



Zeno Martini (admin)

REGOLAZIONE VELOCITÀ ASINCRONO

24 June 2004

Generalità sugli azionamenti

Gli azionamenti a velocità variabile, un insieme costituito dal motore elettrico (attuatore) dal sistema elettronico di alimentazione e controllo coadiuvato da trasduttori di posizione e velocità, oltre ad essere, per certe applicazioni, assolutamente indispensabili, consentono un'ottimizzazione dei processi con incremento di produzione e miglior rendimento degli impianti. Spesso si ottiene un risparmio energetico se si può disporre di una rampa di accelerazione controllata e con certi carichi, come pompe e ventilatori, una riduzione del 20% della velocità significa ridurre la potenza assorbita del 50%. L'azionamento può essere collegato mediante opportuno bus di comunicazione alle logiche di controllo (PLC e/o PC) aumentando le potenzialità e la flessibilità del sistema di automazione.

Azionamento con asincrono

Il motore asincrono è, a grandi linee, un motore a velocità praticamente costante se la frequenza è costante. Nella zona di stabilità, che va dalla velocità di sincronismo alla velocità cui si ha la coppia massima, la caratteristica meccanica è in genere ripida e la variazione di velocità è grossomodo del 10%. Se poi si tiene conto che la corrente non può superare il valore nominale che si ha alla velocità nominale cui corrisponde uno scorrimento sull'ordine del 3..5%, l'intervallo di variazione si riduce drasticamente, non potendo il motore sostenere per lungo tempo una velocità inferiore, per il surriscaldamento che l'intensità di corrente, superiore al valore nominale, determina. C'è dunque una variazione dipendente dal carico che non è controllabile in modo efficace modificando la tensione. Diminuendo la tensione diminuisce la coppia massima e si ha, di conseguenza, una minor pendenza del tratto stabile, per cui, a parità di coppia resistente, la velocità diminuisce; però l'aumento dello scorrimento può richiedere al motore una corrente maggiore nonostante la tensione ridotta. E', in altre parole, una regolazione di scarsa efficacia.

Si può variare la velocità variando il numero di poli, ma questo comporta complicazioni costruttive degli avvolgimenti e consente un numero limitato di velocità (generalmente due).

La regolazione migliore si ottiene invece variando la frequenza, quindi la velocità del campo rotante o di sincronismo che è data da $n_0 = 60 \cdot f / p$ in giri/min (rpm) con f frequenza di alimentazione e p coppie polari dell'avvolgimento.

La variazione della frequenza richiede un circuito elettronico più complesso di un

circuito elettronico che vari la sola tensione. Maggior complessità implica un maggiore costo ma il rapido sviluppo dell'elettronica ha fatto sì che, se qualche decennio fa un sistema di regolazione della velocità era un dominio assoluto del motore a corrente continua, la cui velocità è variabile con la tensione d'armatura, attualmente la regolazione di velocità con variazione di frequenza ottenuta con motori asincroni, sottrae sempre più spazi agli azionamenti in continua, che comunque non sono scomparsi per le ancora migliori proprietà dinamiche del motore a cc. I motori asincroni hanno infatti un momento di inerzia più alto degli equivalenti in continua, il che ne peggiora dinamica. E' possibile utilizzare motori particolari, ma così si vanificano in parte i vantaggi dell'azionamento in ca

Un azionamento elettrico con un asincrono trifase è dunque essenzialmente costituito, oltre al motore, da un convertitore statico di frequenza ed il vantaggio che esso offre rispetto all'azionamento in corrente continua è che l'asincrono, più semplice costruttivamente quindi meno costoso, non richiede manutenzione ed i convertitori statici hanno ormai raggiunto standard qualitativi che assicurano un'ottima durata nel tempo.

Variazione della frequenza

Le specifiche di un motore asincrono sono la tensione nominale U_n , la potenza nominale P_n , la corrente nominale, la frequenza nominale f_n , lo scorrimento nominale s_n . Al valore nominale di tensione è legato il flusso magnetico al traferro, quindi la corrente a vuoto. La velocità di rotazione effettiva alla frequenza f se p è il numero di coppie polari ed s lo scorrimento è : $n=60*(f/p)*(1-s)$

Devono essere sempre rispettate le condizioni per il buon funzionamento del motore, che sono le seguenti:

1. La corrente assorbita non deve superare il valore nominale per evitare aumento delle perdite nel rame e surriscaldamenti eccessivi;
2. la tensione non deve superare il valore nominale per il quale è dimensionato l'isolamento;
3. la corrente a vuoto I_0 , quindi il flusso polare al traferro da essa generato $F(I_0)$, quindi l'induzione massima nel ferro, legati dalle relazioni $U_1 \gg k*f*F(I_0)=K*f*B_M$ in cui le costanti k , K riassumono parametri costruttivi fissi quali il fattore di avvolgimento, l'area della superficie polare ed il numero di poli, non devono superare i rispettivi valori nominali per non saturare il circuito magnetico ed evitare l'aumento di perdite nel ferro con conseguente surriscaldamento.

Le considerazioni che seguono per valutarne le prestazioni al variare della frequenza, si basano sul circuito equivalente semplificato e sono valide finché lo scorrimento è piccolo, tale cioè che si possa ritenere soddisfatta la condizione $R_{12}/s \gg X_{cc}$ e per

una frequenza non eccessivamente piccola in modo che si possa ritenere $X_{cc} \gg R_1$. La corrente di rotore riportata allo statore, che sommandosi vettorialmente alla corrente a vuoto dà luogo alla corrente totale assorbita, è data da:

$$I_{12} = \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s}\right)^2 + X_{cc}^2}}$$

che, nelle ipotesi specificate, può essere approssimata con

$$I_{12} = s \cdot U / (R_{12} \cdot 1,73)$$

cioè la corrente assorbita è proporzionale allo scorrimento.

Per ridurre la velocità si diminuiscono frequenza e tensione mantenendo costante il rapporto U/f .

Poiché la tensione diminuisce, la corrente nominale si ha ad uno scorrimento che aumenta al diminuire della frequenza. La coppia che si ottiene con la corrente nominale è uguale alla coppia nominale perché il flusso si mantiene costante. Anche la coppia massima ottenibile rimane la stessa, mentre lo scorrimento a cui essa si verifica aumenta, poiché la differenza tra la velocità di sincronismo e la velocità cui si ha la coppia massima rimane costante: si ha il funzionamento a coppia costante. La caratteristica meccanica si sposta parallelamente a se stessa come mostrano i diagrammi di figura 1. La coppia di avviamento cresce, e la potenza ottenibile è proporzionale alla frequenza.

Si vede nei diagrammi, tracciati sulla base del circuito equivalente semplificato, che al di sotto di una certa frequenza la coppia massima diminuisce e si intuisce che per ottenere realmente, anche alle basse frequenze, una regolazione a coppia costante non è più possibile mantenere costante il rapporto U/f .

Occorre in realtà aumentare il valore dell'induzione massima B_M , quindi aumentare la tensione, la quale deve essere ulteriormente aumentata in quanto la caduta ohmico-induttiva sull'avvolgimento primario non è più trascurabile. In questa situazione il circuito equivalente semplificato non schematizza più con sufficiente precisione il comportamento reale. Una formula empirica che potrebbe andare bene per calcolare la tensione di fase da applicare per motori trifase a 380 V è $U = 40 + 3,6 \cdot f$. Ma come diremo la soluzione più efficace è un'altra.

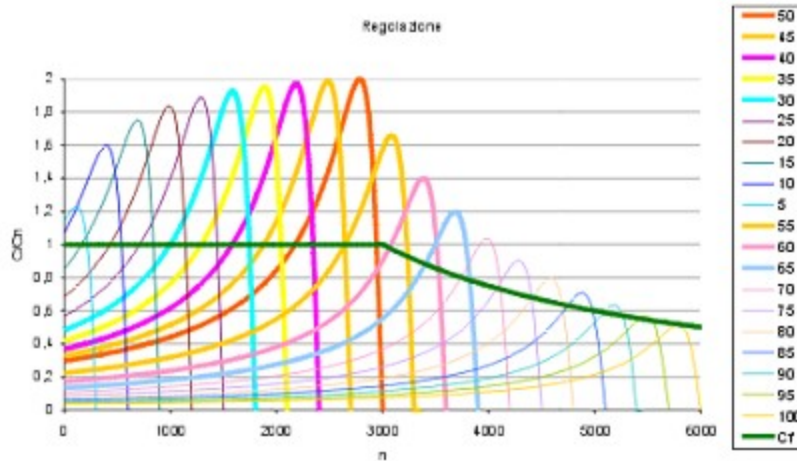


Figura 1

Se si vuole superare la velocità di sincronismo, bisogna aumentare la frequenza rispetto al valore nominale. Aumentando la frequenza e non potendo, per il dimensionamento dell'isolamento superare la tensione nominale, il flusso magnetico diminuisce (deflussaggio). La coppia, con il motore che assorbe la corrente nominale, è inferiore alla coppia nominale. Essa diminuisce proporzionalmente all'aumento della frequenza, quindi della velocità. La potenza che il motore può erogare rimane costante e pari al valore nominale è il funzionamento a potenza costante. Contemporaneamente diminuisce, ancora più rapidamente, la coppia massima, che, da un certo punto in poi diventa addirittura minore della coppia che parrebbe erogabile con la corrente nominale. Per velocità superiori il motore può lavorare erogando una coppia massima ottenuta da una corrente inferiore alla nominale. La potenza fornibile decresce all'ulteriore aumentare della frequenza, proporzionalmente. Quando il motore raggiunge la velocità massima ammissibile per ragioni di sollecitazione meccanica, non si può ulteriormente aumentare la frequenza di alimentazione.

La regolazione di velocità descritta, basata unicamente sulla variazione della frequenza con il controllo del rapporto U/f è ottenuta con l'inverter più semplice, detto scalare. L'inverter è un alimentatore elettronico che trasforma una tensione continua in una tensione a frequenza variabile con possibilità anche di variarne il valore medio. La tensione continua è ottenuta dalla rete in corrente alternata mediante circuito raddrizzatore.

L'inverter scalare ha notevoli limitazioni alle basse velocità come osservato.

Gli **inverter vettoriali** consentono una modifica delle grandezze elettromagnetiche molto più efficace. Essi adottano un modello matematico più preciso del circuito

equivalente semplificato, ma anche più complesso. E' in grado di trattare correttamente il comportamento della macchina in regime dinamico, oltre che stazionario. La matematica necessaria è abbastanza complessa ed astratta. Qui cercheremo di fornire un'idea dei concetti di base del modello. Occorre innanzitutto pensare a come la coppia si sviluppa. Il campo rotante delle correnti di statore genera delle correnti nel rotore che a loro volta producono un campo rotante che risulta fisso rispetto a quello di statore. L'interazione tra i due campi genera la coppia: il due campi si spingono con una forza che si trasmette per reazione ai loro supporto, statore e rotore. Il rotore è mobile quindi la forza tangenziale trasmessa lo pone in rotazione. L'entità della forza, quindi della coppia, dipende dalla posizione reciproca dei due campi ed è massima quando i loro assi sono in quadratura.

Anche in una macchina a corrente in continua ad eccitazione indipendente, la coppia è determinata dai campi di statore e di rotore (la reazione di indotto) e dalla loro posizione reciproca. Nel caso della macchina cc però i due campi sono fermi anche rispetto allo statore. La corrente d'armatura produce un flusso magnetico, detto reazione di indotto, e la coppia è l'interazione dei flussi di statore (eccitazione) e rotore (armatura). I due flussi nella macchina cc possono essere regolati indipendentemente, intervenendo sulle correnti di eccitazione e d'armatura, mentre la loro posizione reciproca non cambia essendo l'asse del flusso di eccitazione coincidente con l'asse dei poli di statore, e l'asse del flusso di reazione determinato dalla posizione delle spazzole. I due assi sono sempre in quadratura, posizione che consente la coppia massima possibile. In generale la coppia è data dal prodotto del flusso di statore per il flusso di rotore per il seno dell'angolo di sfasamento tra i loro assi magnetici. $C = K \cdot F_R \cdot F_S \cdot \sin \alpha$. Questo vale anche per la macchina asincrona. Le correnti di rotore producono un flusso che, per la legge di Lenz, richiama negli avvolgimenti di statore una corrente che lo annulla. Non è la totale corrente di statore che produce la compensazione ma una parte di essa. La corrente di statore viene perciò scomposta in due componenti tra loro in quadratura. Il flusso di rotore è proporzionale alla componente ad esso in fase i_d , cioè $F_R = k \cdot i_d$ la quale non fornisce coppia ma unicamente compensa l'azione smagnetizzante della corrente di rotore. L'altra componente della corrente di statore, i_q , può essere pensata come generatrice della parte di flusso statorico che interagisce con il flusso di rotore. Si ha in definitiva per la coppia un'espressione del tipo $C = k \cdot i_d \cdot i_q$. Un sistema di alimentazione in grado di regolare separatamente le due componenti della corrente è in grado di far funzionare l'asincrono come un motore c.c. ad eccitazione indipendente: regolando i_d si regola F_R , con la regolazione di i_q ad i_d costante si regola la coppia. Le due componenti si comportano rispettivamente come la corrente di eccitazione e la corrente d'armatura di una macchina cc. Bisogna conoscere istante per istante l'asse del flusso di rotore per determinare i_d ed i_q . Ciò richiede una notevole potenza di calcolo in tempo reale. L'evoluzione dei computer l'ha reso possibile. L'algoritmo che interpreta il funzionamento del motore sulla base del modello matematico è implementato nel software della scheda a microprocessore di

cui l'inverter è dotato, richiede la conoscenza di induttanze e resistenze, tra l'altro variabili per le variazioni di temperatura e delle condizioni di saturazione del circuito magnetico. Esso permette il calcolo in tempo reale della posizione del campo di rotore in base ai valori della corrente di statore modificando quest'ultima in modo da ottenere sempre la posizione più favorevole tra i due campi.