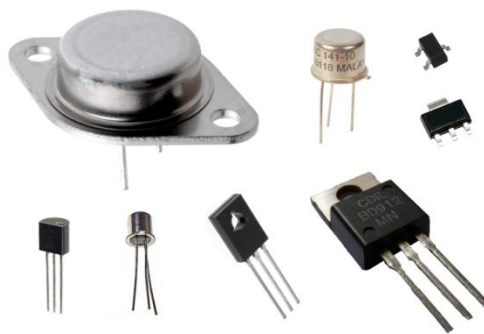


Určení čtyřpólových parametrů tranzistorů z charakteristik a ze změn napětí a proudů

Tranzistor je elektronická aktivní součástka se třemi elektrodami. Podstatou jeho funkce je transformace odporu mezi dvěma svorkami řízená velikostí proudu v řídicím obvodu třetí svorky.

Podle toho, které nosiče náboje se zúčastňují na vedení proudu tranzistorem, rozlišujeme tranzistory:

- **Bipolární** - Ovládán připojením elektrického proudu na bázi. Velikostí proudu je ovládán proudem procházející mezi emitorem a kolektorem.
- **Unipolární** - využívají k řízení proudu mezi D a S (drain, source) el. pole, vytvořeného v obvodu řídicí elektrody G (gate).
 - JFET - Tranzistor s přechodovým hradlem.
 - MESFET - FET ve spojení se Schottkyho diodou (přechod kov-polovodič). Tento tranzistor má lepší dynamické vlastnosti.
 - MOSFET - je polem řízený tranzistor, kde je vodivost kanálů mezi elektrodami Source a Drain ovládána elektrickým polem ve struktuře kov-oxid-polovodič. Tento tranzistor má možnost větší hustoty integrace (integrované obvody).



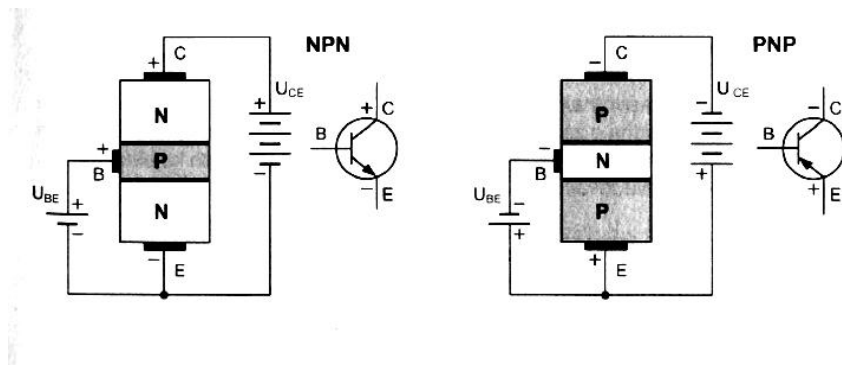
Obr. 1: Tranzistory

Tranzistor je používá jako zesilovač signálu nebo jako spínač. Je též součástí mnoha jiných zařízení, jako jsou například logické obvody.

Popis funkce bipolárního tranzistoru

Bipolární tranzistory mají dva polovodičové přechody a tři elektrody, které jsou označeny: emitor (E), kolektor (C) a báze (B) ve dvou uspořádáních:

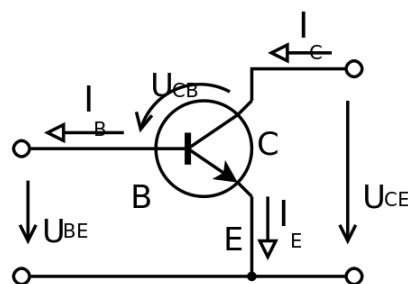
- 1) NPN (majoritní nosiče elektrony)
- 2) PNP (majoritní nosiče díry)



Obr. 2: Uspořádání polovodičů v bipolárním tranzistoru a schematické značky.

Přechod PN umístěný blíže ke kolektoru budeme nazývat kolektorový přechod, přechod PN umístěný blíže k emitoru budeme nazývat emitorový přechod.

Funkce bipolárního tranzistoru je založena na interakci dvou přechodů PN. Princip uspořádání tranzistoru typu NPN je znázorněn na Obr. 3. Napětí mezi bází a emitorem U_{BE} má takovou polaritu, že přechod mezi bází a emitorem je polarizován v propustném směru a současně, přechod mezi kolektorem a bází je polarizován v závěrném směru. Tedy, po připojení napájecího zdroje U_{BE} mezi bází a emitor, bude bází protékat proud I_B , jehož velikost je závislá na velikosti připojeného napětí. Přidá-li se k napájecímu zdroji U_{BE} napájecí zdroj U_{CE} , začne kolektorem protékat proud $I_C > 0$. Ten se přičte k proudu tekoucímu bází a proto emitorem teče proud I_E .



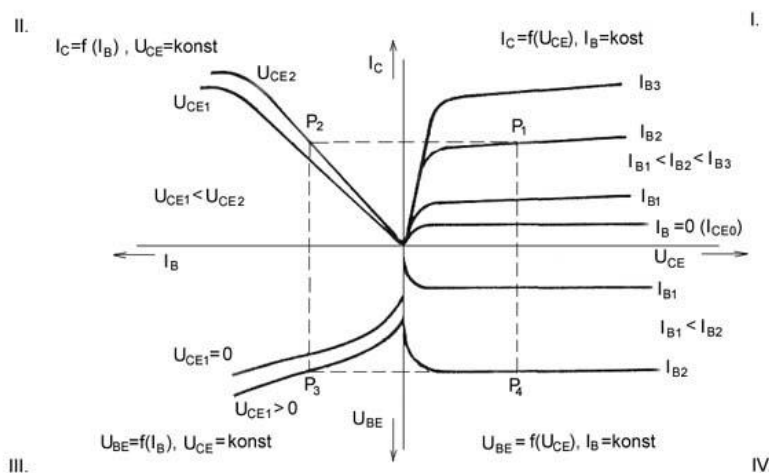
Obr. 3 Princip uspořádání tranzistoru NPN.

Bipolární tranzistor je aktivní polovodičová součástka, u které malý proud bází vyvolá velký kolektorový proud.

Volbou souřadné soustavy při kreslení charakteristik tranzistoru se snažíme dosáhnout úspornosti, každá charakteristika je zachycena v jednom kvadrantu. V jednotlivých kvadrantech jsou zobrazeny:

- I. Kvadrant – výstupní charakteristika
- II. Kvadrant- převodní charakteristika
- III. Kvadrant- vstupní charakteristika
- IV. Kvadrant – převodní charakteristika

Na Obr. 4 jsou znázorněny typické průběhy čtyřpólových charakteristik tranzistoru pro zapojení se společným emitorem



Obr. 4: Čtyřpólové charakteristiky tranzistoru pro zapojení se společným emitorem.

Popis funkce unipolárního tranzistoru

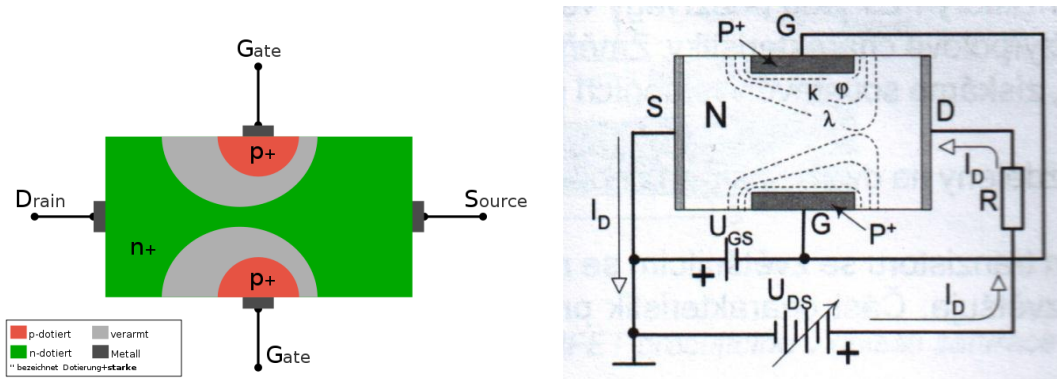
Název unipolární vychází z toho, že signál prochází tranzistorem FET (Field Effect Transistor)-tranzistor řízený polem) prostřednictvím jednoho typu nosičů elektrického náboje tzv. kanálem. Podle toho jak je tento proudový kanál dotován hovoříme o tranzistoru řízeném elektrickým polem s kanálem typu N nebo typu P.

FET má obecně tři elektrody, které jsou označovány jako Drain (kolektor), Source (emitor) a Gate (hradlo).

Tranzistory JFET

JFET je tranzistor řízený elektrickým polem, u kterého je nahrazen izolant mezi řídicí elektrodou a kanálem tranzistoru přechodem PN působícím v závěrném směru. (Obr.5) Základem je polovodičová destička s nevlastní vodivostí typu N (případně P) opatřená na obou koncích kovovými kontakty. Činnost JFET je založena na řízení velikosti efektivního průřezu polovodičového kanálu pomocí přechodu P. Při zvyšování závěrného napětí mezi hradlem a emitorem se zvětšuje šířka ochuzené vrstvy přechodu a tím se zmenšuje šířka kanálu. Necht' $U_{GS} = 0$. S rostoucím napětím U_{DS} dochází ke zvětšování závěrného napětí na přechodu PN mezi hradlem G a kolektorem D. To způsobí rozšíření ochuzené vrstvy převážně blíže ke kolektoru D (κ na Obr.5). To také způsobí zvětšení velikosti odporu

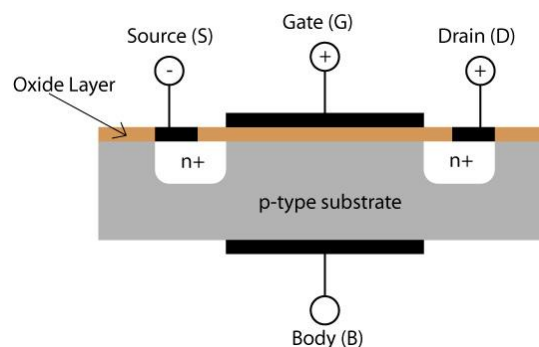
kanálu a ke snížení vlivu velikosti U_{DS} na velikosti proudu kolektoru I_D . Rozšiřování ochuzené vrstvy vlivem vzrůstu kolektorového napětí U_{DS} pokračuje do okamžiku, než se obě ochuzené vrstvy spojí (λ na Obr.5)



Obr.5: Tranzistor JFET a jeho činnost.

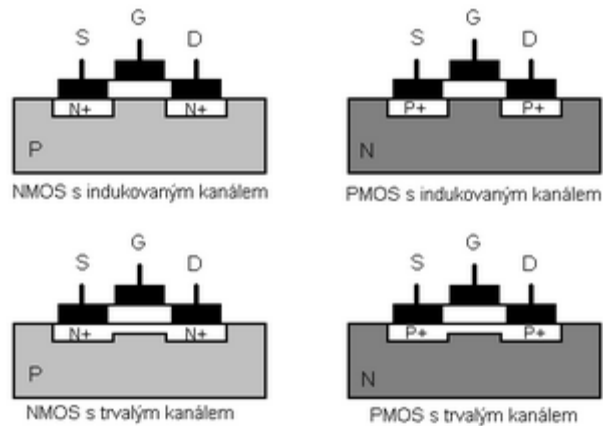
Tranzistory MOSFET

Tranzistory MOSFET (Metal Oxide Semiconductor) jsou principem činnosti částečně podobné tranzistorům JFET, ale díky tenké vrstvě izolantu, která izoluje hradlo tranzistoru od polovodiče, vykazují větší vstupní impedanci. Základní uspořádání tranzistoru MOSFET je na Obr. 6.



Obr.6 : Struktura tranzistoru MOSFET

Dokud není na hradlo G přivedeno žádné napětí, existují mezi emitorem a kolektorem dvě antisériově zapojené diody NP, které brání průtoku proudu od kolektoru k emitoru (Obr. 7). K vytvoření kanálu je nutné pod hradlem vytvořit dostatečně velké elektrické pole.



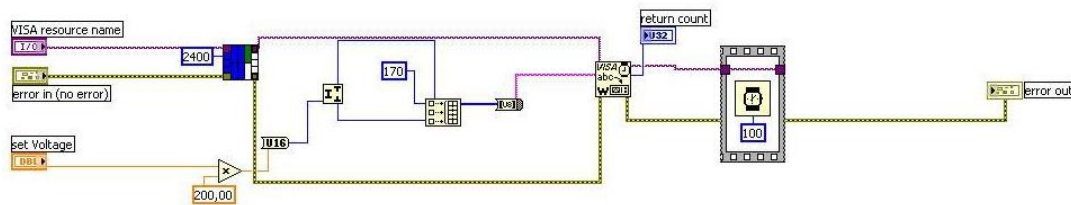
Obr.7: Tranzistory s indukovaným a trvalým vodivým kanálem.

Tranzistory s vodivým kanálem (Obr.7), stejně jako tranzistory s indukovaným kanálem, mají dvě oblasti se silnou koncentrací příměsí N+. Tyto oblasti jsou vytvořeny difúzí příměsí do základní destičky typu P. Rozdíl u tranzistorů s vodivým kanálem spočívá v tom, že mají vytvořen vodivý kanál již při nulovém napětí na řídicí elektrodě.

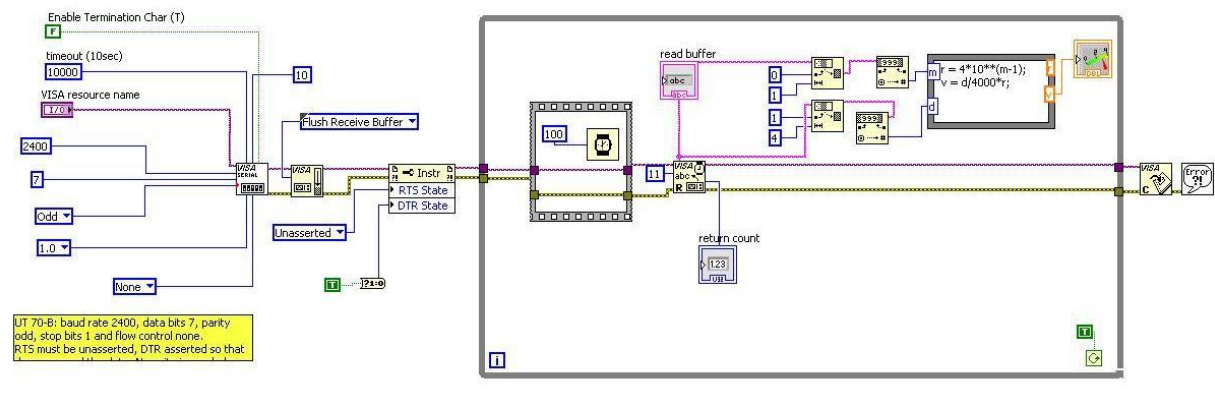
Tyto tranzistory pracují při zvětšování vodivosti kanálu v režimu obohacení, při zmenšování vodivosti kanálu pracují v režimu ochuzení.

Virtuální přístroje LabVIEW

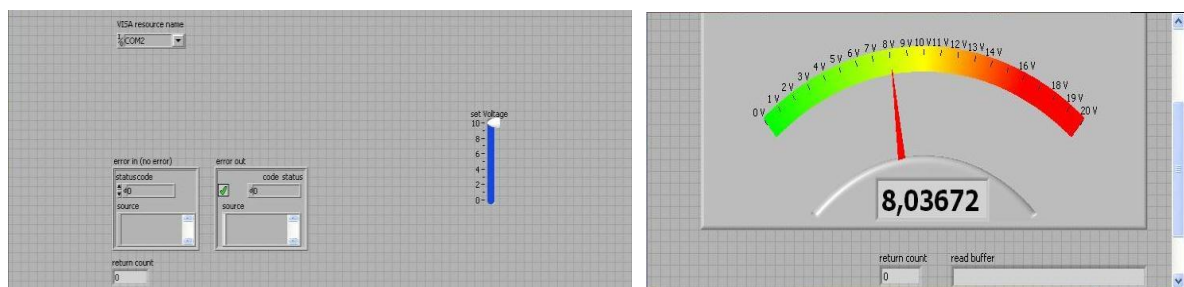
Programy v LabVIEW se nazývají virtuální přístroje nebo VI, protože svým vzhledem jsou obdobou skutečných přístrojů. V LabVIEW vytváříme uživatelské rozhraní programu pomocí ovládacích prvků a indikátorů - k tomu slouží tzv. čelní panel (Front panel). Ovládací prvky (Controls) jsou otočné knoflíky, tlačítka, stupnice a další vstupní zařízení. Po vytvoření čelního panelu přidáme programový kód, který čelní panel řídí. Programový kód se zapisuje (resp. kreslí) do okna blokového diagramu. Blokové diagramy laboratorního zdroje a multimetru jsou na Obr.8 a Obr.9. Grafické zobrazení čelního panelu zdroje a multimetru jsou na Obr. 10.



Obr.8: Blokové schéma laboratorního zdroje.



Obr.9: Blokové schéma multimetru.



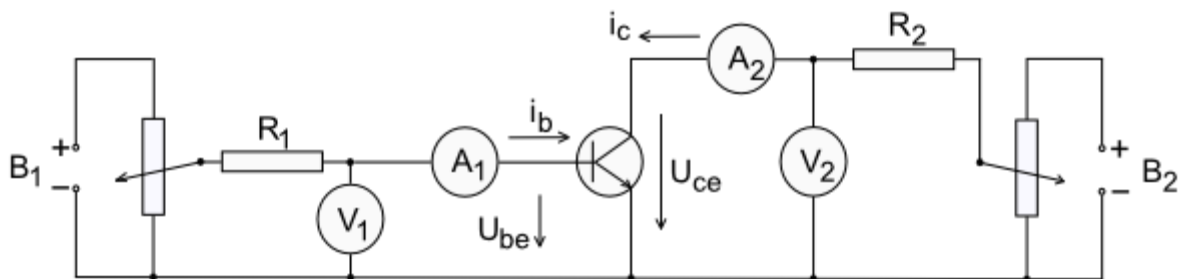
Obr.10: Čelní (ovládací) panel laboratorního zdroje a multimetru.

Postup měření:

Zapojení pro měření stejnosměrných charakteristik unipolárních i bipolárních tranzistorů je na Obr. 11. Bipolární tranzistor pracuje v zapojení se společným emitorem. K napájení vstupního a výstupního obvodu je použito regulovatelných zdrojů. Odporů R_1 a R_2 jsou ochranné, omezují proudy bází a kolektorem, současně odpor R_1 pomáhá udržet proud bází konstantní, což je zvláště důležité při měření výstupních charakteristik. Pólování zdrojů platí pro tranzistory NPN (pro tranzistory typu PNP je nutné změnit polaritu obou zdrojů).

Napětí mezi bází a emitorem u germaniových tranzistorů se pohybují v okolí 0,2 V, pro křemíkové tranzistory okolo 0,7 V. Kolektorové napětí měníme od nuly do 15 V podle použitého tranzistoru.

Při měření je nutno udržovat kolektorové napětí a proud v mezích, pro které nepřekročíme kolektorovou ztrátu tranzistoru, ani jeho maximální kolektorový proud nebo maximální dovolené kolektorové napětí.



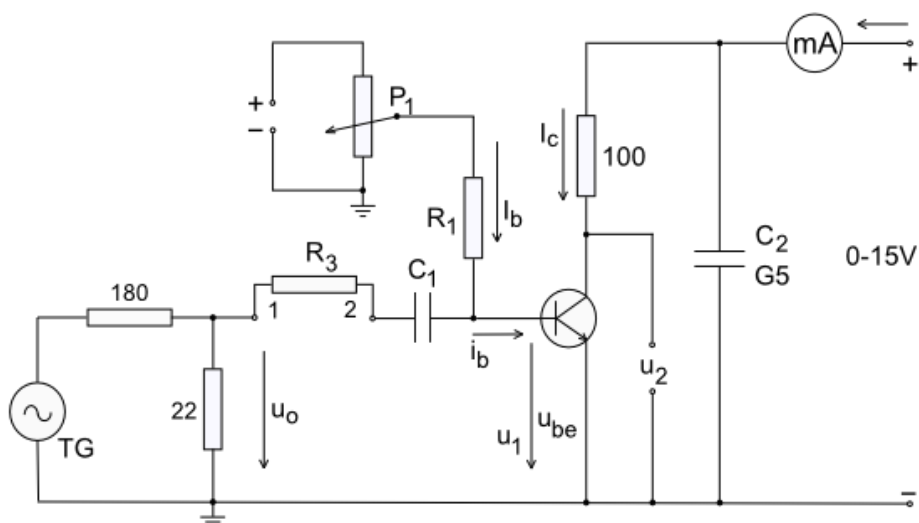
Obr. 11: Schéma zapojení měření stejnosměrných charakteristik tranzistorů.

Úkoly:

- 1) Naměřte závislost $I_b = f(U_{be})$ pro oba tranzistory pro několik pevných hodnot napětí U_{ce} . (Při malých napětích U_{be} se mění směr proudu bází.)
- 2) Naměřte závislost $I_c = f(U_{ce})$ pro několik stálých hodnot I_b . (Při malých hodnotách napětí U_{ce} se mění I_b , které je nutno nastavit na původní hodnotu.) Stanovte zbytkové kolektorové proudy I_{ceo} a I_{cbo} .
- 3) Graficky vyznačte závislost kolektorového proudu $I_c = f(I_b)$ pro jednu pevnou hodnotu napětí U_{ce} , závislost $I_b = f(U_{be})$ a $I_c = f(U_{ce})$. Z grafů stanovte:
 - a) Proudový zesilovací činitel h_{21} pro několik hodnot kolektorového proudu
 - b) Vstupní odpor tranzistoru h_{11} pro několik hodnot kolektorového proudu
 - c) Výstupní vodivost h_{22} pro několik hodnot proudu bází.

Dynamická metoda stanovení parametrů tranzistoru

Při návrhu zesilovačů jsou nejdůležitější parametry h_{11} , h_{21} případně y_{21} . Tyto parametry budeme měřit v zapojení podle Obr. 12. Stejnosměrný klidový proud kolektorem I_c nastavujeme změnou proudu bází potenciometrem P_1 . Proud I_b protéká odporem $R_1 = 470 \Omega$. V kolektorovém obvodu je zapojen malý odpor $R_2 = 100 \Omega$, takže pro proudy řádu mA je kolektorové napětí velmi přibližně rovno napětí napájecího zdroje. Kondenzátor C_2 zkratuje střídavé napětí, které vzniká na odporu měřicího přístroje.



Obr. 12: Schéma zapojení měření parametrů tranzistoru dynamickou metodou.

Střídavé napětí z tónového generátoru přivádíme nejprve na dělič z odporů $180\ \Omega$ a $22\ \Omega$. Tím zajistíme, aby vnitřní odpor zdroje byl dostatečně nízký proti vstupnímu odporu tranzistoru, parametr h_{11} . Střídavý proud prochází odporem R_3 , kondenzátorem C_1 a přechodem báze – emitor tranzistoru. Pro proud i_b platí:

$$i_b = \frac{u_0}{R_3}$$

Pokud $R_3 \gg h_{11}$. Při měření parametru h_{21} použijeme $R_3 = 100\ \text{k}\Omega$. Na odporu R_2 vzniká napětí u_2 , takže

$$i_c = \frac{u_2}{R_2}$$

Pro odpor $R_2 \ll 1/h_{22}$. Parametr h_{22} určíme ze vztahu:

$$h_{21} = \frac{i_c}{i_b} = \frac{u_2}{R_2} \cdot \frac{R_3}{u_0}$$

Měření parametru h_{21} provedeme pro různé proudy I_c při napětích U_{ce} v rozmezí 2 až 15 V. Proud I_c nastavujeme od 0,1 mA výše, přitom dbáme, abychom nepřekročili dovolenou kolektorovou ztrátu tranzistoru.

Zkratujeme-li svorky 1 a 2, mezi které připojujeme odpor R_3 , závisí proud i_b jen na vstupním odporu tranzistoru h_{11} .

$$i_b = \frac{u_0}{h_{11}}$$

Vnitřní odpor zdroje přitom zanedbáme. Kolektorovým obvodem poteče proud i_c . Nyní nahradíme zkrat mezi body 1 a 2 proměnným odporem, kterým nastavíme za jinak nezměněných podmínek poloviční výhytku na voltmetru, kterým měříme napětí u_2 . Proud bázi musí být také poloviční, tedy

$$\frac{i_b}{2} = \frac{u_0}{h_{11} + R_3}$$

Takže h_{11} je roven nastavené hodnotě odporu R_3 , kterou změříme ohmmetrem. Hodnotu vstupního odporu tranzistoru stanovíme pro stejné napětí U_{ce} jako parametr h_{21} .

Parametr y_{21} můžeme určit z naměřených parametrů h_{11} , h_{21} , nebo měřením veličin vyskytujících se v definičním vztahu:

$$y_{21} = S = \frac{h_{21}}{h_{11}} = \frac{i_c}{u_{be}}$$

Při měření veličin z předchozího vztahu můžeme svorky 1 a 2 zkratovat. Vstupní napětí měříme voltmetrem, výstupní proud stanovíme z hodnot u_2 a R_2 .

Úkoly:

- 1) Dynamickou metodou určete parametry h_{11} , h_{21} a y_{21} tranzistoru.
- 2) Graficky vyjádřete závislost $h_{21} = f(I_c)$ a $h_{21} = f(U_{ce})$

Doporučená literatura:

J. Vlach, J. Havlíček, M. Vlach, Začínáme s LabVIEW, BEN- Technická literatura, Praha 2008.

National Instruments, Začínáme s LabVIEW- online manuály.

Z. Ondráček, Praktikum z elektroniky, Brno 1991.

M. Tichý, Elektronika, On-line skripta: <http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/>

J. Doleček, Moderní učebnice elektroniky 2.-Polovodičové prvky a elektronky, BEN- Technická literatura, Praha 2005.