

# *Convertitori*

*c.a.-c.a.*

# *Convertitori c.a.-c.a.*

Tra i vari tipi di convertitori monostadio, i convertitori c.a.-c.a. sono quelli che presentano il minore interesse applicativo, a causa delle notevoli limitazioni per quanto concerne sia la qualità della forma d'onda della tensione di uscita sia il campo di variazione della frequenza.

I convertitori c.a.-c.a. possono essere suddivisi in tre categorie:

- ➔ *convertitori a controllo di fase,*
- ➔ *cicloconvertitori,*
- ➔ *convertitori a matrice.*

# *Convertitori c.a.-c.a.*

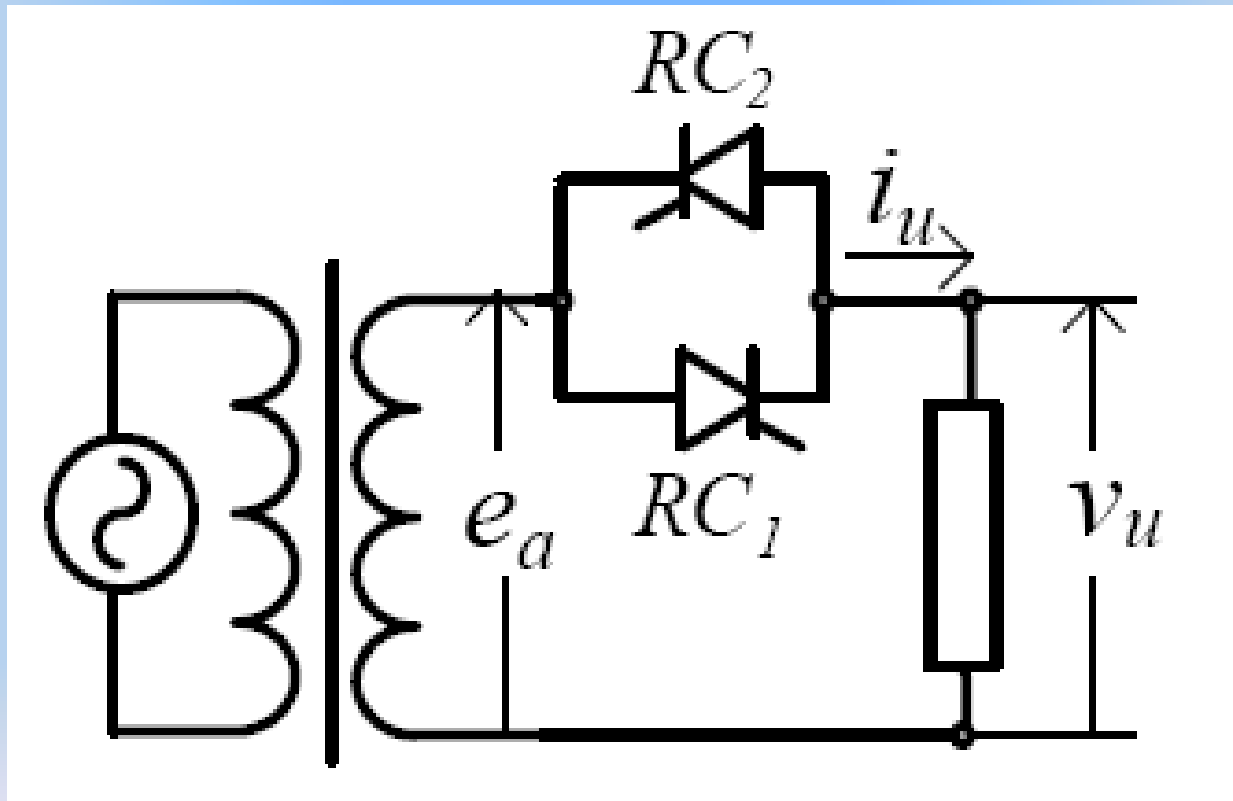
I convertitori a **controllo di fase** forniscono una tensione la cui prima armonica è isofrequenziale con la tensione di alimentazione e di cui è possibile **variare solo l'ampiezza**.

I **cicloconvertitori**, invece, sono in grado di **variare anche la frequenza di uscita** che deve, comunque, essere alquanto più piccola di quella di alimentazione.

I **convertitori a matrice**, infine, sono in grado di **variare la frequenza di uscita** entro un ampio campo di variazione.

# Convertitori a controllo di fase

Il convertitore monofase a controllo di fase impiega due Tiristori collegati in antiparallelo.



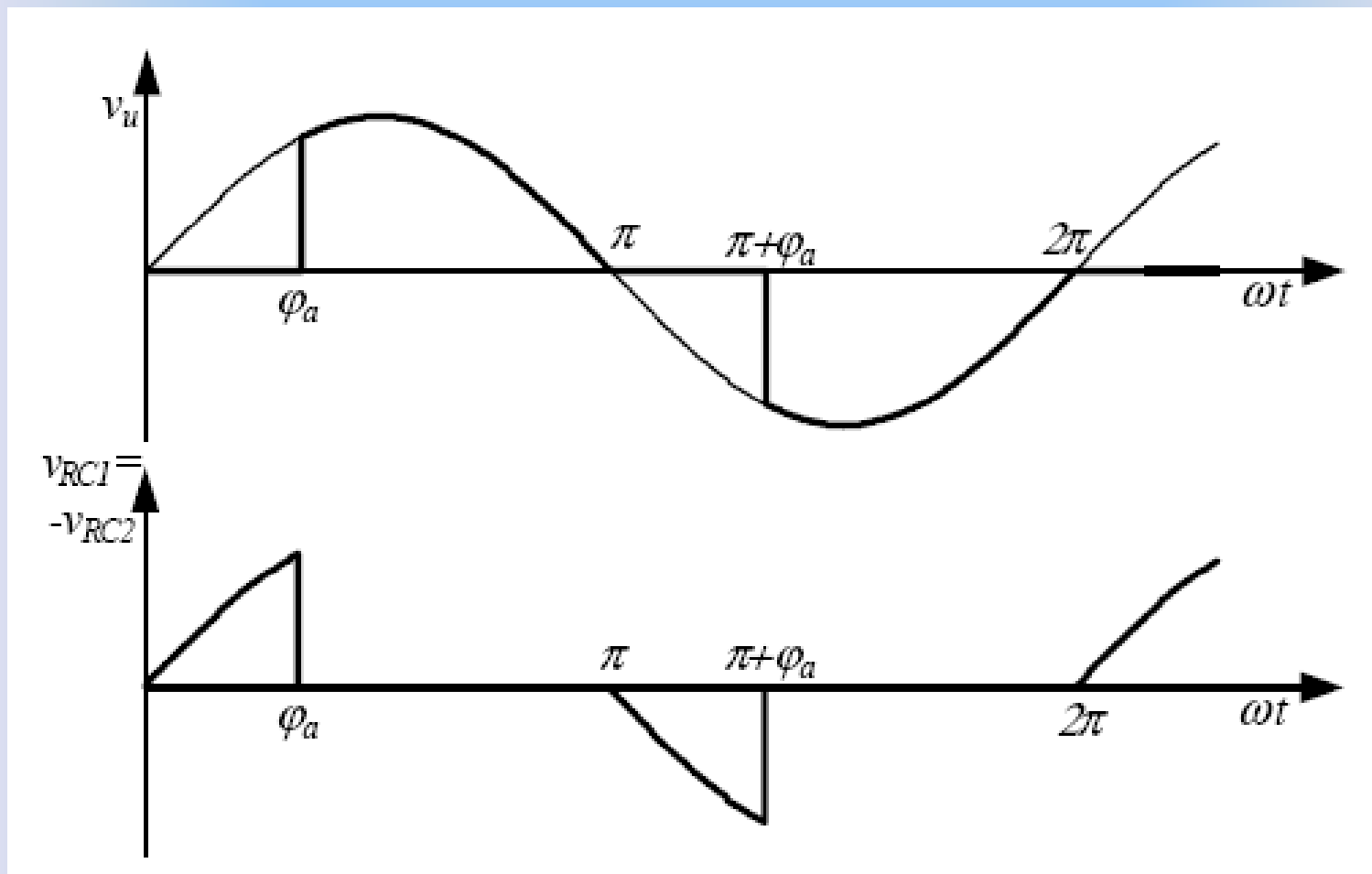
# Convertitori a controllo di fase

La forma d'onda della tensione fornita da tale convertitore risulta **fortemente influenzata dalla natura del carico**.

Se il carico è di tipo **puramente resistivo** e i Tiristori  $RC_1$  e  $RC_2$  vengono accesi con un angolo di ritardo  $\varphi_a$  (compreso tra 0 e  $\pi$ ) rispetto agli istanti in cui la tensione di alimentazione attraversa lo zero con pendenza positiva ( $RC_1$ ) e negativa ( $RC_2$ ), la tensione fornita al carico e quella applicata alla coppia di Tiristori assumono i seguenti andamenti.

# Convertitori a controllo di fase

carico puramente resistivo



# Convertitori a controllo di fase

L'ampiezza della prima armonica della tensione fornita al carico è quindi pari a:

$$V_1 = \sqrt{S_1^2 + C_1^2}$$

essendo:

$$S_1 = \frac{2}{\pi} \int_{\varphi_a}^{\pi} E_a \sin^2(\varphi) d\varphi = \frac{E_a}{\pi} \left[ \pi - \varphi_a + \frac{\sin(2\varphi_a)}{2} \right]$$
$$C_1 = \frac{2}{\pi} \int_{\varphi_a}^{\pi} E_a \sin(\varphi) \cos(\varphi) d\varphi = -\frac{E_a}{\pi} \sin^2(\varphi_a) .$$

# Convertitori a controllo di fase

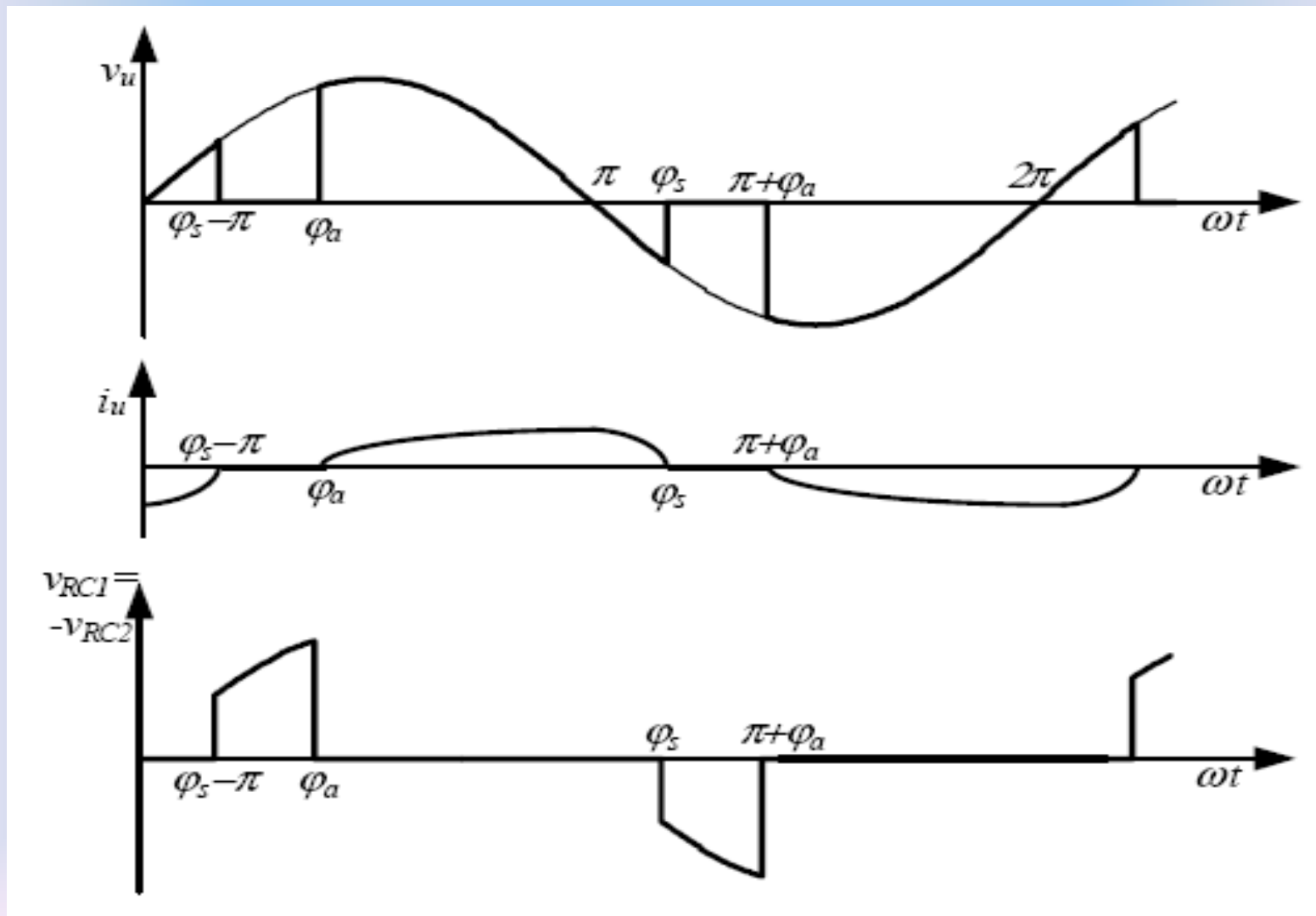
Se il carico è di tipo  $RL$  possono verificarsi due situazioni, a seconda che  $\varphi_a$  sia maggiore o minore dello sfasamento che la corrente ha rispetto alla tensione quando l'angolo di accensione è nullo:

$$\theta = \arctan \left( \frac{\omega L}{R} \right)$$

Quando  $\varphi_a < \theta$ , la tensione applicata al carico coincide con la tensione  $e_a$ ; in caso contrario l'andamento della tensione  $v_u$  dipende, oltre che dal valore di  $\varphi_a$ , da quello del rapporto  $\omega L/R$ .

# Convertitori a controllo di fase

$\varphi_a > \theta$  carico RL

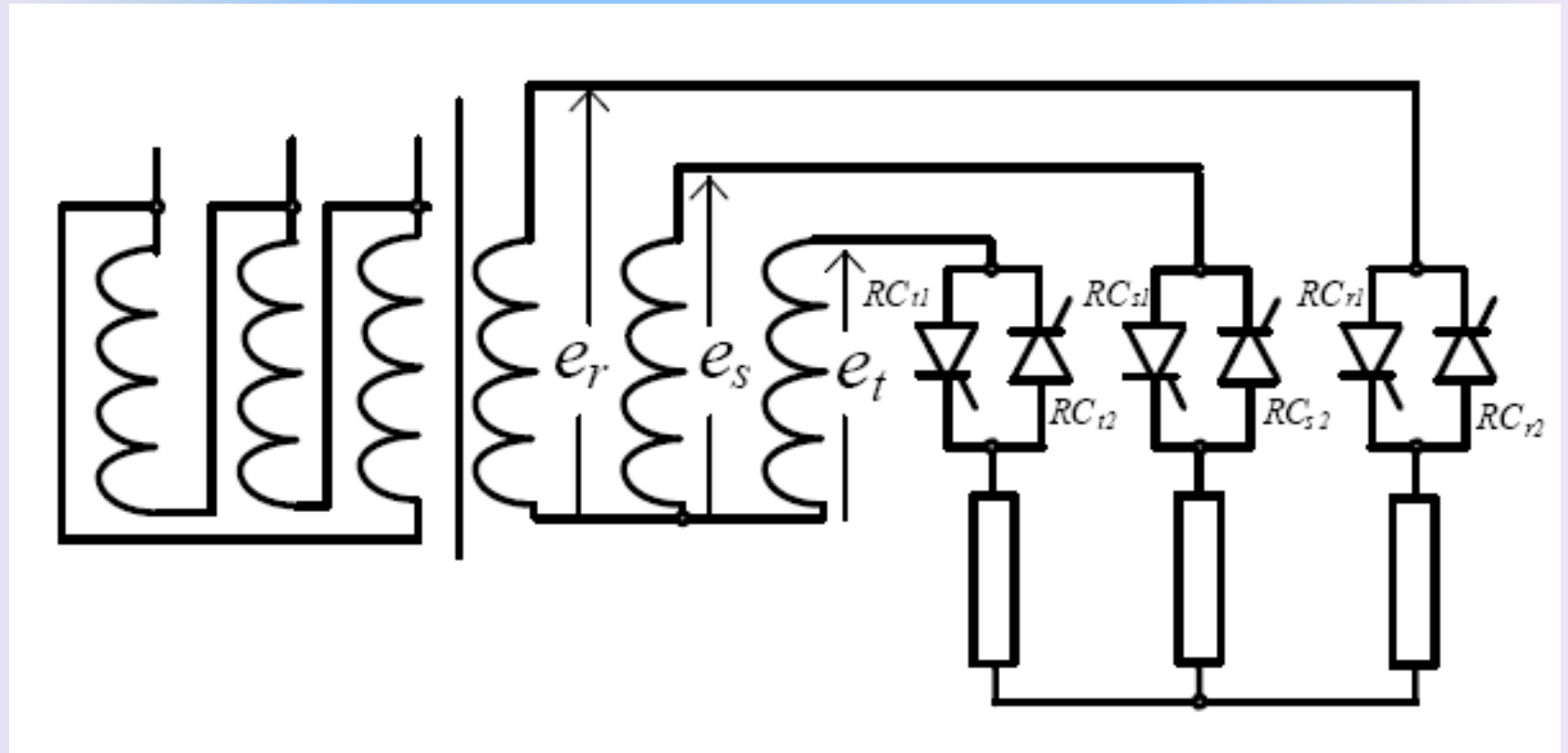


# *Convertitori a controllo di fase*

Nel testo sono riportate le espressioni dell'angolo di spegnimento e dell'ampiezza della prima armonica della tensione di uscita.

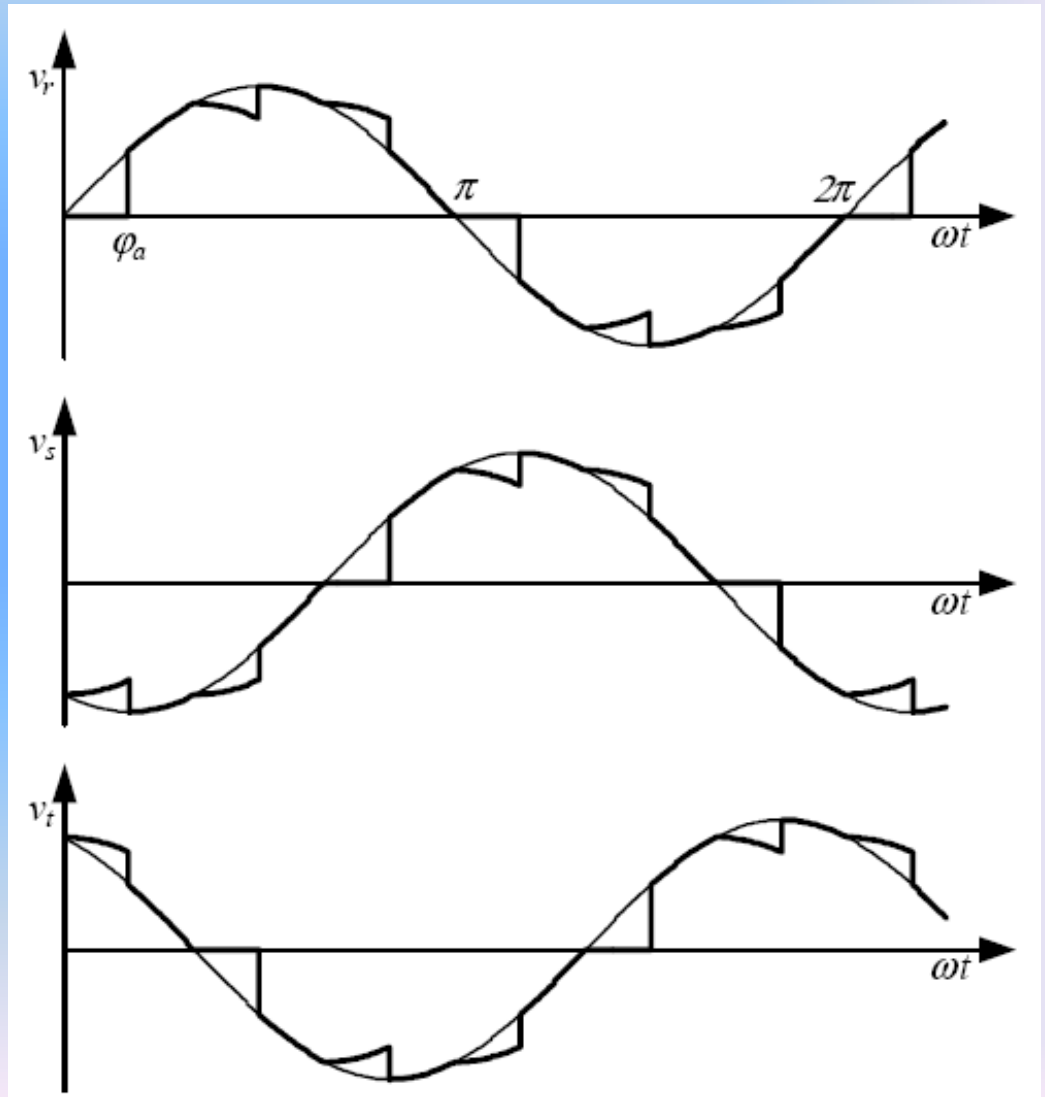
# Convertitori a controllo di fase

## Convertitore trifase



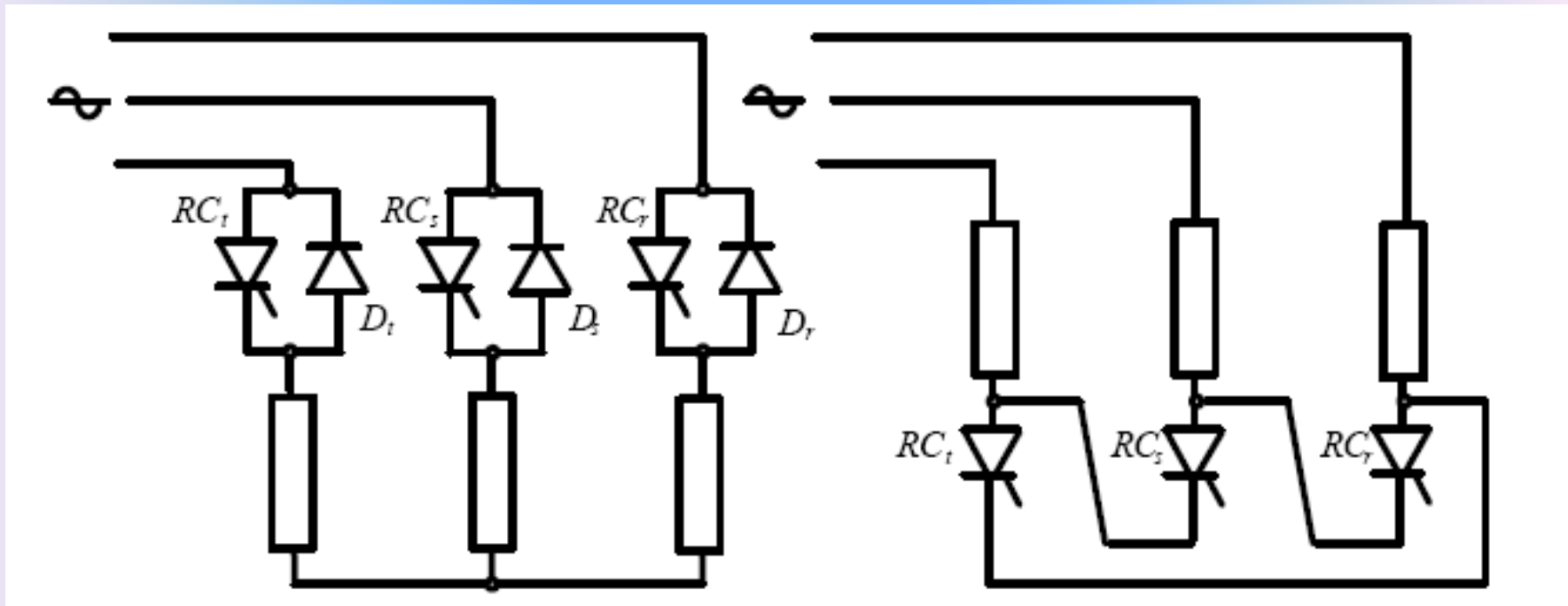
# Convertitori a controllo di fase

Convertitore trifase  
carico resistivo



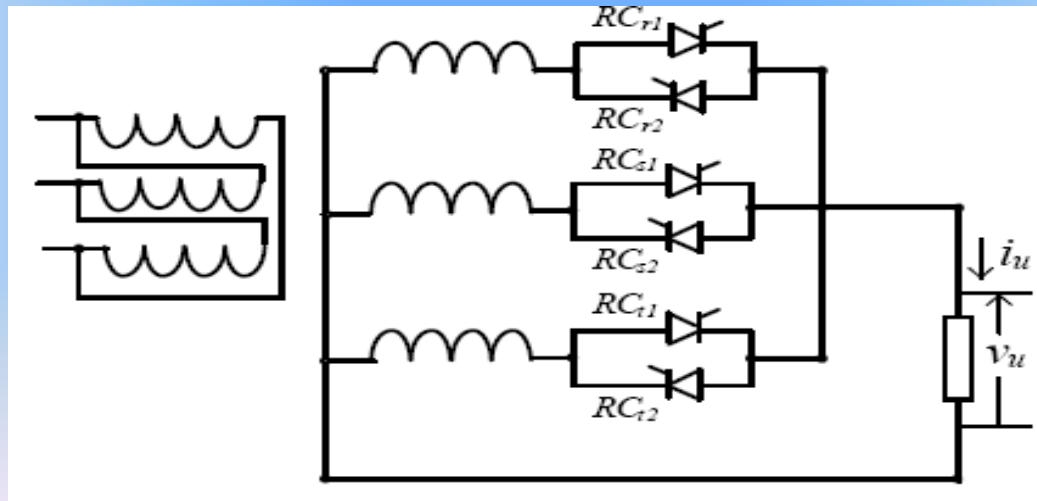
# Convertitori a controllo di fase

altre strutture (con forma d'onda non simmetrica)



# Cicloconvertitori

I cicloconvertitori monofase presentano una struttura di potenza identica a quella di un convertitore c.a.-c.c. bidirezionale a quattro quadranti (in genere con alimentazione trifase). Infatti variando nel tempo in maniera opportuna gli angoli di accensione  $\varphi_{a1}$  e  $\varphi_{a2}$  di un convertitore c.a.-c.c. bidirezionale a quattro quadranti è possibile ottenere una forma d'onda di tensione di tipo alternativo di cui è possibile variare sia l'ampiezza sia la frequenza.



# *Cicloconvertitori*

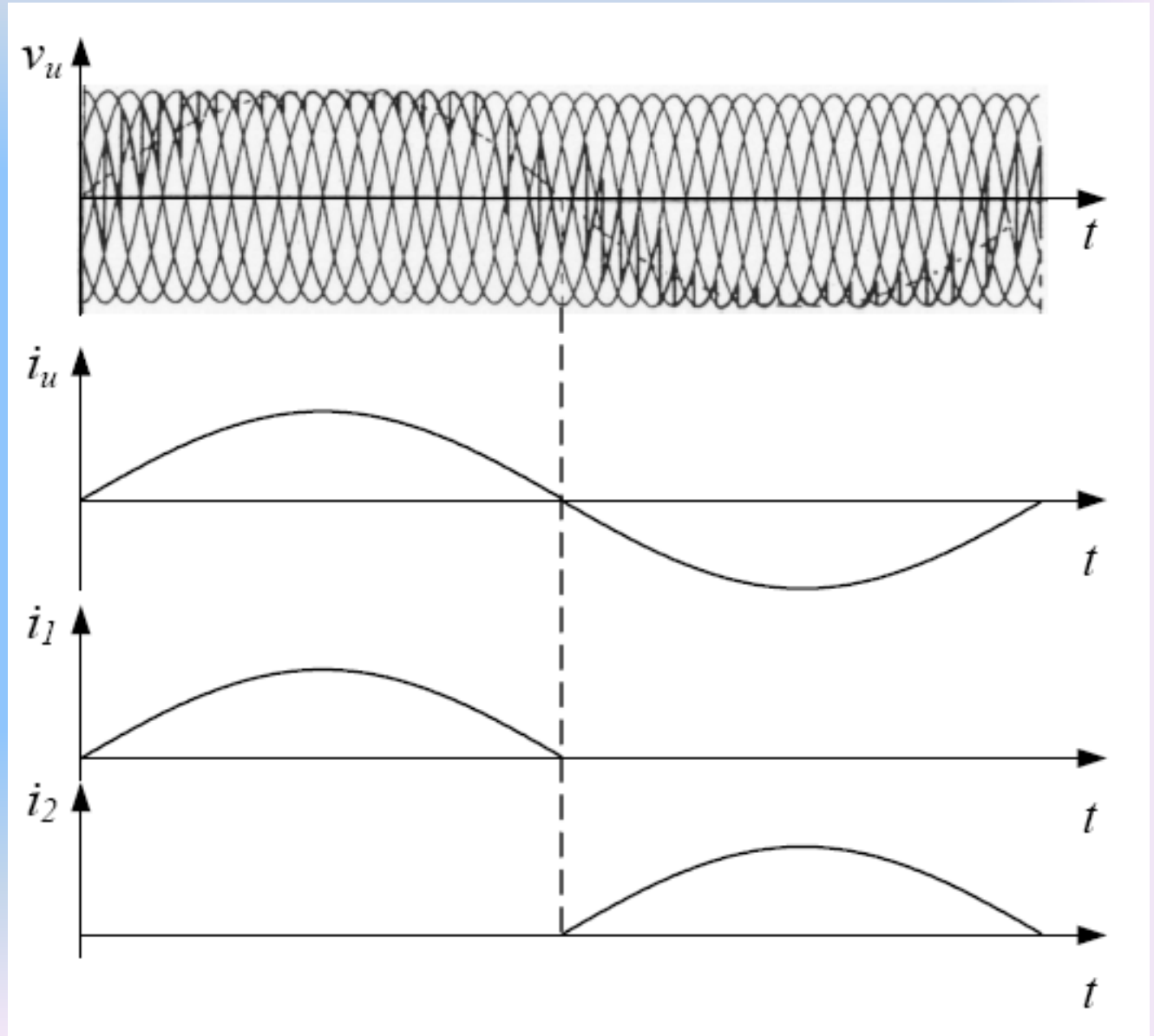
A differenza da quanto avviene nei convertitori c.a.-c.c., però, se si impiega per il cicloconvertitore un funzionamento a totale circolazione di corrente, non è possibile limitare a piacere la corrente di circolazione scegliendo in maniera opportuna il valore dell'induttanza di accoppiamento.

La modalità di funzionamento con totale circolazione di corrente viene, pertanto, utilizzata solo in casi particolari, mentre si preferisce normalmente ricorrere al funzionamento con parziale circolazione di corrente.

# Cicloconvertitori

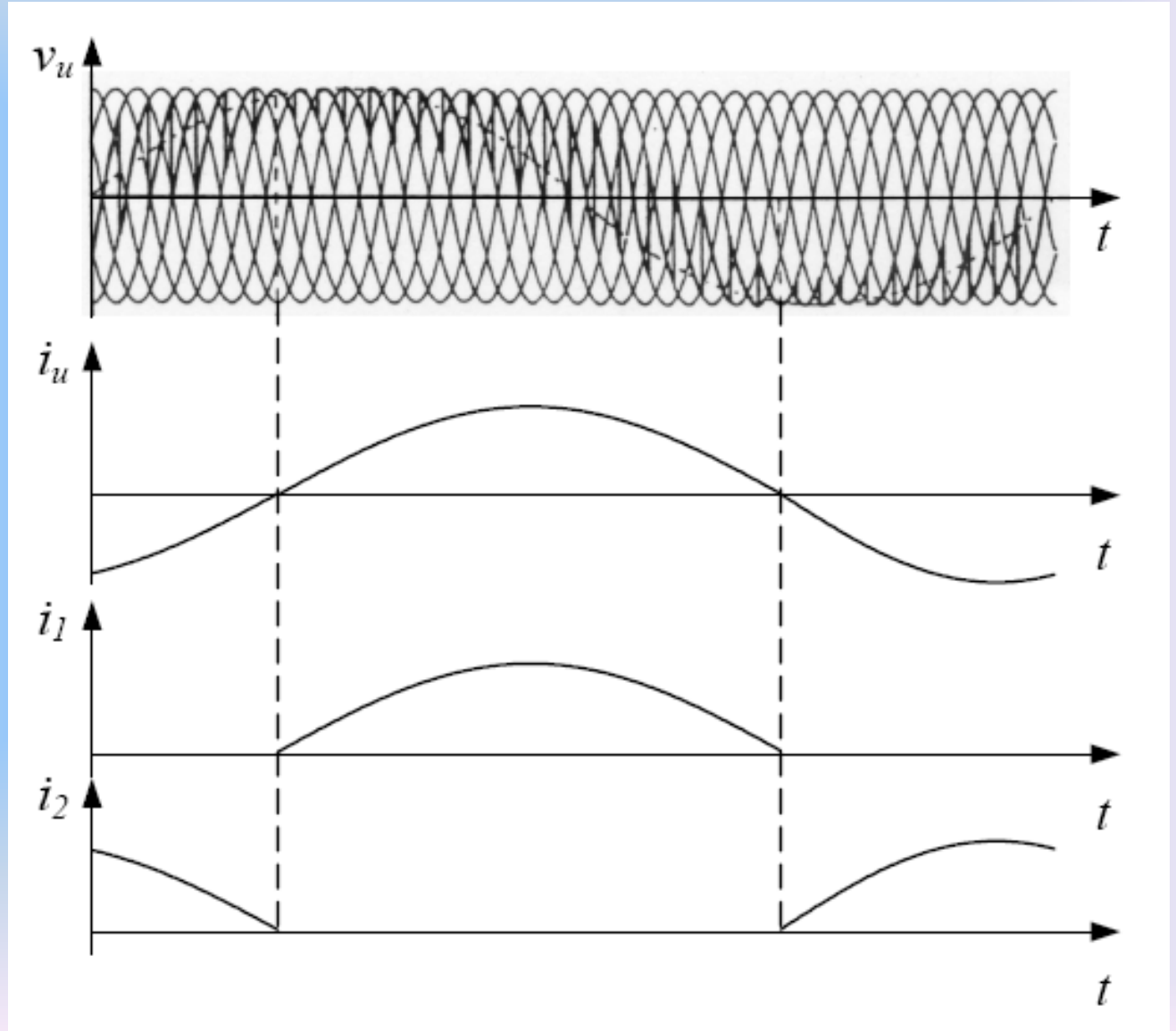
Dalle sinusoidi  
si prelevano  
tratti di durata  
pari a  $T/6$

corrente in fase



# Cicloconvertitori

corrente in ritardo



# Cicloconvertitori

Esaminando le figure precedenti si può facilmente dedurre che l'andamento della tensione fornita da un cicloconvertitore approssima quello sinusoidale tanto meglio quanto più elevato è il rapporto tra la frequenza di alimentazione e quella di uscita.

Un'analisi più approfondita permette di ricavare che la tensione applicata al carico presenta un contenuto armonico *accettabile* solo se la sua frequenza è inferiore ad un terzo di quella della sorgente di alimentazione.

# Cicloconvertitori

Durante ciascun intervallo di tempo, compreso tra due successive commutazioni dei Tiristori dello stesso convertitore, il valore medio della tensione fornita dal convertitore è praticamente proporzionale al coseno dell'angolo di accensione.

Pertanto, per ottenere una tensione di uscita che approssimi un andamento sinusoidale, è necessario che gli angoli di accensione  $\varphi_{a1}$  e  $\varphi_{a2}$  dei due convertitori siano scelti in modo tale che il loro coseno vari sinusoidalmente nel tempo con una pulsazione pari a quella desiderata per la tensione di uscita.

# Cicloconvertitori

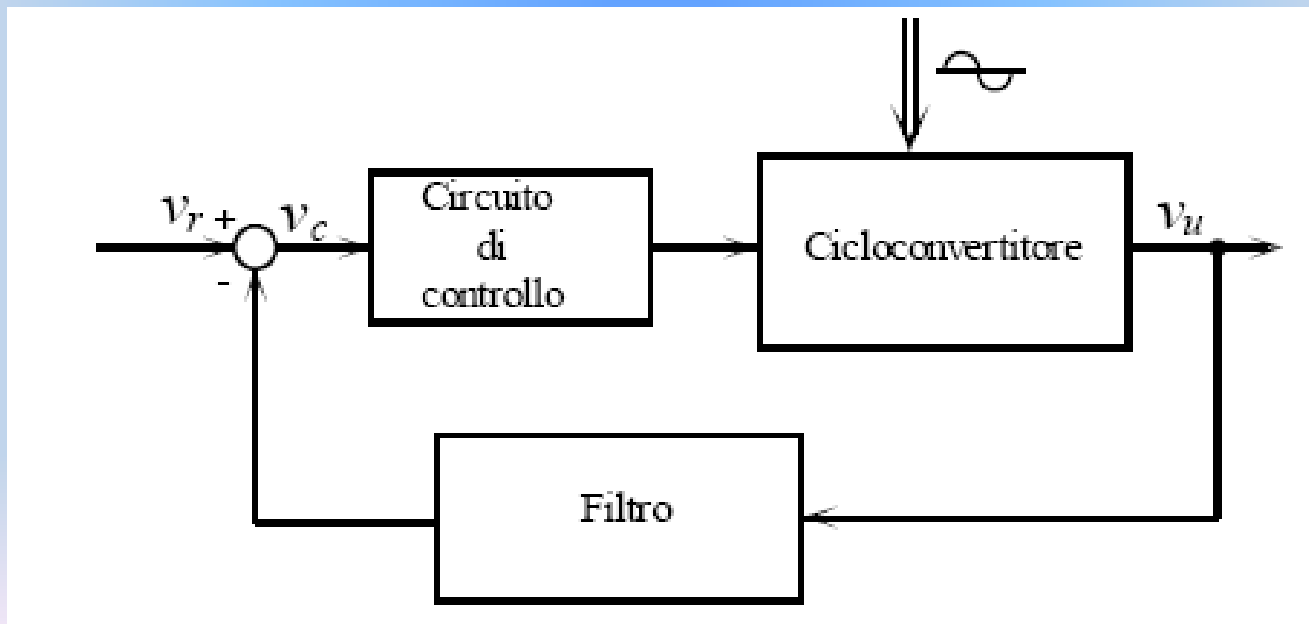
$$\cos(\varphi_{a1}) = k \sin(\omega t)$$

$$\cos(\varphi_{a2}) = -k \sin(\omega t),$$

in cui il coefficiente moltiplicativo  $k$  è proporzionale all'ampiezza desiderata per la tensione di uscita.

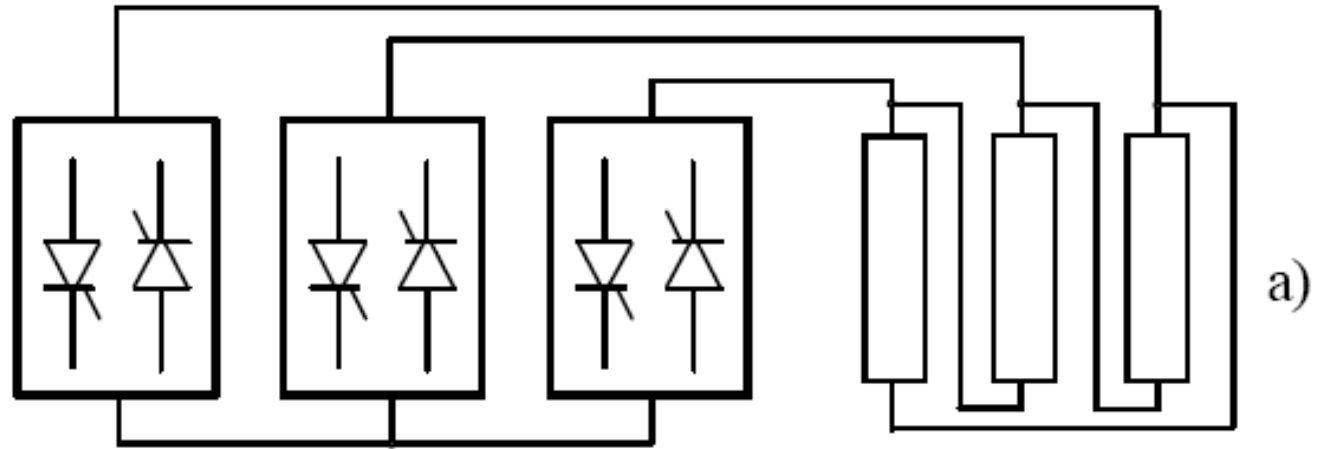
# Cicloconvertitori

Gli angoli di accensione  $\varphi_{a1}$  e  $\varphi_{a2}$  possono essere ottenuti impiegando un dispositivo di controllo derivato da quello illustrato per i convertitori c.a.-c.c.; spesso si preferisce, invece, ricorrere ad un circuito di **controllo a catena chiusa** introducendo un opportuno filtro nella catena di controreazione.

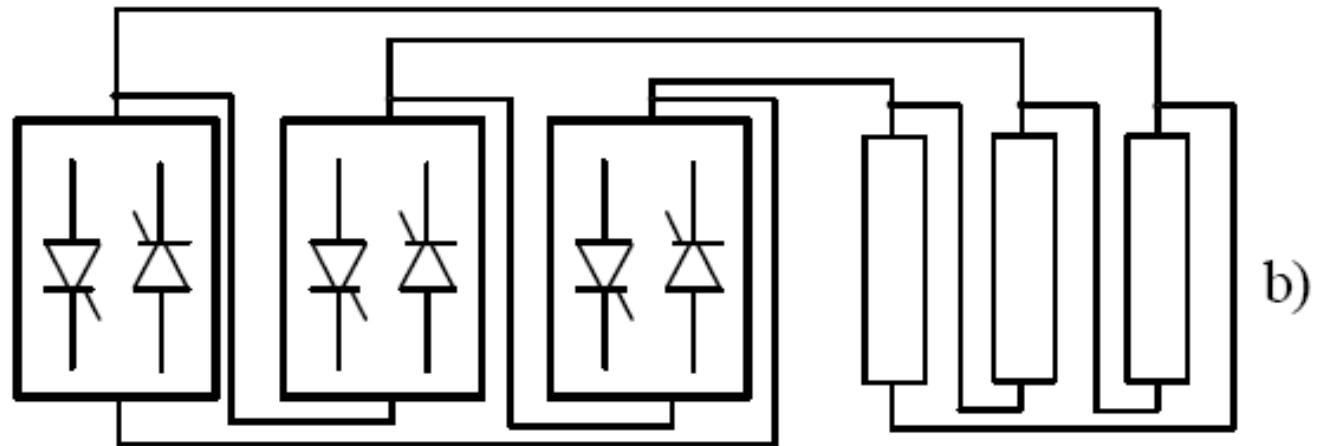


# Cicloconvertitori con uscita trifase

Stella

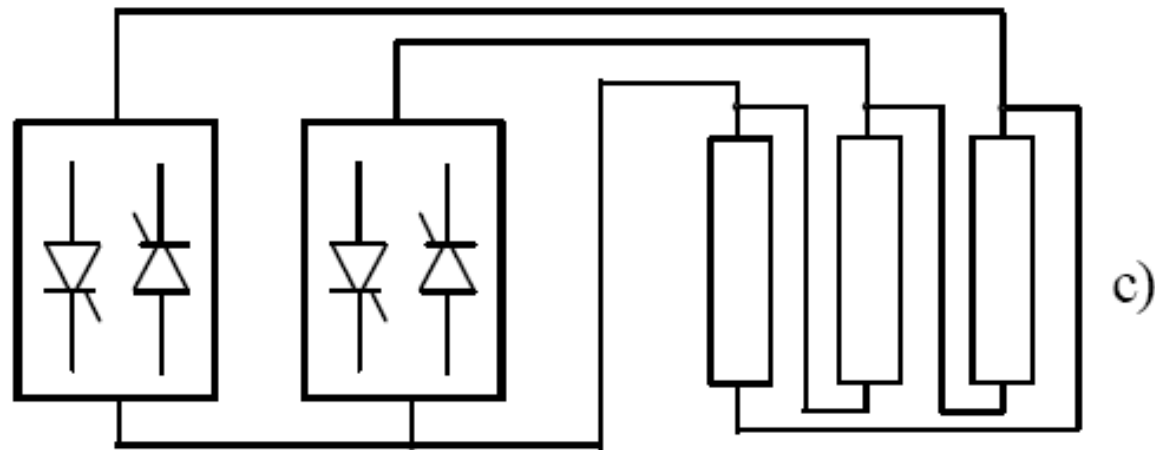


Triangolo  
chiuso

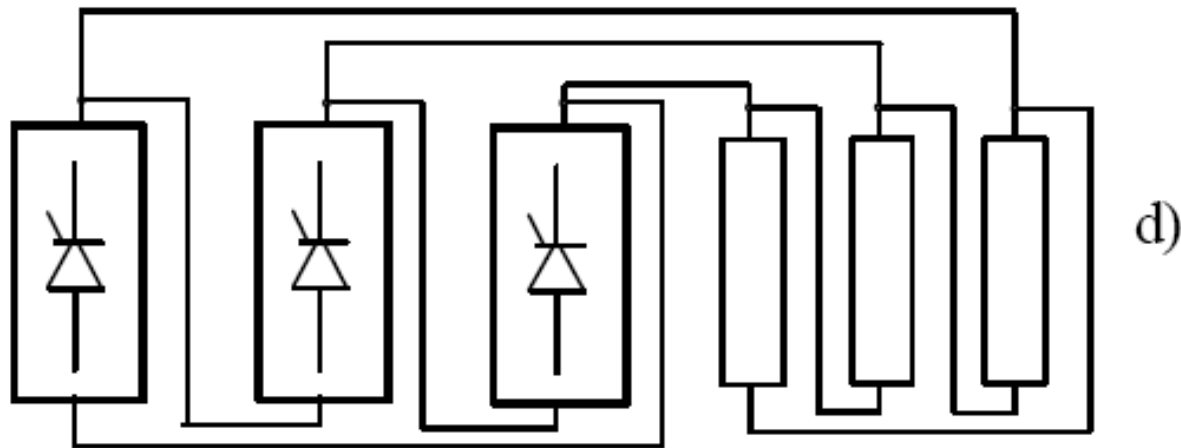


# Cicloconvertitori con uscita trifase

Triangolo  
aperto



Triangolo  
chiuso  
3 conv. 2q



# *Convertitori a matrice*

Nel paragrafo precedente si è osservato che l'andamento della tensione fornita da un cicloconvertitore presenta un contenuto armonico accettabile solo se la sua frequenza è inferiore ad un terzo di quella della sorgente di alimentazione.

Di conseguenza l'impiego dei cicloconvertitori è possibile solo in applicazioni particolari in cui la sorgente abbia una frequenza superiore a quella industriale (ad esempio 400 Hz) oppure sia richiesta una frequenza di uscita molto ridotta.

# *Convertitori a matrice*

La limitazione sul massimo valore della frequenza di uscita è dovuta alla modalità impiegata dal cicloconvertitore per costruire la tensione di uscita. Quest'ultima è composta da segmenti delle tre sinusoidi di rete e ciascun segmento viene applicato per un intervallo di tempo di durata circa pari ad un sesto del periodo della tensione di alimentazione; infatti lo spegnimento di ciascun Tiristore viene provocato dall'accensione di un nuovo Tiristore.

# Convertitori a matrice

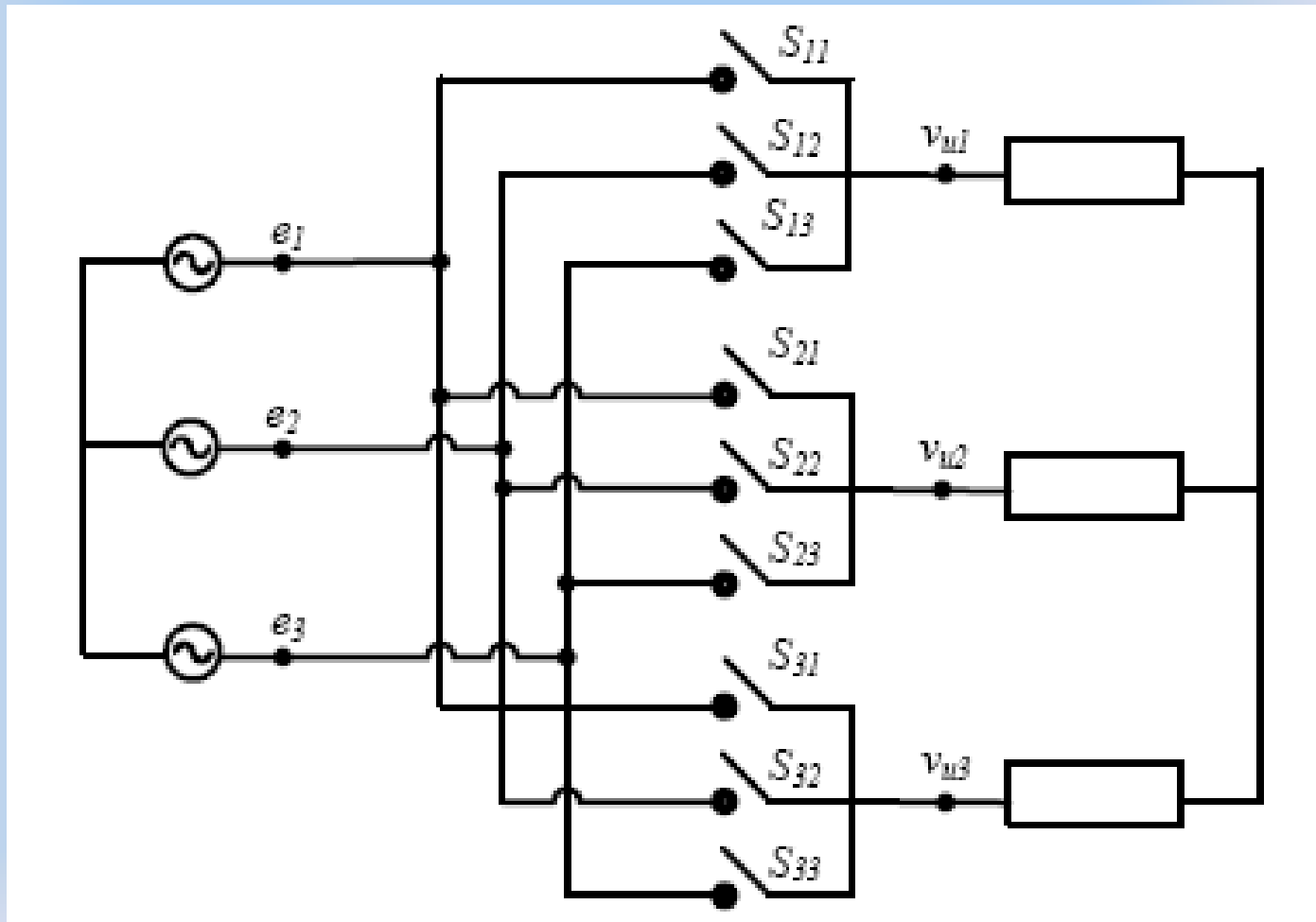
È possibile aumentare la frequenza della tensione di uscita se si impiegano, al posto dei Tiristori, degli interuttori di cui sia possibile comandare anche l'apertura; tale sostituzione ha portato alla realizzazione di convertitori c.a.-c.a. (ancora detti cicloconvertitori) con frequenza di uscita anche molto più elevata di quella di alimentazione.

# *Convertitori a matrice*

Il diverso tipo di componenti impiegati ha, successivamente, suggerito anche un cambiamento della struttura di potenza portando, agli inizi degli anni '80, alla proposta di una nuova struttura di conversione: il *convertitore a matrice*.

Come indicato dal nome, un convertitore a matrice è costituito (nel caso trifase) da *una matrice di 9 interruttori*, che permettono di collegare una qualsiasi fase del carico con una qualsiasi fase della rete di alimentazione.

# Convertitori a matrice

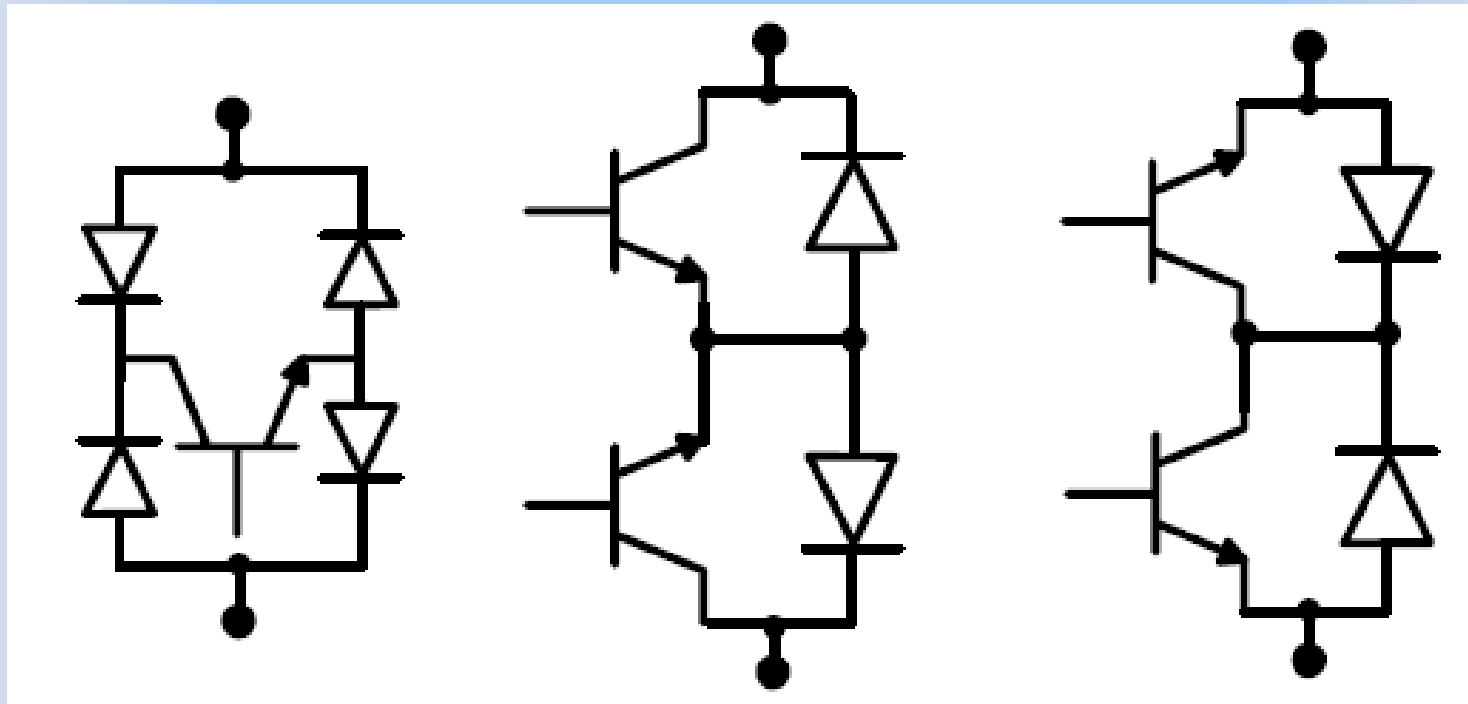


# Convertitori a matrice

Applicando ai vari interruttori opportune tecniche di modulazione, si può realizzare una terna di tensioni di uscita con un contenuto armonico accettabile e di cui è possibile variare, entro ampi limiti, sia l'ampiezza sia la frequenza dell'armonica fondamentale.

Ogni connessione deve essere in grado di permettere alla corrente di scorrere in entrambe le direzioni; gli interruttori devono; quindi, essere bidirezionali e non possono essere realizzati con un semplice Transistor.

# Convertitori a matrice



Possibili strutture degli interruttori bidirezionali

# *Convertitori a matrice*

Rispetto alle soluzioni con due convertitori in cascata, i convertitori a matrice presentano un contenuto armonico della tensione di uscita più favorevole e minori perdite di commutazione. Per contro, a parità di potenza trasferita al carico e di tensione di alimentazione, il valore efficace della corrente negli interruttori di un convertitore a matrice è di circa il 15% maggiore e il massimo valore della tensione di uscita risulta più basso.

Si può, infine, rilevare che, malgrado i molteplici studi teorici presentati in letteratura, questi convertitori hanno, per ora, avuto un numero limitato di applicazioni industriali.