

Capitolo 7

Protezione di componenti d'impianto

7.1 Protezione dei motori

Introduzione

Secondo uno studio statistico, le cause di guasto nei motori asincroni sono così ripartite:

- 40% cortocircuito, per umidità, olio, grasso, polveri, ecc.,
- 35% sovraccarico,
- 12% danni ai supporti,
- 8% cause diverse,
- 5% invecchiamento dell'isolante.

Tre guasti su quattro coinvolgono dunque sovracorrenti, con conseguenti sovratemperature che possono danneggiare in modo irrimediabile il motore o, peggio, estendersi all'ambiente circostante.

L'obbligo della protezione dei motori contro le sovracorrenti è richiamato in tutte le norme di buona tecnica, in genere al di sopra di una certa potenza.

Nota:

- per le norme CEI tale limite va da 0,5kW ad 1kW.

Per la protezione dei motori contro le sovracorrenti le norme non sono altrettanto precise come per la protezione delle condutture, a causa della

molteplicità delle situazioni di installazione, d'uso e delle caratteristiche proprie del motore.

7.1.1 Avviamento del motore e protezione contro il sovraccarico

Come è noto, a rotore fermo il motore si comporta come un carico fortemente induttivo e assorbe una corrente di avviamento I_A superiore alla corrente nominale del motore I_n . Di solito la corrente di avviamento I_A varia da 5 a 8 volte la corrente I_n (e può raggiungere un valore di picco prossimi a $2\sqrt{2} I_A$). Man mano che il rotore si avvia la corrente assorbita dal motore diminuisce, dapprima lentamente e poi rapidamente, fino ad assumere il valore corrispondente alla particolare condizione di carico, in genere non superiore alla corrente nominale I_n . In Figura 7.1a è indicato l'andamento tipico della corrente durante l'avviamento (caratteristica di avviamento) di un motore asincrono trifase con rotore a gabbia, con I_A corrente di avviamento (di inserzione o cortocircuito), t_A tempo di avviamento. Il tempo di avviamento t_A cambia, a parità di altre condizioni, con la coppia resistente applicata all'albero motore; esso dipende dalla coppia motrice sviluppata dal motore, dalla coppia resistente e dal momento d'inerzia del sistema. In genere si parla di avviamento gravoso quando il tempo di avviamento t_A supera dieci secondi, Figura 7.1b.

Un dispositivo di protezione contro sovraccarico deve naturalmente permettere l'avviamento del motore.

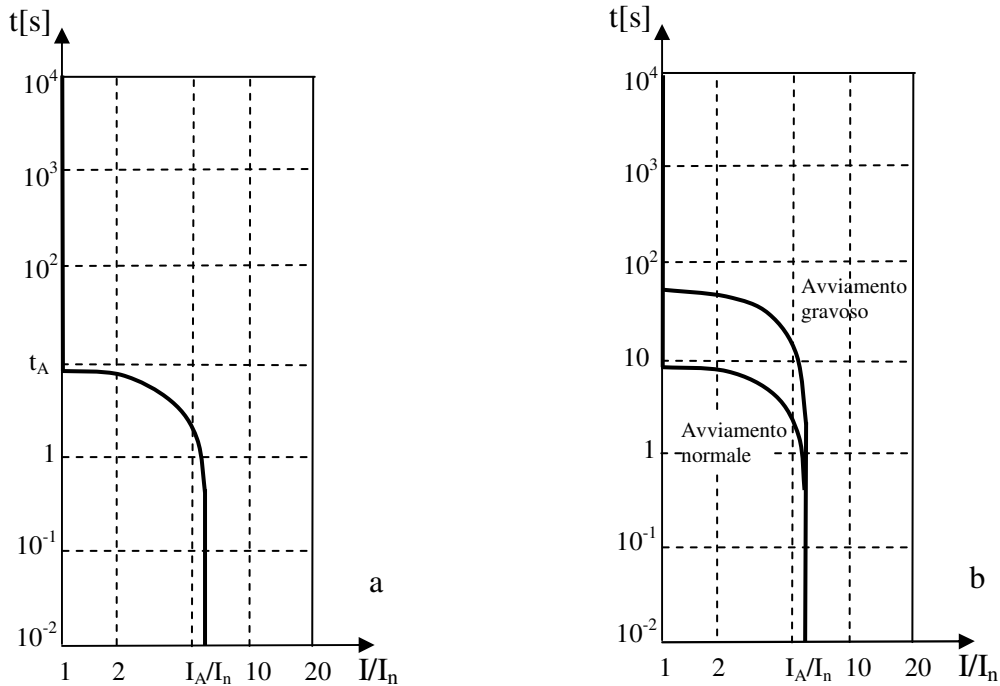


Figura 7.1

A tal fine non si può confrontare direttamente la caratteristica d'avviamento del motore con la caratteristica d'intervento del dispositivo di protezione, Figura 7.2, per concludere che l'avviamento è possibile quando le due caratteristiche non si intersecano; infatti una caratteristica indica il valore della corrente assorbita istante per istante dal motore, l'altra viceversa indica il tempo minimo per il quale una corrente costante deve permanere perché il dispositivo di protezione intervenga; ad esempio all'istante t_1 il motore assorbe la corrente I , ma in istanti successivi la corrente assorbita sarà di

diverso valore, mentre il dispositivo di protezione interverrebbe solo se la corrente I perdurasse per un tempo pari a t_2 ; in pratica per la caratteristica di avviamento del motore si parla di istanti di tempo, mentre per la caratteristica d'intervento del dispositivo di protezione si ha a che fare con intervalli di tempo; ecco perché le due caratteristiche non sono confrontabili.

Se si assume per semplicità che il motore assorba per tutto il tempo t_A di avviamento la corrente I_A , l'avviamento è possibile se il punto $(I_A/I_n, t_A)$ si trova al di sotto della caratteristica d'intervento del dispositivo di protezione, Figura 7.3a. La condizione suddetta è sufficiente, ma non necessaria per la compatibilità tra avviamento del motore e protezione contro il sovraccarico.

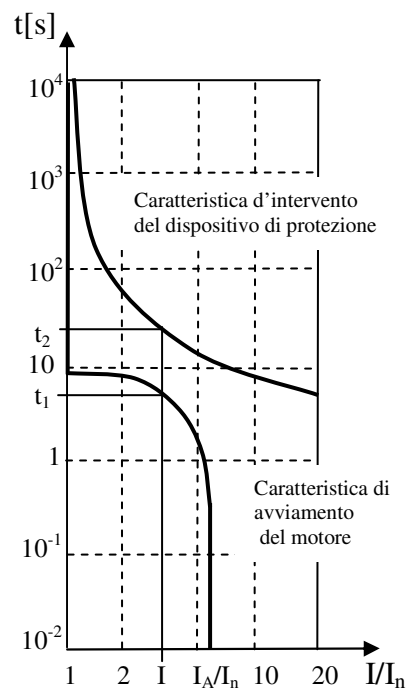


Figura 7.2

In realtà occorre riferirsi, non alla corrente istantanea I_A , ma a una corrente costante I_{Ae} che applicata per tutto il tempo di avviamento t_A sia termicamente equivalente all'energia passante attraverso il dispositivo di protezione dovuta alla corrente variabile durante l'avviamento, e cioè:

$$I_{Ae}^2 t_A = \int_0^{t_A} i^2 dt$$

Condizione necessaria e sufficiente perché il dispositivo di protezione permetta l'avviamento del motore è che il punto $(I_{Ae}/I_n, t_A)$ sia al di sotto della caratteristica d'intervento del dispositivo di protezione, Figura 7.3b.

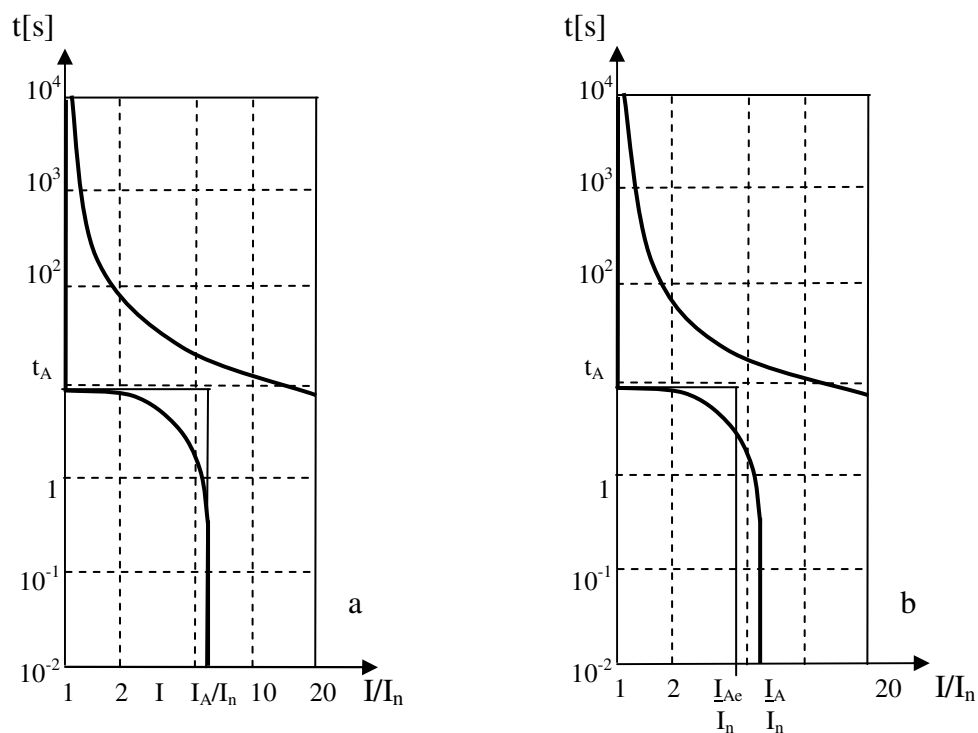


Figura 7.3

Se il motore si avvia a tensione ridotta la corrente di avviamento I_A si riduce, ma aumenta il tempo di avviamento, Figura 7.4; il dispositivo di protezione

contro sovraccarico deve permettere l'avviamento del motore nell'ambito delle oscillazioni di tensione ammesse per la rete di alimentazione.

In genere, il dispositivo di protezione contro sovraccarico viene regolato alla corrente nominale del motore; se questo è sovradimensionato, il relè termico viene regolato alla corrente di carico, o intermedia tra la corrente nominale e quella assorbita.

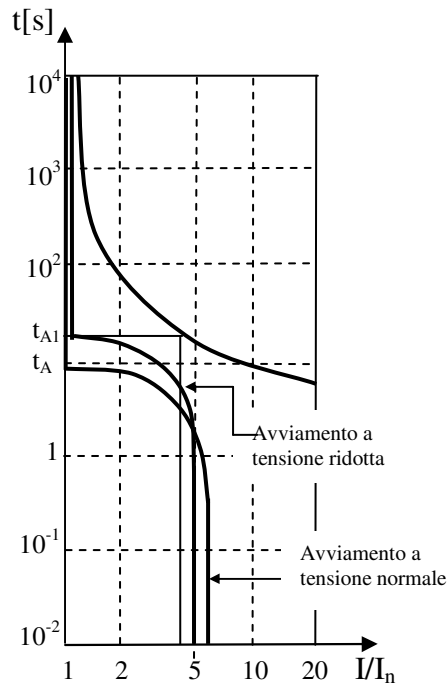


Figura 7.4

7.1.2 Dispositivi di protezione del motore contro il sovraccarico

Per la protezione del motore contro il sovraccarico si utilizzano in genere “relè termici o elettronici” di sovraccarico (cap.4), la cui caratteristica

d'intervento è appositamente studiata per permettere l'avviamento del motore in condizioni normali o in condizioni di avviamento pesante.

L'eccessivo riscaldamento degli avvolgimenti di un motore può essere causato per esempio da un sovraccarico all'albero del motore, da un assorbimento asimmetrico di corrente in conseguenza di una tensione di rete asimmetrica o dalla mancanza di una fase (interruzione di un conduttore) così come dal bloccaggio del rotore. In questi casi il relè di sovraccarico controlla la corrente assorbita da ogni singola fase della macchina elettrica.

Il relè di sovraccarico va associato a un organo di manovra, in genere un contattore se il motore deve effettuare frequenti avviamenti e arresti (servizio intermittente).

Nota:

- Per rapporto d'intermittenza si intende il rapporto tra il tempo di passaggio della corrente e la durata totale del ciclo (passaggio corrente e riposo). Se le pause di riposo sono sufficienti perché il motore si riporti alla temperatura ambiente, il servizio non è da considerare intermittente, ma di durata limitata. Se il motore è destinato a funzionare per un tempo illimitato, si parla di servizio continuo.

- Per frenatura in controcorrente si intende l'arresto o l'inversione del senso di rotazione del motore, ottenuta invertendo le connessioni di due fasi dell'alimentazione mentre il motore sta girando.

L'assieme dei dispositivi di manovra e di protezione contro sovraccarico prende il nome di "avviatore".

Sono previste due categorie d'impiego degli avviatori per i motori a gabbia: AC3 e AC4.

La categoria AC4 è prevista per condizioni di funzionamento più gravose, quali chiusure brevi e frequenti per ottenere piccoli movimenti del motore (manovra a impulsi), e frenatura in controcorrente.

Secondo il numero di cicli all'ora, che devono essere in grado di effettuare, gli avviatori sono suddivisi nelle classi indicate in Tabella 1 (per ciclo si intende apertura e chiusura del circuito).

Classe	Numero di cicli all'ora che l'avviatore è in grado di effettuare
0,03	3
0,1	12
0,3	30
1	120
3	300
10	1200

Tabella 1

Nelle manovre con frequenza molto elevata, le differenti costanti termiche del motore e del relè termico rendono problematica la protezione del motore contro il sovraccarico.

In casi particolari può essere necessario ricorrere ad altri dispositivi di protezione, ad esempio sonde a termistore ubicate nell'avvolgimento statorico che controllano termicamente il motore e connesse ad appositi apparecchi rilevatori. Questa soluzione presenta il vantaggio di consentire la rilevazione della temperatura effettiva del motore, ed è quindi da preferire nei casi in cui le irregolarità del ciclo rendano difficile un controllo efficace sulle condizioni di sovraccarico del motore.

I “fusibili” non sono adatti per la protezione contro il sovraccarico del motore, Figura 7.5.

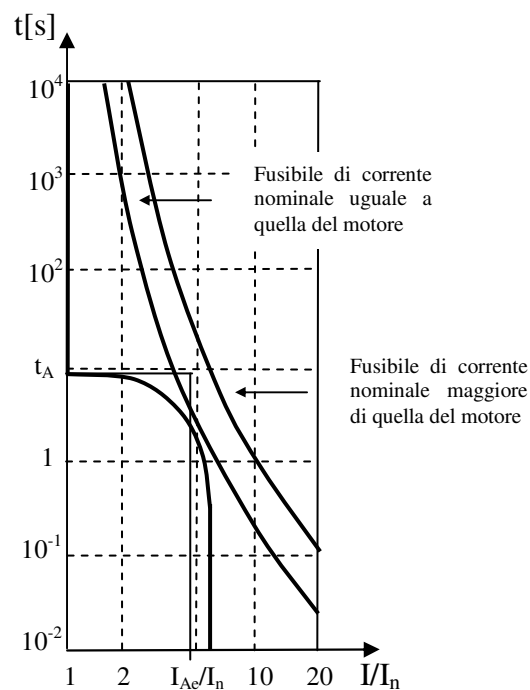


Figura 7.5

Un fusibile di uguale corrente nominale del motore, interviene soltanto per correnti superiori a $1,6 I_n$ (Tab.2 cap.5) e non permette inoltre l'avviamento del motore. Un fusibile di corrente nominale maggiore di quella del motore permetterebbe l'avviamento del motore, ma sarebbe ancor meno efficace nella protezione contro il sovraccarico, Figura 7.5.

7.1.2.1 Relè di sovraccarico con lamine bimetalliche

I relè di sovraccarico termici ritardati dipendenti dalla corrente, sono equipaggiati normalmente con tre lamine bimetalliche che vengono riscaldate indirettamente da un proprio avvolgimento riscaldante, percorso direttamente dalla corrente assorbita dal motore.

Nei relè di sovraccarico, per la protezione dei motori con corrente nominale superiore a 200A, il riscaldamento delle tre lamine bimetalliche avviene tramite la corrente secondaria dei riduttori di corrente, che da un lato permettono un risparmio delle perdite di potenza e dall'altro un aumento della resistenza al cortocircuito.

Regolazione

I relè di sovraccarico sono provvisti di una rotella o di una levetta con la quale si può effettuare con continuità la regolazione a un determinato valore di corrente I_r nell'ambito del campo di regolazione.

Tempo di reinserzione

Le lamine bimetalliche, del relè di sovraccarico termico, devono raffreddarsi dopo un intervento per sovraccarico, e riportarsi nella loro posizione di origine prima che il dispositivo di protezione sia di nuovo pronto per l'esercizio.

Questa pausa viene indicata quale tempo di reinserzione e dipende dal valore della corrente che ha provocato il suo intervento e dalla caratteristica di intervento del relè di sovraccarico.

Dalle curve dei tempi di reinserzione dei relè di sovraccarico termico, è possibile ricavare, ad esempio, che dopo uno sgancio dovuto a un sovraccarico pari a 5 volte la corrente di regolazione I_r , il tempo di reinserzione è di circa 40 secondi.

Il tempo di reinserzione costringe a effettuare una pausa di esercizio per dare al motore il tempo di raffreddarsi. Non sempre però questo tempo è sufficiente a lasciar raffreddare completamente il motore prima di un nuovo avviamento.

Protezione contro inopportune reinserzioni

Una volta che il relè ha agito sul dispositivo di manovra e questo ha aperto il circuito, il relè si raffredda e può essere congegnato in modo da ritornare nella posizione primitiva automaticamente o con intervento manuale. C'è da

osservare che il relè si raffredda prima del motore, e se la causa di sovraccarico permane, successivi avviamenti provocherebbero un riscaldamento progressivo del motore.

Pertanto, è necessario il ripristino manuale (o riarmo manuale) del relè se il comando del motore è permanente, cioè se la richiusura del relè stesso determina l'avviamento del motore.

In caso contrario è consentita la richiusura automatica del relè, ad esempio se il circuito di comando del motore è dotato di pulsanti di marcia e di arresto; in tal caso, infatti, la richiusura del relè non provoca l'avviamento del motore, finché l'operatore non abbia azionato il pulsante di marcia.

In entrambi i casi è dunque necessario che l'operatore, dopo aver rimosso la causa che ha determinato il sovraccarico, intervenga o sul relè di sovraccarico o sul pulsante di marcia.

Caratteristica di intervento

Le caratteristiche di intervento o curve di sgancio indicano il tempo di intervento in funzione della corrente di intervento, espressa quale multiplo della corrente di regolazione I_r (vedi anche cap.4), per carico simmetrico tripolare e per carico su due fasi.

La corrente minima che permette l'intervento del relè, viene denominata corrente di intervento limite.

La norma definisce diverse classi di intervento dei relè di sovraccarico, in funzione del servizio a cui sono destinati, tenendo anche conto del tipo di relè (termico compensato, termico non compensato, magnetico).

La Tabella 2, che compendia le Tabelle 2 e 3 della norma CEI 17-50, indica le condizioni di prova e i tempi minimi di intervento, per valori C e D della corrente. Inoltre:

- con corrente al valore A l'intervento non deve avvenire in meno di 2 ore;
- portando la corrente al valore B, l'intervento deve avvenire in meno di due ore.

La classe di intervento stabilisce il tempo di intervento per carico simmetrico tripolare nelle condizioni di stato a freddo del relè con 7,2 volte la corrente di regolazione I_r .

I tempi di intervento sono riportati in Tabella 2.

Tipo di relè	Multipli della corrente di regolazione				Temperatura ambiente di riferimento
	A	B	C	D	
Relè termico non compensato	1	1,2	1,5	7,2	+40
Relè termico compensato	1,05	1,2	1,5	7,2	+20
Relè magnetico	1,05	1,2	1,5	7,2	+20
Classe di intervento	Tempo di intervento				
	Corr. Valore C		Corr. Valore D		
10A	< 2 min		2 – 10 s		
10	< 4 min		4 – 10 s		
20	< 8 min		6 – 20 s		
30	< 12 min		9 – 30 s		

Tabella 2

I relè in CLASSE 10 sono previsti per avviamento normale, mentre i relè in CLASSE 20 e 30 per avviamento pesante.

Carico unipolare

Se con un relè di sovraccarico termico ritardato si vuole proteggere un carico unipolare in corrente alternata o continua devono essere riscaldate tutte e tre le sue lamine bimetalliche. In questo caso le tre vie principali di corrente del relè devono essere collegate in serie. Per questo impiego vale la caratteristica di intervento per carico trifase simmetrico.

Comportamento a caldo

Un motore a caldo può sopportare una quantità di calore decisamente inferiore a quella di un motore a freddo. Assumono un analogo comportamento le caratteristiche di intervento; infatti i tempi di intervento in caso di relè di sovraccarico già attraversato dalla corrente di regolazione I_r , da essere a regime termico, si accorciano rispetto a quelli che avrebbe da freddo, a circa un quarto.

Compensazione della temperatura

La caratteristica d'intervento del relè varia con la temperatura ambiente; in genere è riferita a 20 °C. Se il relè si trova in un luogo più caldo del motore, ad esempio entro un quadro elettrico, può dar luogo a scatti intempestivi.

Si ovvia all'inconveniente con il relè di sovraccarico compensato nei confronti delle variazioni di temperatura. Il bimetallo non agisce sulla leva di sgancio direttamente, ma per il tramite di un elemento intermedio sensibile alla temperatura ambiente.

Protezione contro la mancanza di fase

La curva di intervento di un relè di sovraccarico tripolare vale con il presupposto che le tre lamine bimetalliche siano attraversate dalla stessa corrente. Se per l'interruzione di un conduttore vengono riscaldate solo due lamine bimetalliche, queste devono sviluppare da sole la forza necessaria per comandare il meccanismo di sgancio. Questo richiede una corrente maggiore e porta a un tempo di intervento più lungo.

Se un motore fosse sovraccaricato con questa corrente elevata su due fasi per un tempo più lungo, sarebbe inevitabilmente danneggiato.

Per assicurare la massima protezione dei motori contro i sovraccarichi termici anche in reti asimmetriche e in caso di mancanza di una fase, esistono relè di

sovraccarico dotati di protezione contro la mancanza di fase “relè termico differenziale”.

In questo tipo di relè agiscono due cursori a scorrimento differenziale che in mancanza di una fase rendono il relè più sensibile al sovraccarico.

7.1.2.2 Relè elettronici di protezione contro i sovraccarichi

Nei relè di sovraccarico elettronici ritardati la corrente assorbita da ogni fase del motore viene rilevata attraverso riduttori di corrente. Questa corrente trasformata proporzionalmente in tensione viene poi raddrizzata e tramite un convertitore analogico/digitale tradotta al microprocessore. Il microprocessore elabora questo segnale secondo un programma stabilito e invia un segnale al relè di sgancio non appena si verifica un sovraccarico al motore.

Regolazione

I relè di sovraccarico sono provvisti di una rotella (bloccabile tramite una vite) con la quale si può effettuare la regolazione a un determinato valore nell'ambito del suo campo di regolazione. La scala di regolazione è tarata in ampere.

Un diodo luminoso può essere usato quale aiuto per la regolazione. Questo LED comincia a lampeggiare se la momentanea corrente di carico è maggiore della corrente di regolazione. Quando la corrente di carico raggiunge il 110%

della corrente di regolazione I_r impostata, la luce da lampeggiante diventa fissa, evidenziando così un prossimo sgancio.

Classe di intervento

Tramite un commutatore (regolazione della classe) posizionato sulla parte frontale dell'apparecchio possono venire impostate più classi di intervento.

Tempo di reinserzione

Il tempo di reinserzione deve permettere al motore di raffreddarsi dopo un intervento dovuto a un sovraccarico. Il tempo di reinserzione ammonta a 5 minuti ed è memorizzato nel microprocessore.

Caratteristica di intervento

Per la CLASSE 10 lo sgancio deve avvenire entro 10 sec. per un sovraccarico simmetrico tripolare con 7,2 volte la corrente di regolazione nella condizione di stato a freddo del relè di sovraccarico, per la CLASSE 30 entro 30. La corrente limite di intervento rientra tra 110 e 120% della corrente di regolazione. La tolleranza del tempo di intervento per sovraccarico è di circa $\pm 5\%$ max.

Sovraccarico asimmetrico

I motori asincroni trifase reagiscono a una piccola asimmetria della tensione di rete con un elevato assorbimento asimmetrico di corrente. A questo punto le perdite che si producono, generate dal campo contrario, portano a un aumento della temperatura nell'avvolgimento di statore e di rotore.

Il relè di sovraccarico elettronico rileva anche questo assorbimento asimmetrico di corrente del motore.

Con un'asimmetria della corrente del motore superiore al 40% il relè sgancia secondo la caratteristica di intervento per sovraccarico bipolare. Viene così garantita anche la protezione contro il sovraccarico del motore per mancanza di una fase.

Carico unipolare

I relè di sovraccarico elettronici sono stati realizzati per la protezione di motori asincroni trifase. Se questi relè devono essere impiegati per la protezione di un motore monofase, deve essere assicurato che il microprocessore riceva gli stessi segnali come per un carico tripolare. Per questo motivo i riduttori di corrente del relè di sovraccarico devono venir cablati in maniera particolare secondo le istruzioni di servizio.

Presenza di armoniche

I relè elettronici per la protezione contro i sovraccarichi, possono proteggere motori anche in reti con presenza di armoniche.

7.1.3 Dispositivi di protezione del motore contro il cortocircuito

L'avviatore, inteso come assieme del contattore e del relè termico, non è adatto a garantire la protezione del motore contro il cortocircuito, essenzialmente perché:

- il contattore ha un potere d'interruzione commisurato alla massima corrente di funzionamento del motore (a rotore bloccato), ma non è idoneo a sopportare e interrompere correnti di cortocircuito;
- il tempo d'intervento del relè termico, corrispondente alla corrente di cortocircuito, sarebbe troppo elevato.

Occorre pertanto completare la protezione con un dispositivo atto ad intervenire in condizioni di cortocircuito.

Fondamentalmente vi sono le soluzioni:

Fusibile, contattore e relè termico

Il contattore è usato per il comando del motore. La protezione contro i sovraccarichi del motore, dei cavi e dello stesso contattore è assunta dal relè termico, mentre contro i corto circuiti la protezione di tutti gli apparecchi è

demandata ai fusibili; esempio in Figura 7.6. Per questo motivo i campi di intervento dei diversi apparecchi di protezione devono essere coordinati tra loro e cioè:

- la caratteristica tempo-corrente del relè termico e del fusibile deve essere ritardata in modo da permettere l'avviamento del motore;
- il fusibile deve proteggere il relè termico prima del danneggiamento, per valori di corrente che superano di circa 15 volte la corrente nominale;
- il fusibile deve interrompere sovracorrenti che il contattore non è più in grado di interrompere, correnti superiori a circa 12 volte la corrente nominale del contattore, cioè deve proteggere il contattore in caso di cortocircuito.

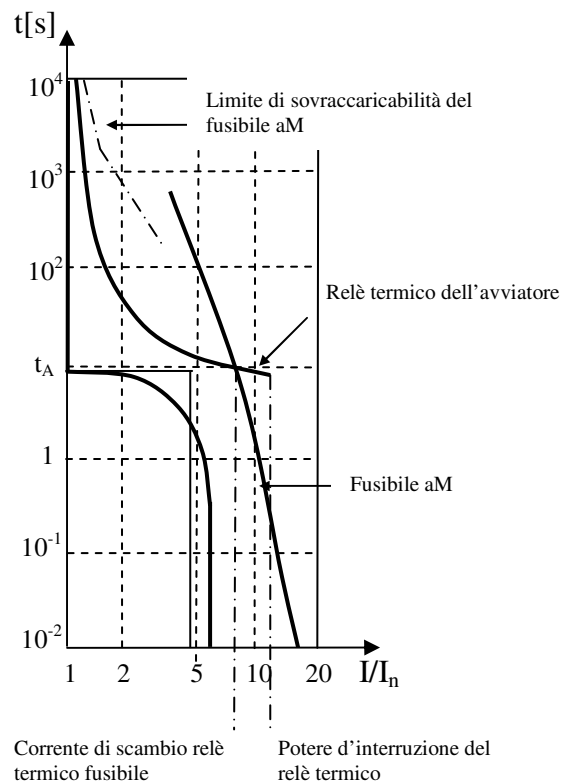


Figura 7.6

Quindi la corrente di scambio tra il relè termico e il fusibile, Figura 7.6, oltre la quale interviene cioè solo il fusibile, deve essere inferiore al potere d'interruzione dell'avviatore; quest'ultimo protegge il fusibile per piccole correnti di sovraccarico.

Nota:

- Il fusibile di tipo aM è scelto di corrente nominale uguale a quella del motore. Si può anche utilizzare un fusibile tipo gG di corrente nominale doppia rispetto a quella del motore.

Due sono i punti che devono essere osservati: non devono risultare incollamenti dei contatti del contattore oppure, in caso di leggero incollamento, essi devono poter essere facilmente separabili.

Con riferimento alle normative vigenti, secondo le CEI EN 60947-4-1, si possono ottenere i seguenti tipi di coordinamento, in funzione del tipo di danneggiamento del contattore:

Tipo 1: Richiede che in condizioni di cortocircuito, il dispositivo non provochi danni alle persone o alle installazioni pur potendo non essere in grado di funzionare ulteriormente senza riparazioni o sostituzioni di parti.

Tipo 2: Richiede che in condizioni di cortocircuito, il dispositivo non provochi danni alle persone o alle installazioni e sia in grado di funzionare ulteriormente. Il rischio della saldatura dei contatti è ammesso, nel qual caso

il costruttore deve indicare le misure da adottare per la manutenzione dell'apparecchio.

Il costruttore del contattore o avviatore indica il fusibile idoneo per proteggere il contattore o avviatore, inoltre deve precisare fino a quale corrente di cortocircuito, per quale tensione e il tipo di coordinamento.

E' opportuno che il relè sia di tipo differenziale, intervenga cioè per mancanza di fase; ciò è sempre consigliabile, ma in modo particolare in questo caso in cui una fase potrebbe essere interrotta dall'intervento del relativo fusibile.

Combinazione con interruttore automatico e contattore

Questo tipo di combinazione è caratterizzato dall'interruttore automatico, che assume la protezione contro le sovracorrenti e in particolare contro i sovraccarichi e i cortocircuiti, con relè termico regolabile, in modo da adattarlo alla corrente di targa I_n del motore, e con soglia di intervento dello sganciatore magnetico intorno a $10\div 12 I_n$ in modo da permetterne l'avviamento, Figura 7.7. Ai fini della protezione del motore la soglia di intervento istantaneo non dovrebbe superare $13 I_n$ secondo le norme americane (NEC) e $14 I_n$ secondo le norme tedesche (VDE).

Questa soluzione è adatta solo quando le manovre di avviamento e di arresto del motore sono poco frequenti e se non c'è pericolo di riavviamento intempestivo del motore dopo una mancanza o abbassamento di tensione.

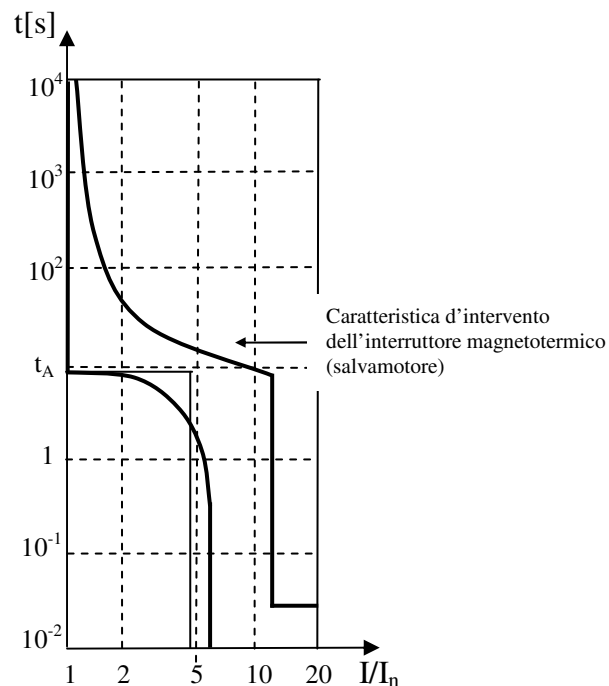


Figura 7.7

Il contattore assume la funzione di organo di manovra e aiuta l'interruttore automatico nella limitazione della corrente di cortocircuito in caso di guasto.

E' necessario considerare che l'interruttore automatico normalmente lascia passare un valore di energia specifica (i quadratoti) in caso di cortocircuito superiore di quello di un fusibile a pari condizioni, e che quindi il contattore si

trova sollecitato in maniera più gravosa. La scelta di un interruttore automatico al posto di una terna di fusibili non è quindi immediata.

La scelta degli apparecchi tra loro coordinati deve pertanto essere consigliata dal costruttore che ha verificato le caratteristiche dei singoli apparecchi e della combinazione.

Combinazione con interruttore automatico, contattore e relè termico

Alcune applicazioni richiedono combinazioni prive di fusibili dove oltre all'interruttore automatico e al contattore è necessario prevedere un relè termico supplementare.

Ciò è determinato dalle seguenti cause:

- sono richieste segnalazioni differenti per sovraccarico e cortocircuito.

L'interruttore automatico interviene in caso di cortocircuito e lo segnala.

Il relè termico interviene per sovraccarico e lo segnala. Il contattore assume la funzione di organo di manovra;

- l'interruttore automatico di solito ha una caratteristica termica in classe 10 e pertanto è adatto alla protezione di motori con tempi di avviamento entro i 10 secondi. Per motori con avviamento pesante e tempi di spunto fino a 30 secondi sono necessari relè termici appropriati.

Pertanto possono essere applicate due esecuzioni:

- interruttore automatico per avviatore. Questo tipo di interruttore non è equipaggiato con sganciatore termico. In caso di sovraccarico interviene il relè termico, Figura 7.8a;
- interruttore per protezione di motori. Lo sganciatore di sovraccarico dell'interruttore automatico viene regolato ad un valore sufficientemente elevato in modo che in caso di sovraccarico intervenga il relè termico, Figura 7.8b.

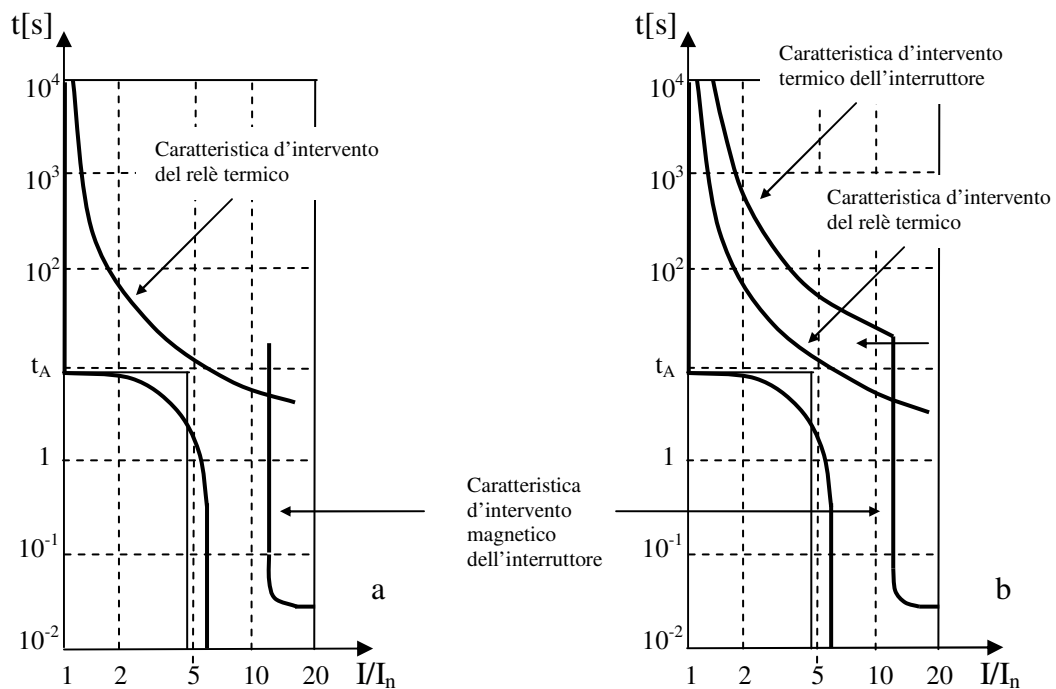


Figura 7.8

Come relè di sovraccarico possono essere impiegati:

- relè termico;
- relè di sovraccarico elettronico.

Anche in questi casi è necessario affidarsi alle indicazioni di coordinamento del costruttore.

7.1.4 Confronto tra protezione con fusibili e protezione con interruttori automatici

Consideriamo uguali la corrente nominale del fusibile e la corrente di regolazione dello sganciatore termico di sovraccarico ritardato dell'interruttore automatico.

La corrente limite di intervento di un fusibile si trova per esempio tra 1,3 e 1,6 volte la corrente nominale, mentre la corrente di soglia di intervento di uno sganciatore di sovraccarico si trova tra 1,05 e 1.3 volte la corrente di regolazione.

Con lo sganciatore di sovraccarico regolabile può essere tarata con maggior precisione, che con il fusibile, la sua corrente di regolazione e con essa la corrente limite di intervento della caricabilità permanente dell'apparecchio da proteggere.

Con il fusibile infatti è possibile solo un dimensionamento di massima basato sulla caricabilità nominale. La corrente limite del fusibile è sufficiente per la protezione contro i sovraccarichi di cavi e conduttori ma non sempre permette l'avviamento del motore.

Nel campo dei sovraccarichi la caratteristica tempo-corrente del fusibile è più ripida di quella dello sganciatore di sovraccarico ed è proprio ciò che si vuole per la protezione contro i sovraccarichi di cavi e conduttori, mentre per la protezione di motori è necessario che la caratteristica di intervento non sia troppo ripida.

Nel campo delle correnti di cortocircuito, l'interruttore automatico nei pressi della soglia di sgancio magnetico ha un intervento nettamente più rapido del fusibile. Al contrario le correnti più elevate sono interrotte più rapidamente dal fusibile che, inoltre, limita i picchi delle correnti di cortocircuito.

Limiti di protezione dei sistemi di protezione per motori

Nel servizio normale gli interruttori o le combinazioni contattore, relè termico, fusibili, offrono una adeguata protezione.

Nei casi invece di servizio anormale, come avviamenti e frenature troppo lunghi, elevate frequenze di manovra o marcia monofase, i termistori assicurano una protezione completa. La protezione mediante termistori è inoltre assicurata anche nei casi di aumento della temperatura, non tanto dovuta a un aumento della corrente assorbita, ma bensì derivante per esempio da una diminuzione del mezzo refrigerante.

7.1.5 Indicazioni sulla protezione di motori

Protezione di motori trifasi compensati

Per compensare la potenza reattiva di un motore, generalmente si inseriscono e si disinseriscono con il motore dei condensatori che sono allacciati in parallelo al motore stesso. La maggioranza della corrente reattiva richiesta dal motore, scorre solo nel gruppo motore-condensatore.

La corrente attiva e piccola parte della reattiva, attraversano l'apparecchio di manovra e il relè termico, pertanto questi devono essere dimensionali su questi valori di corrente.

La corrente di regolazione I_r si calcola (considerando un rifasamento a $\cos\varphi' = 0,9$ a parità di corrente attiva $I_n \cdot \cos\varphi$):

$$I_n \cos\varphi = I_r \cos\varphi' \Rightarrow I_r = I_n \cos\varphi / 0,9$$

dove I_n e $\cos\varphi$ sono quelli riportati sulla targhetta del motore.

Esempio:

Motore asincrono trifase a 1500 giri/min, quattro poli, potenza nominale 22 kW a 400V 50Hz, corrente nominale $I_n = 43$ A, fattore di potenza $\cos\varphi = 0,83$. Si attua una compensazione a un $\cos\varphi = 0,9$.

La corrente di regolazione è:

$$I_r = 40A \cdot 0,83 / 0,9 = 36,8A$$

Protezione di motori a poli commutabili

Un motore asincrono trifase a poli commutabili con un avvolgimento, due velocità e un senso di rotazione fornisce, secondo il numero di giri, un diverso livello di potenza e assorbe corrispondentemente correnti diverse. Alla velocità maggiore si ha maggiore potenza e un assorbimento maggiore di corrente.

E' perciò necessario, per ogni velocità, un relè termico la cui corrente di regolazione I_r deve essere determinata in base alla corrente nominale della velocità corrispondente.

Protezione di motori ad avviamento pesante

Si ha un'avviamento pesante quando il motore deve vincere un'elevata coppia resistente e perciò richiede un tempo di avviamento maggiore di 10 sec. Questo è il caso per esempio delle centrifughe e dei ventilatori di grande diametro, di masse volaniche con velocità elevata e di nastri trasportatori. Per la protezione di questi motori si impiegano i tradizionali relè termici per avviamento pesante, oppure relè elettronici di sovraccarico adatti anche per avviamento pesante (CLASSE di sgancio > 20).

Protezione di motori di media tensione

Per la protezione contro il sovraccarico di motori di media tensione si usano relè termici allacciati sul secondario di TA.

Per proteggere i motori di media tensione contro i cortocircuiti possono essere impiegati fusibili o interruttori automatici.

Gli interruttori automatici possono proteggere contro il cortocircuito grossi motori, per i quali non esistono i fusibili adatti.

7.1.6 Protezione di motori a sicurezza aumentata Ex e

Alcuni componenti elettrici nel servizio ordinario non producono archi o scintille, né raggiungono sovratemperatures pericolose, ad esempio un motore asincrono trifase con rotore in cortocircuito; essi possono costituire una sorgente d'innesco di un'atmosfera esplosiva solo in occasione di guasti.

Nota:

- la sigla Ex sta per: contro il pericolo di esplosione.

Da queste premesse discende il concetto informatore del modo di protezione a sicurezza aumentata “e”: ridurre al minimo la probabilità di guasto di un componente elettrico, che non produce archi, scintille o temperature pericolose nel funzionamento normale. In altre parole, il modo di protezione “e” consiste nell'applicare alle costruzioni elettriche misure che permettano di

evitare, con un elevato coefficiente di sicurezza, la formazione di archi o scintille e lo stabilirsi di temperature eccessive in componenti elettrici che non ne producono in servizio ordinario.

Le prescrizioni costruttive che rendono la costruzione Ex-e più sicura, rispetto a una costruzione normale, sono ad esempio:

- aumento delle distanze superficiali e distanze in aria;
- scelta di materiali isolanti di alta qualità e non igroscopici;
- sezioni sovrabbondanti delle parti conduttrici ai fini termici e meccanici;
- protezione contro gli effetti di urti e vibrazioni, in particolare nel serraggio dei conduttori;
- grado di protezione dell'involucro non inferiore a IP44 (IP54 se l'involucro contiene parti attive non isolate).

Condizioni critiche di sicurezza si verificano nei motori Ex-e nel funzionamento a rotore bloccato; l'elevata corrente di avviamento I_A rischia di surriscaldare il motore oltre i limiti di temperatura ammissibili.

Come primo passo è necessario osservare che i motori devono essere protetti contro riscaldamenti inammissibili dovuti a sovraccarico. Come dispositivi di protezione elenchiamo:

- dispositivi di protezione contro i sovraccarichi con sganciatore ritardato dipendente dalla corrente;
- dispositivi per controllo della temperatura con rivelatori a termistori.

Le norme definiscono il tempo di riscaldamento t_E come il tempo necessario perché l'avvolgimento del motore, che si trovi a regime termico e alla massima temperatura ambiente, percorso dalla corrente di avviamento I_A , raggiunga la temperatura limite. La temperatura limite è la più bassa temperatura tra quella corrispondente alla classe d'isolamento del motore e quella relativa alla classe di temperatura per la quale il motore è previsto, Tabella 3. L'andamento delle temperature e il tempo t_E sono indicati in Figura 7.9; a seguito del blocco del rotore la temperatura del motore, già a regime, aumenta rapidamente (curva tratteggiata), fino a raggiungere, nel tempo t_E la temperatura considerata pericolosa per l'innesco della miscela o per l'isolante del motore (temperatura limite).

Classe di temperatura	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Massima temperatura superficiale (°C)	450	300	200	135	100	85

Tabella 3

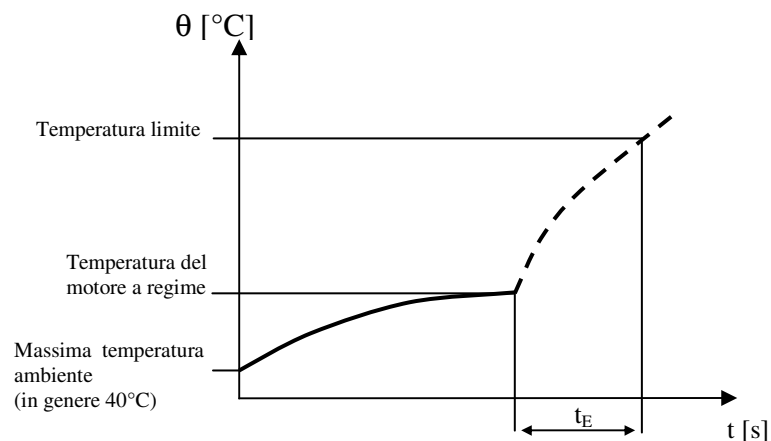


Figura 7.9

Le norme CEI 31-7 impongono che per i motori in esecuzione Ex-e il tempo di riscaldamento t_E non sia inferiore ai minimi indicati in Figura 7.10, in funzione del rapporto I_A/I_n , con un minimo assoluto di 5 s.

Il relè termico, posto a protezione del motore in esecuzione Ex-e, deve intervenire, a rotore bloccato, entro il tempo limite t_E e permettere l'avviamento del motore.

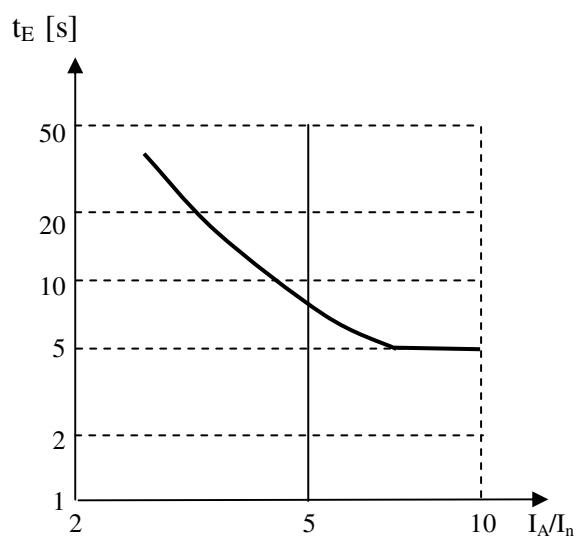


Figura 7.10

La caratteristica d'intervento deve pertanto passare al di sotto del punto $(I_A/I_n, t_E)$, cioè tempo d'intervento dev'essere minore di t_E , e sopra il punto $(I_{Ae}/I_n, t_A)$, per permettere l'avviamento, Figura 7.11.

In genere il relè termico può soddisfare a questa condizione se l'avviamento del motore non è particolarmente gravoso.

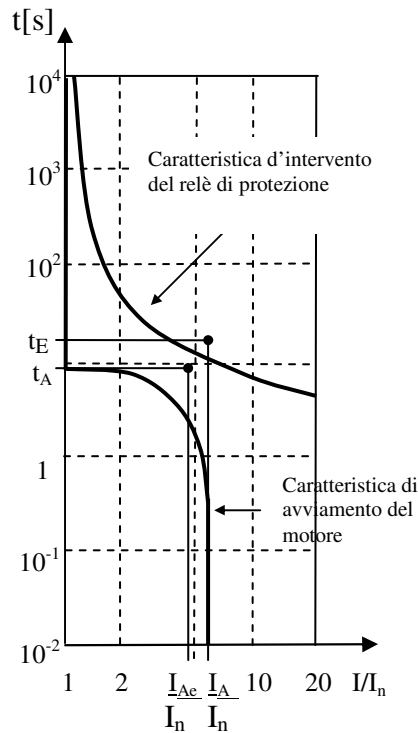


Figura 7.11

7.1.7 Contattori elettronici

L'impiego di semiconduttori di potenza (tiristori, triac, GTO, IGBT, ecc.) ha permesso di realizzare dispositivi elettronici in grado di controllare e interrompere la corrente, assumendo così la funzione di contattori statici.

Detti contattori sono trattati dalla norma CEI 17-38.

I semiconduttori sono controllati tramite circuiti di pilotaggio che forniscono loro gli impulsi atti a portarli in conduzione.

Questi circuiti possono operare un controllo a tutto o niente, nel qual caso i dispositivi funzionano come interruttori, oppure intervenire regolando anche l'angolo di conduzione, realizzando così la regolazione della corrente e della tensione sul carico.

In entrambi i casi questi dispositivi non sono in grado di proteggere dai cortocircuiti, ma devono essere a loro volta protetti perché sovracorrenti anche di breve durata porterebbero alla loro distruzione. Tenuto conto del modesto iquadratoti che i semiconduttori sono in grado di sopportare, la protezione può essere realizzata esclusivamente con fusibili extrarapidi, il cui iquadratoti sia inferiore a quello sopportabile dai semiconduttori.

Nel caso di dispositivi con regolazione a tutto o niente, anche la protezione contro i sovraccarichi dovrà essere attuata con un relè esterno, che potrà però intervenire sui semiconduttori bloccandone gli impulsi di accensione.

Nel caso invece di dispositivi con regolazione dell'angolo di conduzione, il circuito di pilotaggio può agire su quest'angolo, riducendolo qualora la corrente assorbita superi il valore prefissato, e realizzando così la limitazione della corrente stessa. Questa regolazione rende in molti casi superflua la protezione contro i sovraccarichi, qualora il valore di corrente limitato possa essere sopportato dal carico per un tempo indeterminato. In altri casi il controllo dovrà essere più elaborato, permettendo un certo sovraccarico per un tempo limitato. La regolazione dell'angolo di conduzione permette inoltre di ottenere un avviamento più graduale, limitando la corrente di spunto, e qualche volta permettendo anche una certa regolazione della velocità. Si ricorda che i dispositivi a semiconduttore non possono adempiere a funzioni di sezionamento, pertanto i fusibili sono montati su di un sezionatore-fusibile,

munito di un contatto ausiliario che aprendosi con un certo anticipo rispetto ai contatti principali blocca il funzionamento dei semiconduttori, per consentire la manovra in assenza di corrente.

Talvolta si hanno soluzioni ibride, con la presenza sia di componenti elettromeccanici sia a semiconduttore. Per esempio, relativamente al comando di un motore con frequenti inversioni di marcia, il contattore elettromeccanico ha funzioni di inserzione e protezione, mentre il dispositivo elettronico, inserito su due sole fasi, comanda l'inversione controllando la corrente assorbita dal motore.

Protezione degli azionamenti a velocità variabile

Gli azionamenti a velocità variabile sono essenzialmente di due tipi:

- con convertitore c.a./c.c. a tensione variabile e motore a corrente continua;
- con convertitore c.a./c.a. a tensione e frequenza variabili e motore in corrente alternata.

Gli azionamenti con motore a c.c. comportano un convertitore diretto a tiristori, e possono avere funzionamento unidirezionale (un solo senso di marcia, senza frenatura elettrica) o reversibile (doppio senso di marcia, con frenatura a ricupero).

In entrambi i casi, la protezione dei tiristori viene realizzata con fusibili extrarapidi, come per i contattori elettronici, posti sulla linea di alimentazione (monofase o trifase); nel caso di azionamenti reversibili occorre disporre un fusibile anche sul lato c.c., per proteggere da sovracorrenti in fase di recupero.

La protezione contro i sovraccarichi viene normalmente effettuata, mediante la limitazione di corrente, dal circuito di regolazione. Quando però la corrente, per esigenze del carico regolato, deve essere superiore alla corrente nominale del motore, occorre disporre un'ulteriore protezione contro i sovraccarichi, con un normale relè termico, o tramite integrazione della sovracorrente effettuata dallo stesso circuito di regolazione.

Nel caso di convertitore rigenerativo, è necessario che all'arresto il contattore di linea ritardi la sua apertura fino all'arresto effettivo del motore, per consentire la frenatura con recupero in rete.

Negli azionamenti con motore in corrente alternata si ha una doppia conversione:

- una prima, dalla rete a c.a. alla corrente continua, di solito a tensione fissa e quindi con un raddrizzatore a diodi;
- una seconda dalla corrente continua alla corrente alternata a frequenza variabile, di solito realizzata con inverter a transistori o a IGBT; per le potenze più elevate, con GTO o tiristori.

Per quanto riguarda il primo raddrizzatore, la protezione sarà effettuata anche qui con fusibili extrarapidi, mentre per l'inverter, se è realizzato con transistori o IGBT, è in genere sufficiente la protezione effettuata tramite la limitazione di corrente, eventualmente integrata da un relè termico; se invece è attuata con tiristori o GTO, questi devono essere protetti anche con fusibili extrarapidi.

7.2 Protezione di trasformatori

7.2.1 Trasformatori di potenza in reti radiali

I trasformatori permettono una certa sovraccaricabilità, tuttavia il valore e la durata del sovraccarico dipendono dall'andamento del carico permanente e dalla temperatura del mezzo refrigerante.

Sul lato bassa tensione, nel caso di trasformatori di potenza non troppo elevata, la protezione è assicurata da fusibili, mentre in generale trova impiego l'interruttore automatico.

Se si prevede l'interruttore automatico questo deve avere un potere di interruzione che sia pari o superiore alla corrente di cortocircuito sul lato bassa tensione.

Per la protezione da sovraccarico, lo sganciatore termico viene regolato sulla corrente nominale del trasformatore.

Per la protezione contro il cortocircuito si impiega generalmente uno sganciatore elettromagnetico istantaneo, ma nel caso sorgano problemi di selettività con interruttori o fusibili a valle, si usa uno sganciatore a breve ritardo eventualmente abbinato con uno sganciatore istantaneo di sovracorrente.

7.2.2 Protezione di due trasformatori in parallelo

Nel collegamento di più trasformatori in parallelo, Figura 7.12, è necessario che tutti i trasformatori interessati abbiano lo stesso rapporto di trasformazione a vuoto, la medesima v_{cc} e medesimo $\cos\varphi_{cc}$, e nel caso di trasformatori trifase dovranno soddisfare alla condizione di appartenenza allo stesso gruppo.

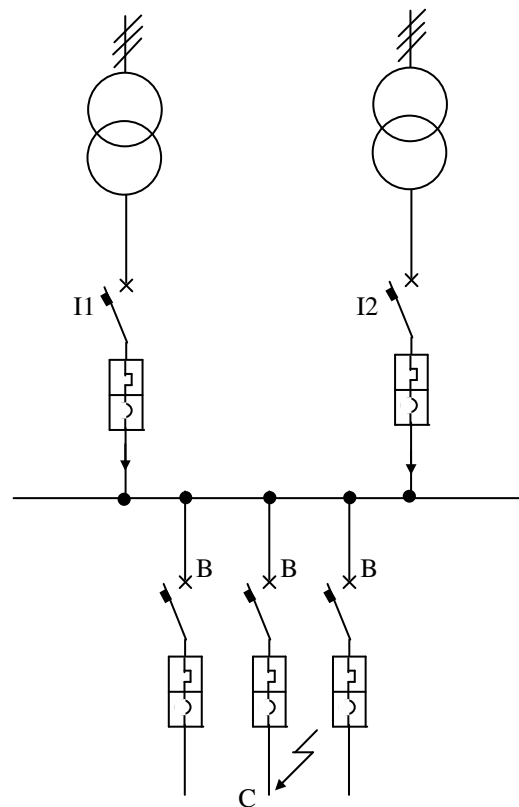


Figura 7.12

Anche nel caso di due trasformatori in parallelo di pari potenza, è più usato l'interruttore automatico, il cui potere di interruzione I_{cu} corrisponde alla corrente di cortocircuito di uno dei trasformatori.

Considerando la Figura 7.12, gli interruttori in B possono avere un I_{cu} inferiore alla I_{cc} in C se associati a interruttori normali con i quali opereranno in back-up.

Devono invece avere $I_{cu} >$ di I_{cc} se associati ad interruttori selettivi, cioè dovranno provvedere da soli all'interruzione della corrente.

7.2.3 Protezione di tre trasformatori in parallelo di pari potenza

Nel caso di tre trasformatori in parallelo, per un cortocircuito nel punto 1, Figura 7.13,

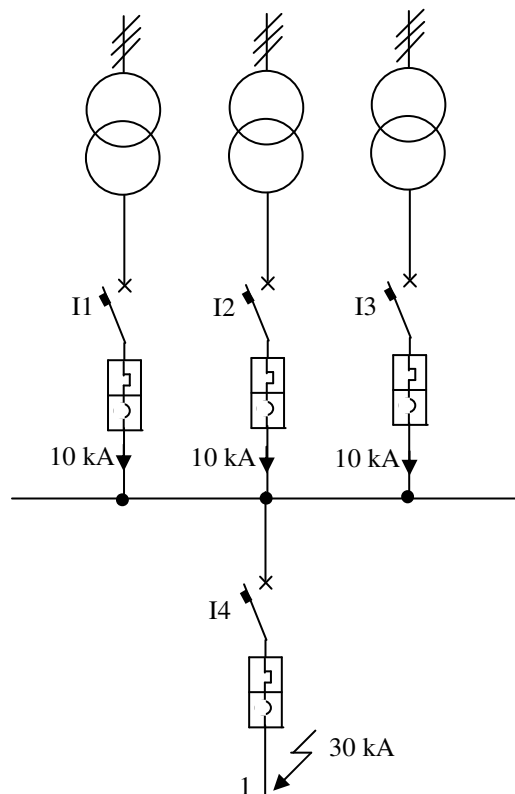


Figura 7.13

in ognuno dei tre interruttori fluisce la corrente di cortocircuito del proprio trasformatore.

Per un cortocircuito nel punto 2 , Figura 7.14, fluiscono verso l'interruttore I1 le correnti di cortocircuito di ambedue gli altri trasformatori. L'interruttore deve avere in questo caso un potere di interruzione pari a due volte la corrente di cortocircuito. L'interruttore I4 deve essere previsto in ogni caso per la somma delle correnti di cortocircuito.

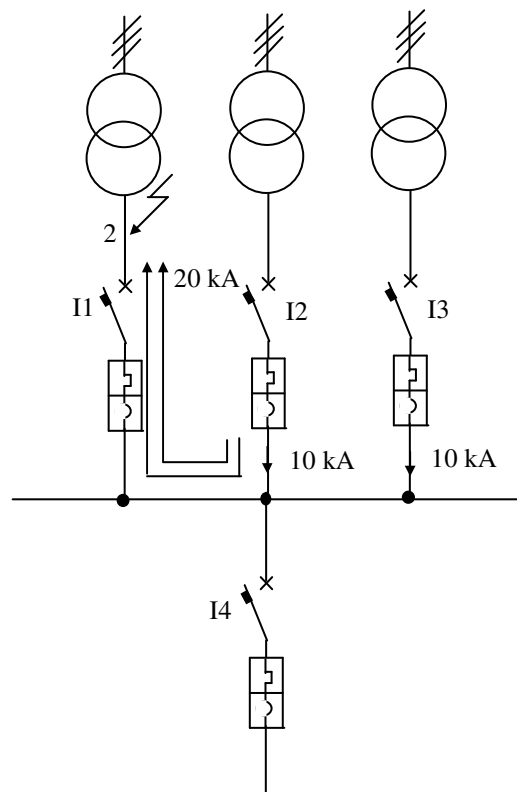


Figura 7.14

Trasformatori di potenza in reti a maglia

In una rete a maglia con alimentazione mediante più conduttori di alta tensione e più trasformatori si vuole evitare, in caso di guasto in una stazione di trasformazione o in un cavo di alta tensione, il ritorno di alimentazione al punto di guasto dalla rete di bassa tensione. Perciò si usa un interruttore di rete a maglia, che è un interruttore tripolare senza sganciatore di sovraccarico ma con sganciatore per rete a maglia. In caso di guasto l'interruttore viene comandato da un relè per rete a maglia che provoca l'intervento dello sganciatore. I relè per reti a maglia vengono impiegati in molteplici casi di reti a maglia di bassa tensione per l'apertura in tempi molto brevi e selettiva, in condizione di disservizio dei cavi. Il relè rileva l'inversione di direzione dell'energia se, in presenza di un cortocircuito lato alta tensione di un cavo di alimentazione di una rete a maglia, scorre una corrente troppo elevata tra la rete e il trasformatore del cavo difettoso.

7.3 Protezione di condensatori

Le unità di condensatori devono essere adatte per l'esercizio permanente, secondo le CEI EN 60831-1, con una corrente il cui valore efficace non superi 1,3 volte il valore della corrente che fluisce con tensione e frequenza nominali. In pratica, la norma ammette che ogni batteria di condensatori possa sopportare costantemente un sovraccarico del 30% dovuto alle correnti armoniche.

Oltre alla presenza di armoniche, si deve anche tener conto che è ammessa una tolleranza del +10% sul valore reale della capacità.

Di conseguenza i cavi di alimentazione e i dispositivi di manovra e protezione devono essere sovradimensionati.

Sulla base di questo dimensionamento, nella maggior parte dei casi di comando di unità di condensatori, si rinuncia alla protezione contro i sovraccarichi.

Solo in reti con elevate componenti di armoniche può crearsi, in seguito all'effetto di risonanze, un sovraccarico di corrente nel condensatore.

I condensatori, formano con il collegamento in serie della reattanza del trasformatore e di cortocircuito della rete, un circuito oscillante parallelo. Ciò deriva dalla risonanza, quando la frequenza propria del circuito oscillante supera o si avvicina alla frequenza di una delle armoniche generate. Per

ovviare a questo problema, si inseriscono nel circuito del condensatore opportune reattanze limitatrici oppure circuiti filtro.

7.3.1 Scelta dei dispositivi di protezione per condensatori

Gli interruttori di comando e protezione delle batterie di condensatori di rifasamento devono soddisfare le seguenti condizioni:

- Garantire la tenuta della protezione istantanea (magnetico) alle forti correnti transitorie che si verificano durante la fase di inserzione della batteria.
- Sopportare le sovracorrenti dovute all'eventuale presenza di armoniche di tensione nella rete (+30%) e della tolleranza sui dati nominali di capacità dei condensatori (+10%), così come previsto dalle norme.

La corrente massima per il dimensionamento del circuito di un condensatore risulta pari a 1,43 la corrente nominale del condensatore (I_c).

- Avere un potere di interruzione adeguato al valore di guasto (cortocircuito) previsto nell'impianto.

Il potere di interruzione degli interruttori deve essere scelto in funzione della massima corrente di cortocircuito prevista nel punto di installazione

Gli interruttori automatici da utilizzare devono avere caratteristiche di intervento istantaneo (magnetico), per la protezione da cortocircuito, elevate.

Se per la protezione contro i sovraccarichi viene inserito un relè termico ritardato, questo può essere regolato su una corrente pari a $1,3 \div 1,43$ volte la corrente nominale del condensatore, perché la tolleranza ammissibile della capacità permette che la corrente del condensatore (+10% per la tolleranza sui dati nominali della capacità, +30% per la presenza di componenti armoniche) sia:

$$I = 1,1 \cdot 1,3 I_c = 1,43 I_c$$

con I_c corrente assorbita dalla batteria di condensatori al valore di tensione dell'impianto U .

Gli sganciatori con riduttori di corrente possono essere negativamente influenzati dalle armoniche e pertanto produrre sganci intempestivi.

Per la protezione contro i cortocircuiti vengono inseriti generalmente fusibili NH con classe di servizio gL/gG.

Per evitare l'intervento del fusibile nel campo dei sovraccarichi e all'inserzione dei condensatore, la corrente nominale del fusibile va fissata su un valore pari a $1,6 \div 1,7$ volte la corrente nominale del condensatore.

La sezione dei cavi da utilizzare per l'alimentazione delle batterie di condensatori devono essere dimensionate per portare una corrente $I_b = 1,43 I_c$. Ciò è consigliabile, come detto prima, per tenere conto delle componenti

armoniche eventualmente presenti +30% e della tolleranza sul valore nominale della capacità dei condensatori +10%.

$$I_b = 1,3 \cdot 1,1 \cdot I_c = 1,43 I_c$$

Con I_b massima corrente assorbita dalla batteria di condensatori e I_c corrente assorbita dalla batteria di condensatori alla tensione dell'impianto.