

Lab. de Circuitos Eletrônicos Analógicos – Exp. 02

CIRCUITO PARA REFERÊNCIA DE TENSÃO - BANDGAP

Vídeo-aula de apoio:

<https://www.youtube.com/watch?v=yRc5Ks4skwI>

1 – INTRODUÇÃO

O circuito bandgap é utilizado para produzir uma referência de tensão constante com a temperatura. Esta tensão é utilizada como uma referência a partir da qual podem ser gerados, por exemplo, níveis de comparação de tensão, correntes independentes da temperatura para alimentar outros circuitos, impedindo que as variações de temperatura alterem sua polarização.

O gráfico da Figura 1 apresenta um conjunto de medidas de tensão entre os terminais de um transistor configurado como diodo (base e coletor curto-circuitados) percorrido por corrente constante. Para uma corrente de emissor (praticamente igual a de coletor) fixa, a tensão V_{be} decresce com a temperatura de forma aproximadamente linear. Extrapolando-se as diversas curvas até 0 K, obtém-se a chamada tensão de bandgap extrapolada, de valor aproximadamente 1.265 V, independente da corrente que circula no transistor.

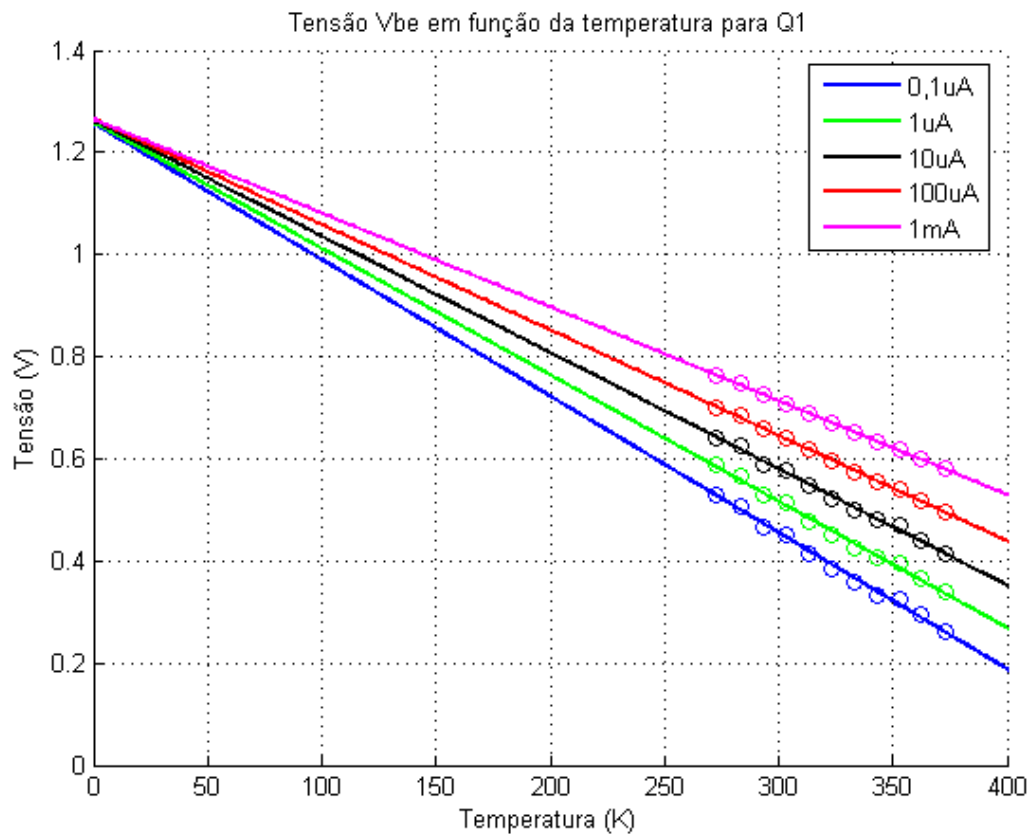


Figura 1 – Gráfico extraído experimentalmente de um transistor do CA3046.

Utilizando a topologia apresentada na Figura 2, é possível obter-se à saída do amplificador operacional uma tensão aproximadamente independente da temperatura, denominada de *referência de tensão*. Ao equacionarmos o circuito, considerando o amplificador operacional ideal, chegamos à seguinte expressão:

$$V_o = V_{BE1} + \frac{R_2}{R_x} \Delta V_{BE} \quad (1)$$

onde ΔV_{BE} é a diferença entre V_{BE1} e V_{BE2} . Se assumirmos que a corrente de saturação I_S possui o mesmo valor para ambos transistores, temos:

$$\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2} = \phi_t \ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) V_{PTAT} \quad (2)$$

onde

$$\phi_t = V_{PTAT} = \frac{kT}{q} \quad (3)$$

é proporcional à temperatura absoluta T e corresponde a aproximadamente 25mV a 300°K.

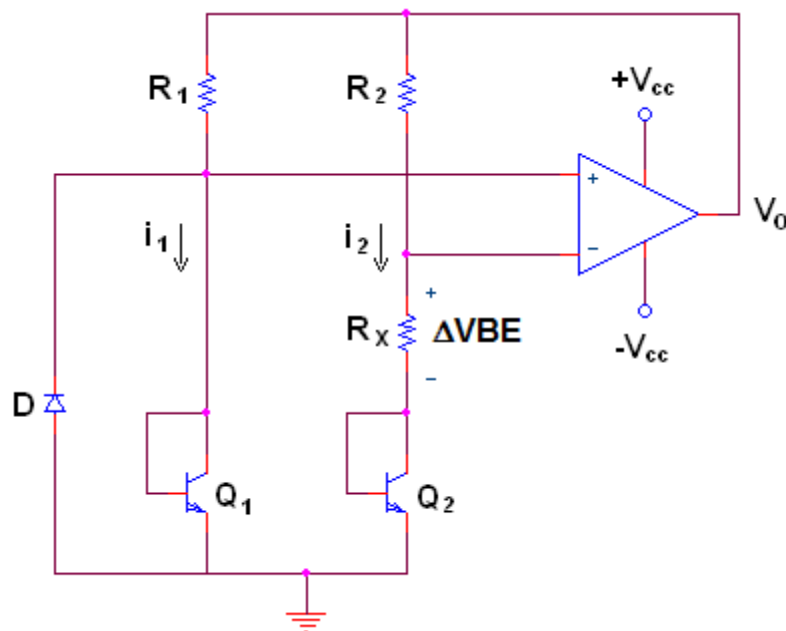


Figura 2 – Topologia do circuito Bandgap a ser implementada.

Para uma análise mais aprofundada seria necessário caracterizar-se a tensão de offset do operacional com relação à temperatura e considerá-la no equacionamento do circuito.

2 – PRÉ-LAB: PROJETO DO CIRCUITO

Dado o gráfico da Figura 1 definimos o valor da corrente I_1 como sendo 100 μA , considerando que essa será a corrente na temperatura ambiente 300°K, adotada como temperatura de referência.

1) Determine, através do gráfico, a tensão V_{BE} de Q_1 para a corrente escolhida. Observe que os pontos coletados experimentalmente assinalados no gráfico vão de 0°C até 100°C com passo de 10°C.

2) Adote $I_1 = 10 I_2$. A tensão PTAT (Φ_T) gerada sobre R_x deve ser corretamente amplificada de modo que a sua variação com a temperatura compense a variação de V_{BE1} com a temperatura, a uma dada temperatura (geralmente a temperatura ambiente, ou 300°K).

Utilizando os dados do gráfico da Figura 1, determine R_x de modo que a equação abaixo seja satisfeita. Dado $k/q = 8.614\text{e-}5 \text{ J/(K}^\circ\text{C)}$ e $\partial V_{BE}/\partial T = -2\text{mV}/^\circ\text{K}$, imponha ainda, para $T = 300^\circ\text{K}$,

$$\frac{\partial V_o}{\partial T} = 0 = \frac{\partial V_{BE1}}{\partial T} + \frac{R_2}{R_x} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \frac{\partial V_{PTAT}}{\partial T} = \frac{\partial V_{BE1}}{\partial T} + \frac{R_2}{R_x} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \frac{k}{q} \quad (4)$$

3) Quais os valores calculados de R_1 e R_2 ? Qual a referência de tensão V_o esperada?

4) Qual o seu impacto em V_o de uma tensão de offset de 2mV no opamp?

3 – PARTE EXPERIMENTAL

1) Utilizando o opamp LM741, como alimentação +/- 5V, verifique o ponto de operação DC do circuito e compare com os valores esperados. Identifique e documente os desvios relativos.

2) Para se testar a referência de tensão, aproxime a ponta do ferro de solda dos pinos do 3046, referentes aos transistores utilizados, por aproximadamente alguns minutos. Utilizando um termo-par, colete dados da tensão V_o com um multímetro, e da temperatura com um segundo multímetro. Quanto mais pontos forem coletados, melhor será a análise da variação de V_o com a temperatura (curvatura).

3) Em seguida, mantenha um saco plástico com mistura gelo-água (ou equivalente) em equilíbrio térmico em contato com o 3046. Repita o procedimento do item anterior.

4) Esboce uma curva de variação de V_o com a temperatura, calculando $(\Delta V_o/V_o)/\Delta T$ (ppm/°C). Analise os resultados.