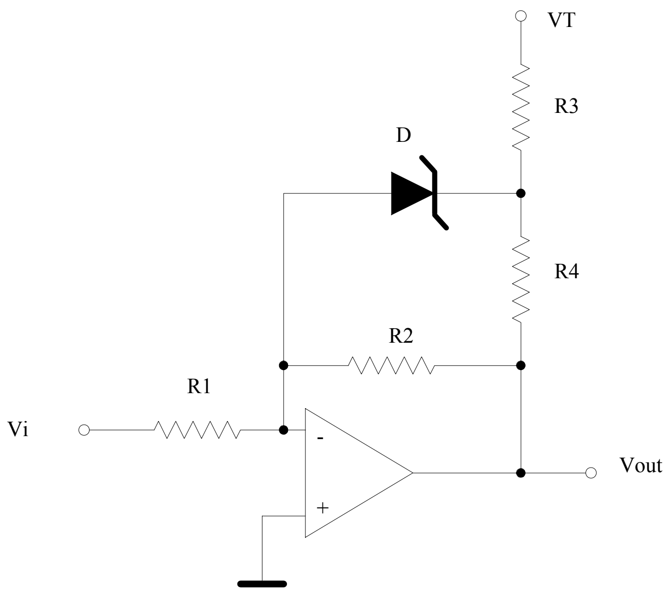
ESERCIZIO

Dato il circuito di figura, composto da un amplificatore operazionale ed un diodo zener ideali:

1) **Determinare e tracciare la transcaratteristica $V_{out} = f(V_i)$ per una tensione di ingresso variabile nell'intervallo +/- 20V determinando le coordinate dei punti di spezzamento e le pendenze dei vari tratti.**

2) **Calcolare il valore di V_i per cui $V_{out} = 8V$ e verificare il risultato sul grafico.**

Dati: $R_1 = 125\ k\Omega$, $R_2 = 100\ k\Omega$, $R_3 = 200\ k\Omega$, $R_4 = 100\ k\Omega$, $V_T = 15\ V$, $V_Z = 8\ V$



SOLUZIONE

1) Transcaratteristica

Nell'ipotesi che il diodo zener sia un circuito aperto, si possono calcolare la tensione V_D fra catodo ed anodo. Tale tensione deve risultare positiva ed inferiore a V_Z per convalidare l'ipotesi.
Le tensioni sul diodo risultano:

$$V_A = 0$$

$$V_K = V_T \frac{R_4}{R_3 + R_4} + V_{out} \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

$$V_D = V_K - V_A = V_T \frac{R_4}{R_3 + R_4} - V_i \frac{R_2}{R_1} \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

e quindi deve valere:

$$0 \le V_D \le V_Z$$

Sostituendo il valore di V_D nella disequazione si ottengono i due limiti per la tensione di ingresso V_i entro i quali rimane valida l'ipotesi fatta:

$$V_i \le V_T \frac{R_4}{R_3}\frac{R_1}{R_2} = V_{i\_Max}$$

$$V_i \ge V_T \frac{R_4}{R_3}\frac{R_1}{R_2} - V_Z \frac{R_3 + R_4}{R_3}\frac{R_1}{R_2} = V_{i\_Min}$$

Quando si eccedono i limiti appena visti, lo zener entra in conduzione modificando il circuito. In particolare, se la tensione di ingresso diventa superiore a V_{i_Max} lo zener entra in conduzione diretta e quindi risulta V_D=0. Le resistenze R_2 ed R_4 risultano in parallelo mentre R_3 risulta collegata al morsetto invertente. Il circuito si può studiare come un sommatore invertente a due ingressi: V_{in} e V_T. Risulta:

$$V_{out} = -\frac{R_2 // R_4}{R_1} V_i - \frac{R_2 // R_4}{R_3} V_T \qquad V_i > V_{i\_Max}$$

Se la tensione di ingresso diventa inferiore a V_{i_Min} lo zener entra in conduzione inversa e quindi risulta V_D=V_Z. Esso è percorso da una corrente pari a:

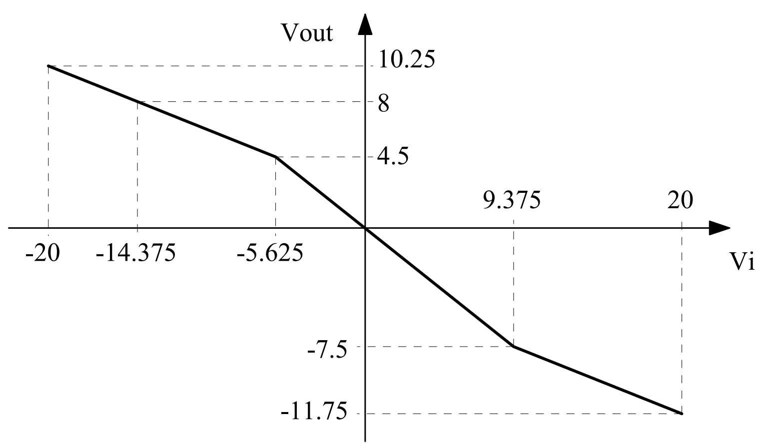
$$I_Z = \frac{V_T - V_Z}{R_3} - \frac{V_Z - V_{out}}{R_4} \qquad V_i < V_{i\_Min}$$

La somma delle correnti al morsetto invertente dell'operazionale fornisce:

$$\frac{V_{out}}{R_2} + \frac{V_i}{R_1} + I_Z = 0$$

da cui, sostituendo l'espressione di I_Z e sviluppando i calcoli, si ottiene:

$$V_{out} = -\frac{R_2 // R_4}{R_1} V_i + \frac{R_2 // R_4}{R_3 // R_4} V_Z - \frac{R_2 // R_4}{R_3} V_T \qquad V_i < V_{i\_Min}$$



Il grafico della transcaratteristica è riportato in figura assieme ai risultati dei calcoli.

E' da notare che le pendenze dei due tratti esterni della transcaratteristica coincidono. Infatti le equazioni mostrano che il coefficiente di V_i è lo stesso nelle due condizioni, e vale:

$$\frac{dV_{out}}{dV_i} = -\frac{R_2 // R_4}{R_1} V_i$$

2) Calcolo di V_{in}

Dalla figura (e dalle equazioni) si vede che il punto richiesto giace nel tratto più a sinistra ($V_{in} < V_{in\_Min}$) della caratteristica. Utilizzando l'espressione calcolata in precedenza si ricava il valore cercato come riportato nella figura precedente.