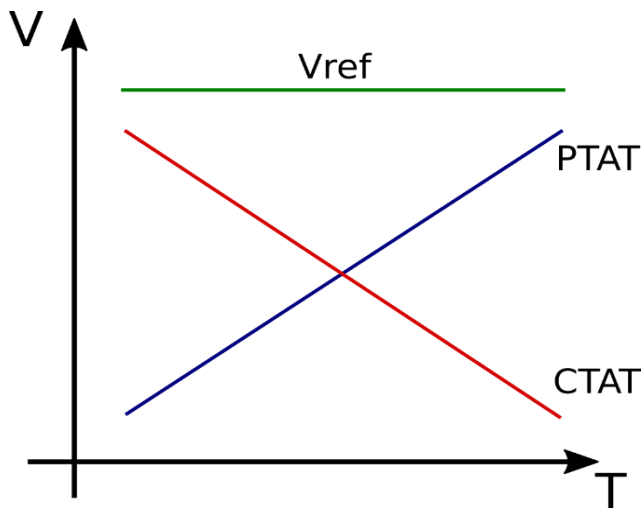


Voltage bandgap reference – referentni izvor napona

Predstavlja stabilan izvor napona V_{ref} nezavistan od varijacija temperature. Prvi ga je predložio Bob Vidler 1971. godine. Pre ovog izvora, za generisanje referentnog napona su većinom korišćene Zener diode koje su imale oscilacije vrednosti napona sa temperaturom i bile su prvenstveno za napone iznad 5V.

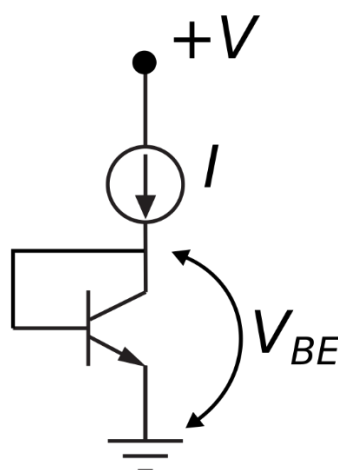
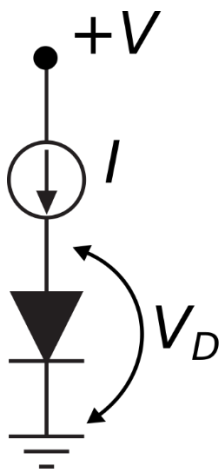
Za realizaciju stabilne vrednosti V_{ref} pri promeni temperature koristi se princip sabiranja dva izvora napona sa suprotnim temperaturnim koeficijentima.



CTAT (Complementary To Absolute Temperature) – Inverzno proporcionalan sa apsolutnom temperaturom – negativan temperaturni koeficijent T_c .

PTAT (Proportional To Absolute Temperature) – proporcionalan sa apsolutnom temperaturom – pozitivan temperaturni koeficijent T_c .

- Napon koji ima CTAT ponašanje je napon vođenja diode odnosno napon bazno-emitorskog spoja bipolarnog tranzistora kod koga je $T_c \approx -2 \text{ mV/K}$.



$$I = I_s \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \approx I_s e^{\frac{V_D}{V_T}}$$

$$V_D = V_{BE} = V_T \ln \frac{I}{I_s} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I}{I_s}$$

$$I = \text{const}; I_s = f(T)$$

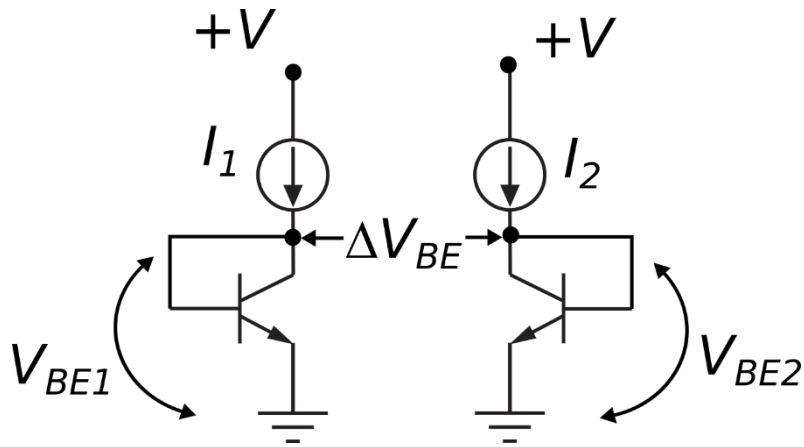
$$I_s \sim (n_i^2; \mu) \rightarrow I_s \sim \left(T^3; e^{-\frac{E_G}{kT}}; T^m \right)$$

m-koeficijent temperaturene zavisnosti pokretljivosti (obično 3/2)

$$\frac{dV_{BE}}{dT} = \frac{V_{BE} - (4 + m)V_T - E_G/q}{T}$$

$$T_{C(CTAT)} = \frac{dV_{BE}}{dT} = -2 \text{ mV/K} \quad \text{za Si na } T=300 \text{ K}$$

- Razlika 2 napona V_{BE} ima ponašanje PTAT-a:



$$\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2}$$

$$V_{BE1} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_1}{I_{S1}}; \quad V_{BE2} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_2}{I_{S2}}$$

Kod identičnih tranzistora je $I_{S1} = I_{S2} = I_S$

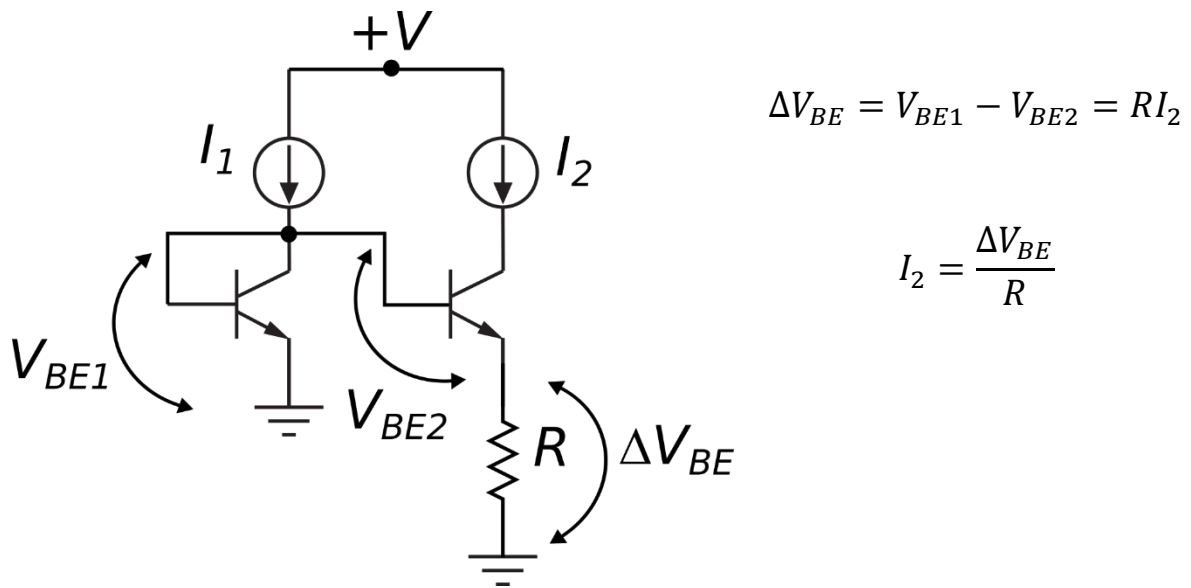
$$\Delta V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_1}{I_2}$$

Za $I_1/I_2 = \text{const} > 1$

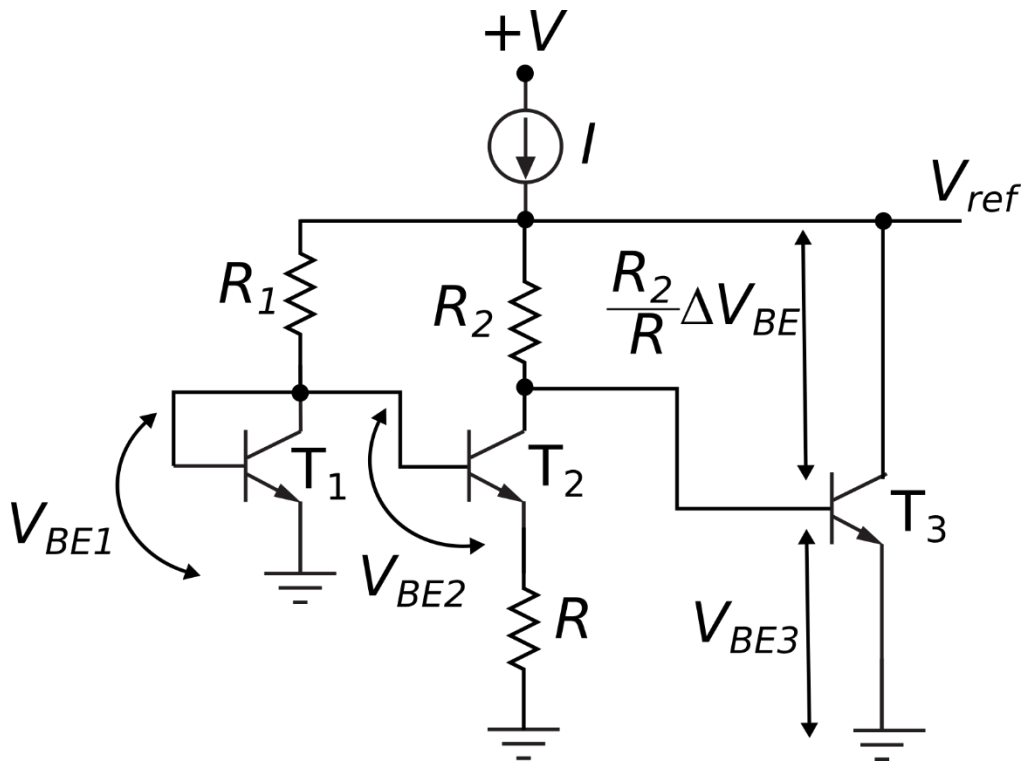
$$\frac{d(\Delta V_{BE})}{dT} = \frac{k}{q} \ln \frac{I_1}{I_2}$$

$$T_{C(PTAT)} > 0$$

- Oduzimanje 2 napona se realizuje preko otpornika



- Sabiranje PTAT i CTAT napona se realizuje Vidlerovim izvorom napona:



Smatra se da tranzistori T_1 i T_3 imaju iste vrednosti V_{BE} i da su struje baze tranzistora zanemarive.

$$I_1 = \frac{V_{ref} - V_{BE1}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{V_{ref} - V_{BE3}}{R_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_{ref} = V_{BE3} + R_2 I_2 = V_{BE3} + \frac{R_2}{R} \Delta V_{BE}$$

$$V_{ref} = V_{BE3} + \frac{R_2}{R} \frac{kT}{q} \ln \frac{I_1}{I_2} = V_{BE3} + \frac{R_2}{R} \frac{kT}{q} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

Ovakav izvor se realizuje sa otpornicima $R=R_1=600 \Omega$ i $R_2=6 \text{ k}\Omega$ tako da za $T=300\text{K}$ referentni napon ima vrednost:

$$V_{ref} = 0,65 \text{ V} + 10 \cdot 0,026 \text{ V} \cdot \ln 10 = 1,25 \text{ V}$$

Temperaturni koeficijent V_{ref} je

$$T_{C(Vref)} = \frac{dV_{ref}}{dT} = \frac{dV_{BE3}}{dT} + \frac{R_2}{R} \frac{k}{q} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$T_{C(Vref)} = -2 \text{ mV/K} + 10 \cdot 0,086 \text{ mV/K} \cdot \ln 10 = -0,02 \text{ mV/K}$$