

# Relatório 4 - Referência de tensão *bandgap*

Patrik Loff Peres (20103830)

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica (DEEL)

## I. INTRODUÇÃO

Neste laboratório foi implementado um circuito referência de tensão tipo *bandgap*, que consiste em um bloco com saída de corrente proporcional a temperatura absoluta (PTAT) e outro com saída de corrente complementar a temperatura absoluta (CTAT), com a topologia mostrada na figura 1. A partir da teoria e dos resultados das simulações, foram determinados os valores de largura (W) e comprimento do canal (L) dos transistores MOS, da relação de tamanhos (M) entre os transistores BJT e dos resistores ( $R_1$  e  $R_2$ ) com objetivo de obter um valor alto da figura de mérito ( $FoM = \frac{1}{\text{area} \times P \times \Delta V_{REF}}$ ).

## II. ESQUEMÁTICO

Inicialmente foi criado um esquemático do circuito proposto, mostrado na figura 1, em que os transistores MOS estão desempenhando o espelhamento de corrente entre os 3 ramos do circuito que ligam em cada BJT. Foram usados MOS com óxido mais grosso para suportar a tensão de alimentação de 2,5V, tendo em vista que a saída do circuito fica em torno de 1,2V e ficaria uma margem muito pequena para trabalhar com  $V_{DD} = 1,2V$ . Para o devido espelhamento de corrente e buscando minimizar a área e potencia consumida, foram escolhidos NMOS com  $L = 1\mu m$  e  $W = 600nm$  e PMOS com  $L = 1\mu m$  e  $W = 1200nm$ .

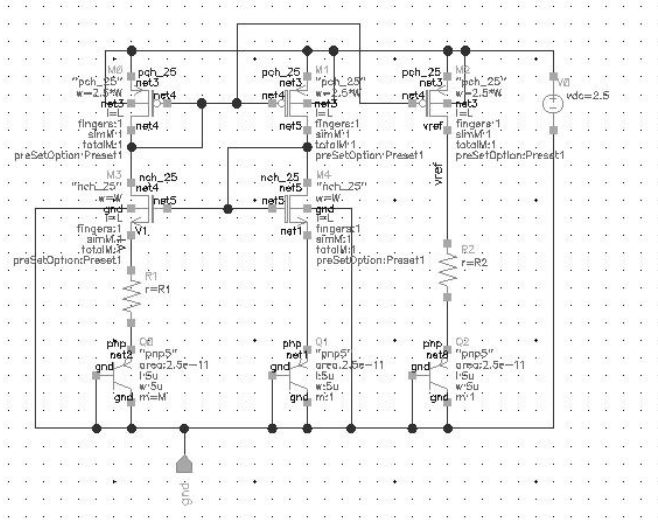


Fig. 1: Esquemático do espelho de corrente

Os resistores  $R_1$  e  $R_2$ , assim como a razão de tamanho entre os transistores BJT determinam a variação da corrente PTAT e

CTAT no circuito. Realizando a análise do circuito, podemos escrever a tensão do resistor  $R_1$  como mostra a equação 2.

$$V_{R1} = V_{EB1} - V_{EB0} = \phi_t \times [\ln(\frac{I_1}{I_{sat1}}) - \ln(\frac{I_0}{I_{sat0}})] \quad (1)$$

$$V_{R1} = \phi_t \times \ln(N) \quad (2)$$

Também, considerando que a corrente nos 3 ramos é igual, e que  $I_{sat0} = N \times I_{sat1}$ , podemos escrever a tensão de referência como mostra a equação 4

$$V_{REF} = V_{EB2} + R_2 \times I_2 = V_{EB2} + R_2 \times \frac{V_{R1}}{R_1} \quad (3)$$

$$V_{REF} = V_{EB2} + \frac{R_2}{R_1} \times \frac{kT}{q} \times \ln(N) \quad (4)$$

O objetivo principal é obter  $V_{REF}$  constante independente da temperatura, ou seja,  $\frac{\partial V_{REF}}{\partial T} = 0$ , portanto temos que:

$$\frac{\partial V_{EB2}}{\partial T} + \frac{R_2}{R_1} \times \frac{k}{q} \times \ln(N) = 0 \quad (5)$$

Resultando nas equações 6 e 7.

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I_C} = \frac{\phi_t \times \ln(N)}{I_C} \quad (6)$$

$$R_2 = \frac{-\partial V_{EB2}}{\partial T} \times \frac{R_1 \times q}{\ln(N) \times k} \quad (7)$$

Para o dimensionamento do circuito foi definido arbitrariamente  $I_C = 10\mu A$  e  $M = 10$ . Simulando o circuito da figura 2 podemos obter  $\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} \approx -1,9 \frac{mV}{C}$  como mostra a figura 3

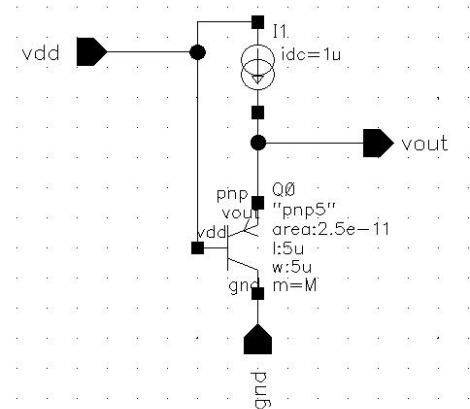


Fig. 2: Esquemático para simular  $\frac{\partial V_{BE}}{\partial T}$

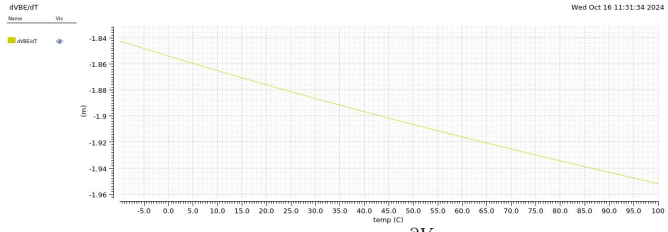


Fig. 3: Simulação de  $\frac{\partial V_{BE}}{\partial T}$

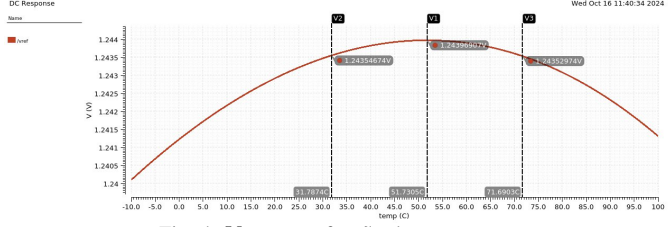


Fig. 4:  $V_{REF}$  em função da temperatura

Sendo assim, pelas equações 6 e 7 obtemos  $R_1 = 6k\Omega$  e  $R_2 = 57k\Omega$ .

### III. SIMULAÇÃO

Foram realizadas simulações DC para determinar a variação de  $V_{REF}$  com a temperatura. O resultado é mostrado na figura

4, que mostra  $V_{REF}$  em torno de 1,24V, com máximo em 1,243969V para  $T = 51,7^\circ C$  e  $\Delta V_{REF} = 439,33\mu V$ .

### IV. FIGURA DE MÉRITO

A figura de mérito depende da área ocupada, potência consumida, e  $\Delta V_{REF}$ . A área ocupada dos BJT's é de:

$$A_{BJT} = 12 \times 2,5 \times 10^{-11} = 300 \mu m^2 \quad (8)$$

E dos transistores MOS:

$$A_{NMOS} = 2 \times 1 \mu \times 0,6 \mu = 1,2 \mu m^2 \quad (9)$$

$$A_{PMOS} = 3 \times 1 \mu \times 1,2 \mu = 3,6 \mu m^2 \quad (10)$$

Totalizando:

$$A = 304,8 \mu m^2 \quad (11)$$

A potência consumida é:

$$P = V_{DD} \times I_{tot} = V_{DD} \times 3 \times I_C = 2,5 \times 3 \times 10 \mu = 75 \mu W \quad (12)$$

Sendo assim, a figura de mérito é:

$$FoM = \frac{1}{A \times P \times \Delta V_{REF}} = \frac{1}{304,8 \mu^2 \times 75 \mu \times 439,33 \mu} \quad (13)$$

$$FoM = 9,96 \times 10^{16} \frac{1}{m \times W \times V} \quad (14)$$