

ESERCIZIO: Stabilizzatore di tensione a diodo Zener (settimana 5).

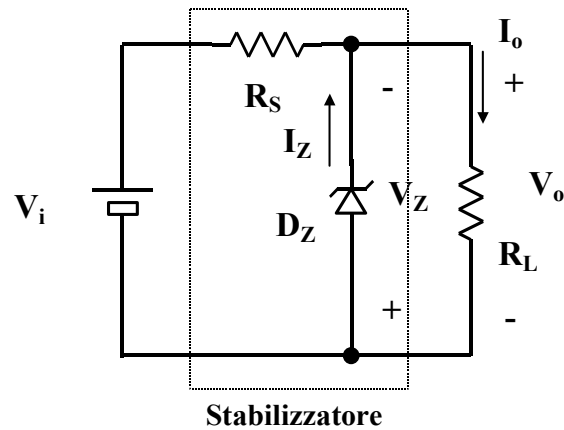


Fig. 1 – Stabilizzatore di tensione a diodo Zener.

Nel circuito di Fig. 1, la tensione V_i risulta variabile tra 15 V e 20 V. A valle della sorgente V_i si colloca allora uno stabilizzatore di tensione a diodo Zener. Il carico R_L previsto per lo stabilizzatore è uguale a $240\ \Omega$. Il diodo Zener impiegato nel circuito stabilizzatore ha una caratteristica che, schematicamente, è data in Fig. 2.

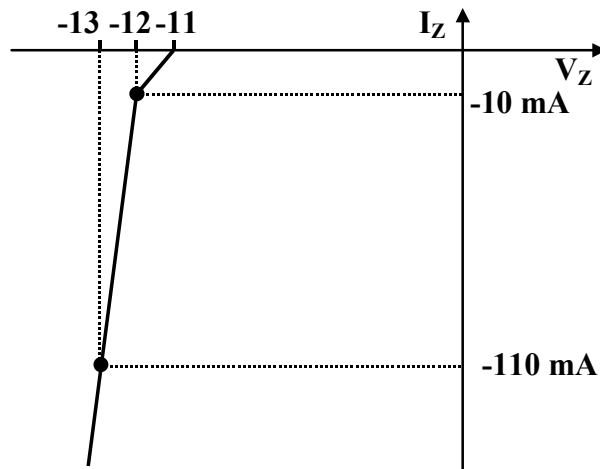


Fig. 1 – Caratteristica del diodo Zener in polarizzazione inversa.

Si richiede di determinare:

- 1) il valore della resistenza R_S necessario per garantire la corretta polarizzazione del diodo Zener;
- 2) il valore massimo della tensione presente sul carico;
- 3) il valore massimo e minimo della tensione presente sul carico, nel caso la resistenza R_L venga scollegata (i.e. $I_o = 0$);
- 4) la massima potenza che viene dissipata sul diodo Zener a carico collegato e a vuoto.

Soluzione

1)

Dall'analisi della caratteristica del diodo Zener riportata in Fig. 2, risulta che, affinché la tensione di scarica diventi pressoché costante, è necessaria una corrente nel diodo di almeno -10 mA (tale corrente nel testo è indicata con $-I_{ZK}$). Sempre dal grafico osserviamo che, con una corrente di -10 mA, la tensione sul diodo risulta pari a $-V_{ZK} = -12$ V. Una corrente almeno pari a -10 mA deve essere garantita in ogni condizione di lavoro. Il caso peggiore è rappresentato dalla situazione in cui si abbia minima tensione di ingresso e massima corrente di carico. Alla luce di queste considerazioni, la resistenza R_S dovrà essere tale da soddisfare la seguente relazione

$$R_S \leq \frac{V_{i_min} - V_{ZK}}{I_o(V_{ZK}) + I_{ZK}} = \frac{V_{i_min} - 12}{I_o(V_{ZK}) + 10 \text{ mA}} = 50 \Omega, \quad (3)$$

essendo

$$V_{i_min} = 15 \text{ V}, \quad (4)$$

$$I_o(V_{ZK}) = \frac{12}{R_L} = 50 \text{ mA}. \quad (5)$$

Qualunque valore di R_S inferiore a 50Ω consente quindi di polarizzare il diodo Zener correttamente. Conviene però adottare il massimo valore possibile perché ciò limita la dissipazione di potenza sul diodo.

2)

Scelto il valore di R_S si può schematizzare il circuito come in Fig. 3. Tale circuito è valido finché la corrente sul diodo è minore di -10 mA, il che, con il dimensionamento svolto al punto precedente, si verifica in ogni condizione operativa. I parametri del modello equivalente del diodo Zener si possono ricavare direttamente dalla Fig. 2.

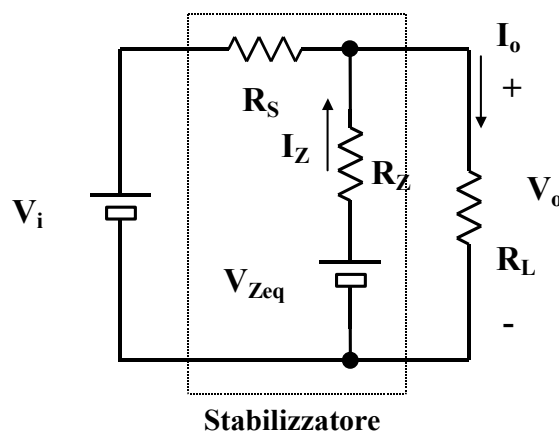


Fig. 3 – Circuito equivalente.

Si trova allora per ispezione diretta:

$$R_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} = \frac{-1}{(-110 - (-10)) \cdot 10^{-3}} = 10 \Omega, \quad (6)$$

$$V_{Zeq} = V_{ZK} - R_Z \cdot I_{ZK} = 12 - R_Z \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 11.9 \text{ V.} \quad (7)$$

A questo punto risulta immediato determinare l'espressione della tensione di uscita, per esempio applicando il principio di sovrapposizione degli effetti. Si trova

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_Z // R_L}{R_S + R_Z // R_L} + V_{Zeq} \cdot \frac{R_S // R_L}{R_Z + R_S // R_L} = 0.161 \cdot V_i + 9.584, \quad (8)$$

da cui risulta subito $V_{o_MAX} = 12.8 \text{ V}$. Si vede allora che il circuito presenta una discreta reiezione delle variazioni della tensione di ingresso, riducendo la variazione relativa della tensione da

$$\frac{\Delta V_i}{\bar{V}_i} = \frac{5}{17.5} = 0.286, \quad (9)$$

dove \bar{V}_i rappresenta il valore medio della tensione d'ingresso V_i , a

$$\frac{\Delta V_o}{\bar{V}_o} = \frac{0.8}{12.4} = 0.065, \quad (10)$$

dove \bar{V}_o rappresenta il valore medio della tensione d'ingresso V_o , quindi di oltre un fattore 4.

3)

Nel caso la resistenza venga scollegata, la relazione (8) diviene

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_Z}{R_S + R_Z} + V_{Zeq} \cdot \frac{R_S}{R_Z + R_S} = 0.166 \cdot V_i + 9.92, \quad (11)$$

comportando i seguenti valori della tensione di uscita:

$$\begin{array}{ll} V_{o_min} = 12.42 \text{ V} & \text{per } V_i = V_{i_min} = 15 \text{ V,} \\ V_{o_MAX} = 13.25 \text{ V} & \text{per } V_i = V_{i_MAX} = 20 \text{ V.} \end{array}$$

4)

La potenza dissipata sul diodo Zener è data da

$$P_Z = V_o \cdot (-I_Z) = R_Z I_Z^2 - V_{Zeq} I_Z, \quad (12.a)$$

dove I_Z è data dalla seguente espressione

$$I_Z = -\frac{V_i}{R_Z} \cdot \frac{R_Z // R_L}{R_S + R_Z // R_L} + V_{Zeq} \cdot \frac{1}{R_Z + R_S // R_L} \quad (12.b)$$

e dipende quindi simultaneamente dalla resistenza di carico R_L e dalla tensione di ingresso V_{in} . Si vede, comunque, che la massima potenza dissipata si ha in corrispondenza della massima corrente nello zener. Il caso peggiore si ha, quindi, alla massima tensione d'ingresso ed alla massima resistenza di carico. In presenza del carico, la potenza dissipata risulta

$$P_{Z_MAX_Carico} = V_{o_MAX} \cdot \left(\frac{V_{i_MAX} - V_{o_MAX}}{R_S} - \frac{V_{o_MAX}}{R_L} \right) = 12.8 \text{ V} \cdot 90.7 \text{ mA} = 1.16 \text{ W}, \quad (13)$$

mentre nel caso peggiore di assenza di resistenza di carico si ottiene

$$P_{Z_MAX_Vuoto} = V_{o_MAX} \cdot \left(\frac{V_{i_MAX} - V_{o_MAX}}{R_s} \right) = 13.25 \text{ V} \cdot 135 \text{ mA} = 1.79 \text{ W}, \quad (14)$$

che, come si può osservare, risulta maggiore della precedente. (NOTA: il valore V_{o_MAX} utilizzato nella (14) corrisponde al valore calcolato nella (11)).