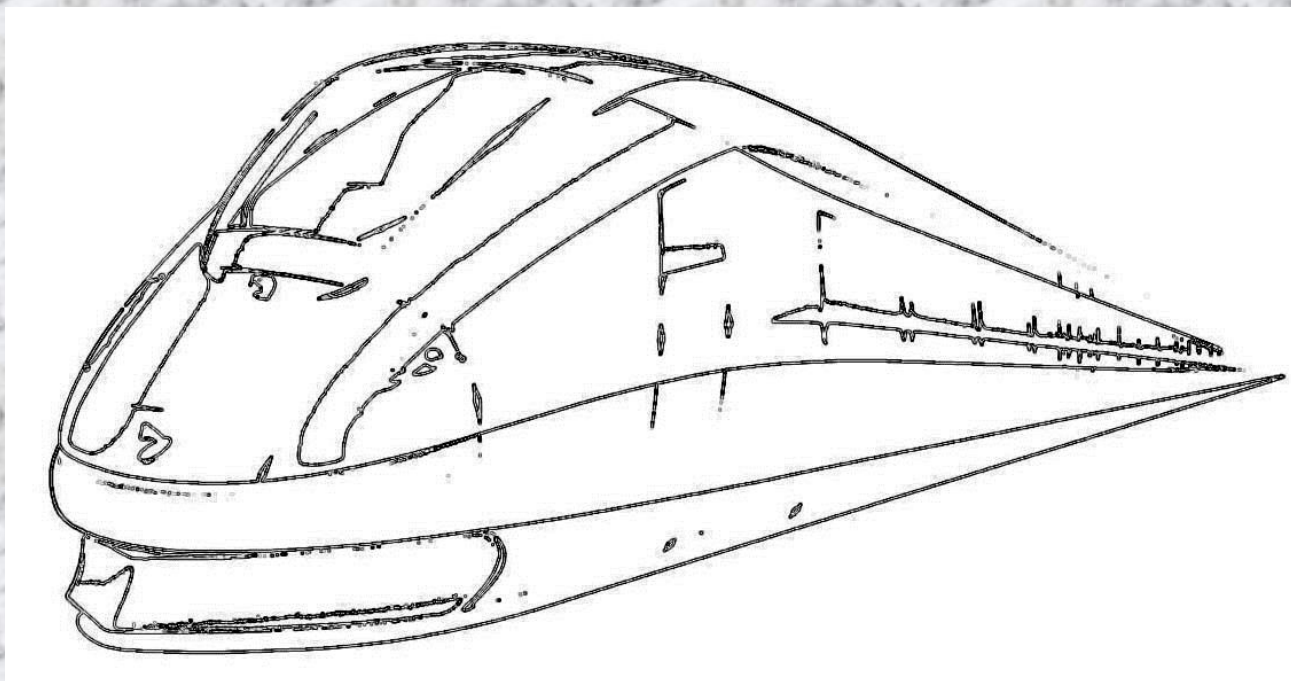
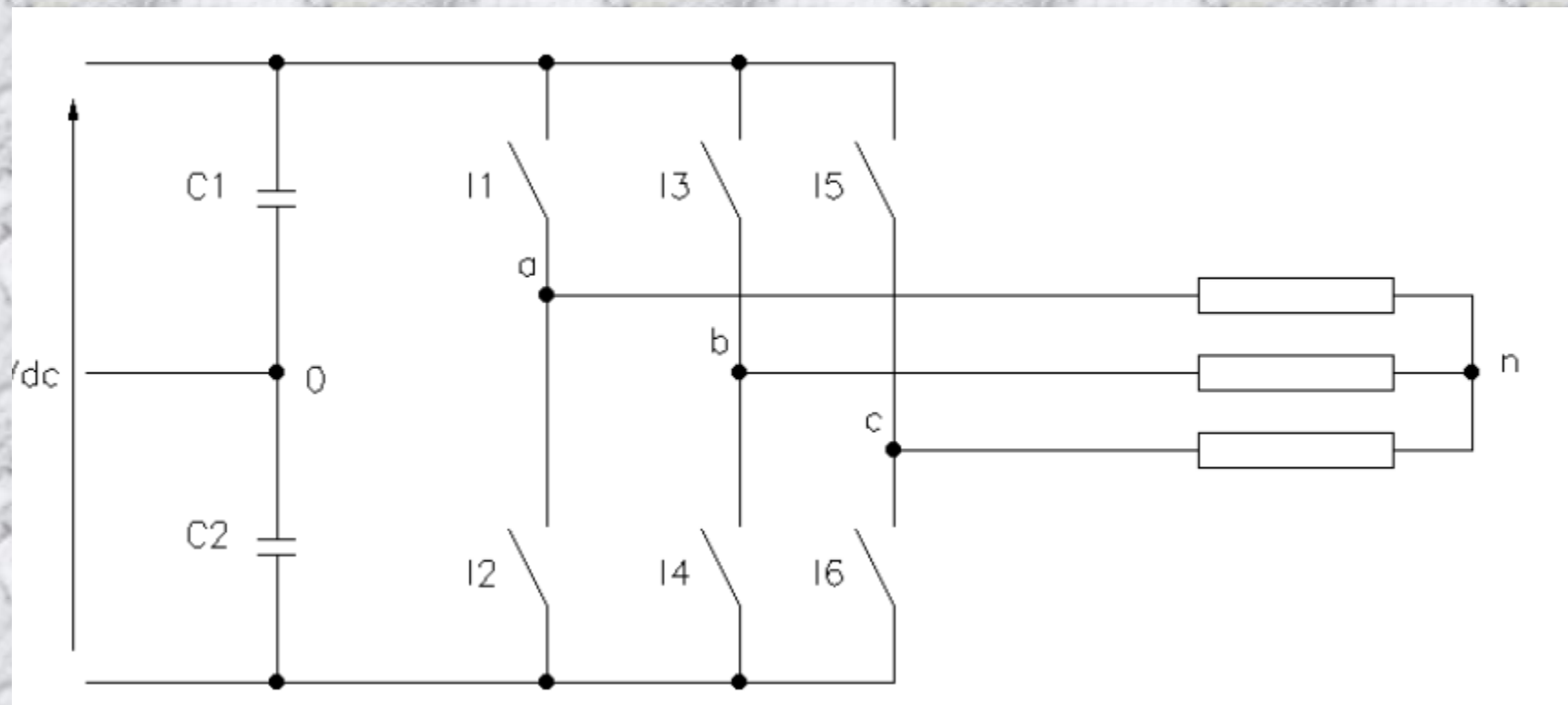




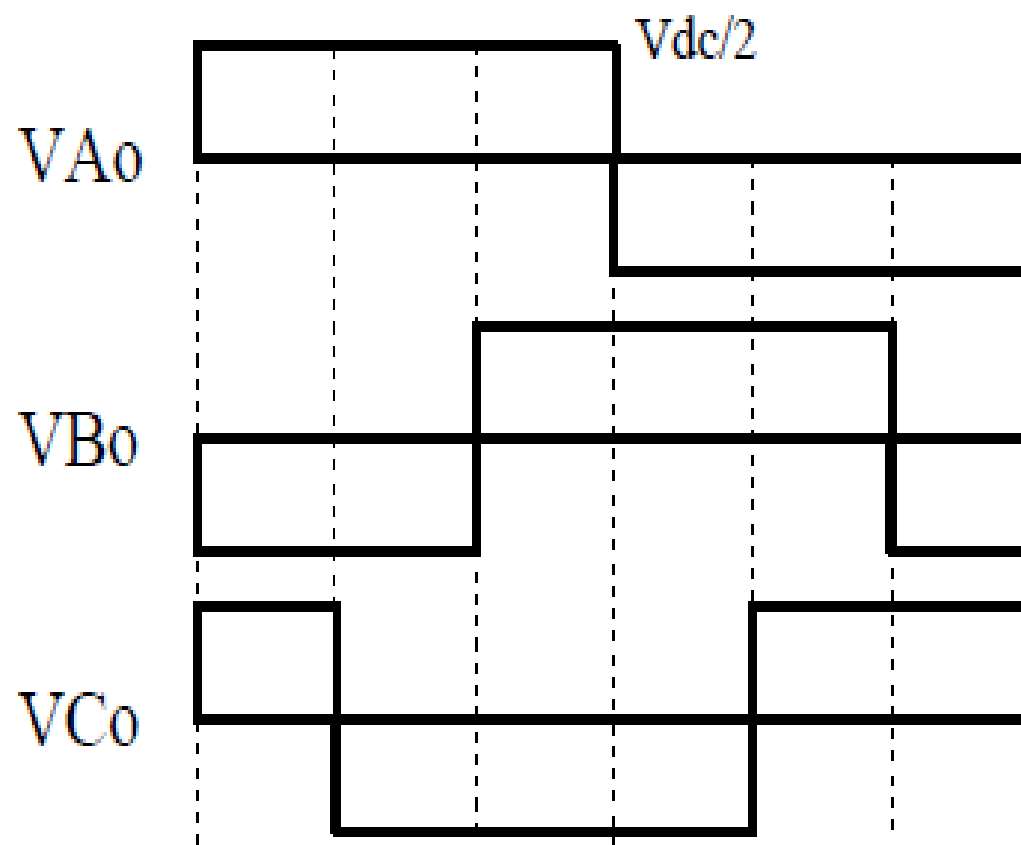
Convertitori per trazione

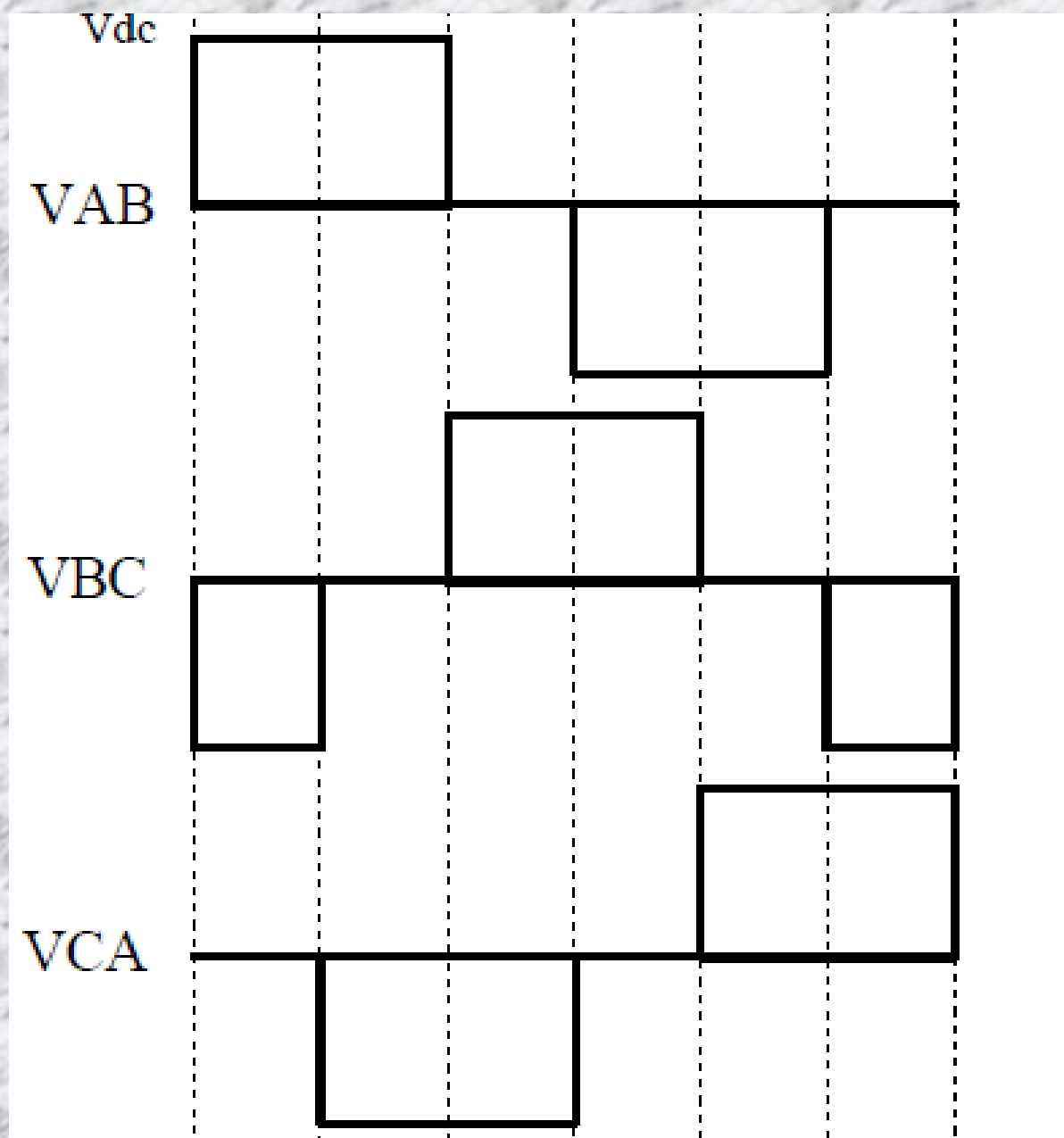
Inverter





Modulazione in onda quadra







V_{no}

$2/3 V_{dc}$

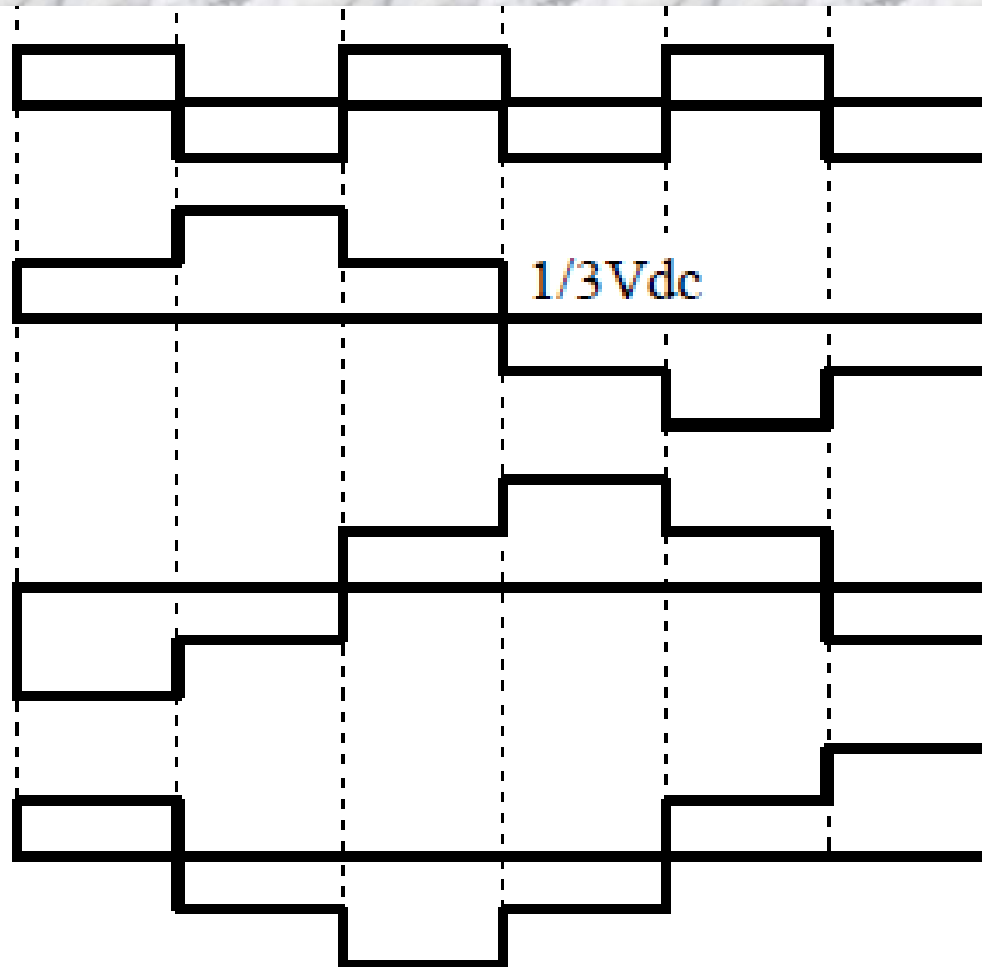
V_{An}

$1/3 V_{dc}$

V_{Bn}

V_{Cn}

$-V_{dc}/6$

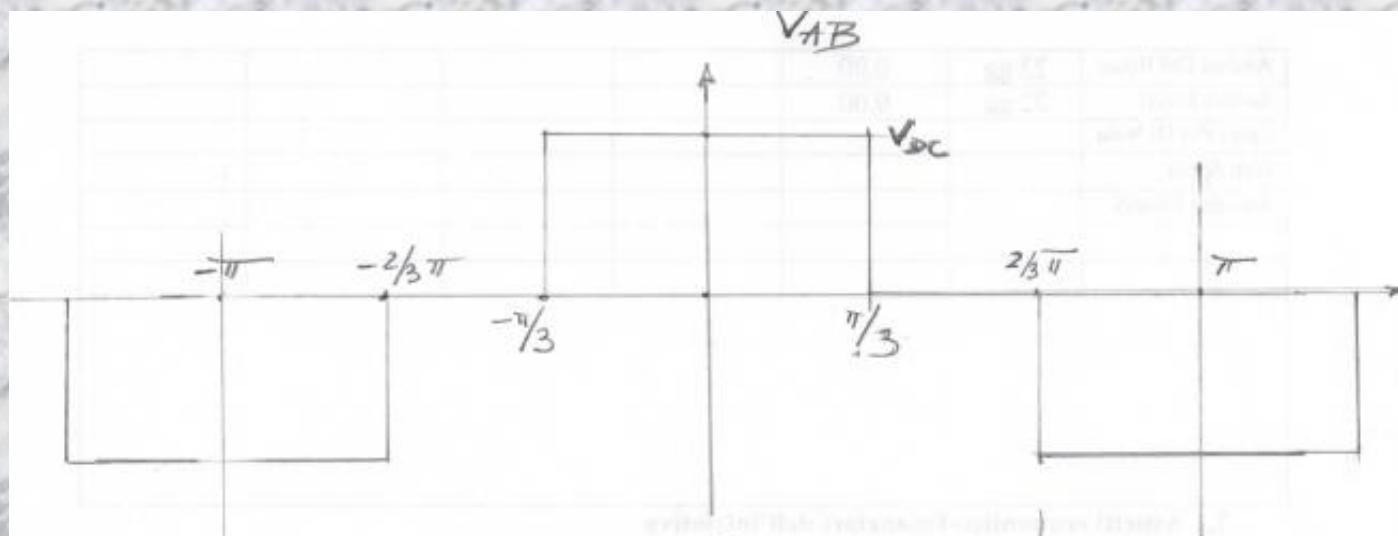




$$V_{AB} = \frac{4 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{V_{dc}}{2} \cdot \left[\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) - \frac{1}{5} \cdot \sin\left[5 \cdot \left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right)\right] - \frac{1}{7} \cdot \sin\left[7 \cdot \left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right)\right] \dots \right]$$

$$V_{BC} = \frac{4 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{V_{dc}}{2} \cdot \left[\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{6} - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) - \frac{1}{5} \cdot \sin\left[5 \cdot \left(\alpha + \frac{\pi}{6} - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)\right] - \frac{1}{7} \cdot \sin\left[7 \cdot \left(\alpha + \frac{\pi}{6} - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)\right] \dots \right]$$

$$V_{CA} = \frac{4 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{V_{dc}}{2} \cdot \left[\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{6} + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) - \frac{1}{5} \cdot \sin\left[5 \cdot \left(\alpha + \frac{\pi}{6} + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)\right] - \frac{1}{7} \cdot \sin\left[7 \cdot \left(\alpha + \frac{\pi}{6} + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)\right] \dots \right]$$



Analisi di Fourier (funzione pari)

$$f(-x) = f(x)$$

$$A_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(\vartheta) \cos(k\vartheta) d\vartheta$$

mancano i
termini in $\sin(k\vartheta)$

$$T = 2\pi$$
$$A_k = \frac{4}{2\pi} \int_0^{\pi} f(\vartheta) \cos(k\vartheta) d\vartheta =$$



$$A_k = \frac{2}{\pi} \left\{ \int_0^{\pi/3} V_{dc} \cos k\tau d\tau + \int_{2\pi/3}^{\pi} -V_{dc} \cos k\tau d\tau \right\} =$$
$$= \frac{2V_{dc}}{\pi} \left\{ \left[\frac{\sin k\tau}{k} \right]_0^{\pi/3} + \left[-\frac{\sin k\tau}{k} \right]_{2\pi/3}^{\pi} \right\} =$$

$$A_k = \frac{2V_{dc}}{\pi k} \left\{ 2 \sin k \left(\frac{\pi}{3} \right) \times \cos \left(\frac{k}{3} \right) \frac{\pi}{2} \right\}$$
$$A_1 = \frac{2V_{dc}\sqrt{3}}{\pi} \quad A_7 = \frac{2V_{dc}\sqrt{3}}{7\pi} (-1)^{11}$$
$$A_5 = \frac{2V_{dc}\sqrt{3}}{5\pi} (-1)^{11}$$
$$A_k = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} k = \text{pari} \\ k = \text{multiple of } 3 \end{array} \right.$$

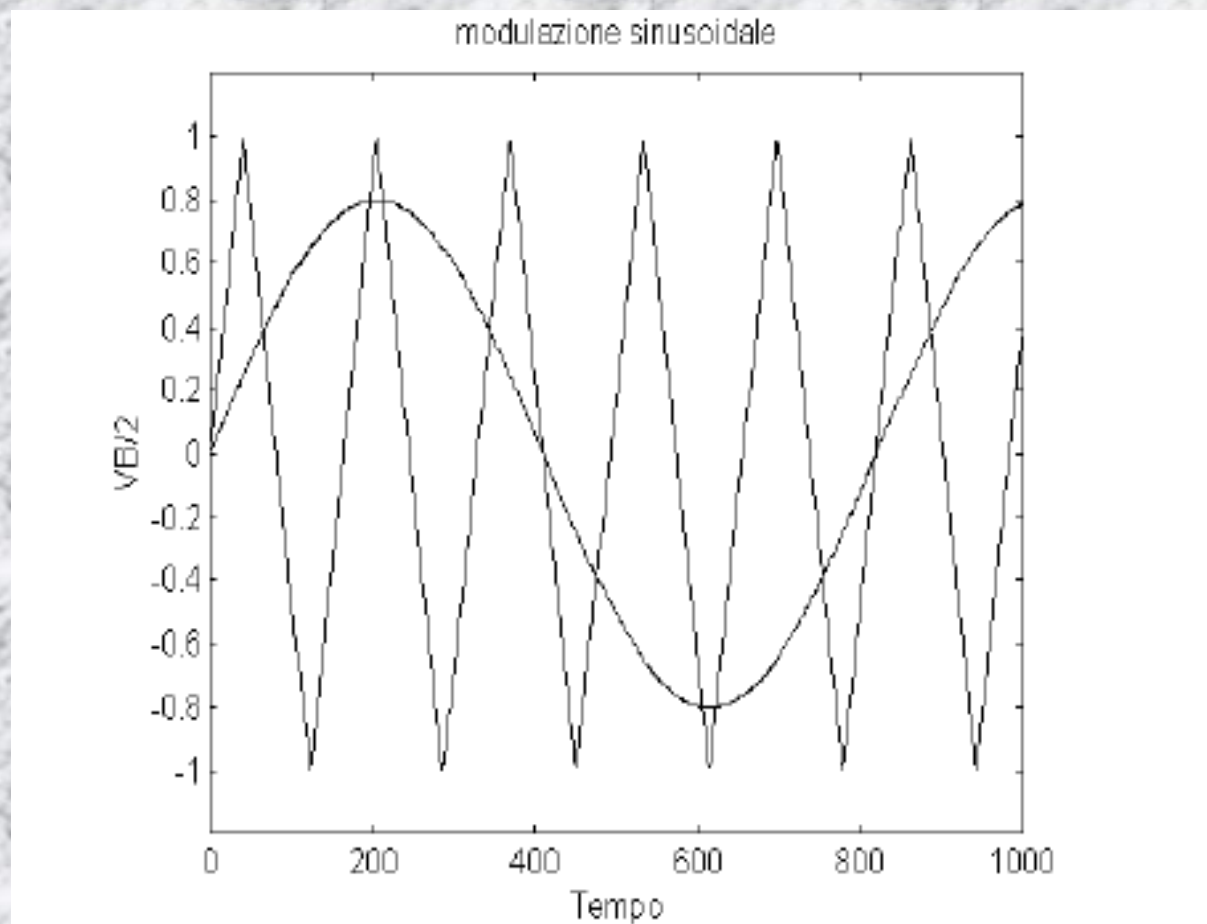


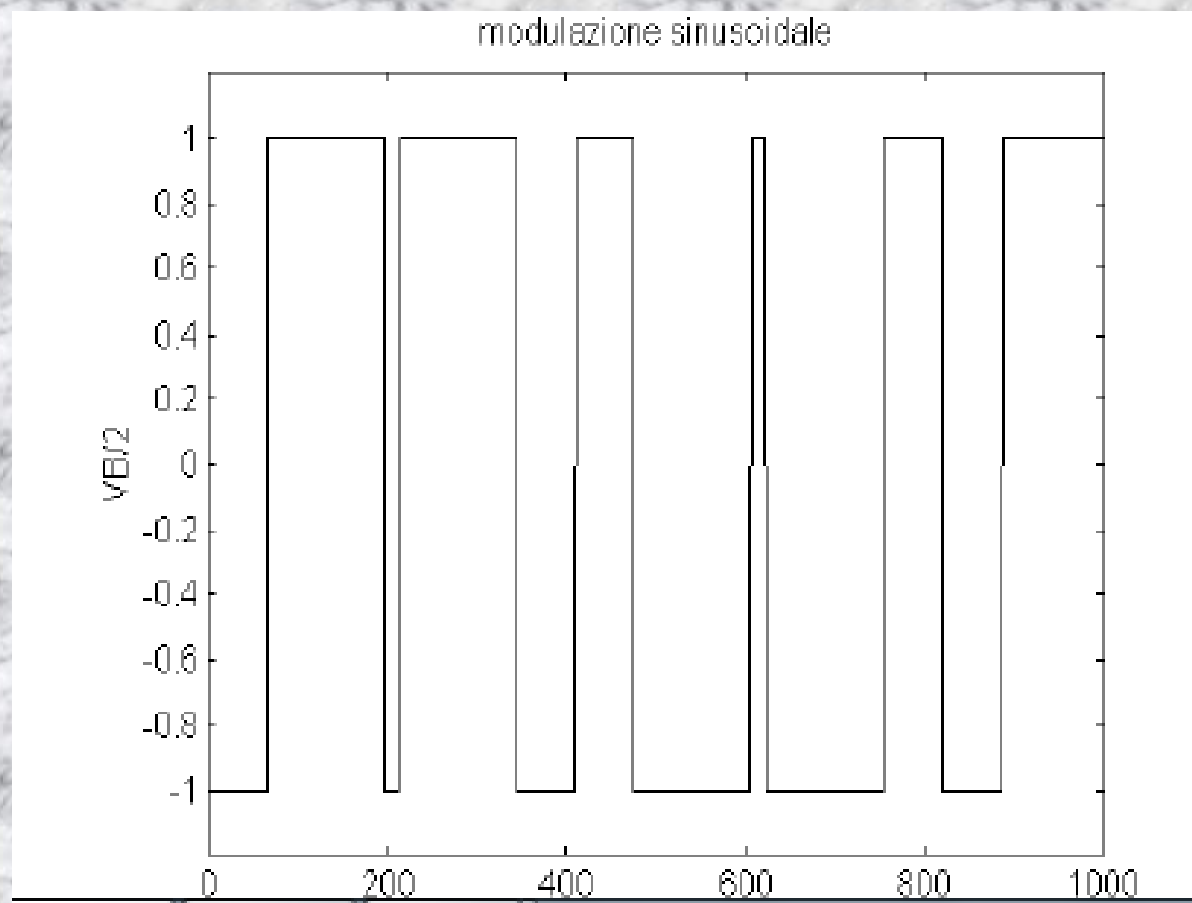
Modulazione in sotto oscillazione sinusoidale



indice di modulazione $M = \frac{V_s}{V_t}$

rapporto tra le frequenze $P = \frac{\omega_t}{\omega_s} = \frac{f_t}{f_s}$







$$V_{PWM}(\alpha) = M \cdot \frac{V_B}{2} \cdot \sin(\alpha + \phi) + \frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_B}{2} \cdot \sum_{r=1}^{\infty} \frac{1}{r} \cdot \left(\sum_{q=-\infty}^{+\infty} J_q \cdot (r \cdot \pi \cdot \frac{M}{2} \cdot S(q+r) \cdot \sin[(r \cdot P + q) \cdot \alpha + q]) \right) \quad (1)$$

dove $S(q+r)$ è data da:

$$S(q+r) = \begin{cases} 0 & r+q \text{ pari} \\ 1 & r+q \text{ dispari} \end{cases}$$

¹ Le funzioni di Bessel sono soluzioni della seguente equazione differenziale nella variabile x :

$x^2 \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} + x \cdot \frac{dy}{dx} + (x^2 - n^2) \cdot y = 0$ dove n è un numero reale. In particolare l'equazione scritta ammette due soluzioni: $y = J_n(x)$ e $y = J_{-n}(x)$. Per n

intero $\Rightarrow J_n = \sum_{K=0}^{\infty} \frac{(-1)^K}{K! \cdot (K+n)!} \cdot \left(\frac{z}{2}\right)^{2K+n} \quad \forall z = x + jy \in C$

Composizione spettrale di una tensione modulata sinusoidalmente

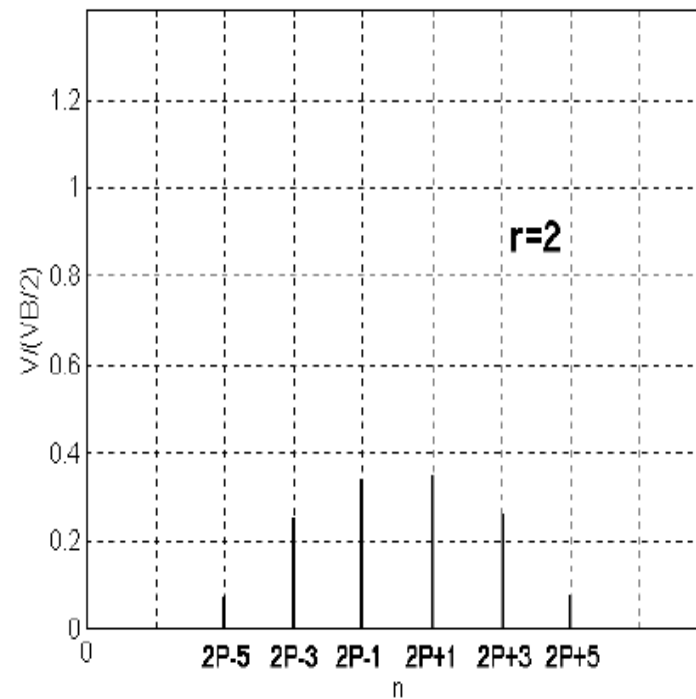
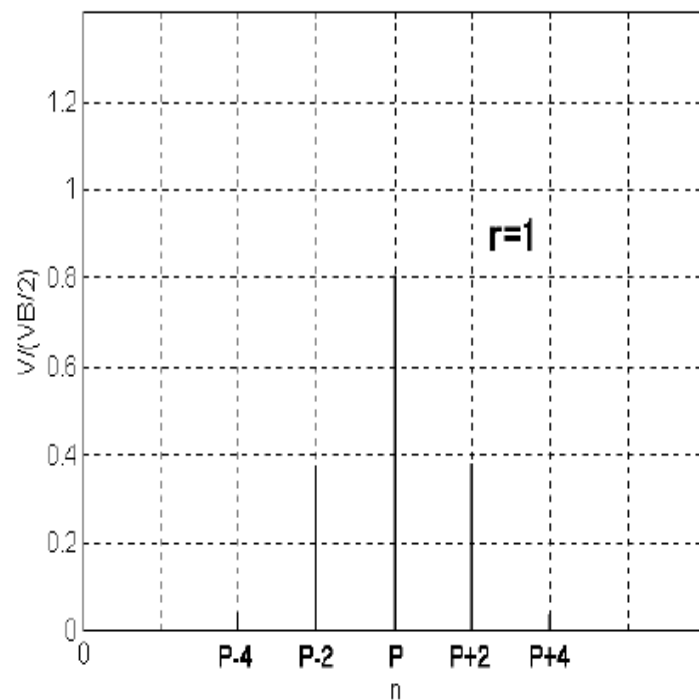
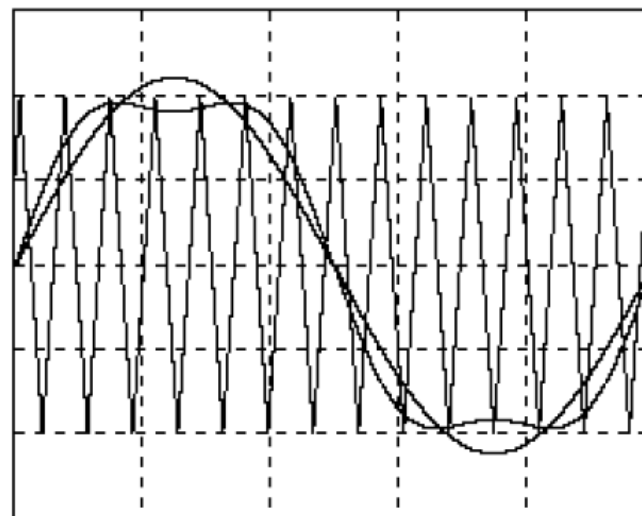
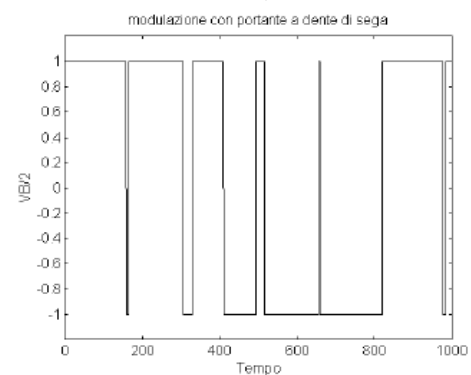
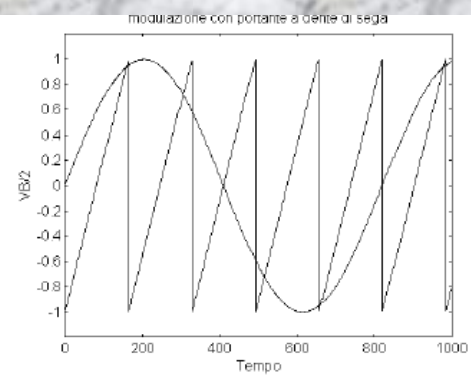
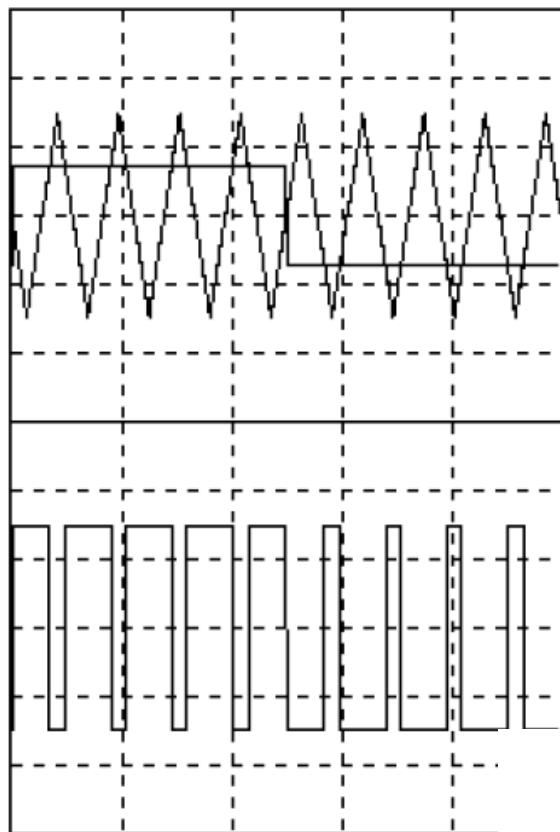


Fig. 2.11

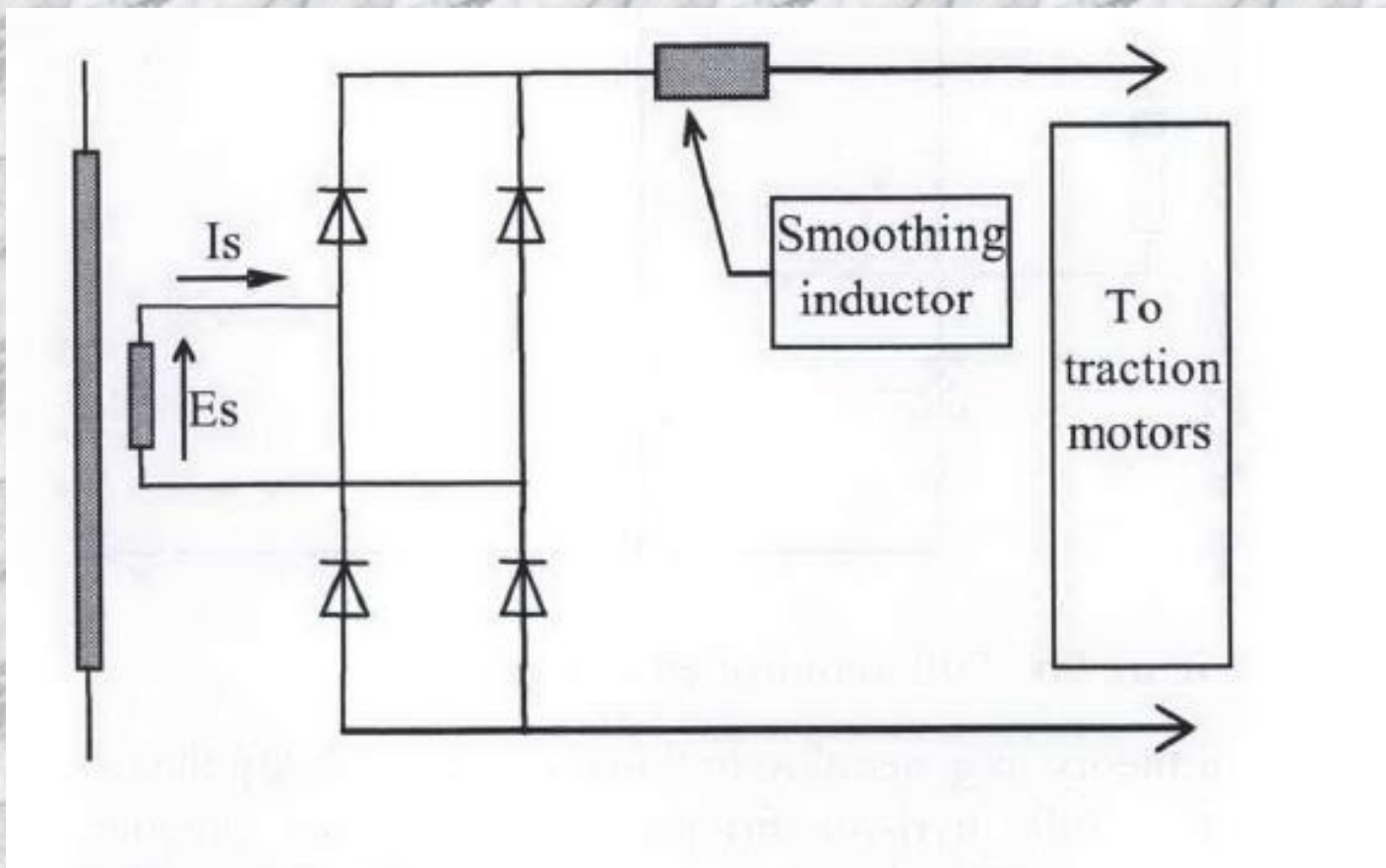


Altri tipi di modulazione



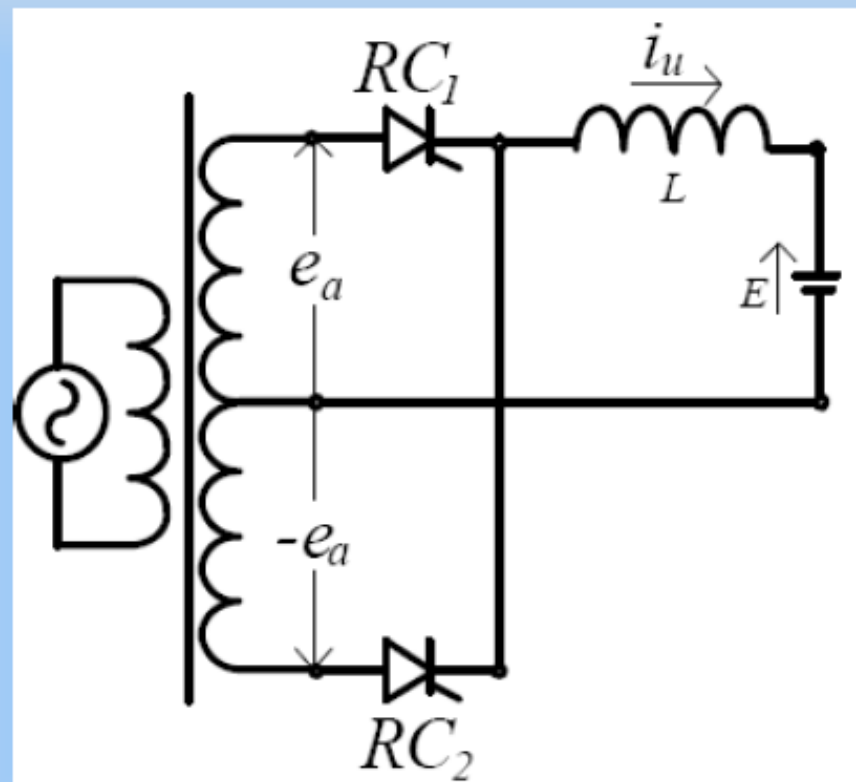


**Ponte
raddrizzatore
non controllato**

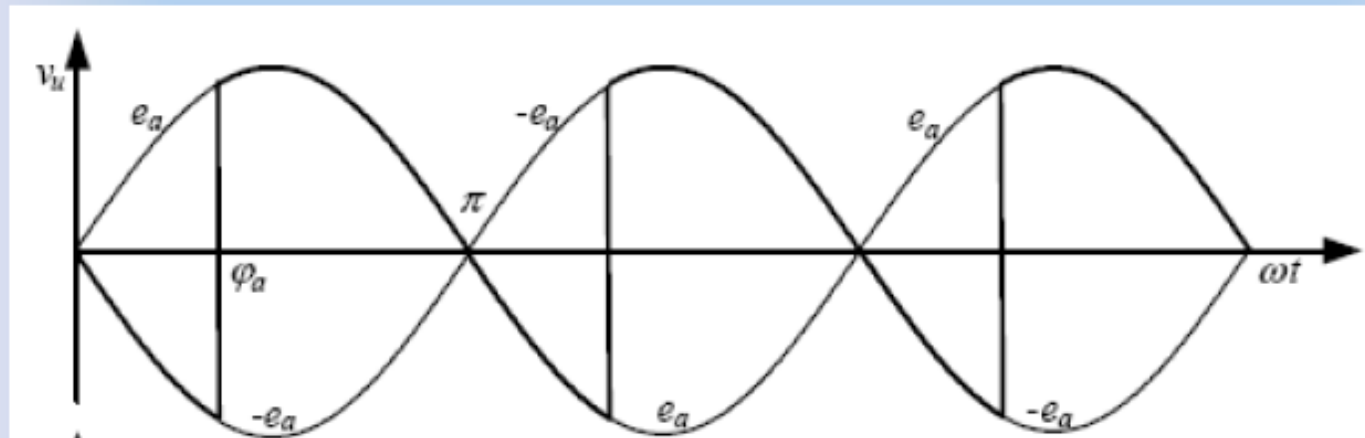




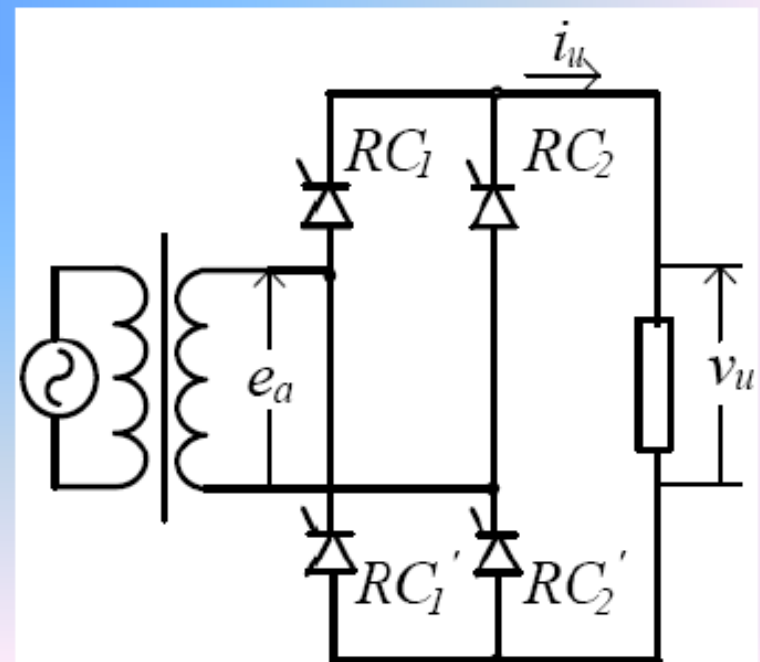
Ponte raddrizzatore controllato

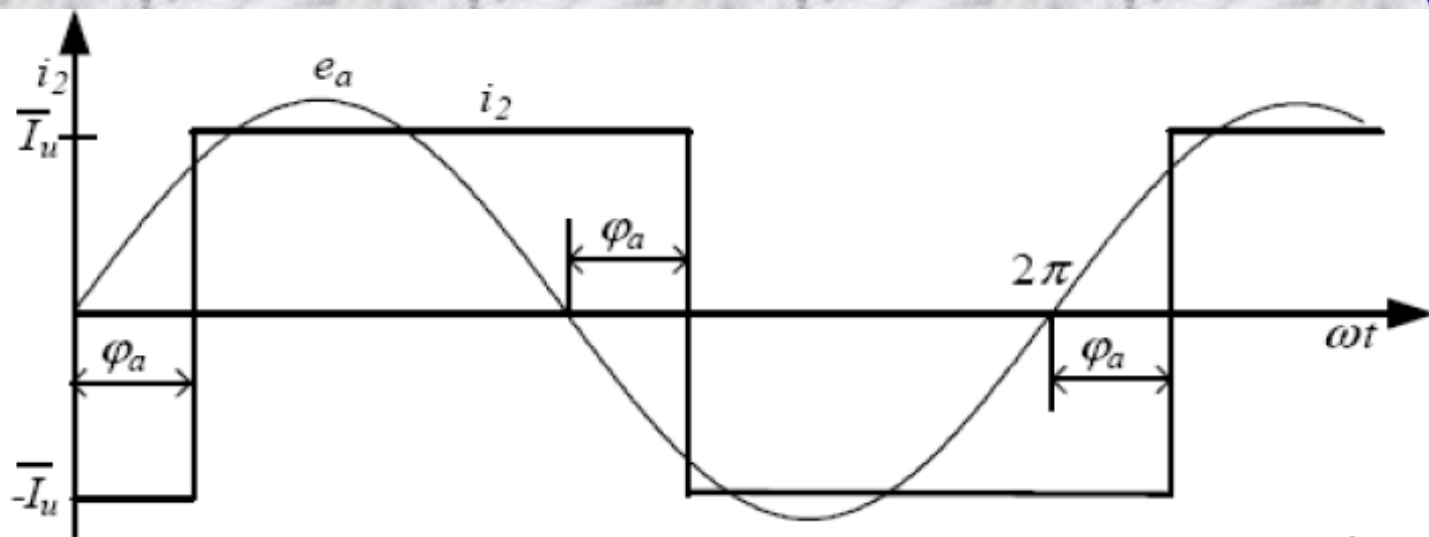


convertitore monofase ad onda intera

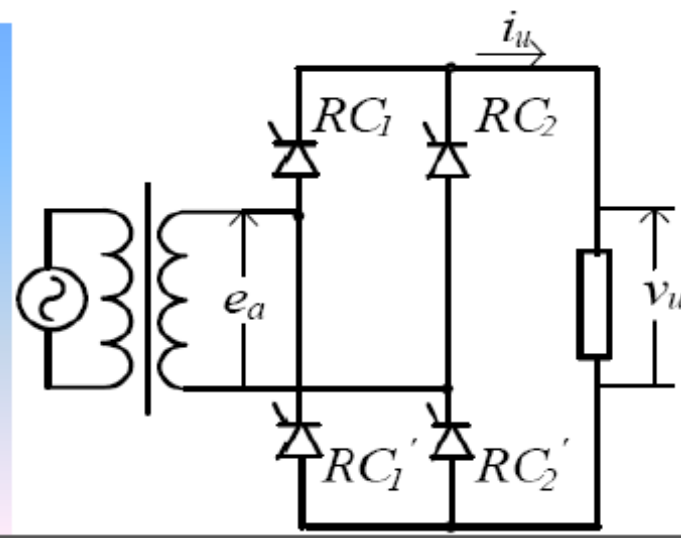


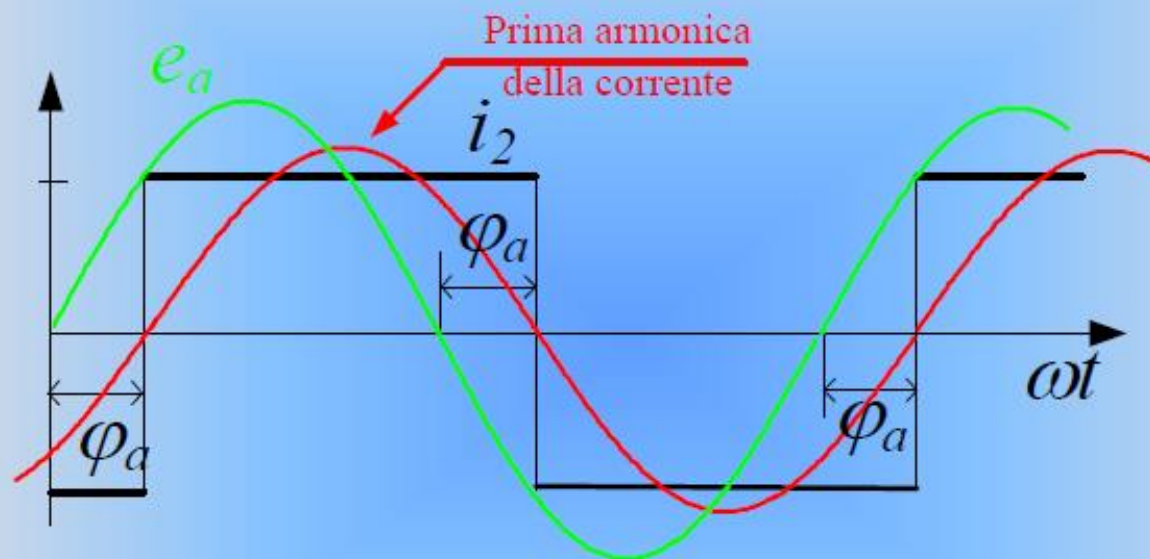
Quando la conduzione è di tipo continuo ogni Tiristore del ponte conduce per un intervallo di tempo pari a mezzo periodo.





Corrente assorbita dal convertitore





La prima armonica della corrente è sfasata in ritardo, rispetto alla tensione di alimentazione e_a , di un angolo pari all'angolo di accensione φ_a .



Effettuando la scomposizione della corrente i_2 in serie di Fourier, si ricava che questa presenta solo armoniche di ordine dispari e che l'ampiezza della i -esima armonica è pari a:

$$I_i = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \bar{I}_u \sin(i\varphi) d\varphi = \frac{4}{\pi i} \bar{I}_u$$



I valori medi della tensione e della corrente applicate al carico sono forniti dalle seguenti espressioni

$$\bar{V}_u = \frac{2E_a}{\pi} \cos(\varphi_a) \qquad \bar{I}_u = \frac{2E_a}{\pi R} \cos(\varphi_a)$$

L'ampiezza della prima armonica della corrente che fluisce nel secondario del trasformatore, e, se il rapporto di trasformazione è unitario, anche nel primario, è quindi pari a:

$$I_1 = \frac{8E_a}{\pi^2 R} \cos(\varphi_a)$$



Come già accennato, è possibile considerare in maniera globale gli effetti che il convertitore introduce sulla rete di alimentazione introducendo un fattore di potenza generalizzato, definito come rapporto tra la potenza attiva P trasferita al carico e la potenza apparente generalizzata P_a ; quest'ultima, a sua volta, è definita come il prodotto tra il valore efficace della tensione e quello della corrente ai morsetti della sorgente di alimentazione o, equivalentemente, del secondario del trasformatore.

$$\lambda = \frac{P}{P_a}$$



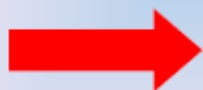
La potenza attiva P trasferita al carico è pari a:

$$P = \frac{E_a I_1}{2} \cos(\varphi_a) = \frac{2}{\pi} \bar{I}_u E_a \cos(\varphi_a)$$

La potenza apparente generalizzata è pari al prodotto tra il valore efficace della tensione $E_a/\sqrt{2}$ e quello della corrente I_{eff} cioè:

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi \bar{I}_u^2 d\varphi} = \bar{I}_u$$

$$P_a = \frac{E_a \bar{I}_u}{\sqrt{2}}$$



$$\lambda = \frac{P}{P_a} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos(\varphi_a) \simeq 0.9 \cos(\varphi_a)$$



Un ulteriore indice utilizzato per valutare in maniera globale il contenuto armonico della forma d'onda della corrente assorbita dal convertitore, è il *Total Harmonic Distortion*, THD% :

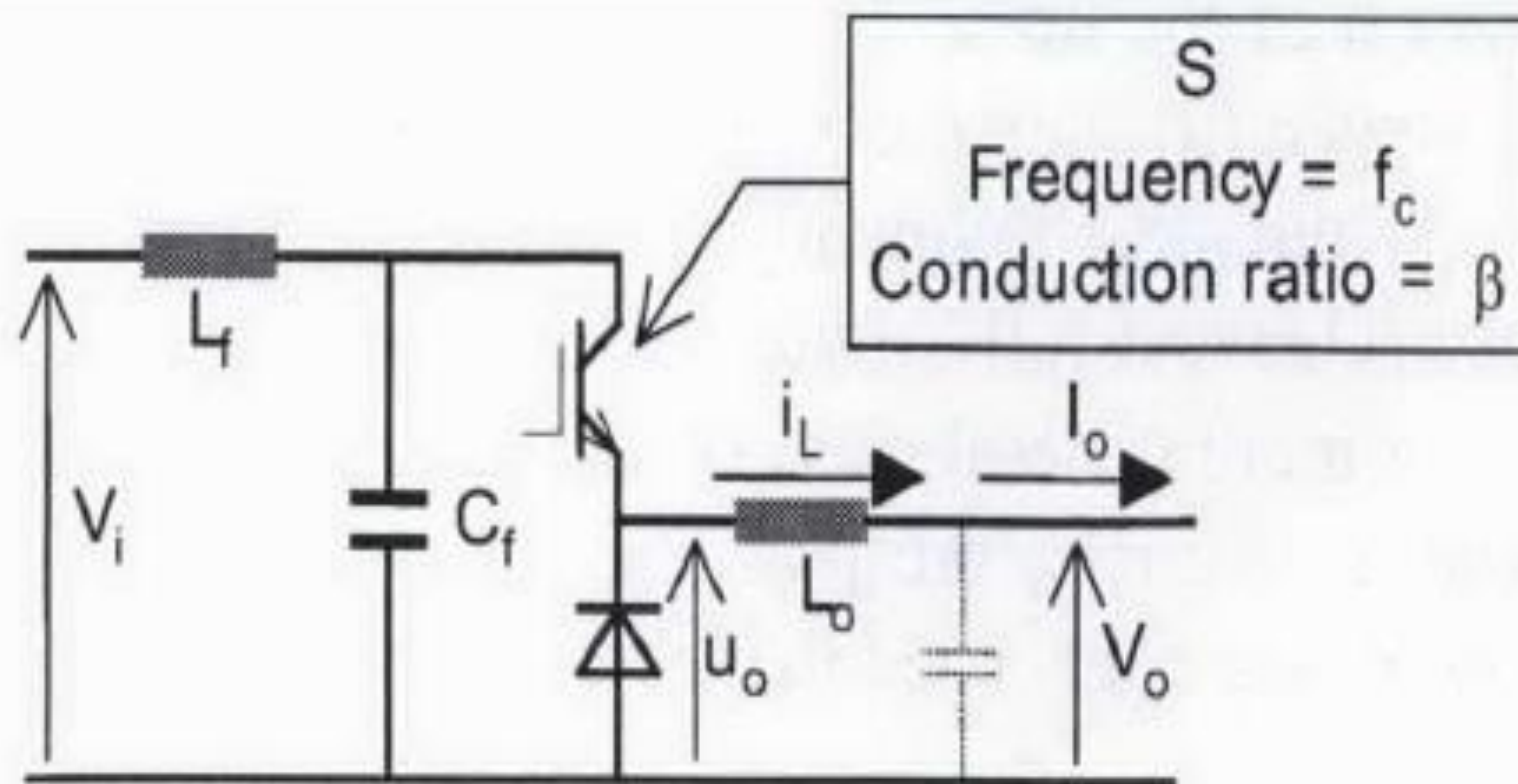
$$\text{THD}\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^k I_i^2}}{I_1}$$

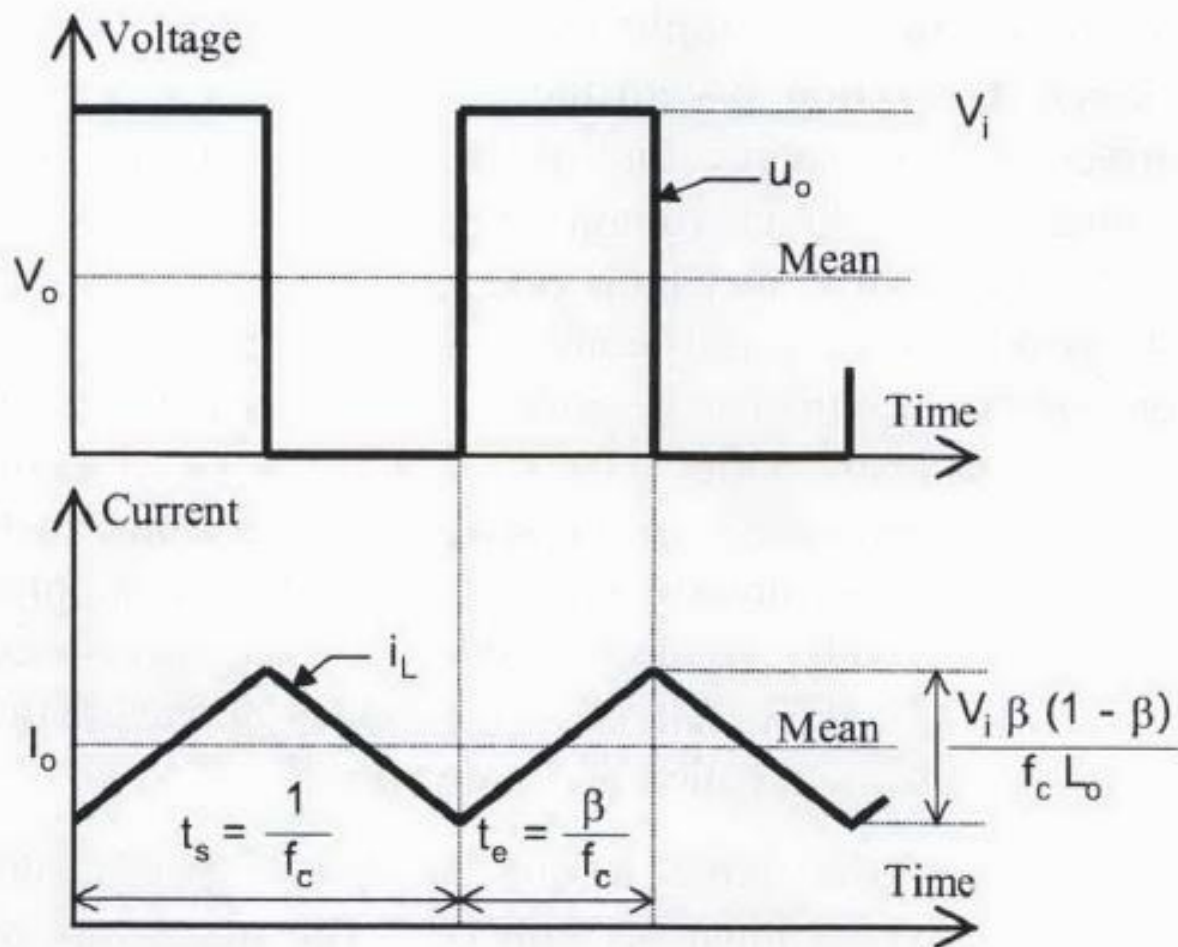
Il testo mostra che, nella condizione di tensione perfettamente sinusoidale, il THD% è univocamente legato al rapporto tra i due fattori di potenza:

$$\text{THD}\% = 100 \cdot \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda} - 1}$$



CHOPPER
step down







CHOPPER

step up

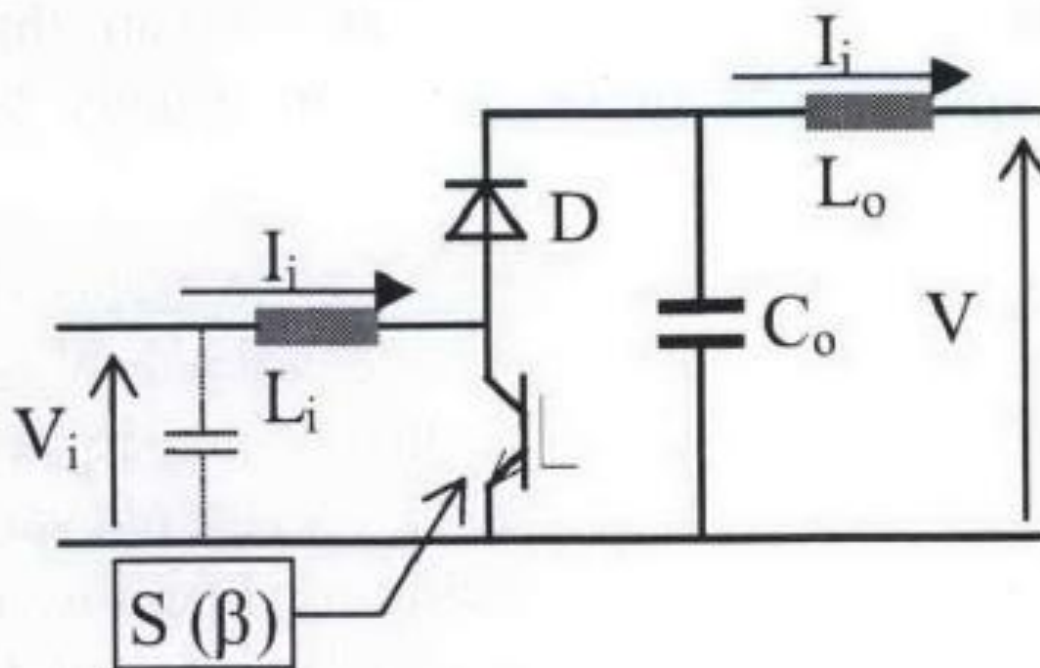
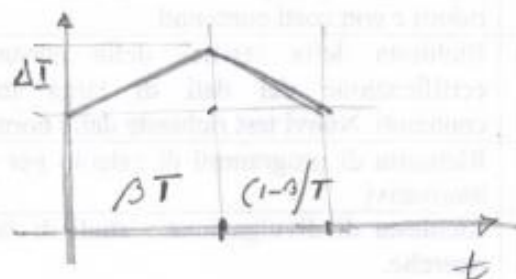
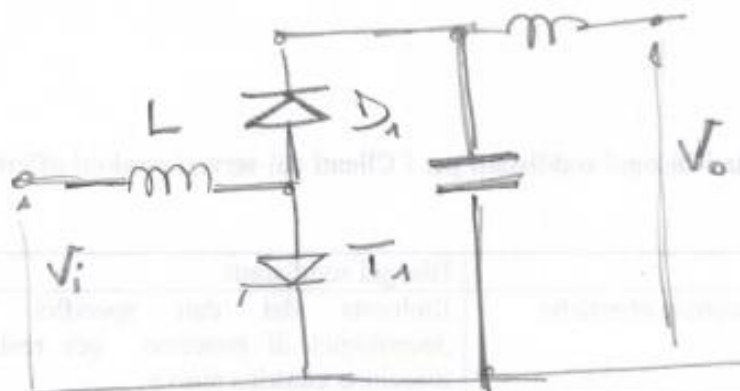


Figure 1-b: Step-up chopper



$$\Delta I = \frac{V_i}{L} \beta T$$

$$V_o = V_i + \frac{\Delta I}{(1-\beta)T} \cdot L$$

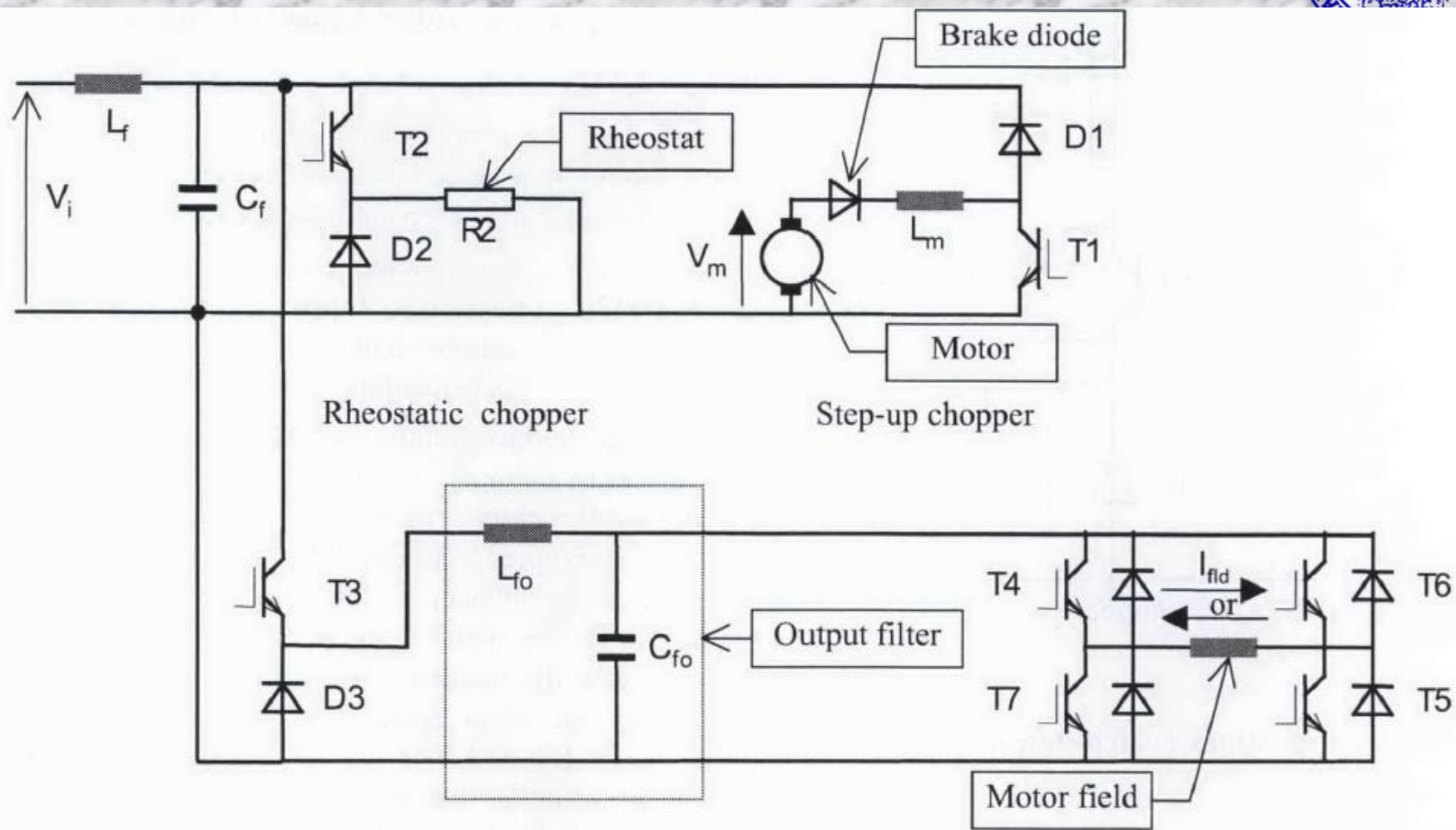
$$V_o = V_i + \frac{V_i}{L} \beta T \cdot \frac{L}{(1-\beta)T}$$

$$V_o = V_i \left\{ 1 + \frac{\beta T}{(1-\beta)T} \right\} = V_i \frac{1-\beta+\beta}{1-\beta}$$

$$V_o = V_i \frac{1}{1-\beta}$$

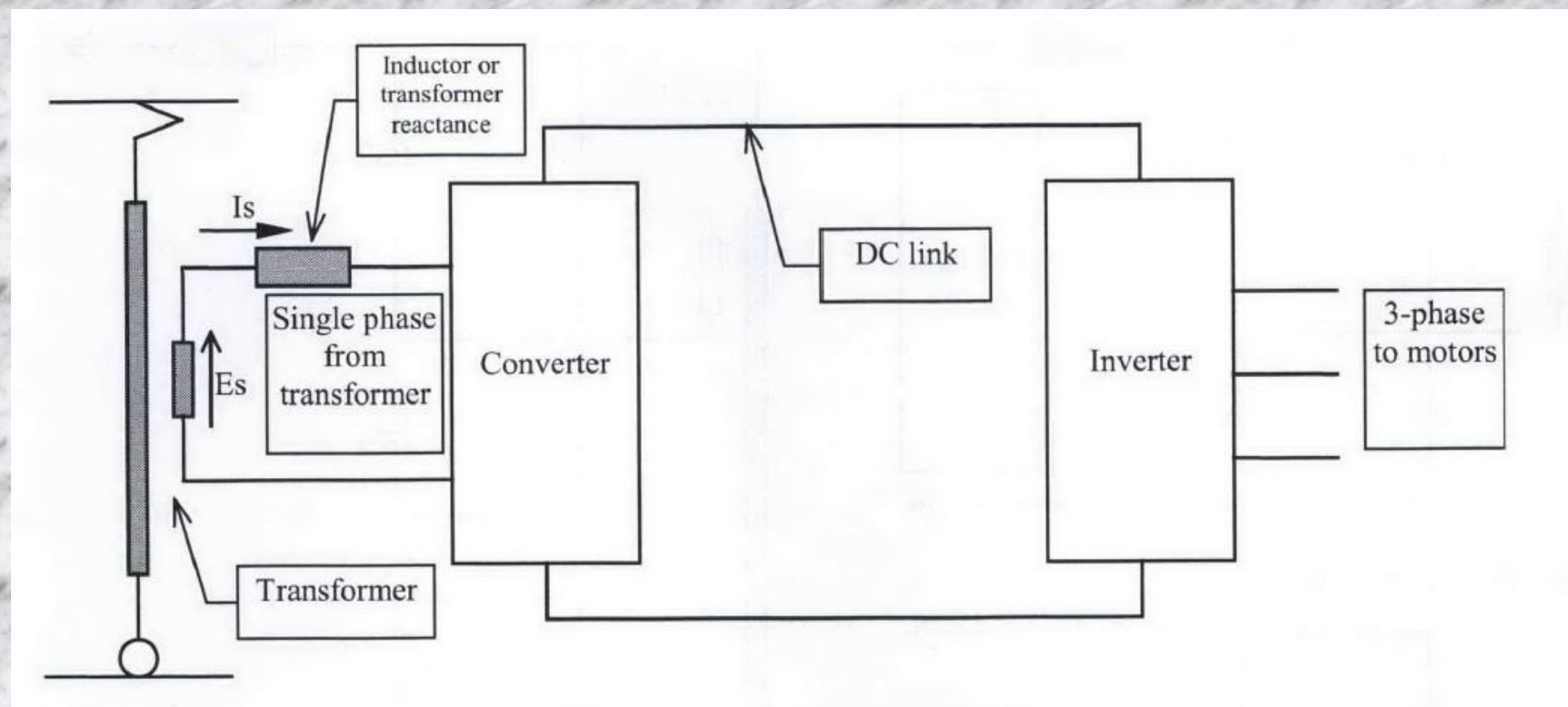


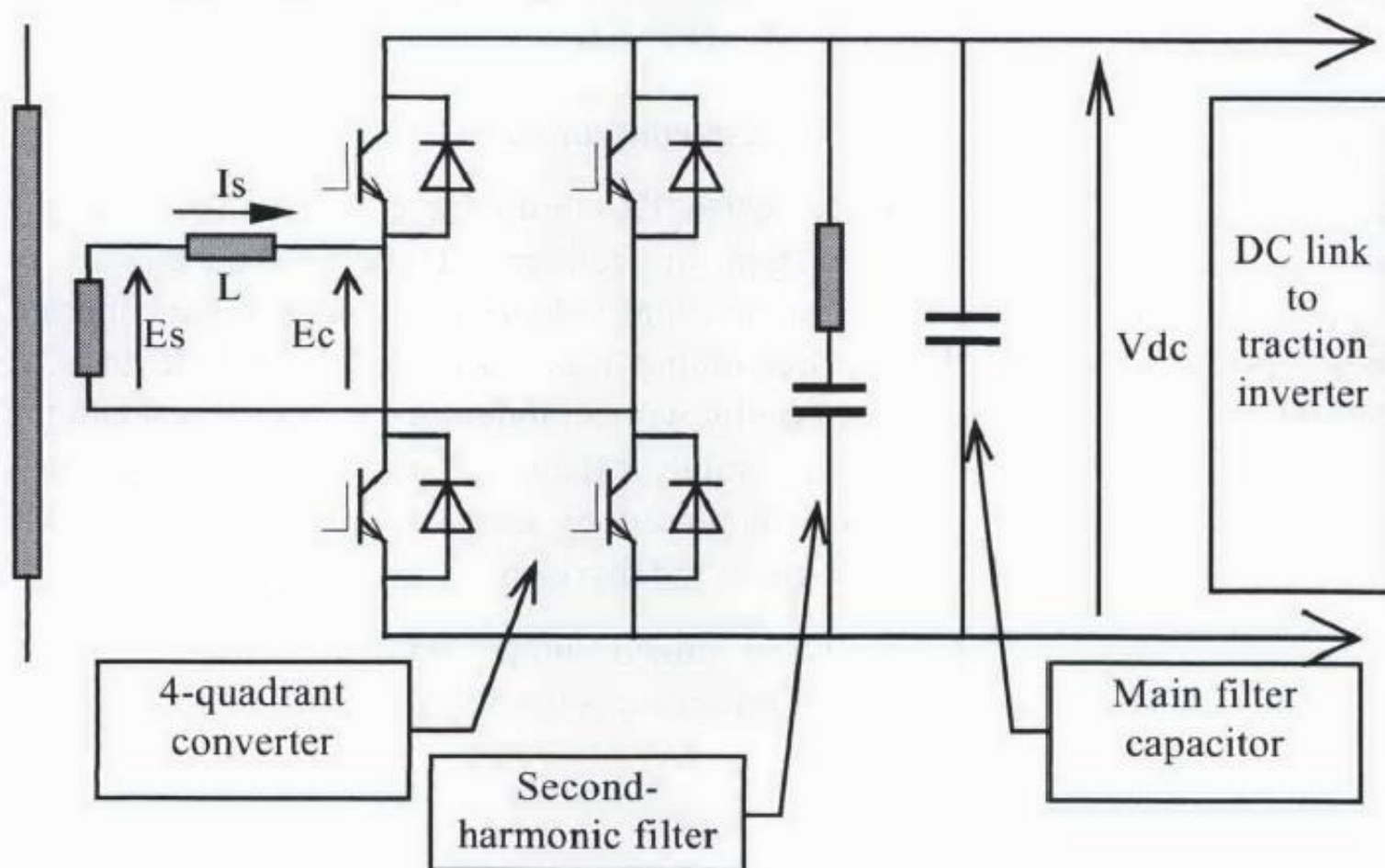
CHOPPER
step up + step down





Convertitore quattro quadranti







N° 16 Modalità di conduzione

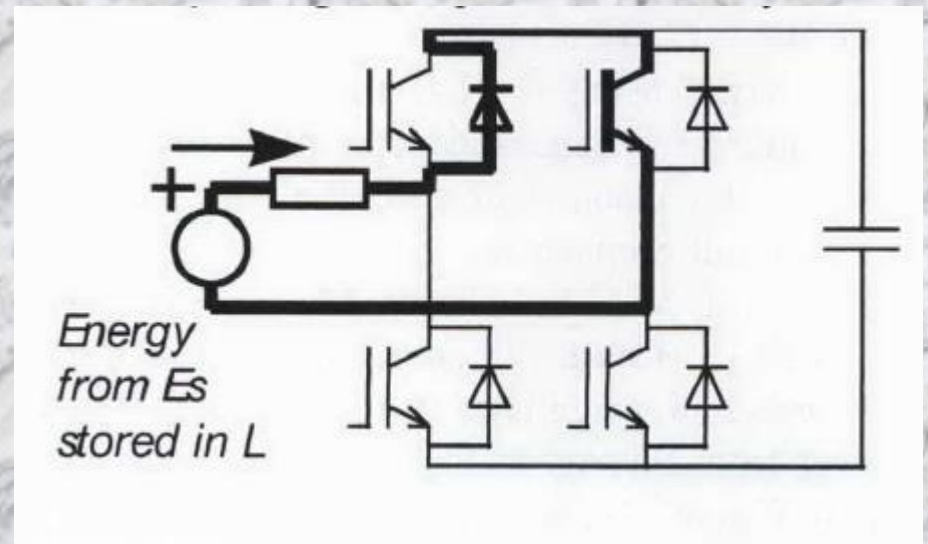
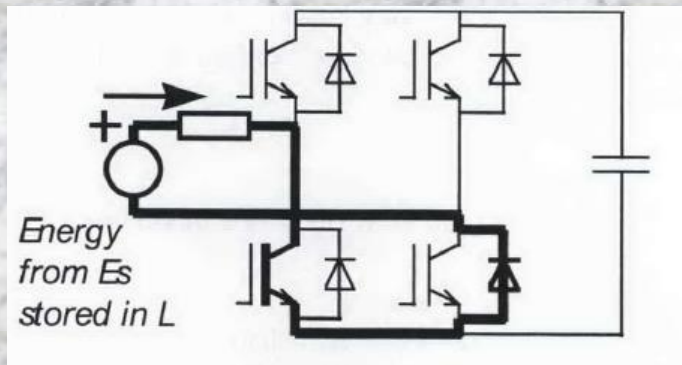
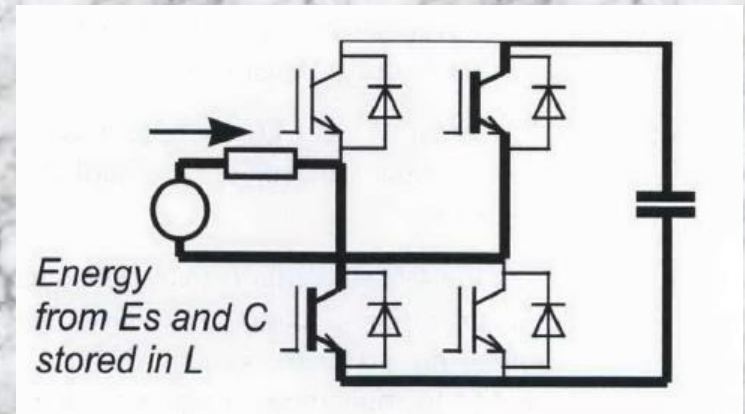
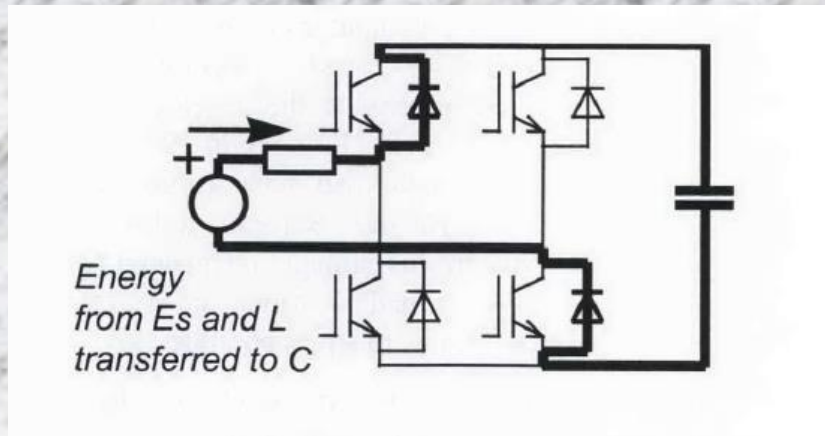
N° 4 : E_fase positiva I_fase positiva

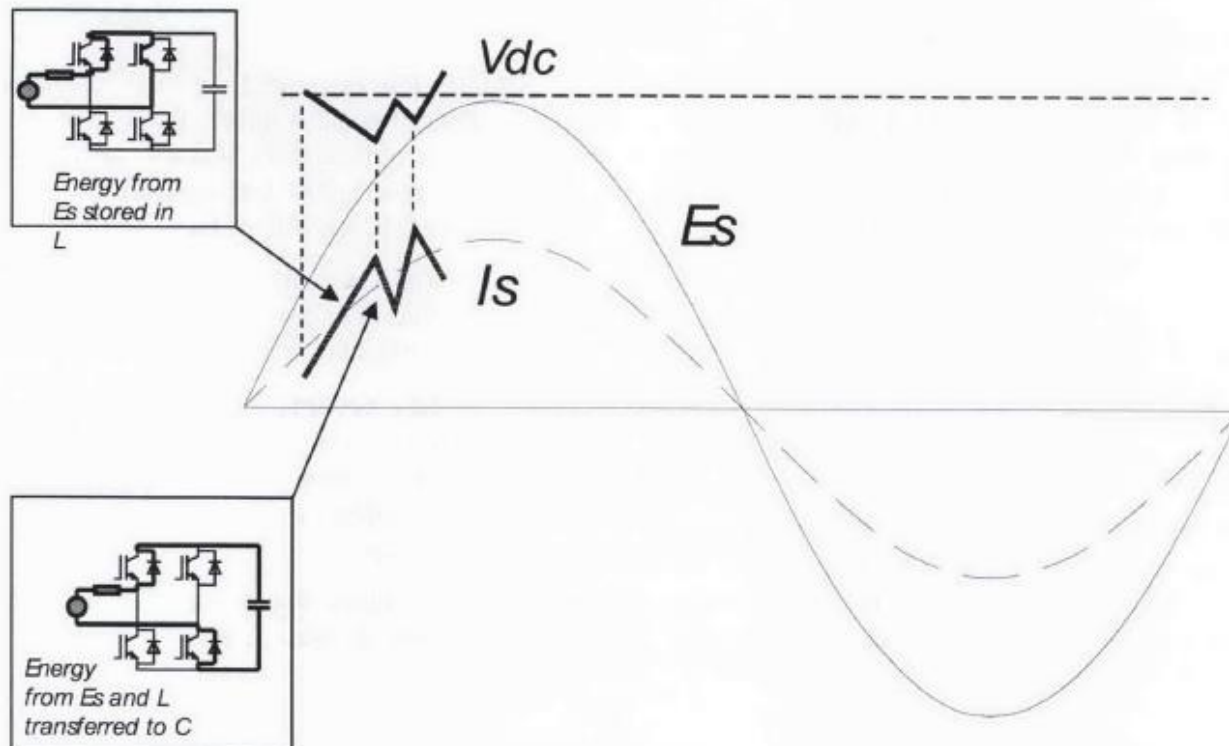
N° 4 : E_fase positiva I_fase negativa

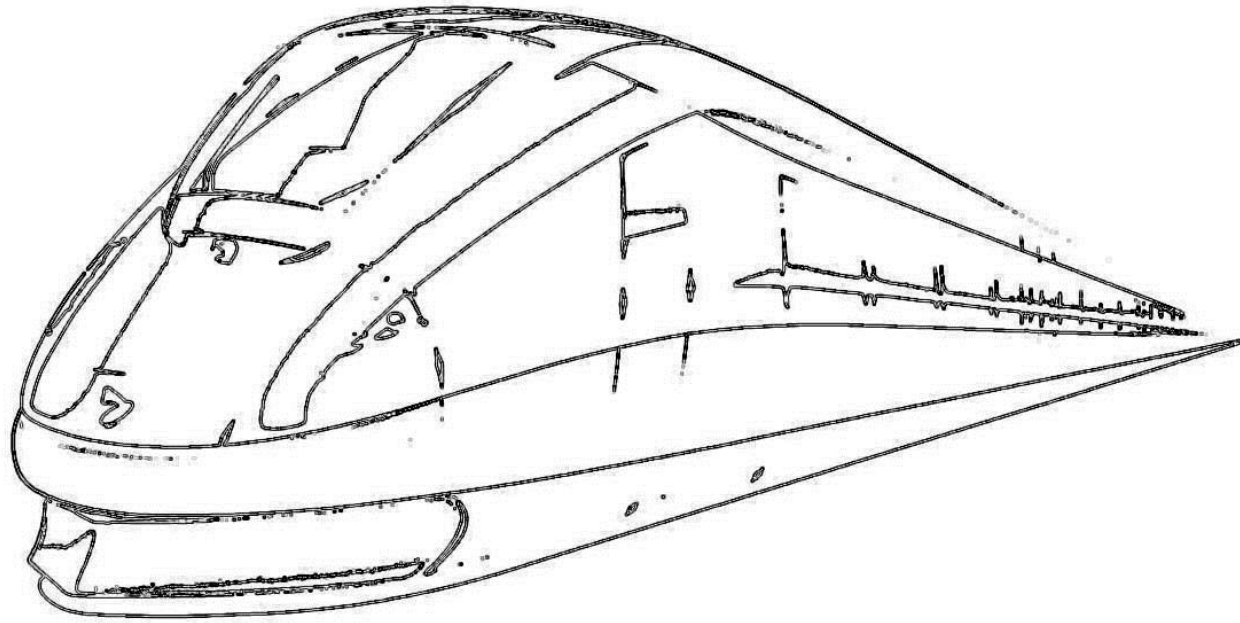
N° 4 : E_fase negativa I_fase positiva

N° 4 : E_fase negativa I_fase negativa

N° 4 : E_fase positiva I_fase positiva







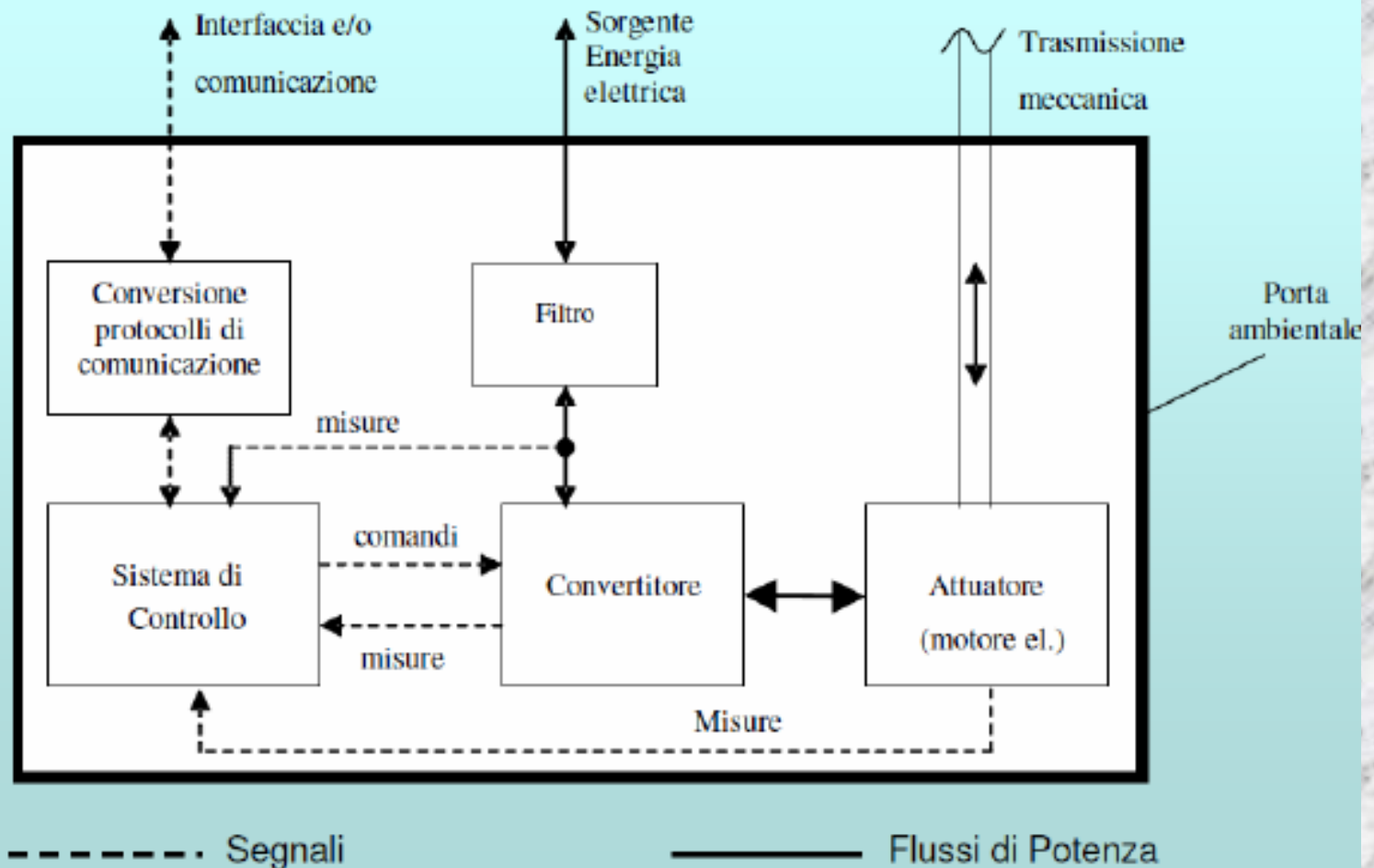
Azionamenti elettrici

Definizione di azionamento elettrico

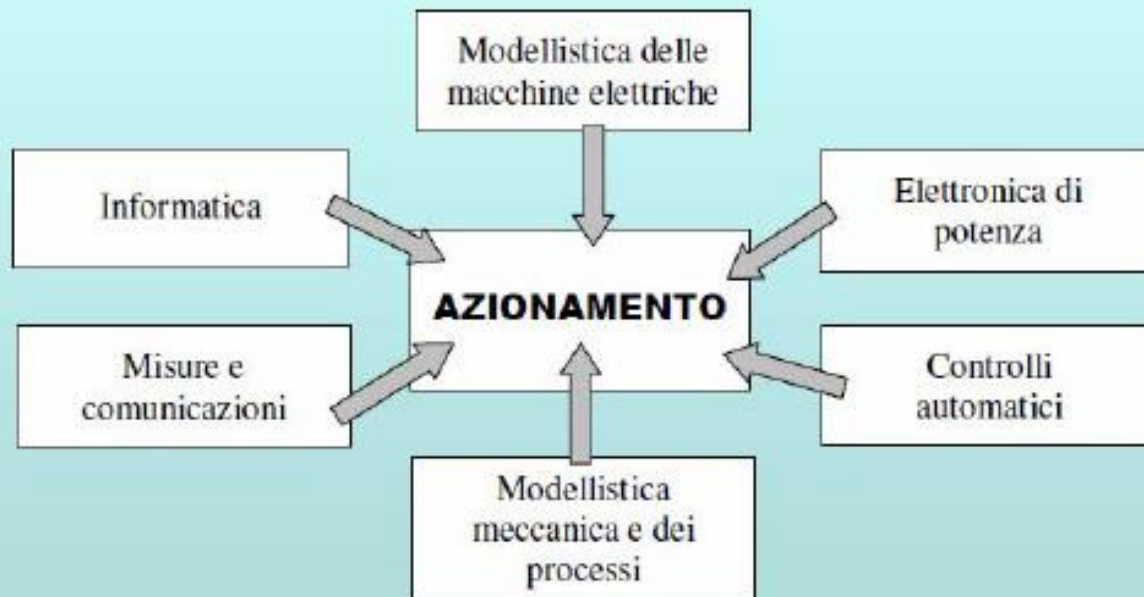
Gli **azionamenti elettrici** a velocità controllata sono sistemi che:

mediante un **attuatore** (motore) trasformano (in modo reversibile) l'energia elettrica in meccanica,
avvalendosi di una apparecchiatura elettronica di potenza (**convertitore**) atta a modulare l'energia elettrica,
in accordo ad una funzione di comando (**controllo** della coppia, o della velocità o della posizione) che risponde ad esigenze elaborate localmente (dove si trova l'azionamento) oppure ad un programma elaborato da una intelligenza remota (chiamata a coordinare più azionamenti)

Struttura di un azionamento



Discipline coinvolte





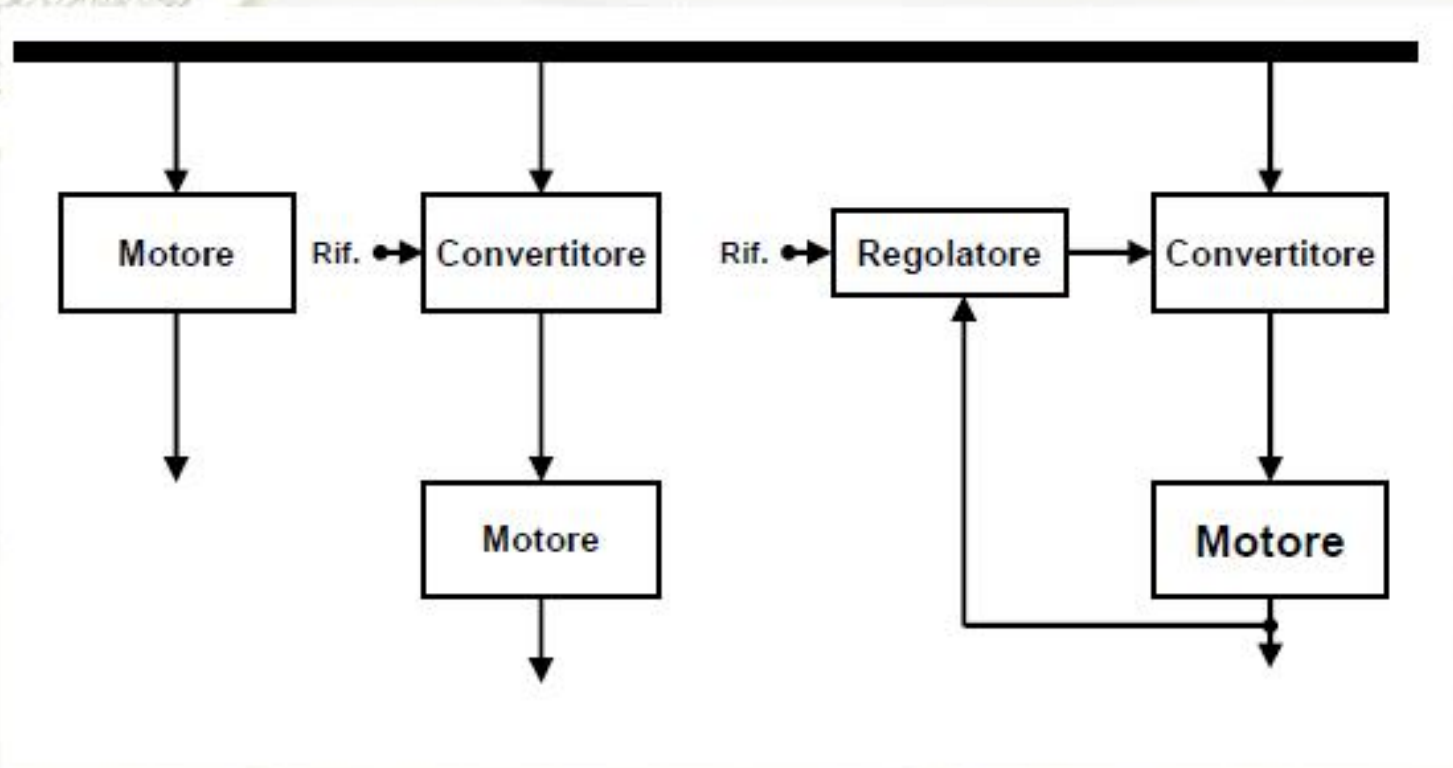
Generalità sugli azionamenti elettrici

Azionamenti non regolati, in cui il motore è collegato alla linea di alimentazione senza interposizione di convertitore o sistema di regolazione;

Azionamenti controllati a catena aperta, per i quali le grandezze di uscita sono determinate dal carico e dai valori delle grandezze di alimentazione;

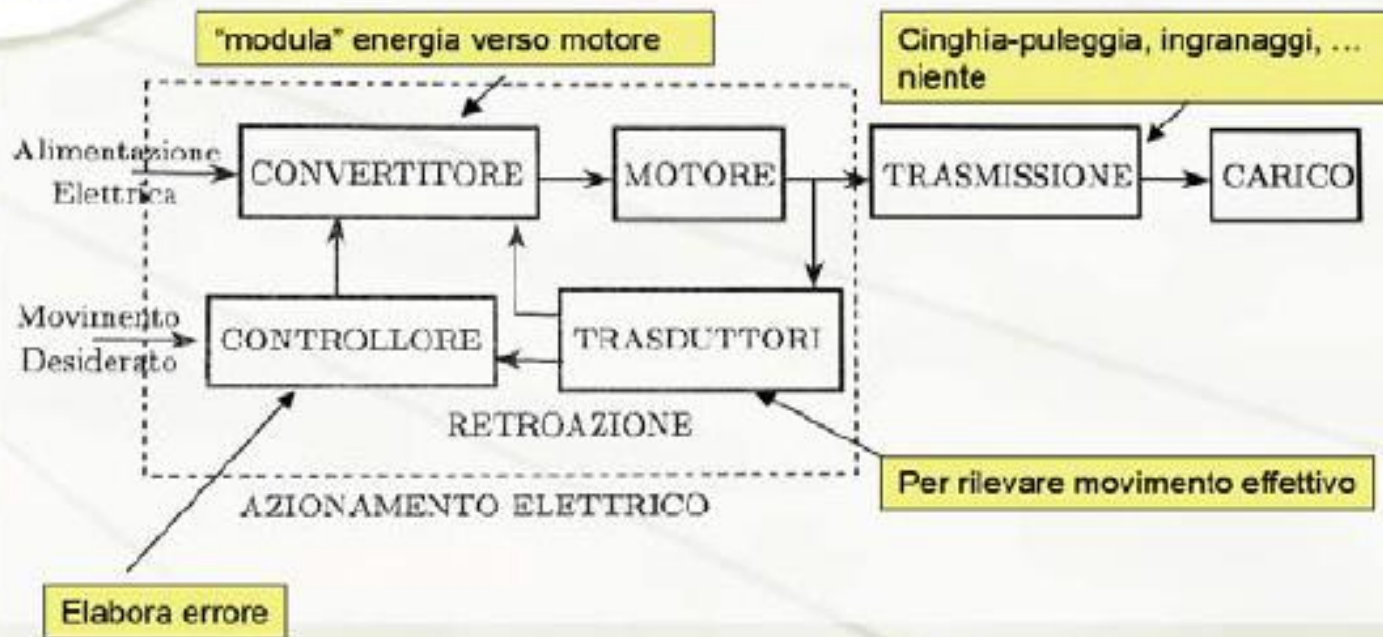
Azionamenti controllati a catena chiusa, per i quali le grandezze di uscita devono seguire delle leggi di riferimento fissate dall'esterno e le grandezze di alimentazione si adeguano automaticamente quando le uscite si discostano dai riferimenti.

Generalità sugli azionamenti elettrici

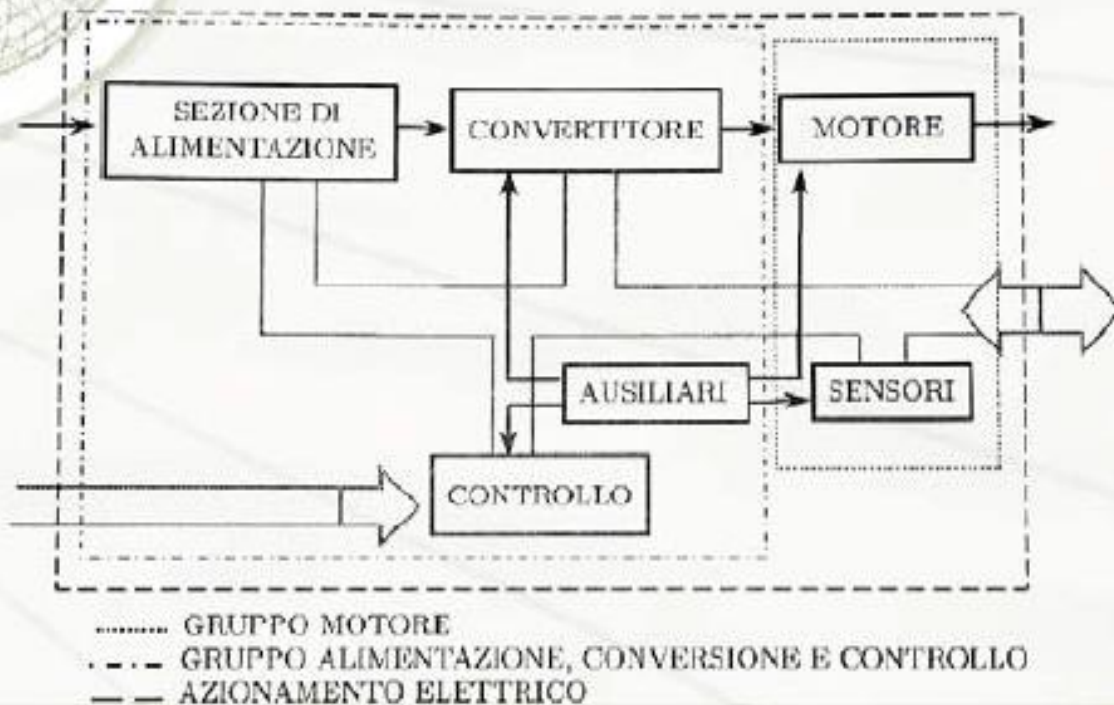


Azionamenti elettrici: struttura

★ Azionamento ad “anello chiuso”



Azionamenti elettrici: struttura secondo CEI



Controllo del moto

+ Velocità

+ Regolazione

- + Si effettua a catena chiusa
- + Velocità misurata con opportuni trasduttori



Classificazione

Tipo di moto



Rotatorio
Lineare
Composto

Regolazione



Non regolati
Catena aperta
Catena chiusa

Tipo di motore



cc		
ca	Asincrono	Sincrono (PM, no PM)
Passo		

Linea di alimentazione
convertitore



In \ Out	cc	ca
	cc	ca
cc	Frazionatore Chopper	Invertitore inverter
ca	Raddrizzatore controllato	Cicloconvertitore