

LOW NOISE BANDGAP REFERENCE

Jaroslav Knop

Master Degree Programme (2), FEEC BUT
E-mail: xknopj00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Kadaňka
E-mail: Petr.Kadanka@onsemi.com

ABSTRACT

This work deals with principles of design low noise bandgap reference using multiple ΔV_{BE} in the process EPI92. The voltage reference is described and theoretic analysis noise performances is made. Results are compared with measured data of fabricated low dop-out regulators, which using similar accurate bandgap references cells.

1. ÚVOD

Tématem této práce je charakterizace šumových vlastností přesné bandgap reference, která využívá vícenásobného napětí ΔV_{BE} . Navýšené ofsetové napětí významně snižuje potřebu velkého poměru rezistorů pro dosažení potřebného PTAT napětí. Tyto rezistory jsou rozhodujícím multiplikativním faktorem pro velikost výsledného šumu. Na základě tohoto je posána funkce napěťové reference a proveden teoretický rozbor jejich šumových vlastností. Výsledky jsou porovnány se sériově vyráběnými LDO regulátory, využívajícími různé typy bandgap referencí.

2. ROZBOR

2.1. PRINCIP ZMENŠENÍ POMĚRU REZISTORŮ PRO DOSAŽENÍ POTŘEBNÉHO PTAT NAPĚTÍ

Velikost teplotně nezávislého napětí BG reference na obrázku 1 se stanoví jako

$$V_{BG} = V_{BE2} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_T \ln(N). \quad (1)$$

Podle [1] velikost šumu na výstupu přesné bandgap reference převážně závisí na velikosti poměru rezistorů R_1, R_2 . Poměr R_2/R_1 v závislosti na proudové hustotě N vyjádří z (1)

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_{BG1} - V_{BE2}}{V_T \ln(N)} - 1. \quad (2)$$

Tabulka 1: Vyjádření závislosti poměru rezistorů R_{11} , R_{12} na poměru proudové hustoty [1].

N	2	4	8	16	32	64
R_{11}/R_{10}	32	16	11	8	6	5

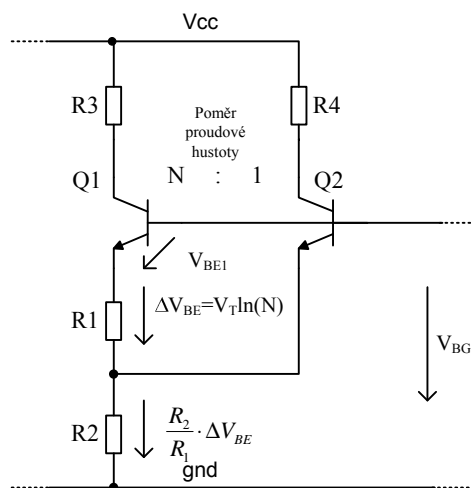
Z číselného vyjádření vztahu (2) v tabulce 1 je patrné, že i pro poměrně vysoký poměr proudové hustoty N je poměr R_{11}/R_{10} velký. Z tohoto důvodu se používá koncepce vícenásobného ΔV_{BE} , ta je využita i u analyzovaného obvodu na obrázku 2.

Ofsetové napětí ΔV_{BET} je součtem dvou chybových napětí ΔV_{BE} , jež popisuje vztah $V_T \cdot \ln(N)$. Jak známo součet dvou logaritmických vztahů s argumenty a, b lze zapsat do jednoho logaritmického vztahu s součinem argumentů a, b $\ln a + \ln b = \ln(a \cdot b)$. Pro dvě stejná chybová napětí ΔV_{BE} , každé s poměrem proudové hustoty N je tedy poměr proudové hustoty výsledného ofsetového napětí ΔV_{BET} součinem $N \cdot N = 16 \cdot 16 = 256$. Napětí ΔV_{BET} má velmi vysoký ekvivalentní poměr emitorových proudových hustot, který nelze u jednoho páru tranzistorů dosáhnout.

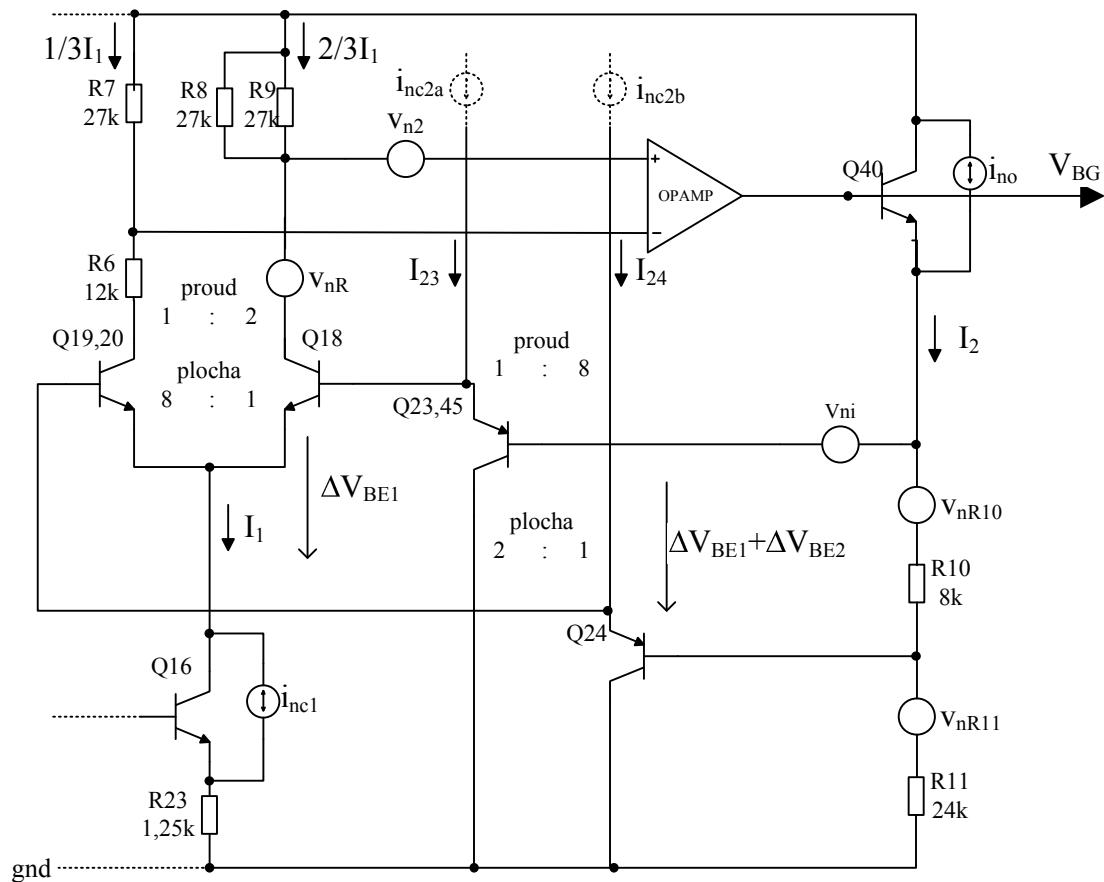
2.2. VÝSTUPNÍ ŠUM BANDGAP REFERENCE S ŠUMOVÝMI PŘÍSPĚVKY

- v_{nR10} - šum rezistoru R_{10} , v_{nR11} - šum rezistoru R_{11}
- v_{n40} - ekvivalentní šum přepočítaný z proudového šumu výstupního tranzistoru Q_{40}
- ekvivalentní šum v_{ni} tvořený součtem následujících nekorelovaných příspěvků šumu:
 - šum diferenčního páru tranzistorů $Q_{19,20}$ a Q_{18} s šumem páru emitorových sledovačů $Q_{45,23}$ a Q_{24} s ekvivalentními šumy z proudových zdrojů
 - ekvivalentní šum zátěže v_{nR} tohoto diferenčního stupně spolu s ekvivalentním šumem operačního zesilovače v_{n2} - (v závislosti na zisku diferenčního stupně)

S využitím principů superpozice se šumové příspěvky přepočtou na výstup [2].



Obrázek 1: Jednoduchá buňka BG reference



Obrázek 2: Zapojení BG reference s ofsety ΔV_{BE} a ekvivalentní šumové generátory

3. ZÁVĚR

Analyzovaná nízkošumová reference byla prakticky zrealizována a změřena. Výsledky jsou srovnány s výsledky měření vyráběných LDO regulátorů v tabulce 2. Teoretický výpočet šumu bandgap reference je v poměrně dobré shodě s naměřeným výsledkem sestaveného breadboardu reference a obvodu MC33761.

Tabulka 2: Porovnání naměřených výsledků.

Měřený obvod	Napěťová verze	Změřený šum na 5 kHz [$\text{nV}\cdot\text{Hz}^{-2}$]	Přepočtený šum ekvivalentně s 1,27V [$\text{nV}\cdot\text{Hz}^{-2}$]
Breadboard – teor.	1,27V	69,3	69,3
Breadboard – real.	1,27V	78	78
NCP623	3V	365	155
NCP565	3,3V	225	87
MC33761	3V	172	73
MC33275	3,3V	780	300

4. LITERATURA

- [1] Kadaňka Petr, Low noise Bandgap reference using multiple ΔV_{BE}
- [2] P. R. Gray and R.G Meyer, Analysis and Design of Analog Integrated Circuit 4th edition (chapter 11), New York: Wiley, 2001