

4. SERVOMOTORI

4.1 Premessa

I servo motori sono motori elettrici in servosistemi di azionamento.

L'alimentazione del motore è regolata da un sistema ad anello chiuso in modo da prestabilire il moto alla macchina. Il funzionamento può essere modificato variando i valori delle variabili della retroazione (potenza, velocità, coppia,...).

Il lavoro di un servomotore può essere svolto anche da un normale motore di serie con la sola differenza che il primo è quasi sempre un motore speciale, sia come tipologia che come caratteristiche di funzionamento.

Di seguito è rappresentato lo schema di un servomotore monofase:

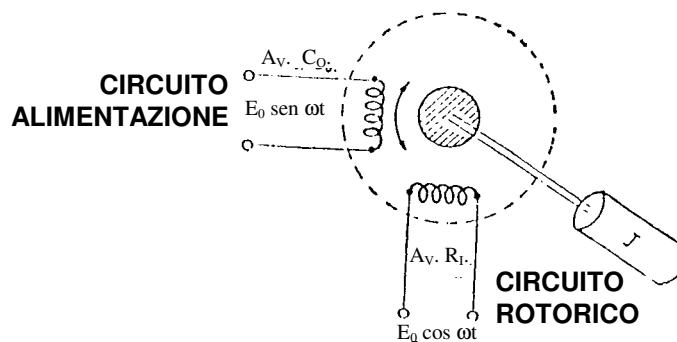


Fig.1

4.2 Fattori di qualità di un servomotore

La potenza transitoria è un dato che serve per definire la caratteristica di accelerazione di un motore ed è definita come l'aumento della potenza meccanica nell'unità di tempo:

$$P_s = C \cdot \Delta\omega / \Delta t$$

Dove:

C = coppia motrice

ω = velocità angolare

t = tempo

quindi $\Delta\omega / \Delta t$ rappresenta l'accelerazione angolare

$$P_s = C^2 / J$$

Dove J è il momento d'inerzia del carico (il momento d'inerzia esprime l'energia cinetica di rotazione di un corpo rigido ideale mediante la velocità angolare dell'intero corpo).

4.3 Caratteristiche meccaniche reali dei servomotori

Supponendo che la tensione di controllo e quella di riferimento siano uguali si può parlare di “*alimentazione bilanciata*”.

Se avvolgimenti statorici presentano le stesse caratteristiche costruttive, di conseguenza i campi magnetici prodotti su di essi saranno uguali.

Variando le tensioni di alimentazione la coppia varia proporzionalmente al quadrato della tensione e ipotizzando di poter aumentare la resistenza rotorica si ottiene una curva dove la C_{max} resta costante ma aumenta la coppia allo spunto.

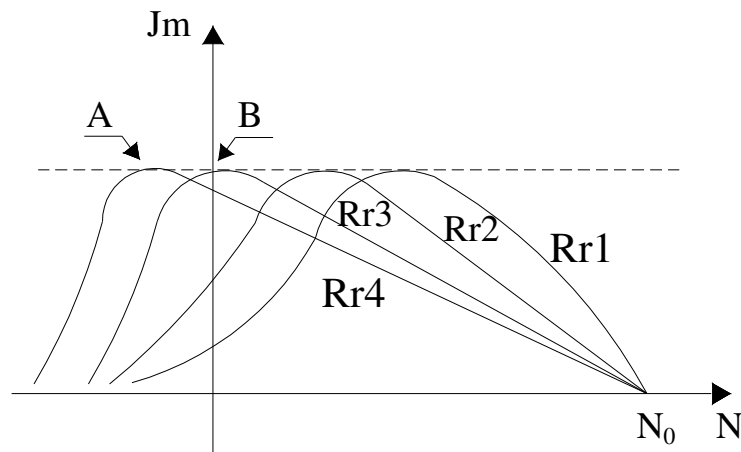


Fig.2

Tanto è maggiore la resistenza rotorica, tanto è minore il rendimento, questo limita l'impiego dei servomotori negli impianti di piccole potenze.

4.4 Tipologie di servomotori

a) Servomotori c.c. con traferro cilindrico.

Questi differiscono dai motori a c.c. per la mancanza dell'avvolgimento d'eccitazione e funzionano a flusso costante. Hanno il vantaggio di eliminare i circuiti di alimentazione del campo e di presentare una buona stabilità del

valore del flusso con la temperatura ed anche i pericoli di sovra velocità dovuti ad eventuali interruzioni accidentali del circuito di alimentazione.

b) Servomotori c.c. con traferro assiale. Si tratta di motori c.c. dove l'indotto è privo di circuito magnetico, come pure di collettore; infatti le spazzole strisciano sui conduttori. Questo giova al servomotore per le applicazioni ad alta dinamica e con forti sovraccarichi:

- inerzia bassa grazie all'assenza del circuito magnetico sull'indotto;
- induttanza di armatura bassa.

Considerando K il rapporto tra la velocità angolare del motore e quella del carico:

$$K = \omega_m / \omega_c$$

Esiste un valore ottimo di K :

$$K' = \sqrt{(J_c \cdot T_c + C_c) / J_m \cdot T_c}$$

Dove:

J_c = momento d'inerzia del carico

T_c = accelerazione del carico

J_m = momento d'inerzia del motore

C_c = coppia del carico

A cui corrisponde una P_s :

$$P_s = 4(J_c T_c + C_c)$$

E' conveniente, nella realizzazione di un sistema, avvicinarsi molto al valore di K' .

a) La potenza specifica è definita come la potenza per unità di massa.

Da essa dipende il costo del servomotore: tanto più il motore è lento tanto più è costoso, infatti diminuisce il momento d'inerzia che fa aumentare la potenza e di conseguenza il prezzo aumenta.

$$P_m = P_s \cdot m$$

dove m = massa del carico

b) Il rapporto coppia/inerzia è un dato fornito dal costruttore, indica l'accelerazione a vuoto che si può ottenere.

c) La costante di tempo è il rapporto tra l'induttanza e la resistenza degli avvolgimenti: L/R , da essa dipende la velocità di risposta dei transistori elettromagnetici alla variazione di grandezze elettriche in alimentazione.

d) Il campo di velocità è il rapporto tra la massima e la minima velocità del motore può arrivare al valore di 10^4 .

e) La capacità di sovraccarico è il rapporto tra la coppia di picco istantaneo e quella nominale ed è dell'ordine delle decine. Il massimo valore che può raggiungere dipende dalla corrente di commutazione dei motori a collettore e smagnetizzazione dei magneti nelle macchine a magnete permanente.

Lo statore è formato da 2 dischi dotati di magneti cilindrici in corrispondenza del numero dei poli, quest'ultimi vengono avvolti da delle bobine ausiliarie usate per la magnetizzazione.

Grazie a questa particolarità può funzionare a impulsi così la coppia max può essere 10 volte quella nominale, però si ha un valore di perdite 100 volte maggiore di quello a regime.

4.5 Servomotori c.c. di tipo speciale

a) Motore c.c. tipo Minerta: si tratta di un motore a traferro cilindrico con indotto liscio, cioè non vi sono cave, i conduttori sono direttamente posti nel traferro. Questo motore avendo un basso valore di induttanza favorisce la commutazione, consentendo sovraccarichi dieci volte la coppia nominale.

In genere viene realizzato nella versione bipolare dove l'induttore è più grande dell'indotto, data la presenza di conduttori.

b) Motore c.c. con indotto a tazza: è un motore in c.c. avente l'indotto cilindrico e i conduttori non depositi in cave. I suoi vantaggi sono:

- l'aumento della potenza specifica;
- l'annullamento delle perdite del ferro;
- una buona commutazione anche in forte sovraccarico;
- un ottimo scambio termico dell'indotto con l'esterno;
- una costruzione semplice ed economica.

Lo svantaggio è l'elevata perdita a causa delle correnti parassite.

c) Motore c.c. tipo Incredyne: è un motore il cui induttore è a magnete permanente di forma tubolare. All'interno dell'indotto un cilindro d'acciaio è libero di ruotare diminuendo il movimento d'inerzia.

Le sue principali grandezze sono caratterizzate dai seguenti valori:

$$C_n = 0,68Nn; N_n = 2500g / m; P_n = 180W; I_n = 7,5A.$$

4.6 Struttura e funzionamento di servomotori sincroni a magnete permanente

La struttura presenta un induttore a magneti permanenti ed un indotto dotato di avvolgimenti trifase.

Gli avvolgimenti statorici possono essere collegati in due modi:

- a) tradizionale, cioè tale da produrre una f.e.m. ad andamento sinusoidale;
- b) a trapezio, cioè produce una f.e.m. ad andamento trapezoidale.

Questa diversità è dovuta alle differenti tecniche di controllo: vettoriale per il primo e scalare per il secondo.

Queste tecniche hanno lo scopo di controllare il convertitore di alimentazione tale che l'asse magnetico di statore rimanga sempre a 90° elettrici di sfasato con quello di rotore.

Per far funzionare la macchina in queste condizioni è necessario comandare il convertitore in base alle posizione del rotore.

4.7 Tecniche d'alimentazione e di controllo

a) Alimentazione con inverter di corrente a due fasi attive:

l'alimentazione avviene contemporaneamente su due fasi, con l'ausilio dell'inverter di corrente a 6 steps si possono imporre 6 differenti posizioni dell'asse magnetico di statore, variando così lo sfasamento con quello di rotore.

Nel caso di motore ad avvolgimento statorico tradizionale l'utilizzo di questa tecnica crea un'ondulazione sulla coppia all'albero.

I vantaggi dell'utilizzo dell'inverter di corrente sono:

- visto che ci sono solo 6 posizioni del rotore si possono usare trasduttori di posizione a bassa sensibilità;
- l'elettronica di controllo è semplice.

b) Alimentazione con inverter di tensione a due fasi attive:

l'alimentazione avviene contemporaneamente su due fasi, con l'ausilio dell'inverter di tensione con modulazione d'impulsi (PWM).

La modulazione ha la funzione di mantenere costante la corrente. In questo tipo di avviamento è favorevole usare avvolgimenti che creano una f.e.m. ad andamento "trapezoidale" perché annulla le ondulazioni di coppia. Il trasduttore può essere on-off perché deve discriminare solo poche posizioni in un giro.

c) Alimentazione con inverter, 3 fasi attive:

vengono utilizzati solo servomotori con avvolgimenti statorici tradizionali.

Si utilizza un inverter di tensione (PWM) con retroazione in corrente.

Per questo caso serve un trasduttore di posizione ad alta precisione per il controllo istantaneo delle correnti statoriche in relazione alla posizione del rotore.

4.8 Dati caratteristici di servomotori c.c. a magneti permanente

Motore	1a	2a	3a	1b	2b	3b
Tipo	m.c.c.	m.c.c.	m.s.	m.c.c.	m.c.c.	m.s.
Magnete	Fer.te	Sm-Co	Sm-Co	Fer.te	Sm-Co	Sm-Co
Diametro [mm]	82,5	82,5	80	153	153	118
Lunghezza [mm]	28	30	28	85	94	116
Massa mot. [kg]	3,3	3,4	4	21	22	16
C nom sp. [Nm]	0,5	1	1	8,5	11	10
C max sp. [Nm]	2,4	5	5	50	80	50
Acc. [rad/s²]	13000	34000	91000	5000	8800	45000
J rot [kg x m²]	0,00018	0,00014	55x10 ⁻⁶	0,0096	0,0010	0,0011
Cost C [Nm/A]	0,19	0,13	0,4	0,4	0,51	0,87
N max [g/l']	4000	4000	6000	3000	3000	3000

Tab.1

m.c.c. = motori a magneti permanente

m.s. = motori Brushless

A parità di dimensioni e uguale distribuzione dell'induzione al traferro, i due tipi di motori richiedono convertitori di uguale potenza ma con caratteristica meccanica diversa. Nei motori con avvolgimenti tradizionali la coppia è maggiore a basse velocità.

4.9 Servomotori asincroni

Di solito vengono utilizzati in sistemi di azionamento, differiscono dai normali servomotori per il più elevato rapporto tra lunghezza e diametro, per la riduzione del momento d'inerzia e per una diversa aleatura della carcassa, così da far conciliare le esigenze di raffreddamento con quelle di ingombro.

Il sistema di controllo di un servomotore è più complesso di quello a c.c.: i fattori da cui dipende la coppia non sono direttamente misurabili e controllabili ma possono essere influenzati tramite il controllo in ampiezza, fase e frequenza delle correnti di statore.

Una tecnica usata per il controllo in ampiezza dei precedenti fattori è l'orientamento di campo: si tratta di un controllo vettoriale delle correnti di statore fatta per dividerle in due componenti: una magnetizzante e l'altra legata alla coppia.

Per fare tale scissione si deve conoscere l'angolo tra il vettore flusso ed il campo

rotante statorico, questa tecnica richiede un sistema sofisticato equipaggiato di microprocessori veloci.

Questa macchina vista la sua complessità e il costo viene usata solo per applicazioni di una certa importanza.

4.10 Servomotori a riluttanza

Raggruppano gli aspetti positivi dei servomotori asincroni e di quelli a magnete permanente.

Fra i più usati spicca il modello SR: simile al motore passo-passo a riluttanza, viene utilizzato per azionamenti con posizionamento incrementale.