

Bandgap

Patrik Loff Peres, Rubem José Nobre Bezerra Junior, Luiz Gabriel Gonzaga
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica | Centro Tecnológico



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Referências de Tensão

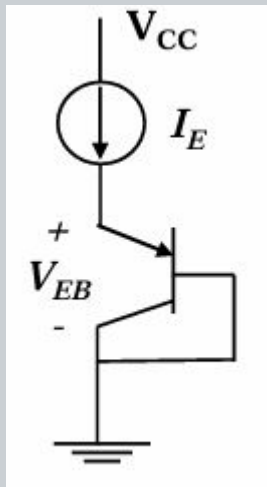
Certos tipos de sistemas eletrônicos exigem fontes de tensão com baixa variabilidade, como:

- Conversores D/A e A/D;
- Circuitos analógicos cuja figura de mérito tem dependência forte com a polarização;
- Conversores de potência.

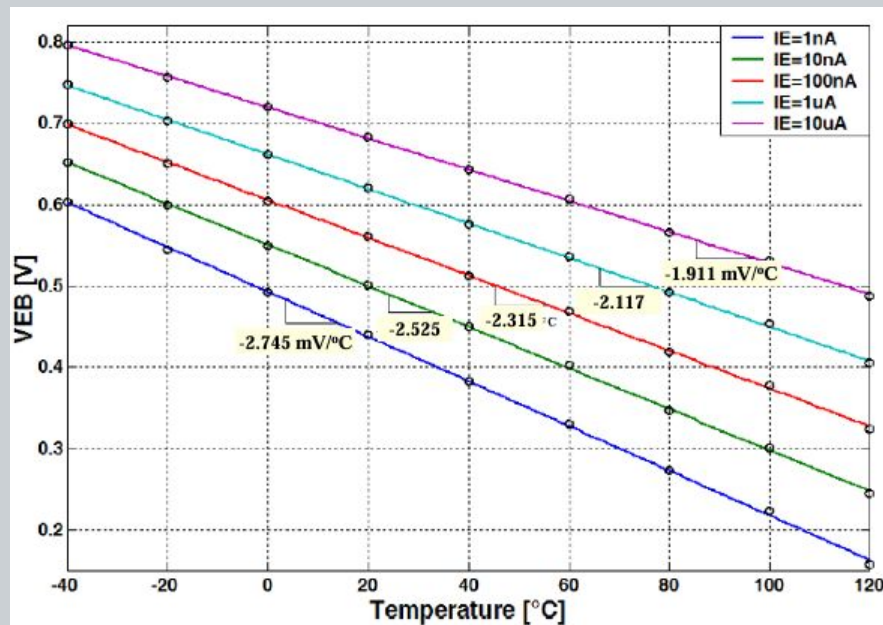
Em circuitos integrados, a principal causa de variabilidade dinâmica é a temperatura.

Variação Térmica

Em transistores bipolares ligados como diodo, a variação da tensão térmica e da corrente de saturação implica em uma variação linear de VBE com a temperatura, para corrente constante.



Um valor típico para correntes na ordem do μA é de -2 mV/K .



Fonte: Material da disciplina.

Referência de Tensão Bandgap

$$\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2} = V_{TH} \cdot \ln \frac{J_{C1}}{J_{C2}} = V_{TH} \cdot \ln \left(\frac{I_{C1} \cdot I_{S2}}{I_{S1} \cdot I_{C2}} \right) = V_{TH} \cdot \ln(n)$$

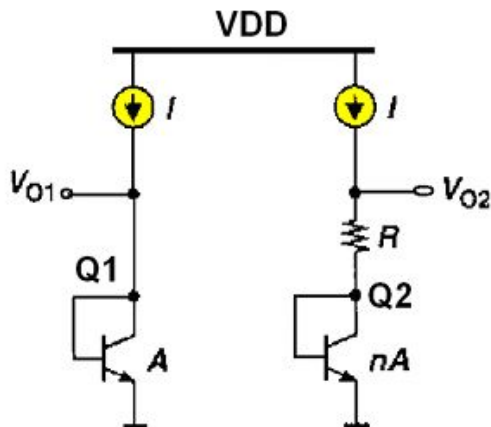


Figure 2.2: Generation of V_{TH} using two BJT's with different areas

Fonte: Colombo, 2009.

Utiliza-se a variação linear da tensão do transistor bipolar conectado como diodo, e a variação do coeficiente com as dimensões do dispositivo.

A diferença entre duas funções lineares com coeficientes negativos diferentes pode ter coeficiente positivo.

Circuitos bandgap consistem em somar tensões com coeficientes opostos de forma a obter menores variações.

Referência de Tensão Bandgap

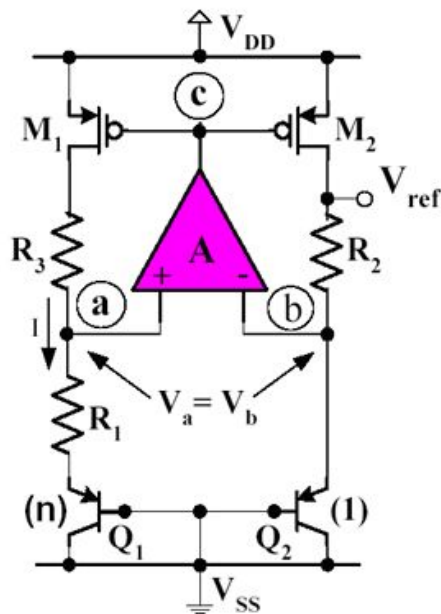


Figure 3.9: BGR2 using error-amplifier-base current mirror

Fonte: Colombo, 2009.

Este circuito de malha fechada controla a corrente de polarização de forma que Va e Vb são aproximadamente iguais. Isto impõe que a tensão ΔV_{be} (coeficiente positivo) se aplica diretamente sobre R_1 , obtendo $I = \Delta V_{be}/R_1$.

A corrente I é espelhada em R_2 , e a soma das tensões V_{be2} e $I \cdot R_2$ é uma soma entre sinais com coeficientes opostos.

$$V_{REF} = V_{BE2} + \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \ln(n) \cdot V_T$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \ln(n)$$

Estabilidade

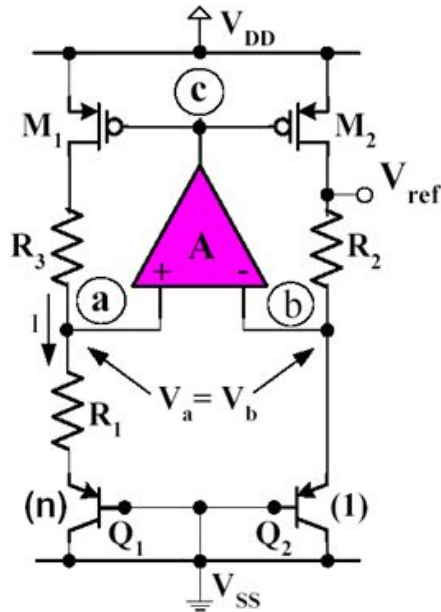


Figure 3.9: BGR2 using error-amplifier-base current mirror

Fonte: Colombo, 2009.

O circuito tem dois pontos de operação: todos $V_c = V_{dd}$ e $V_a = V_b = 0$.

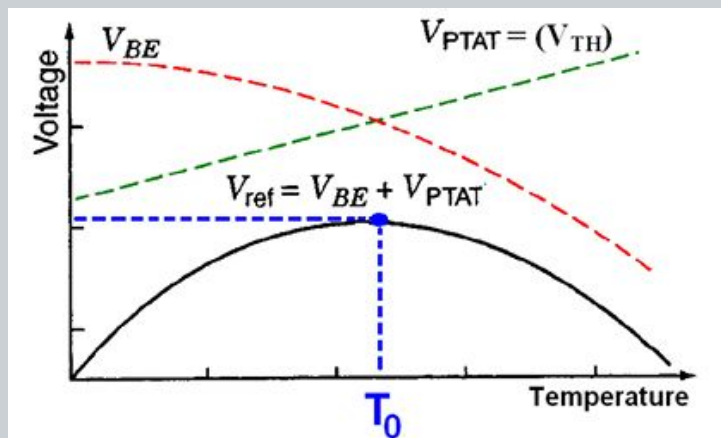
Porém, a malha de controle tende a aumentar a corrente com qualquer aumento na tensão V_b , o que ocorre devido a correntes parasíticas em M_2 .

Mas esta relação é fraca quando $V_{dd} - V_c < V_{th}$, então o circuito sai lentamente da condição desligada para a condição ligada.

Variação do Coeficiente de VBE

$$V_{BE} = V_{G0} + V_{TH} \cdot \ln\left(\frac{D}{C}\right) - [(4 - N) - x] \cdot V_{TH} \cdot \ln T \quad (2.12)$$

$$V_{BE} = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots + a_n T^n \quad (2.13)$$

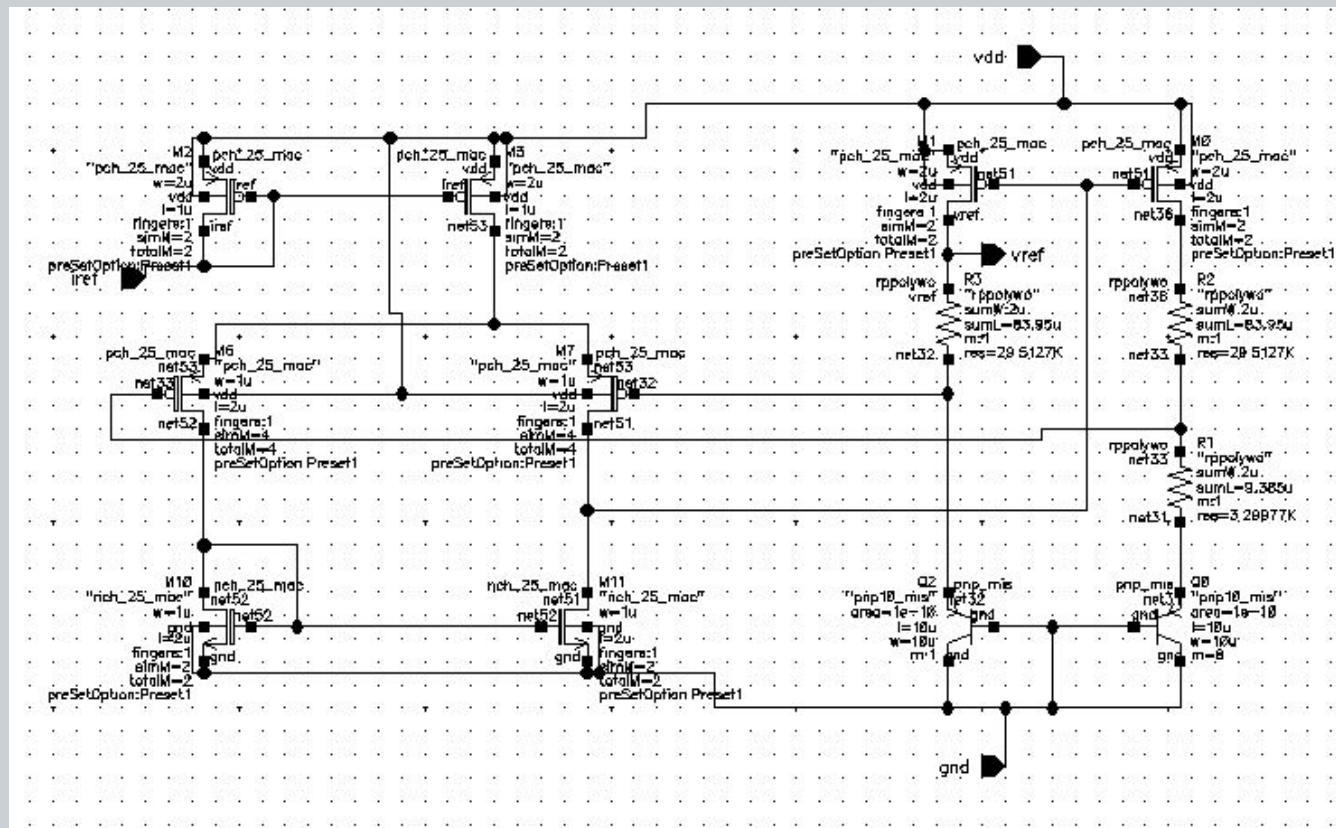


Em grandes variações de temperatura, os termos de ordem maior da expansão em série de Taylor devem ser considerados. Os termos C , N e x não dependem da temperatura, e D depende da corrente.

D impõe uma segunda derivada (a_2) negativa, já que a corrente tem dependência positiva com a temperatura no circuito em questão.

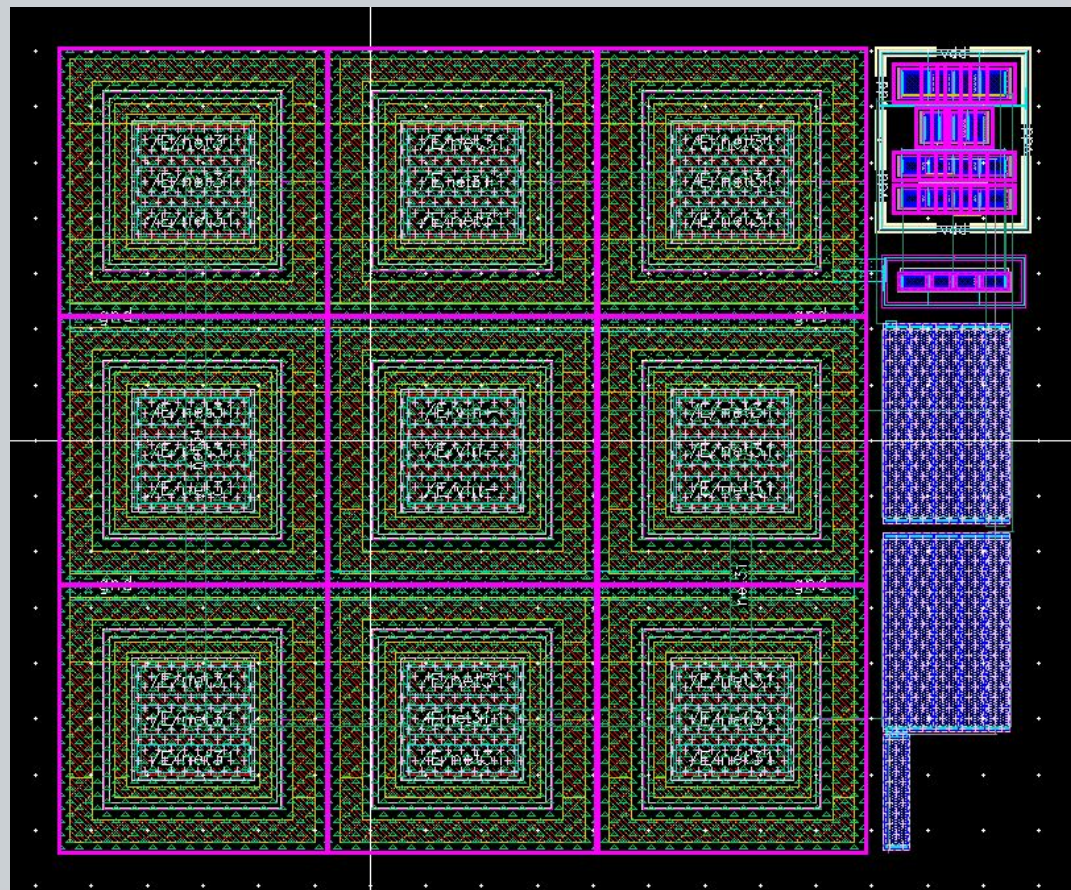
Fonte: Colombo, 2009.

Esquemático



Leiaute

Dispositivo	Dimensão (W/l)	Multi	Unidade
M2,M3	2/1	2	μm
M6-M7, M10-M11	1/2	4-2	μm
M1,M0	2/2	2	μm
R1	3.3	-	k Ω
R2	29.5	-	k Ω
R3	29.5	-	k Ω
Q1	A10	1	-
Q0	A10	8	-
Total	6307	-	μm^2



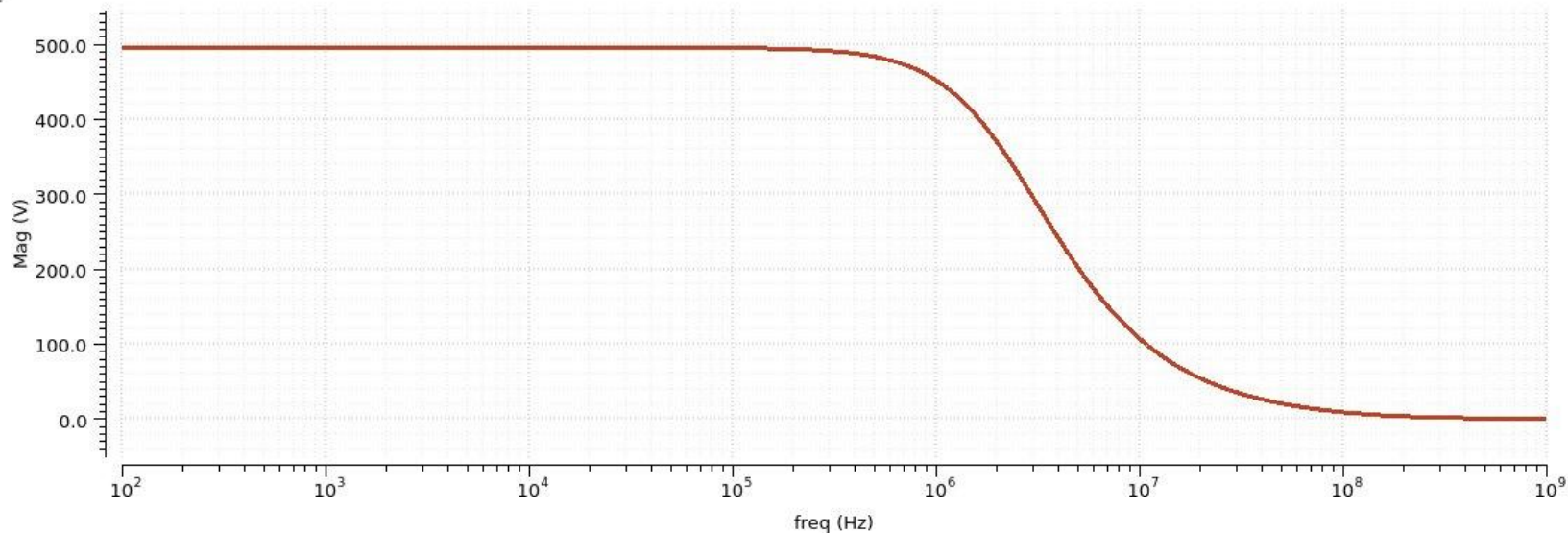
Simulações - ampop - ganho

AC Response

Thu Dec 19 18:09:26 2024 1

Name Vis

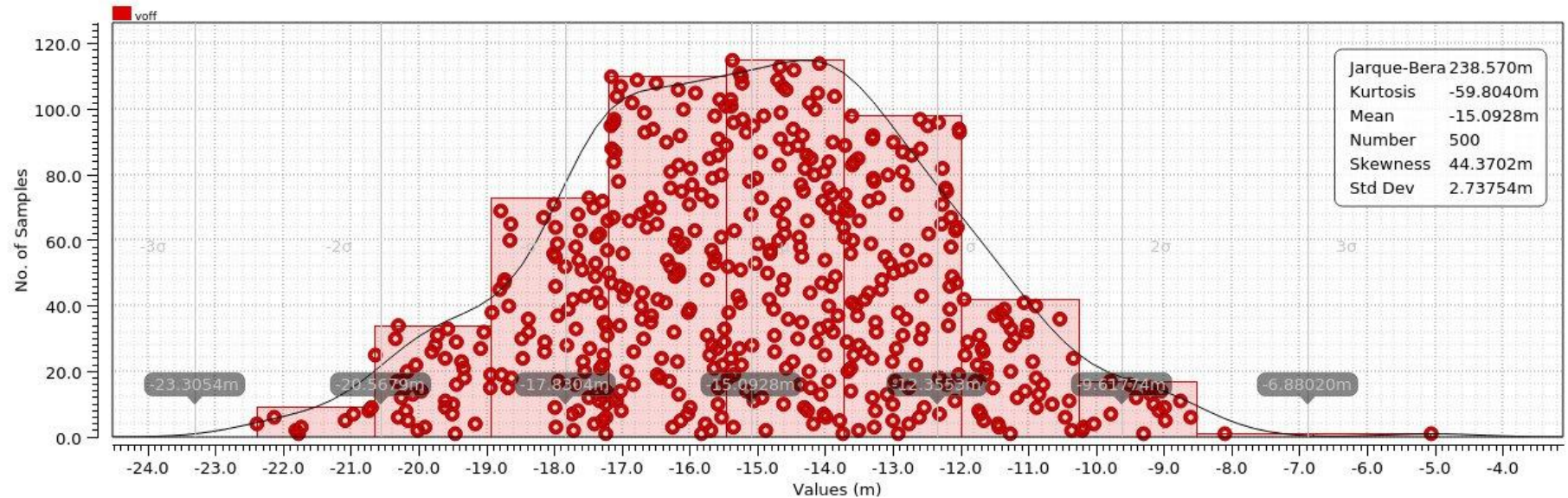
/vout



Simulações - ampop - offset

voff

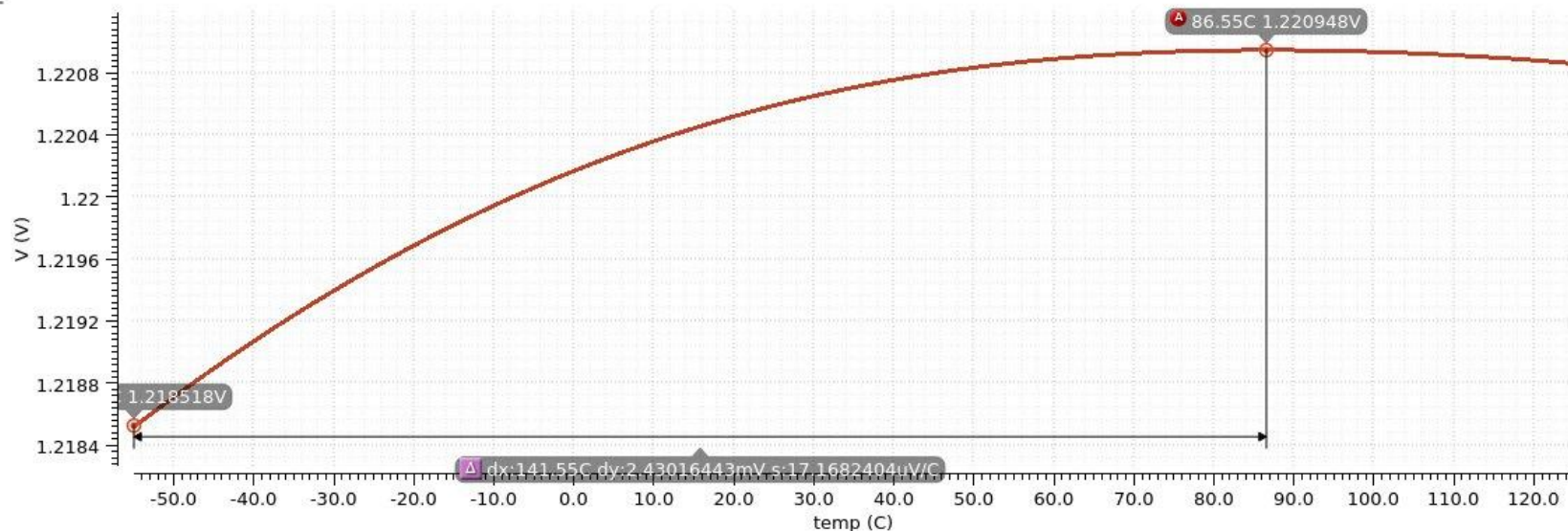
1



Simulações - bandgap

DC Analysis `dc`: temp = (-55 C -> 125 C)

Fri Dec 20 08:11:54 2024 1



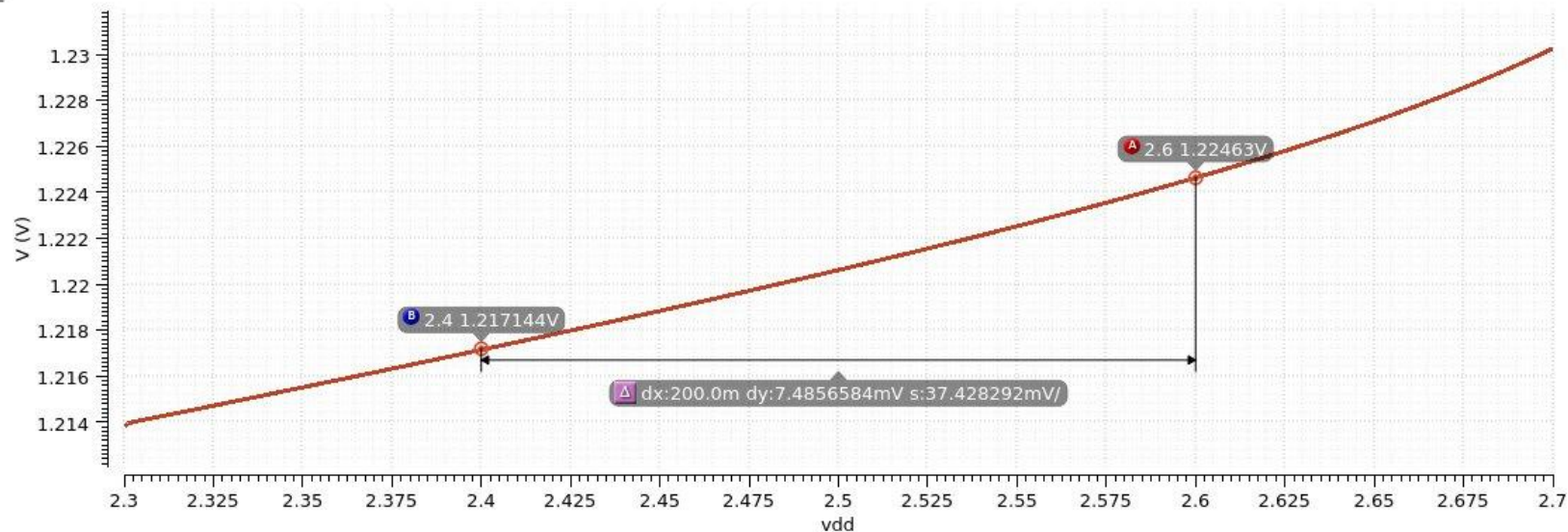
Simulações - bandgap

DC Response

Fri Dec 20 09:38:55 2024 1

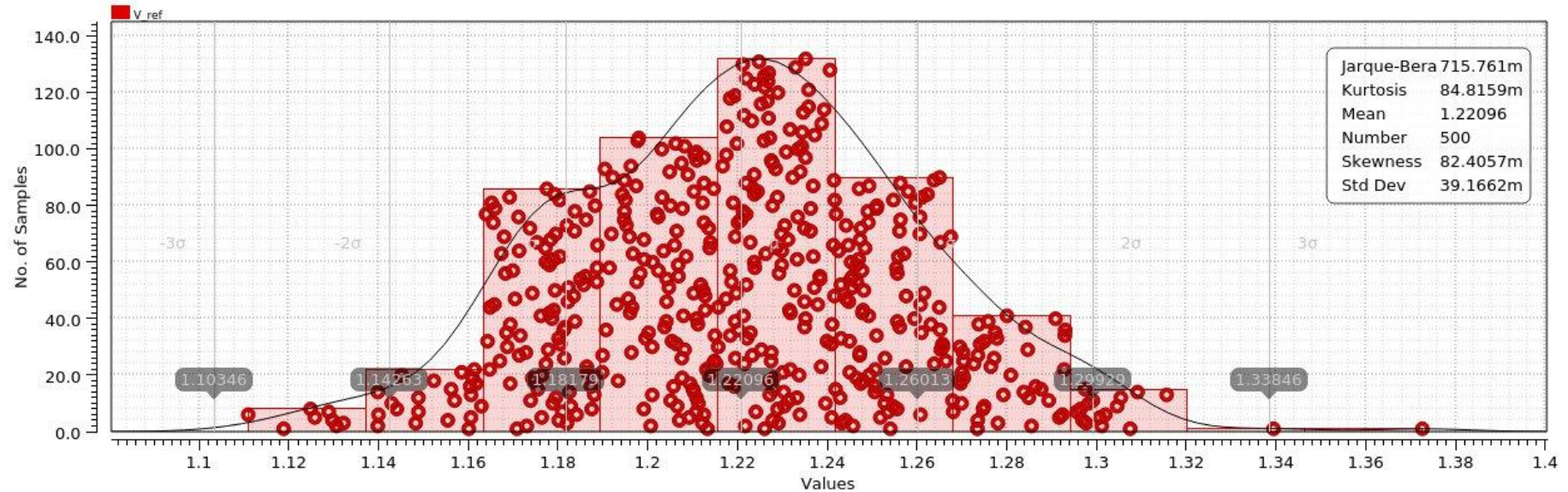
Name Vis

■ /vref



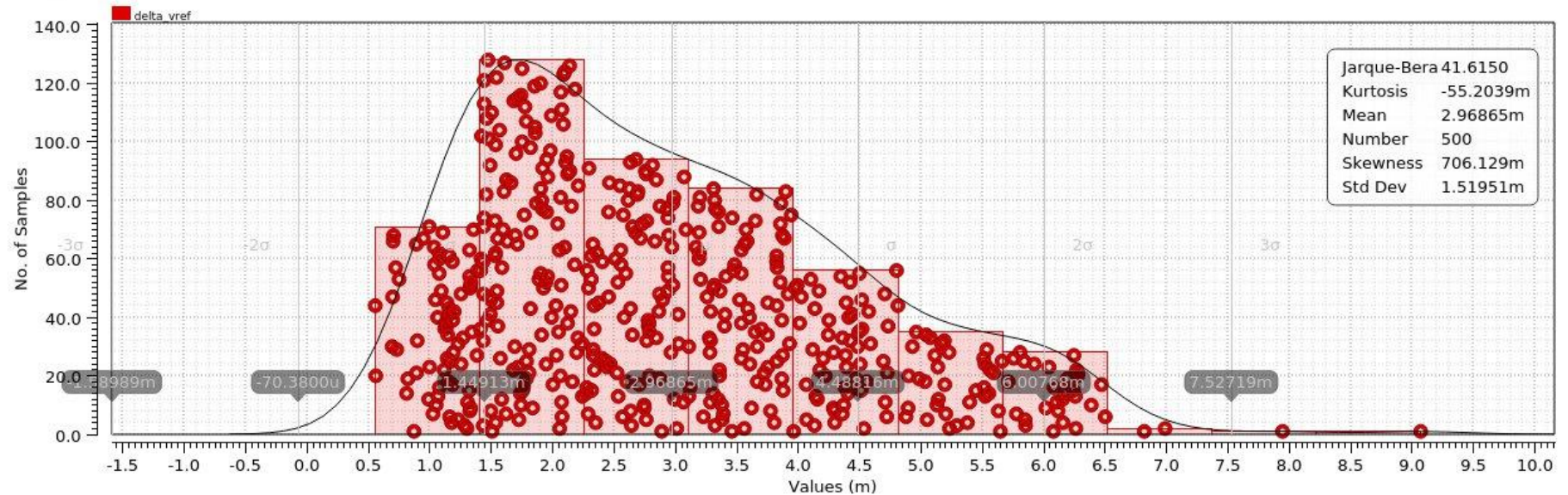
Simulações - bandgap - Vref @27°C

V_ref



Simulações - bandgap - ΔV_{ref}

delta_vref

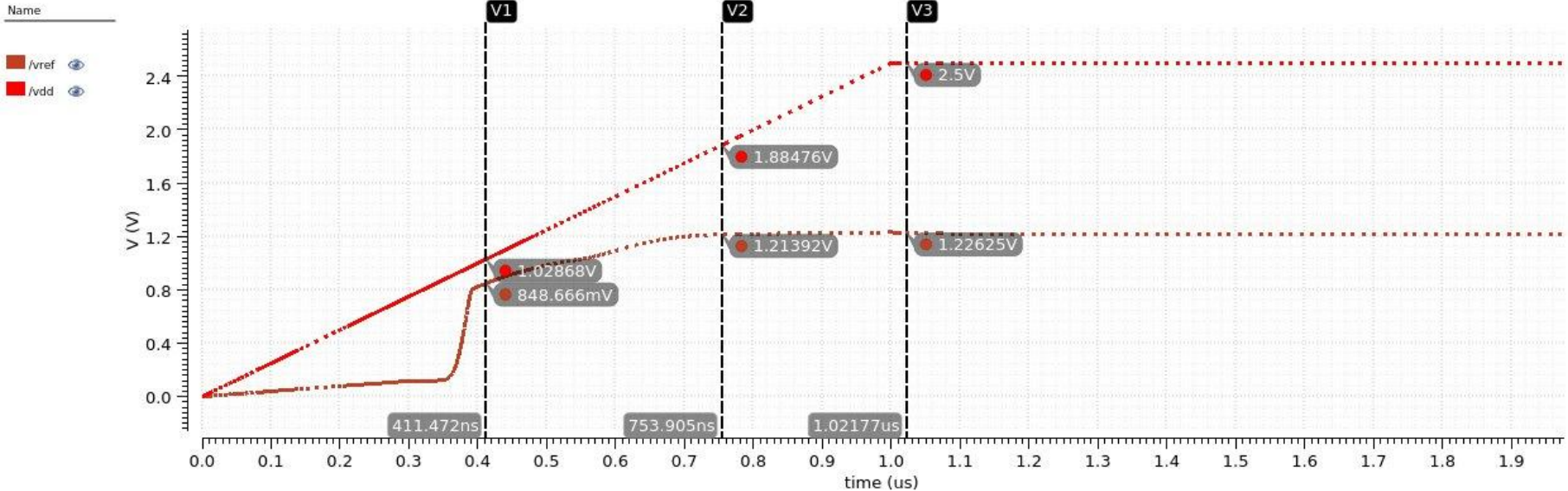


Simulações - bandgap - transiente

- step 1μ

Transient Response

Thu Dec 19 18:42:24 2024 1

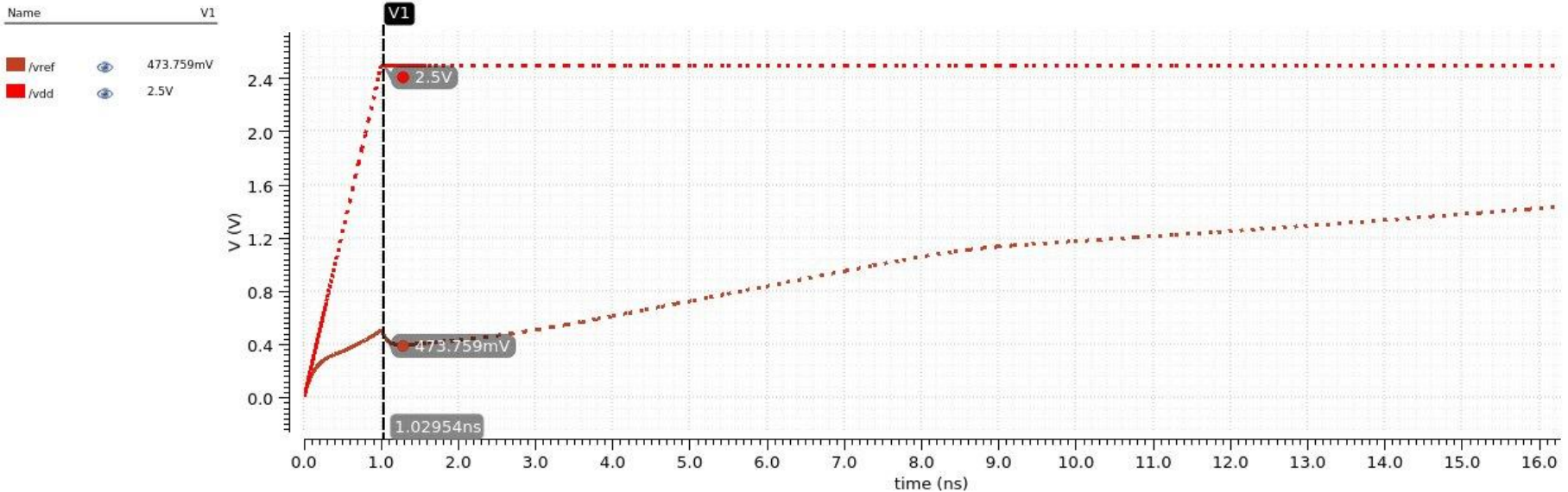


Simulações - bandgap - transiente

- step 1n

Transient Response

Thu Dec 19 18:44:05 2024 1

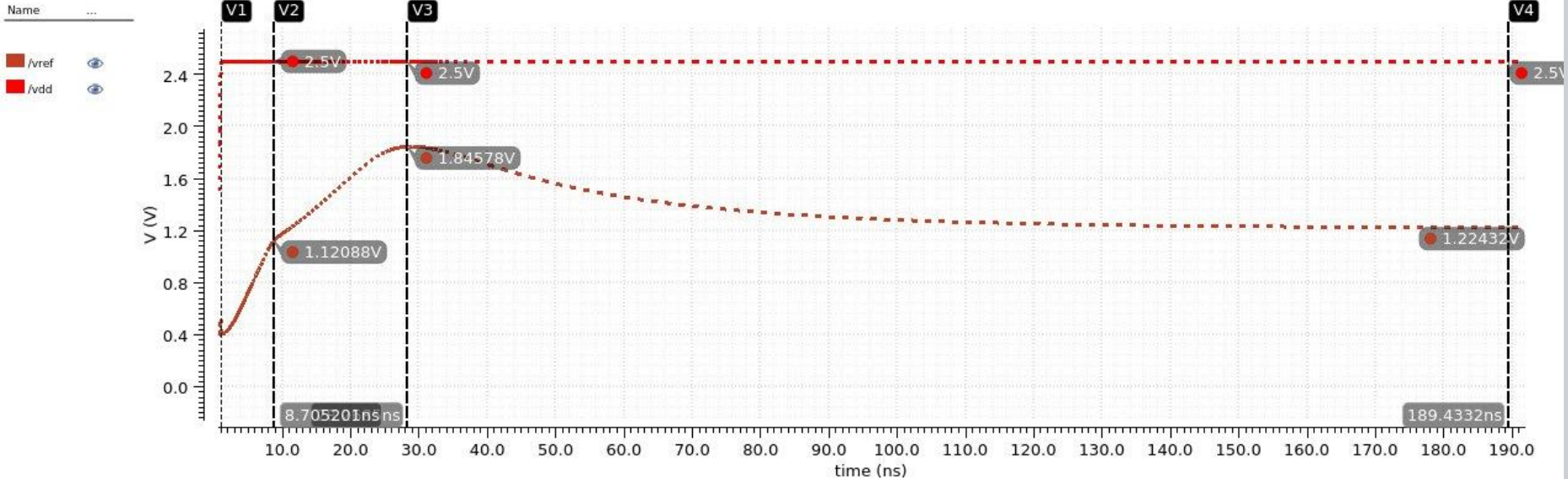


Simulações - bandgap - transiente

- step 1n

Transient Response

Thu Dec 19 18:44:05 2024 1



Resultados

Parâmetros		Nosso	Artigo
VDD	-	2,5 V	1,8 V
V_ref @27°C	nominal	1,220 V	1,166 V
	média	1,221 V	1,169 V
	desvio padrão	39,16 mV	11,25 mV
ΔV_{ref}	nominal	2,43 mV (11,06 ppm/°C)	3,12 mV (24 ppm/°C)
	média	2,968 mV	4,842 mV
	desvio padrão	1,519 mV	2,575 mV
I_supply	-	40,94 μ A	262 μ A
Área	-	6307 μ m ²	9450 μ m ² *



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA