

1. MOTORI SINCRONI DI PICCOLA POTENZA

1.1 Introduzione

Tra i motori a corrente alternata, il motore sincrono si caratterizza per due importanti caratteristiche:

- a) la velocità rimane praticamente costante in ogni situazione di carico;
 - b) può assorbire una corrente in anticipo rispetto alla tensione di alimentazione.
- Per queste loro caratteristiche, questi tipi di motori trovano applicazioni in quelle apparecchiature in cui la velocità non deve variare in base al carico applicato.

Il funzionamento dei motori sincroni, si basa essenzialmente sull'azione trainante delle coppie polari statoriche, che si trovano a polarità opposta rispetto alle coppie polari indotte a rotore.

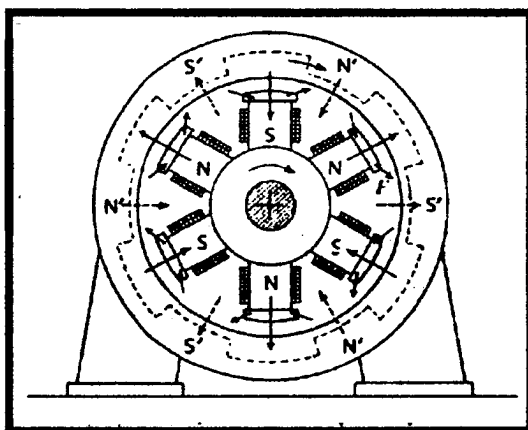


Fig.1 Posizione dei poli in un motore sincrono.

All'avviamento, dato che il rotore parte da fermo, non riesce ad assumere istantaneamente il passo del campo magnetico per via dell'inerzia. Questo fatto non consente l'avviamento del motore stesso che necessita di un motorino ausiliario (o di lancio) che permetta al rotore di mettersi in movimento.

I motori trifasi possiedono anche un circuito eccitazione in continua che non è presente nei motori monofase che di conseguenza risultano costruttivamente più semplici da realizzare ed economicamente più convenienti.

Le categorie principali di motori sincroni per applicazioni di piccola potenza sono le seguenti:

- a) *motore a riluttanza;*
- b) *motore ad isteresi;*
- c) *motore a magneti permanenti.*

1.2 Motore sincrono a riluttanza

Il motore sincrono a riluttanza è generalmente un motore di piccola o piccolissima potenza (fino a milliwatt), alimentato in corrente alternata monofase.

Esso è costituito da due parti essenziali:

Statore: è del tutto simile a quello di un motore asincrono monofase, con avvolgimenti che sono in grado di produrre un campo magnetico rotante, e quindi rappresentati per lo più dal tipo a fase ausiliaria e condensatore permanente inserito, ma anche dal tipo a poli schermati.

Rotore: presenta invece una struttura magnetica di forma particolare. Esso è costituito da un cilindro sagomato a sporgenze e rientranze che si succedono in modo tale che il traferro venga a presentare ordinatamente tratti minima con riluttanza e tratti con riluttanza molto più elevata.

Le sporgenze sono destinate a diventare altrettante polarità magnetiche rotoriche; il loro numero deve essere uguale a quello delle polarità del campo rotante statorico.

In questo tipo di motore mancano gli avvolgimenti di eccitazione, e una gabbia di scoiattolo è montata invece sulla periferia del rotore allo scopo di produrre l'autoavviamento del rotore come nel motore asincrono.

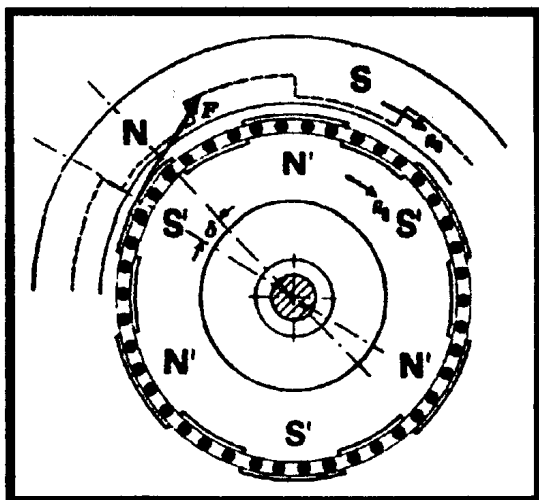


Fig.2 Principio di funzionamento motore sincrono.

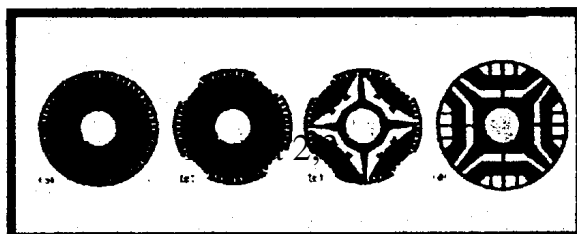


Fig.3 Esempi di sezione di rotore di motore sincroni a riluttanza.

Durante l'avviamento la gabbia è soggetta al campo rotante, ed il rotore si avvia come nel caso di un normale motore asincrono; giunto in prossimità della velocità di sincronismo, se il momento di inerzia del carico non è eccessivo, il rotore tende a prendere il passo portandosi in sincronismo con il campo rotante.

Per facilitare la sincronizzazione è opportuno che la resistenza della gabbia abbia un basso valore.

La potenza resa di un motore a riluttanza è pari al 35-45% di quella di un motore ad induzione di uguale dimensione.

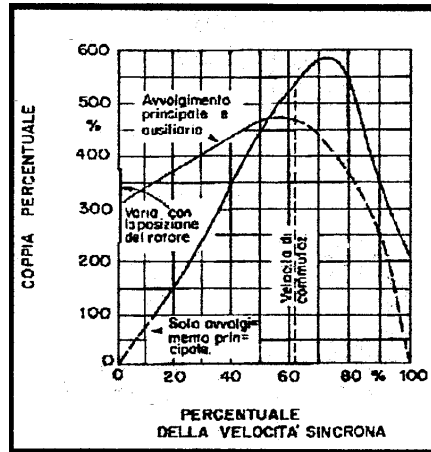


Fig.4 Qui è rappresentata la caratteristica meccanica di avviamento nel caso di avvolgimento statorico trifase. Si noti come la coppia di sincronizzazione “pull in torque” sia superiore a quella di carico nominale; è anche indicata la coppia sincrona massima “pull out torque” applicabile al rotore senza che si abbia perdita del sincronismo.

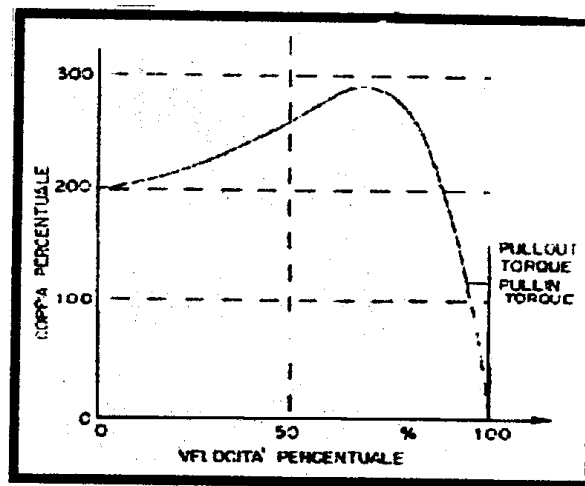


Fig.5 Nel motore a riluttanza, la coppia asincrona dovuta al campo inverso si manifesta come un carico addizionale all'albero. Il rendimento si presenta sempre molto basso (fino a solo qualche unità per cento) e al quanto bassi risultano anche il fattore di potenza e il rapporto potenza/peso.

Le caratteristiche principali del motore a riluttanza sono:

- a) potenza nell'ordine dei milliwatt;
- b) fattori di potenza bassi: 0,4-0,6;

- c) coppie limitate a causa della mancanza dell'eccitazione;
- d) costi contenuti;
- e) grande semplicità costruttiva.

Generalmente il motore sincrono a riluttanza trova largo impiego nel campo di piccole potenze per tutte quelle applicazioni che necessitano di un'assoluta costanza della velocità di rotazione come: orologi, giradischi e registratori, ecc.. Recentemente la disponibilità di opportuni sistemi di alimentazione e di controllo, ha reso possibile la costruzione di azionamenti con motori a riluttanza di potenze anche rilevanti (decine di chilowatt). In particolare il motore a riluttanza, per la semplicità e la robustezza del rotore, bene si presta per impieghi a velocità elevata e con elevati rapporti potenza/peso.

1.3 Motore a isteresi

Il motore a isteresi è caratterizzato dalla presenza di un rotore liscio e omogeneo costituito da un cilindro cavo, composto quasi completamente di acciaio magnetico a elevata permeabilità, e collegato all'albero tramite un nucleo magnetico.

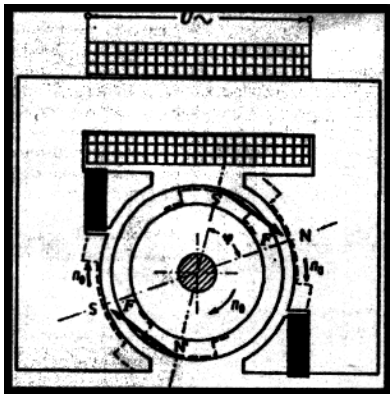


Fig.6 Schema di principio del motore a isteresi (a poli schermati).

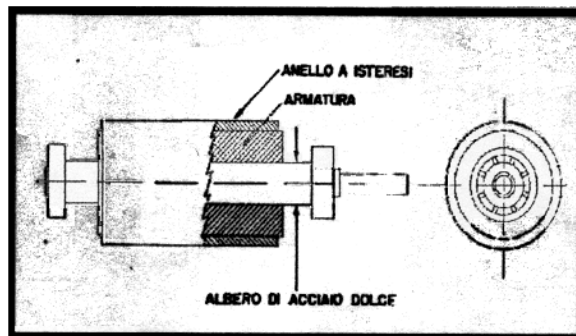


Fig.7 Rotore di un motore ad isteresi.

Lo statore trasmette, attraverso il traferro, un campo magnetico perfettamente sinusoidale, che penetra all'interno dell'anello rotorico.

In esso si viene a creare una polarità N-S (Nord-Sud) che rimane costantemente affacciato alla polarità statorica S-N con un'angolazione leggermente arretrata per via delle perdite di isteresi che caratterizzano il materiale costruttivo dell'anello rotorico. In questa maniera il campo statorico trascina il rotore facendolo di conseguenza ruotare nella sua stessa direzione con una coppia costante prodotta per effetto dell'isteresi fino a che il rotore non raggiunge la

velocità di sincronismo.

Essendo che, alla partenza il campo rotorico gira con una velocità diversa rispetto alla velocità di rotazione del rotore, alla coppia prodotta per effetto dell'isteresi va aggiunta una componente dovuta alle correnti indotte nel rotore (come nel motore asincrono) che sparisce quando lo scorrimento si annulla.

Il disegno della figura 6 rappresenta la disposizione cosiddetta *circonferenziale*, nella quale i singoli magneti sono montati sulla periferia esterna di un nucleo cilindrico non magnetico, con le polarità attive distribuite secondo una circonferenza: tra un magnete permanente e l'altro vengono inseriti altrettanti nuclei ad alta permeabilità, attraverso i quali il flusso viene indirizzato al traferro e alla colonna statorica.

Nel disegno della figura 7 è illustrata la disposizione *radiale*, qui i magneti permanenti risultano collocati su un nucleo cilindrico di materiale ferromagnetico ad alta permeabilità e presentano i rispettivi assi magnetici secondo la direzione radiale. Lo statore invece, è normalmente del tipo monofase con avvolgimento ausiliario e condensatore nel caso dei motori di piccola potenza, mentre del tipo trifase con avvolgimenti uniformemente distribuiti, nei motori di potenze più elevate.

Nella maggior parte dei motori sincroni di potenza molto piccola l'avviamento si ottiene sfruttando opportune dissimmetrie costruttive, nel caso di potenza più elevata l'avviamento è analogo a quanto avviene in un motore asincrono, grazie alla presenza della gabbia: giunti in prossimità della velocità sincrona, la coppia sincronizzante dovuta ai magneti permanenti, genera una brusca accelerazione del rotore che prende il passo.

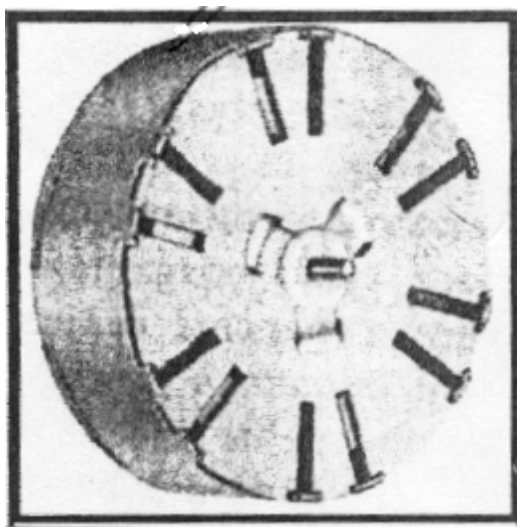


Fig.8 Motore sincrono a magneti permanenti di 3W e 220V (peso 95g).

L'angolo di carico del motore cresce con funzione sinusoidale al crescere della coppia resistente, e il valore della coppia sincrona massima applicabile è molto elevato, insieme a valori più alti di rendimento e di fattore di potenza.

L'impiego di tali motorini non è il trascinamento di una macchina utilizzatrice, ma si usa nei casi in cui si voglia una velocità costante come nelle misure e nei controlli, nei timer delle lavatrici o lavastoviglie nelle quali la rotazione del rotore, opportunamente ridotta mediante ingranaggi, provoca la chiusura temporizzata di contatti predisposti ad attivare i dispositivi presenti (pompa, motore, resistenza di riscaldamento, ecc.).

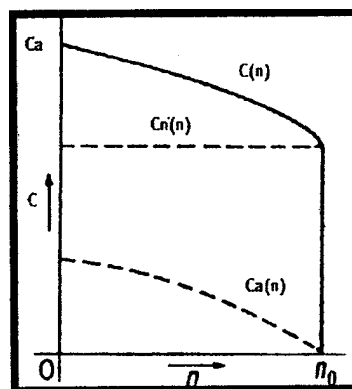


Fig.9

L'andamento delle coppie del motore sincrono ad isteresi è rappresentata nella figura 9, dove la componente asincrona è denominata $C_a(n)$ e assomiglia molto alla caratteristica meccanica di un motore asincrono ad elevata resistenza rotorica; l'altra componente, cioè quella per effetto dell'isteresi, è denominata $C_h(n)$, e dato che è praticamente costante, essa si può anche rappresentare tramite una retta. La coppia totale $C(n)$, che è la somma delle due componenti $C_a(n)$ e $C_h(n)$, rappresenta la caratteristica meccanica dei motori sincroni a isteresi.

A differenza degli altri due tipi di motori sincroni (cioè a riluttanza e a magneti permanenti) il motore a isteresi porta il rotore alla velocità di sincronismo in maniera graduale e costante. Per via delle sue caratteristiche di poter sviluppare coppie elevate come potenze più ristrette rispetto ai normali motori sincroni (il motore a isteresi ha solo il 20% di potenza di un normale sincro), e di avere una coppia estremamente costante, esso viene normalmente impiegato come il motore a riluttanza, per azionare registratori magnetici, giroscopi, orologi, ecc.. Essendo un motore molto dolce nel funzionamento e molto silenzioso, è adatto per applicazioni elettroniche. Generalmente questo tipo di motore non supera mai la centinaia di watt e lavora con rendimenti molto bassi, che si aggirano intorno al 50%.

1.4 Motore a magneti permanenti (MP)

Questi motori funzionano con il medesimo principio di funzionamento di quelli sincroni tradizionali, pero la particolarità costruttive sono un po' diverse. Il rotore non è più allineato dall'esterno (essendo ora un magnete permanente), mentre lo statore è costituito da un nucleo di materiale ferromagnetico atto a contenere un avvolgimento che presenti un numero di poli uguale a quello del rotore. La struttura costruttiva, mancando gli avvolgimenti di eccitazione, ne risulta alquanto semplificata e ne assume una delle due distinte versioni rappresentate nella figura 10.

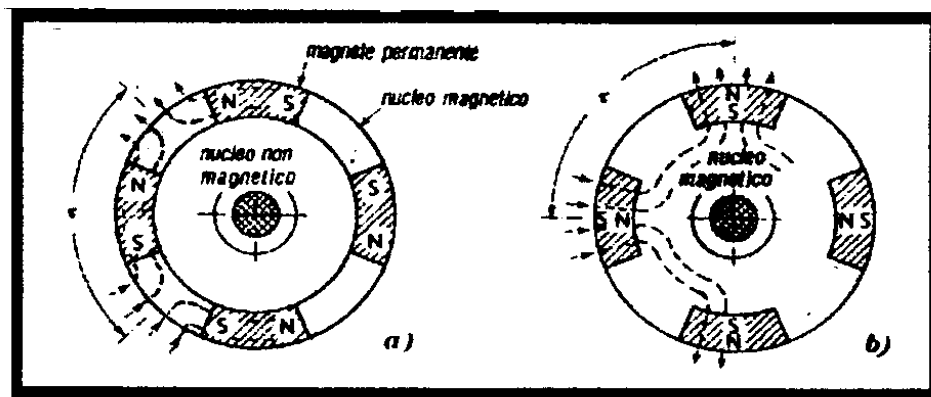


Fig.10

1.5 Rendimento del motore sincrono

Il rendimento elettrico del motore è dato dal rapporto tra la potenza meccanica sviluppata e la potenza elettrica assorbita.

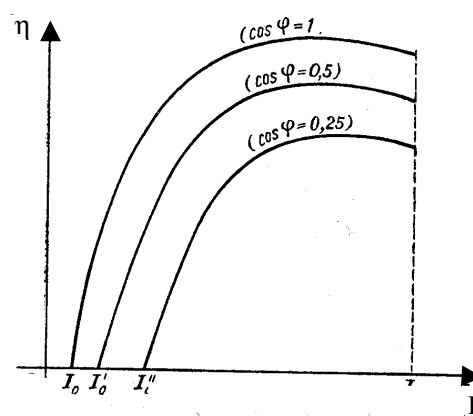


Fig.11 Esempi di curve di rendimento in funzione delle correnti.

Il rendimento industriale è dato dal rapporto tra la potenza resa e la potenza assorbita:

$$\eta = P_r / P_a = (P_a - P_b) / P_a$$

La potenza meccanica resa è data evidentemente dalla differenza tra la potenza assorbita P_a e la somma di tutte le potenze perse, che sono espresse dalla relazione:

$$P_p = P_i + P_m + P_f + P_{ecc} + P_{add}$$

Il rendimento industriale del motore sincrono trifase può dunque essere posto nella forma:

$$\eta = \frac{3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi - [3 \cdot R_0 \cdot I^2 + P_m + P_f + P_{ecc} + P_{add}]}{3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi}$$

Tale rendimento varia, come si vede, con la corrente di carico I e con il fattore di potenza $\cos \varphi$; se si immagina di regolare la corrente d'eccitazione in modo da mantenere il fattore di potenza costante, per ogni valore di quest'ultimo si può tracciare una curva di rendimento $\eta = f(I)$ in funzione della sola corrente assorbita. I rendimenti così definiti assumono un andamento del tipo rappresentato in figura 11, ciascuna di queste curve ha la sua origine in un punto che ha per ascissa la corrente assorbita nel funzionamento a vuoto con il fattore di potenza prefissato. La curva più elevata corrisponde sempre al funzionamento con il $\cos \varphi = 1$.