

**Prof. Antonino Cucinotta**

## **LABORATORIO DI ELETTRONICA**

### **CIRCUITI RADDRIZZATORI**

#### **Materiale e strumenti:**

- Diodo raddrizzatore 1N4001 (50 V – 1A)
- Ponte raddrizzatore da 50 V – 1 A
- Condensatori elettrolitici da 1000  $\mu$ F e 10000  $\mu$ F – 16 V
- Resistori di carico da 100  $\Omega$  e da 1 k $\Omega$  - 1 W
- Motorino in c.c. (carico) da 12 V
- Socket (piastra per montaggi sperimentali)
- Oscilloscopio analogico a doppia traccia
- Generatore di segnali (generatore di funzioni) con stadio di potenza da 10 V, 1 A , 50 Hz ~ per l'alimentazione dei circuiti raddrizzatori (in sostituzione del trasformatore di rete)
- Frequenzimetro

#### **Fasi dell'esercitazione:**

- 1) Realizzazione e verifica del funzionamento del raddrizzatore a semionda;
- 2) Realizzazione e verifica del funzionamento del raddrizzatore a ponte di Graetz.

## INTRODUZIONE TEORICA

### Raddrizzatore a semionda

Consideriamo gli schemi circuitali:

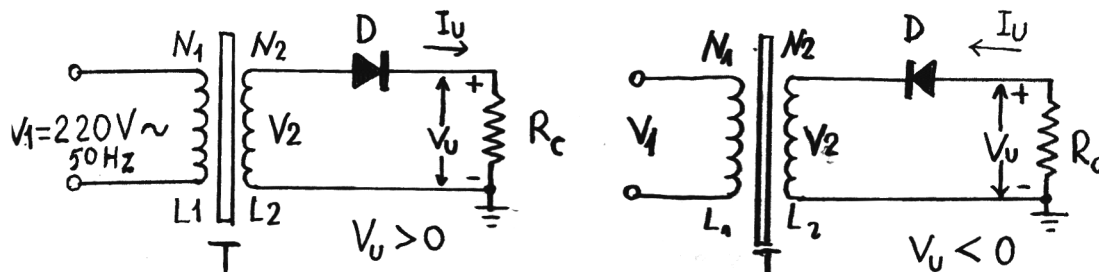


fig. 1

Il trasformatore T, costituito dagli avvolgimenti L1 ed L2 (rispettivamente primario e secondario) accoppiati induttivamente attraverso un nucleo di materiale ferromagnetico, viene alimentato dalla rete a corrente alternata, alla tensione primaria V1 (valore efficace), e fornisce la tensione secondaria V2 al circuito raddrizzatore a semionda.

Per ogni trasformatore vale la seguente relazione (teorica):

$$N1/V1 = N2/V2,$$

dove N1 ed N2 sono rispettivamente i numeri delle spire degli avvolgimenti L1 ed L2; pertanto, fissato il numero N1, si può determinare N2 in base al rapporto tra le tensioni V1 e V2.

D è un diodo raddrizzatore al silicio, in grado di sopportare sia la corrente continua richiesta dal carico Rc sia la tensione inversa di picco  $V2p = V2 * 1,414$ .

Le figg. 2 e 3 rappresentano rispettivamente le forme d'onda della tensione alternata V2, applicata all'ingresso del circuito raddrizzatore, e della tensione d'uscita Vu, presente ai capi del resistore di carico.

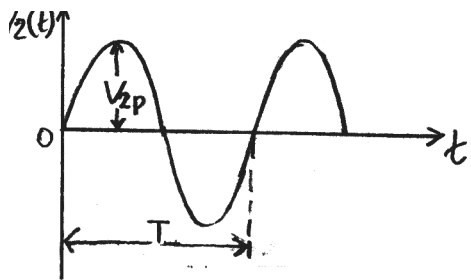


fig.2

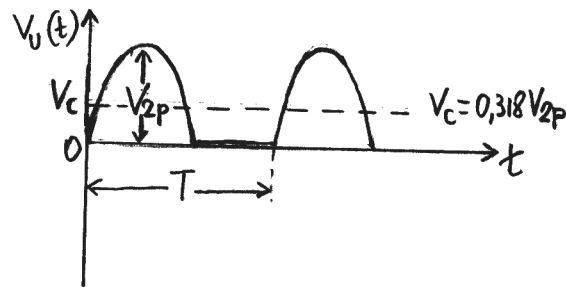


fig.3

La tensione d'uscita  $V_u$  è una tensione pulsante, costituita da semionde positive con valore di picco  $V_{2p} = V_2 * \sqrt{2}$ ; infatti il diodo  $D$  conduce soltanto durante le semionde positive, che rendono l'anodo positivo rispetto al catodo (polarizzazione diretta), consentendo il passaggio della corrente pulsante  $I_u$ , costituita da semionde positive con valore di picco  $I_{2p} = V_{2p}/R_c$  (legge di Ohm).

Durante le semionde negative il diodo  $D$  non conduce ( $I_u = 0$ ), poiché l'anodo è polarizzato negativamente rispetto al catodo (polarizzazione inversa); pertanto, essendo  $I_u = 0$ , anche  $V_u = R_c * I_u$  si annulla. In realtà, durante le semionde negative passa una debolissima corrente inversa di dispersione (corrente inversa di saturazione), del valore di qualche nA in un diodo al silicio, a  $25^\circ\text{C}$ ), ed il diodo è sottoposto ad una tensione inversa massima pari al valore di picco  $V_{2p}$ . Se per esempio  $V_2 = 50\text{ V}$  (valore efficace),  $V_{2p} = 50 * 1,414 = 70,7\text{ V}$ ; pertanto occorre un diodo raddrizzatore in grado di sopportare una tensione inversa di picco superiore a  $70,7\text{ V}$ .

Il carico  $R_c$  viene percorso da una corrente pulsante caratterizzata dai seguenti valori:

Valore di picco  $I_{2p} = V_{2p}/R_c$ ;

Valor medio (componente continua)  $I_c = I_{2p}/\pi = 0,318 I_{2p}$ ;

La tensione pulsante ai capi del carico è caratterizzata dai seguenti valori:

Valore di picco  $V_{2p} = V_2 * 1,414$ ;

Valor medio (componente continua)  $V_c = V_{2p}/\pi = 0,318 V_{2p}$ ;

### Esempio

Supponendo che la tensione sinusoidale ai capi dell'avvolgimento secondario del trasformatore abbia il valore efficace

$V_2 = 12 \text{ V}$  e che il carico  $R_c$  sia pari a  $200 \Omega$ , si ha:

$V_{2p} = V_2 * 1,414 = 12 * 1,414 = 16,96 \text{ V}$  (valore di picco della tensione ai capi del carico);

$I_{2p} = V_{2p}/R_c = 16,96/200 = 8,48 * 10^{-2} \text{ A} = 84,8 \text{ mA}$  (valore di picco della corrente di carico);

$V_c = 0,318 V_{2p} = 0,318 * 16,96 = 5,39 \text{ V}$  (valor medio della tensione ai capi del carico);

$I_c = 0,318 I_{2p} = 0,318 * 84,8 = 26,96 \text{ mA}$  (valor medio della corrente di carico).

I raddrizzatori a semionda di fig. 1 non sono in grado di fornire corrente continua, ma soltanto una corrente unidirezionale (pulsante) costituita da semionde positive (o negative, se si invertono i terminali del diodo).

Per ottenere all'uscita del raddrizzatore una tensione ed una corrente praticamente continue, bisogna collegare in parallelo al carico  $R_c$  un condensatore elettrolitico di elevata capacità (condensatore di filtro), al fine di livellare le variazioni di tensione dovute agli impulsi sinusoidali.

Consideriamo pertanto lo schema circuitale di fig. 4a, relativo ad un raddrizzatore a semionda con filtro capacitivo, ed analizziamone il funzionamento facendo riferimento alle figg.

4b e 4c, che mostrano rispettivamente le forme d'onda della tensione  $V_2$  all'ingresso del raddrizzatore e della tensione  $V_u$  ai capi del carico  $R_c$ .

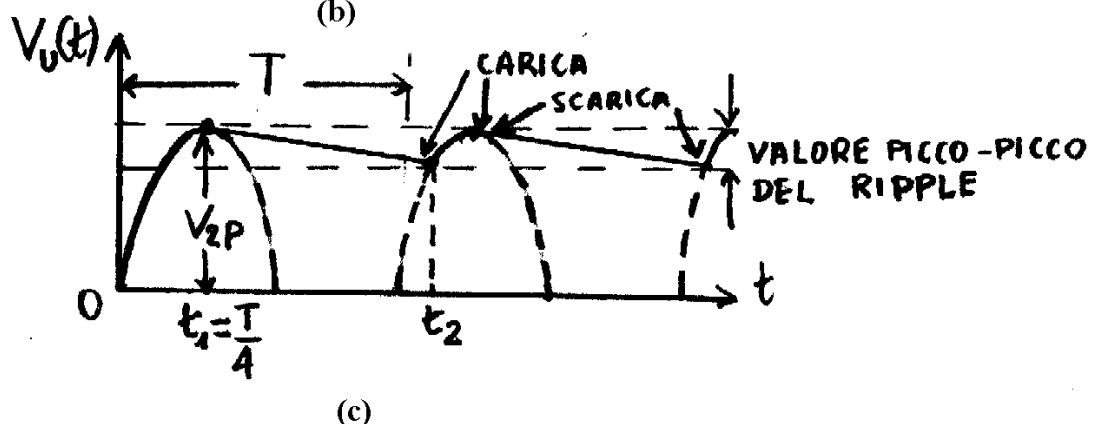
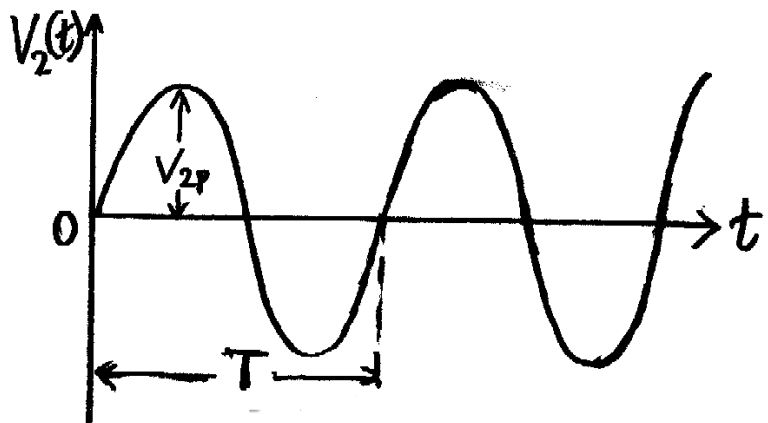
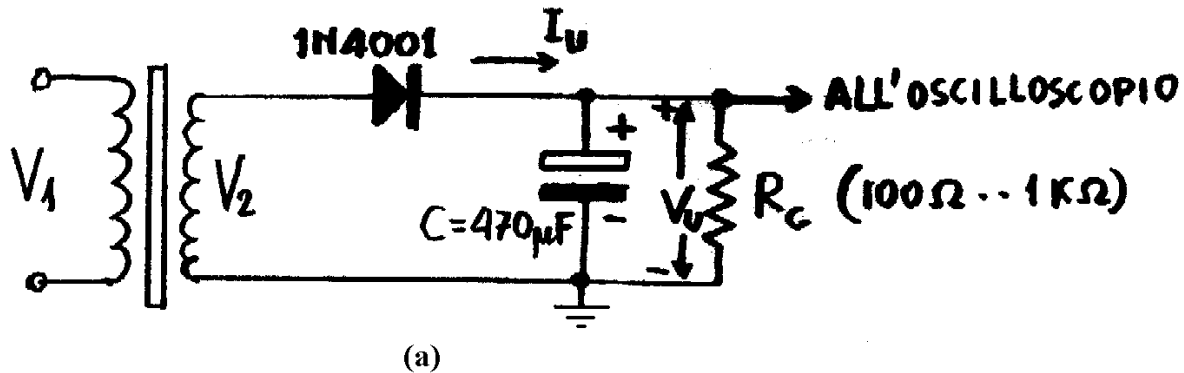


Fig 4

Quando il carico  $R_c$  non è collegato al raddrizzatore, la tensione d'uscita  $V_u$  si mantiene costantemente pari al valore di picco  $V_{2p} = V_2 * 1,414$ , in quanto il condensato-

re C si carica attraverso il diodo e si mantiene carico al valore  $V_{2p}$  anche durante le semionde negative, che polarizzano inversamente il diodo, bloccandone la conduzione. Bisogna notare in proposito che la presenza del condensatore C raddoppia il valore della tensione inversa di picco cui è sottoposto il diodo; infatti alla tensione inversa con valore di picco  $V_{2p}$  (ai capi del secondario del trasformatore) si aggiunge la tensione  $V_{2p}$  ai capi del condensatore, facendo aumentare a  $2 \cdot V_{2p}$  la tensione inversa di picco ai capi del diodo, che deve essere in grado di sopportarla senza subire danni.

Consideriamo adesso il funzionamento del raddrizzatore con il carico  $R_c$  collegato in parallelo al condensatore.

Al termine del primo quarto di periodo C è carico, per  $t_1 = T/4$ , al valore di picco  $V_{2p}$  della semionda positiva; subito dopo, la tensione sinusoidale comincia a decrescere ed il diodo si polarizza inversamente (l'anodo è meno positivo del catodo), bloccando il passaggio della restante parte della semionda positiva. A partire dall'istante  $t_1$  il circuito di carica del condensatore viene interrotto, in quanto il diodo funge da interruttore elettronico, ed il condensatore si scarica sul resistore di carico  $R_c$  fino all'istante  $t_2$ , in corrispondenza del quale la tensione sinusoidale ridiventa uguale alla tensione ai capi del condensatore, polarizzando direttamente il diodo e determinando così un nuovo passaggio di corrente diretta che restituisce al condensatore l'energia dissipata sul carico. Ai capi del carico si ottiene pertanto una tensione quasi continua, tanto più livellata quanto maggiore è la capacità del condensatore, il quale funge da serbatoio di energia elettrostatica durante gli intervalli di tempo nei quali il diodo non conduce.

Ai capi del carico rimane in definitiva una tensione di ondulazione (alternata residua) (in inglese ripple), so-

vrapposta alla componente continua  $V_c$ , il cui valore è tanto più vicino al valore di picco  $V_{2p}$  quanto maggiore è la capacità del condensatore di filtro. Viceversa, fissato un valore di  $C$  sufficientemente grande ( $C = 470 \mu\text{F}$  o  $1000 \mu\text{F}$ ), si può verificare sperimentalmente che il ripple aumenta al diminuire del valore del resistore di carico  $R_c$  (per es. da  $1 \text{ K}\Omega$  a  $100 \Omega$ ), in quanto all' aumentare della corrente di carico, il condensatore si scarica più rapidamente su  $R_c$  rendendo meno livellata la tensione d'uscita (fig.5).

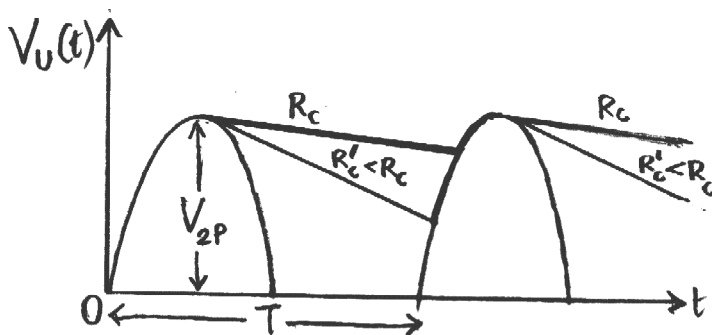


fig.5

## Raddrizzatore a ponte di Graetz (ad onda intera) con filtro capacitivo

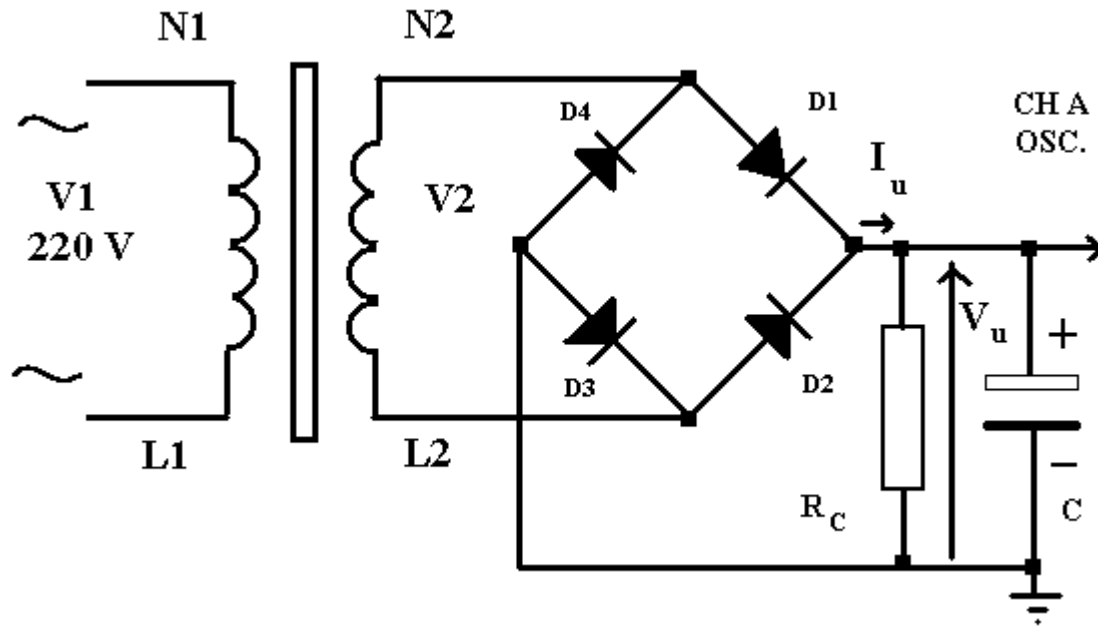
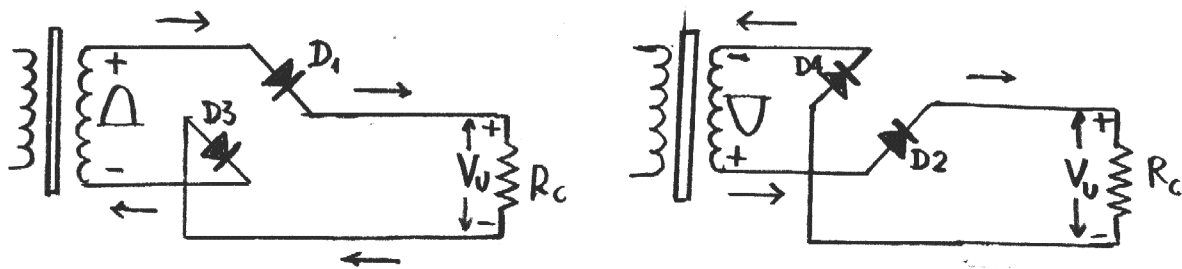


fig.6

La fig.6 mostra lo schema circuitale del raddrizzatore a ponte di Graetz con filtro capacitivo.

In questo caso si ottiene un notevole aumento dell'efficienza della conversione della corrente alternata in corrente continua,poichè si sfruttano entrambe le semionde (raddrizzatore ad onda intera).





(a) fig. 7 (b)

Per analizzare il funzionamento del circuito, supponiamo di disinserire temporaneamente il condensatore C, in modo da poter fare il confronto con il circuito a semionda senza filtro capacitivo. Durante il primo semiperiodo (fig. 7a) ai capi di  $R_c$  è presente una semionda positiva con valore di picco  $V_{2p} = V_2 * 1,414$ , in quanto conducono i diodi  $D_1$  e  $D_3$  (polarizzati direttamente), mentre risultano bloccati i diodi  $D_2$  e  $D_4$ . Durante il secondo semiperiodo (fig. 7b) ai capi di  $R_c$  si ottiene, grazie all'inversione di polarità introdotta dai diodi  $D_2$  e  $D_4$ , un'altra semionda positiva con lo stesso valore di picco (conducono i diodi  $D_2$  e  $D_4$ , mentre risultano polarizzati inversamente i diodi  $D_1$  e  $D_3$ ).

Le figg. 7a e 7b evidenziano il verso della corrente pulsante nei due casi.

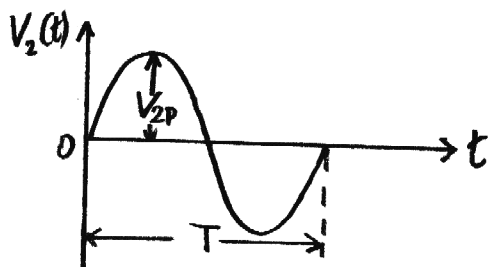


fig. 8 (tensione d'ingresso)

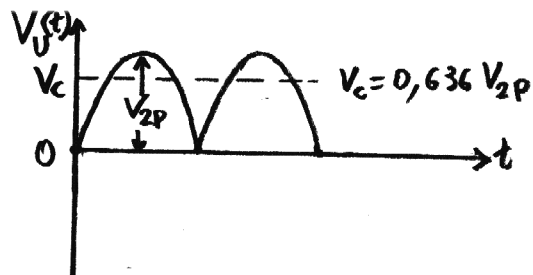


fig. 9 (tensione d'uscita)

I valori medi della tensione e della corrente di carico

risultano ovviamente raddoppiati rispetto al circuito a semionda senza filtro capacitivo.

Il carico  $R_c$  viene percorso da una corrente pulsante caratterizzata dai seguenti valori:

Valore di picco  $I_{2p} = V_{2p}/R_c$ ;

Valor medio (componente continua)  $I_c = 2 \cdot I_{2p}/\pi = 0,636 I_{2p}$ ;

La tensione pulsante ai capi del carico è caratterizzata dai seguenti valori:

Valore di picco  $V_{2p} = V_2 \cdot 1,414$ ;

Valor medio (componente continua)  $V_c = 2 \cdot V_{2p}/\pi = 0,636 V_{2p}$ .

Il funzionamento del raddrizzatore a ponte con filtro capacitivo è analogo a quello del raddrizzatore a semionda.

Si deve però tenere presente che la tensione alternata residua ha frequenza doppia rispetto alla frequenza di rete e che la tensione inversa di picco ai capi di ciascun diodo coincide con  $V_{2p}$ , in quanto si suddivide tra due diodi dello stesso tipo, collegati in serie.

La fig. 10 mostra la forma d'onda della tensione d'uscita in differenti condizioni di carico; valgono in proposito le stesse considerazioni espresse per il circuito a semionda con filtro capacitivo.

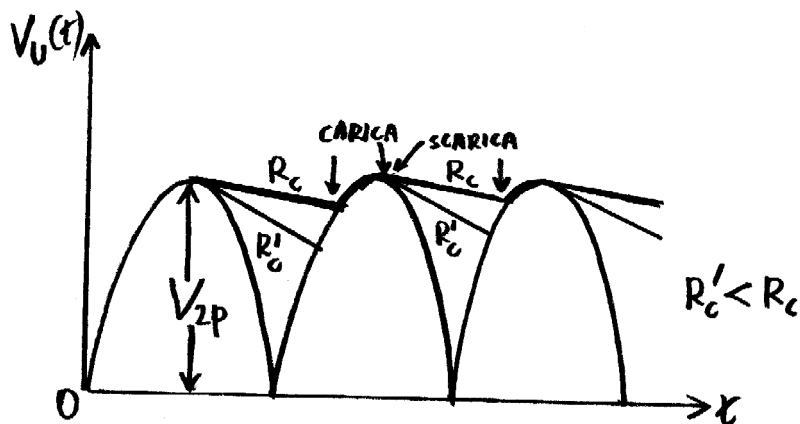


fig. 10

Schema d'impiego di un raddrizzatore a ponte incapsulato, equivalente ai 4 diodi di fig. 6

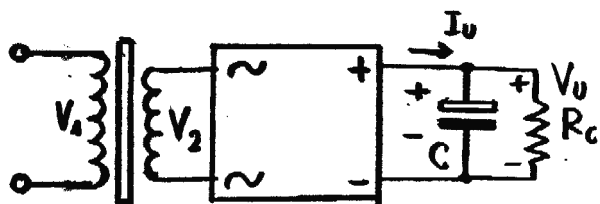


fig 11