

CAPITOLO IV

COMPONENTI DELL'IMPIANTO ELETTRICO

RELÈ

1. Generalità

Il verificarsi di condizioni di funzionamento anormali in un sistema elettrico potrebbe avere conseguenze anche gravissime qualora non si intervenisse tempestivamente; ad esempio, nel caso di un cortocircuito, vi sarebbero sopraelevazioni di temperatura inammissibili, ingenti sforzi elettrodinamici, abbassamenti di tensione, e così via. È, quindi, indispensabile che siano presenti sistemi di protezione, capaci di avvertire la presenza di tali condizioni e di renderne possibile la tempestiva eliminazione.

Gli apparecchi di manovra, non hanno in sé la capacità di percepire la presenza della condizione anormale di funzionamento; essi, infatti, pur essendo capaci di effettuare la “manovra” di interruzione della corrente, non hanno in sé alcun elemento che li comandi ad effettuare tale manovra. In poche parole, gli apparecchi di manovra non sono in grado, da soli, di svolgere la funzione completa di protezione se ad essi non si associa un altro componente capace di percepire la presenza di una condizione di funzionamento anormale e di comandare, di conseguenza, l'apparecchio di manovra stesso all'intervento. Il *relè* svolge tale funzione; esso, cioè, costituisce l'elemento sensibile del sistema di protezione: il suo compito è di tenere sotto controllo una grandezza indicativa delle condizioni di funzionamento del sistema (tensione, corrente, frequenza, temperatura, ecc.) e di comandare all'intervento un opportuno apparecchio di manovra quando tale grandezza assume valori al di fuori dei valori ammissibili.

Il simbolo grafico C.E.I. del relè è quello riportato nella fig.IV.1. Al carattere "*" va sostituito un carattere alfanumerico che si differenzia in base al tipo di relè (fig.IV.2 a). Nella pratica corrente, a livello nazionale ed internazionale, sono spesso usati anche i simboli delle Norme ANSI (American National Standards Institute); queste norme impiegano, in luogo del carattere alfanumerico, un numero (fig.IV.2 b).

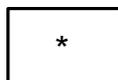


Fig. IV.1 - Simbolo grafico C.E.I. del relè.

I relè impiegati nei sistemi elettrici non sono normalmente interessati dalle tensioni e dalle correnti del sistema, ma da grandezze ad esse proporzionali, ottenute per mezzo di opportuni circuiti di accoppiamento realizzati mediante trasformatori di corrente (TA) e di tensione (TV). Questi circuiti di accoppiamento hanno lo scopo di:

- ridurre le correnti e le tensioni del sistema a valori che consentano di lavorare in condizioni di sicurezza per il personale ed al tempo stesso permettano di alimentare i relè con valori normalizzati (ad esempio 5 A per le correnti, 100 V per le tensioni);
- isolare i relè dal circuito primario.

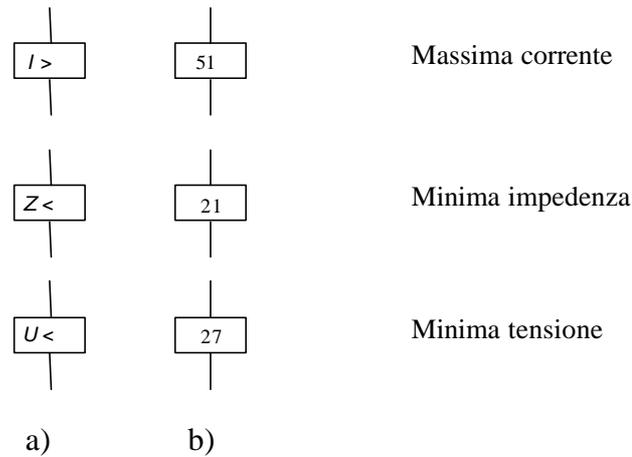


Fig. IV.2 - Simboli grafici dei relè secondo le norme CEI (a) e le norme ANSI (b)

2. Classificazione dei relè

I relè possono essere classificati in base al tempo di intervento o in base alle caratteristiche costruttive (fig.IV.3).

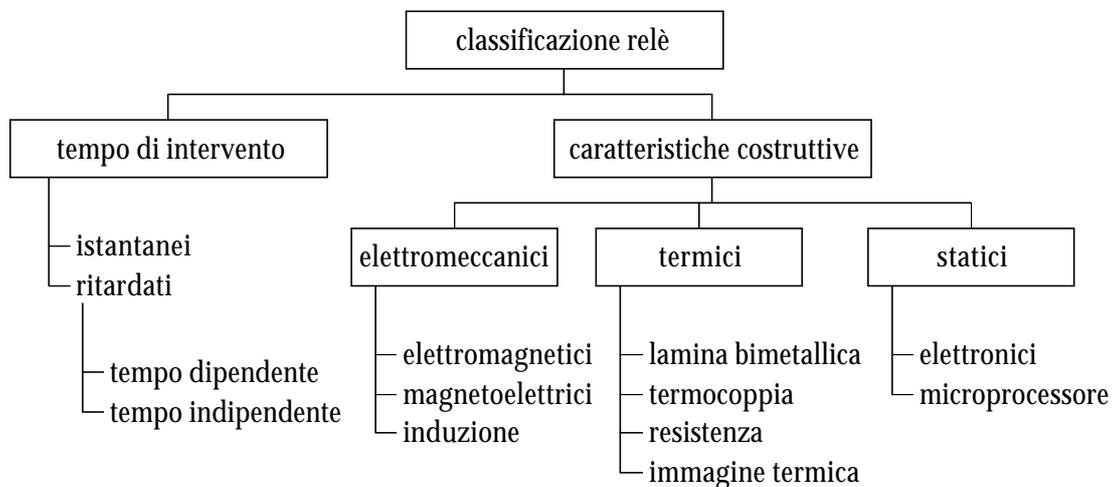


Fig.IV.3 - Possibili classificazioni dei relè

La classificazione in base al tempo di intervento fa riferimento all'intervallo che intercorre tra l'istante in cui la grandezza controllata supera un valore di riferimento e l'istante in cui viene inviato il segnale ai circuiti comandati dal relè.

In base ai valori che assume il tempo di intervento si hanno:

- relè ad azione istantanea,
- relè ad azione ritardata.

Nei relè ad azione istantanea il tempo di intervento è praticamente nullo, ad

esempio 15 ms.

Nei relè ad azione ritardata è presente un ritardo più o meno lungo; essi sono a loro volta distinti in relè:

- a tempo dipendente, in cui il tempo di intervento è inversamente proporzionale all'entità della grandezza controllata;
- a tempo indipendente, in cui il tempo di intervento è fisso e non dipende dall'entità della grandezza controllata.

A ciascuno dei succitati tipi di relè si associa una diversa caratteristica di intervento, intendendosi per questa la curva che riporta l'andamento del tempo di intervento del relè in funzione della generica grandezza Y cui il relè è sensibile.

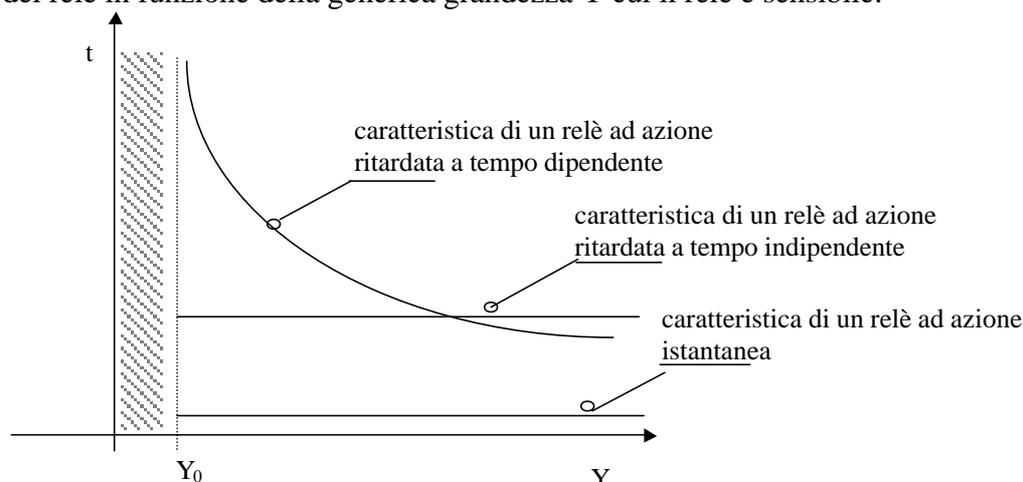


Figura IV.4 - Caratteristiche di intervento dei relè di massima

Nella fig.IV.4, che riporta le caratteristiche di intervento di un relè di massima, Y_0 è il valore al di sopra del quale il relè deve comunque intervenire e rappresenta, quindi, il valore di taratura o valore di soglia di intervento del relè, mentre la zona tratteggiata indica il campo di non intervento.

Per quanto riguarda la classificazione dei relè in base alle caratteristiche costruttive, i relè possono essere (fig.IV.3):

- di tipo elettromeccanico, il cui funzionamento avviene attraverso lo spostamento relativo di elementi meccanici sotto l'azione di forze generate da correnti elettriche proporzionali alle grandezze da controllare;
- di tipo termico, il cui funzionamento è legato alle variazioni di temperatura;
- di tipo statico, il cui funzionamento avviene con l'ausilio di circuiti elettronici di tipo analogico e/o digitale.

I relè di tipo elettromeccanico si possono dividere, a loro volta, in:

- elettromagnetici,
- magnetoelettrici,
- ad induzione.

I relè termici si possono dividere, a loro volta, in:

- a lamina bimetallica,
- a termocoppia,
- a resistenza,

- ad immagine termica.

I relè statici si possono dividere, a loro volta, in:

- di tipo elettronico,
- di tipo a microprocessore.

Nel seguito verranno analizzati unicamente i principali tipi di relè impiegati negli impianti di media e bassa tensione, facendo riferimento alla classificazione in base alle caratteristiche costruttive, la più frequentemente impiegata; quando necessario, verrà richiamata anche la allocazione dei singoli tipi di relè nell'ambito dell'altro tipo di classificazione. Dopo aver analizzato i vari tipi di relè secondo quanto detto, verrà, poi, descritto un ulteriore tipo di relè, quello differenziale, che per motivi di chiarezza di esposizione è meglio analizzare a sè stante.

3. Relè elettromeccanici

Nel prosieguo verranno presi in considerazione solo i relè di tipo elettromagnetico e di tipo ad induzione.

3.1 Relè di tipo elettromagnetico

Nei relè elettromagnetici, di cui la fig.IV.5 è un esempio, è sempre presente un elettromagnete. Quando circola corrente \bar{I} nell'avvolgimento dell'elettromagnete si produce nel circuito formato dal nucleo, dal traferro e dall'armatura mobile un flusso $\bar{\Phi}_T$. L'armatura mobile diviene, pertanto, sede di una forza di attrazione \bar{F}_m il cui modulo è proporzionale, come ben noto, al quadrato del valore efficace del flusso al traferro; a tale forza si oppone una forza resistente \bar{F}_r esercitata da una molla antagonista. Se la forza di attrazione è maggiore della forza resistente, l'armatura mobile si sposta verso l'alto e viene data continuità elettrica tra i contatti fissi attraverso il contatto mobile, con la conseguenza che vengono alimentati i circuiti comandati dal relè.

A seconda che l'avvolgimento dell'elettromagnete sia connesso in serie o in derivazione al circuito protetto si ha un flusso al traferro, e quindi una forza \bar{F}_m , proporzionale alla tensione (relè voltmetrico) o alla corrente (relè amperometrico).

Il relè elettromagnetico è intrinsecamente un relè ad azione istantanea. Per ottenere un relè ad azione ritardata a tempo indipendente la parte mobile mette in funzione un dispositivo di temporizzazione che interviene con il ritardo desiderato. Agendo, invece, sul tempo richiesto al compimento della corsa dell'armatura mobile con un adeguato dispositivo smorzatore, realizzato ad esempio attraverso un pistone che si muove in un cilindro contenente un liquido (olio, glicerina) o, semplicemente aria, si può realizzare un relè ad azione ritardata a tempo dipendente.

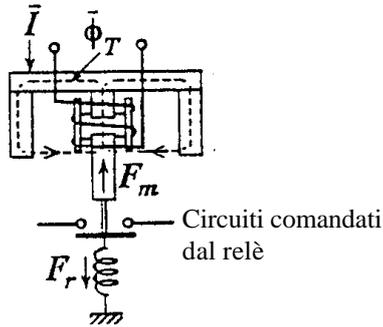


Fig. IV.5 – Relè elettromagnetico

3.2 Relè di tipo ad induzione

I relè ad induzione sono in genere costituiti (fig.IV.6) da un leggero disco di rame o di alluminio girevole montato tra le espansioni di due elettromagneti le cui bobine sono opportunamente inserite nel circuito che si vuole proteggere.

Gli avvolgimenti del relè sono alimentati in corrente alternata e creano due flussi $\bar{\phi}_1$ e $\bar{\phi}_2$ che, a loro volta, inducono correnti nel disco. L'interazione tra queste correnti ed i flussi che le hanno generate dà luogo ad una coppia elettromagnetica risultante, agente sul disco, pari a $C_m = K\phi_1\phi_2 \sin \theta$, dove θ è lo sfasamento tra i flussi. Se C_r è la coppia fornita dalla molla, l'equazione di equilibrio del relè è data da:

$$C_m = K\phi_1\phi_2 \sin \theta = C_r \quad (IV.1)$$

che, se verificata, mantiene il disco fermo. Opportuni valori di ϕ_1 , ϕ_2 o θ possono determinare la rotazione del disco e l'equipaggio mobile ad esso solidale può determinare la chiusura di contatti all'uopo predisposti.

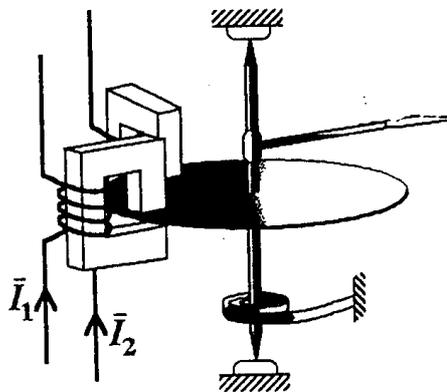


Fig IV.6 - Relè ad induzione

Sfruttando tale principio di funzionamento, anche se con accorgimenti costruttivi diversi, si possono realizzare relè sensibili a qualsiasi grandezza elettrica: tensione (relè voltmetrici), corrente (relè amperometrici), potenza attiva (relè wattmetrici), potenza reattiva (relè varmetrici), e così via.

In particolare, per i motivi illustrati nel seguito, risulta interessante l'uso di tali relè quali relè wattmetrici, in particolare del tipo direzionale, e varmetrici. Il relè wattmetrico si ottiene, detti \bar{V} ed \bar{I} i valori della tensione e della corrente nel punto di installazione del relè, facendo in modo che il flusso $\bar{\phi}_1$ sia proporzionale a $j\bar{V}$ e $\bar{\phi}_2$ proporzionale alla corrente \bar{I} (fig.IV.7).

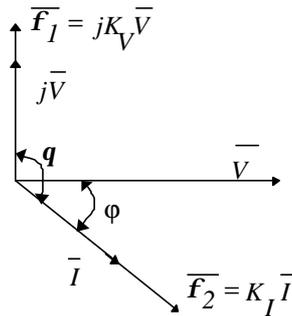


Fig.IV.7 - Principio di funzionamento di un relè ad induzione wattmetrico

Infatti, detto φ lo sfasamento tra tensione e corrente, poiché risulta:

$$\begin{cases} \bar{\phi}_1 = jK_V \bar{V} \\ \bar{\phi}_2 = K_I \bar{I} \\ \sin \theta = \sin(90^\circ + \varphi) = \cos \varphi , \end{cases}$$

l'equazione di equilibrio (IV.1) del relè diventa:

$$C_m = K K_V K_I V I \cos \varphi = K_T VI \cos \varphi = C_r \quad (IV.2)$$

$$VI \cos \varphi = C_r / K_T .$$

Quando la coppia motrice risulta maggiore di quella resistente, l'equipaggio mobile ruota chiudendo i contatti, dando, quindi, luogo all'intervento del relè. Ciò accade quando la potenza attiva risulta maggiore del valore C_r/K_T . Se si assume, allora, come valore di taratura del relè il valore:

$$P_o = C_r / K_T , \quad (IV.3)$$

si sarà realizzato il relè che interviene ogni volta che la potenza attiva vista dal suo punto di installazione risulta maggiore del valore di taratura dello stesso. Per tale motivo il relè è detto wattmetrico.

Ponendo nella (IV.2) $C_r = 0$, eliminando cioè l'azione della molla antagonista, si ottiene un relè sensibile al solo verso della potenza attiva fluente nel punto in cui è inserito il relè.

Infatti (fig.IV.8) quando lo sfasamento tra la tensione e la corrente nel punto in cui è installato il relè è compreso nell'intervallo $(-90^\circ, +90^\circ)$, la potenza attiva $VI\cos\varphi$ che fluisce attraverso lo stesso e la coppia C_m che agisce sull'equipaggio mobile ($C_m=K_T VI\cos\varphi$) sono positive, in quanto il coseno è positivo: l'equipaggio mobile del relè ruoterà in un certo verso, ad esempio quello orario. Se, invece, lo sfasamento tra la tensione e la corrente è compreso nell'intervallo $(90^\circ, +270^\circ)$, la potenza attiva $VI^*\cos\varphi^*$ che fluisce attraverso il relè e la coppia C_m che agisce sull'equipaggio mobile ($C_m=K_T VI^*\cos\varphi^*$) sono negative, in quanto il coseno è negativo: il relè ruoterà nel verso opposto al precedente, ad esempio quello antiorario.

Il relè è, quindi, in grado di discriminare se la potenza attiva che fluisce attraverso il relè stesso è positiva o negativa. Per tale motivo il relè è detto relè wattmetrico direzionale o, più semplicemente, relè direzionale.

L'equazione di equilibrio di un relè direzionale è:

$$VI \cos \varphi = 0 \quad (IV.4)$$

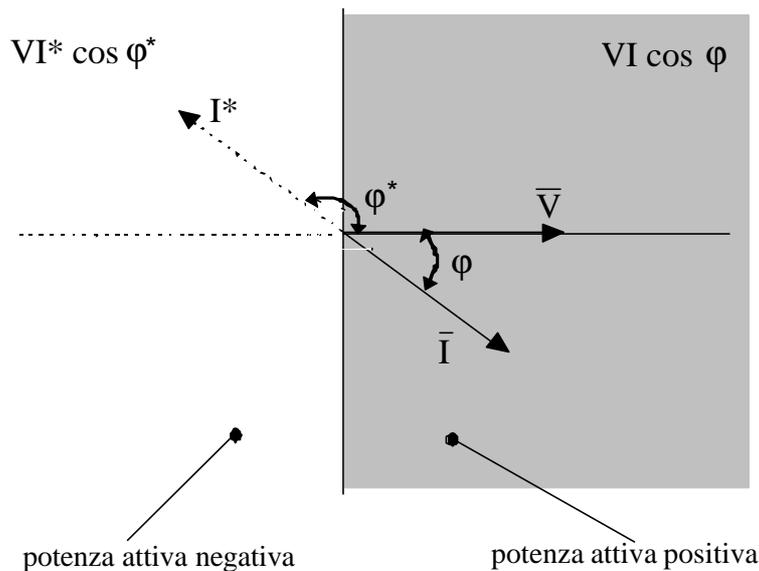


Figura IV.8 - Principio di funzionamento di un relè direzionale

E' evidente che per realizzare un relè wattmetrico basterà fare in modo che sia:

$$\bar{\phi}_1 = K_V \bar{V}$$

$$\bar{\phi}_2 = K_I \bar{I}$$

$$\sin \theta = \sin \varphi.$$

4. Relè termici

I relè termici sono intrinsecamente dei relè ad azione ritardata a tempo dipendente: essi intervengono cioè quando la grandezza controllata supera il valore di taratura, con un ritardo che è inversamente proporzionale all'entità di tale grandezza. Poichè la temperatura è in genere strettamente correlata alla corrente che interessa il componente protetto, la grandezza elettrica che viene controllata dai relè termici è la corrente, per cui la caratteristica di intervento di un relè termico si presenta come riportato nella fig.IV.9.

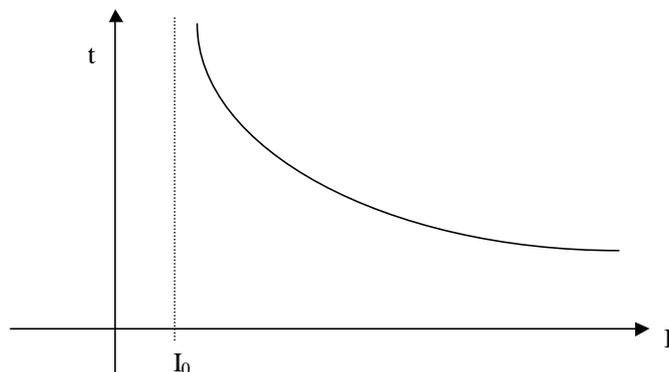


Fig IV.9 - Caratteristica di intervento di un relè termico

Dall'insieme di un relè elettromagnetico ad azione istantanea e di un relè termico si ha un tipo di relè, di uso pressochè universale nel campo dei sistemi di prima categoria: il relè magnetotermico, la cui caratteristica di intervento è riportata nella fig.IV.10. Questi relè vengono tarati in modo tale che:

- per sovracorrenti non troppo elevate (fino a circa 6÷8 volte la corrente nominale del circuito da proteggere) interviene il relè termico (zona T della fig.IV.10);
- per sovracorrenti superiori interviene il relè magnetico (zona M della fig.IV.10).

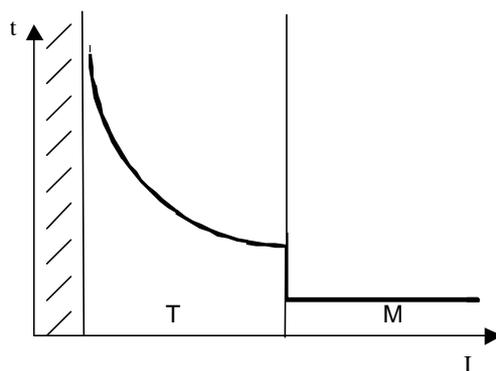


Fig. IV.10 - Caratteristica di intervento di un rele magnetotermico

4.1 Relè a lamina bimetallica

In questi relè è presente una lamina bimetallica che si incurva quando viene riscaldata chiudendo o aprendo dei contatti fissi. Il riscaldamento della lamina bimetallica può avvenire:

- direttamente (fig.IV.11 a)), quando la corrente attraversa la lamina bimetallica stessa;
- indirettamente (fig.IV.11 b)), quando è un altro elemento ad essere sede di generazione di calore.

La lamina bimetallica è costituita da due lamine metalliche a diverso coefficiente di dilatazione. Durante il riscaldamento la lamina di metallo termo-attivo si dilata notevolmente, mentre quella di metallo termoinerte si deforma molto meno.

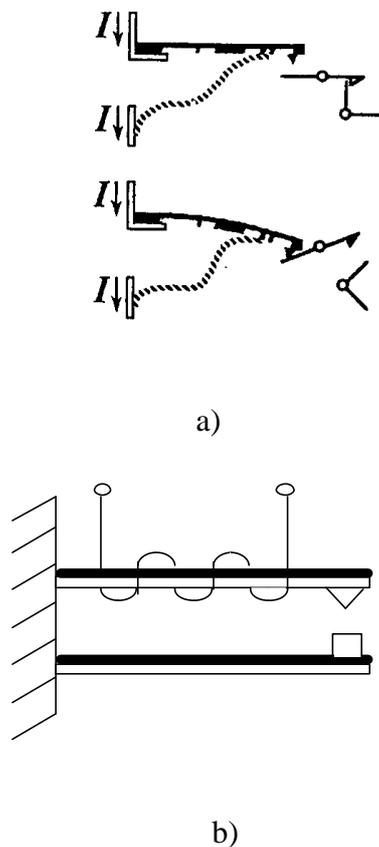


Fig. IV.11 - Relè a lamina bimetallica: a) a riscaldamento diretto, b) a riscaldamento indiretto

Se un'estremità della bilamina è fissata rigidamente e l'altra è libera, complessivamente la bilamina si incurva. I limiti di elasticità dei due metalli componenti devono essere elevati per evitare che si presenti una deformazione plastica alla fine del ciclo di riscaldamento e di raffreddamento.

4.2 Relè a termocoppia

In questi relè una termocoppia trasforma ogni variazione di temperatura del componente protetto in una corrispondente variazione di forza elettromotrice, che può essere facilmente misurata.

4.3 Relè a resistenza

In questi relè si sfrutta il fatto che la resistenza di un conduttore è funzione della sua temperatura. L'elemento sensibile è costituito essenzialmente da un piccolo resistore metallico, avente un alto coefficiente di variazione della resistenza con la temperatura. Il controllo della temperatura nel punto in cui l'elemento sensibile viene disposto si riduce allora alla misura della resistenza dell'elemento stesso, che in genere forma il lato di un ponte di Wheastone.

4.4 Relè a immagine termica

Questo tipo di relè è usato per la protezione delle macchine contro le sovratemperature; esso non controlla direttamente, come si è visto nei tipi di relè termometrici prima considerati, la temperatura della macchina o in genere dell'apparecchio protetto, ma consente di riprodurre fedelmente tale temperatura in un dispositivo che appunto viene chiamato immagine termica dell'apparecchio protetto. Il controllo della temperatura viene, poi, eseguito grazie alla immagine termica.

5. Relè statici

5.1 Relè di tipo elettronico

I relè statici di tipo elettronico possono essere suddivisi in:

- *relè a comparazione di ampiezza,*
- *relè a comparazione di fase,*
- *relè cronometrici o temporizzatori.*

I *relè a comparazione di ampiezza* sono relè nei quali viene comparata l'ampiezza di due segnali, ad esempio l'ampiezza di un segnale con un riferimento fisso o le ampiezze di due grandezze alternate isofrequenziali.

I *relè a comparazione di fase* sono relè che misurano la fase relativa fra due grandezze alternate isofrequenziali.

I *relè cronometrici o temporizzatori* sono relè che hanno lo scopo di ritardare opportunamente l'intervento di altri relè al fine di realizzare la caratteristica di intervento desiderata.

I principali vantaggi dei relè statici di tipo elettronico rispetto agli elettromeccanici sono:

- elevata velocità di risposta;
- ritorno rapido alle condizioni iniziali (assenza di inerzie meccaniche);
- maggiore sensibilità a causa degli elevati fattori di amplificazione;

- maggiore flessibilità.

Per contro i relè statici di tipo elettronico presentano, a causa della presenza di elementi molto delicati quali sono i componenti elettronici, i seguenti svantaggi:

- uno spostamento delle caratteristiche con la temperatura, con l'invecchiamento e con i campi elettromagnetici;
- una vulnerabilità alle sovratensioni e alle sovratemperature ambiente;
- una scarsa capacità di sovraccarico.

Tali problemi possono, tuttavia, essere superati con l'aggiunta di opportuni dispositivi (ad esempio filtri, schermature, etc.).

5.2 Relè a microprocessore

L'impiego del microprocessore nei relè statici ha permesso di realizzare notevoli progressi rispetto a quelli di tipo elettronico.

I relè statici a microprocessore (fig.IV.12) colloquiano con il sistema elettrico mediante unità di interfaccia che:

- effettuano i campionamenti delle grandezze analogiche da controllare,
- convertono tali campioni in valori digitali.

Tali relè, a volte, possono ricevere dal sistema elettrico anche informazioni direttamente in digitale, ad esempio stato di un interruttore (ON- OFF).

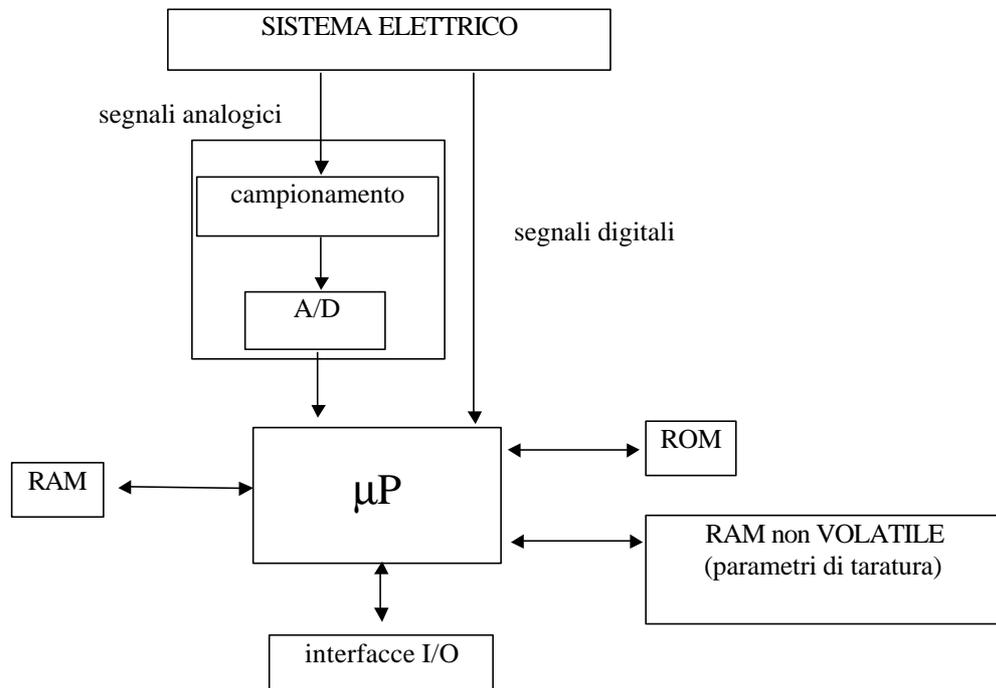


Fig. IV.12 - Schema a blocchi di un relè statico a microprocessore.

Il microprocessore (μP) è chiamato a svolgere la funzione di controllo sulle grandezze di interesse; in particolare esso esegue un programma scritto in un qualunque

linguaggio e tradotto in codice assemblativo che viene memorizzato in opportune memorie fisse chiamate ROM (Read Only Memory) o PROM (Programmable ROM) o EPROM (Erasable PROM) o EEPROM (Electrically EPROM). Il programma esegue delle operazioni matematiche per stabilire se le grandezze controllate assumono valori diversi da quelli di riferimento ed in funzione dei risultati ottenuti invia, tramite le unità di uscita di interfaccia I/O, i segnali per il comando dei circuiti di segnalazione, del dispositivo di apertura dell'interruttore, etc. I valori di riferimento (parametri di taratura del relè), sono memorizzati in unità denominate RAM non VOLATILI che, a differenza delle unità RAM (memoria ad accesso random), mantengono i dati memorizzati anche in caso di mancanza di alimentazione.

Le unità RAM vengono utilizzate come serbatoi temporanei di dati necessari per l'esecuzione delle operazioni richieste dal programma.

Spesso i sistemi a μP hanno possibilità di dialogare tra loro, e quindi di trasmettere dati ad altri dispositivi posti anche in luoghi differenti.

I vantaggi dell'uso dei microprocessori sono molteplici, ad esempio:

- versatilità dei relè, nel senso che, a parità di hardware, basta modificare il software del microprocessore per poterlo impiegare come relè di tipo differente;
- possibilità di auto diagnosi (maggiore affidabilità);
- possibilità di colloquio con calcolatori remoti il che permette un controllo ottimale del sistema elettrico, in quanto l'intervento locale viene preso anche sulla base dello stato di funzionamento dell'intero sistema;
- riduzione dei cablaggi e quindi minori costi.

6. Relè differenziale

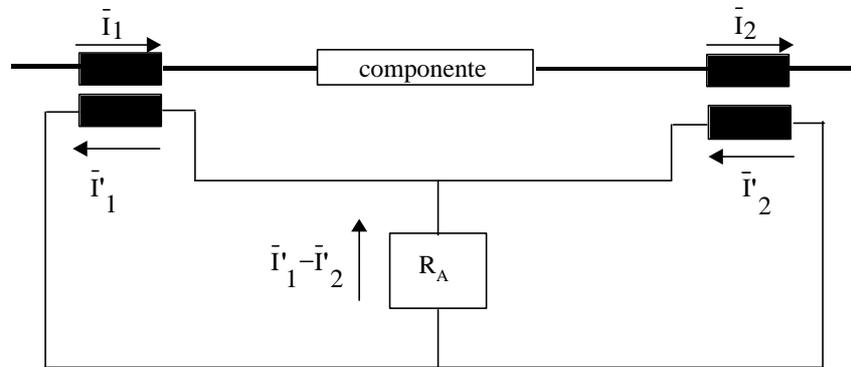
Il relè differenziale è un relè che interviene quando la differenza tra due grandezze elettriche supera un determinato valore. L'applicazione più comune del relè differenziale è il relè differenziale di corrente (relè amperometrici differenziali).

Una prima applicazione dei relè amperometrici differenziali è nella protezione contro i cortocircuiti interni a componenti del sistema elettrico. In tali relè, vengono confrontate le correnti all'ingresso e all'uscita del componente da proteggere (fig.IV.13) Il relè interviene quando la differenza tra le correnti è diversa da zero, cioè quando la corrente in ingresso è differente da quella in uscita al componente; questo si verifica in caso di cortocircuito all'interno del componente.

Un altro tipo di relè differenziale, oggi di impiego pressochè universale nei sistemi di prima categoria, è il cosiddetto relè differenziale "salvavita" (fig.IV.14). Questo relè è costituito da un nucleo magnetico attorno al quale sono avvolti i conduttori di andata e ritorno di alimentazione di una parte di impianto o di un componente che si vuole proteggere.

In condizioni normali le due correnti sono uguali per cui il flusso all'interno del nucleo magnetico è praticamente nullo: nulla si induce, pertanto, nel terzo avvolgimento presente sul nucleo stesso. Questo avvolgimento è, infatti, percorso da corrente solo se avviene un cortocircuito monofase a terra nella parte di impianto o nel componente protetto; solo in questo caso le due correnti sono diverse tra loro e, quindi, risulta

diverso da zero il flusso risultante nel nucleo magnetico: una f.e.m. si induce, pertanto, nel terzo avvolgimento presente.



R_A =relè amperometrico

Fig. IV.13 - Relè amperometrico differenziale.

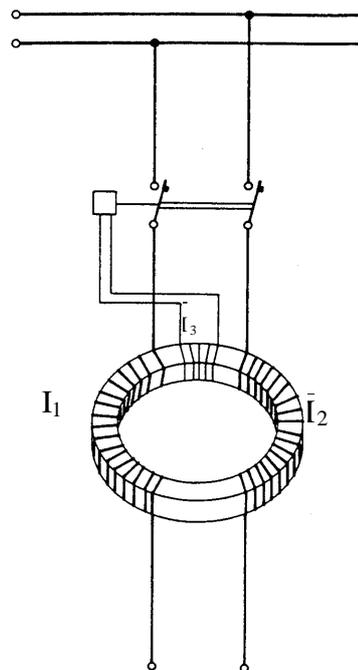


Fig. IV.14 - Relè amperometrico differenziale per sistemi di prima categoria