

Avviamento del Motore Asincrono Trifase

Davide Tambuchi

Nella presente trattazione verranno analizzate alcuni aspetti dell'*avviamento del motore asincrono trifase* ed alcuni problemi relativi.

L'argomento trattato nella presente dispensa riguarda la macchina elettrica piú diffusa in ambiente industriale, ovvero il motore asincrono trifase, che viene considerato in *condizioni di funzionamento particolari* (il fenomeno transitorio occupa una piccola frazione del tempo totale di utilizzo della macchina). Tale fenomeno é comune a tutte le macchine ed apparecchiature utilizzatrici dell'energia elettrica, in modo piú o meno gravoso. Osserviamo come l'avviamento di un motore possa essere inquadrato come un *caso particolare di regolazione a velocità controllata*: infatti partendo da un comando semplice ON-OFF da velocità nulla a velocità di regime ottenuto mediante inserzione diretta e senza controllo effettuato mediante retroazione, si può gradualmente giungere ad un sistema di comando a piú gradini, e cosí via, sino a considerare un vero e proprio *sistema di controllo di velocità ad anello chiuso*. Prima di analizzare in dettaglio il problema dell'avviamento, e' necessario aprire una breve parentesi storica relativa ai sistemi e alle tecniche degli azionamenti: infatti lo sviluppo industriale tipico del nostro tempo é in parte frutto della rapida evoluzione dei sistemi di azionamento e di regolazione. Nelle sue prime fasi applicative, la teoria degli azionamenti elettrici era fortemente condizionata dalla preoccupazione di contenere al massimo l'estensione topologica degli impianti elettrici, che all'inizio del secolo costituivano una temuta fonte di pericolo ed erano causa di frequenti interruzioni di servizio. In questa fase, si era pertanto affermato il principio di concentrare la conversione dell'energia elettrica in energia meccanica mediante l'utilizzo di pochi motori di potenza assai elevata, da cui venivano derivati, mediante accoppiamenti meccanici, i comandi di tutte le macchine operatrici. La rapida evoluzione dei dispositivi di sicurezza e la crescente affidabilitá degli impianti elettrici ha gradualmente portato alla convenienza tecnica di ridurre sempre piú l'estensione delle trasmissioni meccaniche, sino all'attuale e netta affermazione di assegnare uno o piú motori ad ogni macchina operatrice, aumentando di conseguenza il grado di estensione e di frazionamento dei servizi elettrici. Un'altra problematica che é doveroso accennare é quella relativa alla *sicurezza ed all'affidabilitá*: secondo un recente studio statistico, le cause di guasto dei motori asincroni sono ripartite nel modo seguente:

- 40% corto circuito, a causa di umiditá, olio, grasso, polveri, ecc.,
- 25% sovraccarico,
- 12% danni ai supporti,

- 8% cause diverse,
- 5% invecchiamento dell'isolante.

Da ciò segue che tre guasti su quattro coinvolgono sovracorrenti, con conseguenti sovratemperature che possono danneggiare il motore in modo irreversibile, o ancor peggio, possono estendersi all'ambiente circostante. A tal proposito, *é significativo che il 30% di tutti gli incendi di origine elettrica é da attribuirsi ai motori.* L'avviamento é quindi una situazione di *particolare sollecitazione* della macchina elettrica e dell'impianto elettrico che la alimenta, in cui entrano in gioco tutte queste problematiche. *L'obbligo della protezione é richiamato in tutte le norme tecniche; ad esempio le norme CEI richiedono l'obbligatoriet  delle protezioni contro le sovracorrenti per ogni motore di potenza superiore ad 1kW.* Nella pratica, il motore asincrono trifase assorbe, all'atto dell'avviamento, una corrente di spunto pari a $5 \div 8$ volte la corrente nominale, in quanto il modello equivalente di un motore asincrono trifase a rotore bloccato é *isomorfo* a quello di un trasformatore reale con secondario chiuso in corto circuito (anche se i parametri elettrici hanno valore differente, ed in particolar modo il rapporto tra la corrente di cortocircuito e la corrente nominale di un trasformatore risulta assai maggiore del corrispondente rapporto tra la corrente di spunto di un motore e la sua corrente nominale). É importante valutare, in base al valore dell'impedenza equivalente della rete a monte, la caduta di tensione dovuta all'avviamento, tenendo conto che potrebbe avere effetti su altre utenze collegate e sulle modalit  dell'avviamento stesso. Le problematiche dell'avviamento sono legate al tipo di motore, al tipo di alimentazione ed al tipo di carico. In particolare, per la scelta del tipo di avviamento occorre considerare:

1. La coppia di avviamento sviluppata dal motore (Tale coppia é deducibile dalle curve caratteristiche del motore, che a loro volta possono essere dedotte dal diagramma circolare).
2. La coppia resistente della macchina da comandare.
3. La corrente di avviamento del motore.

Occorre poi fare una breve classificazione dei casi tipici dell'andamento della coppia di carico:

1. Coppia resistente praticamente costante per tutto il campo di velocit  (impianti di sollevamento, nastri trasportatori, ecc.).
2. Coppia resistente che aumenta proporzionalmente della velocit  (calandre).
3. Coppia resistente che aumenta con il quadrato della velocit  (ventilatori, compressori centrifughi, soffianti, ecc.).
4. Coppia resistente che diminuisce all'aumentare della velocit  (avvolgitrici).

Indicata con C_m la *coppia motrice* e con C_r la *coppia resistente*, si ha che la *coppia di avviamento* C_a vale:

$$C_a = C_m - C_r$$

Affinché sia garantito un avviamento certo e sicuro, è necessario disporre di una adeguata coppia di accelerazione, ovvero la coppia motrice deve essere sufficientemente superiore alla coppia resistente. Una coppia di avviamento troppo piccola renderebbe l'avviamento lungo e faticoso, con conseguente pericolo di sovrariscaldamento del motore, mentre una coppia di avviamento troppo elevata potrebbe comportare un avviamento troppo brusco che potrebbe danneggiare le macchine operatrici e/o gli organi di trasmissione meccanica accoppiati al motore. Il progetto del sistema di avviamento deve pertanto tenere conto delle precedenti considerazioni.

A tal proposito, è necessaria una stima del tempo di avviamento; a tale scopo risulta interessante applicare il *principio di conservazione dell'energia* equagliando l'energia cinetica rotazionale del rotore e del carico all'energia meccanica ottenuta dal prodotto tra la potenza meccanica disponibile sull'albero ed il tempo di avviamento t_a . Si ha infatti:

$$\frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 = C_a \cdot \omega_m \cdot t_a$$

ove:

I è il momento di inerzia delle masse rotanti.

ω è la velocità angolare dell'albero a regime.

C_a è la coppia di avviamento.

ω_m è la velocità angolare media.

t_a è il tempo di avviamento.

In prima approssimazione, ritenendo C_a costante ed osservando che ω_m è circa la metà della velocità angolare a regime ω , si ottiene:

$$t_a = \frac{I \cdot \omega}{C_a}$$

Esprimendo la velocità angolare ω in funzione del *numero di giri al primo* n si ottiene:

$$t_a = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot I}{60 \cdot C_a}$$

Il tempo di avviamento t_a permette di distinguere a grandi linee un avviamento *leggero* da un avviamento *gravoso*, e ci può aiutare nella scelta delle tecniche di avviamento e delle protezioni.

In relazione al tipo di motore ed alla modalità di inserzione in linea, si possono distinguere i seguenti tipi di avviamento:

1. Avviamenti *diretti*.
2. Avviamenti *indiretti*, che a loro volta possono essere distinti in:
 - 2.1 Avviamenti *reostatici*.
 - 2.2 Avviamenti a *tensione ridotta*.
 - 2.3 Avviamenti con *sistema automatico di regolazione della velocità*. Nella presente dispensa, ci limitiamo ad analizzare solo alcune peculiarità dei suddetti avviamenti.

Per quanto riguarda l'*avviamento diretto*, esso consiste nell'allacciare semplicemente il motore alla rete elettrica di alimentazione, eseguendo cioè l'avviamento a *piena tensione*.

In questo modo si ottiene un avviamento *pesante*, in cui lo spunto avviene con una coppia pari ad $1,4 \div 2$ volte la coppia nominale, e con una corrente di spunto pari a $5 \div 8$ volte la corrente nominale (vedi esperienza di laboratorio). Dato che questo avviamento può provocare cadute di tensioni non trascurabili sulla rete di distribuzione, esso è consigliabile quasi esclusivamente per basse potenze. Gli *avviamenti indiretti* consentono invece di limitare il valore della corrente di spunto. Ad esempio, l'*avviamento stella-triangolo* consiste nell'alimentare il motore con i suoi avvolgimenti inizialmente collegati a stella, per poi eseguire la commutazione a triangolo quando la velocità dell'albero ha raggiunto il $90 \div 95\%$ della velocità nominale. A tal proposito, è opportuno ricordare che la coppia motrice risulta direttamente proporzionale al quadrato della tensione di alimentazione. In questo modo, la corrente di spunto risulta essere dell'ordine di $1,6 \div 2,6$ volte la corrente nominale, a scapito però della coppia di avviamento, che risulta notevolmente ridotta rispetto alla coppia nominale (la coppia di spunto è dell'ordine del $40 \div 60\%$ della coppia nominale). L'*avviamento reostatico rotorico* è invece ottenuto mediante inserimento di *resistenze rotoriche* che vengono escluse gradualmente. Questo avviamento, avviene in generale in due o più tempi, riducendo via via il valore delle resistenze rotoriche. Tali resistenze vengono calcolate di norma in modo da ridurre a circa $\frac{1}{3}$ l'assorbimento di corrente all'avviamento, ed assicurare una coppia di spunto dell'ordine del $60 \div 90\%$ della coppia nominale. Questo metodo non può ovviamente essere applicato ai motori a gabbia di scoiattolo, e presenta l'inconveniente di limitare il numero di azionamenti consecutivi a causa della dissipazione di potenza per effetto Joule sul reostato rotorico. Per ottenere avviamenti accuratamente controllati si può ricorrere a regolatori di tensione ad SCR, oppure a regolatori di frequenza; quest'ultima soluzione permette anche la regolazione fine della velocità del motore, con l'ottenimento di una coppia di avviamento prossima alla coppia nominale.

Questionario di autovalutazione

1. La corrente di spunto di un motore asincrono trifase con rotore a gabbia, supponendo fissa

la tensione di alimentazione:

- (A) É massima a rotore bloccato.
- (B) É minima per un avviamento a vuoto.
- (C) Dipende soltanto dalla caratteristica del motore.
- (D) Dipende dalla coppia resistente.

2. Il valore istantaneo iniziale della corrente assorbita all'avviamento di un motore asincrono trifase:

- (A) É sempre nulla.
- (B) Dipende dalla caratteristica del motore.
- (C) Dipende dalla caratteristica del motore e dal carico.
- (D) Dipende esclusivamente dal carico.

3. La coppia di accelerazione di un motore asincrono trifase con rotore a gabbia:

- (A) É una caratteristica del motore.
- (B) Dipende prevalentemente dalla caratteristica del motore e dalla tensione di alimentazione.
- (C) Dipende dalla caratteristica del motore e dal carico.
- (D) Dipende dalla caratteristica del motore, dal carico e dalla tensione di alimentazione.

4. Il tempo di avviamento é

- (A) Direttamente proporzionale al quadrato del momento di inerzia delle parti rotanti.
- (B) Inversamente proporzionale al quadrato del momento di inerzia delle parti rotanti.
- (C) Direttamente proporzionale alla velocità angolare di regime.
- (D) Inversamente proporzionale alla velocità angolare di regime.

5. Il tempo di avviamento di un motore asincrono trifase é:

- (A) Direttamente proporzionale alla coppia di avviamento.
- (B) Inversamente proporzionale alla coppia di avviamento.
- (C) Direttamente proporzionale alla coppia motrice.
- (D) Inversamente proporzionale alla coppia motrice.

BIBLIOGRAFIA

1. M. Pirini, *Tecnica Professionale*, Calderini, 1998.
2. L. Olivieri, E. Ravelli, *Elettrotecnica*, volumi secondo e quinto, CEDAM, 1992.

3. Manuale Cremonese di Elettrotecnica, Cremonese, 1999.
4. S. Gallabresi, Impianti Elettrici Industriali, Delfino, 1991.
5. G. Conte, Impianti elettrici, volumi primo e secondo, Hoepli, 1997.
6. V. Carrescia, Fondamenti di Sicurezza Elettrica, Hoepli, 1991.

Avvertenza: Il presente documento può essere distribuito liberamente, purché integralmente, gratuitamente, senza scopo di lucro, senza modifiche e citando questa avvertenza. Ogni cura é stata posta nella realizzazione di questo documento. Tuttavia l'autore non può assumersi alcuna responsabilità per l'utilizzo di questa opera. Ultimo aggiornamento: 10 Marzo 2006.

Per informazioni, o per la segnalazione di errori e bugs, contattare l'autore all'indirizzo e-mail: `davide.tambuchi@tin.it`

Typeset by $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ under *LINUX*.