

# **Motori Brushless, Motori DC e Motori AC**

**Dott. Franco Talpone**  
**Moog**  
**Senior Application Engineer**

---

Informazioni per un linguaggio comune sull'uso dei motori elettrici nelle diverse applicazioni.

# Come funzionano i motori elettrici

Tutti i motori elettrici funzionano grazie allo stesso principio di **INTERAZIONE TRA CORRENTI ELETTRICHE E CAMPI MAGNETICI** attraverso il quale si generano una coppia in Nm (espressa in Newton metro) ed una velocità (espressa in RPM giri al minuto), attraverso ai quali si identificano le prestazioni di un motore.

$$T = \frac{B * I * n * l * \sin(\alpha) * r}{d^2} * K$$

**Legenda:** B è il campo magnetico dei magneti o del rotore, I è la corrente negli avvolgimenti, n è il numero di spire degli avvolgimenti, l è la lunghezza delle spire nelle quali circola la corrente,  $\sin(\alpha)$  l'angolo tra campo e corrente, r è il raggio dove sono posizionati i magneti sul rotore, d è la distanza tra i magneti e dove viene generato il campo, K serve per «far quadrare i conti» dimensionalmente e tener conto delle approssimazioni fatte nella formula.

Tutti i motori «rotanti» sono composti da un rotore e da uno statore; un motore «lineare» è in realtà un motore rotativo che è stato «aperto».

## Generazione dei campi magnetici

I vari tipi di motore si distinguono tra loro per come vengono generati i campi magnetici:

- Motori in Continua (DC): campo statico, generato da magneti o da avvolgimenti nello statore; ruotano gli avvolgimenti nel rotore.
- Motori in Alternata (AC): campo dinamico, generato dall'interazione tra campi generati dalle correnti e rotore.
- Motori Brushless: campo statico, generato da magneti che ruotano, fissati sul rotore.

# Il motore in corrente continua DC

La generazione del campo magnetico è effettuata dallo statore. I magneti possono essere permanenti (ferriti ad esempio) nei motori di piccola potenza, mentre vengono generati da avvolgimenti dedicati nei motori di media e grossa potenza, detti anche a campo avvolto.

La potenza viene portata al rotore tramite collettori rotanti e spazzole, soggette ad usura, e che sono causa degli interventi di manutenzione su questi motori.

Hanno buone caratteristiche di robustezza e affidabilità; sono semplici da costruire e da controllare. Per quanto riguarda la coppia è sufficiente controllare la corrente fornita al motore; per controllare la velocità basta la tensione che l'inverter o convertitore eroga.

# Il motore in corrente alternata AC

Dal punto di vista elettrico può essere schematizzato come un trasformatore con il secondario in corto circuito. La generazione del campo magnetico è ottenuta dalla differenza di velocità angolare tra le correnti dello statore e quelle che si generano nel rotore. Il rotore è composto da un circuito elettrico costituito da due anelli alle estremità e dalle barre che li collegano, tutti e tre di materiale conduttore (Alluminio per motori «piccoli» e Rame per motori più grandi o ad alta velocità).

I motori asincroni sono molto robusti non avendo né parti soggette ad usura né magneti. Vengono quindi agevolmente controllati dagli inverter in quanto la posizione del rotore non è determinante.

Poiché il campo viene generato da una interazione, la generazione richiede un tempo finito che implica un ritardo nella risposta del motore alle sollecitazioni delle correnti o del carico.

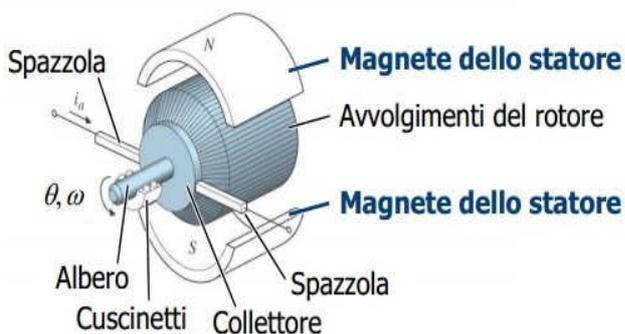
# Il motore Brushless (SPM)

Nel motore tipo SPM (Surface Permanent Magnet) i magneti sono incollati sul rotore e sono protetti da un bendaggio metallico oppure in fibra. La qualità dei magneti determina le prestazioni del motore. L'assenza di componenti soggetti ad attrito rende il motore molto robusto ed estremamente affidabile. Il campo sempre disponibile garantisce risposte pronte soprattutto deterministiche e lineari; al raddoppio della corrente corrisponde il raddoppio della coppia erogata.

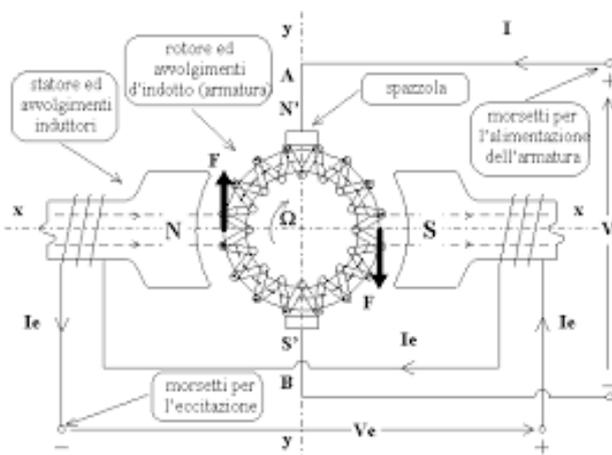
La difficoltà nel controllo viene dal fatto che l'azionamento deve conoscere la posizione dei magneti per ottenere la massima efficienza.

Il rotore può essere «forato» per avere una ridotta inerzia e prestazioni dinamiche molto elevate (accelerazioni rapidissime).

# I diversi tipi di rotore per motori DC



Motore DC con magneti



Motore con campo avvolto

# I diversi tipi di rotore per motori AC



**Rotore in alluminio pressofuso –  
Soluzione economica per velocità  
inferiori ai 3.000 rpm**



**Rotore con barre di rame e suo statore –  
Soluzione più costosa per velocità  
superiori fino a 30.000 rpm e oltre**

# I diversi tipi di rotore per motori Brushless



**Magneti solo incollati al rotore –  
Soluzione economica per velocità  
inferiori ai 3.000 rpm**



**Magneti con bendaggio in fibra –  
Soluzione più costosa per velocità  
superiori fino a 6.000 rpm**

# I diversi tipi di motore Brushless

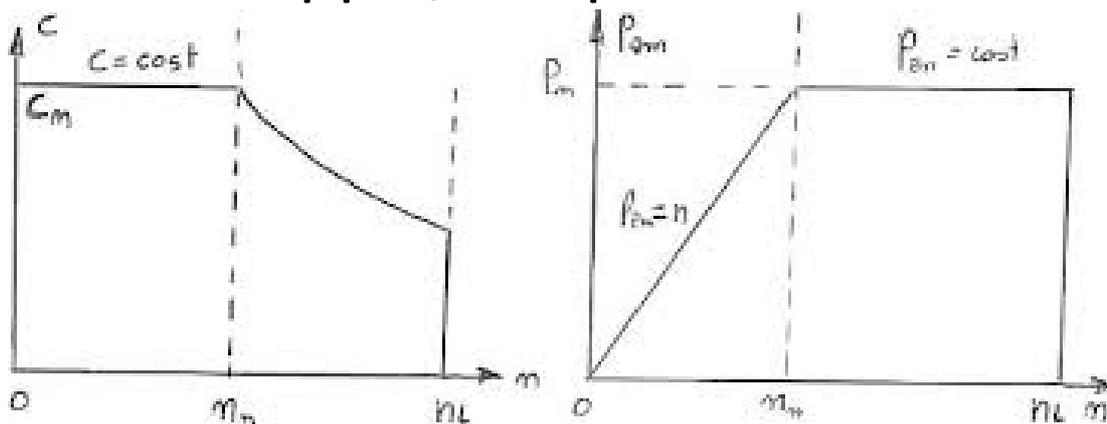


**Motoruota** – Si invertono rotore e statore. Lo statore rimane fermo all'interno del rotore esterno che "gira"



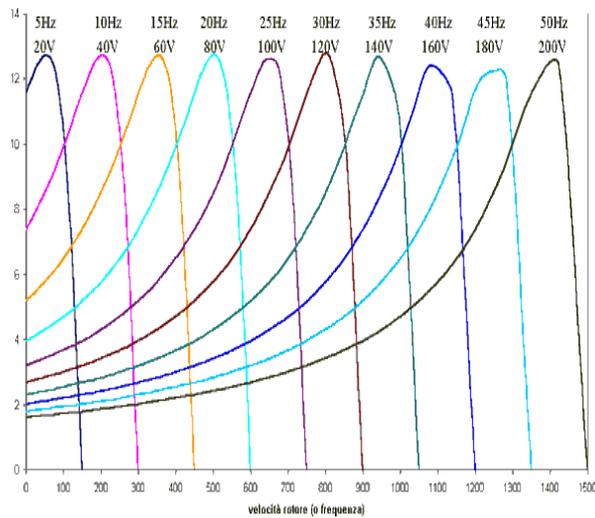
**Motore Coppia (Torque)** – Aumentano i diametri, il numero dei poli e la coppia. Si riducono le velocità. I magneti sono spesso delle ferriti

## Curve Coppia/Giri per i motori DC

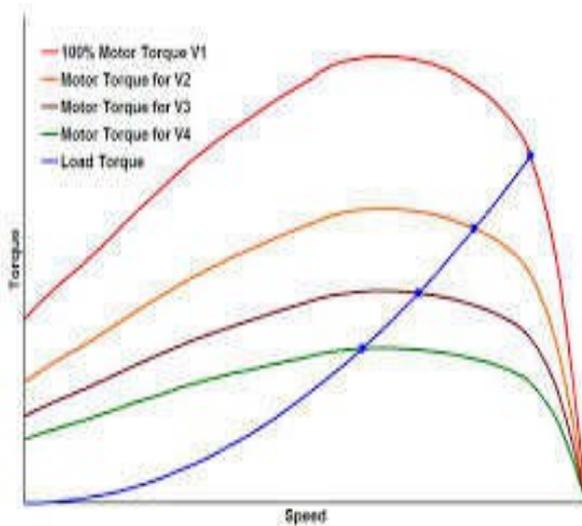


Fino alla velocità nominale la coppia rimane costante poi scende per tre fattori: le perdite nel rotore, il limite delle spazzole ed il limite di tensione, aggirabile con il «deflussaggio».

# Le curve Coppia/Giri per i motori AC



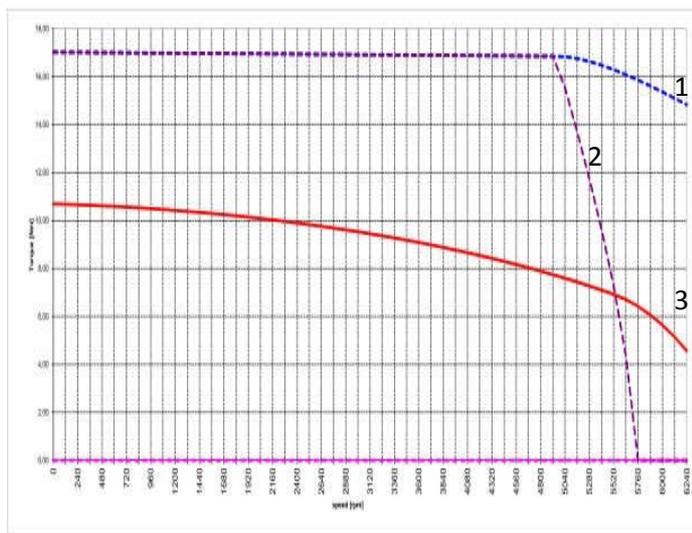
**Motori AC con diversi valori di tensione**



**Motori AC con diversi valori di frequenza e tensione.**

La coppia non è lineare, ma dipende dalla differenza tra frequenza (velocità) delle correnti e frequenza (velocità) del rotore.

# Le curve Coppia/Giri per i motori Brushless



1) Curva di picco per funzionamento intermittente

2) Curva di picco senza fieldweakening

3) Curva per prestazione continuativa, efficace, come media nel tempo dei valori erogati

## Le perdite nei motori elettrici

Il motore elettrico effettua una conversione di energia da elettrica a meccanica, con una efficienza elevata, che dipende da vari fattori:

- Perdite per effetto Joule,  $I^2 \cdot R$ , riducibili con una maggiore quantità di rame negli avvolgimenti.
- Perdite per isteresi, proporzionali alla velocità di rotazione, riducibili con lamierini di migliore qualità ed un circuito magnetico ottimizzato.
- Perdite per correnti parassite, proporzionali al quadrato della velocità di rotazione, riducibili con lamierini più sottili e ben isolati tra loro.

$$P = I^2 * R + K_1 * w + K_2 * w^2$$

**A velocità elevate, la coppia che tutti i motori erogano in maniera continuativa è inferiore a quella di stallo o a bassi giri a causa delle perdite per correnti indotte.**

# Riassunto Caratteristiche Motori

Caratteristica tecnica	Motore Continua DC	Motore Asincrono AC	Motore Brushless
Inerzia del rotore	Alta	Alta	Bassa
Coppia di stallo	Alta	Bassa	Alta
Rapporto Coppia Max/Nom	Circa 3	Circa 2	Fino a 5
Efficienza	Media	Media	Alta
Controllo	Semplice	Semplice	Più complicato

## Dove usare i Motori in continua DC

- Applicazioni semplici in cui è richiesta coppia da 0 rpm, quali ESTRUSORI, LAMINATOI, CALANDRE ed una rotazione in un solo senso di rotazione
- Applicazioni dove è richiesta comunque una generazione di potenza anche considerevole, oltre i 100 kW
- Applicazioni che non richiedono inversioni rapide del senso di rotazione

## Dove usare i Motori in alternata AC

- Applicazioni in cui è richiesta una potenza in «rotazione», senza grossa coppia di spunto alla partenza.
- Applicazioni in cui non è richiesta una regolazione accurata della velocità di rotazione.
- Applicazioni con coppie resistenti quadratiche.
- VENTILATORI, POMPE, CARRELLI, NASTRI TRASPORTATORI
- ESTRUSORI, CALANDRE, LAMINATOI (tenendo presente che è richiesto un controllo accurato, ad esempio con un encoder per avere coppia alta anche alla partenza od un controllo “vettoriale”).

## Dove usare i Motori Brushless (SPM)

- Applicazioni con rapide accelerazioni e frenate o inversioni del moto
- Applicazioni di posizionamento rapido e accurato
- Applicazioni di regolazione fine e controllo di movimenti interpolati per macchine utensili
- Controlli di tiro e di forza con estrema precisione e linearità
- Generazione di potenza con efficienza media elevata (maggiore del 95%)

# Inverter e Convertitori

- **Per motori in continua DC:** convertitori direttamente da rete; possono essere a 2 o 4 quadranti (un verso oppure due di rotazione). Tecnologia semplice con ridotta capacità di controllo e regolazione.
- **Per motori in alternata AC:** sistema complesso composto da stadio rettificatore, soft start, banchi di capacità e ponti di uscita a IGBT; funzionamento sempre a 4 quadranti; possono frenare e l'energia in frenata finisce sulle resistenze; non erogano tanta corrente a 0 rpm perché non è richiesto. Possono avere interfacce per feedback dal motore.
- **Per motori brushless:** sistema complesso composto da stadio rettificatore, soft start, banchi di capacità e ponti di uscita a IGBT; funzionamento sempre a 4 quadranti; frenano sempre e l'energia in frenata finisce sulle resistenze; erogano tanta corrente a 0 rpm perché richiesto. Hanno sempre interfacce per feedback dal motore.

# Modalità di controllo di un motore

- **Anello Aperto:** il motore di solito AC o DC viene comandato a ruotare, senza che vi sia un controllo diretto del risultato ottenuto; di solito si utilizza un sensore a valle del motore, per controllare un «processo», ad esempio la pressione o la portata di un fluido.
- **Anello Chiuso con feedback:** sul motore viene montato un dispositivo che legge la posizione o la velocità del rotore e l'elettronica provvede a mantenere l'errore tra comando e valore ottenuto entro i parametri richiesti; ne esistono vari tipi descritti in seguito; vanno bene per tutti i motori.
- **Anello Chiuso sensorless:** la funzione di controllo del motore viene effettuata tramite algoritmi numerici che ricostruiscono lo «stato» del rotore (come e quando sta girando) e aggiustano il controllo per seguire il comando; richiedono HW dell'azionamento avanzato e un SW in grado di fare «molti calcoli» e rapidamente per avere un buon risultato.

Ogni motore può essere controllato in tre modi diversi:

- **Coppia:** l'azionamento comanda una coppia e la velocità è una variabile dipendente dal carico (nei limiti impostati nell'elettronica).
- **Velocità:** l'elettronica comanda una velocità e la coppia è una variabile dipendente dal carico (fino alla coppia massima).
- **Posizione:** l'elettronica comanda il motore fino a raggiungere una posizione, con un definito profilo di velocità e la coppia è una variabile dipendente dal carico (fino alla coppia massima).

# Vari tipi di feedback: per motori DC

Il motore DC può essere controllato tramite una **Dinamo Tachimetrica**, un generatore collegato direttamente sull'albero del rotore.



Il dispositivo è caratterizzato da una vita molto lunga grazie alle spazzole speciali. La progettazione accurata consente una elevata linearità tra giri e tensione generata per un buon controllo della velocità del motore. Se non disponibile è possibile simularla leggendo **la tensione di armatura** opportunamente filtrata e correggendola con la tensione presente sugli avvolgimenti per effetto della Legge di Ohm  $= R * I$ . Tutti gli altri encoder descritti successivamente, possono essere anche usati sui motori DC.

## Encoder TTL per motori DC e AC

Un **encoder** è un dispositivo che consente di dividere l'angolo giro di 360° in parti uguali con precisione. Gli encoder possono essere **TTL** (con tensione di 5 Volt) oppure **Open Collector** (con tensione da 5 a 24 Vdc).

Le uscite encoder sono A, B (tracce incrementali sul giro) e marker C o Z (un segnale a giro per l'esecuzione accurata dell'azzeramento della macchina).

Per motori AC vengono spesso usati degli encoder TTL con le sole tracce A e B, in quanto non è necessaria la tacca di Zero per il posizionamento via PLC esterno.

La risoluzione varia dai 512 ai 16384 impulsi/giro che vengono moltiplicati dal PLC per 4 (leggendo i fronti dei due segnali).

# Encoder TTL per motori Brushless

Per i motori brushless l'inverter deve acquisire anche la posizione dei magneti del rotore, rispetto agli avvolgimenti dello statore. Ai canali A/B/C vengono aggiunte le tracce U/V/W che identificano gli angoli in maniera assoluta; servono solo all'accensione e non vengono poi usati nel controllo del motore.

<b>U/V/W</b>	<b>001</b>	<b>010</b>	<b>011</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>110</b>
<b>Angolo</b>	<b>60°</b>	<b>120°</b>	<b>180°</b>	<b>240°</b>	<b>300°</b>	<b>360°</b>

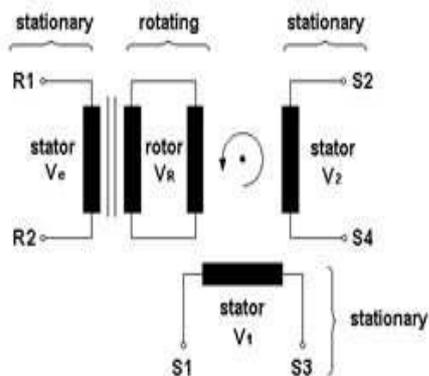
Gli encoder TTL o Open Collector sono poco usati per i motori brushless, perché richiedono molti collegamenti (fino a 15 fili) e non offrono vantaggi particolari oltre al basso costo.

## Encoder SIN COS

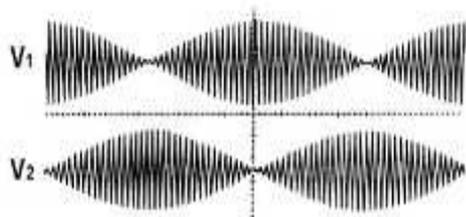
Le onde «quadre» dell'encoder TTL sono sostituite con delle «sinusoidi» sfasate di 90° e solitamente acquisite con un convertitore A/D a 8 bit. Invece della moltiplicazione degli impulsi encoder per 4, le sinusoidi vengono moltiplicate per 256, ottenendo un controllo più preciso ed accurato del motore in rotazione. Sono sempre richiesti 12 collegamenti (2 tracce incrementali, il marker, due tracce assolute sul giro e l'alimentazione) tra motore e azionamento ma i benefici del controllo accurato, grazie all'elevata risoluzione, giustificano la complessità del collegamento.

# Il Resolver

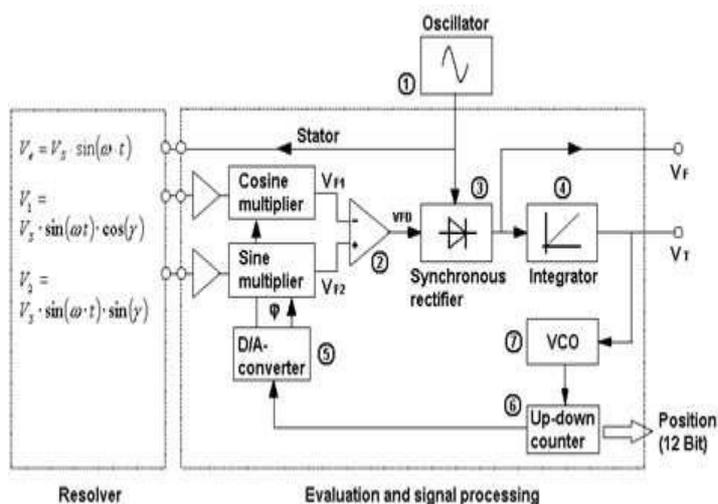
Il Resolver è l'unico sensore completamente analogico e passivo. È molto robusto in quanto non presenta parti in movimento o componenti elettronici che possano danneggiarsi con temperature elevate o in presenza di vibrazioni.



Principio di funzionamento

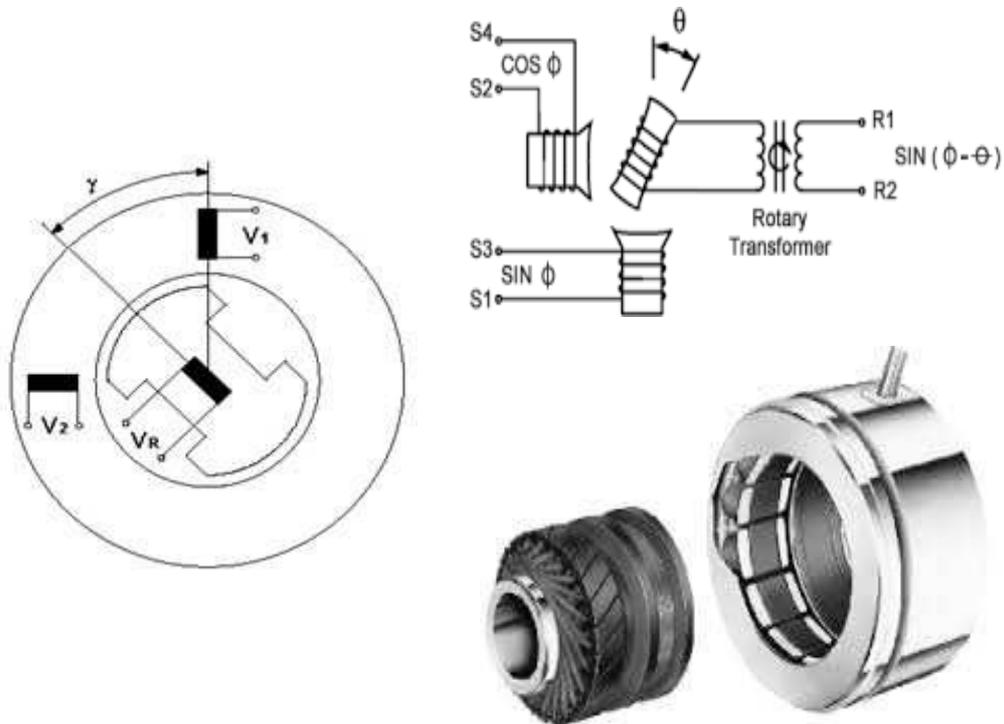


Segnali dal motore



Circuito di condizionamento

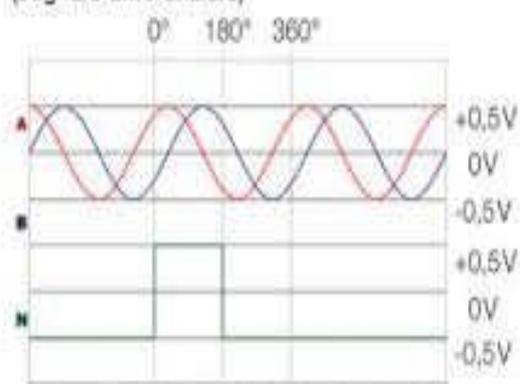
Il Resolver presenta un costo contenuto ed una buona linearità in velocità. E' un sensore «assoluto» nel singolo giro del motore e presenta 4 punti critici nel posizionamento quando il Seno o il Coseno si annullano ( $90^\circ$   $180^\circ$   $270^\circ$  e  $360^\circ$ ) ma solo per applicazioni «estreme».



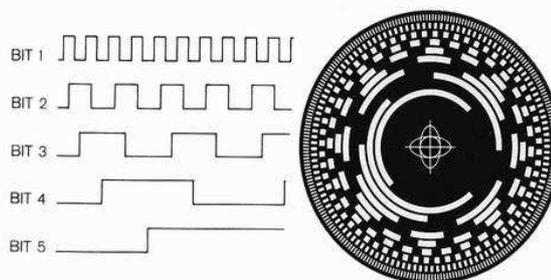
# Encoder Assoluto con SIN COS

Il progredire dell'elettronica digitale ha consentito di avere elettroniche sempre **più veloci, a basso costo, robuste, con un consumo ridotto anche in «stand-by»** e dedicate ad esempio a convertire un encoder in un'informazione di **posizione assoluta**, sia sul singolo giro che sul multigiro, a **trasmetterla via linea seriale al momento dell'accensione** ed a **mantenerla «sotto controllo»** anche a inverter spento.

Immagine impulso SINUS  
(segnale differenziale)



Vista dell'albero, rotazione in senso orario.



## Encoder Assoluto «full digital»

Un'elettronica ancor più veloce e sofisticata consente la trasmissione digitale in tempo «reale» ad una frequenza tale da rimuovere le tracce SinCos, semplificando il cablaggio a soli 4 fili (2 di segnale e 2 di alimentazione). I tempi di aggiornamento sono di solito di circa 15 us o multipli superiori. Il prossimo passo sarà quello di veicolare questa informazione all'interno dei cavi di potenza al fine di rimuovere la connessione di segnale e ottimizzare ulteriormente il cablaggio.

# Protocolli degli encoder assoluti

La trasmissione dei dati avviene con tre protocolli principali:

- **Protocollo SSI** : interfaccia seriale sincrona, la cui profondità di bit è configurabile a seconda della risoluzione richiesta e dalla «qualità» dell'elettronica dell'encoder.
- **Protocollo Hiperface**: protocollo con singola correzione di errore, a profondità di bit fissa, sviluppato dalla Sick e disponibile anche in versione integrata nel cavo motore (DSL).
- **Protocollo EnDat**: protocollo con doppia generazione della posizione e dell'errore che consente una trasmissione sicura dell'informazione e la correzione automatica di eventuali errori di trasmissione.

# I «Fieldbus» di comunicazione

Il progredire dell'elettronica, o meglio dei microprocessori, consente di trattare l'informazione (ad esempio di posizione) in maniera «numerica» e non più solo analogica digitale.

In passato i comandi erano inviati da PLC ad Azionamento con riferimenti Analogici. La retroazione era ottenuta da segnali encoder digitali incrementali, ripetuti verso il PLC o tramite segnali analogici, e lo stato dei dispositivi era digitale (OK or NOT OK). Oggi è possibile «scrivere» e «leggere» i comandi, i feedback e lo stato tramite quelli che vengono chiamati i BUS di CAMPO (FIELDBUS), ognuno con diverse caratteristiche dovute alle soluzioni HW e SW implementate.

Su «doppino di rame» ci sono Can, Profibus e Devicenet (principalmente). Su «fibra ottica» è rimasto il SerCos. Su connessione «Ethernet» troviamo EtherCat, Profinet, Ethernet IP e Powerlink.

## I Fieldbus su «doppino in rame»: Can (Open)

Su «doppino di rame» ci sono Can, Profibus e Devicenet.

Il Can è caratterizzato da un dispositivo Master e tanti Slave collegati in parallelo sulla linea bifilare, bilanciata e terminata.

Il Master è il «direttore» di orchestra e manda pacchetti di dati (PDO) che raggiungono tutti gli Slave, ad intervalli di tempo predefiniti.

Ogni Slave legge il pacchetto, prende le informazioni che gli competono e, sempre all'interno del pacchetto, scrive le informazioni per il Master o per gli altri Slave.

Il pacchetto raggiunge poi lo Slave successivo, fino all'ultimo e infine torna al Master. Tra un pacchetto e l'altro, rimane tempo per il trasferimento delle informazioni meno importanti che possono essere scambiate in un secondo momento in quanto non presentano vincoli di tempo (messaggi SDO).

Per assicurarsi che la comunicazione sia sempre attiva, il Master può inviare un segnale ciclico (heartbeat) che, se non ricevuto, genera un «allarme» sui nodi della rete CAN.

# I Fieldbus su «doppino in rame»: Profibus

Il Profibus (anche Profibus DP) è la versione Siemens del «Can».

Anche questa è una trasmissione dati su una linea bilanciata e terminata. La rete richiede un Master che gestisce la comunicazione con i vari Slave. Il Master manda pacchetti dati a «tempo» e riempie gli spazi tra i vari pacchetti andando sistematicamente a interrogare i vari nodi, in maniera ciclica e con le priorità assegnate. La comunicazione viene sempre gestita dal Master che provvede a condividere i dati tra tutti i nodi. Mentre il CAN può anche non avere scambio di pacchetti dati (solo un segnale di sincronismo può essere presente), il Profibus è una rete che cerca sempre di «comunicare» tra Master e Slave (occupa sempre una parte della banda utile per controllare lo stato dei vari nodi).

## I Fieldbus su «doppino in rame»:

### Devicenet

Su «doppino di rame» c'è anche il protocollo Devicenet. Questo protocollo è molto simile al CAN, del quale condivide la struttura dei dati a pacchetto e il supporto hardware. La comunicazione è una via di mezzo tra Can e Profibus: è il Master che provvede a scambiare i dati e gli Slave possono intervenire per segnalare situazioni ben identificate, anche con messaggi cumulativi (allarmi ad esempio), a tutti i nodi presenti. Tutti i dati numerici passano per il Master.

# I Fieldbus su «fibra ottica»: SerCos

Su «fibra ottica» è rimasto il SerCos. In pratica la fibra ottica viene utilizzata in un anello chiuso per inviare dei messaggi caratterizzati da un indirizzo e da una serie di dati. Il pacchetto viene letto dal nodo e ritrasmesso al nodo successivo, fino a ritornare al Master. Ogni nodo riceve anche i pacchetti destinati ai nodi successivi, ma scambia dati solo con il Master. Il pacchetto viaggia molto rapidamente lungo la linea e consente una trasmissione efficiente. Il limite è legato al tempo di attraversamento del pacchetto che può essere anche lungo, in quanto somma di N pacchetti (uno per nodo). Questo fieldbus è stato via via soppiantato dalla connessione tipo Ethernet.

# I Fieldbus su «Ethernet»: EtherCat

Su connessione «Ethernet» troviamo EtherCat, Profinet, Ethernet IP e Powerlink. Ethercat è la versione veloce del Can: i dati sono inviati in un pacchetto unico a «tempo determinato» (PDO). Questo pacchetto viene letto dai vari nodi che provvedono a leggere e a scrivere le informazioni al passaggio del pacchetto. Tra un pacchetto e l'altro vengono trasmessi i vari pacchetti di servizio (SDO), senza interrompere il flusso dei dati «importanti». Il Master all'accensione provvede a configurare i vari nodi Slave presenti in funzione della posizione rispetto al Master, impostando anche i dati da scambiare nei PDO. Ogni nodo aggiunge un tempo di ritardo (transito dei dati) che il Master può considerare e compensare nell'esecuzione sincrona dei pacchetti tramite un segnale di sincronismo (HW o SW).

# I Fieldbus su «Ethernet»: ProfiNet

ProfiNet è la versione veloce del Profibus: i dati sono inviati su vari pacchetti a «tempo determinato», dal Master. Questo pacchetto viene letto dai vari nodi che provvedono a leggere e a scrivere le informazioni al passaggio del pacchetto; tutte le informazioni sono però scambiate solo con il Master. Tra un pacchetto e l'altro vengono trasmessi dal Master i vari pacchetti di servizio senza interrompere il flusso dei dati «importanti», occupando la banda lasciata libera. Il Master all'accensione provvede a configurare i vari nodi Slave presenti, impostando anche i dati da scambiare con i vari Slave. Lo scambio di dati è sempre presente, con tempistiche varie (priorità), a seconda delle assegnazioni dei vari nodi.

# I Fieldbus su «Ethernet»: EtherNet IP

Sia EtherCat che ProfiNet non possono «esistere» su una rete Ethernet «normale» (LAN). EtherNet IP consente di aggiungere nodi con il proprio indirizzo IP su una rete Ethernet locale. La comunicazione è punto a punto tra Master e i vari Slave; sulla rete non vi devono essere troppi «nodi» e «switch» per non aggiungere eccessivi ritardi alla comunicazione. Il Master all'accensione provvede a identificare i vari nodi Slave presenti creando la rete locale anche in presenza di altri dispositivi. Questa rete offre il vantaggio che ogni singolo dispositivo può essere raggiunto da più Master, ad esempio per la lettura di dati, tra un pacchetto di comandi ed il successivo.

# I Fieldbus su «Ethernet»: PowerLink

Powerlink è la connessione veloce sviluppata da B&R. La comunicazione viene gestita interamente dal Master. Il tempo tra due comandi successivi allo stesso Slave viene diviso in «slot» temporali, all'interno dei quali il Master interroga solo quello Slave e gli altri aspettano il loro «slot». Il vantaggio è di una comunicazione rapidissima e ottimizzata tra Master e Slave, con uno scambio molto efficiente dei dati. La comunicazione così gestita ha il limite di dividere il tempo utile in intervalli che non comunicano tra loro. Tutti i dati devono passare dal Master, come nel ProfiNet, e lo fanno in tempi successivi; il Master deve tener conto del jitter tra i vari dati nella gestione di macchine molto veloci.

# Parametri motore DC

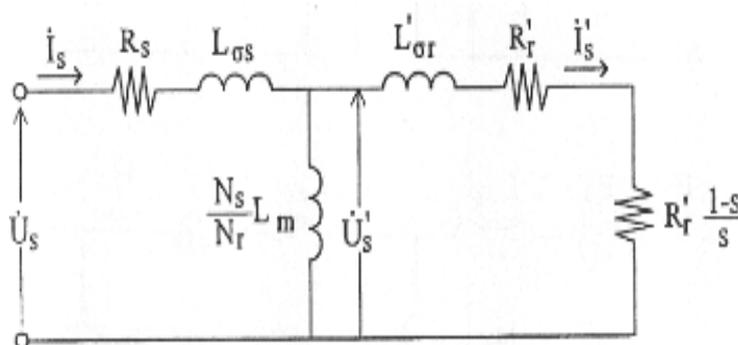
I parametri che identificano un motore DC sono i seguenti:

- **Velocità Nominale, espressa in RPM**
- **Corrente Nominale, espressa in Arms**
- **Tensione Nominale, espressa in Volt**
- **Tensione di Armatura, espressa in Volt**
- **Corrente di Armatura, espressa in Arms**
- Corrente Massima, espressa in Arms
- Resistenza di Campo, espressa in Ohm
- Induttanza di Campo, espressa in mH

**Nota: I parametri in Rosso sono indispensabili.** La corrente Massima è utile per limitare le prestazioni del sistema senza danneggiare il motore o la meccanica; gli ultimi due dati vengono di solito ricavati durante l'autotaratura del convertitore se non disponibili.

# Parametri motore AC

I parametri di un motore AC sono quelli di solito indicati nel seguente schema elettrico equivalente (semplificato).



- $R_s$  e  $L_s$  sono resistenza e induttanza di statore
- $L_m$  determina la corrente di magnetizzazione
- I parametri a destra sono legati al rotore ed al carico applicato e

non sono solitamente disponibili

- **CONVIENE ESEGUIRE L'AUTOTARATURA QUANDO DISPONIBILE PERCHE' GLI INVERTER NON SONO UGUALI TRA LORO** e i parametri vengono calcolati spesso in unità interne, che non hanno un vero corrispondente «fisico» nel modello.
  - **Numero dei Poli del motore (2-4-6-8 etc.)**
  - **Velocità Nominale, in RPM o Frequenza Nominale in Hz**
  - **Corrente Nominale, in Arms**
  - **Corrente Massima, in Arms**
  - **Velocità Massima, in RPM**
  - **Tensione Nominale, in Vrms**
  - Costante di tempo per la protezione termica, in secondi
  - Corrente di magnetizzazione, in Arms

**Nota: I parametri in Rosso sono indispensabili.** La costante di tempo è utile per limitare le prestazioni del sistema senza danneggiare il motore; i parametri della curva V/F e della magnetizzazione del motore vengono ricavati durante l'autotaratura del motore.

# Parametri motore brushless

- I parametri importanti per un motore brushless sono i seguenti:
- **Numero poli del motore, oppure coppie polari**
- **Corrente Massima, in Arms**
- **Corrente Nominale, in Arms**
- **Velocità Nominale, in RPM**
- **Tensione Nominale, in Volt**
- **Resistenza tra fase e fase, in Ohm**
- **Induttanza tra fase e fase, in mH**
- **Costante di coppia, in Nm/Arms**
- Costante di tensione, in Volt\*sec
- Inerzia del motore, in Kg\*m<sup>2</sup> oppure Kg\*cm<sup>2</sup>
- Costante di tempo per la protezione termica, in secondi.

**Nota: I parametri in Rosso sono indispensabili;** la costante di tempo è utile per limitare le prestazioni in sovraccarico del sistema senza danneggiare il motore; se non sono tutti disponibili, spesso l'autotaratura del drive, se disponibile, riesce a ricavare almeno i parametri fisici del motore ed ottimizzare il controllo.

## Messa in servizio motore DC

- Impostare i parametri noti del motore nell'inverter
- Impostare i parametri del moto (riferimenti e velocità richieste dall'applicazione, limiti di corrente) e inserire anche l'eventuale rampa per limitare la massima accelerazione a valori compatibili con la macchina
- Impostare il convertitore per fornire la tensione di eccitazione (armatura) richiesta dal motore ed eventualmente regolare l'andamento in funzione della velocità se necessario
- Procedere all'autotaratura del motore e al termine salvare i parametri.

# Messa in servizio motore AC

- Impostare i parametri noti del motore nell'inverter.
- Impostare i parametri del moto (riferimenti e velocità richieste dall'applicazione, limiti i corrente) e inserire anche l'eventuale rampa per limitare la massima accelerazione a valori compatibili con la macchina.
- Al termine salvare i parametri.

# Messa in servizio motore Brushless

- Impostare i parametri noti del motore nell'azionamento
- **Procedere alla fasatura del feedback presente sul motore, per poter controllare il motore in maniera ottimale; determina la posizione di riferimento tra sensore di feedback ed i magneti.**
- Impostare i parametri del moto (riferimenti e velocità richieste dall'applicazione, limiti i corrente) e inserire anche l'eventuale rampa per limitare la massima accelerazione a valori compatibili con la macchina del cliente. In seguito vediamo i vari passaggi in dettagli attraverso i vari diagrammi.
- Al termine salvare i parametri.

# Tarature inverter per motori AC in V/F

Per il controllo dei motori in AC è possibile modificare l'andamento della curva V/F per poter ottenere una risposta migliore in funzione del carico applicato. Aumentando la tensione a parità di frequenza si può ottenere una coppia maggiore e un maggiore assorbimento di corrente. Il caso invece di vibrazioni o risonanze al passare in un intervallo di frequenze (o di velocità), indica ad esempio una tensione eccessiva per cui si può provare a ridurre la tensione nella regione di risonanza.

Nota: In caso di «rumore» o «sibilo» proveniente dal motore quando l'inverter viene abilitato, provare ad aumentare la frequenza di commutazione dell'inverter ed a impostare la frequenza come variabile in funzione della temperatura del radiatore: appena acceso, radiatore freddo, frequenza elevata; quando l'inverter eroga corrente, il radiatore si scalda e la frequenza scende.

# Tarature inverter per motori AC in Vettoriale

La funzione dell'encoder viene svolta dal SW che stima la velocità del rotore leggendo le correnti erogate in funzione delle tensioni applicate al motore e facendo il calcolo inverso.

Con il controllo dei motori in AC in vettoriale posso modificare i guadagni dell'anello di velocità in maniera da rendere la risposta del sistema adeguata alle richieste del carico, anche in assenza di encoder.

Aumentare i guadagni consente di avere un errore di velocità inferiore, una risposta più pronta, a scapito di un maggiore assorbimento di corrente.

Il caso invece di vibrazioni o risonanze al passare in un intervallo di frequenze (o di velocità), indica ad esempio un guadagno eccessivo nell'anello di regolazione, per cui si può provare a ridurre i valori e verificare che la macchina continua a eseguire le lavorazioni come richiesto.

# Tarature Azionamenti per motori Brushless

Rispetto ad un motore AC, le tarature riguardano l'anello di velocità, che deve rispondere alle variazioni di carico della macchina o eventualmente l'anello di posizione, se chiuso all'interno dell'azionamento.

Provvedere a graficare l'errore tra velocità comandata e velocità ottenuta e minimizzare il suo andamento, variando i guadagni, prima agendo sul guadagno proporzionale e poi sul guadagno integrale.

Nel caso in cui sia necessario aumentare la velocità di lavoro oltre a quella nominale, è possibile ricorrere al «deflussaggio», che cambiando il controllo della corrente ad alte velocità aumenta anche la coppia massima disponibile.