

limitatore
duplicatore
clamper
moltiplicatore
circuito

PAROLE CHIAVE ▶

1. Circuiti limitatori

Si dicono **limitatori** (*clipper*) dei particolari circuiti capaci di trasferire inalterata in uscita la tensione di ingresso, solo se contenuta tra un minimo e un massimo prestabiliti; in caso contrario la tensione di uscita viene limitata in ampiezza a un valore stabilito.

La **figura 1** riporta due esempi di circuiti limitatori: le forme d'onda e le caratteristiche di trasferimento sono state tracciate supponendo trascurabili le resistenze differenziali dei diodi e le resistenze interne delle batterie.

Il circuito di **figura 1a** è un **limitatore a un livello**, la cui tensione di limitazione risulta:

$$V_L = V_B + V_D$$

1

Per la sua comprensione basta osservare che se $v_i < (V_B + V_D)$ il diodo non conduce e quindi v_o è uguale a v_i ; se invece il diodo entra in conduzione, la tensione di uscita coincide con la V_B aumentata della c.d.t. sul diodo (che per semplicità si può supporre costante). La resistenza R serve a limitare la corrente nel circuito a valori sopportabili. Il circuito di **figura 1b** si riferisce al caso di **limitatore a due livelli**, le cui tensioni di limitazione risultano:

$$V_{L1} = V_{B1} + V_D$$

$$V_{L2} = -(V_{B2} + V_D)$$

2

Volendo evitare l'uso delle batterie si può ricorrere ai circuiti di **figura 2**.

Ricordando che idealmente i diodi zener, se polarizzati con tensioni inverse inferiori a V_Z , sono dei circuiti aperti, mentre se polarizzati inversamente con una tensione che tende a essere superiore a V_Z , impongono ai loro capi una tensione costante V_Z (come fossero una batteria che assorbe corrente), è facile verificare la corrispondenza del circuito di **figura 2a** con quello di **figura 1a** e la corrispondenza di quello di **figura 2b** con quello di **figura 1b**.

In particolare risulta:

$$V_L = V_D + V_Z \quad \boxed{3}$$

$$V_{L1} = V_D + V_{Z1} \quad V_{L2} = -(V_D + V_{Z2}) \quad \boxed{4}$$

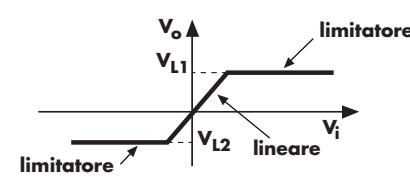
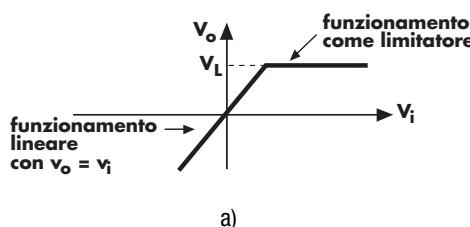
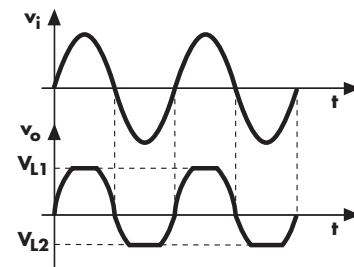
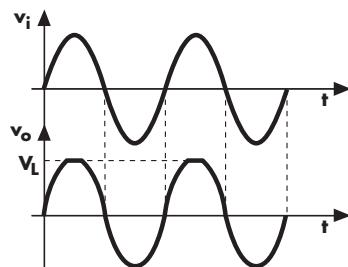
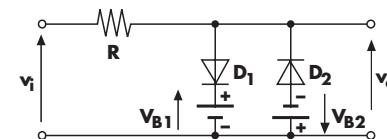
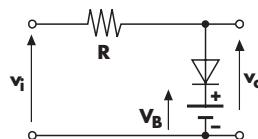


Figura 1

Due esempi di circuiti limitatori.

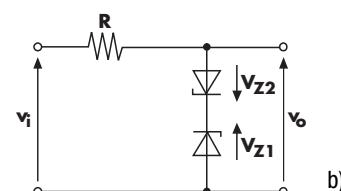
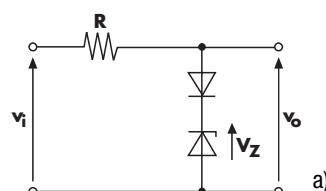


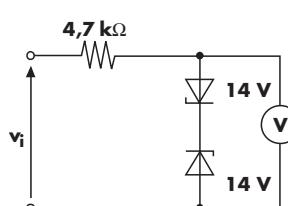
Figura 2

Circuiti limitatori con gli zener.

Esempio 1

Studiare un circuito capace di proteggere un voltmetro in A.C. con fondo scala di 10 V_{eff} da eventuali sovratensioni in ingresso.

Figura 3



Il circuito di **figura 3** soddisfa queste necessità, infatti il valore di picco della tensione di fondo scala risulta $10\sqrt{2} \approx 14$ V e quindi, con uno zener con $V_Z = 14$ V, solo se la tensione di in-

gresso è superiore a $10 V_{eff}$ interviene la limitazione (poiché nelle serie commerciali più diffuse lo zener da 14 V non esiste, si userà il valore in eccesso, più vicino, di 15 V: il limitato sovraccarico non danneggerà comunque il voltmetro).

Nel tratto di funzionamento lineare del limitatore la resistenza non altera la misura, se la si suppone molto minore della resistenza interna del voltmetro, ma limita la corrente dei diodi, quando questi entrano in conduzione.

2. Circuiti clamper

Si definiscono **clamper** (*fissatori*) dei particolari circuiti a diodi capaci di sovrapporre a un segnale alternato una componente continua.

Il caso più semplice di circuito clamper è riportato in **figura 3**.

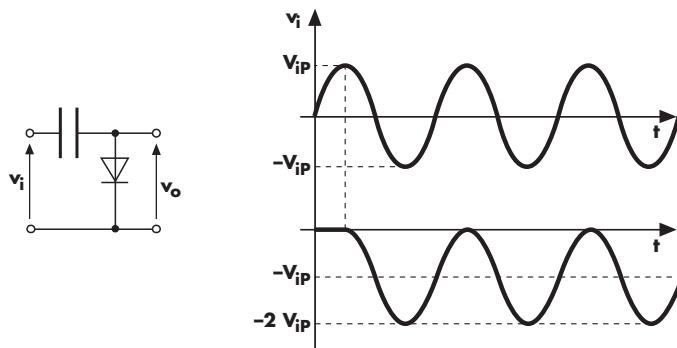


Figura 3
Circuito clamper.

Analisi teorica

Si supponga, per semplicità, il diodo ideale e il condensatore inizialmente scarico: durante il primo quarto di periodo della v_i il condensatore si carica a $+V_{ip}$, successivamente, anche se v_i si riduce, il condensatore, a causa del diodo, non può più scaricarsi e rimane pertanto carico al valore di picco della v_i .

In queste condizioni il diodo rimane sempre interdetto e risulta:

$$v_o(t) = v_i(t) - V_{ip}$$

5

ovvero: *il segnale di ingresso viene trasferito in uscita traslato verso il basso di una quantità pari al suo valore di picco*. Volendo avere una traslazione verso l'alto basta invertire la polarità del diodo.

Un esempio di applicazione dei circuiti clamper si ha nei circuiti moltiplicatori descritti nel successivo paragrafo.

non solo teoria

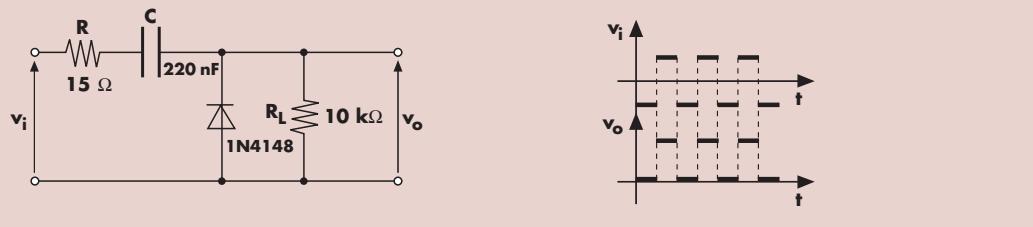
1

Convertire un'onda quadra alternata in una unidirezionale

Si è appena visto che i circuiti clamper sono in grado di operare in modo da sovrapporre a un segnale alternato sinusoidale una componente continua di ampiezza pari al valore di picco del segnale alternato originario. La cosa è possibile anche se il segnale alternato è quadro, purché siano rispettate opportune condizioni (per i dettagli vedere il problema svolto 1) garantite dalla resistenza R , che limita la corrente nel diodo. Il circuito proposto è in grado di traslare verso l'alto l'onda quadra alternata di una quantità pari al suo valore di picco convertendola in unidirezionale a valore minimo nullo.

Si noti che la traslazione avviene verso l'alto, perché il diodo ha verso opposto a quello indicato nel paragrafo 2. Si può valutare sperimentalmente il circuito applicando in ingresso un'onda quadra di frequenza superiore a 10 kHz; con frequenze più basse l'onda in uscita sarà deformata.

Si potrà anche valutare come il livello minimo del segnale in uscita non risulti nullo ma negativo di circa 0,6 V, a causa della conduzione del diodo.



3. Circuiti moltiplicatori di tensione

Si chiamano **moltiplicatori di tensione** quei circuiti capaci di produrre in uscita una tensione continua multipla del valore di picco della tensione alternata sinusoidale in ingresso.

Questi circuiti funzionano correttamente solo con correnti abbastanza basse (fino ad alcune centinaia di mA) e presentano una resistenza equivalente di uscita abbastanza alta e quindi una tensione fortemente dipendente dalla corrente erogata (ovvero una scarsa regolazione della tensione in uscita).

Un caso classico di applicazione è nei circuiti per la produzione dell'alta tensione acceleratrice dei tubi a raggi catodici, dove è richiesta una tensione di alcuni kV con una corrente limitata.

La **figura 4a** riporta il caso di **duplicatore a onda intera** ideale, derivato dal circuito clamper di **figura 3**: supposti i condensatori inizialmente scarichi, se in ingresso è presente una tensione sinusoidale, durante il primo quarto di periodo C_1 si carica al valore $+V_{ip}$ e successivamente, grazie a D_1 , non può più scaricarsi. Durante il terzo quarto di periodo anche C_2 si carica a $+V_{ip}$ senza potersi più scaricare. A regime la tensione in uscita risulta quindi:

$$V_{o(dc)} = 2V_{ip} \quad 6$$

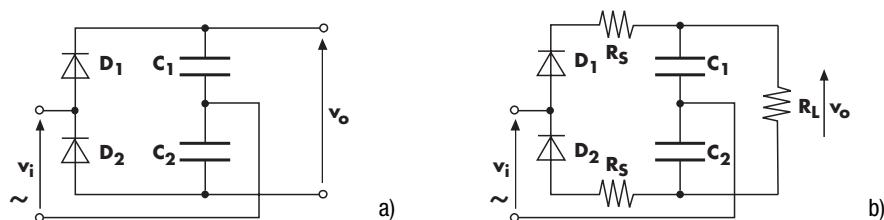


Figura 4
Circuito duplicatore a onda intera.

In realtà in uscita risulta normalmente presente un carico e quindi i condensatori tendono a scaricarsi e la tensione continua risulta più bassa e presenta una certa ondulazione residua. Per contenere questa ondulazione le capacità, entrambe dello stesso valore, devono essere sufficientemente elevate (alcune decine di μF per correnti di alcune centinaia di mA). Se inoltre le tensioni in gioco sono abbastanza alte (si pensi, per esempio, di volere ottenere una tensione continua di circa 500 V partendo dalla tensione di rete di $220 V_{eff}$), le correnti durante il transitorio iniziale risultano molto alte e quindi, sia pure a scapito di una riduzione della tensione in uscita, conviene porre delle piccole resistenze in serie ai diodi (**fig. 4b**).

In questo modo la corrente nei diodi assume un valore di picco massimo non ripetitivo pari a:

$$I_{D_{MAX}} = \frac{V_{ip}}{R_s}$$

Duplicatore a semionda

Un circuito alternativo al precedente, che offre il vantaggio di presentare un terminale comune di ingresso e di uscita, ma lo svantaggio di un ripple più alto, è riportato in **figura 5a**.

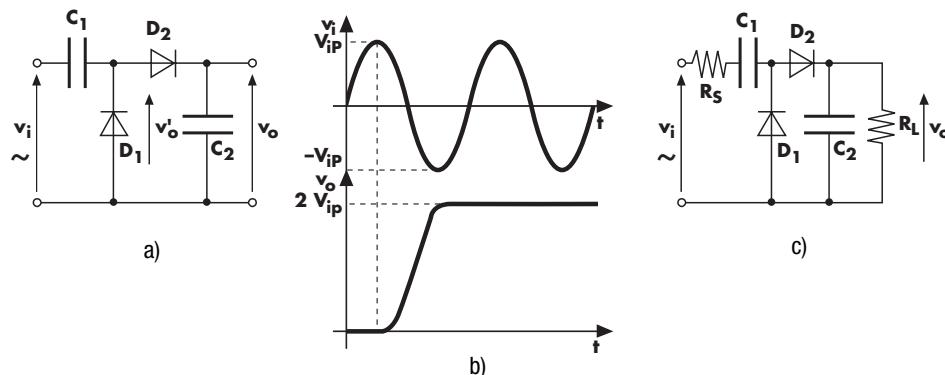


Figura 5

Duplicatore a semionda.

Questo circuito è detto **duplicatore a semionda**: D_1 e C_1 formano un circuito clamper e quindi C_1 si carica al valore di picco della v_i con polarità tale da far sì che la v'_o presenti un andamento del tipo sinusoidale ma con valore minimo uguale a zero. Questa tensione carica C_2 , senza che si possa scaricare, al suo valore di picco pari a $2V_{ip}$. Quest'ultima affermazione è valida se, tenendo presente che C_2 si carica utilizzando le cariche provenienti da C_1 , si pone $C_1 \gg C_2$.

La **figura 5c** riporta il circuito reale comprensivo di carico e della eventuale resistenza di limitazione della corrente nei diodi.

Collegando in cascata più duplicatori a semionda, come in **figura 6**, è possibile realizzare **moltiplicatori per n** della tensione di picco di ingresso.

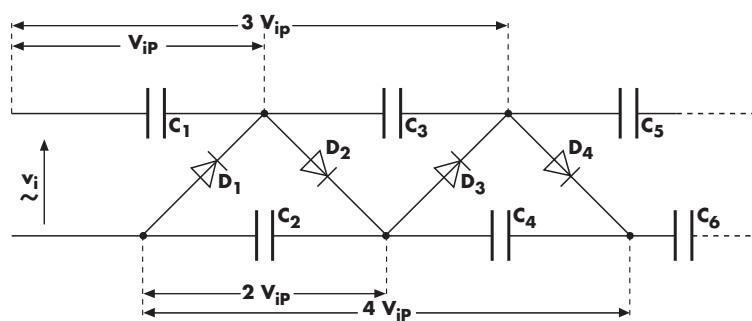


Figura 6

Struttura di un moltiplicatore per n .

Nella **figura 6** tutti i condensatori si carichano a $2V_{ip}$ a eccezione di C_1 , che si carica a V_{ip} , pertanto prelevando la tensione ai capi di C_2 , ai capi di $C_2 + C_4$, ai capi di $C_2 + C_4 + C_6$ ecc. si ottengono tensioni multiple pari della V_{ip} . Se la tensione viene prelevata ai capi di C_1 , ai capi di $C_1 + C_3$, ai capi di $C_1 + C_3 + C_5$ ecc. si ottengono tensioni multiple dispari di V_{ip} .

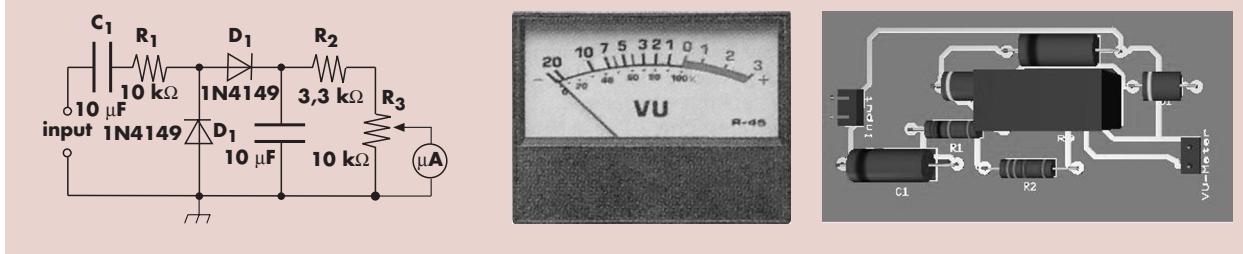
Anche se teoricamente si potrebbero aggiungere in cascata coppie diodo-capacità senza limiti, in pratica questo valore è limitato dalla regolazione, sempre più scarsa, della tensione di uscita.

non solo teoria (2)

Un semplice VU-METER per amplificatori audio

Spesso negli amplificatori audio di buona qualità sono presenti degli strumenti che forniscono un'indicazione del livello del segnale in uscita. Qui si indica un semplice circuito adatto allo scopo. Si tratta di un semplice duplicatore di tensione a semionda del tipo di **figura 22** (par. 8), che permette di prelevare in uscita una tensione continua proporzionale al valore di picco di quella in ingresso.

Il trimmer va tarato in relazione al livello scelto come 0 dB (i decibel sono trattati nella sezione 12A). In figura è anche riportato un esempio di strumento adatto: si tratta di un microamperometro a bobina mobile (gli strumenti a indice sono ancora molto diffusi negli amplificatori esoterici e comunque permettono una realizzazione molto semplice rispetto all'uso, sempre possibile, di uno strumento con visualizzazione a LED).



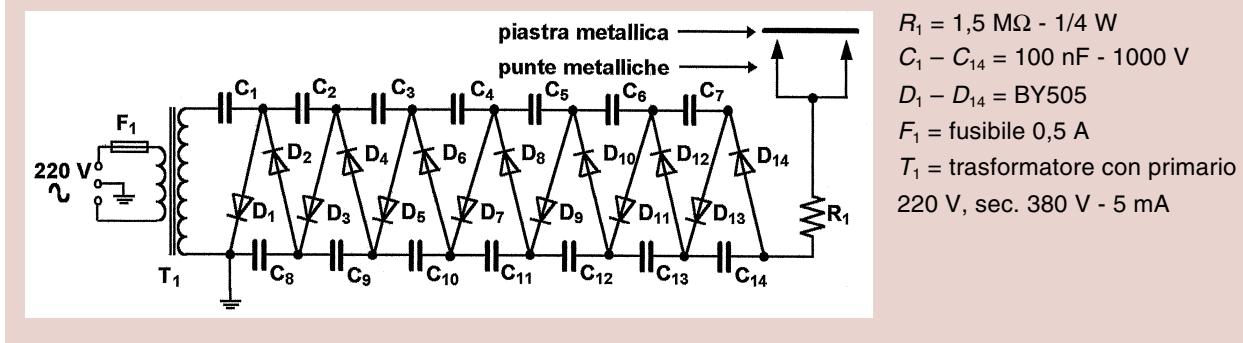
non solo teoria (3)

Un circuito ionizzatore

Si propone un'applicazione del circuito moltiplicatore: si tratta di un circuito ionizzatore dell'aria che, attraverso la produzione di ioni negativi, dovrebbe contribuire alla sua purificazione, con effetti benefici, specialmente sulle persone soggette ad allergie, conseguenti ai vari agenti inquinanti quali gas di scarico, ceneri, fumo ecc. (evidentemente non ci si impegna in prima persona sull'attendibilità di questa teoria e al riguardo si rinvia agli esperti in allergologia).

Il trasformatore effettua la duplice funzione di elevare la tensione di rete a 380 V e di isolare, per sicurezza, il circuito dalla tensione di rete. Il circuito ha la struttura classica del moltiplicatore per n di **figura 6** (par. 3), i diodi sono però invertiti per ottenere una tensione negativa (circa 7700 V) adatta alla produzione di ioni negativi nell'aria.

La forte differenza di potenziale che si crea tra le punte in uscita al circuito (che possono essere realizzate con degli spilli) e la piastra metallica posta a breve distanza e collegata a massa (e a terra) determina la produzione di ioni negativi. La resistenza da $1,5 \text{ M}\Omega$ in uscita al circuito evita scariche elettriche di entità pericolosa all'eventuale incauto operatore a cui accadesse di toccare le punte degli spilli (la scarica, pur se non pericolosa, sarà comunque sentita).



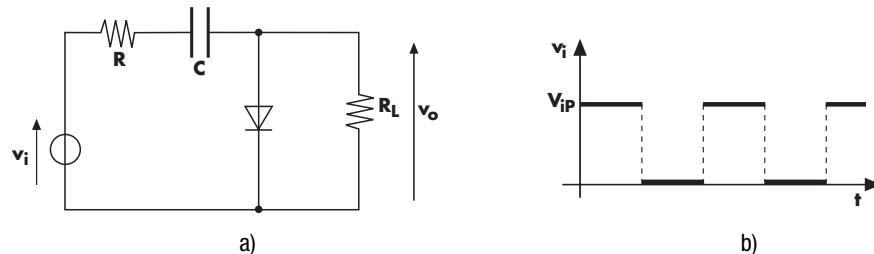
Test

- Par. 2 **1** I circuiti impediscono alla tensione di i valori limite imposti.
- Par. 3 **2** I circuiti moltiplicatori di tensione:
 a permettono di ottenere tensioni continue multiple pari della tensione di picco dell'alternata d'ingresso;
 b permettono di ottenere tensioni continue multiple dispari della tensione di picco dell'alternata di ingresso;
 c permettono di ottenere tensioni continue multiple pari e dispari della tensione di picco dell'alternata di ingresso;
 d permettono di ottenere tensioni solo doppie della tensione di picco dell'alternata di ingresso.

Problemi svolti

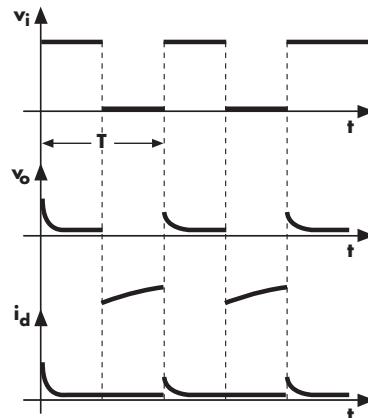
Il numero dei pallini ● indica il grado di difficoltà.

- Par. 2 **1**  Studiare il comportamento del circuito di **figura P1a**, sollecitato dal segnale di **figura P1b**, supponendo la resistenza equivalente del diodo molto piccola rispetto a R , ma tenendo conto della c.d.t. sul diodo stesso.

Figura P1**Soluzione**

Si tratta di un classico circuito fissatore in presenza di un carico R_L e di una resistenza R , comprensiva della resistenza equivalente del generatore di segnale v_i e dell'eventuale resistenza addizionale inserita per limitare la corrente nel diodo.

Supposto il condensatore inizialmente scarico, con in ingresso il valore V_{ip} il condensatore si inizia a caricare e, mentre si carica, la corrente che scorre nel diodo determina una c.d.t., nello stesso, decrescente con la curva di carica del condensatore che avviene con costante di tempo $\tau_1 \approx RC$ (supponendo la resistenza equivalente nel diodo $\ll R_L$ e ritenendo R > della resistenza equivalente del diodo). Raggiunta la piena carica del condensatore la corrente si annulla e con essa anche la v_o (in realtà, come indicato in **figura P2**, la c.d.t. sul diodo impedisce il raggiungimento della piena carica di C e quindi la v_o mantiene un valore residuo al limite della V_γ).

Figura P2

Appena la v_i commuta a 0 V, il diodo si interdice e il condensatore si inizia a scaricare, determinando una tensione v_o pari alla c.d.t. su R_L : il valore massimo di questa tensione è pari a $(-V_{IP} + V_\gamma)R_L/(R + R_L)$ e quindi se si suppone, come probabile, che $R_L \gg R$ si ha un valore massimo negativo $\approx -V_{IP}$. A questo punto la tensione tende a 0 V con costante di tempo $\tau_2 = (R + R_L)C$, ma se $\tau_2 \gg T/2$ la scarica è molto contenuta e, quindi, trascurabile. A questo punto il fenomeno si ripete ciclicamente (si noti che il primo transitorio è più grande perché il condensatore è inizialmente scarico).

In ultima analisi, se si possono ritenere piccoli i picchi positivi (il che è sicuramente vero se R limita adeguatamente la corrente nel diodo) e se la scarica durante il livello basso di v_o è trascurabile ($\tau_2 \gg T/2$), questo circuito si comporta, anche nei confronti di un segnale quadro, come un circuito clamper (traslando l'onda quadra verso il basso di un valore pari a V_P).

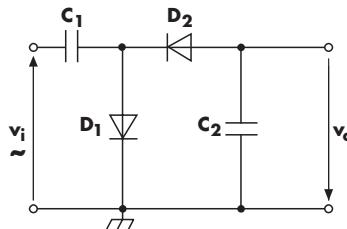
Problemi da svolgere

Par. 3



Valutare il funzionamento del circuito di **figura P3**, calcolare la massima tensione ottenibile ai capi dei singoli condensatori e la tensione inversa di picco di ciascun diodo.

Figura P3



Parole chiave

Procedendo come nella sezione 11A, ricostruire i corretti termini delle parole chiave, riportate a inizio sezione, e raggrupparli per omogeneità concettuale.