

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



CTR pro optočlen s LED a tranzistorem:

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \cdot 100 \quad [\%] \quad U_{CE} = const$$

Obvykle CTR určíme při $I_F = 10 \text{ mA}$ a $U_{CE} = 5 \text{ V}$. Hodnoty zjistíme z tabulky.

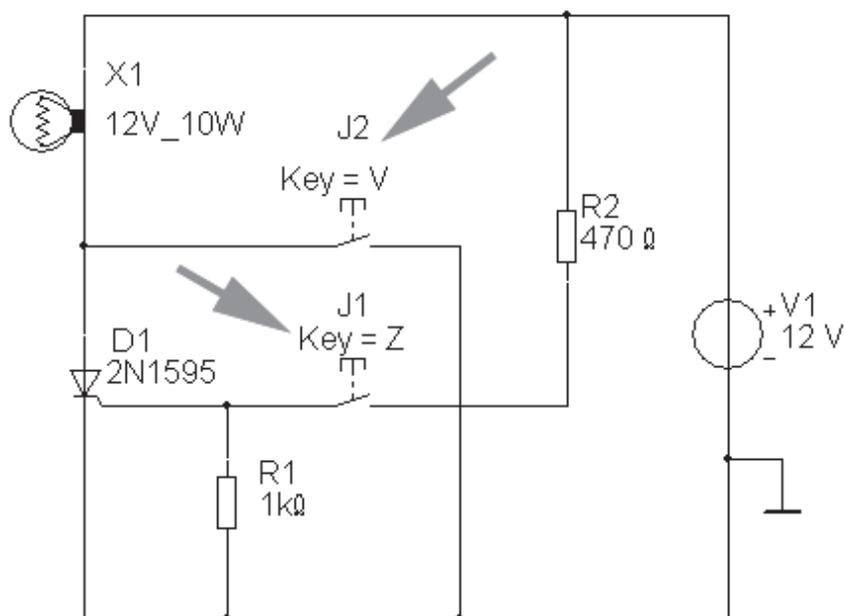
$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \cdot 100 = \frac{23,2}{10} \cdot 100 = 232 \%$$

V katalogovém listě [9] je uveden $CTR_{MIN} = 100 \%$.

6.5 VÍCEVRSTVÉ POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY

S touto kategorií součástek se ve schématech elektronických obvodů často setkáváme. Opět nás zajímají jejich V-A charakteristiky a funkce. V dalších příkladech si ukážeme zapojení pro ověření funkce typického představitele – tyristoru při spínání zátěže.

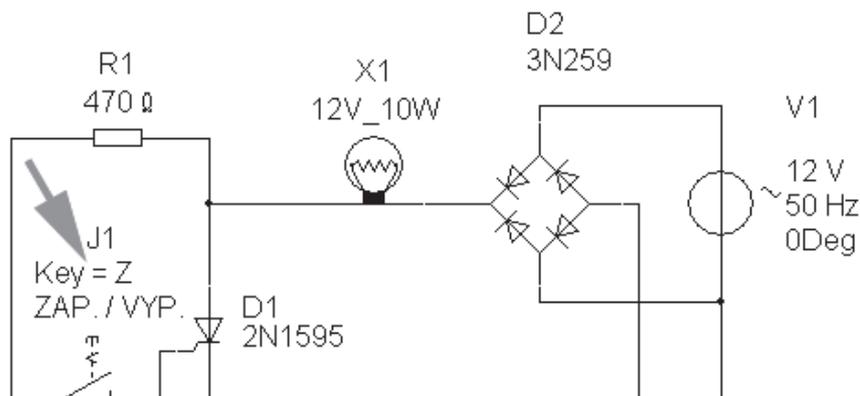
Ve schématu použijeme tyristor z knihovny DIODE – SCR – 2N1595 (SCR – Silicon Controlled Rectifier) a tlačítka z knihovny ELECTROMECHANICAL – MOMENTARY_SWITCHES – PB_NO. Zátěž je demonstrována žárovkou. Schéma je na *obr. 157*.



Obr. 157 Ověření funkce tyristoru

Funkce tlačítek je následující. Tlačítko J1 slouží k zapnutí žárovky – X1 – tyristor se otevře, tlačítkem J2 tyristor uzavřeme a žárovka zhasne.

V případě, že chceme tyristor ovládat pouze jedním spínačem, musíme v zapojení použít usměrněný tepavý proud. Zapojení pro ovládání spínání zátěže tyristorem a jedním spínačem je na obr. 158.



Obr. 158 Ovládání tyristoru jedním spínačem

V dalším textu budeme věnovat pozornost bipolárním a unipolárním tranzistorům. Zaměříme se na jejich charakteristiky, které můžeme porovnávat s firemními katalogovými listy.

6.6 VLASTNOSTI A FUNKCE BIPOLÁRNÍHO TRANZISTORU

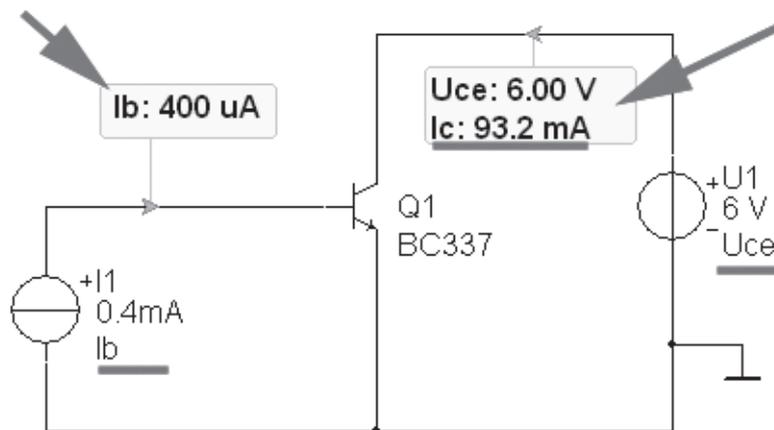
Bipolárních tranzistorů (BJT – Bipolar Junction Transistor) je v knihovně programu velké množství. Při řešení jednotlivých úloh použijeme v obvodech rozšířený BC337. Jeho popis, parametry a charakteristiky můžeme získat v materiálech [7] a [10]. V programu můžeme využít informaci uvedenou v PLACE TRANSISTOR – SELECT A COMPONENT – BJT_NPN – BC337 – DETAIL REPORT.

Podobně, jako u diod, můžeme charakteristiky získat měřením obvodových veličin a sestrojením grafů, použitím virtuálního zobrazovače charakteristik. Pokročilejší uživatelé využijí vhodnou analýzu.

Při návrhu obvodů s tranzistory nás budou zajímat především výstupní charakteristiky. Výstupní charakteristika při zapojení BJT se společným emitorem (SE) je závislost:

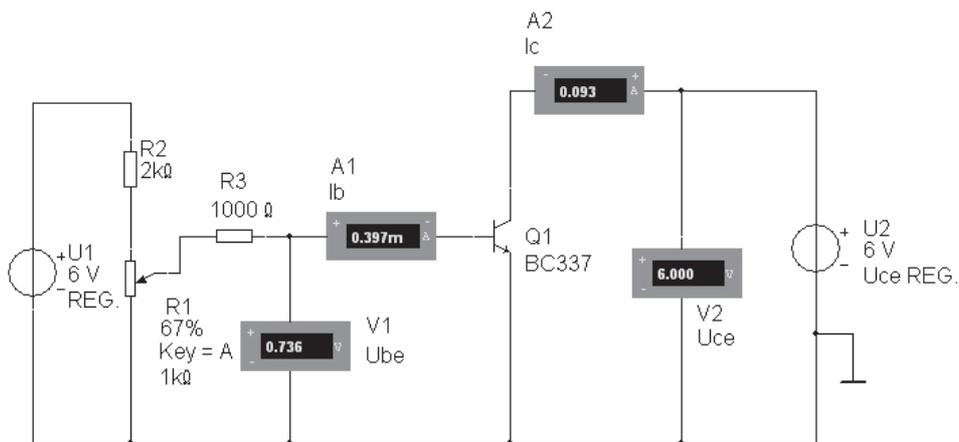
$$I_C = f(U_{CE}); I_B = \text{const}$$

Schéma pro zjištění obvodových veličin a následné sestrojení výstupních charakteristik je na obr. 159. Pro jednoduchost jsme použili v obvodu báze proudový zdroj.



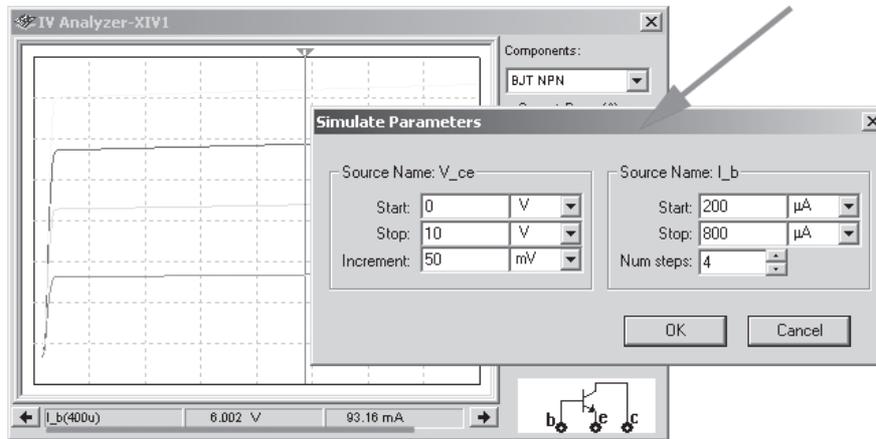
Obr. 159 Schéma pro měření výstupní charakteristiky BC337

V laboratoři při reálném měření charakteristik tranzistorů používáme schéma, které je na obr. 160. Zjištěné obvodové veličiny jsou v obou případech stejné.

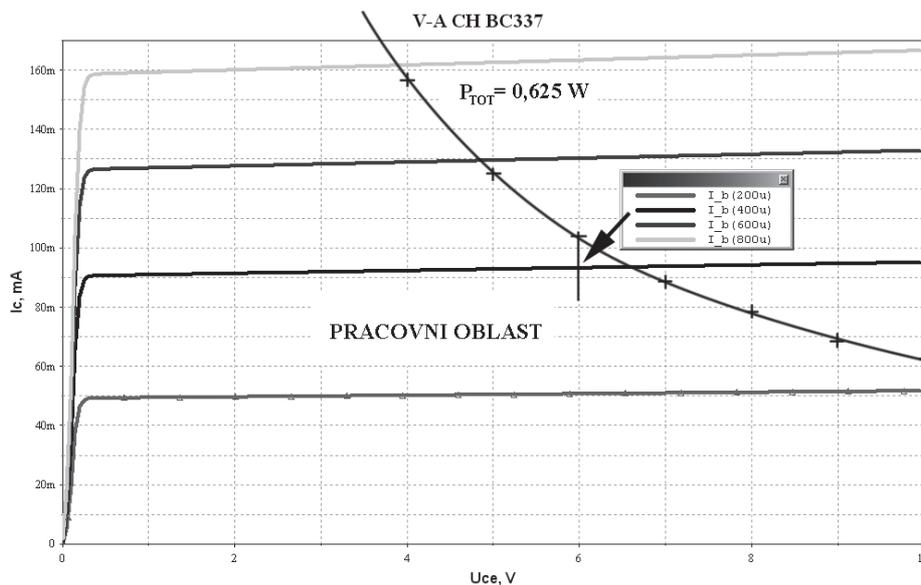


Obr. 160 Schéma pro měření charakteristik BJT

Následně si výstupní charakteristiky použitého BJT vytvoříme pomocí zobrazovače charakteristik. Na obr. 161 je pohled na obrazovku zobrazovače s nastavenými parametry a na obr. 162 je vzhled výstupních charakteristik BC337 z prostředí GRAPHER VIEW.



Obr. 161 Obrazovka zobrazovače charakteristik



Obr. 162 Výstupní charakteristiky BC337

Vygenerované charakteristiky jsou doplněny o hyperbolu ztrátového výkonu $P_{TOT} = 0,625 \text{ W}$ (kolektorové ztráty), která společně s hodnotami [10] $I_{C_{MAX}}$ (0,5 A) a U_{CE0} (45 V) vymezuje pracovní oblast tranzistoru. Při umístění pracovního bodu mimo pracovní oblast by reálně došlo ke zničení tranzistoru.

$$P_{TOT} = U_{CE} \cdot I_C + U_{BE} \cdot I_{BE} \approx U_{CE} \cdot I_C \quad [\text{W}]$$

Hyperbolu ztrátového výkonu $P_{TOT} = 0,625 \text{ W}$ si můžeme sestavit: $I_C = \frac{P_{TOT}}{U_{CE}}$

V tabulce jsou uvedeny výsledky.

U_{CE} [V]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_C [A]	0,625	0,3125	0,208	0,156	0,125	0,104	0,089	0,078	0,069	0,0625

kap.

6

Z charakteristik můžeme určit proudový zesilovací činitel h_{21E} (další označení β nebo h_{FE}).

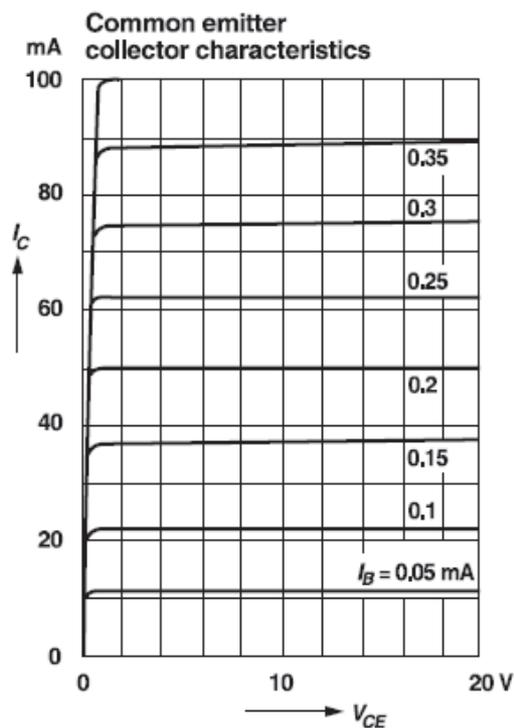
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}; \quad U_{CE} = const$$

Při $U_{CE} = 1$ V je

$$\beta = \frac{127 - 50}{0,6 - 0,2} = 192,5$$

V katalogovém listu [10] je podle typu tranzistoru BC337 při $U_{CE} = 1$ V $h_{FE} = 100-630$.

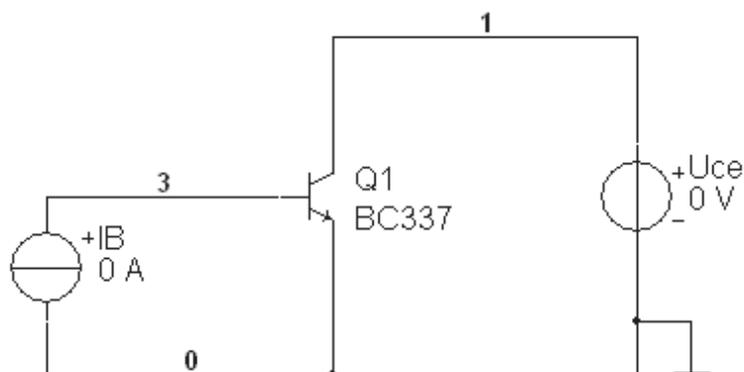
Pro srovnání jsou na obr. 163 zobrazeny výstupní charakteristiky reálného tranzistoru BC337, které jsou převzaty z katalogového listu [10]. Charakteristiky se mírně odlišují od charakteristik získaných simulací.



Obr. 163 Výstupní charakteristiky BC337 z dokumentace

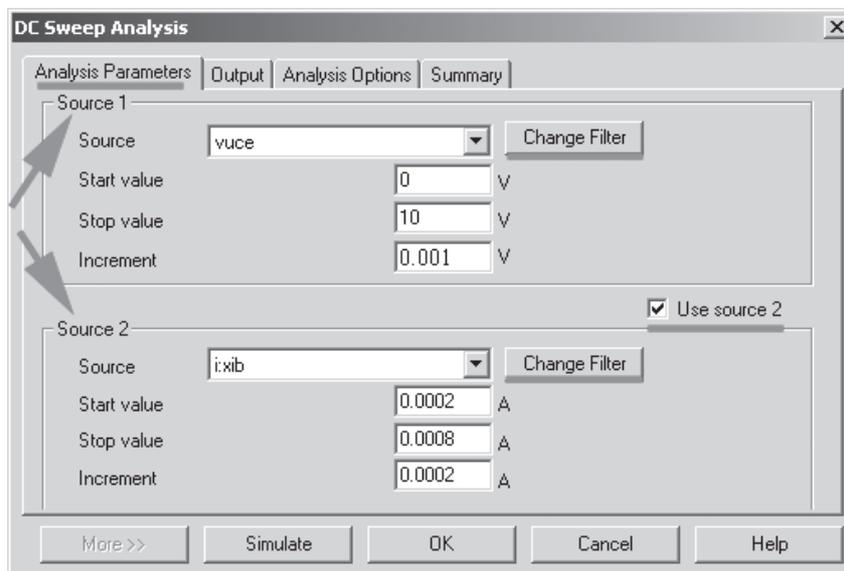
Pro získání výstupních charakteristik tranzistorů můžeme využít rozmiťanou stejnosměrnou analýzu DC SWEEP ANALYSIS. Podstatou této analýzy je opakovaný výpočet pracovních bodů při změně napětí nebo proudu jednoho nebo dvou zdrojů.

Na obr. 164 je vhodné schéma zapojení pro tento druh analýzy.



Obr. 164 Zapojení pro rozmiťanou stejnosměrnou analýzu BJT

Nejdříve si určíme způsob rozmiťání napětí kolektor–emitor U_{CE} – od 0 V do 10 V, krok rozmiťání zvolíme 1 mV. Následně určíme rozmiťání proudu báze I_B – od 0,2 mA do 0,8 mA s krokem 0,2 mA. V menu zvolíme SIMULATE – ANALYSES – DC SWEEP a parametry zadáme do otevřeného okna DC SWEEP ANALYSIS, které je na obr. 165.



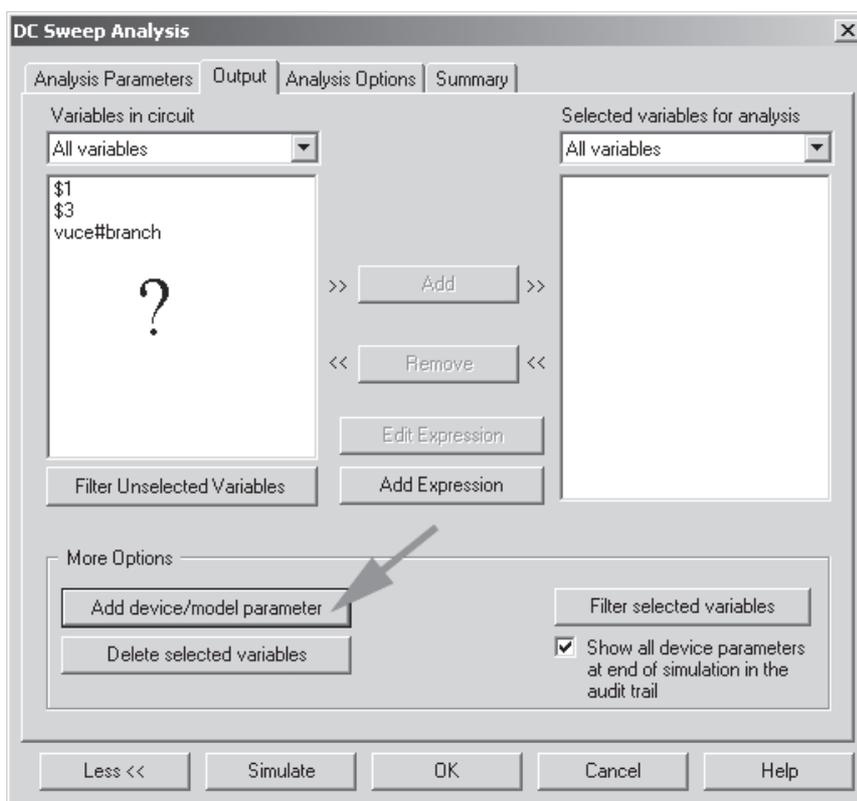
Obr. 165 Nastavení parametrů rozmiťané stejnosměrné analýzy BJT

Nastavení zdroje proudu I_B (Source 2) provedeme tak, že klikneme na tlačítko změny filtru CHANGE FILTER a zaškrtneme všechny volby a potom zvolíme i:xib.

Při tomto nastavení bude nejdříve provedena simulace při $I_B = 0,2$ mA a změně napětí U_{CE} od 0 do 10 V. Potom dojde ke změně proudu I_B na 0,4 mA a opět k postupné změně U_{CE} . Simulace se ukončí při $I_B = 0,8$ mA. Prakticky tento postup uvidíme při spuštění simulace v otevřeném okně GRAPHER VIEW (podle parametrů vašeho PC a nastavení kroků změny parametrů může analýza trvat i několik sekund!!!!).

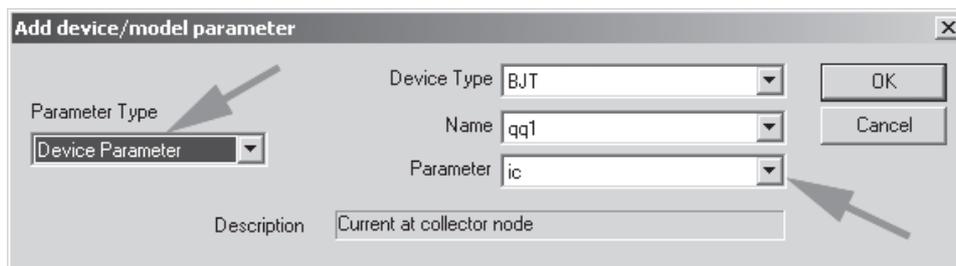
Výstupem analýzy je proud kolektoru I_C . Otevřeme záložku OUTPUT a v případě, že není parametr I_C dostupný musíme postupovat následujícím postupem.

Klikneme na tlačítko MORE a ADD DEVICE/MODEL PARAMETER (přidat parametr součástky/modelu). Okno analýzy je zobrazeno na obr. 166.



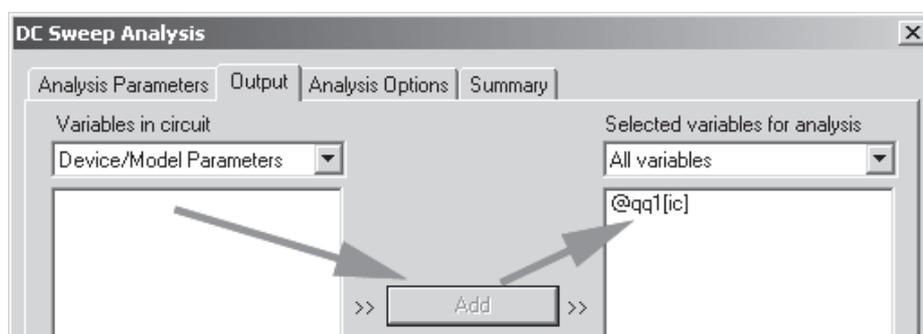
Obr. 166 Nastavení výstupu analýzy

V otevřeném okně ADD DEVICE/MODEL PARAMETER provedeme nastavení, která jsou patrná z obr. 167.



Obr. 167 Nastavení výstupu – proudu kolektoru

Po zvolení parametru se po stlačení tlačítka OK otevře okno DC SWEEP ANALYSIS a známým způsobem zařadíme proud kolektoru @qq1(ic) jako výstup simulace. Výsledek je patrný z obr. 168.



Obr. 168 Závěrečné nastavení výstupu analýzy

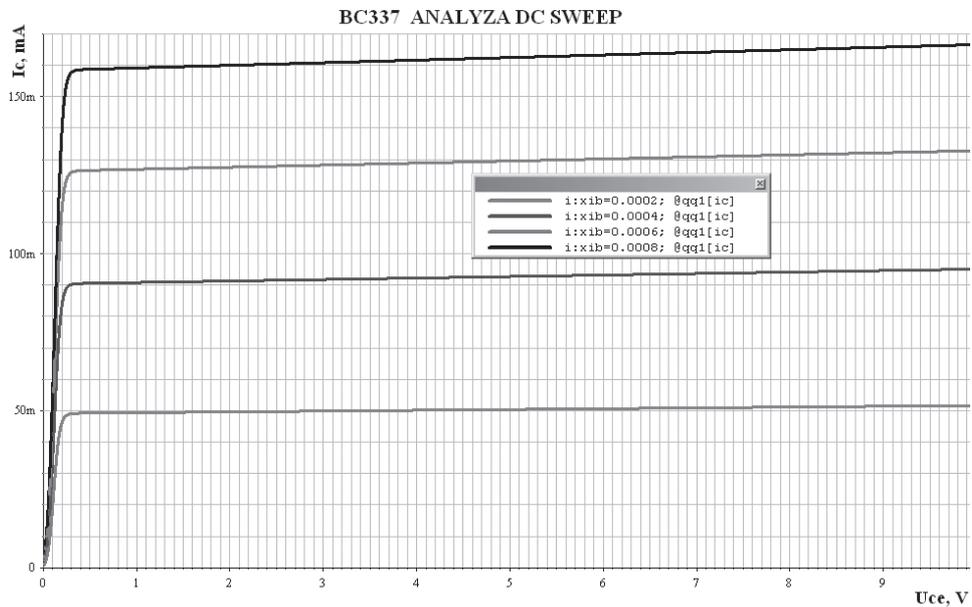
Po stisknutí tlačítka SIMULATE se spustí vlastní simulace a v otevřeném okně GRAPH VIEW sledujeme vytváření výstupních charakteristik. Výstupní charakteristiky vytvořené tímto způsobem jsou na obr. 169.

Pro správnou funkci obvodů s tranzistory je nutné nastavení klidového pracovního bodu. Jako výchozí využijeme výstupní charakteristiky zobrazené na obr. 169 a doplníme je o zatěžovací přímku na které si zvolíme klidový pracovní bod P_0 .

Naší úlohou bude pomocí vypočítané hodnoty rezistoru R_b v obvodu báze tranzistoru nastavit klidový pracovní bod se souřadnicemi $P_0 [I_c, 0,5 U_{cc}]$.

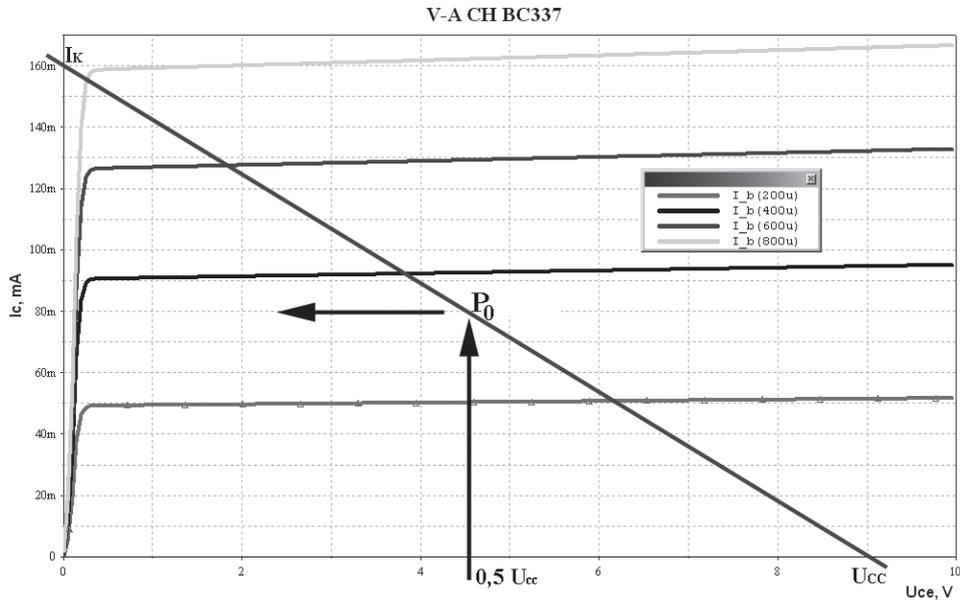
Zadané hodnoty:

- napájecí napětí $U_{cc} = 9 \text{ V}$,
- hodnota rezistoru v obvodu kolektoru tranzistoru $R_c = 56 \Omega$,
- použitý tranzistor BC337.



Obr. 169 Výstupní charakteristiky získané rozmítanou stejnosměrnou analýzou

Na obr. 170 jsou výstupní charakteristiky se zatěžovací přímkou pro zadané hodnoty. Zatěžovací přímka je spojnicí bodů I_K a U_{cc} .



Obr. 170 Výstupní charakteristiky a zatěžovací přímka bipolárního tranzistoru BC337

Bod I_K vypočítáme použitím vztahu:

$$I_K = \frac{U_{CC}}{R_C} = \frac{9}{56} = 160 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad I_K = 160 \text{ mA}$$

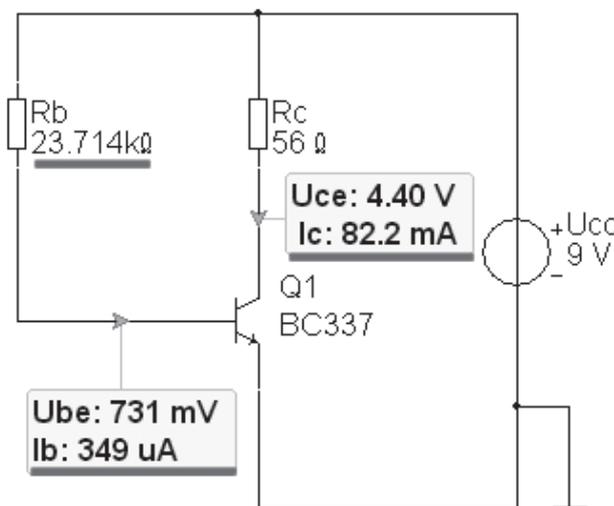
Pro zadané napětí klidového pracovního bodu $0,5 \cdot U_{CC}$ ($U_{CE} = 4,5 \text{ V}$) z charakteristik odečteme hodnotu $I_b = 350 \mu\text{A}$ (přibližně).

Hodnotu odporu rezistoru R_b vypočítáme ze vztahu:

$$R_b = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_b} = \frac{9 - 0,7}{0,35 \cdot 10^{-3}} = 23\,714 \Omega$$

Pro výpočet volíme $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$.

Výpočet a nastavení klidového pracovního bodu prověříme simulačním programem, schéma a zjištěné obvodové veličiny jsou na obr. 171.



Obr. 171 Nastavení klidového pracovního bodu tranzistoru

Údaje zjištěné v průběhu simulace odpovídají zadaným pro zvolený pracovní bod.

Nastavení klidového pracovního bodu tranzistoru je možné provést odporovým děličem v obvodu báze. Schéma zapojení s označením proudů a hodnot součástek je na obr. 172.

Zvolíme si hodnoty – napájecí napětí $U_{CC} = 9 \text{ V}$, $R_C = 100 \Omega$, BC337.

$$I_K = \frac{U_{CC}}{R_C} = \frac{9}{100} = 90 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad I_K = 90 \text{ mA}$$

Na výstupní charakteristice (obr. 170) zvolíme pracovní bod $P_0 [I_C, 0,5 U_{CC}]$, sestrojíme zatěžovací přímkou s $I_K = 90 \text{ mA}$ a $U_{CC} = 9 \text{ V}$. Odečteme hodnoty pro tento bod: $I_b = 150 \mu\text{A}$, $I_c = 40 \text{ mA}$ a $U_{CE} = 4,5 \text{ V}$.