud  $I_{CE0}$  při napětí  $U_{CE0}$  při  $I_B=0$  (ze báze a emitor je připojený odpor předepsané hodnoty nebo jsou elektrody přímo spojeny),
  - zbytkový proud  $I_{CB0}$ ,
  - proudové zesílení  $h_{21e}$  ( $h_{FE}$ ),
- b) nízkofrekvenční parametry :
- $h_{11e}$  – vstupní odpor,
  - $h_{12e}$  – zpětný přenos,
  - $h_{21e}$  – proudové zesílení,
  - $h_{22e}$  – výstupní vodivost,
- c) vysokofrekvenční parametry:
- kapacita kolektoru,
  - $h_{21e}$  – proudové zesílení,
  - časová konstanta a spínací časy  $t_{off}$  a  $t_{on}$ ,
  - vysokofrekvenční šum.

**Základní zapojení pro měření charakteristik bipolárního tranzistoru v zapojení se společným emitorem:**

Měřící vybavení:

- R<sub>1</sub> – regulace proudu báze I<sub>B</sub>,
- R<sub>2</sub> – ochranný odpor – omezení proudu báze,
- R<sub>3</sub> – omezení kolektorového proudu I<sub>C</sub>,
- R<sub>4</sub> – regulace kolektorového proudu I<sub>C</sub>.

Při měření výstupních charakteristik nastavíme danou hodnotu bázevého proudu I<sub>B</sub> a postupně nastavujeme hodnoty kolektorového napětí U<sub>CE</sub> a odečítáme hodnoty kolektorového proudu I<sub>C</sub>. Při měření je nutná kontrola nastavení hodnot bázevého proudu. Z několika změřených výstupních charakteristik lze sestavit charakteristiky převodní, vstupní i zpětné převodní.

Ze změřených hodnot výstupních charakteristik je možné učit ztrátový výkon tranzistoru.

vlivem nedostatečného chlazení během měření dochází v porovnání s katalogovými údaji výrobců ke zvýšení hodnoty kolektorového proudu I<sub>C</sub> a snížení napětí na přechodu báze – emitor U<sub>BE</sub>.

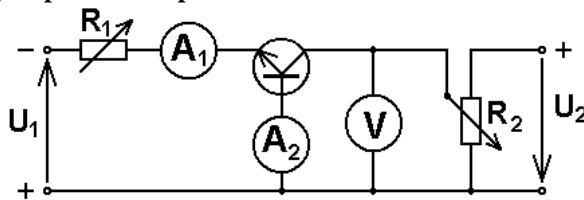
Z naměřených hodnot lze určit diferenciální parametry:

$$h_{11e} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \quad \text{při konstantním } U_{CE},$$

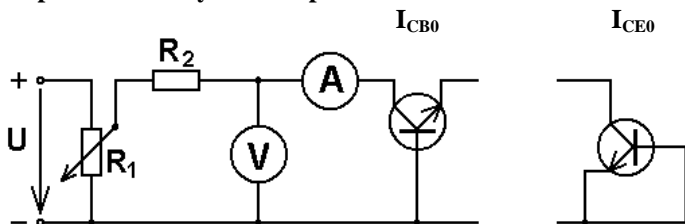
$$h_{12e} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \quad \text{při konstantním } I_B,$$

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \text{při konstantním } U_{CE},$$

$$h_{22e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \quad \text{při konstantním } I_B$$

**Zapojení pro měření proudového zesílení:**

$$h_{21e} = \frac{I_E}{I_B} - 1$$

**Zapojení pro měření zbytkového proudu:**

**b) Unipolární tranzistory**

Unipolární tranzistory jsou tranzistory řízené elektrickým polem, kdy napětím hradla (G) měníme vodivost kanálu. Podle druhu kanálu rozlišujeme tranzistory JFET a MOSFET. Oproti bipolárním tranzistorům jsou unipolární tranzistory v průběhu manipulace s nimi citlivé na přepětí, které zničí tranzistor. Charakteristiky a vlastnosti unipolárních tranzistorů jsou velmi podobné elektronkám, kdy vstupní odpor tranzistoru je značný, proto pro popis vlastností unipolárního tranzistoru postačí výstupní charakteristiky tranzistoru. Nejčastěji používaným zapojením je obdoba zapojení se společným emitorem – zapojení se společnou elektrodou S (Source).

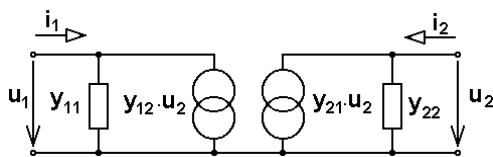
Významnou odlišností unipolárních tranzistorů proti bipolárním poměrně velká vodivost při nulovém napětí  $U_{GS}$ , u bipolárního tranzistoru je při nulovém proudu báze vodivost značně menší.

Pro popis vlastností unipolárních tranzistorů se používají linearizované charakteristické rovnice s admitančními parametry.

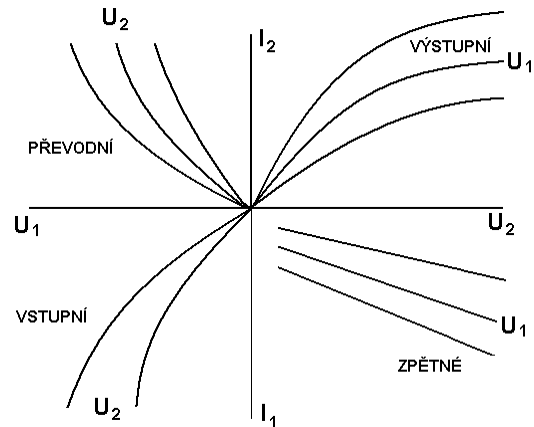
Linearizované charakteristické rovnice pro admitanční nahrazení:

$$i_1 = y_{11} \cdot u_1 + y_{12} \cdot u_2$$

$$i_2 = y_{21} \cdot u_1 + y_{22} \cdot u_2$$



**Náhradní obvod dvojbranu při admitančním nahrazení**

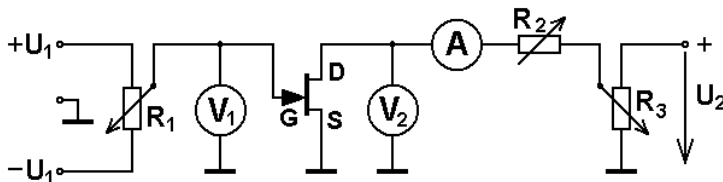


**Soustava admitančních charakteristik dvojbranu**

Mezi nejdůležitější měřitelný parametr unipolárního tranzistoru patří diferenciální převodní vodivost – strmost:

$$y_{21s} = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \quad \text{při konstantním } U_{DS}$$

**Základní zapojení pro měření výstupních charakteristik unipolárního tranzistoru JFET s kanálem typu N:**



Měřicí vybavení:

- $R_1$  – regulace napětí  $U_{GS}$ ,
- $R_2, R_3$  – regulace proudu  $I_D$ ,
- $+U_1, -U_1$  – stejnosměrný zdroj napětí s vyvedenou nulou.

Volba napětí  $U_1$  (regulace  $U_{GS}$ ) podle typu tranzistorů:

JFET s kanálem N	$U_{GS}$	záporné (zužuje kanál)
MOSFET s vytvořeným kanálem N	$U_{GS}$	kladné (otvírá kanál), záporné (zužuje kanál)
MOSFET s indukovaným kanálem N	$U_{GS}$	kladné (vytváří kanál)

Pozn.: 1) Obecně lze elektrody D a S zaměnit (změní se však některé parametry tranzistoru, např. kapacity elektrod)

2) U kanálu P je polarita napětí  $U_{GS}$  opačná

Další parametry polem řízených tranzistorů:

Ze změřených hodnot výstupních charakteristik je možné učit ztrátový výkon tranzistoru.

Zbytkový proud kolektoru (Drain) se měří při dané hodnotě záporného předpětí  $U_{GS}$ , např.  $-30V$ . Jeho hodnota je v řádu setin až desetin  $\mu A$ , tady měřitelný pouze velmi citlivými laboratorními přístroji. Při  $U_{GS}=0$  dosahuje hodnota proudu  $I_D$  desítek mA u spínacích tranzistorů až stovek mA.

Proud hradla dosahuje maximálně desítek až stovek  $\mu A$ , zbytkový proud hradla ( $U_{GS}=0, U_{DS}$ = cca 1 V) je cca 1  $\mu A$  a je obdobně jako kolektoru běžnými měřicími přístroji téměř neměřitelný.

**Měření charakteristik elektronek je obdobné jako měření charakteristik unipolárních tranzistorů JFET s kanálem N, pouze jsou jinak označené elektrody – Drain je nahrazen anodou a Source katodou.**