

# Alimentatore stabilizzato

*Valerio Toso*

## 1 Introduzione

Spesso può sorgere la necessità di trasformare una tensione alternata sinusoidale ( $V_{ca}$ ) come quella proveniente dalla rete di distribuzione elettrica in tensione continua ( $V_{cc}$ ) per alimentare svariati dispositivi; questo compito è affidato agli alimentatori. Essi sono tipicamente composti da una parte chiamata trasformatore che abbassa la tensione che riceve in ingresso fin al valore desiderato, e da una parte che si occupa di rendere la tensione in uscita il più possibile stabile e continua. Un componente ampiamente utilizzato in questo processo è il diodo.



### 1.1 Il diodo a giunzione

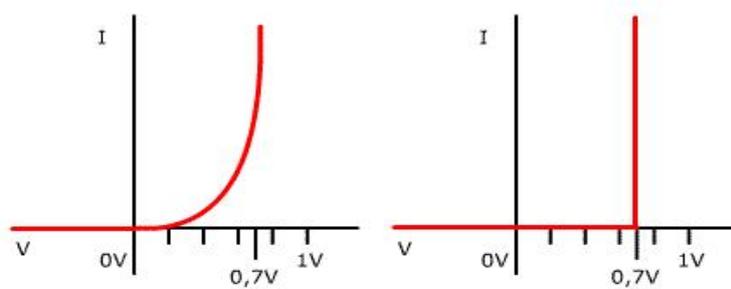
Il diodo a giunzione è un componente elettronico a semiconduttore non lineare la cui funzione ideale è quella di permettere il flusso di corrente elettrica in un verso e di bloccarla totalmente nell'altro. Una polarizzazione diretta fornisce infatti un cammino ad impedenza idealmente nulla attraverso il componente, mentre una polarizzazione inversa dovrebbe bloccarne il transito come un circuito aperto.



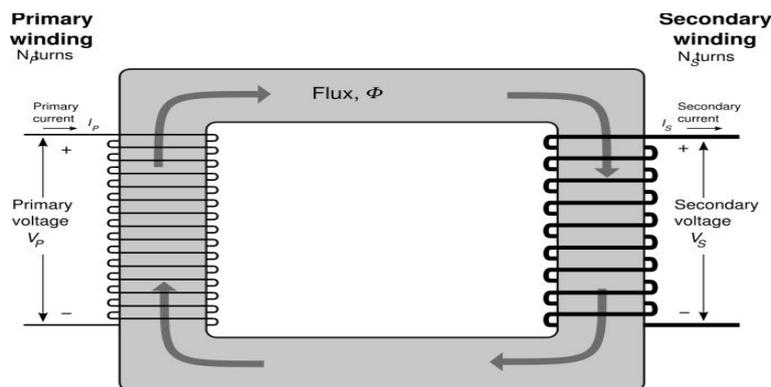
Il suo funzionamento è governato dalla caratteristica tensione-corrente:

$$i_D = I_S(e^{\frac{qV_D}{\alpha kT}} - 1) = I_S(e^{\frac{V_D}{\alpha V_T}} - 1)$$

dove  $i_D$  è la corrente che scorre attraverso il diodo,  $V_D$  è la tensione ai suoi capi,  $V_T$  è detto potenziale termico (circa 26 mV a 300K),  $\alpha$  è un parametro costruttivo del diodo il cui valore è generalmente compreso tra 0.5 e 2,  $I_S$  è l'intensità della corrente di saturazione. Quando la tensione  $V_D$  è negativa il contributo dell'esponenziale è trascurabile rispetto a -1 così che  $i_D \approx -I_S$ ; se invece  $V_D$  è positivo e tipicamente sopra gli 0.7V possiamo trascurare il termine -1.



## 2 Accenni al trasformatore



Il trasformatore è tipicamente il primo stadio di un alimentatore, esso ha lo scopo di abbassare la tensione alternata in ingresso fino ad una tensione utilizzabile dagli strumenti che vogliamo alimentare. Tipicamente è

caratterizzato da due avvolgimenti accoppiati induttivamente così che la corrente che scorre nell'avvolgimento primario induca una forza elettromotrice nell'avvolgimento secondario.

$$f.e.m. = -\frac{\partial\Phi_{\Sigma}(B)}{\partial t}$$

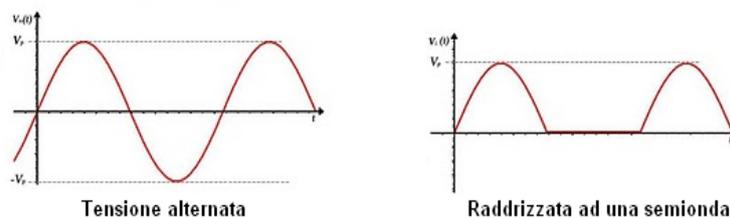
Notiamo che se la corrente non avesse dipendenza temporale, questo metodo per abbassare la tensione non sarebbe possibile in quanto la variazione del flusso del campo magnetico nel tempo sarebbe nulla non generando alcuna f.e.m. Si può inoltre dimostrare che le tensioni ai capi dei due avvolgimenti sono legate al numero di questi dalla formula  $\frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S}$

### 3 Raddrizzatore di corrente

La corrente in uscita dal trasformatore è dunque stata abbassata di tensione ma è comunque una corrente alternata che si può approssimare a meno di disturbi di rete ad una funzione sinusoidale. Il primo passo per convertire questa corrente in corrente continua sta nel raddrizzare il segnale alternato, ovvero trasformarlo in un segnale non negativo. Questo compito è affidato al raddrizzatore di corrente.

#### 3.1 Raddrizzatore passivo a semionda

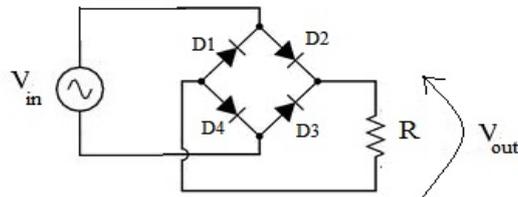
In questo tipo di raddrizzatore il segnale in uscita dal trasformatore passa attraverso un diodo in serie al carico, in questo modo il diodo grazie alla sua caratteristica  $I_d-V_d$  lascia passare solo le semionde positive del segnale a meno di una caduta di tensione di 0.7V, al contrario le semionde negative vengono bloccate lasciando a 0 il segnale in uscita.



Notiamo che questo dispositivo utilizza solo le semionde positive del segnale, diminuendone il rendimento. Una versione migliorata che utilizza lo stesso principio è fornito dal raddrizzatore a onda intera.

### 3.2 Raddrizzatore passivo a onda intera (ponte di diodi)

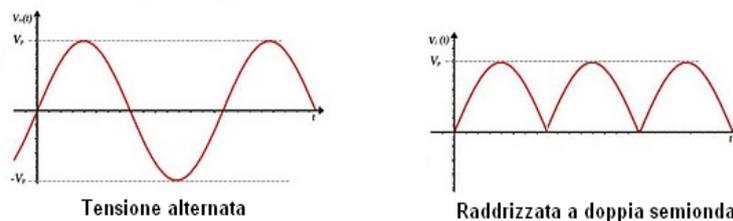
Per migliorare il rendimento del raddrizzatore passivo a semionda possiamo introdurre altri diodi in modo da cercar di sfruttare anche la semionda negativa del segnale.



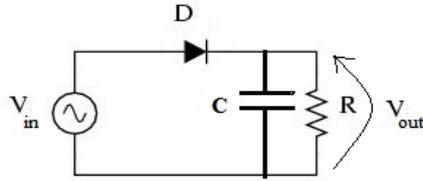
Le semionde positive del segnale passano attraverso i diodi D2 e D4, mentre le semionde negative possono passare attraverso i diodi D3 e D1, in questo modo è possibile utilizzare tutto il segnale. Notiamo che la corrente deve attraversare sempre due diodi nel suo percorso, perciò la tensione in uscita sul carico avrà una caduta di tensione di circa 1.4V rispetto a quella in ingresso.

## 4 Rettificatore capacitivo

Ora che il segnale è non negativo esso è costituito da una successione di semionde positive come si vede in figura



Un modo per ottenere una tensione il più possibile continua da questo segnale è di utilizzare un condensatore da porre in parallelo al carico.

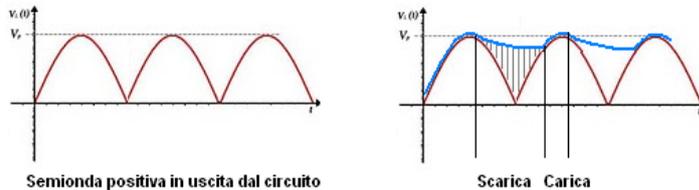


In questo modo infatti il condensatore viene caricato all'aumentare della tensione sulla parte crescente della semionda, e una volta aver raggiunto la carica massima sulla cresta dell'onda si può solo scaricare sul carico con la legge di scarica del condensatore.

$$V(t) = V_0 e^{-t/\tau} = V_0 e^{-t/RC}$$

Notiamo che maggiori sono i valori di R e C e più lento sarà il processo di scarica. La tensione ai capi del carico dunque non sarà una perfetta corrente continua ma presenterà dei "ripple" dovuti a tale processo.

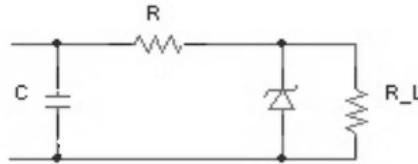
Se indichiamo con  $\Delta V(t)$  la differenza tra la tensione massima raggiunta al picco della semionda ( $V_P$ ) e la tensione al tempo t ( $V(t)$ ) otteniamo che  $\frac{\Delta V}{V_P} = 1 - e^{-t/RC}$



Indicando con  $\frac{T}{2}$  il tempo tra due picchi consecutivi della semionda rad-drizzata e sviluppiamo al primo ordine  $\frac{\Delta V}{V_P}$  otteniamo che  $\frac{\Delta V}{V_P} \approx \frac{T}{2RC} \approx \%ripple$

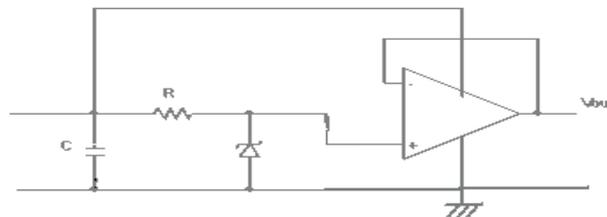
## 5 Alimentatore stabilizzato

Come abbiamo visto nel rettificatore capacitivo la tensione in uscita  $V_O$  è dipendente dal carico utilizzato e dalle variazioni di tensione di rete, può tuttavia sorgere la necessità di volerla mantenere il più possibile indipendente. Un modo semplice di ovviare a questo problema è l'introduzione di un diodo zener da porre in parallelo al carico.



Infatti sfruttando la loro caratteristica inversa in zona di breakdown, una polarizzazione abbastanza inoltrata nella loro zona zener consente che una variazione significativa della corrente che lo attraversa non induca a una significativa variazione della tensione ai suoi capi che ne risulta così stabilizzata.

Se tuttavia il carico assorbisse una ingente corrente il diodo potrebbe uscire dalla zona zener; un modo efficace di risolvere questo problema è quello di introdurre un buffer (o disaccoppiatore di impedenza) che prelevi la corrente per alimentare il carico direttamente dall'alimentazione e che grazie all'elevata impedenza in ingresso (idealmente infinita) non influenzi la corrente passante nel diodo al variare del carico.

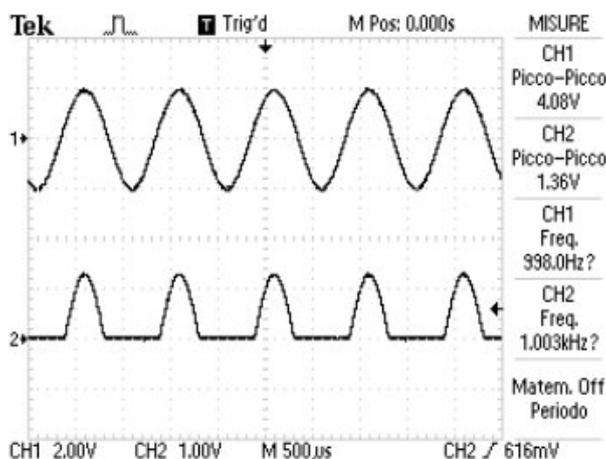


Utilizzando anche un amplificatore operazionale in configurazione non invertente è possibile ottenere lo stesso risultato, inoltre è possibile variare a piacimento la tensione di uscita che non è più così fissa al valore di  $\approx -5.1V$  che si presenta tipicamente ai capi del diodo zener in zona di polarizzazione inversa.

## 6 Esperimenti

### 6.1 Raddrizzatore a semionda

Per realizzare il raddrizzatore passivo a semionda abbiamo utilizzato un diodo 1n4002 in serie ad una resistenza da 1Kohm  $\pm 5\%$  a cui abbiamo applicato una tensione alternata sinusoidale col generatore di funzioni a 1kHz e 4V picco-picco. Visualizzando sia il segnale in ingresso che quello in uscita sull'oscilloscopio:



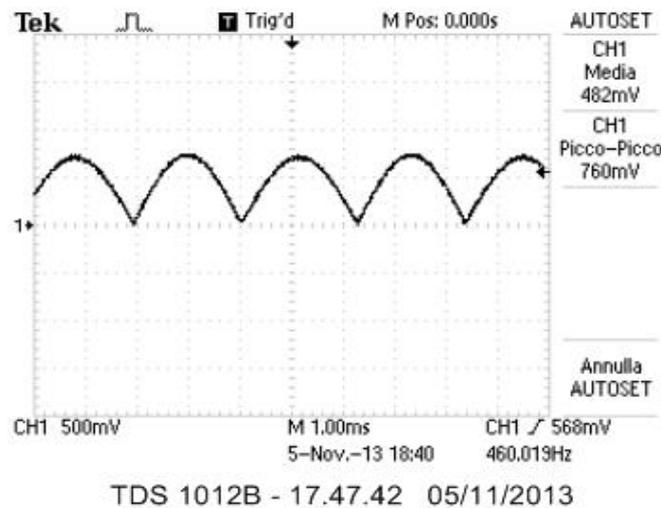
si può vedere che il segnale in uscita è costituito solo dalle semionde positive corrispondenti alle parte positiva del segnale in ingresso e che rispetto a questo ha una caduta di tensione di circa 0.7V.

Al contrario si nota come sulle semionde negative l'uscita resti a 0V.

### 6.2 Raddrizzatore a onda intera (ponte di diodi)

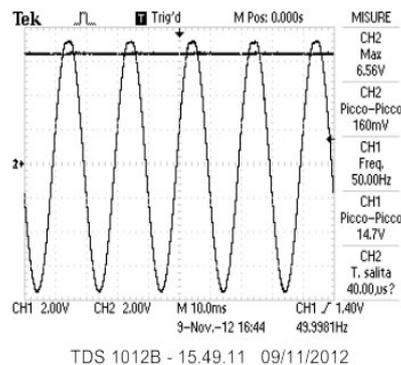
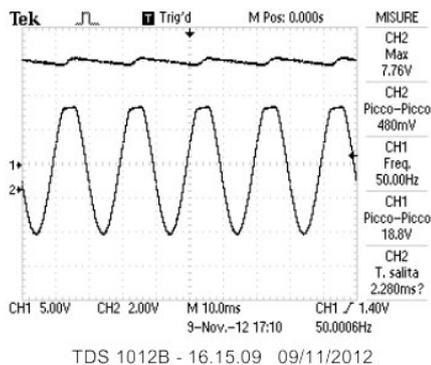
Per realizzare il raddrizzatore passivo a onda intera abbiamo utilizzato quattro diodi 1n4002 in serie ad una resistenza da 1Kohm  $\pm 5\%$  a cui abbiamo applicato una tensione alternata sinusoidale col generatore di funzioni a 1kHz e 4V picco-picco.

Come si può vedere vengono sfruttate tutte le semionde sia positive che negative del segnale.



### 6.3 Rettificatore capacitivo

Abbiamo realizzato due rettificatori capacitivi con due resistenze diverse per verificare come variava il ripple nei due casi. Abbiamo dunque utilizzato prima una resistenza da  $1\text{Kohm} \pm 5\%$  e poi una da  $10\text{Kohm} \pm 5\%$  e una capacità da  $2 \mu\text{F}$ . Utilizzando la tensione di rete a 50 Hz abbassata grazie ad un trasformatore abbiamo calcolato un ripple di rispettivamente di 0.1 e 0.01.

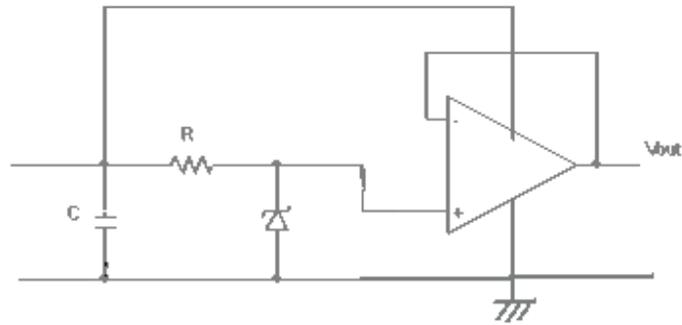


I risultati confermano come l'utilizzo di una resistenza di valore più elevato il ripple sia diminuito.

### 6.4 Alimentatore stabilizzato

Per realizzare l'alimentatore stabilizzato abbiamo utilizzato un diodo Zener in serie a una resistenza di  $4.7\text{kohm}$  che consentiva il passaggio di circa  $1\text{mA}$

nel diodo, in modo di mantenerlo in zona attiva.



Abbiamo inoltre utilizzato un amplificatore operazionale TL081 in configurazione non invertente con due resistenze di valori  $R_1 = 10\text{kohm}$ ,  $R_2 = 4.7\text{kohm}$  e abbiamo variato le resistenze di carico per verificare che la tensione  $V_{out} = V_{zener}(1 + \frac{R_2}{R_1})$  restasse costante. I valori misurati sono quelli riportati in tabella.

R (Kohm)	$V_{out}$
100	7.23
22	7.21
10	7.15
4.7	7.02
1	6.95
0.47	6.90

Come si può vedere la tensione in uscita resta abbastanza costante nonostante la grande variazione del carico applicato.