

## 5.5 Circuiti raddrizzatori

► ES 6-8

► LAB 15

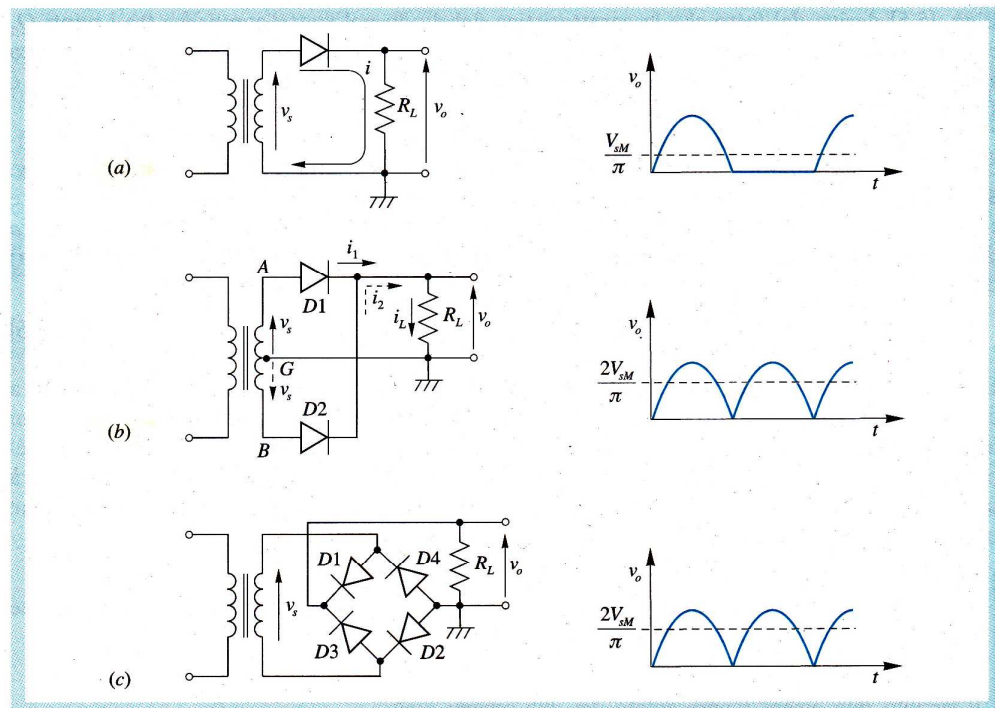
### alimentatori

Si realizza un semplice alimentatore non stabilizzato usando un trasformatore seguito da un raddrizzatore e un filtro capacitivo.

I circuiti raddrizzatori convertono una tensione alternata con valore medio nullo in una tensione unipolare con valore medio diverso da zero.

Essi trovano la loro principale applicazione nella realizzazione degli **alimentatori**, di cui costituiscono un elemento fondamentale. In questo caso il segnale applicato all'ingresso è la tensione alternata sinusoidale con frequenza 50 Hz (in Europa) o 60 Hz (in America) presente sul secondario di un trasformatore. La tensione pulsante unipolare fornita dal raddrizzatore viene poi livellata mediante un filtro; si ottiene così una tensione di valore sostanzialmente costante, che potrà essere ancora ulteriormente stabilizzata.

Le diverse configurazioni circuitali sono illustrate in **fig. 5.12** accanto alle rispettive forme d'onda di uscita quando in ingresso sia applicato un segnale sinusoidale di ampiezza  $V_{sM}$  e valore efficace  $V_s$ . L'esame di ciascun tipo di raddrizzatore consente di comprenderne il funzionamento e di calcolare il valore medio  $V_{odc}$  del segnale di uscita. Al fine di semplificare l'analisi, si considerano il trasformatore e il diodo come elementi *ideali* ossia si trascurano la resistenza del secondario  $r_s$  e la caduta di tensione sul diodo in conduzione.



**Fig. 5.12**  
Circuiti raddrizzatori e forme d'onda relative: (a) a una semionda; (b) a doppia semionda; (c) a ponte di Graetz.

**Raddrizzatore con un diodo.** Il circuito è illustrato in **fig. 5.12a**. Durante il semiciclo negativo di  $v_s$ , il diodo è polarizzato inversamente e pertanto la tensione di uscita è nulla. La semionda positiva di  $v_s$  viene invece trasferita all'uscita poiché il diodo è in conduzione.

Per questo motivo il circuito è indicato anche come *raddrizzatore a una semionda*. Si ricava per il segnale di uscita il valore medio

$$V_{odc} = \frac{V_{sM}}{\pi} \quad [5.7]$$

**Raddrizzatore con due diodi.** Il secondo circuito (*vedi fig. 5.12b*) richiede l'uso di un trasformatore con presa centrale in modo che la tensione ai capi del secondario venga ripartita esattamente e risulti  $v_{AG} = v_{GB}$  ossia  $v_{AG} = -v_{BG}$ . Si può pensare a questo circuito come all'insieme dei due raddrizzatori a una semionda. Il diodo  $D1$  conduce solo durante la semionda positiva

di  $v_s$  e  $D2$  conduce solo durante la semionda negativa di  $v_s$ . Le correnti  $i_1$  e  $i_2$ , che scorrono rispettivamente in  $D1$  e  $D2$ , percorrono  $R_L$  nello stesso verso; pertanto la corrente nel carico risulta  $i_L = i_1 + i_2$ . Poiché nel segnale di uscita sono presenti sia la semionda positiva sia quella negativa, il circuito è noto come *raddrizzatore a doppia semionda*.

Ricordando che, in questo caso, la tensione  $V_{sM}$  rappresenta l'ampiezza della sinusoide ai capi di un semi-avvolgimento, si può ricavare il valore medio della tensione di uscita

$$V_{odc} = \frac{V_{sM}}{\pi} \quad [5.8]$$

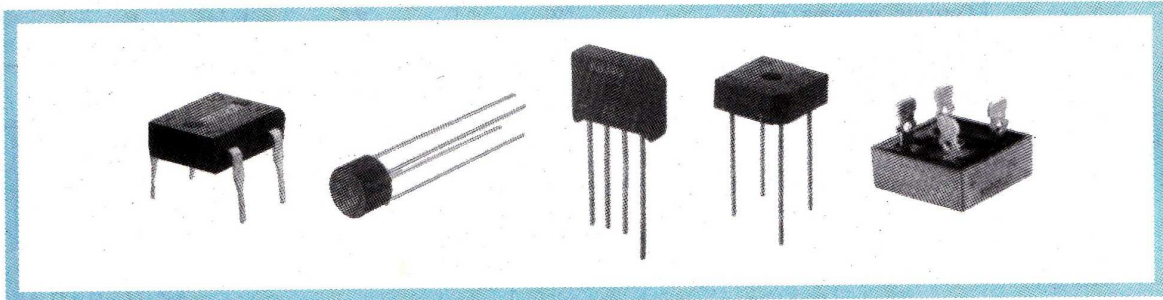
**Raddrizzatore con ponte di Graetz.** Il circuito di fig. 5.12c è anch'esso un *raddrizzatore a doppia semionda*, che non necessita di trasformatore a presa centrale, ma utilizza quattro diodi disposti secondo una particolare configurazione nota come *ponte di Graetz*. Durante il semiciclo positivo di  $v_s$ , la corrente scorre in  $D1$ ,  $R_L$ ,  $D2$ , essendo questi due diodi polarizzati direttamente. Durante il semiciclo negativo, la corrente scorre in  $D3$ ,  $R_L$ ,  $D4$  mentre  $D1$  e  $D2$  sono polarizzati inversamente. Il valore medio della tensione di uscita è ancora espresso dalla relazione

$$V_{odc} = \frac{2V_{sM}}{\pi} \quad [5.9]$$

dove  $V_{sM}$  è l'ampiezza della sinusoide ai capi dell'intero avvolgimento secondario.

Questo circuito offre indubbiamente le prestazioni migliori e viene quasi sempre prescelto anche per il fatto che sono comunemente disponibili in commercio ponti di diodi per diverse potenze realizzati in un unico contenitore. In fig. 5.13 sono riportati alcuni esempi.

**Fig. 5.13**  
Tipi di ponti di raddrizzamento.



### ESEMPIO 5.3

Con riferimento a ciascuno dei tre circuiti illustrati in fig. 5.12, considerando  $R_L = 100 \Omega$  e supponendo di utilizzare un trasformatore da 220:6+6 V provvisto di presa centrale, calcolare i rispettivi valori medi della tensione di uscita  $V_{odc}$ .

### SOLUZIONE

Il trasformatore fornisce alle estremità dell'avvolgimento secondario una tensione efficace  $V_s = 12 \text{ V}$  e quindi una sinusoide con ampiezza  $V_{sM} = \sqrt{2} V_s = 17 \text{ V}$ .

Fra ciascuna estremità dell'avvolgimento e la presa centrale fornisce invece una tensione efficace  $V_s = 6 \text{ V}$  e quindi una sinusoide con ampiezza  $V_{sM} = 8,5 \text{ V}$ .

Applicando per i tre circuiti le rispettive eq. [5.7], [5.8], [5.9], si ricavano i seguenti valori.

$$\text{Raddrizzatore con un diodo} \quad V_{odc} = \frac{V_{sM}}{\pi} = \frac{17}{\pi} = 5,4 \text{ V}$$

$$\text{Raddrizzatore con due diodi} \quad V_{odc} = \frac{2V_{sM}}{\pi} = \frac{2 \times 8,5}{\pi} = 5,4 \text{ V}$$

$$\text{Raddrizzatore con ponte di Graetz} \quad V_{odc} = \frac{2V_{sM}}{\pi} = \frac{2 \times 17}{\pi} = 10,8 \text{ V}$$

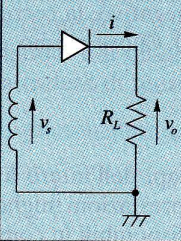
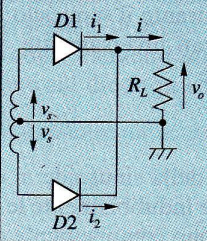
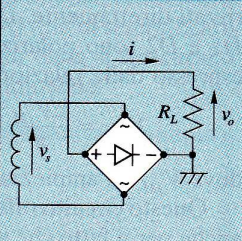
Si verifica che il valore medio della tensione di uscita più elevato si ottiene con il circuito a ponte di Graetz. Per ottenere lo stesso valore di  $V_{odc}$  con gli altri due circuiti occorrerebbe utilizzare un trasformatore con un numero di spire doppio al secondario.



### 5.5.1 Parametri principali

Per scegliere la configurazione circuitale più opportuna e dimensionare i diodi o il ponte, è bene considerare, oltre al valore medio  $V_{odc}$  già indicato, altre grandezze significative. In particolare occorre valutare le correnti massime  $I_{FM}$  o  $I_{DM}$  e le correnti medie  $I_{F(AV)}$  o  $I_{Dm}$  che vengono a scorrere nei diodi in conduzione. Quest'ultimo parametro deve essere confrontato con il corrispondente valore riportato sui fogli tecnici dei diodi raddrizzatori e dei ponti. È poi importante considerare le tensioni inverse massime  $V_{RRM}$  che vengono applicate in modo ripetitivo ai diodi polarizzati inversamente per accertarsi che i valori non superino quelli consentiti. In **tab. 5.1** sono riportate sinteticamente per ciascun circuito le espressioni delle grandezze citate.

**Tab. 5.1**

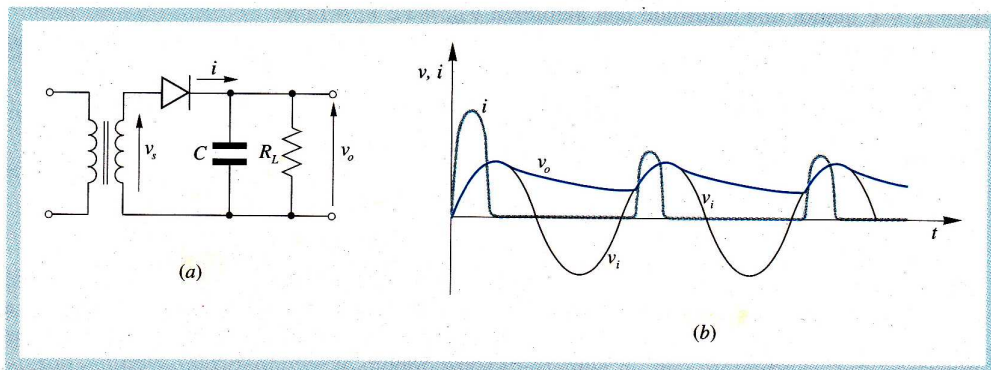
Parametri	Simboli			
Valore medio della tensione di uscita a vuoto	$V_{odc}$	$\frac{V_{sM}}{\pi}$	$\frac{2V_{sM}}{\pi}$	$\frac{2V_{sM}}{\pi}$
Corrente massima in ciascun diodo	$I_{FM}$	$\frac{V_{sM}}{R_L}$	$\frac{V_{sM}}{R_L}$	$\frac{V_{sM}}{R_L}$
Corrente media in ciascun diodo	$I_{F(AV)}$	$\frac{V_{sM}}{\pi R_L}$	$\frac{V_{sM}}{\pi R_L}$	$\frac{V_{sM}}{\pi R_L}$
Tensione inversa massima su ciascun diodo	$V_{RRM}$	$V_{sM}$	$2V_{sM}$	$V_{sM}$

### 5.5.2 Raddrizzatore con filtro capacitivo

La tensione pulsante fornita dai raddrizzatori viene quasi sempre livellata mediante un filtro.

In **fig. 5.14a** è illustrato un raddrizzatore a una semionda con filtro capacitivo e carico  $R_L$ . Come risulta evidente dalle forme d'onda illustrate in **fig. 5.14b**, durante il primo quarto di periodo, quando il diodo conduce, il condensatore si carica seguendo  $v_s$  fino al valore di picco  $V_{sM}$ . Al diminuire di  $v_s$ , il diodo si interdice e  $C$  si scarica parzialmente su  $R_L$  fino a che, nel successivo semiciclo positivo,  $v_s$  non raggiunge il valore della tensione sul condensatore. A questo punto il diodo ricomincia a condurre e il condensatore si ricarica seguendo  $v_s$ .

**Fig. 5.14**  
Raddrizzatore con filtro capacitivo e forme d'onda relative.



Si può osservare che l'ondulazione presente nel segnale di uscita è tanto minore quanto maggiore è la costante di tempo di scarica del condensatore. Pertanto, fissato il valore di  $R_L$ , occorre scegliere un condensatore di capacità sufficientemente elevata da garantire un buon livellamento.

In fig. 5.14b sono rappresentati anche i picchi della corrente che scorre nel diodo in conduzione. In particolare, durante la carica iniziale, la corrente che scorre in  $C$ , limitata solo dalla resistenza del secondario del trasformatore, dalla resistenza serie del condensatore e dalla bassissima  $R_f$  del diodo, può assumere valori considerevoli. Occorre pertanto confrontare tale corrente con i dati riportati dai fogli tecnici relativamente alla corrente  $I_{FSM}$ , ovvero la massima corrente di picco non ripetitiva ammessa.

Il funzionamento descritto si applica anche ai raddrizzatori a doppia semionda. Ovviamente, essendo minore il tempo di scarica del condensatore, si ha un miglior livellamento.

**Ripple.** Per valutare l'ondulazione presente in un segnale unipolare si introduce un fattore indicato come *fattore di ondulazione* o *ripple*. Esso è definito come il rapporto percentuale fra il valore efficace della tensione di ondulazione e il valore medio del segnale. Si ricava che il ripple  $r$  presente nel segnale di uscita di un raddrizzatore a una semionda è pari al 121%, mentre per il raddrizzatore a doppia semionda il ripple scende al 48%.

Inserendo un *filtro capacitivo* a valle di un raddrizzatore a doppia semionda si ottiene un segnale di uscita sostanzialmente livellato con valore medio  $V_{odc}$  e un'ondulazione  $\Delta V_o$  molto ridotta; questa dipende ovviamente dalla frequenza  $f_r$  del segnale ondulato ( $f_r = 2f$  ovvero il doppio della frequenza della tensione sinusoidale di ingresso), dalla capacità e dalla resistenza di carico. Si calcola in questo caso che il fattore di ripple è espresso con buona approssimazione dalla relazione

$$r = \frac{1}{4\sqrt{3} f C R_L} = \frac{\Delta V_o}{2\sqrt{3} V_{odc}} \quad [5.10]$$

**ESEMPIO 5.4**

Il raddrizzatore a ponte di Graetz con filtro capacitivo illustrato in **fig. 5.15a** fornisce in uscita una tensione con valore medio  $V_{odc} = 6,22 \text{ V}$ . Calcolare il fattore di ripple  $r$  e l'ampiezza dell'ondulazione  $\Delta V_o$ . Disegnare la forma d'onda  $v_o^*$  che si ottiene scollegando la cella  $CR_L$  e la forma d'onda  $v_o$  presente all'uscita del circuito completo.

**SOLUZIONE**

Sostituendo i valori dei componenti nell'eq. [5.10] si ricavano

$$r = \frac{1}{4\sqrt{3} \times 50 \times 470 \times 10^{-6} \times 100} \approx 0,06 (6\%) \quad \Delta V_o = 2\sqrt{3} r V_{odc} \approx 1,3 \text{ V}$$

e si disegnano le forme d'onda di **fig. 5.15b**.

**Fig. 5.15**  
(a) Raddrizzatore a doppia semionda con filtro capacitivo e (b) forme d'onda relative.

