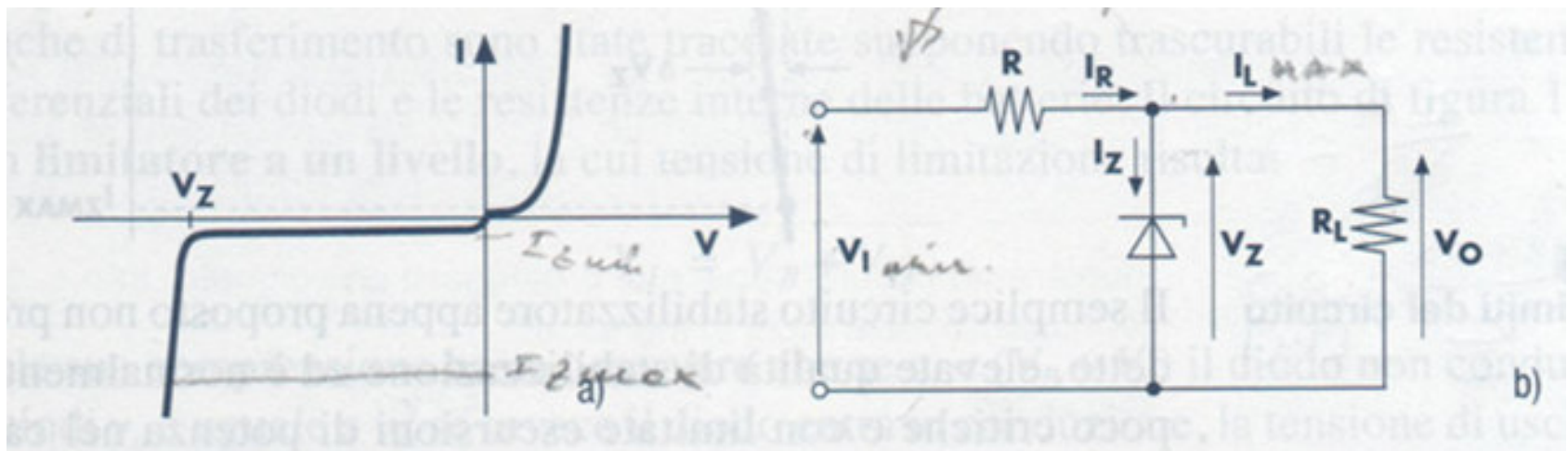
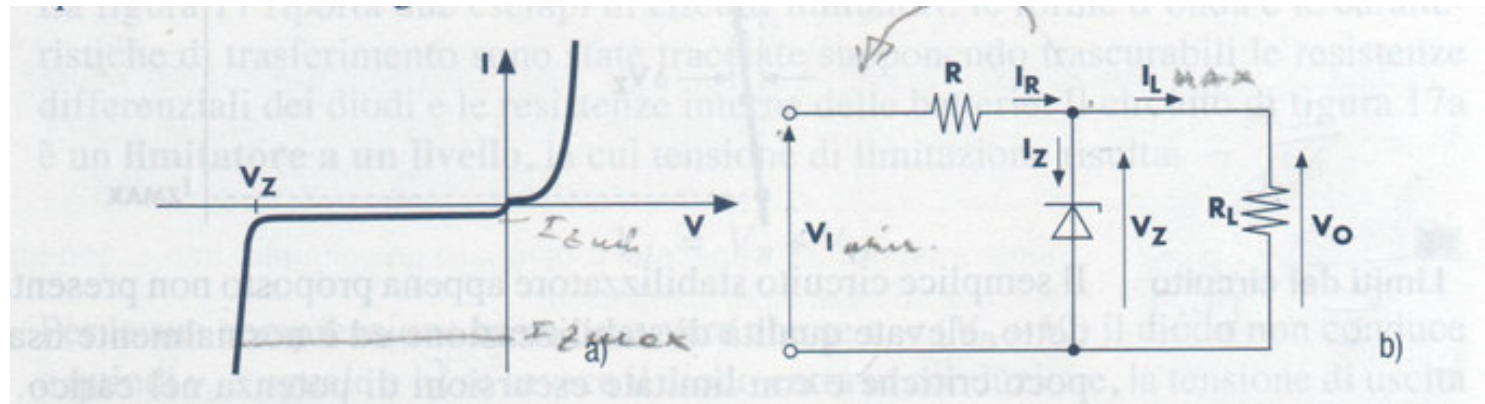


# Diodi Zener

Sono dei particolari tipi di diodi concepiti per essere usati in polarizzazione inversa e, in particolare, nella zona di breakdown. Questi diodi sono caratterizzati da tensioni di rottura inverse di valori noti con sufficiente precisione e sono disponibili per un numero elevato di valori di **tensione di zener** (è il nome usato per la tensione di rottura inversa di questi dispositivi). Sono molto usati per produrre tensioni di riferimento precise e stabili, necessarie per realizzare alimentatori stabilizzati. In figura 15a è riportata la curva caratteristica di uno zener, sostanzialmente analoga a quella di un normale diodo raddrizzatore, salvo che il valore di breakdown è mediamente più piccolo, noto con precisione e indicativamente compreso tra 2 e 70 V. Per approfondire il comportamento elettrico di questo componente si analizzi il circuito di figura 15b, che rappresenta il caso più semplice di **stabilizzatore lineare** (attenzione, qui per comodità la  $V_Z$  è intesa come positiva, al contrario di quanto avviene in figura 15a).



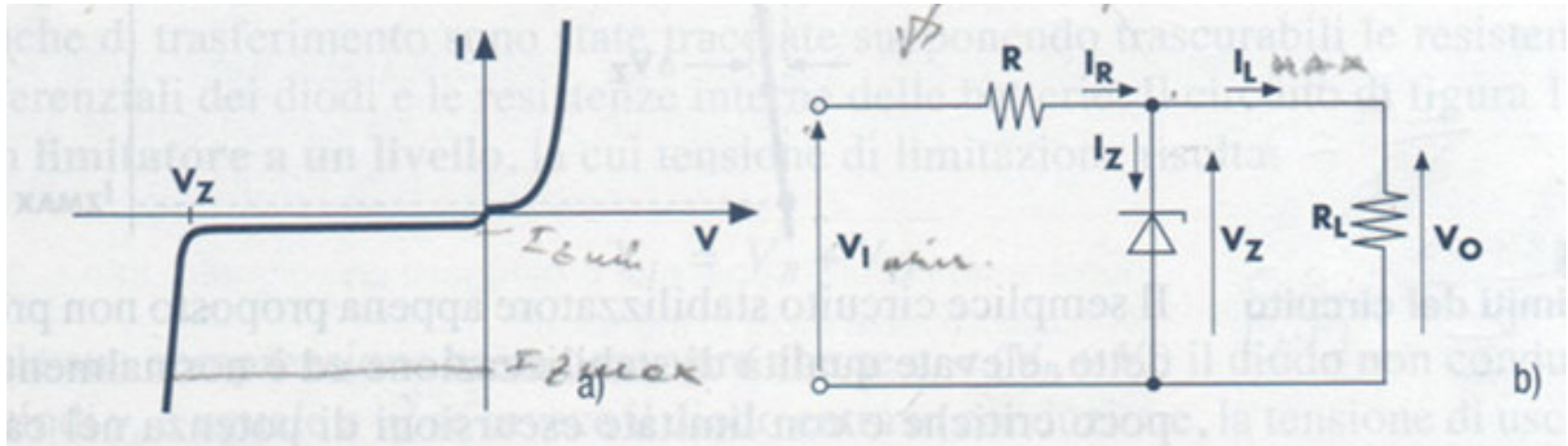
# Diodi Zener



Se la tensione continua di ingresso non stabilizzata  $V_I$  (ottenuta per esempio con un alimentatore con raddrizzatore e filtro capacitivo) è superiore a quella di zener  $V_Z$ , il diodo entra in conduzione, imponendo una tensione al carico praticamente costante: eventuali variazioni della  $V_I$ , purché tali da mantenere comunque in conduzione il diodo, non alterano apprezzabilmente la tensione in uscita, in quanto nel tratto considerato di curva caratteristica dello zener la curva è assimilabile a una retta quasi verticale; analogamente, eventuali variazioni della corrente nel carico, se tali da mantenere lo zener in piena conduzione (oltre il ginocchio), non modificano la tensione in uscita.

La resistenza  $R$  serve a *limitare la corrente nello zener* e va dimensionata tenendo presente che, con la  $V_I$  minima prevista e con il carico  $R_L$  che richiede la massima corrente prevista, lo zener deve essere attraversato da una corrente superiore alla  $I_Z$  minima necessaria per rimanere in piena conduzione (fig. 16):

# Diodi Zener



$$V_r = R * I_r$$

$$V_i - V_z = R * (I_L + I_z)$$

$$V_{r \max} = R I_{r \max} \quad \Rightarrow \quad V_{i \max} - V_z = R * (I_{L \min} + I_{z \max})$$

$$V_{r \min} = R I_{r \min} \quad \Rightarrow \quad V_{i \min} - V_z = R * (I_{L \max} + I_{z \min})$$

# Diodi Zener

$$R = \frac{V_R}{I_R}$$

$$R = \frac{V_{Imin} - V_Z}{I_{Zmin} + I_{LMAX}} \quad (V_Z = \text{valore medio})$$

41

Qualunque valore di  $V_I$  superiore a quello minimo determinerà una corrente nello zener superiore alla minima necessaria e quindi la stabilizzazione della tensione di uscita è garantita.

Con valori di  $R$  superiori a quello espresso dalla 41 non è garantita una corretta stabilizzazione, valori più piccoli sono accettabili ma comportano un'inutile dissipazione aggiuntiva di potenza nella resistenza e nello zener.

Qualora la tensione in ingresso assuma il valore massimo previsto, assume il valore massimo anche la corrente nella resistenza  $R$ :

$$I_{RMAX} = \frac{V_{IMAX} - V_Z}{R}$$

42

Se poi risulta contemporaneamente minima la corrente richiesta dal carico, assume il valore massimo prevedibile anche la corrente nello zener:

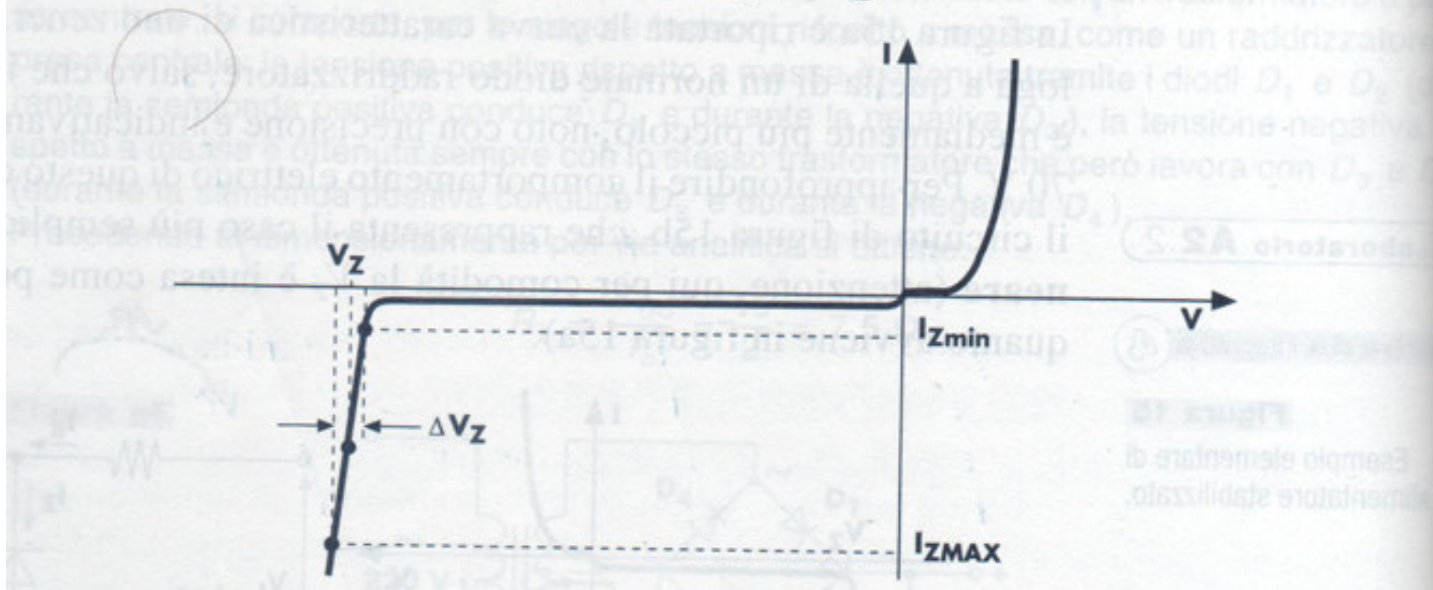
$$I_{ZMAX} = I_{RMAX} - I_{Lmin}$$

43

# Diodi Zener

Tramite le due ultime relazioni è possibile risalire alla massima potenza dissipata dalla resistenza  $R$  e dallo zener e quindi procedere a un loro corretto dimensionamento termico.

In realtà, a causa della non perfetta verticalità della curva caratteristica, ovvero a causa della resistenza differenziale dello zener non nulla, la  $V_Z$  cambia al variare della  $I_Z$ , subendo una variazione  $\Delta V_Z$  al variare della  $I_Z$  tra il valore massimo e minimo (fig. 16) e quindi per ottenere una buona stabilizzazione è importante che  $I_Z$  vari poco, ovvero che varino poco la  $V_I$  e la  $I_L$ .



In questo caso, conoscendo la resistenza differenziale dello zener  $r_{zj}$ , si può prevedere una variazione della tensione in uscita pari a

$$\Delta V_o = (I_{zmax} - I_{zmin}) r_{zj}$$

# Diodi Zener

Il semplice circuito stabilizzatore appena proposto non presenta, per quanto appena detto, elevate qualità di stabilizzazione ed è normalmente usato solo in situazioni poco critiche e con limitate escursioni di potenza nel carico. Questo circuito, sia pure con i suoi limiti, presenta un esempio elementare di stabilizzatore sia nei confronti delle variazioni della tensione di ingresso (ottenuta, normalmente, tramite il raddrizzamento e il filtraggio della tensione di rete), sia nei confronti delle variazioni di corrente nel carico. Per uno studio approfondito degli alimentatori stabilizzati si rinvia al modulo H.

# Esercizio

Dimensionare un alimentatore stabilizzato a resistenza e zener che fornisca una tensione di circa 5 V, sapendo che la tensione non stabilizzata disponibile è di  $8 \text{ V} \pm 20\%$  e la corrente nel carico può variare da un minimo di 5 mA a un massimo di 10 mA.

Si utilizzi uno zener con  $V_z = 5,1 \text{ V}$  e  $I_{zmin} = 3 \text{ mA}$ .

Applicando la **41** si ricava la  $R$ :

$$R = \frac{V_{Imin} - V_z}{I_{zmin} + I_{LMAX}} = \frac{6,4 - 5,1}{(3 + 10) \cdot 10^{-3}} = 100 \ \Omega$$

Si calcola ora la massima corrente nella resistenza con la **42**:

$$I_{RMAX} = \frac{V_{IMAX} - V_z}{R} = \frac{9,6 - 5,1}{100} = 45 \text{ mA}$$

La massima potenza dissipata dalla resistenza risulta:

$$P_{RMAX} = R \cdot I_{RMAX}^2 \approx 0,2 \text{ W}$$

Per sicurezza si sceglie un resistore da 1/2 W.

Si calcola la massima corrente di zener con la **43**:

$$I_{ZMAX} = I_{RMAX} - I_{Lmin} = 40 \text{ mA}$$

e quindi lo zener presenta una dissipazione di potenza massima:

$$P_{ZMAX} = V_z \cdot I_{ZMAX} \approx 0,2 \text{ W}$$

In questi calcoli si è supposta la  $V_z$  costante: in realtà questo non è vero e quindi, se si suppone che lo zener presenti una resistenza differenziale  $r_{zj} = 35 \ \Omega$ , si può prevedere una variazione della tensione in uscita pari a:

$$\Delta V_o = (I_{ZMAX} - I_{zmin}) r_{zj} = (40 - 3) \cdot 10^{-3} \cdot 35 \approx 1,29 \text{ V}$$

# Esercizio proposto

Progettare uno stabilizzatore capace di fornire una tensione di 12 V con una corrente richiesta dal carico compresa tra 10 e 15 mA e avendo a disposizione una tensione non stabilizzata di  $16 \text{ V} \pm 10\%$ .

Si supponga di avere a disposizione uno zener da 12 V - 500 mW con  $I_{Zmin} = 4 \text{ mA}$ .

## Soluzione

Si fa riferimento al circuito di figura 15. Si calcola la resistenza  $R$  applicando la **41** :

$$R = \frac{V_{Imin} - V_Z}{I_{Zmin} + I_{LMAX}} = \frac{14,4 - 12}{4 \cdot 10^{-3} + 15 \cdot 10^{-3}} = 126 \Omega$$

Si usa il valore commerciale di 120  $\Omega$ .

Si calcola il valore massimo della corrente nella  $R$  applicando la **42** :

$$I_{RMAX} = \frac{V_{IMAX} - V_Z}{R} = \frac{17,6 - 12}{120} \approx 47 \text{ mA}$$

e quindi serve una resistenza in grado di dissipare una potenza:

$$P_R = R \cdot I_{RMAX}^2 = 265 \text{ mW}$$

Si usa un resistore da 1/2 W.

Per la **43** la massima corrente nello zener risulta:

$$I_{ZMAX} = I_{RMAX} - I_{Lmin} = 47 \cdot 10^{-3} - 10 \cdot 10^{-3} = 37 \text{ mA}$$

e quindi la massima potenza dissipata dallo zener risulta:

$$P_Z = V_Z I_{ZMAX} = 12 \cdot 37 \cdot 10^{-3} = 0,44 \text{ W}$$

Pertanto lo zener scelto, che sopporta 0,5 W, va bene.