

## ESERCIZIO: TRANSCARATTERISTICA 2

### Descrizione del problema

Sia dato il circuito mostrato di Fig. 1 in cui il generatore di corrente  $I_o$  risulta variabile in un ampio intervallo. Approssimando la caratteristica  $I_D$ - $V_D$  del diodo zener con l'andamento lineare a tratti riportato in Fig. 2, determinare la transcaratteristica  $v_o = f(i_o)$  indicando i punti di spezzamento e le pendenze dei vari tratti.

Dati:  $V_{CC} = 12\text{ V}$ ,  $V_Z = 5\text{ V}$ ,  $R_1 = 2\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2\text{ k}\Omega$

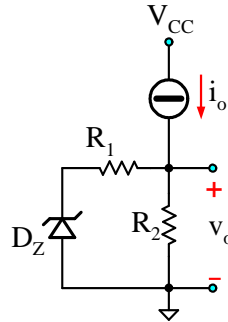


Fig. 1– Circuito da analizzare

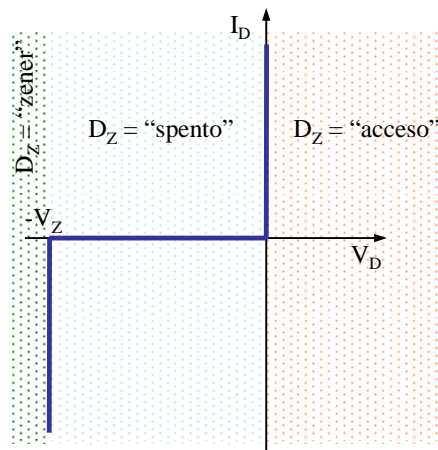


Fig. 2– Approssimazione lineare a tratti della caratteristica  $I_D$ - $V_D$  del diodo zener (caratteristica ideale)

### Soluzione:

Il diodo zener è un dispositivo che, nell'approssimazione lineare a tratti adottata, può operare in tre diverse regioni di funzionamento: conduzione diretta, interdizione, conduzione in regione di break down (zona zener). Ipotizziamo, quindi, che esso sia inizialmente spento e calcoliamo la condizione che deve soddisfare il generatore  $i_o$  affinché tale ipotesi sia verificata. Con diodo spento, il circuito equivalente del diodo è un circuito aperto che, una volta sostituito nel circuito originale, dà luogo al circuito riportato in Fig. 3. Tale stato topologico è verificato se è soddisfatta la seguente condizione:

$$(1) \quad -V_Z \leq v_D \leq 0$$

ma,

$$(2) \quad v_D = -R_2 i_o$$

Pertanto, la (1) si traduce nel seguente vincolo:

$$(3) \quad 0 \leq i_o \leq \frac{V_Z}{R_2} = I_{th}$$

con  $I_{th} = 2.5\text{ mA}$ . In tale situazione la tensione di uscita vale:

$$(4) \quad v_o = -v_D = R_2 i_o = m_1 i_o$$

con  $m_1 = 2 \text{ k}\Omega$ .

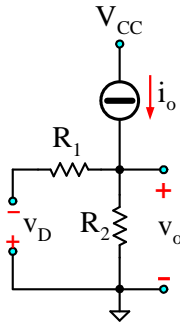


Fig. 3– Circuito equivalente corrispondente a diodo spento

Se la corrente  $i_o$  diventa negativa, la condizione  $v_D \leq 0$  non è più verificata, ed il diodo viene polarizzato direttamente, entrando, così, in conduzione. Il circuito che ne risulta, essendo il diodo in conduzione diretta assimilabile ad un cortocircuito, è mostrato in Fig. 4. La corrente nel diodo risulta:

$$(5) \quad i_D = -i_o \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

ed è chiaramente positiva per  $i_o$  negativa. La tensione di uscita vale:

$$(6) \quad v_o = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} i_o = m_2 i_o$$

con

$$(7) \quad m_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 1 \text{ k}\Omega$$

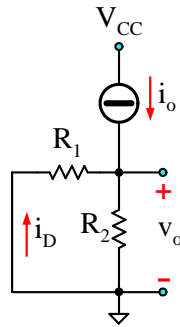


Fig. 4– Circuito equivalente corrispondente a diodo acceso

Quando, invece, la corrente  $i_o$  diventa superiore a  $I_{th}$ , la condizione  $v_D \geq -V_Z$  non è più verificata, ed il diodo entra nella regione di breakdown, dando luogo al circuito equivalente di Fig. 5. La corrente nel diodo, applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, vale:

$$(8) \quad i_D = \frac{V_Z}{R_1 + R_2} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_o$$

e risulta negativa per  $i_o \geq \frac{V_Z}{R_2}$  come ci si aspettava. La tensione di uscita vale:

$$(9) \quad v_o = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} i_o + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_Z = m_3 i_o + q_3$$

con

$$(10) \quad m_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$(11) \quad q_3 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_Z = 2.5 \text{ V}$$

La transcaratteristica complessiva è mostrata in Fig. 6.

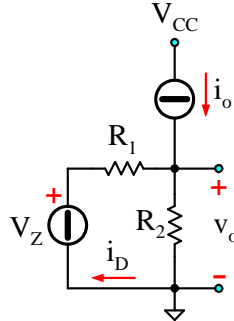


Fig. 5– Circuito equivalente corrispondente a diodo in conduzione nella regione di break down (zona zener)

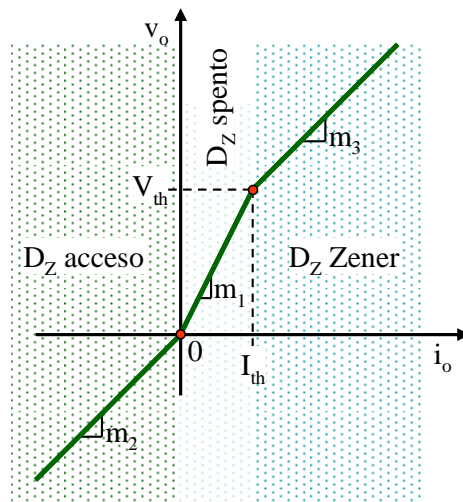


Fig. 6– Transcaratteristica  $v_o = f(i_o)$