

REGOLATORI DI TENSIONE ALTERNATA

Prof. Simone CASTELLAN

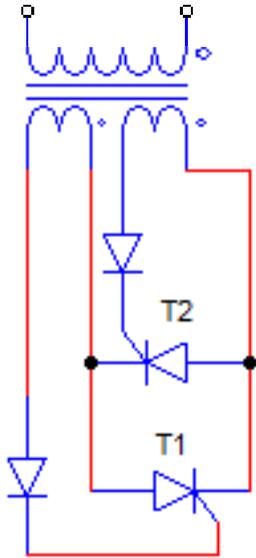
[1] M.H.Rashid, *Power electronics: circuit, devices and applications*, Pearson Education – Prentice Hall, 2004.

Versione italiana: *Elettronica di potenza – Dispositivi e circuiti (Volume 1)*, *Elettronica di potenza – Applicazioni (Volume 2)*, Pearson Paravia Bruno Mondadori, 2008.

[2] M.H.Rashid, *Power electronics handbook*, Academic Press, 2001.

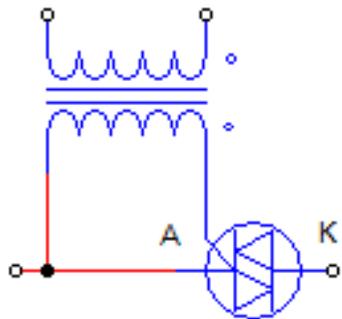
INTRODUZIONE

I regolatori di tensione alternata sono convertitori ca/ca costituiti da tiristori collegati in antiparallelo per permettere il passaggio della corrente nei due versi.
Esistono sia regolatori di tensione alternata monofase che trifase.



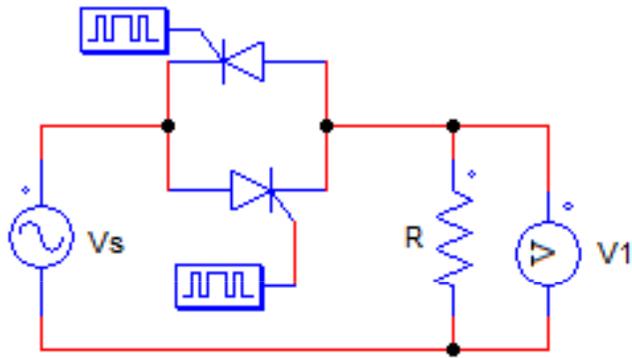
Il trasformatore ha la funzione di isolamento tra la parte di potenza e la parte di controllo del convertitore.

Dando un impulso di tensione positiva al trasformatore viene innescato il tiristore T1; dando un impulso negativo si accende invece il tiristore T2.



Per potenze piccole (qualche kW) al posto di due tiristori in antiparallelo si può utilizzare un TRIAC, che è bidirezionale.
Il verso di conduzione è determinato dalla polarità della tensione tra i morsetti A e K.

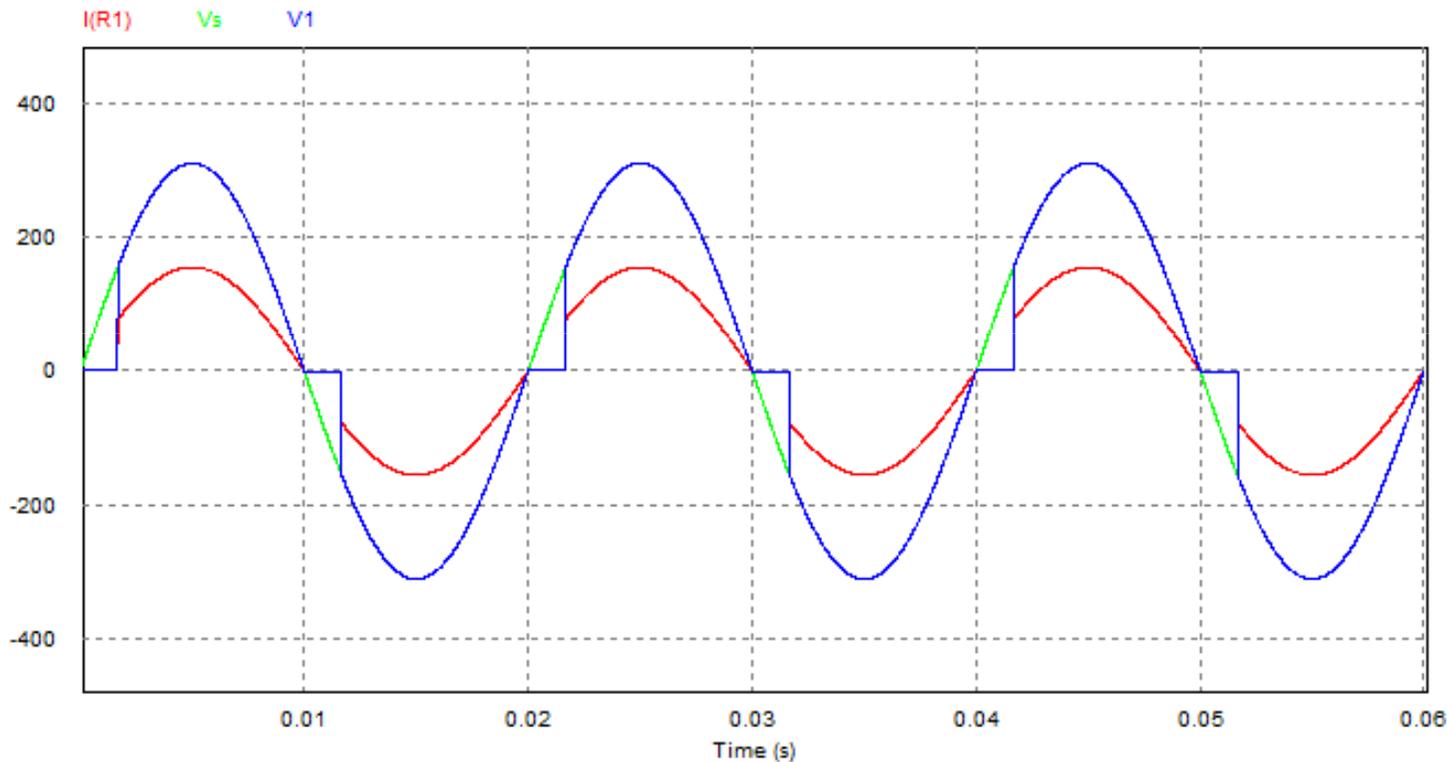
CARICO PURAMENTE RESISTIVO



$$v_s(t) = V_{SM} \text{sen}(\omega t)$$

Tensione e corrente del carico sono in fase. Lo spegnimento dei tiristori in conduzione avviene pertanto all'annullamento della tensione di alimentazione.

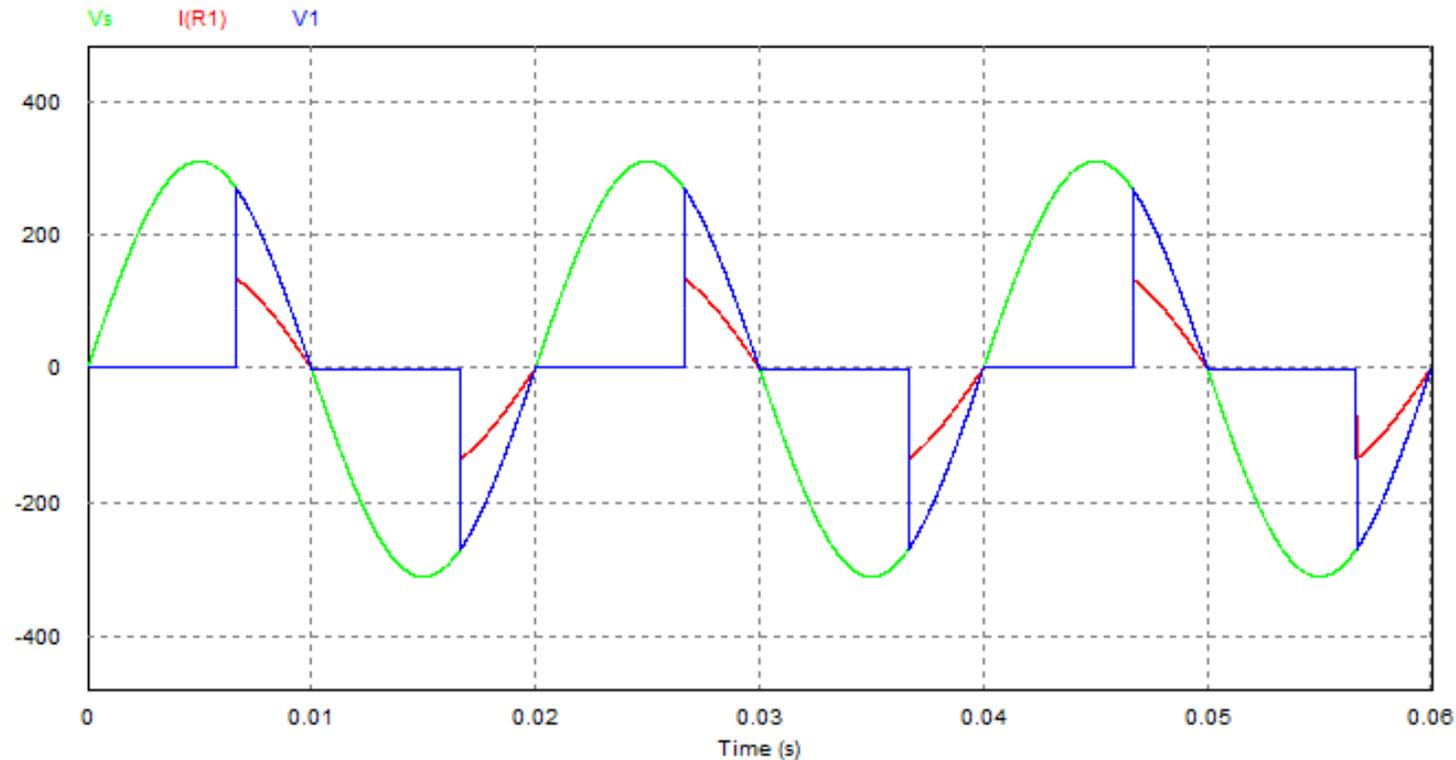
α = angolo di ritardo con cui vengono accesi i tiristori rispetto all'istante di annullamento della tensione.



$$\alpha = 30^\circ$$

$$0 < \alpha < 180^\circ$$

CARICO PURAMENTE RESISTIVO



$$\alpha = 120^\circ$$

Dopo lo spegnimento di ogni tiristore, questo resta polarizzato inversamente per un tempo pari ad α/ω . Non ci sono quindi problemi dal punto di vista del tempo di spegnimento.

L'equazione della tensione di uscita è:

$$v_o(t) = \begin{cases} \sqrt{2}V_s \sin(\omega t) & \alpha < \omega t < \pi \\ 0 & 0 < \omega t < \alpha \end{cases}$$

V_s = valore efficace della tensione di alimentazione

CARICO PURAMENTE RESISTIVO

Il valore efficace della tensione sul carico è:

$$V_o = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} v_o^2(\omega t) d(\omega t)} = V_s \sqrt{1 + \frac{\text{sen}(2\alpha) - 2\alpha}{2\pi}} \quad \frac{V_o}{V_s} = \sqrt{1 + \frac{\text{sen}(2\alpha) - 2\alpha}{2\pi}}$$

Al crescere di α si ottiene una riduzione del valore efficace di tensione sul carico. Va osservato però che la dipendenza di tale valore da α non è lineare.

Il fattore di sfasamento $\cos\phi_{in}$ visto dalla rete di alimentazione si ottiene trovando la prima armonica della corrente di carico e determinandone il suo sfasamento rispetto alla tensione di alimentazione.

I coefficienti di Fourier della prima armonica della corrente di carico sono:

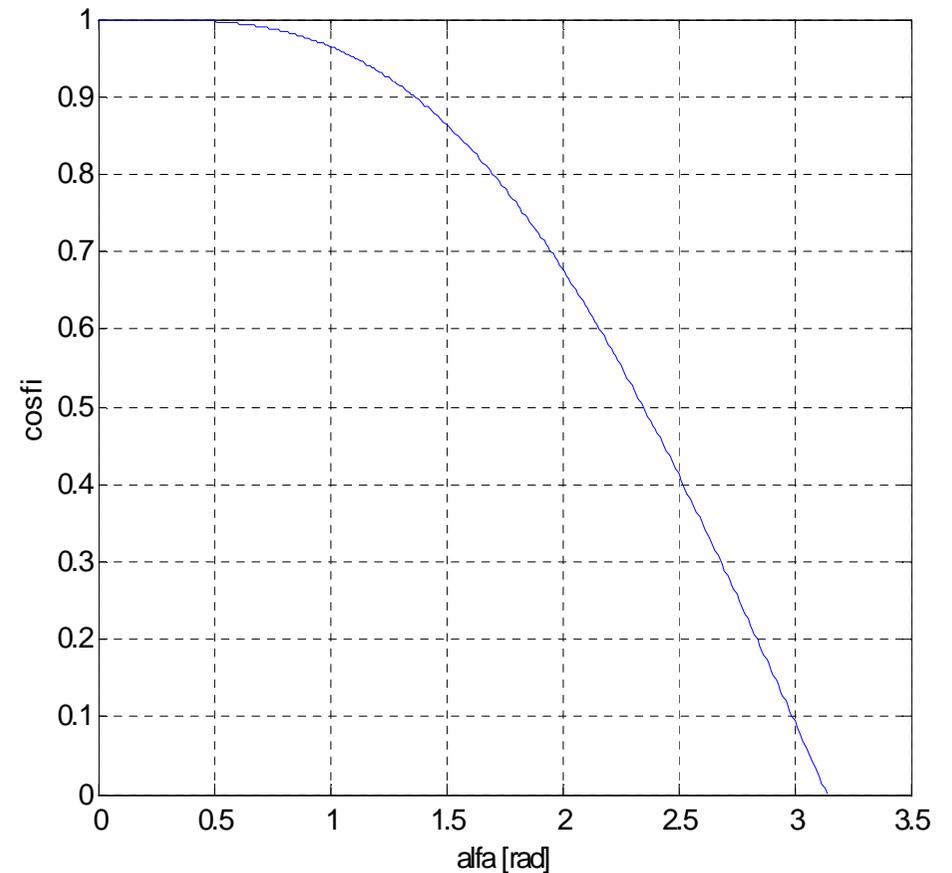
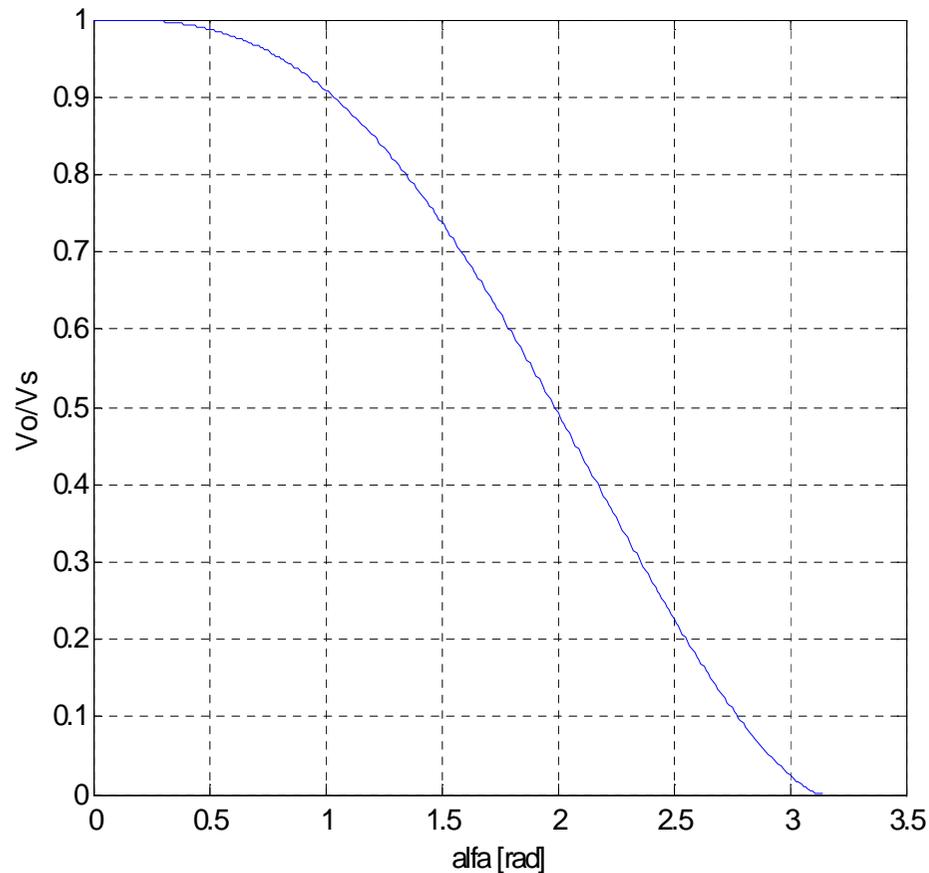
$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \text{sen}(\omega t) dt = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{V_{SM}}{R} \text{sen}^2(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_{SM}}{\pi R} \left[(\pi - \alpha) + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right]$$

$$b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cos(\omega t) dt = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{V_{SM}}{R} \text{sen}(\omega t) \cos(\omega t) d(\omega t) = -\frac{V_{SM}}{2\pi R} [1 - \cos(2\alpha)]$$

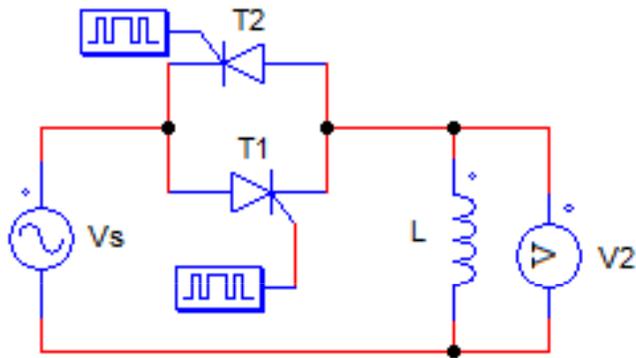
CARICO PURAMENTE RESISTIVO

$$\operatorname{tg} \varphi_{in} = -\frac{1 - \cos(2\alpha)}{2(\pi - \alpha) + \operatorname{sen}(2\alpha)}$$

$$\cos \varphi_{in} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{in}}} = \frac{\pi - \alpha + \frac{\operatorname{sen}(2\alpha)}{2}}{\sqrt{(\pi - \alpha)[\pi - \alpha + \operatorname{sen}(2\alpha)] + \operatorname{sen}^2 \alpha}}$$



CARICO PURAMENTE INDUTTIVO



Quando è in conduzione uno dei due tiristori la tensione sul carico è:

$$v_2(t) = L \frac{di}{dt} = V_{SM} \text{sen}(\omega t)$$

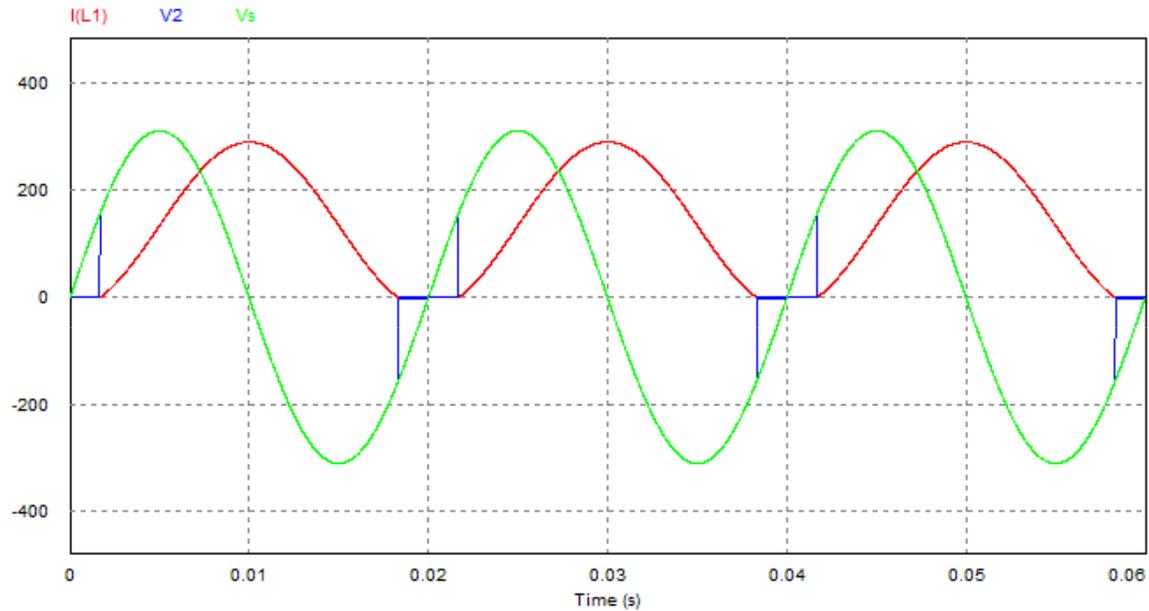
Se si accendono i tiristori con un angolo di ritardo α rispetto all'istante di annullamento della tensione, la corrente si evolve a partire da un valore nullo e torna ad annullarsi quando le aree positive e negative sottostanti alla curva della tensione si compensano. Cioè se si accende T_1 in α esso si spegne in $2\pi - \alpha$.

Ricordando però che in $\pi + \alpha$ bisogna accendere T_2 se si vuole ottenere sul carico una corrente alternata, affinché si possa accendere T_2 è necessario che T_1 si sia spento, altrimenti la caduta di tensione su T_1 polarizza inversamente T_2 che non può accendersi. Deve perciò essere verificata la condizione $\pi + \alpha > 2\pi - \alpha$, cioè $\alpha > \pi/2$.

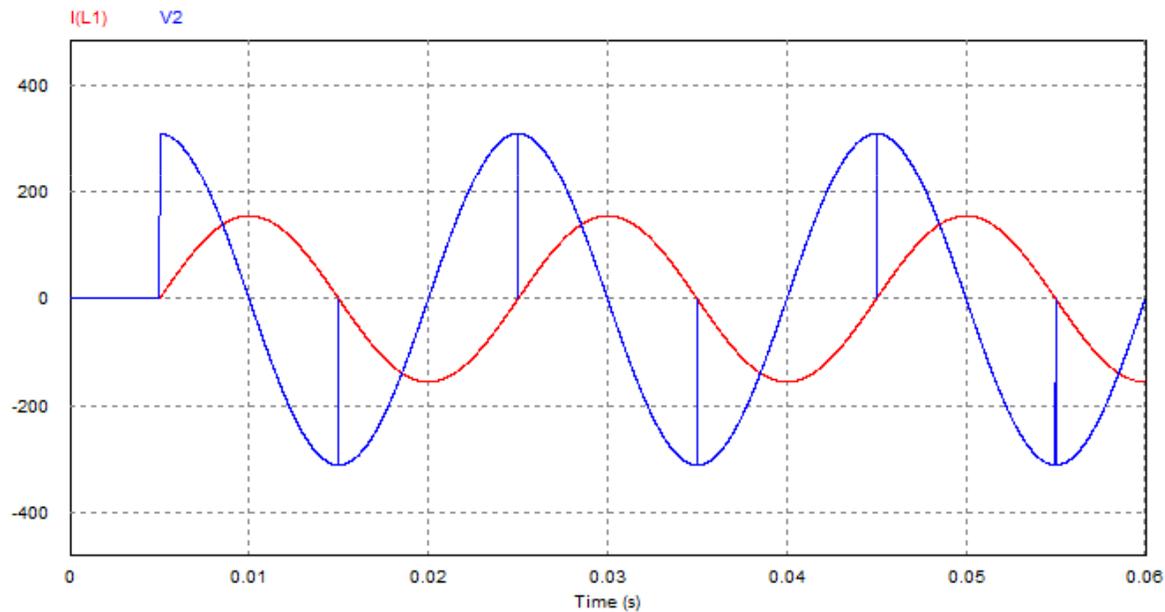
Se $\alpha < \pi/2$ conduce solo un tiristore (quello che viene acceso per primo); la corrente non è alternata ma unidirezionale. Se $\alpha > \pi/2$ il funzionamento è regolare e il carico assorbe una corrente alternata.

Poiché il carico è puramente induttivo non c'è assorbimento di potenza attiva. La potenza assorbita è solo reattiva e quindi $\cos\phi_{in} = 0$ qualunque sia il valore di α .

CARICO PURAMENTE INDUTTIVO



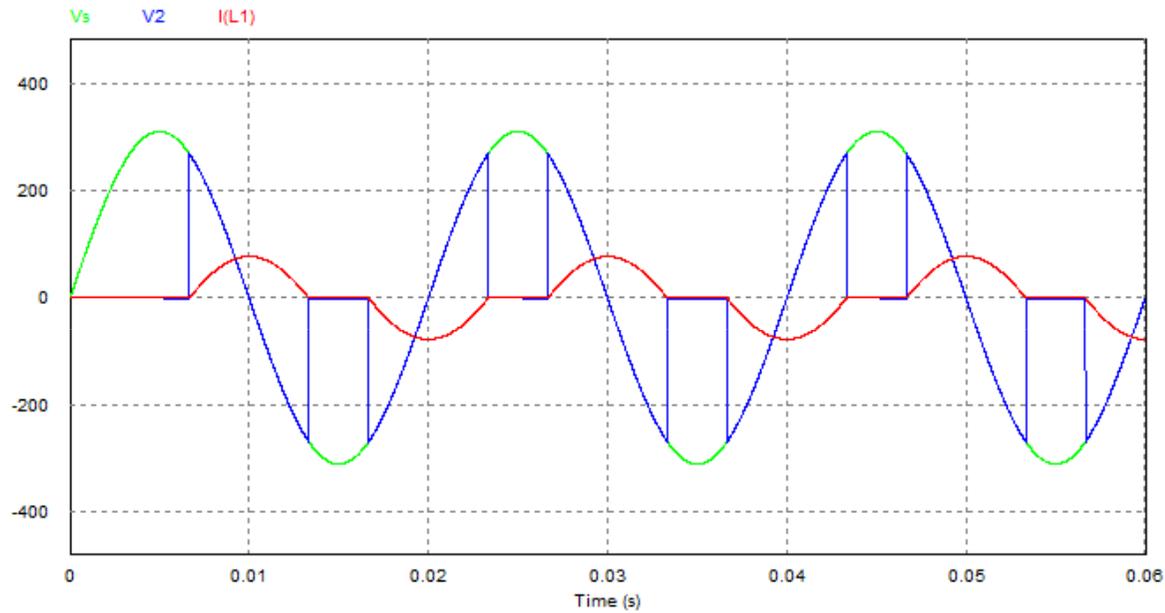
$$\alpha = 30^\circ$$



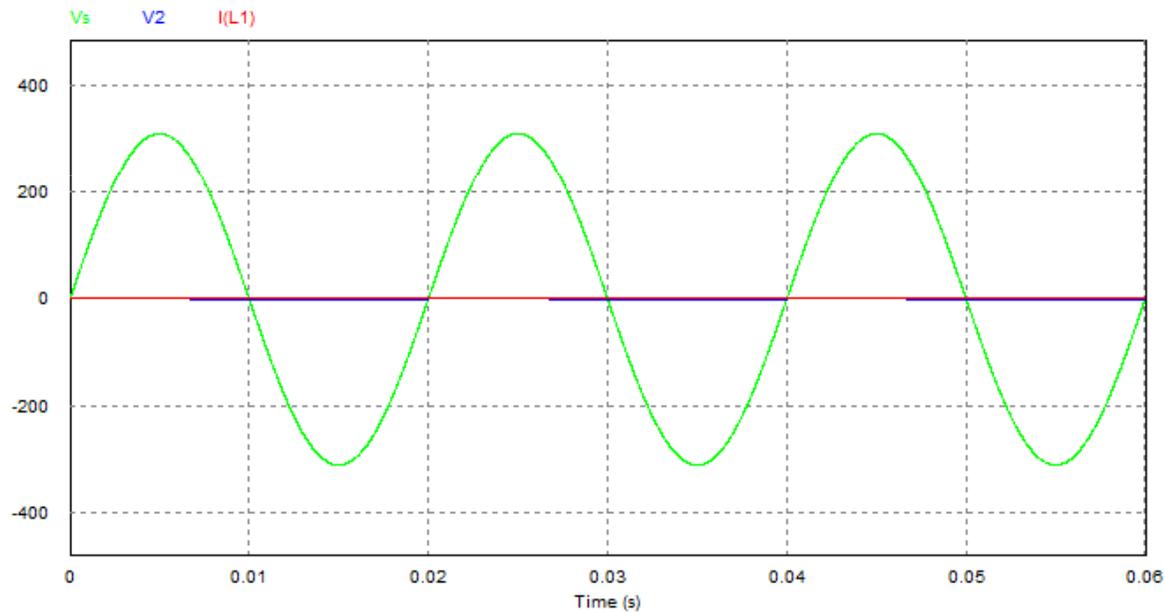
$$\alpha = 90^\circ$$

$$90^\circ < \alpha < 180^\circ$$

CARICO PURAMENTE INDUTTIVO

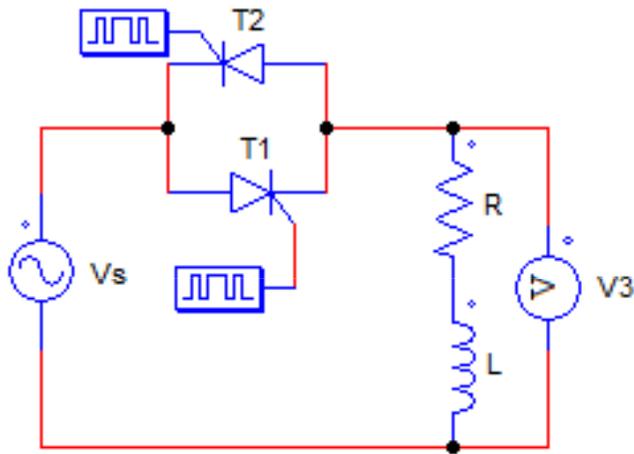


$$\alpha = 120^\circ$$



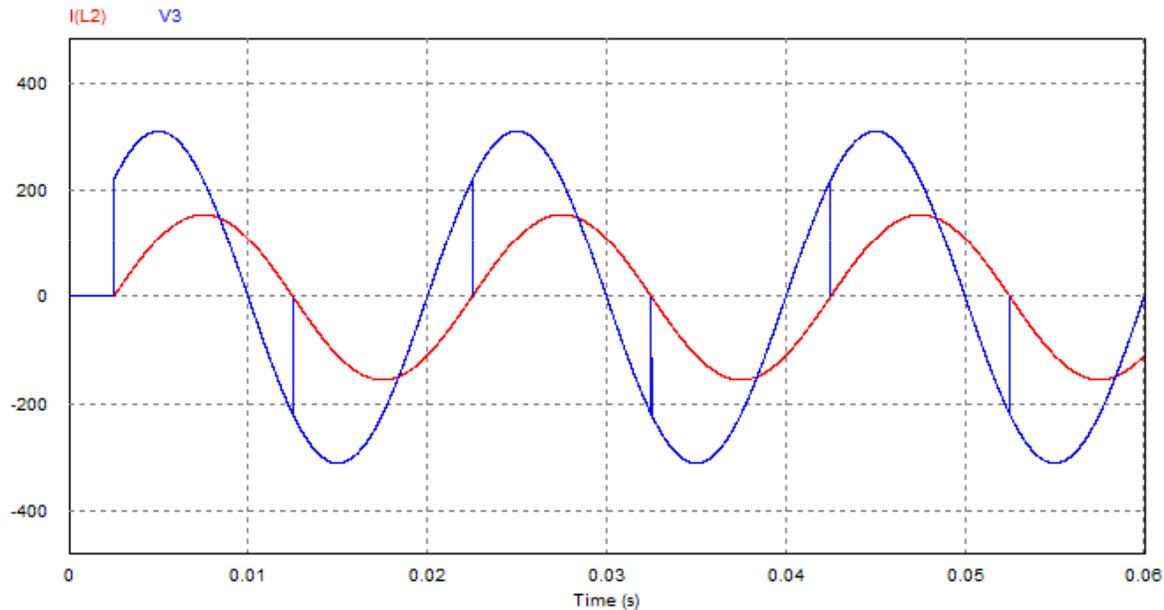
$$\alpha = 180^\circ$$

CARICO OHMICO-INDUTTIVO



Quando è in conduzione uno dei due tiristori la tensione sul carico è:

$$v_3(t) = L \frac{di}{dt} + Ri = V_{SM} \text{sen}(\omega t)$$

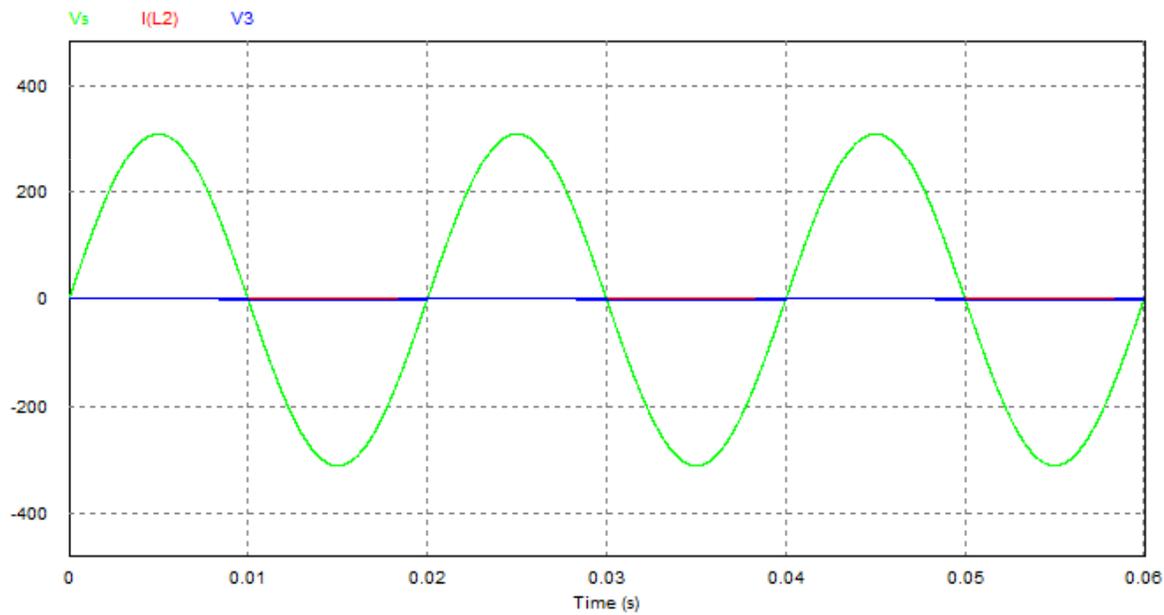
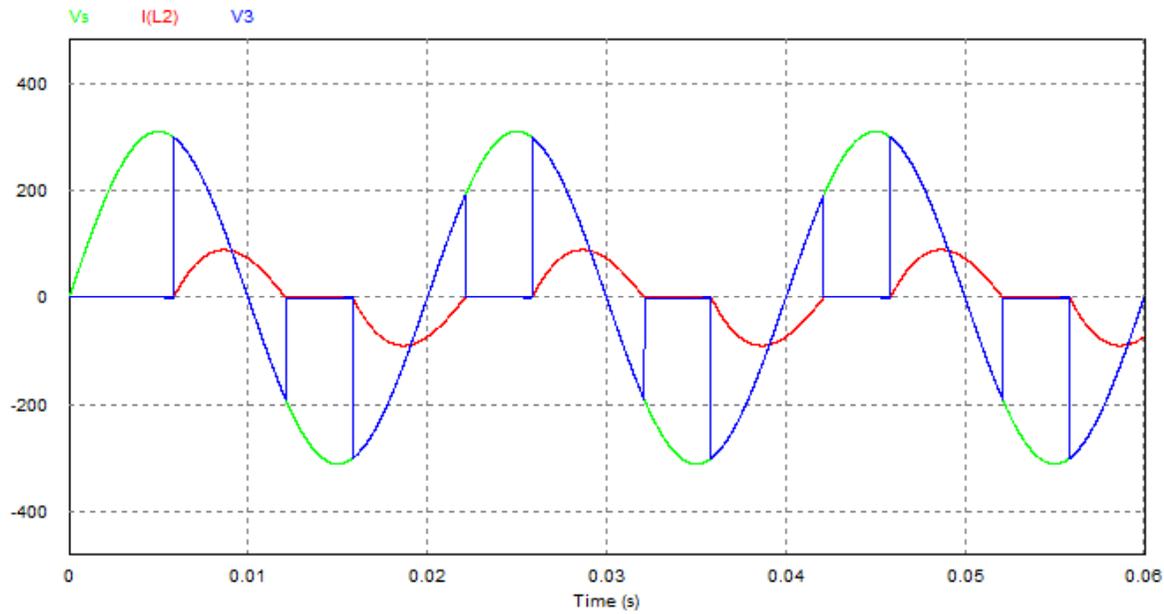


$$\alpha = \varphi$$

$$\varphi < \alpha < 180^\circ$$

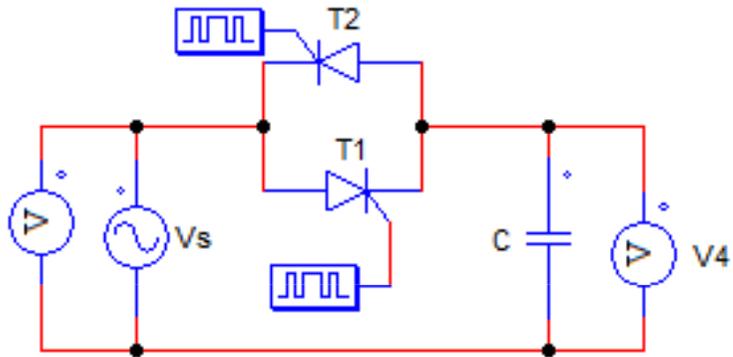
$$\varphi = \text{arctg} \frac{\omega L}{R}$$

CARICO OHMICO-INDUTTIVO

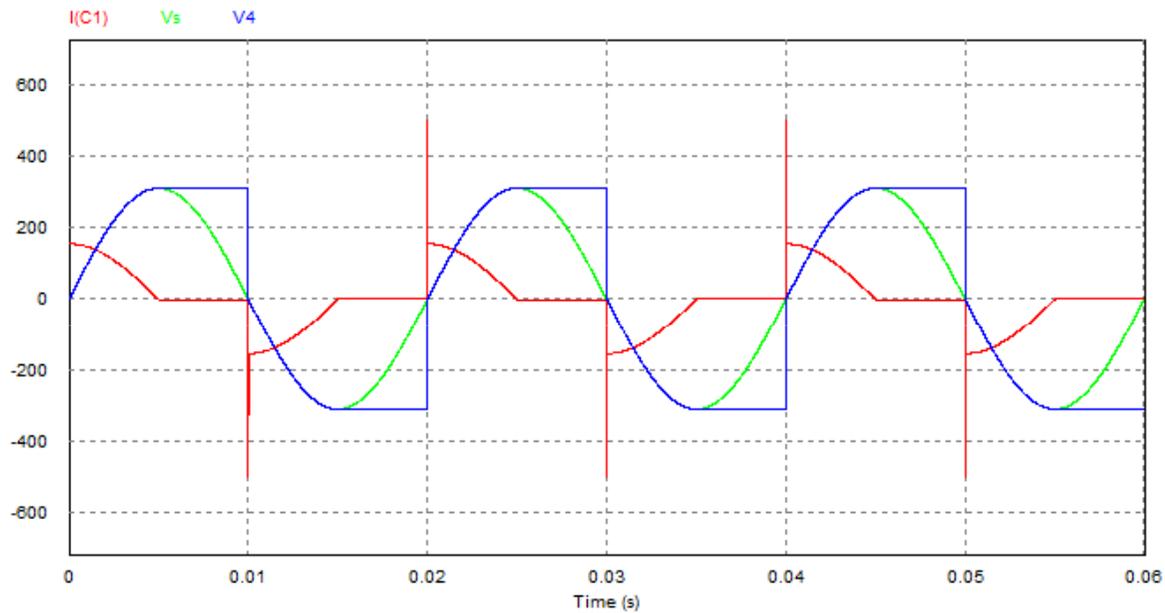


$$\alpha = 180^\circ$$

CARICO CAPACITIVO



Questo tipo di regolatore non si utilizza nei casi di carico capacitivo a causa degli elevati impulsi di corrente che si produrrebbero all'accensione dei tiristori.



$$\alpha = 0^\circ$$