

Pracovní úkol

1. Změřte sítě výstupních charakteristik typu  $h$  bipolárního tranzistoru v zapojení se společným emitorem a společnou bází.
2. Změřte vstupní charakteristiku typu  $h$  bipolárního tranzistoru v zapojení se společným emitorem (SE) při výstupním napětí  $U_{ke} = 5 \text{ V}$ .
3. Změřte síť výstupních charakteristik unipolárního tranzistoru.
4. Pro zvolený pracovní bod ležící v lineární části charakteristiky určete hodnoty  $h$  parametrů  $h_{11e}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  bipolárního tranzistoru.

Princip činnosti bipolárního tranzistoru

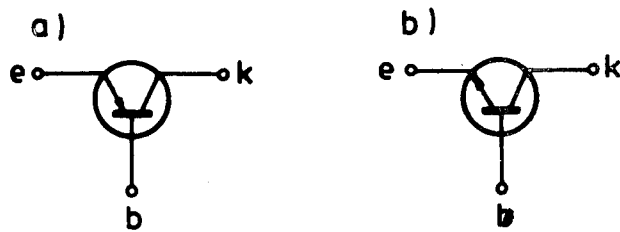
Tranzistory jsou polovodičové prvky se třemi elektrodami. V elektrických obvodech nahradily vakuové mřížkové elektronky. Jsou výhodnější, neboť nepotřebují žhavení, pracují při menším napětí na elektrodách, mají delší životnost a jsou rozměrově mnohem menší.

V polovodičovém krystalu germaniovém nebo častěji křemíkovém jsou vytvořeny tři vrstvy s vodivostí typu P a N. Vrstvy navazují na sebe tak, aby spolu sousedily vždy oblasti s různým typem vodivosti. Jsou tedy možné dvě alternativy v uspořádání vrstev: buď následují v pořadí P-N-P (tranzistory typu PNP), nebo v pořadí N-P-N (tranzistory typu NPN).

Jednotlivé vrstvy krystalu se nazývají emitor, báze a kolektor, každá je opatřena ohmickými kontakty. Na rozhraní s různým typem vodivosti se vytvoří přechod PN, takže v bipolárním tranzistoru jsou tyto přechody dva. Oblast mezi přechody se nazývá bází. Jedna z vnějších oblastí je konstruována tak, aby byla možná co nejefektivnější injekce nositelů do báze. Tato oblast se nazývá emitorem. Zbývající, kolektorová oblast, musí umožňovat co nejlepší odsávání nositelů z báze.

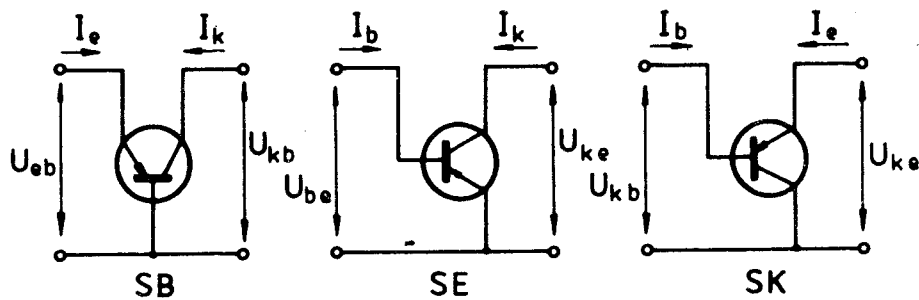
V principu lze každý z přechodů zapojit v propustném nebo závěrném směru. V aktivním režimu je jeden z přechodů zapojen v propustném (přechod emitor - báze) a druhý v závěrném směru (přechod báze - kolektor). Pak je možno injektovat z emitoru do báze menšinové nositele náboje, které jsou pak napětím báze - kolektor extrahovány do kolektorové oblasti. Na rozdíl od elektronky je bipolární tranzistor proudově řízeným prvkem, proudem emitoru je řízen proud kolektorem. Proud kolektorem nemůže být při normální činnosti tranzistoru větší než proud emitorem, neboť je určen počtem nositelů injektovaných do báze z emitorové oblasti. Proud z báze do vnějšího obvodu je roven rozdílu emitorového a kolektorového proudu. V tranzistoru nedojde k proudovému zesílení, poněvadž je však odpor kolektorového přechodu větší než emitorového, dojde k výkonovému a napěťovému zesílení.

Na obr.1 jsou zakresleny schématické značky tranzistoru typu PNP (obr. 1a) a NPN (obr. 1b).



Obr. 1

V obvodech se používají tři základní druhy zapojení tranzistoru, se společnou bází (SB), společným emitorem (SE) a společným kolektorem (SK). Tato zapojení jsou znázorněna na obr.2 pro tranzistor typu PNP. Nejužitebnější je zapojení SE, při němž lze dosáhnout největší výkonové zesílení a hodnoty vstupního a výstupního odporu jsou přijatelné. Velké vstupní impedan- ce lze dosáhnout v zapojení SK. V zapojení SB může tranzistor výkonově zesilovat signály v širším frekvenčním oboru.



Obr. 2

### Charakteristiky bipolárního tranzistoru

Pro popis tranzistoru je třeba znát vzájemnou závislost mezi čtyřmi parametry : vstupním napětím  $U_1$ , vstupním proudem  $I_1$ , výstupním napětím  $U_2$  a výstupním proudem  $I_2$ . V zapojení se společnou bází je vstupním napětím  $U_{eb}$  mezi emitorem a bází, vstupním proudem  $I_e$  protékajícím emitorem, výstupním napětím  $U_{kb}$  mezi kolektorem a bází a výstupním proudem  $I_k$ . Obdobně je tomu při jiných druzích zapojení. Z veličin zde uvedených je možné volit vždy dvě jako nezávisle proměnné, hodnoty zbývajících veličin jsou pak již určeny. Mezi čtyřmi veličinami je možno volit šest závislostí, přitom je ještě libovůle, kterou ze zbývajících dvou veličin zvolíme pro danou závislost jako parametr. Bylo by tedy možno stanovit dvanáct funkčních závislostí mezi veličinami  $U_1, U_2, I_1, I_2$ . Obecně lze vlastnosti tranzistoru popsat dvěma nezávislými funkčními vztahy, např.

$$U_1 = h_1(I_1, U_2) \quad (1)$$

$$I_2 = h_2(I_1, U_2) \quad (2)$$

kteřé nazýváme charakteristickými funkcemi typu  $h$ . Je pochopitelně možno vybrat i jinou dvojici závisle proměnných veličin, například  $I_1, I_2$ . Dostaneme vztahy, které se nazývají charakteristickými funkcemi typu  $y$

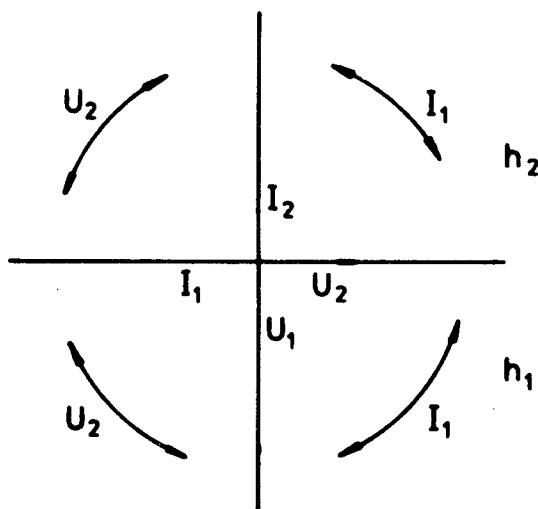
$$I_1 = y_1(U_1, U_2) \quad (3)$$

$$I_2 = y_2(U_1, U_2) \quad (4)$$

Jiné alternativy ve volbě typů charakteristických funkcí se již prakticky nepoužívají. Protože charakteristické funkce typu  $y$  i  $h$  popisují tentýž fyzikální objekt, je možno je navzájem převádět z jednoho tvaru na druhý.

Vhodný obraz o chování tranzistoru udávají charakteristiky, jimiž rozumíme funkční závislost, kterou získáme, pokládáme-li jednu z nezávisle proměnných v rovnicích (1) až (4) za parametr. Charakteristiky získáváme často přímým měřením. Znázorňujeme je pak graficky, můžeme je též vyjádřit analyticky.

Při grafickém znázorňování charakteristik se snažíme o maximální úspornost a vynášíme jejich části do kvadrantů vytvářených osovým křížem, znázorněným pro nejčastěji užívané charakteristiky typu  $h$  na obr.3. Celé charakteristiky by probíhaly dvěma až třemi kvadranty.



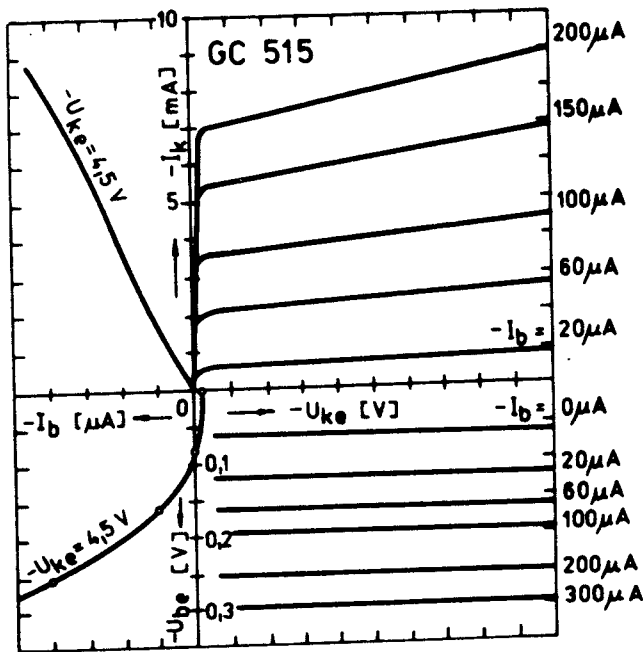
Obr. 3

Charakteristiky v jednotlivých kvadrantech mají svá označení :

- 1.kvadrant - výstupní charakteristiky
- 2.kvadrant - převodní charakteristiky
- 3.kvadrant - vstupní charakteristiky
- 4.kvadrant - zpětné převodní charakteristiky

Je-li známo po jedné skupině charakteristik z horní a dolní poloviny osového kříže, můžeme již odvodit průběh charakteristik ve zbývajících kvadrantech.

Jako příklad je na obr.4 zakreslena úplná soustava charakteristik typu  $h$  tranzistoru GC 515 v zapojení se společným emitorem (SE). Vstupní elektrodou je v tomto případě báze, výstupní kolektor, takže jako vstupní obvodové veličiny  $U_1, I_1$  bereme napětí mezi emitorem a bází  $U_{eb}$  a proud bázi  $I_b$ . Výstupním napětím  $U_2$  je napětí mezi kolektorem a emito-



Obr. 4

nearity neprojeví. Tyto všechny důvody vedou k linearizaci rovnic popisujících chování prvku v obvodu. Výsledkem této linearizace jsou lineární vztahy mezi změnami obvodových veličin.

Při praktickém použití (v daném pracovním režimu) se zpravidla hodnoty obvodových veličin  $U_1$ ,  $I_1$ ,  $U_2$ ,  $I_2$  jen velmi málo odchyľují od určitých hodnot  $U_{10}$ ,  $I_{10}$ ,  $U_{20}$ ,  $I_{20}$ , kterými je definován tzv. pracovní, nebo klidový bod P tranzistoru. Změnu závisle proměnných veličin  $U_1$  a  $I_2$  v (1) a (2) v okolí pracovního bodu P můžeme vyjádřit pomocí totálních diferenciálů

$$d U_1 = \left( \frac{\delta h_1}{\delta I_1} \right)_p d I_1 + \left( \frac{\delta h_1}{\delta U_2} \right)_p d U_2 \quad (6)$$

$$d I_2 = \left( \frac{\delta h_2}{\delta I_1} \right)_p d I_1 + \left( \frac{\delta h_2}{\delta U_2} \right)_p d U_2 \quad (7)$$

Parciální derivace  $(\delta h_1 / \delta U_1)$ , až  $(\delta h_2 / \delta U_2)$  stanovujeme v pracovním bodě P.

Zavedeme označení a pojmenování

$$h_{11} = \left( \frac{\delta h_1}{\delta I_1} \right)_p = \left( \frac{\delta U_1}{\delta I_1} \right)_p \quad \dots \text{vstupní diferenciální odpor při konstantním } U_2$$

rem  $U_{ke}$  a výstupním proudem  $I_2$  proud kolektorem  $I_k$ . Vstupní a převodní charakteristiky vynášené pro různá výstupní napětí  $U_{ke}$  se liší jen málo a proto je na obr. 4 zakreslena z každé skupiny jediná.

Charakteristiky tranzistoru jsou obecně nelineární a výpočet vlastností obvodu obsahujícího prvek s nelineární charakteristikou není jednoduchý. Pro praktické použití tranzistoru v obvodu není zpravidla třeba znát zcela přesné řešení.

Kromě toho se většinou volí takový pracovní režim tranzistoru, ve kterém se odchylky charakteristik od li-

$$h_{12} = \left( \frac{\delta h_1}{\delta U_1} \right)_p = \left( \frac{\delta U_1}{\delta U_2} \right)_p \quad \dots \quad \text{zpětný diferenciální přenos při konstantním } I_1$$

$$h_{21} = \left( \frac{\delta h_2}{\delta I_1} \right)_p = \left( \frac{\delta I_2}{\delta I_1} \right)_p \quad \dots \quad \text{proudový diferenciální přenos při konstantním } U_2$$

$$h_{22} = \left( \frac{\delta h_2}{\delta U_2} \right)_p = \left( \frac{\delta I_2}{\delta U_2} \right)_p \quad \dots \quad \text{výstupní diferenciální vodivost při konstantním proudu } I_1$$

Takto zavedené  $h$  parametry charakterizují tranzistor pro technickou praxi dostatečně. Jejich hodnoty jsou zaváděny v katalogích polovodičových prvků.

Obdobně jako  $h$  parametry bychom z rovnic (3) a (4) zavedli parametry  $y$ . Protože oba typy parametrů popisují stejný prvek, je možný vzájemný přepočet.

$$y_{11} = 1 / h_{11} \quad ; \quad y_{21} = h_{21} / h_{11} \quad (7)$$

$$y_{12} = -h_{12} / h_{11} \quad ; \quad y_{22} = (h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}) / h_{11}$$

Protože pracovní bod  $P$  se volí zpravidla v té části charakteristik, jejíž průběh se jen málo liší od lineárního, je možno pomocí  $h$  parametrů vyjádřit i konečně velké změny vstupního napětí  $U_2$  a výstupního proudu  $I_2$ .

Platí

$$\Delta U_1 \doteq h_{11} \Delta I_1 + h_{12} \Delta U_2 \quad (8)$$

$$\Delta I_2 \doteq h_{21} \Delta I_1 + h_{22} \Delta U_2 \quad (9)$$

Tyto vztahy nám dávají možnost stanovit z naměřených hodnot přibližné hodnoty  $h$  parametrů. Například, odečteme-li ze sítě charakteristik změnu vstupního napětí  $\Delta U_1$  odpovídající změně vstupního proudu o  $\Delta I_1$  při konstantním výstupním napětí  $U_2$  ( $\Delta U_2 = 0$ ), dostaneme

$$h_{11} \doteq \left( \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \right)_{\Delta U_2 = 0} \quad (10)$$

Bude-li vstupní elektrodou báze (zapojení SE), bude vstupní diferenciální odpor (mezi emitorem a bází) roven

$$h_{11} = \left( \frac{\Delta U_{be}}{\Delta I_b} \right)_{U_{ke} = \text{konst.}} \quad (11)$$

Proudové zesílení tranzistoru charakterizuje parametr  $h_{21}$ , kterému se proto též říká proudový zesilovací činitel a v zapojení se společným emitorem se označuje jako  $\alpha_e$ .

$$\alpha_e = h_{21e} = \left( \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} \right)_{U_{ke} = \text{konst.}} \quad (12)$$

V zapojení se společnou bází můžeme přibližnou hodnotu proudového zesilovacího činitele určit ze vztahu

$$\alpha_b = h_{21b} = \left( \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e} \right)_{U_{kb} = \text{konst.}} \quad (13)$$

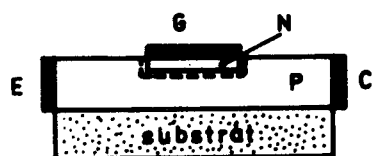
Tento proudový zesilovací činitel je blízký, avšak vždy menší jedné ( $\alpha_b < 1$ ). Pracuje-li tranzistor v zapojení SE i SB ve stejném pracovním bodě, platí

$$\alpha_e = \frac{\alpha_b}{1 - \alpha_b} \quad (14)$$

### Princip činnosti unipolárního tranzistoru

V unipolárních tranzistorech je vedení proudu zprostředkováno pouze jediným druhem nositelů. Tyto tranzistory se nazývají tranzistory řízené elektrickým polem, ve zkratce FET (z anglického Field-effect Transistors). Jejich činnost je založena v principu na tom, že vodivost kanálu mezi dvěma elektrodami je ovlivňována napětím na třetí elektrodě, hradle, které je odizolováno od vodivého kanálu. Napětím na hradle se vytváří elektrické pole ve směru přibližně kolmém ke směru přenosu náboje. Tímto napětím se reguluje velikost protékajícího proudu obdobně jako napětím řídicí mřížky v elektronce.

Hradlo může být od vodivého kanálu odizolováno buď PN přechodem zapojeným v závěrném směru nebo izolantem. Tranzistory s hradlem odděleným přechodem se nazývají ve zkratce JFET (z anglického Junction Field-effect Transistors). Z tranzistorů s hradlem odděleným izolantem jsou nejběžnější ty, u nichž je hradlo odděleno kysličníkovou vrstvou. Ve zkratce se označují jako typ MOS (z anglického Metall-Oxid-Semiconductor).

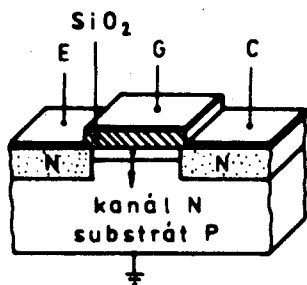


Obr. 5

Na obr.5 je schématicky zakreslen řez idealizovanou strukturou tranzistoru JFET. Elektrody označené na obr.5 E a C se v české terminologii nazývají emitor a kolektor, v anglické source (S) a drain (D), jsou v daném případě vodivě propojeny polovodičem typu P. Tyto dvě elektrody jsou principiálně záměnné. Jedna z nich - emitor E bývá pro-

pojena se substrátem. Na rozhraní mezi polovodičem typu P a N se pod hradlem označeným G (z anglického gate) vytváří vrstva, v níž poměrně silné vnitřní pole brání průniku majoritních nositelů proudu z jedné vrstvy do druhé. V oblasti přechodu je tedy koncentrace nosičů menší než ve vlastním polovodiči. Je-li k přechodu PN přiloženo vnější pole, je tloušťka ochuze-

né vrstvy závislá na velikosti tohoto napětí. S růstem velikosti závěrného napětí se tloušťka ochuzené vrstvy zvětšuje a tím se zmenšuje průřez vodivého kanálu a vzrůstá jeho odpor. Tranzistory typu JFET se u nás prozatím nevyrábějí. Z naší produkce je z tranzistorů řízených elektrickým polem dostupný typ KF 520 až KF 523, oba typu MOS.



Obr. 6

Schématický řez strukturou tranzistoru MOS je zakreslen na obr.6. Základem tranzistoru je destička polovodiče např. typu P. Pod napařenými elektrodami emitoru a kolektoru jsou vhodnou technologií vytvořeny obohacené vrstvy N. Hradlo je od destičky izolováno kysličníkovou vrstvou. U určitých typů tranzistorů, tak zvaných ochuzovacích je emitor s kolektorem spojen vodivým kanálem s vodivostí typu N i při nulovém napětí na hradle. Tranzistorem teče poměrně znač-

ný proud (obdobně jako u JFET) i při nulovém napětí na hradle. Vodivost kanálu zmenšíme přiložením záporného napětí na hradlo. Záporný potenciál hradla ochuzuje vodivý kanál o nositele náboje.

Existuje též obohacovací typ tranzistoru MOS, u kterého se vodivý kanál vytváří až při nenulovém napětí na hradle. Není-li emitor s kolektorem spojen vodivým kanálem, pak mezi těmito elektrodami jsou zapojeny do série přechody NP a PN. Při kladném napětí kolektoru a uzemněném emitoru a hradle teče tranzistorem pouze zbytkový proud kolektorového přechodu. Vodivý kanál se vytváří teprve při kladném napětí na hradle tím, že k rozhraní polovodič-kysličník jsou přitahovány záporné náboje. U ochuzovacího i obohacovacího typu může být základní destička polovodiče na rozdíl od situace zakreslené na obr.6 i s vodivostí typu N. Polarity napětí na elektrodách jsou pak opačné vůči typu P.

Tranzistory řízené elektrickým polem jsme zde popsali jen povrchně. Existuje řada dalších typů. Obšírněji je možno se seznámit s touto problematikou v doporučené literatuře.

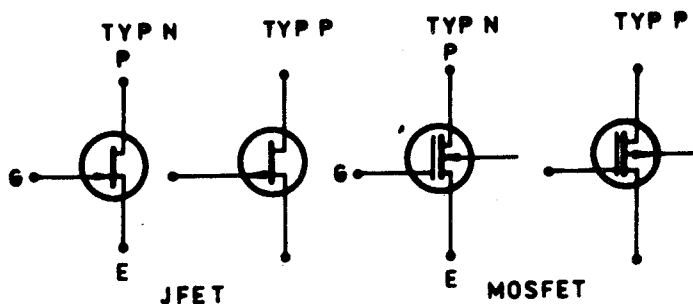
#### Unipolární tranzistory jako elektronický prvek

Vývoj tranzistorů řízených elektrickým polem umožnil nahradit elektronky polovodičovými prvky i v těch obvodech, u nichž je vyžadována od nelineárního prvku extrémně velká vstupní impedance. Odpor mezi hradlem a ostatními elektrodami je až  $10^5 \Omega$ . To umožňuje použít tento prvek např. na vstupu elektrometrických zesilovačů. Je výhodné, že mají ve srovnání s bipolárními tranzistory a elektronkami malý šum. Používají se jako spínací, zesilovací, směšovací i paměťové prvky. Nejsou však zpravidla vhodné pro výkonové zesilovací stupně, mají velký rozptyl parametrů a pod. Tranzistory typu MOS jsou velmi snadno poškoditelné. Z předchozího je známo, že hradlo je odděleno prakticky nevodivou vrstvou. Člověk, který manipuluje s tranzistorem, je velmi často nabit elektrickým nábojem, zejména je-li oblečen v

oděvu ze syntetických materiálů. Elektrická kapacita člověka je relativně malá, takže i malým nábojem se nabije na vysoký potenciál, řádově např.  $10^3$  V. Při dotyku elektrod tranzistoru není kysličníková vrstva schopna bez poškození odvést tento náboj a její elektrická pevnost je dimenzována na napětí řádově do  $10^2$  V. Při dotyku nabitého člověka hradla tranzistoru dojde proto k průrazu izolační vrstvy a zničení tranzistoru MOSFET. U tranzistorů JFET toto nebezpečí nehrozí. Manipulujeme-li s tranzistory typu MOS, dbáme na to, abychom měli vývody vzájemně zkratovány.

V obvodech se FET zapojuje nejčastěji se společným emitorem. Pak je jeho zesílení  $\gg 1$ , vstupní odpor až  $10^{15} \Omega$ , výstupní řádově  $10^5 \Omega$ . Tranzistor v tomto zapojení obrací fázi signálu.

Schematické značky prvků JFET a MOSFET jsou zakresleny na obr. 7.



Obr. 7

Pro kvantitativní popis FE tranzistorů je vhodné používat admitanční y-parametry. Zavádějí se však též parametry obdobné jako u elektronek (viz úloha 15). Tato shoda je dána tím, že u FE tranzistorů zapojených se společným emitorem je vstupní obvod prakticky oddělen od výstupního stejně jako u elektronek.

Definujeme :

$$\text{strmost } S = \left( \frac{\delta I_C}{\delta U_{GE}} \right)_{(\Delta U_{CE}=0)} = y_{21E} \quad (15)$$

$$\text{zesílení } \mu = \left( \frac{\delta U_{CE}}{\delta U_{GE}} \right)_{(\Delta I_C=0)} = \frac{y_{21E}}{y_{22E}} \quad (16)$$

$$\text{vnitřní odpor } \frac{1}{R_i} = \left( \frac{\delta I_C}{\delta U_{CE}} \right)_{(\Delta U_{GC}=0)} = \frac{1}{y_{22E}} \quad (17)$$

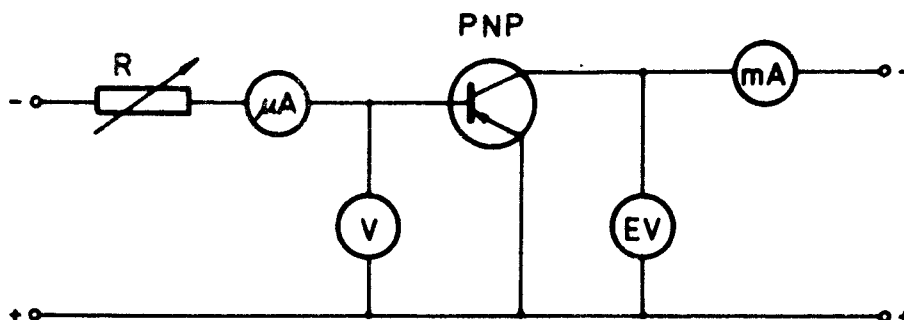
Mezi těmito parametry platí Barkhausenův vztah

$$\frac{S R_i}{\mu} = 1 \quad (18)$$



## Měření charakteristik v zapojení SE

Výstupní charakteristika typu h udává závislost proudu kolektorem  $I_k$  na napětí mezi kolektorem a emitorem  $U_{ke}$  ( $I_k = f(U_{ke})$ ) měřená při konstantním proudu bázi. Použijeme zapojení na obr.8. Ve vstupním obvodu je zařazen dekadový odpor, který nám umožňuje nastavit konstantní vstupní proud. Na tomto odporu nastavujeme co největší hodnotu, řádově  $10^4 - 10^5 \Omega$ . Vstupní a výstupní obvod napájíme např. ze zdroje Aritma OP 280 45 nebo Statron 3205.



Obr. 8

Polarita napětí zdroje je na obr.8 zakreslena pro tranzistor typu PNP. Pokud bychom měřili tranzistor typu NPN, byla by polarita zdrojů opačná. Přechod PN báze, emitor je zapojen v propustném směru, PN přechod kolektor, emitor je naopak zapojen v závěrném směru. Z toho plyne poměrně malý vstupní a velký výstupní odpor tranzistoru. Je třeba si uvědomit, že při připojení vstupního napětí bez nastavení dostatečně velkého odporu R může dojít k poškození tranzistoru. Voltmetr ve výstupním obvodu musí mít velký vstupní odpor. Pomocí napětí zdroje a odporu ve vstupním obvodu nastavíme při nulovém napětí na kolektoru požadovaný proud ve vstupním obvodu. Pak postupně zvyšujeme napětí mezi kolektorem a emitorem. Zpočátku po 0,2 V, později po 2 až 4 V. Kontrolujeme nastavení vstupního proudu a odečítáme hodnoty výstupního proudu a napětí. Výstupní napětí zvyšujeme pouze potud, aby nedošlo k překročení mezího napětí  $U_{ke}$  nebo k překročení maximální kolektorové ztráty.

$$P_k = U_{ke} I_k \quad (19)$$

Po proměření jedné charakteristiky změním vstupní proud  $I_b$  a měření opakujeme. V zapojení se společným emitorem má tranzistor velké proudové zesílení. Pro germaniové tranzistory je typická hodnota proudového zesilovacího činitele  $\alpha_e \sim 30$ , pro křemíkové  $\alpha_e \sim 100$ . V zapojení SE jsou proto vstupní proudy řádově  $10 \mu A$ , při výstupních proudech řádově miliampéry.

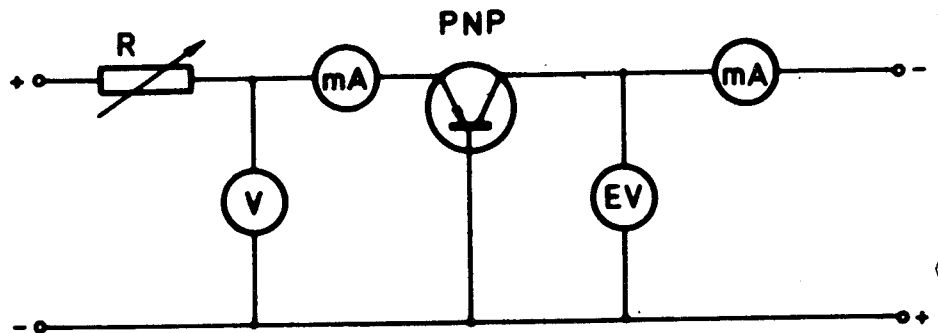
Vstupní charakteristiky můžeme měřit ve stejném zapojení. Udává je závislost vstupního napětí  $U_{be}$  na vstupním proudu  $I_b$  ( $U_{be} = f(I_b)$ ), měřená při konstantním výstupním napětí  $U_{ke}$ . Vstupní charakteristiky měřené při různých hodnotách  $U_{ke}$  se od sebe velmi málo liší. Měříme proto zpravid-

la jedinou při  $U_{ke} = 5 \text{ V}$ . Vstupní proudy volíme řádově  $10$  až  $10^2 \mu\text{A}$ , vstupní napětí jsou řádu  $10^{-1} \text{ V}$ .

Kromě těchto charakteristik by bylo možno stanovit ještě převodní charakteristiku ( $I_k = f(I_b)$  při  $U_{ke} = \text{konst.}$ ) a zpětnou převodní charakteristiku ( $U_{be} = f(U_{ke})$  při  $I_b = \text{konst.}$ ). Převodní charakteristika typu  $h$  je přibližně lineární, její směrnici udává parametr  $h_{21} = \alpha_e$ . Zpětné převodní charakteristiky udává síť úseček přibližně rovnoběžných s vodorovnou osou (viz obr.4). Tuto síť musíme přibližně zkonstruovat z naměřené vstupní charakteristiky.

#### Měření charakteristik v zapojení SB

Použijeme obvod zakrelený na obr.9. Měření je v podstatě stejné jako při zapojení SE a postup při měření nebudeme proto opakovat. Je však třeba si uvědomit, že proudový zesilovací činitel je v tomto případě přibližně roven jedné  $h_{21b} = \alpha_b \approx 1$ . Výstupní proud se proto jen velmi málo liší od proudu vstupního. Vstupní proud nastavujeme zpravidla jednotky miliampéru. Při měření dbáme, abychom nepřekročili maximální kolektorovou ztrátu, danou v tomto případě výrazem  $P_k = U_{kb} I_k$  (srovnej (19)).



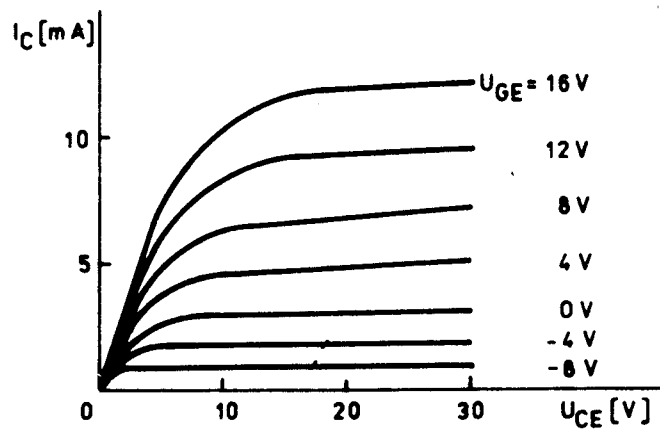
Obr. 9

Blíží-li se výkon ztracený v tranzistoru k maximální povolené hodnotě, nestáčí se všechno uvolněné teplo odvést do okolí a teplota tranzistoru se zvyšuje. Se změnou teploty se mění parametry tranzistoru, což se projeví například časovou závislostí kolektorového proudu.

#### Měření charakteristik unipolárního tranzistoru

Základní charakteristiky unipolárního tranzistoru vyjadřuje závislost proudu kolektoru na jeho napětí, měřená při různých napětích hradla. Jedná se o výstupní charakteristiky v zapojení se společným emitorem. Jako příklad je síť těchto charakteristik zakreslena na obr.10. Vstupní charakteristiky nemá smysl měřit, neboť hradlem neteče proud.

Měření na tranzistoru s vodivostním kanálem typu N provádíme při napětí  $U_{GE}$  v rozmezí cca  $-8 \text{ V}$  až  $+20 \text{ V}$ . Napětí  $U_{CE}$  měníme od nuly do cca  $30 \text{ V}$ .



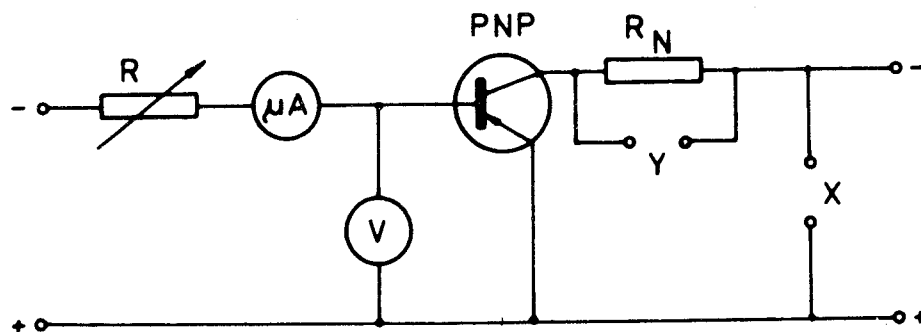
Obr. 10

Schéma měřicího obvodu zde neuvádíme, neboť je zjednodušenou variantou obvodu na obr.8 . Vstupní proud neměříme. Napájíme-li obvod ze zdroje Statron 3205, měříme vstupní a výstupní napětí měřicími přístroji zdroje. Výstupní proud měříme např. digitálním multimetrem G-1002.500 .

Aby nedošlo při náhodném dotyku elektrod tranzistoru k jeho poškození, je jako ochrana mezi hradlo a emitor zapojena doutnavka FN 2 . Její zapalovací napětí je 70 V .

#### Použití XY zapisovače k měření charakteristik

O výhodách použití zapisovače k měření charakteristik nelineárních prvků jsme již psali v souvislosti s měřením charakteristik diod. Princip měření zůstává stejný a proto jej zde nebudeme opakovat. Čtenáře odkazujeme na příslušný odstavec v návodu k úloze 11 .



Obr. 11

Snadné je měření výstupních charakteristik jak unipolárního, tak i bipolárního tranzistoru. Na obr.11 uvádíme modifikované schéma z obr.8 pro měření výstupních charakteristik bipolárního tranzistoru v zapojení se společným emitorem.

Vstup X zapisovače připojíme paralelně ke zdroji kolektorového napětí. Na vstup Y přivádíme napětí z odporu  $R_N$  známé velikosti. Toto napětí je úměrné proudu tekoucímu odporem  $R_N$ , tedy kolektorovým obvodem. Měníme-li plynule kolektorové napětí, zakreslí se na zapisovači výstupní charakteristika pro nastavenou hodnotu vstupního proudu. Velikost grafu určuje nastavená citlivost vstupů zapisovače a velikost odporu  $R_N$ . Konstantu vstupu X volíme 1 - 2 V/cm, vstupu Y např. 10 mV/cm. Při této citlivosti zakreslíme charakteristiky na papír formátu A4, zvolíme-li hodnotu odporu  $R_N$  asi 10  $\Omega$ .

Se zapisovačem můžeme měřit i vstupní charakteristiku. Vstup X zapisovače zapojíme místo vstupního voltmetru, na vstup Y přivádíme napětí z odporu zapojeného místo mikroampérmetru (miliampérmetru v zapojení S8). Při měření vstupní charakteristiky je obtížné plynule měnit vstupní napětí, které je poměrně malé. Závislost vstupního proudu na vstupním napětí je velmi strmá.

#### Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983  
čl. 4.5.1.3, 4.5.4.1
- [2] Stránský J. a kol.: Polovodičová technika I, SNTL/Alfa, Praha 1976  
stať 2.3, čl. 3.3.1
- [3] Frank H., Šnejdar V.: Principy a vlastnosti polovodičových součástek,  
SNTL, Praha 1976
- [4] Beneš O., Černý A., Žalud V.: Tranzistory řízené elektrickým polem,  
SNTL, Praha 1972
- [5] Žalud V., Kulešov V. N.: Polovodičové obvody s malým šumem,  
SNTL, Praha 1980