

# CURRENT SOURCES AND ACTIVE LOAD IN BIPOLAR TECHNOLOGY

**Pavel Janík**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xjanik09@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Michal Horák

E-mail: horakm@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

Practical use of bipolar current sources as simple independent current source and current mirror. There are described current mirrors called Widlar's, Wilson's and Cascode and explained their working principle and parameters. Mentioned circuits has been analysed by Pspice and Snap.

Elementary bipolar amplifier stages and analysis function with use classic passive load. Explain function active bipolar load realized by current source and describe significant parameters. Using current source in mode current mirror as active load and demonstration differences between passive and active load.

## 1. ÚVOD

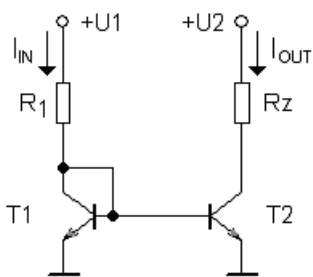
Základním stavebním kamenem této práce je činnost a vlastnosti zdroje proudu. Tento zdroj za určených podmínek dodává konstantní proud tekoucí jeho výstupními svorkami, při měnící se impedanci zátěže. Aby tohoto mohl zdroj dosáhnout, je třeba realizovat příslušné zapojení, regulující výstupní proud na základě snímání okamžité hodnoty zpětnou vazbou. V zásadě jednodušší variantou je použití bipolárního tranzistoru, který se svými výstupními voltampérovými charakteristikami přímo předurčuje k využití jak zdroj proudu.

Významným použitím zdrojů proudu není pouze požadavek dodávat neměnný proud, ale i poskytnutí speciálních nenahraditelných vlastností využitých v zesilovačích. Jedná se zde o přesné nastavení pracovního bodu tranzistorů a využití dynamické stránky proudového zdroje, kdy poskytuje vysoký zatěžovací odpor.

## 2. ROZBOR

### 2.1. ZÁKLADNÍ POPIS A PRINCIP ČINNOSTI WIDLAROVA PROUDOVÉHO ZRCADLA

K realizaci jednoduchého Widlarova proudového zrcadla stačí pouze dva bipolární tranzistory. U tranzistorů vyžadujeme aby jejich vlastnosti byly co nejvíce totožné, a to zejména jejich napětí  $U_{BE}$  a proudový zesilovací činitel  $\beta$ .



Vstupní proud  $I_{IN}$  prochází propustně pólovaným přechodem B-E tranzistoru T1, čímž vzniká úbytek napětí  $u_{BE}$ . Toto napětí je zároveň i na přechodu B-E tranzistoru T2 a vyvolává tak proud  $I_{OUT}$  stejné hodnoty jako vstupní avšak snížený o proud tekoucí do báze T2. Protože vstupující proud  $I_{IN}$  protéká rezistorem  $R_1$  a dělí se na polovinu v uzlu, kde jsou propojeny báze tranzistorů, čímž dochází k chybě zrcadlení [2] [3].

**Obrázek 1:** Widlarovo proudové zrcadlo

Celkový přenos proudu však zásadněji ovlivňuje rozdílná hodnota napětí  $U_{CE}$  u obou tranzistorů. U T1 je napětí  $U_{CE}$  rovno napětí  $U_{BE}$ , tedy méně jak 1V, u T2 je podstatně větší čímž dochází k ovlivňování činitele  $\beta$  a tím i velikost proudu  $I_{OUT}$ . Projevy této chyby je možno potlačit aplikací proudové zpětné vazby, tvořené rezistory zařazenými v emitorech. Celkový proudový přenos jednoduchého Widlarova zrcadla je možné vyjádřit základním vztahem (1)

$$K_I = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}} = \frac{\beta}{\beta + 2} = \frac{1}{1 + \frac{2}{\beta}} \quad (1)$$

Čím vyšší bude proudový zesilovací činitel tranzistoru, tím více se bude potlačovat chyba zrcadlení a proudový přenos jednoduchého Widlarova zrcadla se blížit jedné [3].

Na základě provedených simulací v Pspice lze konstatovat, že chyba zrcadlení pro proudy do 1mA činí 0,2% dle citlivostní analýzy. Podstatným problémem je zde teplotní závislost zrcadlení. Teplotní analýza ukazuje, že výstupní proud roste o 0,0075% na stupeň Celsia, což je výborný výsledek. Pro proudy vyšší jak 5mA již výstupní proud roste o desítky procent.

V provedených simulacích byly použity tranzistory s Earlyho napětím 60 V a proudovým zesilovacím činitelem  $\beta = 200$ . Referenční proud  $I_{IN}$  byl nastaven na 400 $\mu$ A, napájecí napětí  $U_2$  na 10V.

## 2.2. POUŽITÍ ZDROJŮ PROUDU JAKO AKTIVNÍ ZÁTĚŽE – PRINCIP AKTIVNÍ ZÁTĚŽE

Aktivní zátěž může být součástí obvodu s tranzistory pracujícími v aktivním režimu.

Náhrada odporové pasivní zátěže proudovým zdrojem o vysokém výstupním odporu vede ke zvětšení napěťového zesílení.

Cílem jak minimalizace, tak i dosažení vyššího zesílení je eliminovat odporové zátěže a nahradit je aktivními. V běžných zesilovacích stupních je zisk omezen odporem kolektoru. Zvýšit zisk zesilovače je možné zvýšením odporu v kolektoru, toto má však za následek změnu klidového pracovního bodu a s tím související pokles kolektorového proudu. Na proudu kolektorem je závislý proudový zesilovací činitel  $\beta$ . Díky tomu zisk naopak klesá. Řešení tohoto problému spočívá v realizaci kolektorové zátěže prostřednictvím aktivních prvků, které zajistí nastavení odpovídajícího pracovního bodu pro stejnosměrné složky napětí a proudů, tak jako by to bylo při užití kolektorového rezistoru s relativně nízkou hodnotou. Pro střídavé složky zesilovaného signálu se však tato zátěž musí chovat jako impedance s vysokým odporem [1] [4].

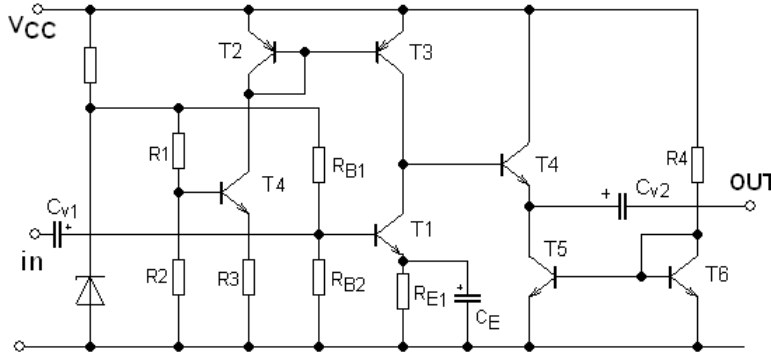
Jako aktivní zátěž pro zesilovače nízkých výkonů lze použít tranzistoru zapojeného jako proudový zdroj, či proudového zrcadla. Klidový pracovní bod je nastaven proudem

kolektorem a napětím  $U_{CE}$  zesilovacího stupně a taktéž tranzistoru ve funkci zdroje proudu.

Odpor takto vytvořené zátěže se určí podle vztahu  $r_z = \frac{U_A + U_{CE}}{I_C}$ . Vzhledem k tomu, že

Earlyho napětí  $U_A$  v závislosti na typu tranzistoru dosahuje desítek voltů a proud kolektorem  $I_C$  jednotek miliampér, případně i více, bude  $r_z$  dosahovat jednotek až stovek kiloohmů.

### 2.3. VYUŽITÍ AKTIVNÍ ZÁTĚŽE V ZESILOVAČI



Praktické využití aktivní zátěže je ukázáno na jednostupňovém zesilovači v zapojení se společným emitorem. Rezistory R1, R2 je nastaven klidový výstupní proud Widlarova zrcadla, rezistorem  $R_{B1}, R_{B2}$  klidový proud do báze tranzistoru T1.

**Obrázek 2:** Aplikace proudového zrcadla v zesilovači

$$A_u = -\frac{\beta_{T1} R_{OUT}}{R_{IN} R_x} = -\beta_{T1} \frac{I_C}{V_T} \frac{(r_{CE1} \parallel r_{CE2})}{(R_{B1} \parallel R_{B2})} \quad (3)$$

Vztah 3 slouží pro výpočet napěťového zesílení tranzistoru T1. Výstupní signál se odebírá z emitorového sledovače (emitor T4) s napěťovým přenosem rovným jedné. Pro použité tranzistory BC546A (NPN) a BC556A (PNP) dostáváme napěťový přenos -1826 V/V. Napájecí napětí  $V_{CC}$  je 16V. Podrobný výpočet je v [1]. Činnost zapojení je nyní prakticky ověřována.

### 3. ZÁVĚR

Jako velmi vhodná varianta možného zesilovače s vysokým napěťovým i proudovým zesílením bez projevu zkreslení a dobrou možností integrace je kombinace zesilovače se společným emitorem a emitorového sledovače. Dalším krokem mé práce je složitější varianta zapojení a praktické ověření funkce a parametrů zesilovače v praxi.

### LITERATURA

- [1] Sedra, A.S., Smith, K.C.: Microelectronic Circuits. Oxford University Press, 2005.
- [2] Krejčířík, A: Zdroje proudu. BEN – technická literatura, 2002
- [3] Vrba K., Buchmaier, P. Vlastnosti bipolárních proudových zrcadel. Elektrověue 1999-14, www.elektrověue.cz.
- [4] Musil, V., Prokop, R.: Návrh analogových integrovaných obvodů. Elektronické skriptum FEKT VUT (přednášky).