

Corso di ELETTRONICA INDUSTRIALE

MODULAZIONE VETTORIALE. CONTROLLO DI CORRENTE DI INVERTITORI A TENSIONE IMPRESSA

Modulazione vettoriale e controllo di corrente di inverteri a tensione impressa

- Rappresentazione vettoriale
- Trasformazioni diretta ed inversa
- Controllo vettoriale trifase di tensione
- Controlli di corrente monofase di inverteri di tensione
- Controlli di corrente trifase
- Controllo di corrente digitale predittivo

Modulazione Vettoriale di Tensione

L'invertitore trifase può generare tre tensioni di fase indipendenti a due livelli

Sono possibili otto combinazioni (stati) indipendenti

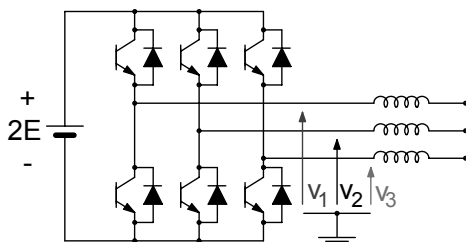
Con opportuna modulazione è possibile generare una qualsiasi terna di valori medi V_{1med} , V_{2med} , V_{3med} compresi fra +E e -E

Modulazione Vettoriale di Tensione

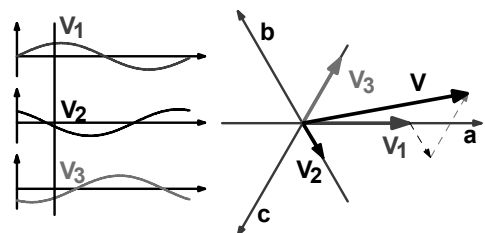
Un carico con centro stella isolato è sensibile solo alle tensioni concatenate, e non al valore della tensione di centro stella

Una terna qualsiasi di tensioni può essere rappresentata con un vettore in un piano, a meno dell'informazione del valore della tensione di centro stella

Modulazione Vettoriale di Tensione



Rappresentazione vettoriale di una terna di tensioni

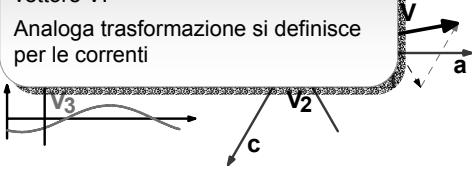


Si ha così una

Trasformazione Vettoriale Diretta

tra la terna di tensioni v_1, v_2, v_3 , e il vettore V .

Analoga trasformazione si definisce per le correnti



Rappresentazione vettoriale di una terna di tensioni

$$V_\alpha = V_1 - \frac{V_2}{2} - \frac{V_3}{2}$$

$$V_\beta = \frac{\sqrt{3}}{2}(V_2 - V_3)$$

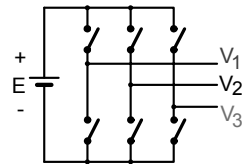
Trasformazione vettoriale inversa

$$V_1 = \frac{2}{3}V_\alpha$$

$$V_2 = \frac{2}{3}\left(-V_\beta - \frac{V_\alpha}{2}\right)$$

$$V_3 = \frac{2}{3}\left(V_\beta - \frac{V_\alpha}{2}\right)$$

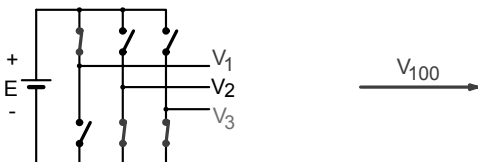
Rappresentazione vettoriale degli stati di un invertitore trifase di tensione



Ad ogni stato dell'invertitore corrisponde una terna di tensioni di uscita che può essere rappresentata da un vettore di stato

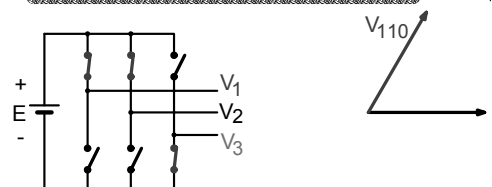
Rappresentazione vettoriale degli stati

Stato 100: $V_1=E$ $V_2=0$ $V_3=0$ ^e



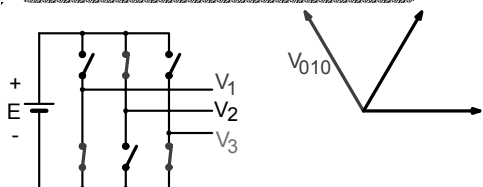
Rappresentazione vettoriale degli stati

Stato 110: $V_1=E$ $V_2=E$ $V_3=0$ ^e



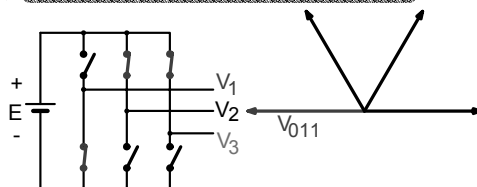
Rappresentazione vettoriale degli stati

Stato 010: $V_1=0$ $V_2=E$ $V_3=0$ ^e



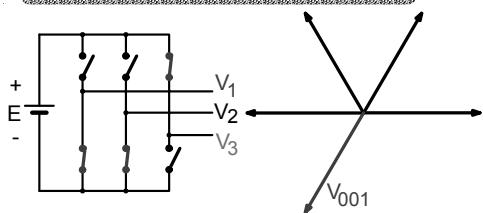
Rappresentazione vettoriale degli stati

Stato 011: $V_1=0$ $V_2=E$ $V_3=E$ ^e



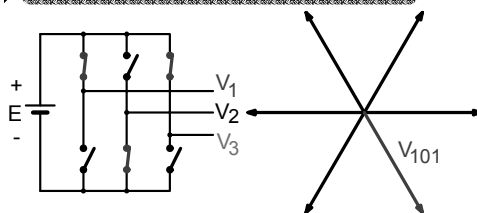
Rappresentazione vettoriale degli stati

Stato 001: $V_1=0$ $V_2=0$ $V_3=E$ ^e



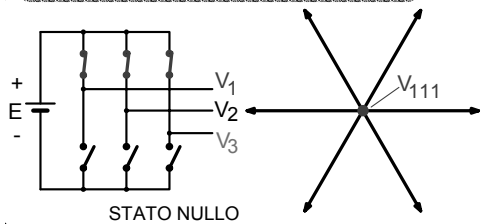
Rappresentazione vettoriale degli stati

Stato 101: $V_1=E$ $V_2=0$ $V_3=E$ ^e



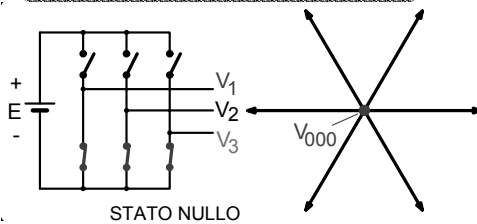
Rappresentazione vettoriale degli stati

Stato 111: $V_1=E$ $V_2=E$ $V_3=E$ ^e



Rappresentazione vettoriale degli stati

Stato 000: $V_1=0$ $V_2=0$ $V_3=0$ ^e



Modulazione Vettoriale di Tensione

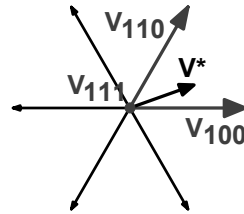
La modulazione vettoriale consiste nell'applicare in successione nel periodo stati diversi dell'invertitore

Per ogni periodo di modulazione, normalmente si impiegano tre stati, di cui uno nullo

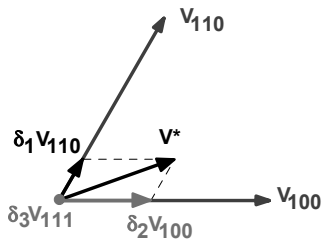
Le durate di applicazione dei tre stati devono essere tali che:

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$$

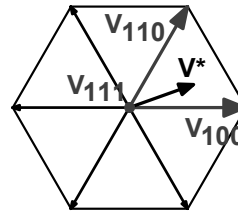
Modulazione Vettoriale di Tensione



Modulazione Vettoriale di Tensione

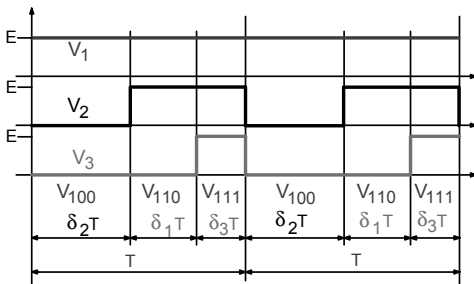


Modulazione Vettoriale di Tensione

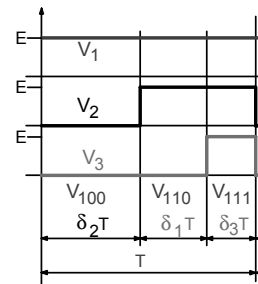


L'ordine di applicazione degli stati nel periodo può essere scelto in base a criteri diversi

Modulazione Vettoriale di Tensione

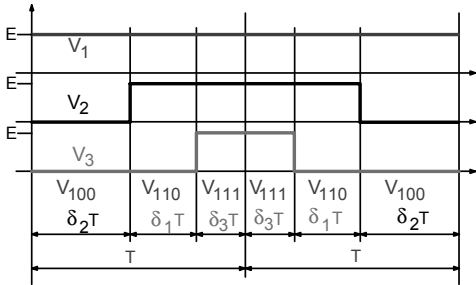


Modulazione Vettoriale di Tensione

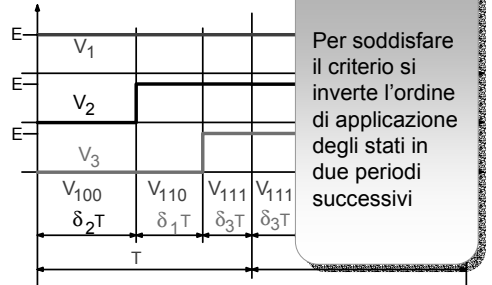


Un criterio molto usato corrisponde ad avere una commutazione in una sola fase per ogni di stato. Questo criterio condiziona la scelta dello stato nullo

Modulazione Vettoriale di Tensione

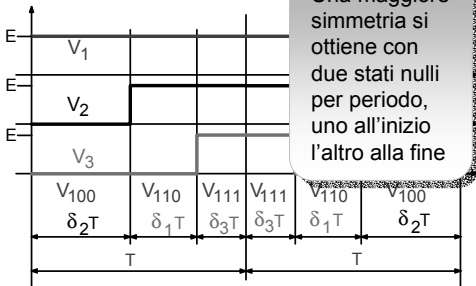


Modulazione Vettoriale di Tensione



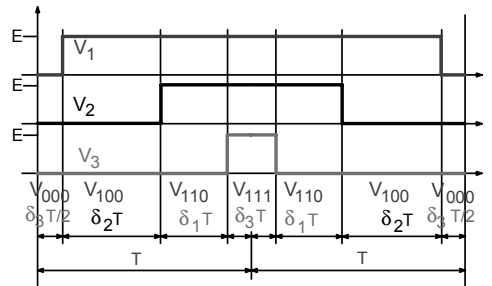
Per soddisfare il criterio si inverte l'ordine di applicazione degli stati in due periodi successivi

Modulazione Vettoriale di Tensione

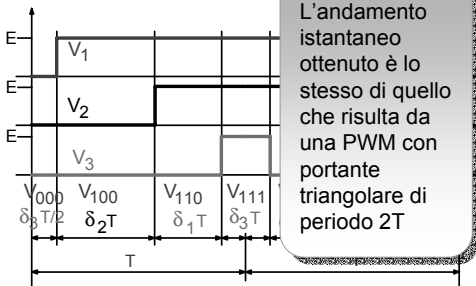


Una maggiore simmetria si ottiene con due stati nulli per periodo, uno all'inizio l'altro alla fine

Modulazione Vettoriale di Tensione



Modulazione Vettoriale di Tensione



L'andamento istantaneo ottenuto è lo stesso di quello che risulta da una PWM con portante triangolare di periodo $2T$

Modulazione Vettoriale di Tensione

I calcoli relativi alla modulazione vettoriale sono vantaggiosamente svolti dai sistemi di controllo digitale

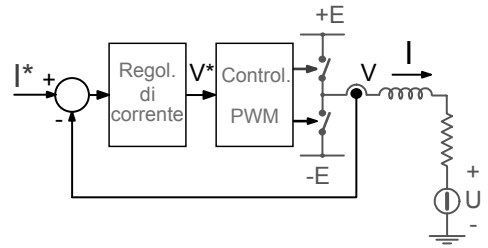
Data la diffusione dei sistemi di controllo digitale, la modulazione vettoriale è attualmente uno dei metodi di modulazione più usati negli azionamenti

Controllo monofase di corrente

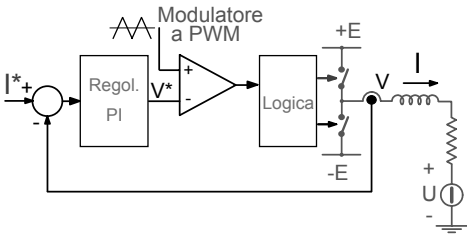
Gli invertitori di tensione possono essere controllati, in modo da dare sul carico una corrente con forma d'onda secondo un riferimento I^*

A tale scopo è necessario usare un controllo a retroazione, che genera opportuni riferimenti per i controlli di tensione già esaminati

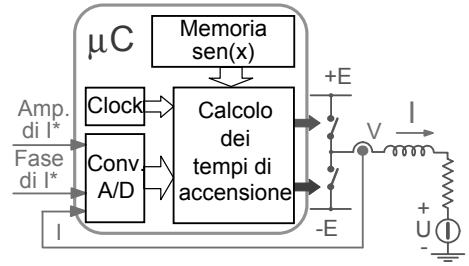
Controllo monofase di corrente Invertitore di tensione controllato in corrente



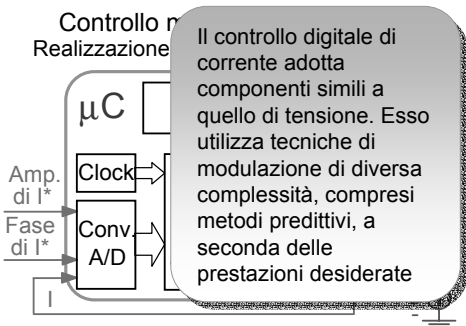
Controllo monofase di corrente Controllo di corrente analogico



Controllo monofase di corrente Realizzazione digitale a microcontrollore



Controllo monofase di corrente Realizzazione digitale



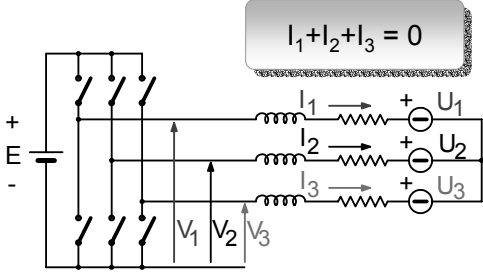
Il controllo digitale di corrente adotta componenti simili a quello di tensione. Esso utilizza tecniche di modulazione di diversa complessità, compresi metodi predittivi, a seconda delle prestazioni desiderate

Controllo trifase di corrente

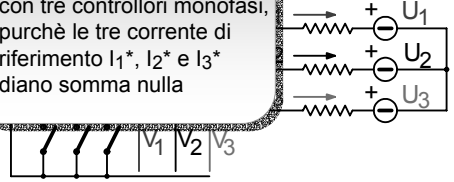
Il controllo trifase di corrente, con centro stella del carico isolato, ha il vincolo che la somma delle tre correnti istantanee di fase è nulla

Tale vincolo produce interazioni tra le ondulazioni di corrente risultanti nelle tre fasi

Controllo trifase di corrente

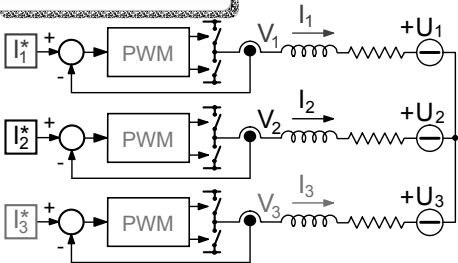


Il controllo di corrente si può realizzare, in linea di principio, controllando separatamente le tre fasi, con tre controllori monofasi, purché le tre correnti di riferimento I_1^* , I_2^* e I_3^* diano somma nulla



Controllo trifase di corrente

$I_1^* + I_2^* + I_3^* = 0$



Controllo trifase di corrente

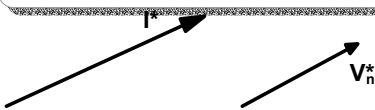
Il controllo di corrente digitale predittivo genera il vettore di riferimento V^* per il periodo successivo, a partire dal vettore di errore della corrente ΔI

$$V_{n+1}^* = V_n^* + \Delta V^* = V_n^* + L \frac{\Delta I}{T}$$

Controllo predittivo trifase di corrente

Generazione del riferimento di tensione V^* per il successivo periodo di modulazione

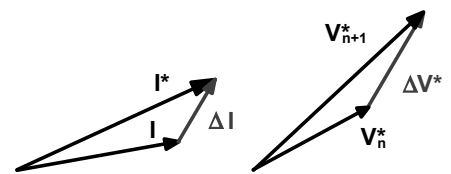
L'assegnazione di I^* in forma vettoriale assicura che i riferimenti delle tre correnti di fase abbiano somma nulla



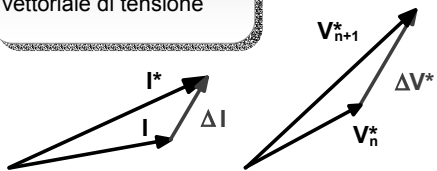
Controllo predittivo trifase di corrente

Generazione del riferimento di tensione V^* per il successivo periodo di modulazione

$$V_{n+1}^* = V_n^* + \Delta V^* = V_n^* + L \frac{\Delta I}{T}$$



Il vettore V_{n+1}^* così ottenuto costituisce il riferimento per un sistema di modulazione vettoriale di tensione



Controllo vettoriale di tensione

Sono stati sviluppati anche altri sistemi digitali di controllo di corrente più sofisticati che, a partire da una più precisa conoscenza dei parametri del sistema, consentono precisioni e velocità di risposta migliori

