

ELETTROMECCANICA

Concetti Fondamentali

Unità di misura del S.I.

Denominazione	Simbolo	Unità SI	Nome	Osservazioni
1. UNITA' BASE				
Massa	<i>m</i>	kg	kilogrammo	
Lunghezza	<i>s</i>	m	metro	
Tempo	<i>t</i>	s	secondo	
Temperatura assoluta	<i>T</i>	K	Kelvin	0°C = 273.16 K
Temperatura	<i>t, θ</i>	°C	Grado Celsius	
2. UNITA' COMPOSTE				
Raggio	<i>r</i>	m	metro	
Angolo	<i>α, β, γ, δ, ε, φ</i>	1	Radiante (m/m)	
Area, Sezione	<i>A, S</i>	m ²	metro quadro	
Volume	<i>V</i>	m ³	metro cubo	
Velocità	<i>v</i>	m s ⁻¹	metri al secondo	
Velocità angolare	<i>ω</i>	s ⁻¹	radianti al secondo	
Accelerazione	<i>a</i>	m s ⁻²	metri al secondo quadrato	
Inerzia	<i>J</i>	m ² kg		
Forza	<i>F</i>	N	Newton	= kg m s ⁻²
Peso	<i>G</i>	N	Accelerazione di gravità	9.80665 m s ⁻²
Lavoro	<i>W</i>	J	Joule = Newton per metro	= kg m ² s ⁻²
Energia	<i>E, W</i>	J	Joule	
Momento	<i>M</i>	J	Joule	
Potenza	<i>P</i>	W	Watt	= J s ⁻¹

Multipli e sottomultipli di uso più frequente

Prefisso	Fattore di moltiplicazione	Simbolo	Valore
Tera	10^{12}	T	1000000000000
Giga	10^9	G	1000000000
Mega	10^6	M	1000000
kilo	10^3	k	1000
etto	10^2	h	100
deca	10^1	da	10
unità	10^0		1
deci	10^{-1}	d	0.1
centi	10^{-2}	c	0.01
milli	10^{-3}	m	0.001
micro	10^{-6}	μ	0.000001
nano	10^{-9}	n	0.000000001
pico	10^{-12}	p	0.000000000001

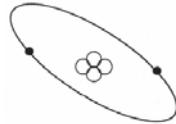
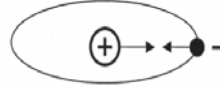
La struttura della materia

- I materiali (nel nostro caso i metalli) sono composti di elementi base che si chiamano atomi, gli atomi sono a loro volta composti da altre parti più complesse quali gli elettroni, i protoni, ed i neutroni. Questi tre elementi stanno all'interno dell'atomo e più precisamente protoni e neutroni compongono il nucleo, mentre gli elettroni orbitano attorno al nucleo a distanze diverse dal centro.
- Questi elementi possiedono una carica elettrica, e ogni elettrone o protone costituisce una carica fondamentale. Gli elettroni hanno carica negativa, i protoni hanno carica positiva.

ATOMO

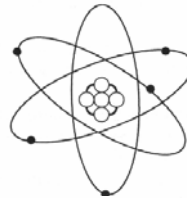
Attorno al nucleo ruotano gli ELETTRONI secondo orbite stabilite per ciascuno di essi, in numero proporzionale alle cariche positive del nucleo.

Il nucleo e l'elettrone si attraggono vicendevolmente essendo carichi di elettricità di segno opposto.



Struttura atomica dell'ELIO

2 protoni (positivi)
2 neutroni (particelle senza carica)
2 elettroni



Struttura atomica del BORO

5 protoni
4 neutroni
5 elettroni su orbite diverse

Lo studio dell'elettrotecnica consiste nell'esame dei fenomeni che si verificano per effetto dell'azione degli elettroni.

Cariche elettriche

Le cariche elettriche sono corpi costituiti da atomi che hanno ceduto o acquistato un certo numero di elettroni.

La carica di un elemento è data dalla somma algebrica delle singole cariche fondamentali e costituisce la *quantità di carica* (simbolo **Q**). Come tutte le grandezze fisiche, la quantità di carica ha un' unità di misura che è il **Coulomb** (simbolo **C**) che vale circa $6,24 \cdot 10^{18}$ elettroni, quindi

la carica di un elettrone è pari a $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

La forza di attrazione o repulsione tra due cariche è direttamente proporzionale al prodotto delle quantità di carica, e inversamente proporzionale al quadrato della distanza delle cariche e dipende dalla natura del mezzo.

$$F = \epsilon \times \frac{Q1 \times Q2}{d^2}$$

F = forza in newton
ε = costante dielettrica del mezzo (per il vuoto vale $8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m)
Q1, Q2 = cariche elettriche in coulomb
D = distanza in metri

Corrente Elettrica

Le cariche elettriche grazie alla forza di attrazione e repulsione hanno la capacità di muoversi nei corpi, ed in special modo nei metalli (conduttori), in realtà non sono gli elettroni che si spostano per tutto il tragitto, essi si urtano l'uno con l'altro scambiandosi l'energia senza doversi spostare eccessivamente.

Lo spostamento di cariche che avviene in un determinato lasso di tempo, viene denominato circolazione di **corrente elettrica (I)**, che si misura in *Ampere* (pronuncia ampere, simbolo A). Possiamo quindi scrivere che:

$$I = \frac{Q}{t}$$

I = corrente elettrica in ampere
Q = quantità di carica in coulomb
t = tempo in secondi

Potenziale elettrico

Quando in un conduttore c'è circolazione di corrente, significa che ai suoi capi c'è carica elettrica diversa.

Possiamo affermare che l'**energia potenziale** (simbolo E), è la quantità di energia utile per muovere una carica Q al potenziale V.

$$E = Q * V$$

E = energia potenziale in joule
Q = quantità di carica elettrica in coulomb
V = potenziale elettrico in volt

L'energia potenziale utile a spostare una carica, è direttamente proporzionale al prodotto della quantità di carica da spostare per il potenziale elettrico

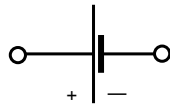
Il potenziale elettrico è quindi il rapporto tra l'energia potenziale accumulata in una carica diviso la carica stessa.

$$V = \frac{E}{Q}$$

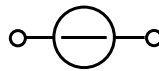
E = energia potenziale in joule
Q = quantità di carica elettrica in coulomb
V = potenziale elettrico in volt

Generatore di Tensione e Corrente

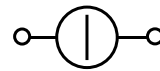
- Il potenziale elettrico, è stato studiato da Alessandro Volta, dal quale si è ricavata l'unità di misura **Volt** (simbolo **V**)
- Sovente il potenziale elettrico viene denominato *tensione elettrica*
- Per mantenere una d.d.p. costante tra due poli di un circuito è necessario utilizzare un *generatore di tensione*, il quale ha la capacità di mantenere una d.d.p. sempre costante ai capi
- Si parla di *generatore di corrente* quando la corrente che circola tra i due morsetti è costante



Accumulatore
(batteria)



Simbolo del
generatore di
tensione



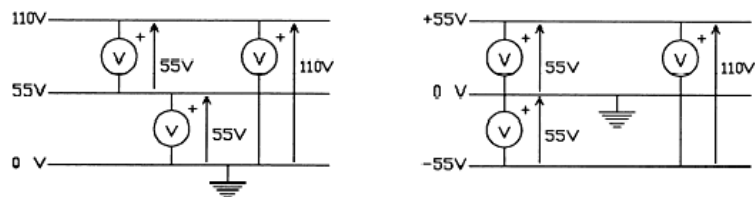
Simbolo del
generatore di
corrente

Generazione di Tensione e Corrente

- Le tensioni vengono generate con procedimenti diversi
Alcuni esempi:
 - movimento di bobine in un campo magnetico:
 - E' il caso della dinamo, dell'alternatore, del microfono etc.
 - variando la pressione o la trazione di cristalli (es. quarzo):
 - E' il caso dei generatori piezoelettrici usati per l'accensione dei bruciatori a gas;
 - riscaldamento del punto di giunzione di due metalli diversi; si ottiene una tensione di alcuni millivolt:
 - E' il caso della termocoppia utilizzata per misure di temperatura;
 - processi chimici:
 - E' il caso delle batterie o accumulatori

Rappresentazione circuitale

- Le frecce indicano la direzione della tensione, dal potenziale più basso (-) al potenziale più alto (+)
- Le misure si effettuano anche tra i punti che hanno una tensione definita rispetto alla massa, ad es. Tra punti a potenziale 150V e 60V rispetto a massa. In questo caso lo strumento indica appunto la differenza tra tali potenziali ($150V - 60V = 90V$);
- In ogni caso il morsetto del voltmetro contrassegnato con + è sempre collegato al punto a potenziale più alto

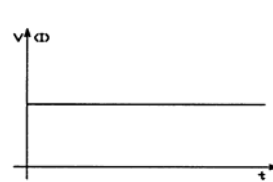


Il punto di riferimento può essere anche spostato. In questo caso cambiano i valori del potenziale, ma le d.d.p. (tra gli stessi punti) restano le stesse.

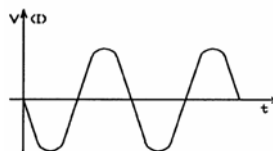
Tipi di tensione

I generatori di tensione possono produrre tensione continua o alternata
Il termine continua/alternata ha significato con riferimento ai valori assunti dalla tensione al variare del tempo

Tensione continua: Mantiene il suo valore costante nel tempo. E' il caso della tensione generata da una dinamo, da batterie, dagli alimentatori regolati e stabilizzati che convertono alternata in continua.

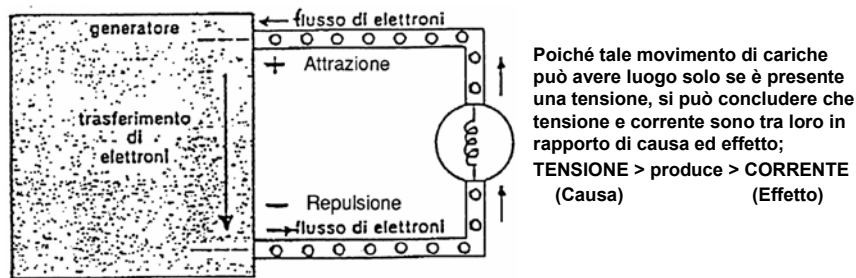


Tensione alternata: Cambia la polarità in modo periodico alternativo. E' il caso della tensione generata dagli alternatori delle centrali elettriche e fornite dalla rete pubblica alle abitazioni ed agli impianti industriali



Corrente elettrica

- Si colleghi un generatore di tensione ad un utilizzatore:
- Tenendo conto delle forze che agiscono sugli elettroni, gli stessi acquistano un movimento dal polo - al polo + del generatore nel circuito esterno ed un trasferimento di elettroni dal polo + al polo- all'interno del generatore stesso
- Il verso dello spostamento degli elettroni può essere spiegato tenendo conto che:
 - cariche dello stesso segno si respingono
 - cariche di segno opposto si attirano
- Al flusso ordinato degli elettroni è associato un movimento di cariche in una determinata direzione, quindi di una *corrente elettrica*



Misura della corrente

- La direzione convenzionale della corrente è opposta a quella degli elettroni
- Pertanto la direzione convenzionale della corrente va dal morsetto + al morsetto - nel circuito esterno (utilizzatore) e dal morsetto - al morsetto + all'interno del generatore
 - Per quanto riguarda l'utilizzatore si dice che la corrente ha direzione dal morsetto a potenziale più alto verso quello a potenziale più basso
- L'intensità di corrente è la quantità di carica che attraversa la sezione di un conduttore in un secondo
- Il simbolo della corrente è I , l'unità di misura è l'AMPERE (A).
- Dato che la tensione è la causa della corrente, se in un circuito c'è una tensione continua, avremo una corrente continua: il movimento delle cariche avviene solo in una direzione
- Se in un circuito c'è tensione alternata, anche la corrente sarà alternata: la corrente alternata cambia periodicamente la sua direzione.

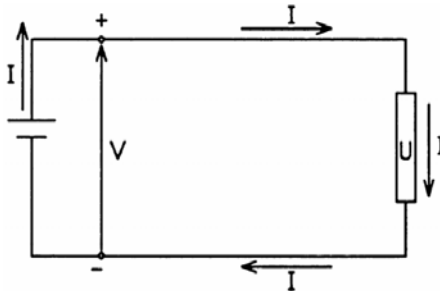
Circuito elettrico

Un circuito elettrico è formato da:

- Generatore di tensione
- Conduttore di collegamento
- Utilizzatore

Nel generatore di tensione si ha una trasformazione di energia di natura diversa (meccanica, chimica etc.) in energia elettrica.

Nell'utilizzatore l'energia elettrica viene trasformata nella forma di energia desiderata (es. meccanica: è il caso del motore elettrico; termica etc.) quindi l'utilizzatore è, in pratica, un CONVERTITORE



Legge di Ohm

Il movimento degli elettroni è ostacolato dagli urti con gli ioni atomici che fanno parte della struttura del conduttore. Questo ostacolo al flusso degli elettroni viene quantificato con una grandezza denominata RESISTENZA ELETTRICA misurata in OHM.

Le tre grandezze (V – I – R) sono legate fra loro dalla dipendenza dell'intensità di corrente

1 - dalla tensione, a resistenza costante

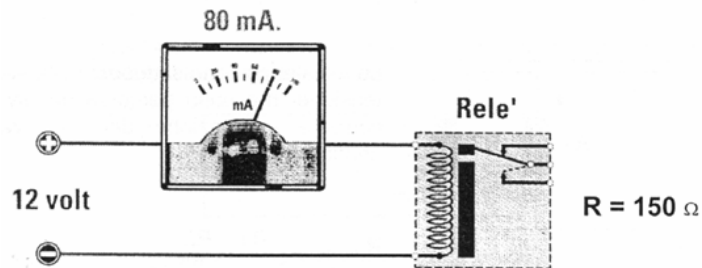
2 - dalla resistenza, a tensione costante

La legge di Ohm precisa che l'intensità di corrente I è direttamente proporzionale alla tensione V e inversamente proporzionale alla resistenza R.

Le relazioni possibili sono le seguenti:

$$I = \frac{V}{R} \quad R = \frac{V}{I} \quad V = R \times I$$

Calcolo della corrente



$$I = \frac{12}{150} = 0,08 \text{ A} = 80 \text{ mA}$$

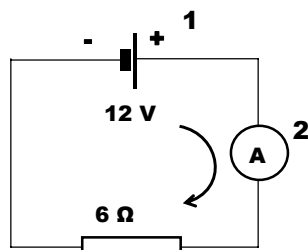
Multipli e sottomultipli di uso più frequente

Prefisso	Fattore di moltiplicazione	Simbolo	Valore
Tera	10^{12}	T	1000000000000
Giga	10^9	G	1000000000
Mega	10^6	M	1000000
kilo	10^3	k	1000
etto	10^2	h	100
deca	10^1	da	10
unità	10^0		1
deci	10^{-1}	d	0.1
centi	10^{-2}	c	0.01
milli	10^{-3}	m	0.001
micro	10^{-6}	μ	0.000001
nano	10^{-9}	n	0.000000001
pico	10^{-12}	p	0.000000000001

Sistema Metrico

Grandezza	Unità primaria	Unità normalmente usate
Corrente(I)	Ampere(A)	Milliampere (mA) = 10^{-3} Amp Microampere (μ A) = 10^{-6} Amp Nanoampere(nA) = 10^{-9} Amp
Tensione(V)	Volt (V)	MilliVolt (mV) = 10^{-3} Volt MicroVolt (μ V) = 10^{-6} Volt
Resistenza(R)	Ohm (Ω)	Kiloohm (k Ω) = 10^3 Ohm Megaohm (M Ω) = 10^6 Ohm

Applicazione della Legge di Ohm



$$I = V / R = 12 / 6 = 2 \text{ Ampere}$$

1. rappresenta una batteria a 12 V con l'indicazione del polo positivo e negativo
2. rappresenta un amperometro, cioè uno strumento per misurare la corrente (analogo ad un misuratore di portata) e che presumibilmente ha resistenza zero
3. rappresenta un resistore avente la resistenza uguale a 6 Ohm

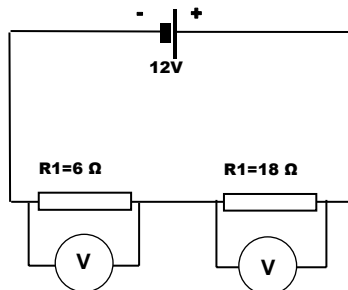
Voltmetro

Per calcolare la caduta di tensione che si verifica tra i capi di ciascuna resistenza si applica la legge di Ohm:

$$V = I \times R$$

$$V1 = I \times R1 = 0,5 \times 6 = 3 \text{ V}$$

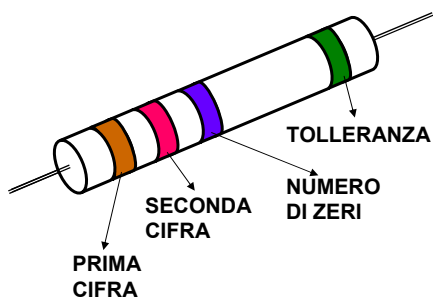
$$V2 = I \times R2 = 0,5 \times 18 = 9 \text{ V}$$



Lo strumento adoperato per misurare la tensione si chiama voltmetro e, diversamente dallo strumento che serve per misurare la pressione idraulica, richiede due collegamenti, cioè misura in realtà la DIFFERENZA di tensione tra i due capi.

Le Resistenze

La maggior parte delle resistenze usate nei circuiti elettronici sono resistori a filo o, più comunemente, resistenze a strati di carbone. I tipi a filo di solito riportano impresso il valore della resistenza mentre quelli a carbone hanno una serie di strisce colorate codificate per indicare il valore della resistenza e la tolleranza.



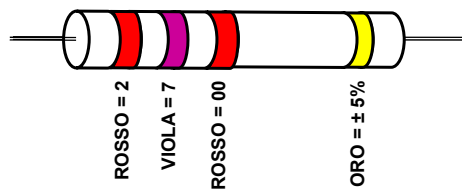
Le prime due strisce indicano la prima e la seconda cifra del valore della resistenza, la terza striscia indica il fattore di moltiplicazione mentre la quarta indica la tolleranza di fabbricazione (molti resistori possono anche avere cinque strisce e in questo caso la terza striscia indica la terza cifra del valore della resistenza).

Valori e Tolleranza

I codici dei colori sono:

VALORE		TOLLERANZA	
Nero	0	Viola	$\pm 0,1\%$
Marrone	1		
Rosso	2	Verde	$\pm 0,5\%$
Arancio	3		
Giallo	4	Marrone	$\pm 1\%$
Verde	5	Rosso	$\pm 2\%$
Blu	6	Oro	$\pm 5\%$
Viola	7	Argento	$\pm 10\%$
Grigio	8		
Bianco	9	nessuna striscia colorata	$\pm 20\%$

Esempio

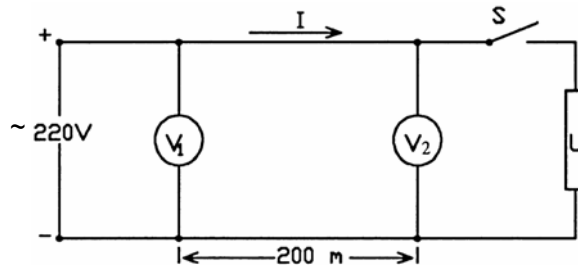


Il valore pertanto sarà di 2700Ω oppure $2,7K\Omega \pm 5\%$ che di solito si scrive $2K7$. (In modo simile un resistore con resistenza $2,7 M\Omega$ si scriverà $2M7$).

Finora è stata trascurata la resistenza (fili elettrici o piste di connessione) presenti in un circuito.

Resistenza dei conduttori

Si pensi di aver realizzato l'allacciamento di un utilizzatore distante 200 m dalla linea di alimentazione a 220 V



Con interruttore (S) aperto si ha: $I = 0$ $V = 220$ V

Con interruttore (S) chiuso si ha ed es. $I = 15$ A $V_1 = 220$ V $V_2 = 190$ V

Si vede che con circuito percorso da corrente si verifica una caduta di tensione tra inizio e fine linea. Nel caso dell'esempio tale caduta vale 30 Volt. Il fatto non deve stupire poiché il conduttore presenta un ostacolo al passaggio degli elettroni, cioè presenta una sua resistenza R_L (resistenza della linea)

La Resistività

Per la legge di OHM si può scrivere: $V = I \times R_L$
e ciò conferma che si verifica una caduta di tensione solo quando passa corrente. Nel caso dell'esempio: $V = 30$ V $I = 15$ A

$$R_L = \frac{V}{I} = \frac{30}{15} = 2 \Omega \text{ (Ohm)}$$

La sezione del conduttore è la superficie utile [mm^2] per il passaggio della corrente.

Materiale impiegato:

conduttori di pari lunghezza e sezione, ma di materiale differente, presentano resistenze diverse. La dipendenza della resistenza da materiale è indicata come RESISTIVITA' [ρ] e dall'indagine sperimentale risulta:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{cioè} \quad \rho = \frac{R \times S}{L} \quad [\Omega \text{ mm}^2]$$

$[m]$

La resistività è la resistenza di un conduttore di 1 m di lunghezza e di 1 mm^2 di sezione

La resistività di alcuni materiali

Valore di ρ per alcuni materiali a 20 ° C

Materiali	ρ in $\mu\Omega$ m
argento	0,016
Rame	0,018
oro	0,022
alluminio	0,028
zinco	0,06
ottone	0,07
ferro	0,1
platino	0,106
stagno	0,11
piombo	0,208
carbone	66,667

Effetto Joule

Un conduttore può variare la sua temperatura sia per riscaldamento esterno, sia al passaggio di corrente. In questo secondo caso si dice che ha riscaldamento per effetto JOULE

Come conseguenza si nota un aumento della resistenza.

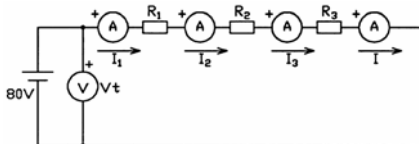
I materiali hanno diversa struttura interna per cui, a parità di T, la variazione di R sarà diversa da materiale a materiale. Il parametro che caratterizza la variazione di resistenza di un particolare materiale si chiama COEFFICIENTE DI TEMPERATURA, viene indicato con " α " e la sua unità di misura è l'inverso del grado centigrado ($1/^\circ\text{C}$). Il coefficiente di temperatura rappresenta la variazione di resistenza di un conduttore di 1 Ω dovuta alla variazione di temperatura di 1 $^\circ\text{C}$.

Per gli avvolgimenti in rame delle macchine elettriche, le norme C.E.I. prevedono che i valori di resistenza degli stessi siano valutati a 75 $^\circ\text{C}$.

Collegamenti in Serie e in Parallelo

Collegamenti in serie

Nel collegamento IN SERIE le resistenze sono collegate "una dietro l'altra" in modo che le stesse sono attraversate dalla stessa corrente. Esaminiamo il comportamento della **corrente** e della **tensione**:



Comportamento della corrente

$V_t = 80V$ $R_1 = 10\Omega$ $R_2 = 20\Omega$ $R_3 = 50\Omega$

Gli amperometri hanno tutti la stessa indicazione, 1A, per cui $I_1 = I_2 = I_3 = I_t$

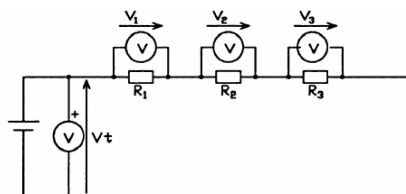
Comportamento della tensione

Verificato che la corrente è uguale in tutte le resistenze, si inseriscono dei Voltmetri in modo da misurare la tensione ai morsetti (V_t) e le tensioni ai capi di ogni resistenza. I Voltmetri danno le seguenti indicazioni:

$V_1 = 10V$ $V_2 = 20V$ $V_3 = 50V$ $V_t = 80V$

Si può constatare che:

- ogni tensione parziale è inferiore a quella totale
- la tensione totale è uguale alla somma delle tensioni parziali



$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

Resistenza equivalente (serie)

Applicando la legge di Ohm ad ogni resistenza è possibile eseguire una verifica con il calcolo:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= R_1 \times I = 10 \times 1 = 10V \\ V_2 &= R_2 \times I = 20 \times 1 = 20V \\ V_3 &= R_3 \times I = 50 \times 1 = 50V \end{aligned} \right\} V_t = V_1 + V_2 + V_3 = (R_1 + R_2 + R_3) I$$

Pertanto la caduta di tensione è proporzionale al valore della resistenza.

Se le tre resistenze collegate in serie vengono sostituite da un'unica resistenza di valore $R_S = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 20 + 50 = 80\Omega$, il generatore eroga la stessa corrente di prima;

$$I = \frac{V_t}{R_S} = \frac{80}{80} = 1 \text{ A}$$

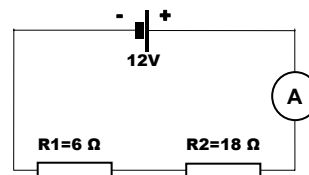
La resistenza $R_S = 80\Omega$ sostituisce l'intero collegamento, perciò viene chiamata **RESISTENZA EQUIVALENTE**

Nel collegamento in serie la resistenza equivalente è uguale alla somma dei valori delle resistenze parziali:

$$R_S = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Esempio: Resistenze in serie

Molto spesso un circuito comprende più di una resistenza, per cui è necessario considerare il loro effetto complessivo. L'esempio mostrato in figura illustra un circuito con due resistenze in serie. Siccome tutta la corrente che percorre il circuito deve attraversare entrambe le resistenze, la resistenza totale si può calcolare semplicemente sommando le due resistenze:



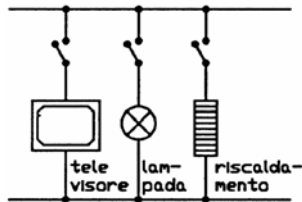
→ $R_{tot} = R_1 + R_2 = 6 + 18 = 24 \Omega$

Applicando la legge di Ohm, si ha: → $I = V / R_{tot} = 12 / 24 = 0,5 \text{ A}$

E se $R_1 = 15 \Omega$ e $R_2 = 45 \Omega$ Quale sarebbe stato il valore della corrente?

Con quale valore di resistenza si sarebbe potuto avere una corrente di 6A?

Collegamento in parallelo



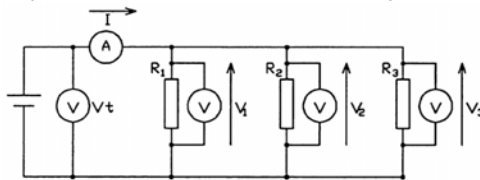
Negli impianti elettrici è possibile inserire o disinserire indipendentemente degli utilizzatori. Questo è caratteristico del collegamento in parallelo: gli utilizzatori sono allacciati parallelamente uno dall'altro allo stesso generatore di tensione.

Esaminiamo il comportamento della **tensione** e della **corrente**

Comportamento della tensione

$$V_t = 80V \quad R_1 = 10\Omega \quad R_2 = 20\Omega \quad R_3 = 50\Omega$$

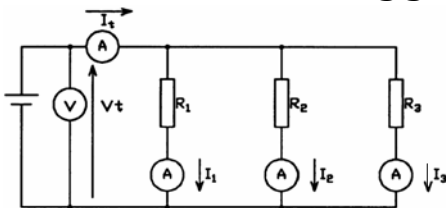
I voltmetri danno tutti la stessa indicazione: $V=80V$



Se le resistenze vengono collocate in parallelo, su tutte le resistenze si stabilisce la medesima tensione:

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3$$

Legge di Kirchoff



$$V_t = 80V \quad R_1 = 10\Omega \quad R_2 = 20\Omega \quad R_3 = 50\Omega$$

Nello stesso circuito di prima, verificato che la tensione ai capi di ogni resistenza è uguale, si inseriscono degli amperometri in modo da misurare la corrente che attraversa ogni singola resistenza e la corrente complessiva erogata dal generatore.

Gli amperometri danno le seguenti indicazioni:

$$I_1 = 8A \quad I_2 = 4A \quad I_3 = 1,6A \quad I_t = 13,6A$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

Si può constatare che:

- ogni corrente parziale è inferiore a quella totale
- la corrente totale è uguale alla somma delle correnti parziali

Questa è nota come **Legge di Kirchoff**:

“La somma algebrica delle correnti di un nodo è uguale a zero“

Applicando la legge di OHM ad ogni resistenza è possibile eseguire una verifica con il calcolo:

$$I_1 = \frac{V_t}{R_1} = \frac{80}{10} = 8A$$

$$I_2 = \frac{V_t}{R_2} = \frac{80}{20} = 4A$$

$$I_3 = \frac{V_t}{R_3} = \frac{80}{50} = 1,6A$$

Resistenza equivalente (parallelo)

Pertanto la corrente è inversamente proporzionale al valore della resistenza. Il generatore di tensione ($V_t = 80V$) alimenta le tre resistenze e fornisce un'intensità di corrente $I_t = 13,6A$.

Si avrebbe questa stessa intensità di corrente anche se, al posto delle tre resistenze, ci fosse un'unica *resistenza equivalente*, che per la legge di Ohm assume il valore di:

$$R_p = \frac{V_t}{I_t} = \frac{80}{13,6} = 5,88\Omega$$

Risulta evidente che la resistenza equivalente è minore della più piccola resistenza parziale del parallelo.

Ricaviamo il legame tra resistenza equivalente e le resistenze parziali.

Dato che: $I_t = I_1 + I_2 + I_3$ per la legge di Ohm avremo

$$\frac{V_t}{R_p} = \frac{V_t}{R_1} + \frac{V_t}{R_2} + \frac{V_t}{R_3} \quad \text{da cui} \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \left[\dots + \frac{1}{R_n} \right]$$

Nel caso di due resistenze in parallelo si ha:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{e se } R_1 = R_2 = R \text{ allora } R_p = \frac{R}{2}$$

Esempio: Resistenze in parallelo

Se le resistenze sono collegate in parallelo, come illustrato in figura, nel circuito si creano due percorsi per la corrente.

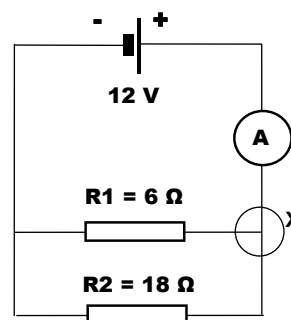
La resistenza effettiva del circuito si può calcolare utilizzando la seguente formula:

$$1 / R_{tot} = 1 / R_1 + 1 / R_2 = 1/6 + 1/18 = 4/18$$

$$\text{per cui: } R_{tot} = 18 / 4 = 4,5 \Omega$$

Applicando la legge di Ohm, come prima, si ha:

$$I = V / R_{tot} = 12 / 4,5 = 2,67 \text{ A}$$

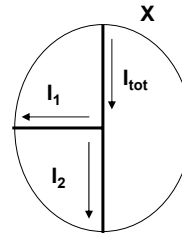


In questo caso se si volesse avere ancora una corrente totale di 6A quali valori di resistenza bisognerebbe adottare?

E se avessimo 10 resistenze uguali in parallelo di 20Ω ciascuna, quale sarebbe il valore della corrente totale?

Legge di Kirchoff

Esaminiamo più da vicino ciò che accade nel nodo X:



“La somma algebrica delle correnti nel nodo è uguale a zero”

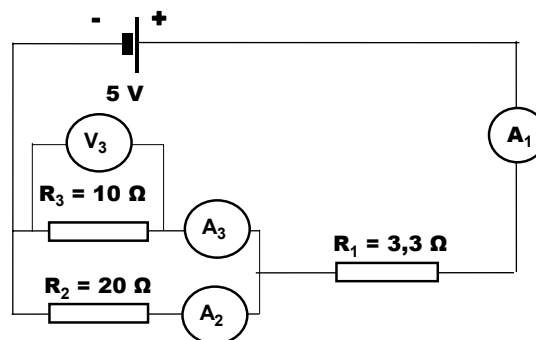
In altri termini la corrente totale che entra in un nodo è uguale alla corrente totale che ne esce.

Le correnti che entrano sono considerate positive, mentre le correnti che escono sono considerate negative, perciò nel caso del nodo X in figura:

$$I_{\text{tot}} - I_1 - I_2 = 0 \quad \text{oppure:} \quad I_{\text{tot}} = I_1 + I_2$$

Esempio

Si calcolino le indicazioni degli amperometri e del voltmetro inseriti nel circuito della figura



Applicazioni dei collegamenti serie e parallelo

Aumento del campo di misura di un Voltmetro

Un Voltmetro è caratterizzato dalla portata V_{fs} (fondo scala) e dalla resistenza interna, R_v . Perché tale inserzione non influenzi il circuito la resistenza del voltmetro R_v deve essere molto grande (I_v piccola). Si supponga di disporre di un Voltmetro con fondo scala 150V e $R_v = 5.000\Omega$. Quando è derivato tra due punti tra i quali c'è una d.d.p. di 150 V, è percorso da una corrente $I_v = 150/5.000 = 0,03$ A.

Si voglia ora utilizzare il Voltmetro per misurare una d.d.p. di 220V. Per non danneggiare lo strumento la corrente I_v (di 0,03A) deve restare invariata. È ovvio che ciò sarà possibile solo mettendo in serie allo strumento una resistenza addizionale di valore tale che, quando è applicata la tensione di 220V, la corrente I_v sia ancora 0,03A. La R addizionale avrà il seguente valore:

$$R_{add} = \frac{V - V_{fs}}{I_v} = \frac{220 - 150}{0,03} = 2330\Omega$$

si è così estesa la portata dello strumento

Aumento del campo di misura di un Amperometro

Un amperometro è caratterizzato dalla portata I_{fs} (fondo scala) e dalla resistenza interna, R_A . Perché tale inserzione non influenzi il circuito la resistenza interna dell'amperometro R_A deve essere la più piccola possibile (teoricamente valore nullo).

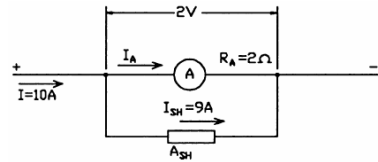
Si supponga di disporre di un amperometro con fondo scala 1 A e $R_A=2\Omega$. Quando è inserito in un circuito nel quale circola la corrente di 1 A ai suoi morsetti c'è una d.d.p. di $R_A \cdot I_{fs} = 2 \cdot 1 = 2V$.

Si voglia ora utilizzare l'amperometro per misurare una corrente di 10 A in modo che esso vada in f.s. con tale corrente. E' ovvio che ciò sarà possibile solo mettendo in parallelo allo strumento una resistenza (SHUNT), R_{sh} , di valore tale che, quando il gruppo è inserito nel circuito, l'amperometro sia percorso dalla corrente di 1 A.

Lo shunt avrà il seguente valore:

$$R_{sh} = \frac{2V}{10 - 1} = \frac{2V}{9A} = 0,222\Omega$$

Si è così estesa la portata del gruppo.



Strumenti a più portate

- Sulla base del principio esposto per aumentare il fondo scala di un Voltmetro o di un Amperometro, si costruiscono gli strumenti a più portate: queste infatti vengono variate inserendo resistenze, opportunamente predisposte dal costruttore, tramite un commutatore o con lo spostamento di un terminale dei punti nella bocca relativa alla portata richiesta (tester).

Partitori di tensione

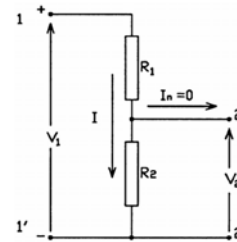
Nella pratica si presenta spesso questo problema: partendo da una tensione V_1 si deve alimentare l'utilizzatore con una tensione V_2 . La tensione V_2 può essere un valore fisso rappresentato da una frazione della tensione V_1 oppure un valore regolabile da zero a V_1 .

Allo scopo sono disponibili appositi apparecchi come ad esempio i trasformatori a rapporto variabile; tuttavia il problema può essere risolto impiegando solo resistenze.

V_2 sia un valore fisso. La soluzione può essere ottenuta con il circuito in figura che rappresenta lo schema tipico del Partitore di Tensione.

La figura rappresenta il caso di **Partitore a Vuoto** (tra i morsetti 2 - 2' non è stato derivato alcun utilizzatore); si vede che V_2 rappresenta la caduta di tensione sulla resistenza R_2 . Infatti si ha:

$$I = \frac{V_1}{R_1 + R_2} \text{ e quindi } V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1$$



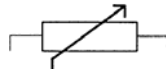
Partitore a carico

La resistenza R è in parallelo ad R_2 e la corrente I_2 è diversa da 0.

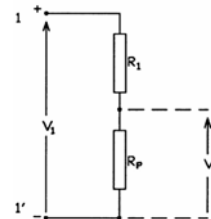
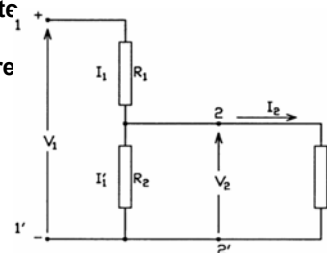
Per calcolare la tensione V_2 è necessario tenere conto del parallelo tra le resistenze R_2 ed R .

Indicata con R_p la resistenza equivalente: $R_p = \frac{R_2 \cdot R}{R_2 + R}$

V_2 sia un valore regolabile. E' necessario utilizzare un potenziometro, cioè un resistore del quale si può variare il valore con l'aiuto di un contatto mobile (cursore). E' un dispositivo con tre terminali rappresentato con il simbolo

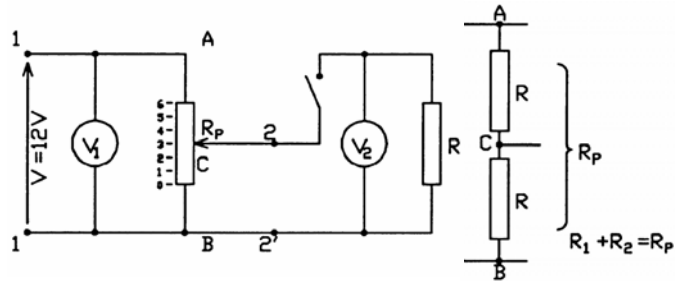


tramite cui è possibile variare con continuità il rapporto R_2 / R_1 spostando il cursore.



Regolazione del partitore

Si osservi il circuito ($R_p = 24\Omega$)
Il cursore del potenziometro viene regolato da zero a 6 ed in corrispondenza di ogni posizione si avrà una determinata tensione V_2 .



La tensione all'entrata rimane costante (il voltmetro di controllo V_1 indicherà sempre 12V). Con il potenziometro si possono ottenere tutti i valori di tensione da zero al valore massimo (V_1).

Se al partitore viene allacciato un carico, la variazione di tensione non è più proporzionale allo spostamento del cursore. Tale spostamento è tanto maggiore quanto minore è la resistenza del circuito nei confronti della resistenza del potenziometro.

Quindi, per avere una buona regolazione, deve essere scelto un potenziometro con valore di resistenza R_p discretamente inferiore a quello del carico.

La potenza

Potenza elettrica

Si consideri il seguente esempio:

- In un cantiere due paranchi azionati da due motori elettrici sollevano pesi uguali per uguale altezza.
- Evidentemente compiono lo stesso lavoro ($F \cdot h$). Uno esegue il sollevamento in 10 s, l'altro in 40 s
- Volendo definire le caratteristiche parametriche dei due motori, è chiaro che il lavoro appare una grandezza inadeguata: i due motori risulterebbero uguali. Invece è evidente che il primo ha una "capacità di svolgere lavoro" maggiore del secondo.
- La grandezza adatta a caratterizzare i motori è la **POTENZA**. Il simbolo della grandezza è **P**.

Definizione di Potenza

La potenza rappresenta il lavoro che può essere compiuto nell'unità di tempo, e la sua unità di misura è il Watt (W):

$$\text{Potenza} = \frac{\text{Lavoro}}{\text{tempo}} = \frac{\text{Energia}}{\text{tempo}} = \frac{\text{Joule}}{\text{s}}$$

L'Energia è quindi la potenza sviluppata nell'unità di tempo:

$$\text{Energia} = \text{Potenza} \times \text{tempo} = \text{Wattora (Wh)}$$

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \times 3.600 \text{ s} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ Kwh} = 1000 \text{ Wh} =$$

$$= 1000 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s} =$$

$$= 3.600.000 \text{ J}$$

L'aspetto pratico di misurare l'energia in Kwh appare così evidente.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t} = V \cdot I$$
$$P = V \cdot I \text{ [W]}$$

La legge di Joule

La tensione fra due punti può anche essere vista come il lavoro compiuto per portare una carica unitaria da un punto all'altro.

Se nell'unità di tempo vengono portate I cariche da un estremo all'altro di un resistore, tra i quali esiste la differenza di potenziale V, si compirà, dunque, un lavoro per unità di tempo pari a VI, cioè il resistore sarà interessato da una *Potenza VI*.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t} = V \cdot I \text{ [W]}$$

L'Energia associata alla potenza VI che interessa un resistore viene dissipata, o meglio trasformata in un altro tipo di energia: **calore**.

Applicando la legge di Ohm la potenza dissipata sarà espressa da:

$$P = R \times I^2 \text{ [W]}$$

Potenza dissipata da una resistenza

Partendo dall'espressione della potenza elettrica $P = V \cdot I$

se alla tensione V si sostituisce l'espressione data dalla legge di Ohm $V = R \cdot I$ si ottiene $P = V \cdot I = (R \cdot I) \cdot I$ cioè

$$P = R \cdot I^2$$

Se invece alla corrente I si sostituisce l'espressione

$$I = \frac{V}{R} \text{ si ottiene } P = V \cdot I = V \cdot \frac{V}{R} \text{ cioè } P = \frac{V^2}{R}$$

In definitiva, il calcolo della potenza può avvenire con le seguenti tre relazioni:

$$P = V \cdot I$$

$$P = R \cdot I^2$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

La potenza dissipata da una resistenza è proporzionale al quadrato della corrente oppure al quadrato della tensione.

Quantità di calore dissipato

Gli apparecchi formati da sole resistenze possono utilizzare l'energia che ricevono solamente trasformandola in calore e vengono quindi chiamati elementi inerti.

La quantità di calore che essi possono produrre si ottiene dal valore di energia elettrica che essi dissipano, corrispondente a:

$$E = R \times I^2 \times t$$

dove t rappresenta il tempo durante il quale avviene il passaggio della corrente I. Se t è in sec l'energia sarà in joule, se t è espresso in ore essa sarà in wattora.

Per conoscere l'energia dissipata in calore, occorrerà moltiplicare l'energia per l'equivalente del calore (1wh= 0,860 Cal o anche 1kcal = 4186 Joule).

Quindi l'energia dissipata in Calorie sarà:

$$E[\text{Cal}] = 0,00024 R \times I^2 \times t \text{ (t in sec)} \quad \text{dove } 0,00024 = 0,860 / 3600$$

$$E[\text{Cal}] = 0,860 R \times I^2 \times t \text{ (t in ore)}$$

Potenza elettrica nel collegamento in serie

Si consideri il seguente circuito:

Essendo noti i valori della tensione e della resistenza per il calcolo della potenza si avrà:

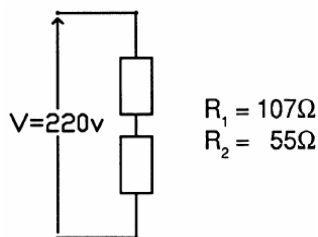
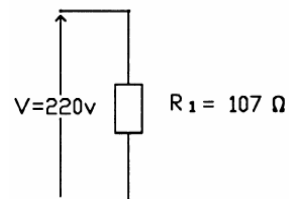
$$P = \frac{V^2}{R_1} = \frac{220^2}{107} = 452,3 \text{ W}$$

Mantenendo invariata la tensione, ad R1 si metta in serie una resistenza R2:

La resistenza equivalente è:
 $R_s = R_1 + R_2 = 107 + 55 = 162 \Omega$

Pertanto la potenza sarà:

$$P' = \frac{V^2}{R_s} = \frac{220^2}{162} = 298,9 \text{ W}$$



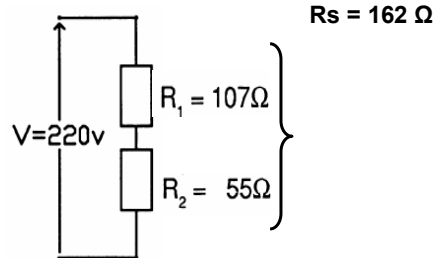
Mantenendo costante la tensione, se si amplia il collegamento in serie con resistenze aggiuntive, la potenza totale assorbita diminuisce.

Potenza totale dissipata da resistenze in serie

Si calcoli la corrente:

$$I = \frac{V}{R_s} = \frac{220}{162} = 1,36 \text{ A}$$

e quindi la potenza dissipata da ciascuna resistenza:



Potenza in R1 $P_1 = R_1 \cdot I^2 = 107 \cdot 1,36^2 = 197,32 \text{ W}$

Potenza in R2 $P_2 = R_2 \cdot I^2 = 55 \cdot 1,36^2 = 101,43 \text{ W}$

POTENZA TOTALE = $P_1 + P_2 = 197,32 + 101,43 = 298,75 \text{ W}$ che è, in pratica, la potenza prima calcolata per l'insieme delle resistenze in serie.

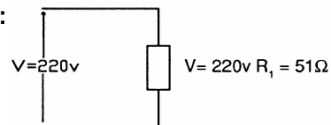
Quindi se si hanno più resistenze in serie la potenza totale è uguale alla somma delle potenze parziali relative alle singole resistenze:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

Potenza elettrica nel collegamento parallelo

Si abbia il circuito rappresentato di seguito:

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} = \frac{220^2}{51} = 949 \text{ W}$$

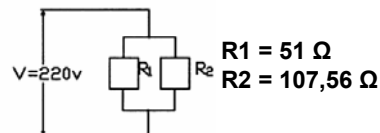


Mantenendo invariata la tensione, si ponga una resistenza R2 in parallelo ad R1:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{51 \cdot 107,56}{51 + 107,56} = 34,6 \text{ } \Omega$$

La potenza TOTALE è:

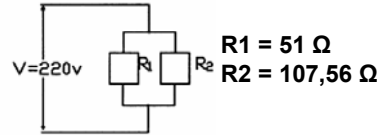
$$P_t = \frac{V^2}{R_p} = \frac{220^2}{34,6} = 1398,8 \text{ W}$$



Potenza totale dissipata da resistenze in parallelo

Si calcoli ora la Potenza su R2:

$$P_2 = \frac{V^2}{R_2} = \frac{220^2}{107,56} = 450 \text{ W}$$



Ricordando che la potenza in R1 è P1 = 949 W, se si sommano i valori trovati si ottiene:

$$P_t = P_1 + P_2 = 949 + 450 = 1399 \text{ W}$$

che è, in pratica, la potenza precedentemente calcolata per l'insieme delle due resistenze in parallelo.

Si possono perciò trarre le seguenti conclusioni:

- alimentando a tensione costante se si amplia il collegamento in parallelo con resistenze aggiuntive la potenza assorbita totale aumenta;
- se si hanno più resistenze in parallelo la potenza totale è uguale alla somma delle potenze parziali relative alle singole resistenze:

$$P_t = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Perdite e Rendimenti

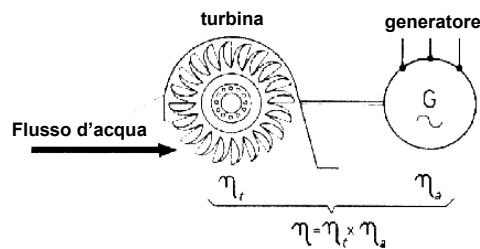
Se chiamiamo con P_a la potenza assorbita da un generico apparecchio, ossia la potenza che entra da un generatore o in un utilizzatore, con P_u la potenza utilizzata, ossia quella che viene impiegata per lo scopo previsto, e con P_p la potenza perduta, ossia dissipata in calore entro la macchina e non più recuperabile, deve essere, $P_a = P_u + P_p$ ossia la potenza entrante corrisponde alla somma di quella utilizzata più quella perduta ed il rendimento è dato dal rapporto:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

fra la potenza utile (o resa) e la potenza assorbita dalla macchina. Se due macchine lavorano in serie (dal punto di vista energetico, ossia in modo che l'energia in uscita da una di esse entri nell'altra, come fra una turbina e un alternatore), il loro rendimento globale è dato dal prodotto dei rendimenti parziali.

Bilancio energetico di un Generatore

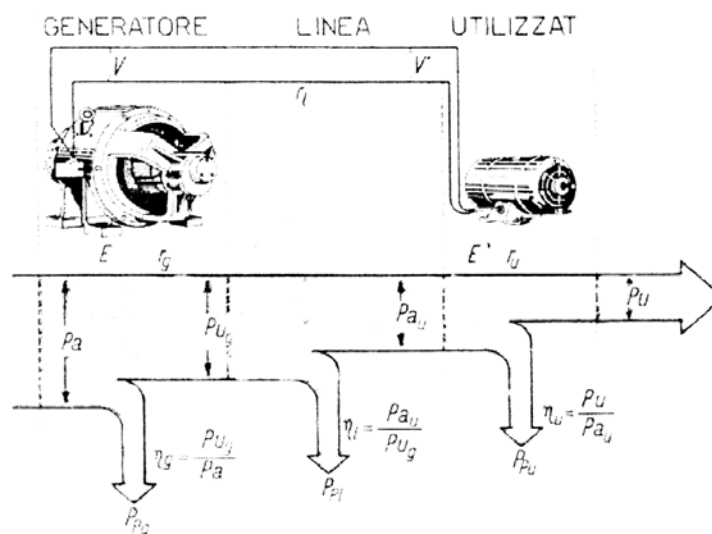
Si può così impostare il bilancio energetico complessivo di un circuito elettrico, che a titolo di esempio supponiamo formato da un generatore, da una linea e da un utilizzatore attivo (motore).



La potenza assorbita sarà quella del generatore, la potenza utile finale sarà quella del motore, le perdite per

effetto joule si avranno lungo tutti i conduttori ossia: entro il generatore, nella linea, e nel motore.

Rendimento finale

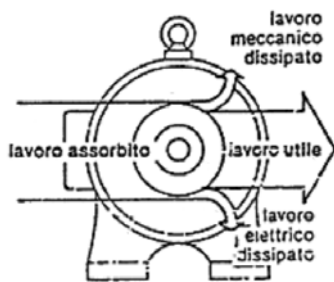


Trasformazione dell'Energia

Un motore trasforma l'energia elettrica assorbita in energia meccanica disponibile all'asse della macchina. Nel funzionamento, però, solo una parte dell'energia assorbita viene trasformata in energia meccanica (utile).

Ogni macchina che trasforma energia, assorbe più energia di quanta ne eroghi.

Il lavoro assorbito viene indicato con W_a , la potenza assorbita con P_a .



Il lavoro utile con W_u , la potenza utile con P_u .

L'insieme delle perdite viene denominato lavoro perduto e indicato con W_p , la potenza dissipata con P_p .

Le perdite si compongono di:

- meccaniche, per attrito dei cuscinetti e per la ventilazione. L'energia e la potenza sono indicate rispettivamente con W_m a P_m ;
- elettriche, che sono perdite termiche nell'avvolgimento del rame (W_j a P_j rispettivamente) a perdite termiche nella struttura ferromagnetica (W_{fe} a P_{fe} rispettivamente).

Rendimento di un Motore

Per quanto riguarda le perdite si ha:

$$W_p = W_m + W_j + W_{fe} \quad \text{per l'energia}$$

$$P_p = P_m + P_j + P_{fe} \quad \text{per le potenze}$$

Il lavoro dissipato sommato al lavoro utile o svolto dà il valore assorbito:

$$W_a = W_u + W_p$$

Lo stesso vale anche per le potenze:

$$P_a = P_u + P_p$$

Il rendimento è il parametro che consente di valutare la bontà di una macchina. Questa sarà tanto migliore quanta maggiore sarà l'energia utile rispetto a quella assorbita.

$$\text{RENDIMENTO} = \frac{\text{POTENZA UTILE}}{\text{POTENZA ASSORBITA}} = \frac{P_u}{P_a} \quad (R_e)$$

Esempio

Dai dati di targa del motore in DC prima rappresentato si deduce che:

- la tensione di alimentazione è: $V_a = 220 \text{ V}$
- la corrente assorbita è: $I_a = 12,5 \text{ A}$
- la potenza utile è: $P_u = 2,2 \text{ KW}$

Avremo allora:

$$P_a = V_a * I_a = 220 * 12,5 = 2,75 \text{ KW}$$

$$P_u = 2,2$$

$$Re = \frac{P_u}{P_a} = \frac{2,2}{2,75} = 0,8$$

In percentuale: $Re = 80\%$.

Il risultato ottenuto dice che:

- l'80% della potenza assorbita diviene potenza utile
- Il 20% della potenza assorbita viene dissipata

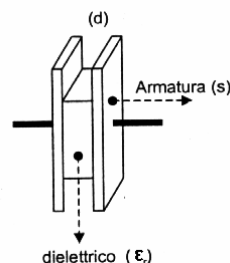
ed anche che vengono utilizzati 2,2 kw (80%) dissipati 0,55 kw (20 %). Nel complesso verranno assorbiti 2,75 kw.

Campo Elettrico

Il Campo Elettrico

Si definisce campo elettrico la porzione di spazio vuoto in cui si manifestano delle forze attrattive o repulsive di tipo **coulombiano** sui corpi elettrizzati che vi vengono introdotti. Il campo elettrico si ottiene in pratica fra due lamine metalliche chiamate armature, separate fra di loro da un isolante solido, liquido o gassoso, chiamato dielettrico.

Un sistema del genere si può definire come un sistema atto ad immagazzinare energia elettrica sotto forma ELETTROSTATICA e prende il nome di condensatore. L'attitudine di un condensatore ad accumulare sulle sue armature una carica elettrica e quindi energia nel suo dielettrico viene definita dalla capacità C corrispondente a:



$$C = \frac{Q}{V}$$

Costante Dielettrica

La Capacità è pari al rapporto fra la carica Q che si può ottenere e la tensione V fra le armature: un condensatore ha maggior capacità se può dare una carica più elevata con una tensione inferiore

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

ϵ_0 = Costante dielettrica del vuoto $8,858 \times 10^{-12}$ F/m

ϵ_r = Costante dielettrica del materiale

La capacità si misura in Farad (F), corrispondente ad una carica di un coulomb accumulata con una differenza di potenziale di un volt. Si tratta di un valore molto elevato per cui sono più usati i suoi sottomultipli quali:

mF = 10^{-3} F millifarad

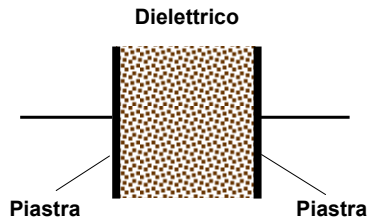
μ F = 10^{-6} F microfarad

nF = 10^{-9} F nanofarad

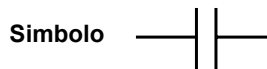
pF = 10^{-12} F picofarad

La CAPACITÀ

Un condensatore è costituito da due piastre separate da un materiale isolante detto dielettrico.



Un condensatore, in un circuito elettrico, ha una funzione analoga a quella di un accumulatore in un sistema idraulico, in quanto è un dispositivo che immagazzina energia, in questo caso la carica elettrica. Maggiore è la superficie della piastra e minore lo spessore del dielettrico, maggiore sarà la capacità.



L'unità di capacità è il FARAD (F) che di solito è troppo grande per l'uso pratico, e quindi i sottomultipli più usati sono:

micro-Farad (μF), nano-Farad (nF) o pico-Farad (pF) dove:

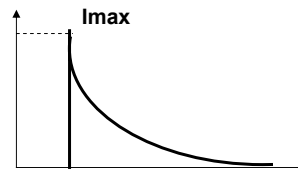
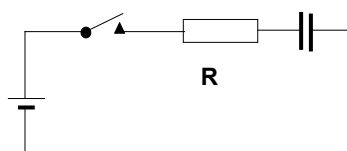
$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Il Condensatore

Un condensatore in un circuito fa sì che, quando si applica una differenza di tensione alle due armature, la corrente massima che passa inizialmente attraverso il condensatore, dopo un certo periodo di tempo, scende gradualmente a zero.

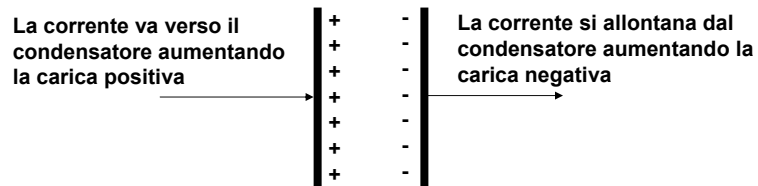


Interruttore chiuso

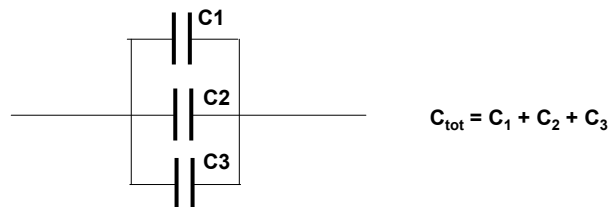
La presenza della resistenza (R) in figura è ovvia perché, se non ci fosse, il condensatore provocherebbe direttamente un corto circuito tra i terminali della batteria quando il commutatore viene chiuso, provocando un livello di corrente iniziale molto elevato.

Corrente Capacitiva

A prima vista può sembrare difficile visualizzare il passaggio di corrente attraverso il passaggio di condensatore dato che le due piastre sono separate da un materiale isolante. In realtà la corrente non passa "attraverso" il condensatore, è soltanto l'accumulo delle cariche che dà l'impressione che ciò accada.

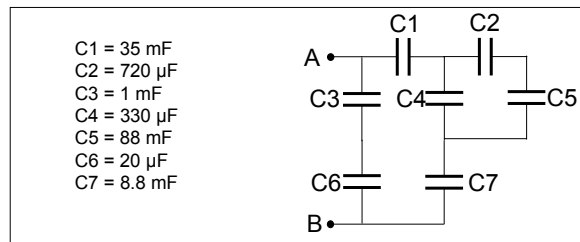
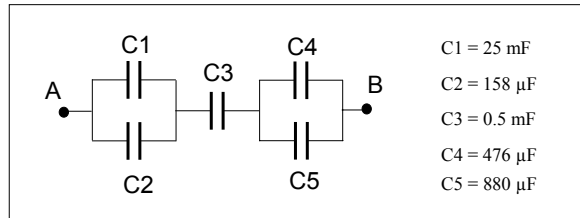


Condensatori in serie / parallelo



Esercizi

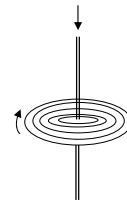
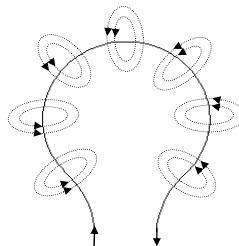
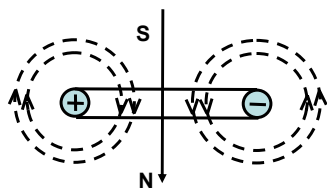
Determinare il valore di capacità equivalente dei circuiti sottostanti.



Campo Magnetico

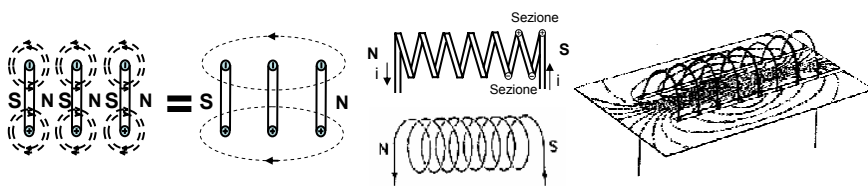
Il campo magnetico

Un conduttore percorso da corrente elettrica genera attorno a sé un campo magnetico.
 Se con tale conduttore si forma una spira il campo magnetico genera un polo Sud e un polo Nord:



L'insieme di spire formano un solenoide o bobina, in questo caso i campi magnetici generati da ogni singola spira si sommano tra loro dando origine ad solo campo magnetico

Bobina



L'intensità del campo magnetico è data da:

$$H = \frac{N \times I}{l} = \text{Asp/cm}$$

Dove:

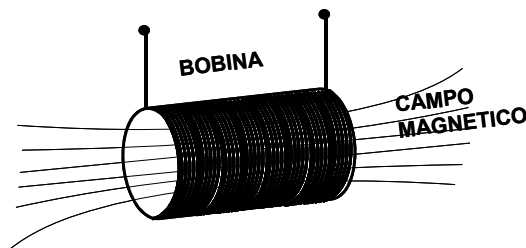
N = numero di spire

I = corrente circolante

L = lunghezza del solenoide

La BOBINA

Molti componenti elettrici sfruttano la relazione che c'è tra la corrente elettrica ed il campo magnetico. Quando un filo è percorso da corrente, si crea un campo magnetico con asse perpendicolare al filo stesso. Analogamente, se un filo viene spostato all'interno di un campo magnetico, nel filo stesso verrà creata una corrente INDOTTA (se il filo fa parte di un circuito chiuso). Se il filo è avvolto in una bobina, e viene percorso da corrente, si creerà un campo magnetico disposto secondo l'asse della bobina.



Quando ai terminali di una bobina si applica una differenza di potenziale, la corrente che la attraversa genera un campo magnetico. Man mano che questo aumenta, si genera una tensione secondaria opposta a quella applicata, conosciuta come fem di ritorno (forza elettromotrice)

Elettromagnete

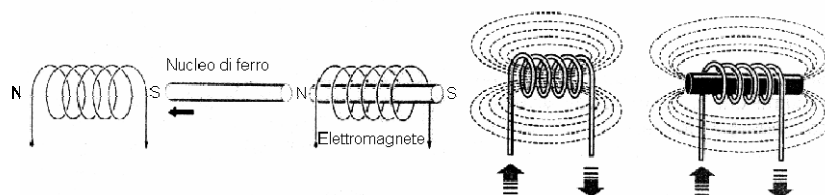
Le polarità di un solenoide sono stabilite dal senso della corrente che lo percorre, invertendo la corrente mutano anche le polarità.

Il solenoide presenta una caratteristica interessante, se si pone al suo interno un nucleo di ferro, esso si magnetizza con polarità corrispondenti a quelle del solenoide.

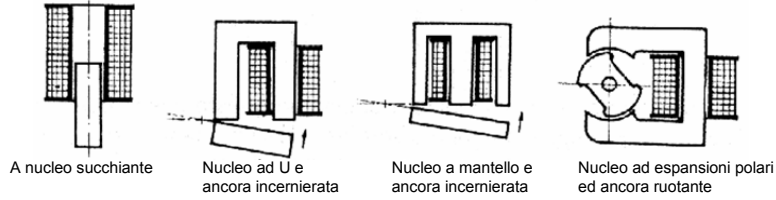
Si ottiene così un magnete temporaneo che viene chiamato elettromagnete.

Le stesse polarità si trovano, a causa della magnetizzazione per induzione, anche se il nucleo non è all'interno ma vicino al solenoide e sono secondo la regola generale, contrarie per le parti vicine, per cui si esercita una azione attrattiva.

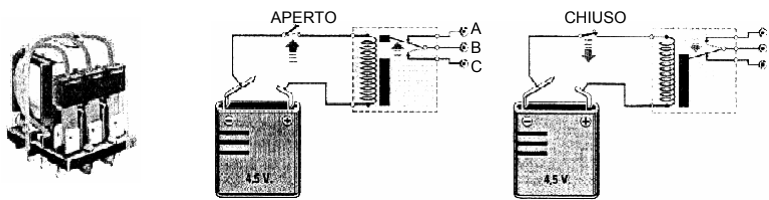
Il nucleo viene succhiato entro il solenoide a si arresta solo quando esso viene a trovarsi tutto all'interno del solenoide, avendo portato i suoi poli in corrispondenza a quelli di ugual nome del solenoide.



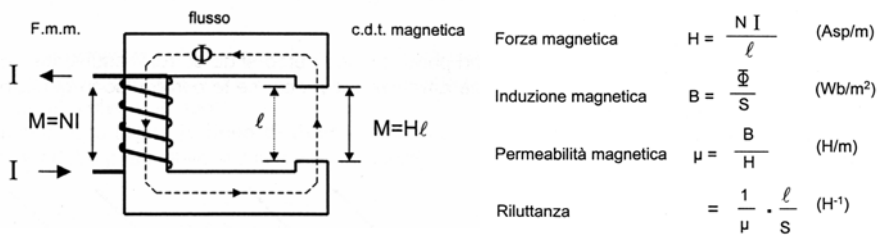
Applicazioni



Il relé è un componente composto da una elettrocalamita e serve a chiudere o ad aprire dei contatti meccanici



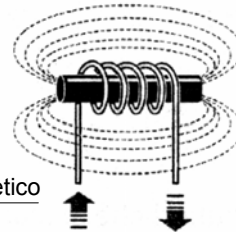
Il circuito magnetico



Quando una corrente elettrica percorre l'avvolgimento genera un flusso magnetico (Φ) nel nucleo e la sua proprietà di produrre flusso si chiama induttanza, indicata con il simbolo L. Più è grande l'induttanza dell'avvolgimento più è grande il flusso generato da una certa corrente. L'unità di induttanza è l'henry, che ha per simbolo H ed è definita da:

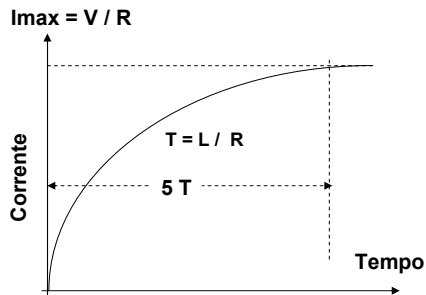
Induttanza = $\frac{\text{Numero di spire dell'avvolgimento} \times \text{flusso magnetico}}{\text{Corrente che percorre l'avvolgimento}}$

$$L = \frac{N\Phi}{I} [\text{Henry}]$$



L'INDUTTANZA

Il campo magnetico tende ad opporsi al passaggio di corrente nella bobina cercando di annullare la differenza di tensione. L'effetto sulla rete è perciò di creare un ritardo tra l'applicazione della tensione e l'aumento della corrente fino al suo valore massimo. In termini relativi, detto ritardo po' essere breve (alcuni millisecondi) ma la corrente in realtà aumenta gradualmente come illustrato in figura. La proprietà delle bobine di resistere alla variazione di corrente è detta INDUTTANZA (L) e la sua unità di misura è l'HENRY(H).



Un Henry è definito come l'induttanza di un circuito in cui viene prodotta una forza elettromotrice indotta di un Volt quando la variazione di corrente avviene alla velocità di 1 Ampere al secondo.

Condensatore ed Induttanza

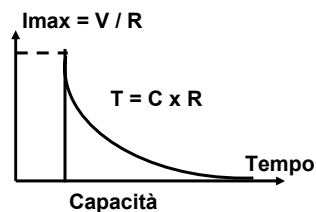
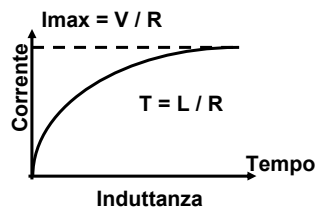
Chiudendo i contatti del circuito che alimenta il condensatore, si provoca un picco di corrente (I_{max}) che, anche in questo caso, viene determinato applicando la legge di Ohm:

$$I = V / R$$

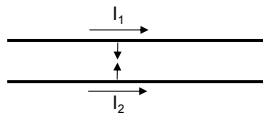
Dopo il picco iniziale, la corrente gradualmente scende a zero seguendo una legge esponenziale con una costante di tempo data da:

$$T = C \times R \quad \text{dove} \quad T = \text{sec}; \quad C = \text{Farad}; \quad R = \text{Ohm}$$

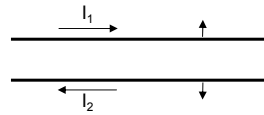
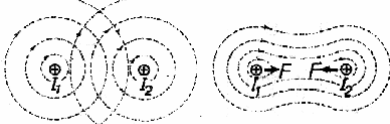
Assumiamo ancora una volta che la corrente si riduca a zero dopo un periodo pari a 5 volte la costante di tempo. L'effetto è opposto a quello di un' induttanza, come si può vedere nella figura seguente



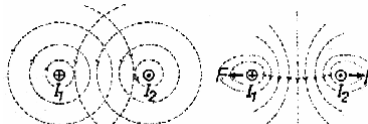
Azioni elettrodinamiche fra conduttori



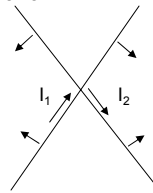
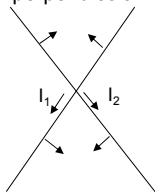
Due conduttori percorsi da correnti equiverse si attraggono: Il campo magnetico si rarefa al centro



Due conduttori percorsi da correnti opposte si respingono: Il campo magnetico si rinforza al centro

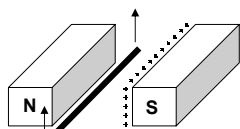


Se i conduttori si incrociano tendono a disporsi con le correnti equiverse e parallele: ruoteranno avvicinandosi se le correnti sono dirette nello stesso senso o tenderanno a disporsi perpendicolarmente se sono dirette in senso contrario

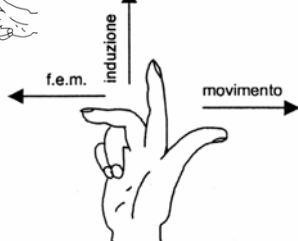
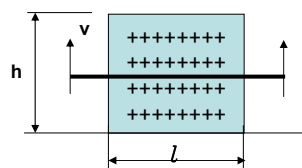


Forza Elettromotrice Indotta

Un conduttore rettilineo che si muove attraversando un campo magnetico uniforme, sia spostandosi in linea retta che ruotando, taglia le linee di flusso generando una forza elettromotrice indotta prelevabile ai suoi capi, di valore:

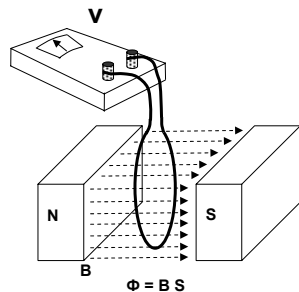


$$e = Blv$$



Per determinare il verso della f.e.m. indotta, si applica la regola di Fleming della mano **destra** cioè il pollice indica il senso del moto del conduttore, l'indice la direzione del campo magnetico, il medio il senso della f.e.m. indotta.

Principio di funzionamento dei generatori



Se una spira immersa in un campo magnetico viene spostata in modo che vari l'entità del flusso che la attraversa, in seno ad essa si genera una f.e.m. che può essere misurata da un voltmetro. La f.e.m. cessa appena la spira si ferma o comunque non varia più il flusso che la attraversa.

Il movimento di una spira in un campo magnetico, che variando l'entità del flusso che l'attraversa genera una f.e.m., rappresenta il principio di funzionamento dei generatori.

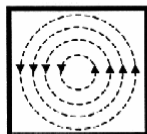
Correnti parassite

L'induzione provocata da variazioni di flusso ha una notevole importanza per le apparecchiature che comprendono masse metalliche a sono percorse da correnti variabili.

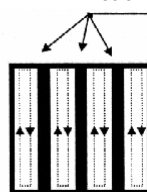
In tal caso infatti queste masse metalliche fungono da circuito indotto ad in seno ad esse si generano delle f.e.m. di induzione a correnti intense, chiamate correnti parassite o di Foucault: ad esempio, è mediante queste correnti che i freni elettromagnetici agiscono poiché per la legge di Lenz, esse hanno senso tale da opporsi al movimento che le genera a quindi rallentano la marcia.

In genere però le correnti di Foucault rappresentano una potenza persa ed un riscaldamento indesiderato per cui si cerca di ridurre l'entità mediante la laminazione dei nuclei delle masse metalliche che costituiscono la parte meccanica delle macchine elettriche.

Correnti parassite in una massa metallica

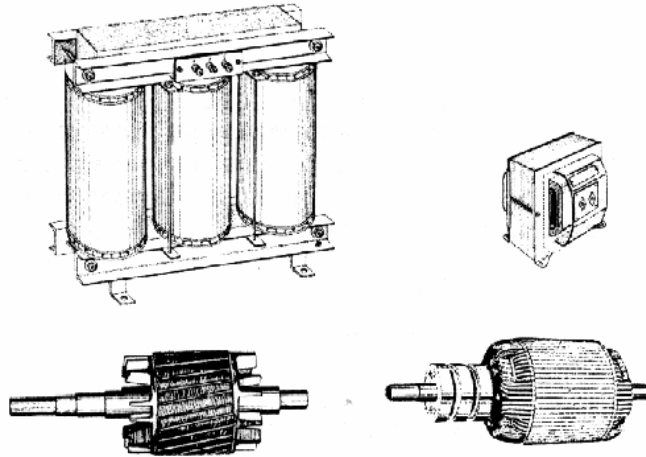


Isolamento fra lamierini



Particolare di un pacco lamellare

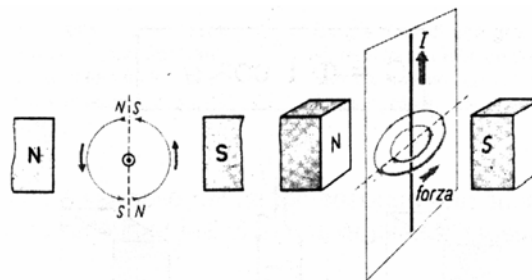
Esempi di pacchi lamellari nei motori e nei trasformatori



Azioni meccaniche

Se si immerge un conduttore attraversato da corrente in un campo magnetico, si mettono in relazione il campo magnetico generato dalla corrente che attraversa il conduttore, con il campo magnetico in cui lo stesso conduttore è immerso.

Le linee di forza dal conduttore, viste ad esempio al polo Sud del magnete, escono sul lato sinistro dal conduttore stesso, vanno verso il Sud del magnete, a rientrano sul lato destro per la convenzione sulle polarità, è quindi come se vi fosse a sinistra il polo Nord ed a destra il polo Sud prodotti dal conduttore. Se si guarda invece dalla parte del magnete Nord, si vede il Nord a sinistra ed il Sud a destra.

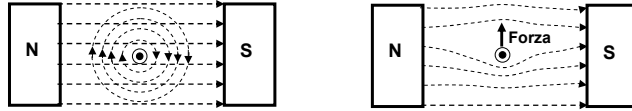


Per il principio delle forze di attrazione e repulsione ne risulta quindi che il conduttore è spinto a muoversi in modo da allontanare poli dello stesso nome e di avvicinare poli di nome contrario: ha cioè origine una forza meccanica che spinge il conduttore a spostarsi, detta **forza elettromagnetica**, che si misura in newton.

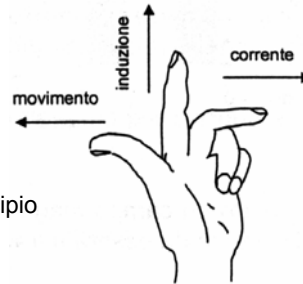
$$F = BI l$$

Principio di funzionamento dei motori

$$F = BI l$$



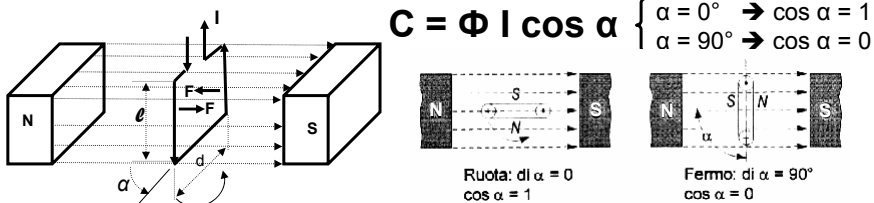
Per determinare il verso del moto, si applica la regola di Fleming della mano sinistra cioè il pollice indica il verso del movimento, l'indice la direzione del campo magnetico, il medio il senso della corrente.



Questa forza elettromagnetica rappresenta il principio di funzionamento dei motori.

Azioni meccaniche in una spira

La figura sotto riportata, rappresenta una forza elettromagnetica su una spira rettangolare disposta trasversalmente al campo magnetico. Sui due lati verticali della spira, percorsi da correnti in sensi opposti, agiscono forze di senso contrario, per cui la risultante è una coppia che sollecita la spira a ruotare per disporsi perpendicolarmente alle linee di forza.

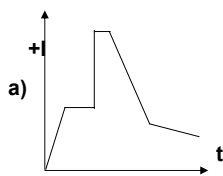


Il valore di $\cos \alpha$ indicherà fino a quando ruoterà la spira. Infatti il coseno vale 1 se $\alpha=0^\circ$, ossia se la spira è parallela alle linee di flusso (quindi tende a ruotare), se invece il $\cos \alpha=0$ sarà $\alpha=90^\circ$, quando cioè la spira è perpendicolare alle linee di flusso (la spira ha raggiunto la posizione di equilibrio fra le forze che tendono a farla ruotare). Infatti se essa viene considerata come un magnete, si vede quando si trova parallela alle linee di forza i suoi poli N e S sono trasversali rispetto a quelli del campo; ruotando di 90° i poli di nome opposto si trovano affacciati a la rotazione cessa.

Si dice perciò che una spira entro un campo magnetico e percorsa da corrente tende a ruotare per disporsi in modo da essere attraversata dal massimo flusso.

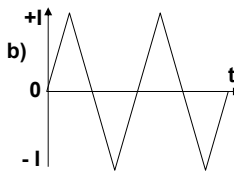
Tensioni e Correnti alternate sinusoidali

Corrente Alternata

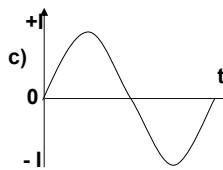


Nei circuiti in corrente continua (cc.) la corrente fluisce in un solo senso e non ha variazioni nel tempo.

Quando il senso della corrente varia e si ha un ciclo di variazione ripetitivo, allora si parla di **CORRENTE ALTERNATA** (ca.).



La corrente in figura(a) si considera ancora una corrente continua perché nonostante vari nel tempo mantiene sempre la stessa direzione e non segue una legge ciclica. Le correnti rappresentate in (b) e (c) vengono definite entrambe correnti alternate dato che la corrente passa alternativamente da valori positivi a negativi ripetendo sempre lo stesso ciclo.



La più comune forma d'onda dei sistemi in ca. è l'**ONDA SINUSOIDALE** rappresentata in (c) che è tipica della rete di distribuzione elettrica nazionale.

Grandezze in corrente alternata

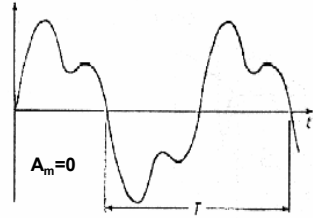


Diagramma di una grandezza periodica alternata, caratterizzata dall'aver un valore medio nullo, l'area della parte positiva è uguale a quella della parte negativa

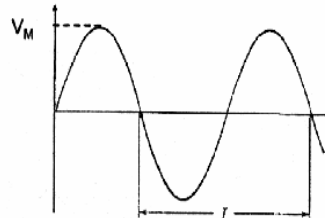


Diagramma di una grandezza alternata sinusoidale, nella quale l'andamento è corrispondente ai valori assunti dalle funzioni trigonometriche seno e coseno.

Una corrente periodica è variabile nel tempo secondo una successione preordinata in modo che essa assuma a intervalli di tempo regolari lo stesso valore.

Grandezze in corrente alternata

T = PERIODO

l'intervallo che passa fra due valori uguali

f = FREQUENZA

$1/T$ rappresenta l'inverso del periodo, indica il numero di volte in cui la corrente, assume in un secondo, il medesimo valore: si misura in periodi al secondo cioè in hertz (Hz).

VALORE ISTANTANEO

è il valore che la grandezza assume in un determinato istante.

VALORE MASSIMO

è il valore più elevato che la grandezza raggiunge durante un periodo.

o AMPIEZZA

VALORE MEDIO

è la media aritmetica di tutti i valori assunti durante un periodo

VALORE EFFICACE

Rappresenta il valore della corrente alternata che si dovrebbe assegnare ad una corrente continua per ottenere la stessa energia termica per effetto Joule.

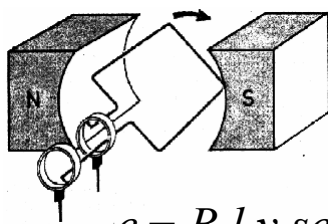
Per il valore efficace e quello massimo per correnti sinusoidali valgono le seguenti relazioni:

$$I_e = 0,707 I_M \quad \text{oppure} \quad I_M = \sqrt{2} I_e = 1,41 I_e$$

Generazione della c.a.

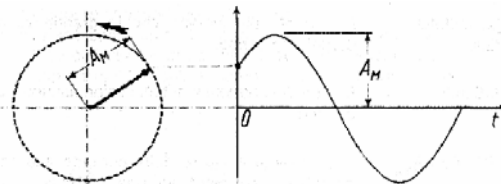
- La generazione di tensioni alternate sinusoidali avviene negli ALTERNATORI.
- Il loro funzionamento si basa sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica che viene ad esplicarsi attraverso un movimento di rotazione relativa tra un campo magnetico ed un sistema di conduttori indotti.
- Sono costituiti da una parte fissa denominata STATORE e da una parte rotante denominata ROTORE.
- Sullo statore è disposto l'avvolgimento indotto dal quale vengono prelevate, le tensioni sinusoidali, mentre sul rotore è montato il sistema induttore eccitato da una sorgente ausiliaria di corrente continua.
- Il moto relativo è una rotazione del rotore con una certa velocità angolare imposta, ad esempio da una turbina.

Generazione di una tensione alternata



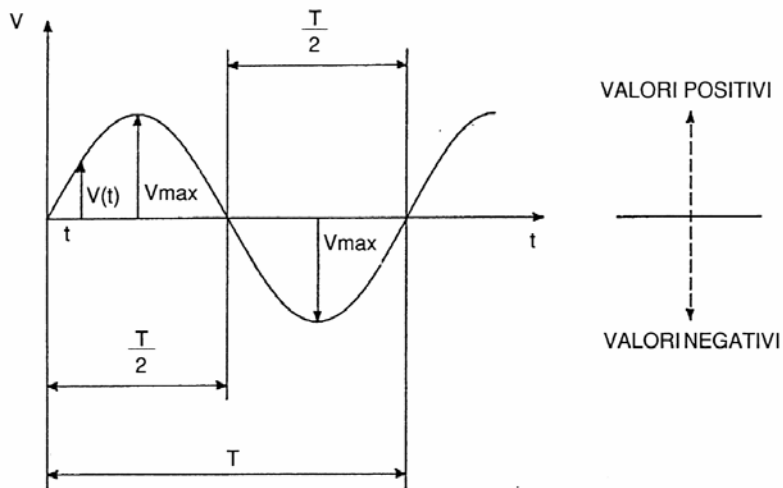
I lati attivi della spira, ruotando tagliano le linee di flusso a generano una f.e.m. il cui valore è massimo quando la spira è orizzontale (posizione di taglio del massimo numero di linee di flusso) e nullo quando verticale, (non si tagliano linee di flusso).

$$e = B l v \text{seno } t$$



Rappresentazione vettoriale di una grandezza sinusoidale: Il vettore A_M ha una lunghezza proporzionale all'intensità della grandezza e orientamento uguale alla posizione del raggio corrispondente alla sinusoide nell'istante zero (origine dell'asse delle ascisse)

Tensione (corrente) sinusoidale osservata all'oscilloscopio



Caratteristiche della corrente alternata sinusoidale

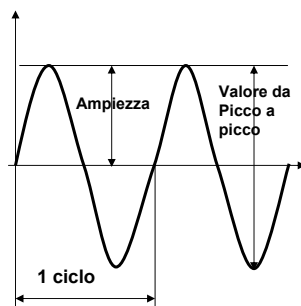
- La TENSIONE (corrente) assume
 - "ALTERNATIVAMENTE" valori positivi e negativi, come avere un generatore che cambia polarità ad ogni semionda
 - Il MODO di variazione segue l'andamento della funzione matematica SENO: da qui tensione (corrente) alternata sinusoidale.
- TUTTI i possibili valori della grandezza sono compresi tra un valore massimo positivo, $+ V_{max}$, ed un valore massimo negativo $- V_{max}$. In valore assoluto i valori massimi sono uguali.
- VALORE MASSIMO E VALORE ISTANTANEO
 - Il valore V_{max} , detto anche AMPIEZZA, è il valore più grande possibile di una tensione (corrente) alternata. Il valore istantaneo, V , è il valore che assume di volta in volta la tensione all'istante considerato.

Frequenza e Periodo

- PERIODO
 - Tutti i possibili valori della grandezza sono assunti in un determinato intervallo di tempo, T , dopo di che i valori si ripetono identici ad intervalli pari a T . Questo intervallo di tempo, di durata T , rappresenta il PERIODO della tensione (corrente) alternata sinusoidale. Si nota che nel periodo, T , avviene, una oscillazione completa della grandezza. Per la tensione di rete italiana:
 - $T = 0,02 \text{ s} = 20 \times 10^{-3} \text{ s} = 20 \text{ ms}$
- FREQUENZA
 - NUMERO DI PERIODI DIVISO PER IL TEMPO IMPIEGATO
 - Simbolo della grandezza = f
 - Unità di misura = Hertz (Hz); Per la tensione di rete italiana:
 $f=50 \text{ Hz}$

La Frequenza

Partendo da zero, la corrente sale fino ad un valore positivo massimo per poi scendere a zero e successivamente arrivare ad un valore massimo negativo da cui risale a zero. Questa sequenza viene ripetuta in continuazione. In figura sono definiti alcuni termini usati nei sistemi in ca.



La sequenza da zero al massimo, al minimo e poi di nuovo a zero viene detta CICLO ed il numero di cicli che si verifica in un secondo viene definita FREQUENZA. La frequenza si misura in HERTZ(Hz):

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/secondo}$$

(In Europa la frequenza delle reti nazionali è di 50 Hz, mentre in America del Nord è di 60 Hz).

Valore Quadratico Medio

Il valore massimo della corrente si definisce **AMPIEZZA** o **VALORE DI PICCO** e la differenza tra la corrente massima e minima viene anche definita valore da picco a picco (pari a due volte l'ampiezza).

Su un ciclo completo (o una serie di cicli completi), il valore medio della corrente è uguale a zero, poiché la metà positiva del ciclo viene esattamente "annullata" dalla metà negativa.

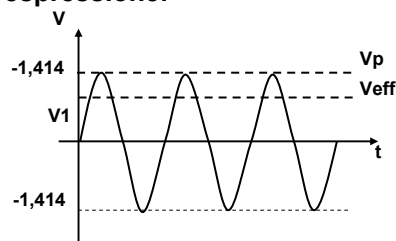
Invece di definire la corrente alternata utilizzando il suo valore di picco (ampiezza) è più significativo definire il suo valore **RMS** (Root Mean Square). Matematicamente il valore RMS si definisce come "la radice quadrata della media dei valori della corrente elevati al quadrato" durante un ciclo completo.

In pratica il valore RMS di una corrente alternata è quel valore che produce lo stesso effetto termico di una corrente continua dello stesso valore e comunemente si chiama

VALORE EFFICACE.

Root Mean Square

Nel caso di un'onda sinusoidale, i valori RMS e di picco sono collegati dall'espressione:



Valore di picco = 1,414 x Valore RMS

Valore RMS = 0,707 x Valore di picco

Dove 1,414 = $\sqrt{2}$

D'ora in poi con V ed I in c.a. si intenderanno i valori efficaci (RMS)

Valore efficace

Il valore efficace di una tensione o di una corrente alternata viene indicato con lettere maiuscole senza alcun pedice:

valore efficace della tensione = V

valore efficace della corrente = I

$$\text{valore efficace} = \frac{\text{valore massimo}}{\sqrt{2}}$$

Quando si dice che la tensione DI RETE vale 220V o 380V ci si riferisce al VALORE EFFICACE. Per i valori massimi si avrà, rispettivamente:

$$V_{\text{max}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ V}$$

$$V_{\text{max}} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537 \text{ V}$$

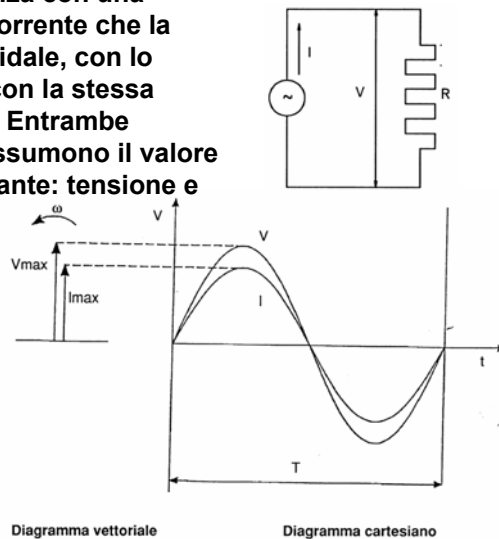
Circuiti in corrente alternata

Circuito con sola resistenza

Alimentando una resistenza con una tensione sinusoidale la corrente che la percorre è ancora sinusoidale, con lo stesso periodo e quindi con la stessa frequenza della tensione. Entrambe passano per lo zero ed assumono il valore massimo nello stesso istante: tensione e corrente sono "in fase".

Il valore efficace della corrente è dato dal rapporto tra il valore efficace della tensione e la resistenza:

$$I = \frac{V}{R}$$



Resistenza in c.a.

L'effetto di resistenza in un circuito in ca. è uguale a quello che ha in un circuito in cc.

Potrà quindi ancora essere applicata la legge di Ohm, che lega i valori della corrente, della tensione e della resistenza, cioè si potrà scrivere:

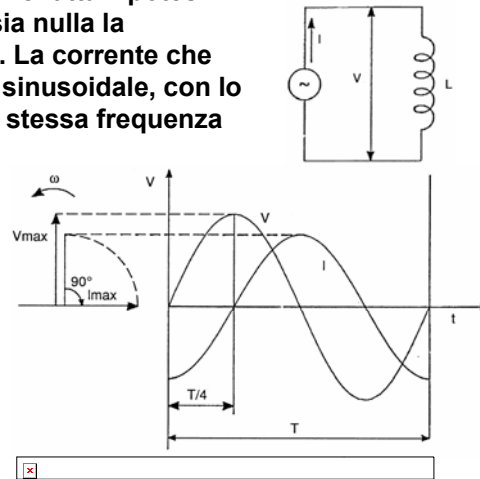
$$I = \frac{V}{R}$$

Anche gli effetti di resistenze in serie o in parallelo sono gli stessi di quelli dei circuiti in cc.

Circuito con sola induttanza

Il comportamento è quello tipico delle bobine, presenti in molte applicazioni elettromeccaniche: avvolgimenti nei trasformatori, nei generatori, nei motori... Viene fatta l'ipotesi che la bobina sia ideale, cioè sia nulla la resistenza della bobina stessa. La corrente che percorre l'induttanza è ancora sinusoidale, con lo stesso periodo e perciò con la stessa frequenza della tensione.

La corrente però, rispetto alla tensione, passa per lo zero e raggiunge valori massimi in tempi diversi, spostati tra loro di una quantità pari ad un quarto di periodo: le grandezze sono sfasate tra loro, più precisamente, la **CORRENTE E' IN RITARDO** sulla tensione di $T/4$.

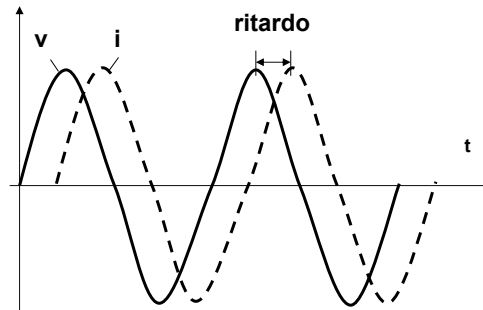


Corrente in ritardo

- Come è già stato detto in precedenza, l'induttanza provoca degli effetti al variare delle condizioni circuitali, cioè, in un circuito in cc. quando un componente di tipo induttivo viene commutato.
- Fondamentalmente, una induttanza provoca un ritardo tra la tensione applicata e l'incremento della corrente fino al suo massimo valore.
- In un sistema in ca. dove la tensione viene fatta variare in continuazione ci sarà nuovamente un ritardo tra la tensione applicata e la corrente risultante, ma questa avrà un andamento con RITARDO costante tra le forme d'onda della tensione e della corrente.

Induttanza in c.a.

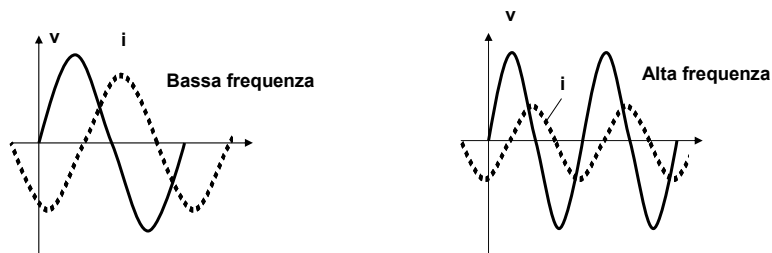
Come si può vedere, la corrente raggiunge il suo valore di picco sempre dopo la tensione.



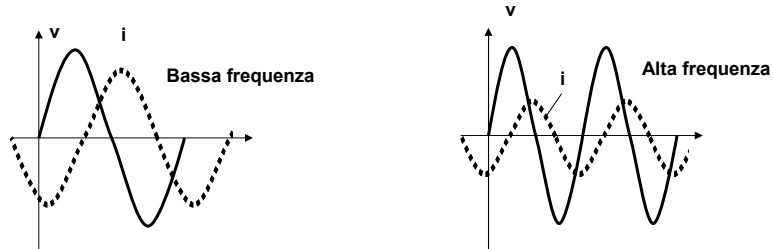
Nel caso di una induttanza pura (resistenza uguale a zero), il ritardo è di circa 1/4 di ciclo, ma siccome una bobina ha sempre una certa resistenza, il ritardo sarà un po' inferiore a 1/4 di ciclo. Quando due forme d'onda non coincidono si dice che sono "fuori fase", di una quantità definita DIFFERENZA DI FASE. se un intero ciclo è di 360° , allora, nel caso di figura, il ritardo della corrente rispetto alla tensione è di 90° (1/4 di ciclo) cioè $\pi/2$.

L'effetto dell'induttanza

Poiché l'effetto dell'induttanza è di creare un ritardo tra la tensione applicata e la corrente risultante, si potrebbe verificare che la tensione vari tanto rapidamente da non dare il tempo alla corrente di raggiungere il suo normale valore massimo prima che la tensione inverta il segno. Ciò comporta che più elevata è la frequenza della tensione applicata, minore sarà l'intensità della corrente.



Reattanza Induttiva



In effetti l'induttanza in questo caso si comporta come una resistenza; ciò significa che, anche se il suo valore di picco della tensione rimane lo stesso, l'induttanza riduce l'intensità della corrente risultante man mano che aumenta la frequenza della tensione di alimentazione. La proprietà dell'induttanza di ridurre l'intensità di corrente viene definita **REATTANZA INDUTTIVA (X_L)** e si può calcolare con la formula:

$$X_L = 2\pi \times f \times L \quad [\Omega] \quad \text{dove: } f = \text{frequenza di alimentazione in Hz}$$

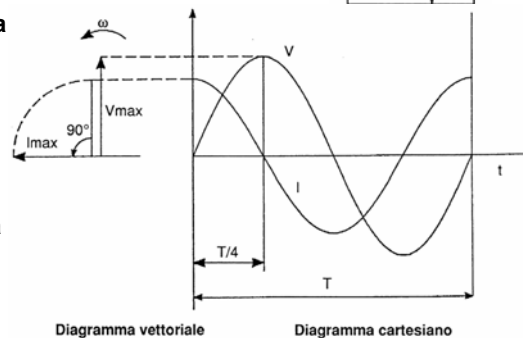
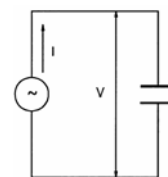
$$L = \text{induttanza in Henry}$$

X_L è data in OHM poiché ha lo stesso effetto della resistenza e si può usare nella legge di Ohm, cioè:

$$I = V / X_L$$

Circuito con sola capacità

L'impiego dei condensatori è molto diffuso in elettronica. Nelle applicazioni elettrotecniche è spesso usato in combinazione con le bobine. Ciò è legato al suo comportamento, opposto a quello delle bobine, che permette di modificare le perdite dovute allo sfasamento delle grandezze elettriche, tensione e corrente (problema del rifasamento), provocato dalla presenza di bobine nei circuiti. Sono anche usati in circuiti elettrici dove sono presenti processi di commutazione. A causa delle continue variazioni di polarità del generatore, nel circuito si ha circolazione di corrente dovuta alle continue fasi di carica e scarica dal condensatore.

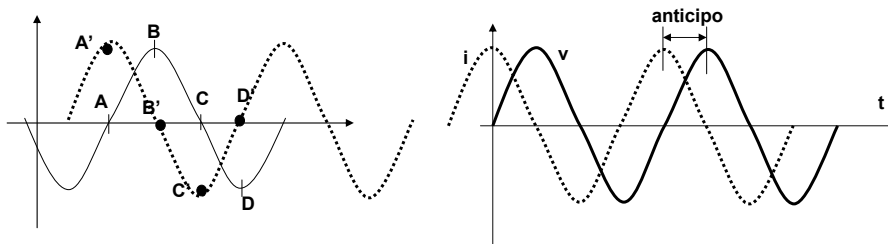


Capacità in c.a.

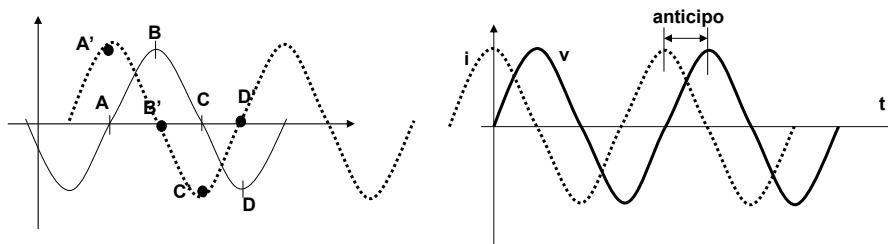
L'effetto di un condensatore in un circuito in c.a. non si può evidenziare facilmente, ma è possibile arguirlo partendo dagli effetti che provoca in un circuito a cc. Si deve tener presente che attraverso un condensatore passa corrente solo se la differenza di tensione tra le armature è variabile e che l'intensità di corrente è data da:

$$I = C \times \text{velocità di variazione della tensione}$$

cioè quanto più rapidamente varia la tensione, tanto maggiore sarà l'intensità della corrente.



La corrente ANTICIPA



La corrente risultante avrà perciò l'andamento indicato in che mostra una differenza di fase tra la corrente e la tensione ma questa volta la corrente ANTICIPA la tensione.

Per un carico puramente capacitivo, l'anticipo di fase è di 1/4 di ciclo o di 90° ma, se si considera il caso reale in cui c'è l'effetto della resistenza, l'anticipo di fase potrebbe essere di poco inferiore a 90° .

Reattanza Capacitiva

Perciò, una caratteristica importante di un condensatore è che lascia passare una corrente in ca., ma non una corrente in cc. Inoltre, più rapida è la variazione di tensione tra le armature del condensatore, maggiore sarà l'intensità della corrente che lo attraversa, e questo implica che maggiore è la frequenza dell'alimentazione in ca., minore sarà la "resistenza" opposta dal condensatore al passaggio di corrente. La resistenza effettiva di un condensatore è detta REATTANZA CAPACITIVA (X_c) e si calcola con la seguente formula:

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C} \quad \text{dove: } f = \text{frequenza di alimentazione in Hz}$$

$C = \text{capacità in Farad}$

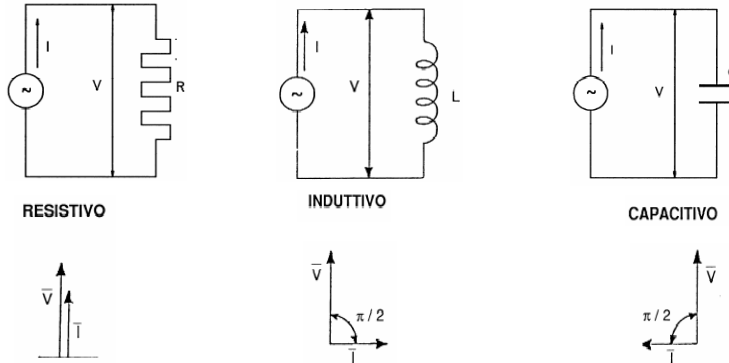
Reattanza Capacitiva

Come per la reattanza induttiva, X_c ha l'Ohm come unità di misura e si può usare nella legge di Ohm:

$$I = \frac{V}{X_c}$$

Dalla formula di calcolo di X_c si può vedere che se la frequenza aumenta, X_c diminuisce e si avrà una corrente maggiore. Inoltre, se $f = 0$, cioè in un circuito in cc., X_c diventa infinita, cioè (dalla legge di Ohm) $I = 0$ confermando con ciò che attraverso un condensatore non può passare corrente in cc. La capacità del condensatore di bloccare una corrente cc. e di lasciar passare una corrente alternata può rivelarsi molto utile quando, ad esempio, si sovrappone una c.a. ad una cc. ed è necessario separarle.

Riassumendo

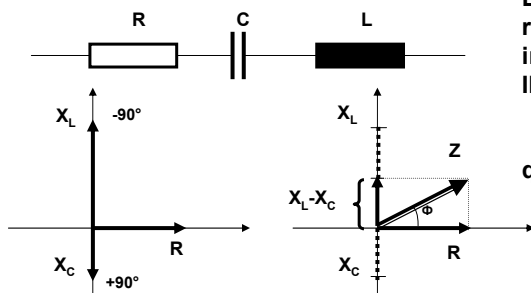


RISPETTO ALLA TENSIONE del generatore la corrente risulta:

- in fase nel circuito puramente resistivo;
- sfasata di $\pi/2$ (90°) in ritardo nel circuito puramente induttivo
- sfasata di $\pi/2$ (90°) in anticipo nel circuito puramente capacitivo.

Impedenza

Per poter calcolare la corrente in un circuito in ca., è necessario considerare non solo la mera resistenza del circuito, ma anche la resistenza effettiva (reattanza) dei componenti induttivi o capacitivi. Considerando la figura seguente in cui sono collegati in serie tre tipi di componenti, per calcolare la resistenza complessiva si deve tenere conto della differenza di fase introdotta dalla induttanza e dalla capacità, e sommare "geometricamente" le tre componenti usando il cosiddetto diagramma vettoriale.



L'effetto complessivo di resistenza, capacità ed induttanza prende il nome di **IMPEDENZA (Z)**:

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

quindi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Cos(Φ)

La differenza di fase totale tra corrente e tensione rilevabile dal diagramma vettoriale ed è data dall'angolo Φ :

$$\cos(\Phi) = R / Z$$

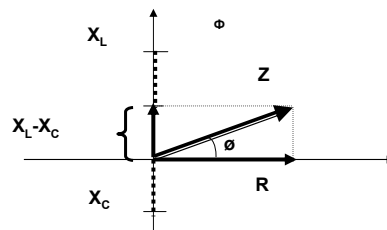


Fig.39

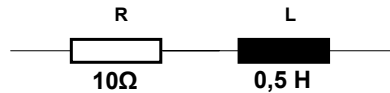
Esempio

La bobina di un solenoide ha una resistenza di 10Ω e un'induttanza di $0,5H$ (con capacità trascurabile). E' stata costruita per lavorare con una tensione alternata a $240 V$ e $50 Hz$.

Se si vuole adoperare il solenoide con una alimentazione a $60 Hz$, qual è il valore della tensione che si deve applicare perché la corrente nel solenoide sia la stessa ?

Soluzione

Il solenoide si può considerare come una resistenza e un'induttanza in serie



Essendo $I = V / Z$ allora si ha:

$$\frac{V_1}{Z_1} = \frac{V_2}{Z_2} \quad \text{Da cui } V_2 = V_1 \times \frac{Z_2}{Z_1} = 240 \sqrt{\frac{R^2 + (X_{L2})^2}{R^2 + (X_{L1})^2}} =$$

$$= 240 \sqrt{\frac{100 + (2\pi \times 60 \times 0,5)^2}{100 + (2\pi \times 50 \times 0,5)^2}} = 288 \text{ V}$$

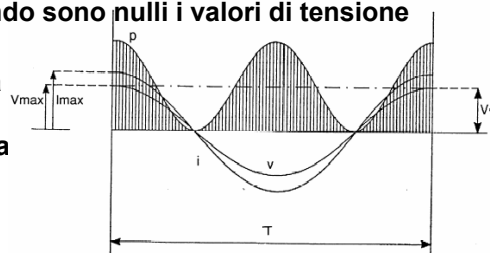
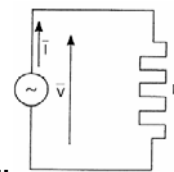
Potenza elettrica in alternata

In corrente continua, se V è la tensione impressa agli estremi di una resistenza percorsa dalla corrente I , la potenza è $P = V \cdot I$

In alternata, però, tensione e corrente variano da istante a istante, per cui il loro prodotto sarà variabile.

Di conseguenza la relazione $P = V \cdot I$ è l'espressione della **POTENZA ISTANTANEA**. Con riferimento ad un circuito puramente resistivo la potenza istantanea ottenuta dal prodotto dei valori tensione \cdot corrente in ogni istante, assume valore massimo quando tensione e corrente assumono anch'essi valore massimo, ed è nulla quando sono nulli i valori di tensione e corrente.

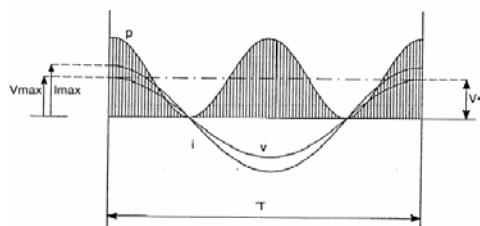
Si osserva anche che la potenza si mantiene sempre positiva: significa che in ogni istante si ha trasmissione di potenza dal generatore all'utilizzatore.



Potenza attiva

In un circuito in corrente alternata che ha solo resistenze (senza induttanze o capacità), la tensione e la corrente sono in fase. Per la trasformazione della potenza elettrica, ad esempio in calore, è importante la POTENZA MEDIA trasmessa in un periodo.

Questa può essere ottenuta sostituendo l'area tratteggiata (racchiusa dalla curva della potenza istantanea) e calcolata per un periodo T con un rettangolo di base uguale al periodo T e di area uguale alla precedente. L'altezza di tale rettangolo è la potenza media che viene anche chiamata POTENZA ATTIVA o REALE; viene indicata con P ed è misurata in WATT (W).



$$P = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2}$$

Potenza Attiva

Ricordando il legame tra valore massimo ed efficace, si ha:

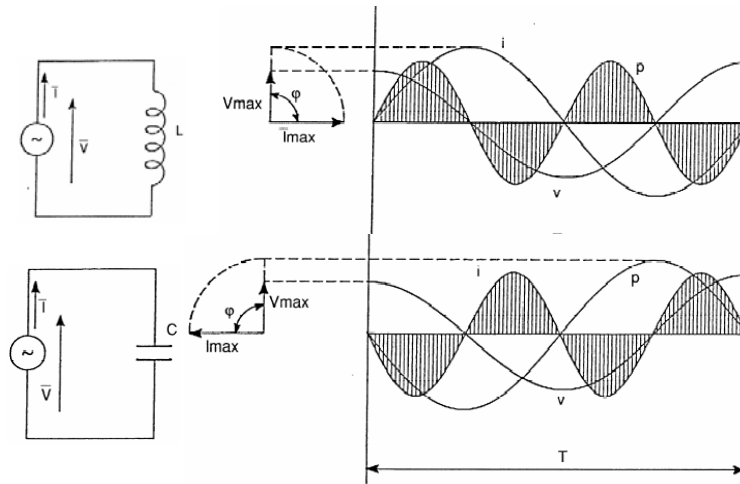
$$P = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$P = V \cdot I \text{ (W)}$$

In definitiva:

**LA POTENZA ATTIVA E' DATA DAL
PRODOTTO DEL VALORE EFFICACE
DELLA TENSIONE PER IL VALORE
EFFICACE DELLA CORRENTE.**

Diagrammi della potenza istantanea per circuiti induttivi e capacitivi



Potenza reattiva

Dai diagrammi della potenza istantanea per circuiti induttivi o capacitivi, si osserva che la potenza istantanea ha andamento sinusoidale:

- **POSITIVA** la trasmissione di potenza avviene dal generatore all'utilizzatore (durante la semionda positiva si ha un accumulo di energia nella bobina o nel condensatore);
- **NEGATIVA** la trasmissione di potenza avviene dall'utilizzatore verso il generatore (durante la semionda negativa l'energia accumulata in precedenza viene restituita al generatore).

Potenza reale

LE DUE SEMIONDE POSITIVE E NEGATIVE SONO UGUALI per cui, se si considera la potenza media in un periodo, questa risulta nulla : **NON VIENE QUINDI EROGATA POTENZA REALE** (ad esempio sotto forma di calore).

Ciò è perfettamente coerente in quanto l'unico componente che dissipa potenza (attiva) è la resistenza, mentre nei condensatori e nelle induttanze (elementi reattivi) si ha solo accumulo e restituzione di energia.

La potenza "SCAMBIATA" nei circuiti con elementi reattivi viene chiamata **POTENZA REATTIVA (Q)** ed è misurata in VAR (volt. ampère reattivi):

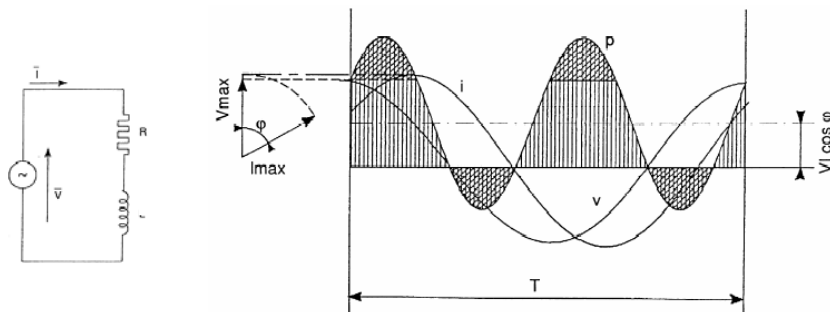
$$Q = V \cdot I$$

Si ricordi che tensione e corrente sono sfasati di 90° . La potenza reattiva nell'induttanza è indicata con Q_L e considerata positiva, mentre quella con condensatore è indicata con Q_C ed è considerata negativa.

Fattore di potenza

Generalmente un circuito presenta un carico formato da una **RESISTENZA** e da una **REATTANZA**.

In un circuito di questo tipo tensione e corrente sono sfasate di un angolo φ ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$) e la corrente è in ritardo sulla tensione. Normalmente in un circuito reattivo sono riconoscibili componenti di potenze positive e negative.



Fattore di potenza

Le onde positive presentano aree maggiori di quelle negative: significa che la potenza fornita dal generatore all'utilizzatore è sempre maggiore di quella che quest'ultimo restituisce al primo. Se dall'area positiva si sottrae quella negativa, la rimanente rappresenta la potenza utilizzata dal carico (potenza reale o attiva).

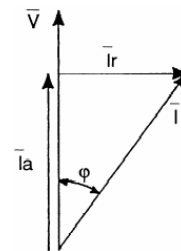
Indicando con I_a (attiva) la componente in fase con la tensione e con I_r quella in quadratura (reattiva) si ha:

POTENZA ATTIVA = $P = V \cdot I_a$ (W) POTENZA REATTIVA = $Q = V \cdot I_r$ (VAR)

Osservando che i vettori I_a , I_r ed I costituiscono un triangolo rettangolo

$I_a = I \cos \varphi$ $I_r = I \sin \varphi$ e quindi
 $P = V \cdot I \cos \varphi$ (W) e $Q = V \cdot I \sin \varphi$ (VAR)

Dove $\cos \varphi =$ FATTORE DI POTENZA (angolo di sfasamento)



La Potenza Nominale (o apparente)

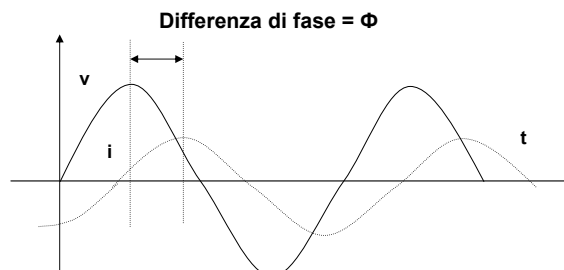
In pratica il fattore di potenza è un numero compreso tra 0 e 1 ed è uguale al coseno dell'angolo corrispondente alla differenza di fase cioè:

Fattore di Potenza = $\cos(\Phi) = R / Z$

In un circuito di tipo puramente resistivo, in cui la tensione e la corrente sono in fase si ha $\Phi = 0$ e

$\cos(\Phi) = 1$ e quindi:

Potenza (Watt) = $V \times I \times 1$



La Potenza Nominale (o apparente)

In un circuito in cui ci sia solo induttanza o capacità (cosa possibile solo in teoria, poiché tutti i circuiti hanno una certa resistenza), si ha $\Phi = 90^\circ$ e $\cos(\Phi) = 0$. In questo caso la potenza dovrebbe essere uguale a 0, con la conseguenza che tutta l'energia immagazzinata nell'induttanza e nel condensatore durante una prima metà di ciclo viene restituita nella seconda metà e perciò la potenza netta risultante sarà uguale a zero.

Le potenze nominali sono molto spesso misurate in VOLTAMPERE (VA) cioè:

$$\text{Potenza (VA)} = V \times I$$

Per questo la misura del valore VA di un solenoide permette di determinare la corrente se si conosce la tensione di alimentazione cioè:

$$I = \text{VA} / V$$

E poiché $P = V \cdot I \cos \varphi$ (W) ne consegue che:

$$\text{Potenza (Watt)} = \text{Potenza(VA)} \times \text{fattore di Potenza}$$

Esempio

La bobina di un solenoide alimentato in c.a. a 110 V e 50 Hz ha una resistenza di 10Ω e un'induttanza di 0,5H (con una capacità trascurabile): si calcoli la potenza del solenoide in Watt e il valore VA.

Le formule necessarie

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$V = Z I$$

$$\text{Potenza (VA)} = V \times I$$

$$\text{Fattore di potenza} = \cos(\Phi) = R / Z$$

$$\text{Potenza (Watt)} = \text{VA} \times \text{Fattore di Potenza}$$

Soluzione

$$\text{Impedenza (Z)} = 157 \Omega$$

$$\text{Corrente (I)} = V/Z = 110/157 = 0,7 \text{ Ampere}$$

$$\text{quindi il valore di VA} = 110 \times 0,7 = 77 \text{ VA}$$

$$\text{Fattore di potenza} = \cos(\Phi) = R / Z = 10/157 = 0,064$$

pertanto

$$\text{la potenza (Watt)} = \text{VA} \times \text{Fattore di Potenza} = 77 \times 0,064 = 4,9 \text{ W}$$

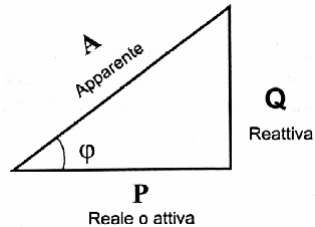
Il triangolo delle potenze

Nei normali circuiti, naturalmente, la potenza reale a quella reattiva coesisteranno per il fatto che la corrente si trova sfasata di un angolo qualsiasi ed ha quindi sia una componente in fase sia una in quadratura.

Questa situazione porta ad una importante conseguenza; in corrente continua la potenza ricavabile dal circuito era proporzionale alla corrente che lo percorreva:

in corrente alternate se l'angolo di sfasamento è diverso da zero, la potenza ricavabile dal circuito è proporzionale a $I \cos \varphi$ mentre le perdite saranno sempre date dalla corrente ($P = R I^2$), ossia da tutta la potenza nella quale si tiene conto anche della componente in quadratura, che indica potenza di scambio, ma non fornisce potenza utile.

Per tenere conto di questo fatto, ossia essere in grado di valutare gli elementi energetici dai quali dipende il dimensionamento dei circuiti, si introduce anche una potenza apparente A , che si misura in Volt ampere (VA) dato dal prodotto della tensione per la corrente qualunque sia l'angolo di sfasamento esistente. Si ricorda in definitiva che non si tratta di potenza utile ricavabile dal circuito, ma bensì solo di un elemento di dimensionamento.



Riassumendo

$$A = V I \qquad A = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad \cos \varphi = \frac{P}{A}$$

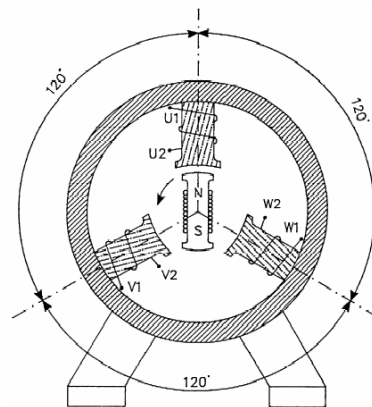
Riepilogando:

Potenza REALE	= $V I \cos \varphi$	W (watt)
Potenza REATTIVA	= $V I \sin \varphi$	VAR (Volt Ampere Reattivi)
Potenza APPARENTE	= $V I$	VA (Volt Ampere)

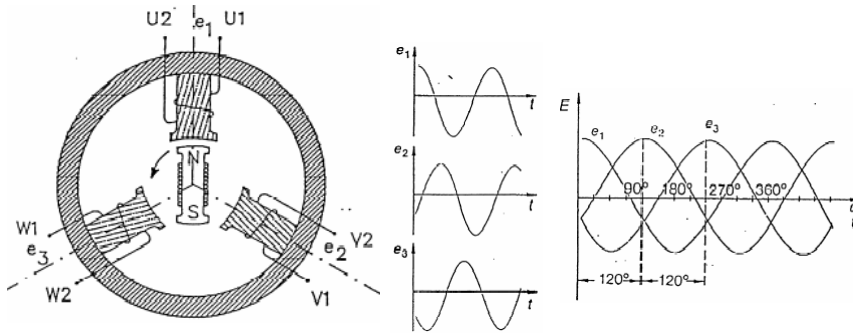
Corrente alternata trifase

Generatore trifase

Per la produzione e la distribuzione di energia elettrica si usa il sistema a corrente alternata trifase. Tre avvolgimenti, identici fra loro e disposti a 120° , vengono interessati da un campo magnetico rotante, generato dall'avvolgimento del rotore che è tenuto in rotazione da un motore primario (ad esempio una turbina). Come conseguenza dei fenomeni elettromagnetici che intervengono in essi si formano tre tensioni uguali. L'intensità massima del campo magnetico del rotore interessa i singoli avvolgimenti a intervalli di 120° , quando cioè il polo magnetico è di fronte all'avvolgimento: HANNO COSI' ORIGINE TRE TENSIONI UGUALI MA CHE PRESENTANO L'UNA NEI CONFRONTI DELL'ALTRA SFASAMENTI DI 120°



Andamento delle tensioni in generatore trifase



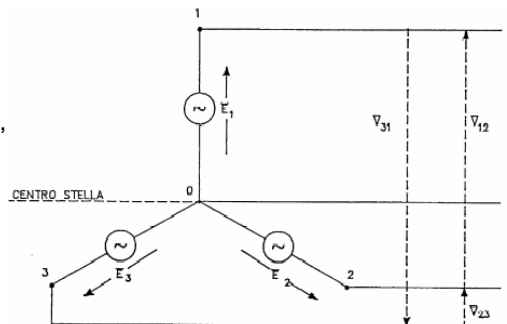
LO SFASAMENTO NELLO SPAZIO DI 120° DOVUTO ALLA DISPOSIZIONE DEGLI AVVOLGIMENTI E' TRASFORMATO IN UNO SFASAMENTO NEL TEMPO CORRISPONDENTE AD UN TERZO DI PERIODO ($1/3$) ED EQUIVALENTE A 120° .

Collegamento nei generatori a stella

Se si collegano tra loro i morsetti U2, V2 e W2 (non si modificano i valori delle tensioni dato che si è solo fissato un riferimento uguale per le tre fasi), si ottiene il collegamento A STELLA del generatore trifase. Il punto comune viene chiamato CENTRO STELLA. Dai morsetti liberi di ogni avvolgimento si derivano le linee di alimentazione. Si ottiene così un sistema di tensioni trifase che risulta costituito da tre tensioni alternate sinusoidali, sfasate di 120° .

In alcune situazioni si rende disponibile un quarto filo collegato al centro stella, chiamato conduttore NEUTRO. Si ha allora un sistema trifase con neutro. Negli schemi i conduttori delle varie fasi vengono indicati ordinatamente con i numeri 1, 2, 3, 0 (neutro) oppure con le lettere maiuscole R, S, T, N (neutro). Risultano allora disponibili:

- Tre tensioni di fase indicate con E_1 , E_2 , E_3 , tra i fili di linea e il centro stella (o filo neutro).
- Tre tensioni concatenate indicate con $V_1 2$, $V_2 3$, $V_3 1$, tra i conduttori di linea, composte ognuna da due tensioni di fase.



Sistema di tensioni simmetrico

Un sistema di tensioni si dice **SIMMETRICO** se queste hanno ampiezza uguale e sono sfasate tra loro di angoli uguali.

Ad esempio:

$$E_1 = E_2 = E_3 = E = 220V$$

con gli angoli di sfasamento reciproco uguali a 120° .

Nell'ipotesi della simmetria vale la relazione

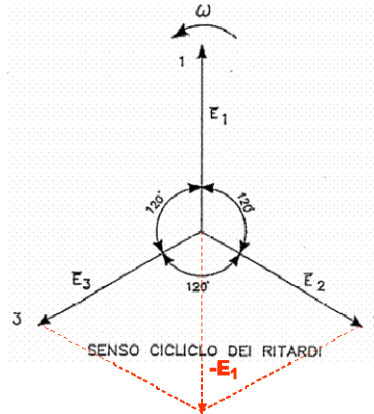
$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = 0$$

Si ricorda che la somma indicata non può essere intesa come una semplice addizione di numeri, perché le tensioni hanno direzioni diverse. Si deve ricorrere alla composizione dei vettori, così come si fa per le forze.

Se le tensioni stellate costituiscono un sistema simmetrico risulta pure simmetrico il sistema di tensioni concatenate, per cui si ha:

$$V_{12} = V_{23} = V_{31} = V$$

(con V si è indicato il valore comune, ad esempio 380V). Gli angoli di sfasamento reciproco tra le tensioni concatenate sono ancora di 120° .



Sistema di tensioni simmetrico

Un sistema di tensioni si dice **SIMMETRICO** se queste hanno ampiezza uguale e sono sfasate tra loro di angoli uguali.

Ad esempio:

$$E_1 = E_2 = E_3 = E = 220V$$

con gli angoli di sfasamento reciproco uguali a 120° .

Nell'ipotesi della simmetria vale la relazione

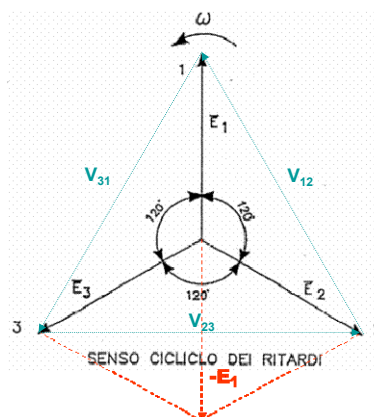
$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = 0$$

Si ricorda che la somma indicata non può essere intesa come una semplice addizione di numeri, perché le tensioni hanno direzioni diverse. Si deve ricorrere alla composizione dei vettori, così come si fa per le forze.

Se le tensioni stellate costituiscono un sistema simmetrico risulta pure simmetrico il sistema di tensioni concatenate, per cui si ha:

$$V_{12} = V_{23} = V_{31} = V$$

(con V si è indicato il valore comune, ad esempio 380V). Gli angoli di sfasamento reciproco tra le tensioni concatenate sono ancora di 120° .



Tensioni concatenate

Il legame tra le tensioni concatenate e le tensioni stellate può essere dedotto osservando che ogni tensione concatenata si compone di due tensioni stellate. Ad esempio V_{12} è la tensione tra il filo 1 e 2. Poiché il filo 2 è preso come riferimento, il percorso sarà: morsetto 2 / generatore \vec{E}_2 che viene percorso in senso opposto all'orientamento ($-\vec{E}_2$) / centro stella/generatore \vec{E}_1 , percorso in senso concorde all'orientamento (\vec{E}_1) / morsetto 1.

Quindi: $\vec{V}_{12} = \vec{E}_1 - \vec{E}_2$

Analogamente per gli altri casi:

$$\vec{V}_{12} = \vec{E}_1 - \vec{E}_2$$

$$\vec{V}_{23} = \vec{E}_2 - \vec{E}_3$$

$$\vec{V}_{31} = \vec{E}_3 - \vec{E}_1$$

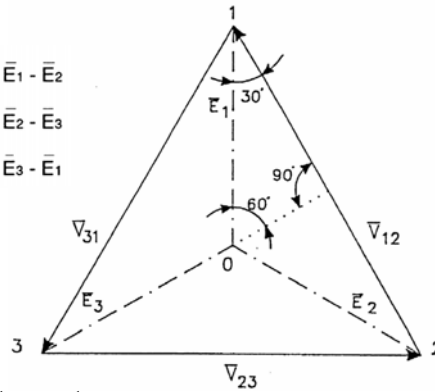
Nei sistemi simmetrici trifase

$$V = \sqrt{3} E$$

$$E = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

In cui $\sqrt{3} = 1,73$

Il fattore 3 è anche detto fattore di concatenamento



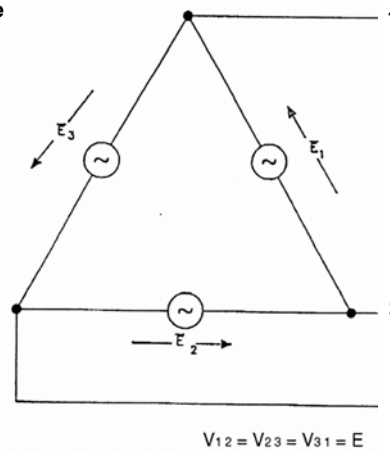
Collegamento dei generatori a triangolo

Le fasi del generatore trifase possono essere collegate anche a triangolo.

In questo caso la tensione concatenata è uguale alla tensione di fase.

Disponendo di un sistema di tensioni di fasi simmetriche del valore di 220V, si possono ottenere:

- tre tensioni di 220V prelevabili tra fase e neutro. Tre tensioni di 380V prelevabili tra le fasi con il collegamento a stella;
- tre tensioni di 220V prelevabili tra le fasi con il collegamento a triangolo.



Collegamento di resistenze a stella

Si supponga di alimentare un carico costituito da tre resistenze collegate a stella con una terna di tensioni simmetriche

Se le tre resistenze sono di valore uguale, $R_1 = R_2 = R_3 = R$, le tre correnti:

$$\begin{matrix} E & E & E \\ (I_{f1} = \frac{E}{R_1}, I_{f2} = \frac{E}{R_2}, I_{f3} = \frac{E}{R_3}) \end{matrix}$$

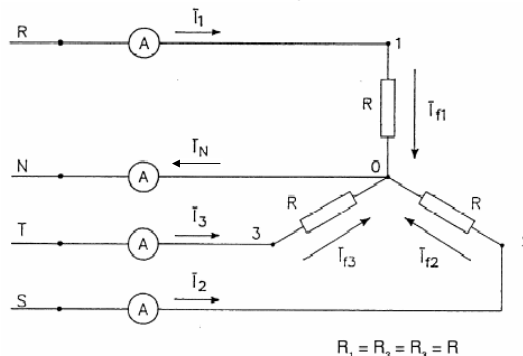
risultano uguali in valore ed ugualmente sfasate tra di loro (120°).

Il sistema si dice **EQUILIBRATO** e l'insieme delle tre resistenze uguali costituisce un **CARICO EQUILIBRATO**.

Inoltre le correnti nei conduttori (I_1, I_2, I_3) sono uguali alle correnti nelle resistenze (I_{f1}, I_{f2}, I_{f3}).

Le correnti scorrono verso il centro stella e perciò si sommano: $I_N + I_1 + I_2 + I_3 = 0$

Ma in un sistema equilibrato: $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ Quindi anche $I_N = 0$



$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$

Le correnti di un carico a stella

In un collegamento a stella di un carico equilibrato alimentato da tensioni simmetriche:

- le tre correnti di linea sono di uguale valore ed il conduttore neutro non è percorso da corrente.
- la corrente di linea (I_{LS}) è uguale alla corrente che scorre nella rispettiva fase (I_{fs})

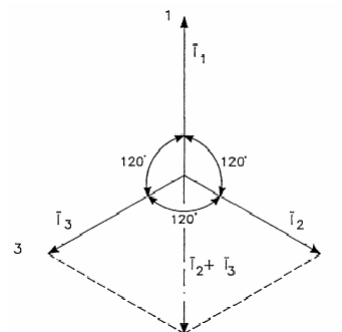
$$I_{LS} = I_{fs}$$

- la tensione concatenata (o di linea) è maggiore della tensione di fase

$$V = \sqrt{3} E$$

Se ad esempio le tensioni di linea sono $V = 380$ v, ogni resistenza del carico equilibrato è alimentata con la tensione

$$E = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$



Collegamento di resistenze a triangolo

I carichi nei sistemi trifasi possono essere collegati anche a triangolo. Consideriamo tre resistenze collegate a triangolo, supponendo sempre che le tensioni di alimentazione costituiscano una terna simmetrica.

Se le tre resistenze sono di valore uguale ($R_1 = R_2 = R_3 = R$) le tre correnti

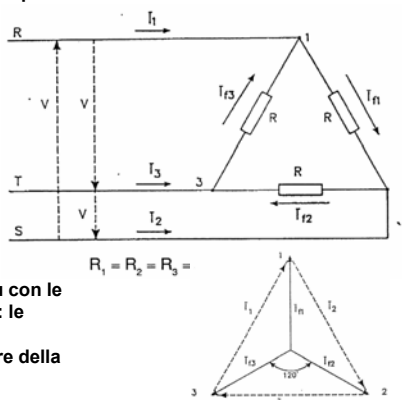
$$(I_{f1} = \frac{V}{R_1}; I_{f2} = \frac{V}{R_2}; I_{f3} = \frac{V}{R_3})$$

risultano uguali in valore ed ugualmente sfasate tra di loro di 120° (sistema equilibrato nelle correnti e di carico equilibrato).

Ora, però, le correnti di fase non coincidono più con le correnti di linea come nel collegamento a stella: le correnti di linea si suddividono nei punti di diramazione 1, 2, 3 e la loro intensità è maggiore della corrente di fase. Precisamente:

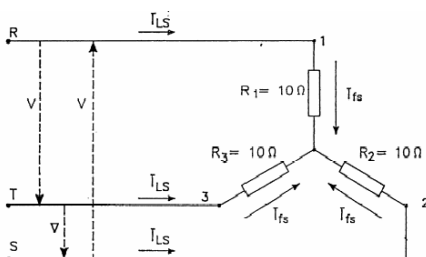
$$I_{Lt} = \sqrt{3} \cdot I_{ft}$$

- le tensioni sulle singole fasi del carico sono uguali alle tensioni concatenate: $V = E$
- la corrente di linea (I_{Lt}) è maggiore della corrente di fase (I_{ft})



Confronto tra collegamento a stella e a triangolo

Utilizzando la stessa rete di alimentazione ($V = 380\text{ V}$) si verifichino le diverse prestazioni



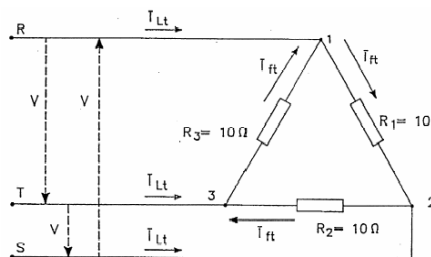
$$E = V / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220\text{ V}$$

$$I_{fs} = E / R = 220 / 10 = 22\text{ A}$$

$$I_{ls} = I_{fs} = 22\text{ A}$$

$$P_{fs} = E^2 / R = V^2 / 3R = 380^2 / 3 \cdot 10 = 4,817\text{ Kw}$$

$$P_s = 3 \cdot P_{fs} = 3 \cdot \frac{V^2}{3R} = \frac{V^2}{R} = \frac{380^2}{10} = 14,44\text{ Kw}$$



$$V = E = 380\text{ V}$$

$$I_{ft} = V / R = 380 / 10 = 38\text{ A}$$

$$I_{lt} = \sqrt{3} \cdot I_{ft} = 1,73 \cdot 38 = 66\text{ A}$$

$$P_{ft} = V^2 / R = 380^2 / 10 = 14,44\text{ Kw}$$

$$P_t = 3 \cdot P_{ft} = 3 \cdot \frac{V^2}{R} = 3 \cdot \frac{380^2}{10} = 43,32\text{ KW}$$

Potenza nei sistemi trifase

Nel caso di un motore asincrono trifase il carico è costituito da tre carichi uguali comprendenti una resistenza ed una induttanza.

Come si è visto, la potenza sviluppata in una fase è data dal prodotto del valore efficace della tensione per quello della corrente e per il fattore di potenza. Nel caso di collegamento a stella: $P_{fs} = E I \cos \varphi$

Per il sistema trifase la potenza sviluppata è data dalla somma delle potenze sviluppate nelle singole fasi: $P = P_{f1} + P_{f2} + P_{f3}$

Nel caso di simmetria delle tensioni e di equilibrio: $P_s = 3 (E I \cos \varphi)$

Nel caso di collegamento a triangolo si deve fare un ragionamento analogo utilizzando le grandezze tipiche di tale connessione.

E' tuttavia utile esprimere le potenze indipendentemente dal tipo di connessione del carico, utilizzando solo gli elementi di linea, cioè tensioni concatenate (V) e correnti di linea (I).

La potenza attiva, reattiva ed apparente sono definite da espressioni analoghe a quelle valide in monofase, in quanto differiscono da quelle solo per il fattore numerico ...3. Inoltre sono le stesse sia per il collegamento a stella che per quello a triangolo.

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos \varphi \text{ (W)}$$

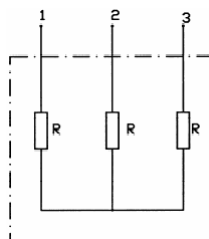
$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \sin \varphi \text{ (VAR)}$$

$$A = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (VA)}$$

Misura della resistenza di fase collegamento a stella

Con un tester si misura la resistenza tra una qualsiasi coppia di morsetti esterni.

Dalla figura si nota che, in questo modo, si è misurata la serie delle resistenze della fase 1 e della fase 2:



$$R_{11} = R_{12} = R_{13} = R$$

$$R = \frac{1}{2} R_{12}$$

$$R_{12} = R_{f1} + R_{f2}$$

Se il carico è equilibrato ($R_{f1} = R_{f2} = R_{fs} = R$) si ha:

$$R_{12} = 2 \cdot R$$

e da qui si ricava facilmente il valore della resistenza della singola fase:

$$R = R_{12} / 2$$

La resistenza di fase risulta la metà del valore della resistenza misurata tra due morsetti.

Misura della resistenza di fase collegamento a triangolo

Con un tester si effettua la misura della resistenza tra i morsetti 1 e 2. Il valore R_{12} è la resistenza equivalente del parallelo della resistenza della fase 1 con la serie delle fasi 2 e 3:

$$R_{12} = R_{f1} // (R_{f2} + R_{f3})$$

$$\text{Quindi } R_{12} = \frac{R_{f1} (R_{f2} + R_{f3})}{R_{f1} + R_{f2} + R_{f3}}$$

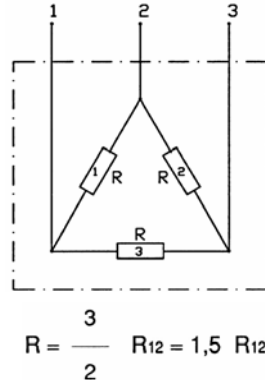
Se il carico è equilibrato ($R_{f1} = R_{f2} = R_{f3} = R$)

$$R_{12} = \frac{R \cdot 2R}{3R} = \frac{2R^2}{3R} = \frac{2}{3} R$$

e da qui si ricava facilmente il valore della resistenza della singola fase:

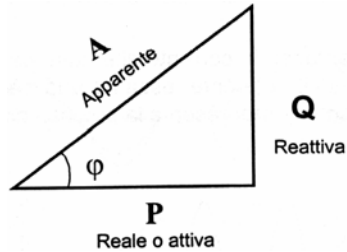
$$R = \frac{3}{2} R_{12} = 1,5 R_{12}$$

La resistenza di fase risulta 1,5 volte più grande della resistenza misurata tra due morsetti.



Riassumendo

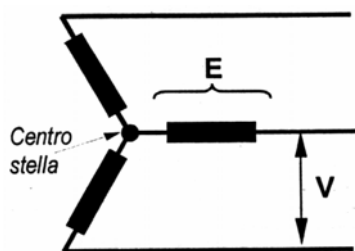
Il triangolo delle Potenze



$$A = VI; A = \sqrt{P^2 + Q^2}; \cos \varphi = \frac{P}{A}$$

Potenza REALE	= V I cos φ [W]	watt
Potenza REATTIVA	= V I sen φ [VAR]	Volt Ampere Reattivi
Potenza APPARENTE	= V I [VA]	Volt Ampere

Collegamento a stella



I tre elementi del circuito fanno capo da una parte al conduttore di fase e dall'altra sono riuniti da un punto detto "centro stella."

La tensione concatenata V con quella stellata E sono sfasate fra di loro di 30°

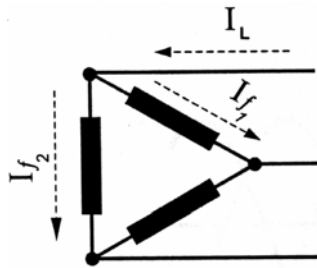
La tensione concatenata quindi è $\sqrt{3}$ maggiore della tensione stellata.

$$V = \sqrt{3} E$$

$$I_f = I_L$$

Le correnti che percorrono i tre conduttori si chiamano correnti di fase, in questo caso queste correnti sono uguali alle correnti di linea.

Collegamento a triangolo



$$I_L = I_f \sqrt{3}$$

I tre elementi del circuito sono collegati fra di loro uno di seguito all'altro in modo da formare un triangolo da cui vertici si dipartono le tre fasi. La tensione che si trova ai capi di ogni elemento del triangolo e la tensione concatenata V che vi è fra le fasi alle quali esso fa capo. La corrente che attraversa un elemento del triangolo non è invece uguale a nessuna delle correnti di linea che percorrono i conduttori; si vede subito, infatti, che in ogni vertice del triangolo la corrente si ripartisce fra i due lati di quest'ultimo, per cui si nota che queste correnti di fase dovranno avere un valore inferiore alle correnti di linea. Quindi le correnti di fase risulteranno sfasate di 30° rispetto quelle di linea. Fra i loro valori numerici esiste il rapporto già trovato per le tensioni, ossia: le correnti di linea sono $\sqrt{3}$ maggiori di quelle di fase.

La potenza nei sistemi trifase

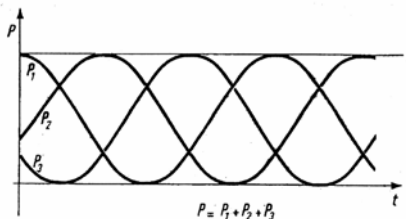
Come espressione generale della potenza di un sistema trifase si può assumere la somma delle tre potenze monofasi di ciascuna fase, valutate utilizzando la tensione di fase. Ciò significa in altre parole, considerare di avere tre circuiti monofasi indipendenti ciascuno formato da una fase a dal filo neutro come ritorno.

$$P = 3 E I \cos \varphi$$

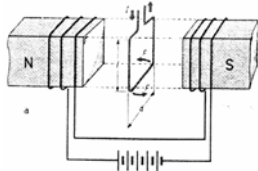
Analogamente si potrà scrivere la stessa espressione in funzione della tensione concatenata ricordando che $e = V / \sqrt{3}$ (anche le tensioni concatenate in un sistema simmetrico sono uguali fra loro).

$$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi$$

Nei sistemi trifasi simmetrici ed equilibrati, la potenza reale del sistema coincide con la potenza istantanea, poiché questa è data dalla somma delle tre potenze delle fasi, ciascuna variabile come nel caso monofase, ma la cui somma ha un valore costante.

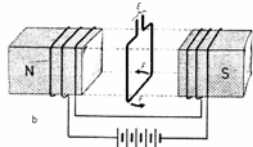


Principio di funzionamento delle macchine elettriche



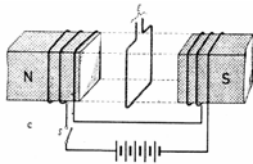
MOTORI

Facendo percorrere la spira da una corrente, essa viene sollecitata a ruotare dalle forze F ed a disporsi in modo la sua area ($l \times d$) abbracci il massimo flusso.



GENERATORI

Applicando alla spira una coppia di forze F tale che la costringa a ruotare, in essa si genera una f.e.m. indotta.



TRASFORMATORI

Tenendo la spira ferma, ma variando il flusso (ad esempio aprendo a chiudendo il circuito tramite l'interruttore S) si genera nella spira una f.e.m. indotta.

Trasformatori

Proprietà dei Trasformatori

Scopo principale dei trasformatori è di modificare i parametri che definiscono la potenza, da questa proprietà deriva appunto il nome di trasformatore. Ricordiamo che la potenza elettrica si esprime come prodotto dei due fattori: tensione e corrente, si può avere, ad esempio una potenza di 10Kw, tanto con una tensione di 200 volt e corrente di 50 ampere, quanto una tensione di 10kv e corrente di 1 ampere.

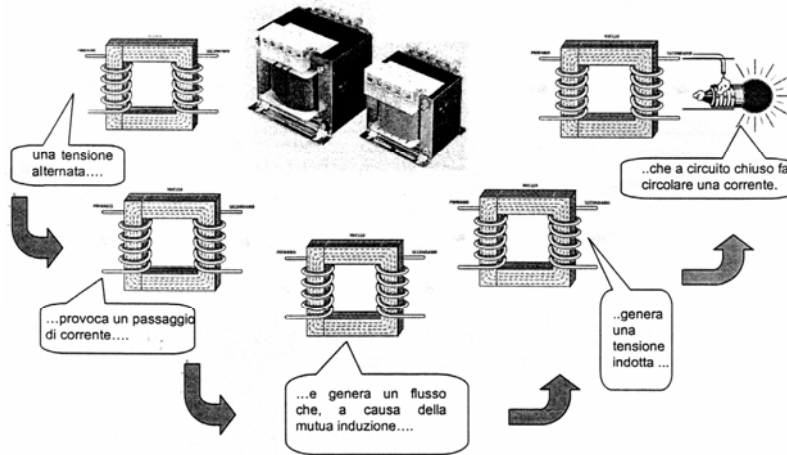
In generale data una determinata potenza se si aumenta la tensione diminuisce in proporzione la corrente, e viceversa. Il trasformatore adempie appunto alla funzione di mutare il valore di questi due parametri consentendo quindi di alimentare macchine ed apparecchiature previste per una tensione diversa da quella della rete.

Lo scopo per il quale il trasformatore è stato inventato, è quello del trasporto dell'energia elettrica a grande distanza.

E' costituito da due circuiti detti "avvolgimenti", formati da spire isolate elettricamente tra loro, ed avvolte su di un nucleo di ferro. L'avvolgimento che riceve corrente dalla linea di alimentazione viene chiamato "primario", mentre quello che la fornisce all'utilizzatore viene chiamato "secondario".

Alimentando con una tensione alternata il primario del trasformatore, si ha in esso un passaggio di corrente che crea nel nucleo un flusso alternato. Questo flusso concatenandosi con il secondario, a causa del fenomeno della mutua induzione, vi genera una tensione indotta che, a secondario chiuso su di un carico, fa circolare in esso una corrente.

Processo di trasformazione



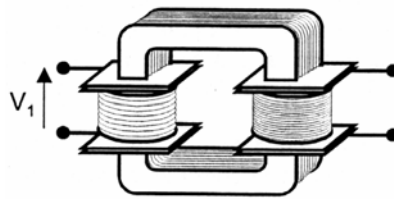
Alimentando il trasformatore con una corrente continua, si genera un flusso costante, e quindi nel secondario non si induce nessuna tensione

Corrente primaria a vuoto

Alimentando il trasformatore con una tensione alternata, quando il secondario è aperto, si ha nel primario un passaggio di corrente di intensità molto debole, detta corrente a vuoto o di magnetizzazione.

Il valore della corrente a vuoto dipende dalla tensione primaria applicata e dall'impedenza del circuito primario.

$$I_0 = \frac{V_1}{Z_1} \quad Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} \quad X_L = 2\omega L$$



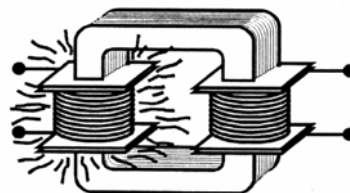
L'impedenza primaria del trasformatore ha sempre un valore tale da dar luogo ad un passaggio di una piccola corrente a vuoto, e quindi di provocare nel trasformatore stesso una piccola perdita per effetto termico.

Poiché l'impedenza dipende, oltre che dalla resistenza, anche dalla reattanza che, come si è visto, varia al variare della frequenza, si ha che il trasformatore viene costruito per funzionare ad una determinata frequenza.

Da evitare

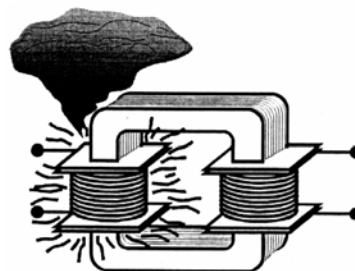
Se a parità di tensione primaria il trasformatore viene fatto funzionare a:

- 1) frequenza inferiore a quella per cui è stato costruito; la reattanza e di conseguenza l'impedenza diminuiscono per cui si ha un aumento della corrente a vuoto e quindi delle perdite per effetto termico.



- 1) frequenza zero, cioè in corrente continua: la reattanza si annulla, il valore dell'impedenza coincide con quello della resistenza che in genere è molto piccolo.

Di conseguenza, la corrente a vuoto assume valori molto elevati, tali da bruciare il trasformatore e provocare un cortocircuito sulla linea.



Relazione tra corrente primaria e secondaria

Il valore della tensione secondaria, dipende dalla tensione primaria e dal rapporto tra il numero di spire del secondario ed il numero di spire del primario:

$$V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1}$$

Il rapporto tra il numero di spire del secondario ed il numero di spire del primario, corrisponde al rapporto tra la tensione secondaria e quella primaria e viene detto:

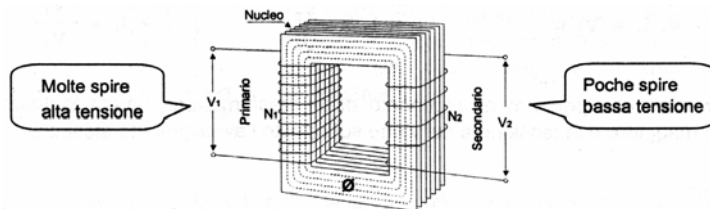
"Rapporto di trasformazione (K)".

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

La relazione esistente tra il numero di spire e le tensioni può essere spiegata dal fatto che, essendo il flusso magnetico uguale ad ogni sezione del nucleo, in ogni spira, sia del primario che del secondario, si ha la stessa f.e.m., quindi:

- **maggiore** è il numero di spire di un avvolgimento, maggiore è la tensione prelevabile ai suoi capi.
- **minore** è il numero di spire di un avvolgimento, minore è la tensione prelevabile ai suoi capi

Relazione tra corrente primaria e secondaria



Pertanto l'avvolgimento ad alta tensione A.T. , è costituito da un elevato numero di spire, mentre quello a bassa tensione B.T., da un basso numero di spire.

Il trasformatore quindi può funzionare da elevatore o riduttore di tensione.

Il trasformatore funziona da elevatore quando la tensione ai morsetti del secondario è superiore a quella del primario.

Il trasformatore funziona da riduttore quando la tensione ai morsetti del secondario è inferiore a quella del primario.

Relazione tra corrente primaria e secondaria

L'intensità di corrente che attraversa il circuito secondario di un trasformatore, a parità di tensione secondaria, dipende dall'impedenza del circuito esterno collegato al trasformatore stesso.



La corrente secondaria provoca un passaggio di corrente nel circuito primario, il cui valore dipende dal rapporto di trasformazione del trasformatore. Infatti in un trasformatore la potenza assorbita dal primario è uguale, escluso le perdite, a quella fornita dal secondario e quindi:

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2$$

Di conseguenza la corrente primaria e secondaria vengono calcolate mediante le seguenti formule:

$$I_1 = I_2 \times \frac{V_2}{V_1} \quad I_2 = I_1 \times \frac{V_1}{V_2}$$

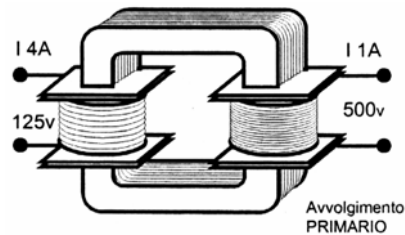
Esempio

La corrente che percorre l'avvolgimento di un trasformatore, risulta tanto minore quanto maggiore è la tensione a cui viene sottoposto l'avvolgimento stesso.

Un trasformatore riduttore con rapporto di trasformazione 500v / 125v, alimentando un utilizzatore che assorbe 4 A, provoca un passaggio di corrente nel primario di:

$$I_1 = I_2 \times \frac{V_2}{V_1} = 4 \times \frac{125}{500} = 1 \text{ A}$$

Pertanto l'avvolgimento di B.T. di un trasformatore, poiché viene attraversato da una corrente maggiore, si costruisce con conduttori di sezione maggiore rispetto a quelli dell'avvolgimento ad A.T.

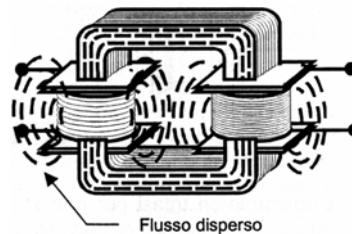


Tipi di trasformatori

I trasformatori più usati in pratica sono monofasi a trifasi

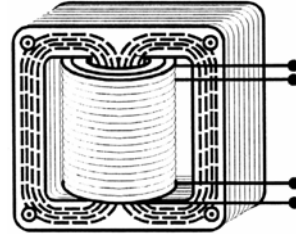
I trasformatori monofasi: Sono costituiti da un avvolgimento A.T. ed uno B.T. sistemati su di un nucleo formato da lamierini di ferro isolati fra loro allo scopo di limitare la circolazione in esso di correnti parassite. Il nucleo magnetico viene fissato a pressato da bulloni per evitare rumori causati dall'attrazione magnetica tra lamierino a lamierino.

Nucleo a colonna: in questo tipo di nucleo si ha che, il flusso creato da un avvolgimento viene in parte disperso nell'aria, a quindi non interseca l'altro avvolgimento.

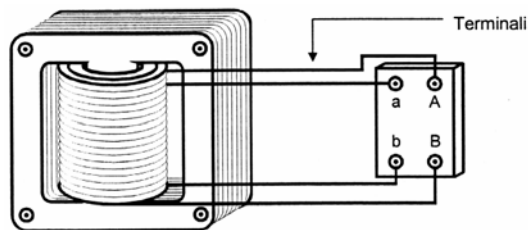


Trasformatori monofasi

Nucleo a mantello. Onde evitare tali dispersioni il trasformatore viene costruito in modo che le linee di forza vengano incanalate nei due rami laterali e ricondotte nella colonna centrale, attorno alla quale sono avvolti entrambi gli avvolgimenti.

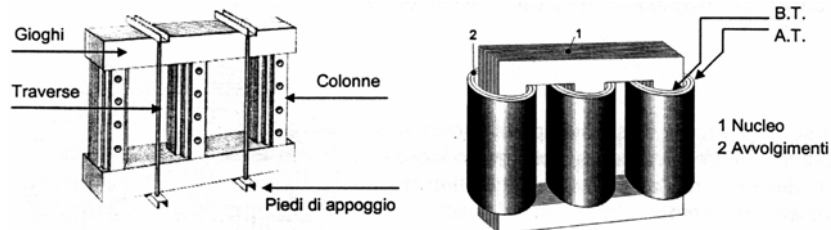


I terminali dell'avvolgimento A.T. e B.T. vengono collegati a quattro morsetti, fissati su di una basetta sistemata sulla carcassa che racchiude il trasformatore stesso.



Trasformatori trifasi

I trasformatore trifasi sono costituiti da un nucleo a tre colonne, su ciascuna delle quali viene alloggiato un avvolgimento A.T. ed uno a B.T. Le colonne vengono chiuse e fissate all'estremità, mediante tiranti, a due traverse o gioghi. Ciò rende possibile la sostituzione degli avvolgimenti evitando di smontare totalmente il nucleo del trasformatore.



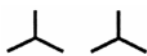
I trasformatore trifasi per potenze superiori ai 50.000 KVA vengono generalmente costruiti con nuclei a cinque colonne. Gli avvolgimenti A.T. a B.T. del trasformatore trifase possono essere collegati a stella oppure a triangolo.

Trasformatori trifasi

In genere i tre avvolgimenti A.T. vengono collegati a stella internamente al trasformatore, in modo che essi risultino sottoposti alla tensione di fase, che essendo 1,73 volte minore di quella concatenata richiede un minor isolamento dell'avvolgimento. Invece i terminali degli avvolgimenti B.T. vengono collegati a sei morsetti, fissati su di una morsettiera sistemata sulla carcassa del trasformatore stesso. I morsetti vengono collegati tra loro, a seconda del tipo di collegamento da realizzare, nel modo indicato in figura.



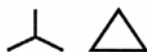
Il tipo di collegamento viene scelto in base alla necessità d'impiego.



Per piccoli trasformatori di distribuzione



Per grandi trasformatori di distribuzione



Per i trasformatori principali delle centrali e delle sottostazioni elettriche, per i trasformatori non destinati alle linee di distribuzione.

Raffreddamento dei trasformatori

Agli effetti del raffreddamento i trasformatori si suddividono in due grandi categorie: **trasformatori a secco** a **trasformatori in olio**.

Trasformatori a secco

Possono essere a raffreddamento naturale in aria o a ventilazione forzata:

Nei trasformatori a ventilazione naturale in aria nessun dispositivo è previsto per attivare la ventilazione. Lo smaltimento del calore prodotto dalla macchina dipende unicamente dall'entità della superficie degli avvolgimenti e del nucleo esposta all'aria e quindi dalla facilità con la quale l'aria può lambire queste parti attive e asportare calore per convezione.

Trasformatori a raffreddamento naturale in aria si costruiscono fino alle potenze di 100 - 150KVA. Con la ventilazione forzata, realizzata mediante un apposito ventilatore, si può migliorare il raffreddamento, i trasformatori a secco a ventilazione forzata sono però poco usati.

Raffreddamento dei trasformatori

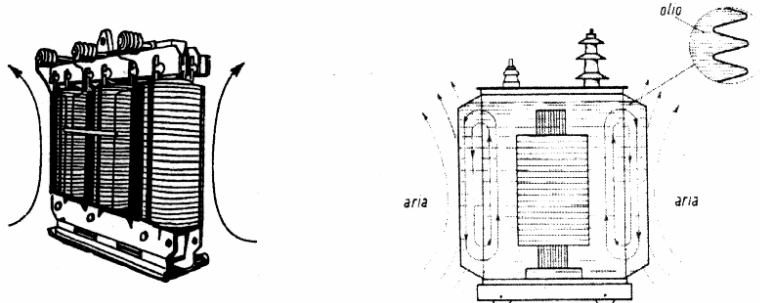
Trasformatori in olio

Le parti attive vengono immerse in un liquido isolante, generalmente olio minerale di particolari caratteristiche. La maggior efficacia di questo sistema di raffreddamento è dovuta al più elevato calore specifico dell'olio rispetto a quello dell'aria ed all'aumento della superficie trasmettente il calore (costituita dall'intero cassone) in confronto di quella delle sole parti attive del trasformatore. Per la differenza di temperatura che gli strati di olio a contatto con le parti attive del trasformatore assumono rispetto alla superficie esterna del cassone, si stabilisce una circolazione dell'olio che opera l'asportazione del calore.

I trasformatori di media e di grande potenza sono muniti del "conservatore d'olio" detto anche recipiente di espansione. Si tratta di un recipiente posto sopra il coperchio del trasformatore e collegato, attraverso un tubo, all'interno del cassone. Il suo scopo è quello di consentire la dilatazione e la contrazione dell'olio conseguenti alle variazioni di temperatura dell'olio stesso. In tal modo il cassone è riempito completamente d'olio evitando ampie superfici d'olio a contatto con l'aria, con relativi pericoli di ossidazione.

Trasformatori con conservatore d'olio

I trasformatori muniti di conservatore d'olio vengono spesso muniti di un particolare tipo di relé, denominato "relé Buchholz". Questo relé, inserito nel tubo che collega il conservatore al cassone, serve per rilevare eventuali perdite d'olio, ed in particolare a rilevare la formazione di gas nell'olio in seguito ad eventuali anomalie della macchina (ad esempio corto circuito fra spire dell'avvolgimento)



La presenza di gas all'interno di un trasformatore isolato in olio è sempre indice di un'anomalia di funzionamento. Il relé Buchholz ha la funzione di raccogliere questo gas all'interno della propria camera e di inviare un segnale di allarme e/o sgancio del trasformatore. Ciò non di meno il relé Buchholz sgancia il trasformatore qualora si manifestino flussi d'olio ad elevata velocità, dal trasformatore verso il conservatore.

II Motore Asincrono

Macchine elettriche rotanti

Parti costruttive delle macchine elettriche rotanti

Indipendentemente dal tipo e dalle caratteristiche costruttive, ogni macchina elettrica rotante è costituita dalle seguenti parti:

Parte Magnetica

- Sono le parti in materiale magnetico che hanno lo scopo di convogliare i flussi magnetici. Si hanno pertanto:
 - nucleo magnetico di STATORE (parte fissa)
 - nucleo magnetico di ROTORE (parte mobile ruota con l'asse)
- La funzione e la struttura dei nuclei suddetti dipende dal tipo di macchina.

Parte Elettrica

- Avvolgimenti di statore: sono quelli avvolti sullo statore.
- Avvolgimenti di rotore: sono quelli avvolti sul rotore.

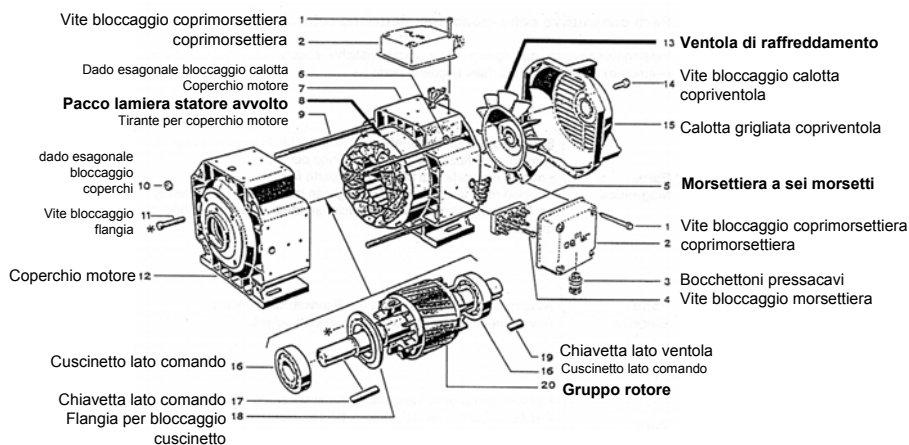
Parti Meccaniche

- Per il supporto delle varie parti: carcasce, scudi, basamenti, ecc.
- Per la realizzazione del moto rotatorio: alberi, cuscinetti, sistemi di lubrificazione, ecc.
- Per il collegamento meccanico delle varie parti: viti, bulloni, chiavette a linguette, ecc.

Traferro

- Affinché il rotore possa ruotare liberamente entro lo statore (senza sfregamenti) è necessario che fra le due parti esista un breve spazio d'aria, comunemente denominato " **traferro** ". Il dimensionamento del traferro ha molta importanza sul funzionamento della macchina.
- Mentre il disegno delle parti elettriche e magnetiche varia con il tipo di macchina, le carcasse e gli scudi assumono forme diverse a seconda dei sistemi di chiusura e dei sistemi di raffreddamento adottati.

Parti di un motore asincrono



Lo statore

Il nucleo magnetico (o pacco lamellare) dello statore è formato da lamierini magnetici (di basse perdite a di buona permeabilità) generalmente di spessore 0,5 mm, isolati fra loro e sovrapposti. Nelle macchine di grande potenza il pacco è formato dalla riunione di più segmenti circolari. In entrambi i casi, alla periferia interna sono ricavate cave semichiuse di forma rettangolare o, più spesso trapezoidali con gli angoli arrotondati.

Il pacco lamellare statorico viene posto entro la carcassa che assolve al duplice scopo di bloccare il complesso dei lamierini che formano il pacco e di costituire unitamente agli scudi che ne fanno parte integrante, il supporto per i cuscinetti. Alla carcassa sono affidate funzioni essenzialmente statiche e tramite essa si effettua il fissaggio della macchina nel punto di utilizzazione.

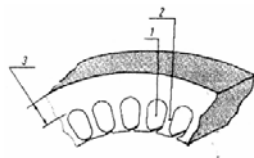
Il serraggio dei lamierini dal pacco si può effettuare con vari sistemi, condizionati comunque dal tipo di carcassa adottata. Per le macchine di media potenza la carcassa è generalmente in ghisa, è essenzialmente costituita da un anello sul cui diametro interno sono disposte delle nervature. Queste ultime sono tornite ad un diametro corrispondente a quello del pacco lamellare, salvo una breve porzione terminale al fine di ottenere una "battuta" (ossia un gradino) contro la quale appoggia il pacco. Una scanalatura consente l'introduzione di un anello o delle "zeppe". E' ovvio che il pacco di lamierini deve essere pressato mediante presse al fine di poter poi introdurre l'anello o le zeppe.

Lo statore

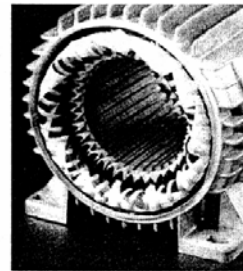
Nella parte inferiore l'anello di ghisa reca i "piedi d'appoggio". Lateralmente è praticata una feritoia per il fissaggio della morsettiera.

In talune macchine di piccola potenza fino a 3-5 Kw, la carcassa è costituita da due anelli saldati fra loro attraverso l'interposizione di apposite traversine la cui forma interna è simile alle nervature della carcassa in ghisa. Pure analogo è il serraggio del pacco. I piedi d'appoggio e fissaggio sono incorporati negli scudi.

Le realizzazioni pratiche variano da costruttore a costruttore.



- | | |
|----------|----------------------|
| 1 Cava | 4 Cartoccio isolante |
| 2 Dente | 5 Conduttori |
| 3 Corona | 6 Zeppe |



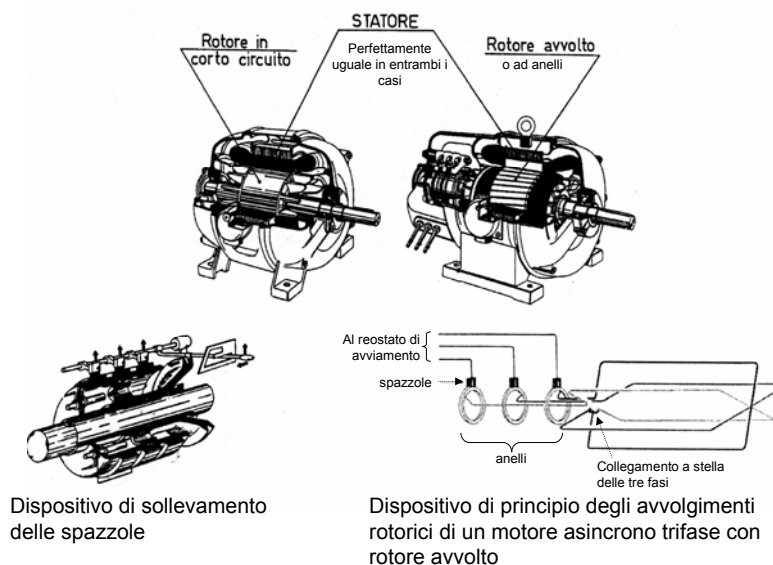
Il rotore

Esistono fondamentalmente due tipi di rotore:

- Il rotore permanentemente chiuso in corto circuito, detto perciò rotore in corto circuito o anche (perché la sua forma costruttiva ha qualche somiglianza con una gabbia di scoiattolo) rotore a gabbia.
- Il rotore avvolto costituito cioè da un vero e proprio avvolgimento, analogo a quello dello statore, i suoi capi liberi sono collegati a 3 anelli sui quali poggiano altrettante spazzole (perciò questo rotore viene chiamato ad anelli).

La differenza principale fra i due tipi di rotore consiste nel fatto che, mentre il rotore a gabbia non è possibile modificare le caratteristiche del circuito rotorico, in quello avvolto (attraverso il sistema degli anelli e delle spazzole) le caratteristiche del circuito rotorico possono essere modificate, inserendovi ad esempio delle resistenze. Questa caratteristica del rotore avvolto è importante per l'avviamento e, in minor misura, per la regolazione della velocità. In funzionamento normale i capi dell'avvolgimento devono essere chiusi in corto circuito, o attraverso le spazzole, o mediante particolari dispositivi agli anelli.

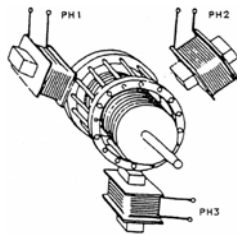
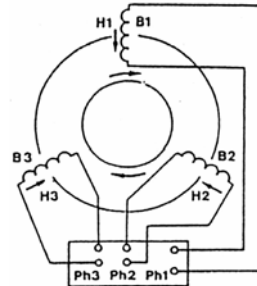
Tipi di rotore



Principio di funzionamento di un motore a gabbia di scoiattolo

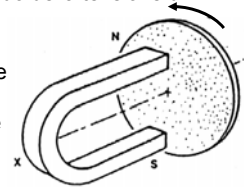
I tre avvolgimenti B1 - B2 - B3, alimentati in trifase e montati nello statore creano un campo rotante. Questo campo rotante genera un flusso rotante nel rotore.

Il flusso produce una corrente nel rotore a condizione che il rotore non giri alla stessa velocità del flusso rotante. La coppia si genera dall'azione del flusso sulla corrente del rotore.



Quando i tre avvolgimenti sono disposti nello statore come indicato in figura, (cioè a 120° l'uno dall'altro) il campo rotante compie un giro ad ogni periodo della tensione di alimentazione.

L'effetto così ottenuto è identico a quello che procurerebbe un magnete se lo si facesse ruotare di un giro (360°) nello stesso tempo. Si ottiene in tal modo un motore a due poli.

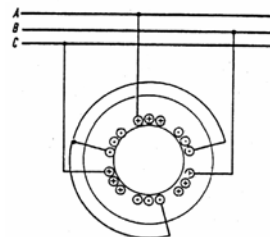
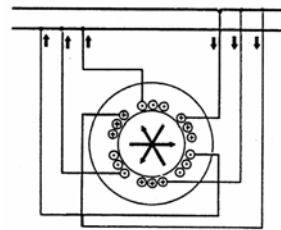


Motori asincroni

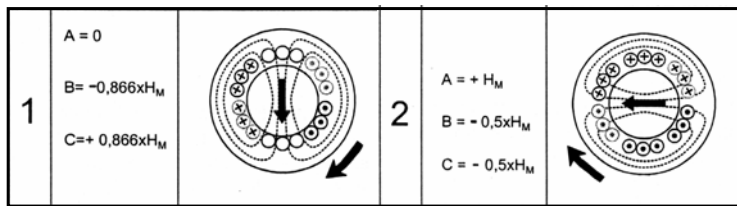
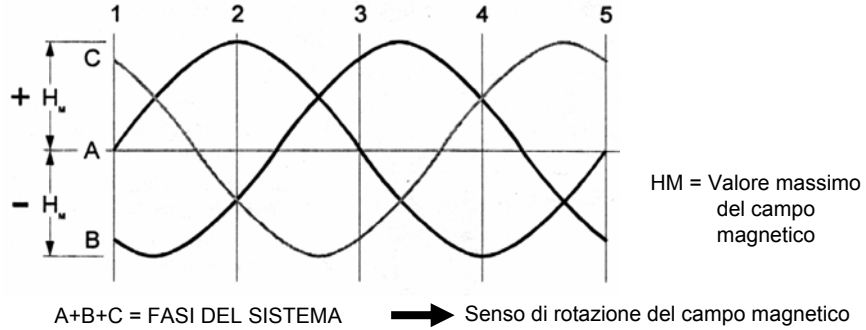
Generalità

Un motore asincrono trifase è schematicamente costituito da una parte fissa (statore) formata da tre avvolgimenti i cui assi sono disposti a 120° fra loro. Alimentando contemporaneamente i tre avvolgimenti con la stessa corrente si formeranno tre campi magnetici sfasati fra di loro di 120° ed aventi le direzioni indicate in figura.

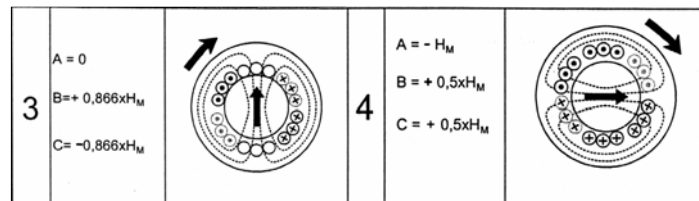
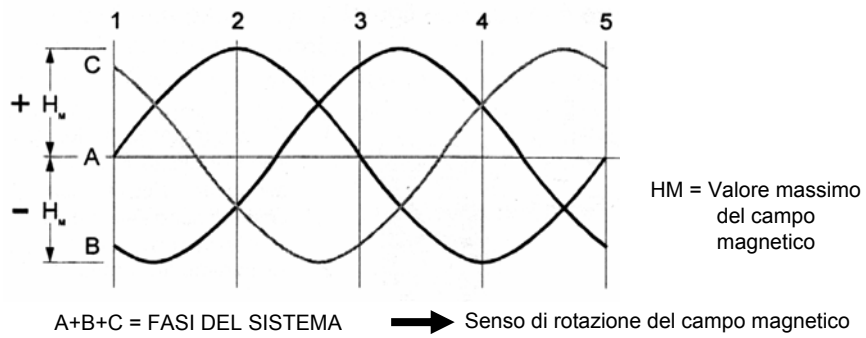
Se invece di tre avvolgimenti nettamente distinti li consideriamo come facenti parte di un sistema trifase, collegandoli per esempio a stella, e alimentiamo con una corrente trifase otterremo un solo campo magnetico che si sposta angularmente istante per istante e ruota in un determinato senso con velocità uniforme.



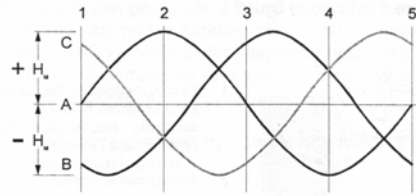
Generazione campo magnetico rotante



Generazione campo magnetico rotante



Generazione campo magnetico rotante

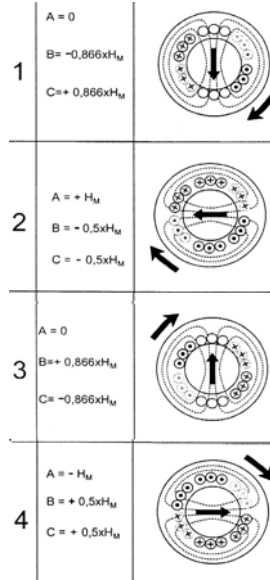


$A+B+C$ = Fasi del sistema

HM = Valore massimo del campo magnetico

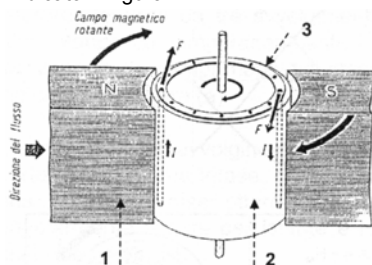
➔ Senso di rotazione del campo magnetico

La velocità con la quale ruota il campo (giri al secondo) è uguale alla frequenza della corrente. Questa velocità viene chiamata **velocità sincrona**, oppure **velocità di sincronismo**.



Il motore a campo rotante

Si immagini per esempio che il motore sia realizzato da un pacco lamellare cilindrico sulla cui periferia siano disposti dei conduttori, collegati fra di loro da due anelli frontali, come a indicato in figura.



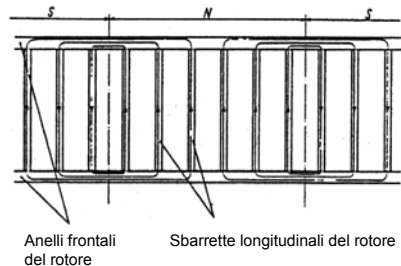
- 1 Pacco magnetico del rotore: sulla periferia sono praticate delle cave entro le quali sono alloggiati alcune sbarrette di rame, che costituiscono l'avvolgimento rotorico.
- 2 Avvolgimento rotorico
- 3 Anelli di collegamento elettrico delle sbarrette

Il campo magnetico rotante induce nei conduttori del rotore delle forze elettromotrici indotte per le note leggi dell'induzione elettromagnetica. Queste f.e.m. danno origine a delle correnti (essendo il circuito rotorico chiuso) che interagiscono con il campo magnetico rotante dando luogo a forze che tendono a far ruotare il rotore seguendo il campo.

Considerazioni sul campo rotante

Da quanto esposto emergono due considerazioni:

- Il motore asincrono trifase è **autoavviante**, ossia a differenza di altri tipi di motori si avvia da sé, senza bisogno di essere portato preventivamente in velocità con mezzi sussidiari, questa proprietà è della massima importanza.
- Risulta chiaro il motivo per cui il motore asincrono trifase si chiama anche **motore a campo rotante** (come abbiamo visto lo statore produce un campo magnetico rotante) o **motore a induzione** (Il funzionamento avviene per la reazione di corrente generata per induzione nel rotore). Per questa ultima ragione, per analogia con il trasformatore, lo statore si chiama anche primario (induttore) e il rotore secondario (indotto).



Scorrimento

La velocità del rotore non potrà mai raggiungere la velocità sincrona, ossia la velocità del campo rotante statorico. Infatti, qualora ciò avvenisse, i conduttori del rotore andrebbero di pari passo con il flusso magnetico rotante che, come si è detto ha valore costante; non ci sarebbe più per tali conduttori variazione di flusso e il fenomeno dell'induzione elettromagnetica non potrebbe avere luogo.

Pertanto il rotore ruoterà sempre ad una velocità prossima a quella sincrona, ma non la potrà mai raggiungere.

La differenza fra la velocità sincrona n_s a la velocità effettiva di rotazione del rotore n viene definita **scorrimento**.

Di solito lo scorrimento “ s ” si esprime in percento della velocità sincrona, oppure in frazioni della stessa.

Scorrimento percentuale

$$s\% = \frac{n_s - n}{n_s} 100 = \frac{\text{velocità sincrona} - \text{velocità del rotore}}{\text{velocità sincrona}} \times 100$$

Scorrimento espresso in funzione della velocità sincrona

$$s\% = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Lo scorrimento aumenta con l'aumentare del carico, ossia con l'aumento della coppia resistente applicata al motore. A vuoto lo scorrimento è minimo, quasi trascurabile; alla potenza nominale varia da 7 al 2% dai piccoli ai grandi motori. Dal fatto che la velocità del rotore non è rigorosamente costante con il carico e che non può mai raggiungere la velocità di sincronismo deriva il nome del motore asincrono (cioè non sincrono).

Tuttavia essendo tale variazione di velocità molto piccola, questo tipo di motore si presta benissimo per tutte le applicazioni che richiedono una velocità praticamente costante (ma non rigorosamente costante), che costituiscono la grande maggioranza.

Motori multipolari

Fin qui abbiamo supposto che il campo rotante fosse prodotto da tre bobine disposte a 120° fra loro ed alimentate da un sistema trifase. In altri termini, per ogni fase vi è una sola bobina: in questo caso avremo un motore bipolare ossia a due poli.

Si può realizzare lo statore di un motore asincrono anche con più bobine per ogni fase, ossia con più paia di poli, cioè un motore **multipolare**.

La figura 1 riporta un esempio di campo rotante prodotto da uno statore a due poli ed a quattro poli figura 2: si nota che in quest'ultimo ad ogni periodo della corrente il campo compie soltanto mezzo giro.

Analogamente, se consideriamo uno statore esapolare (a sei poli), constateremo che ad ogni periodo della corrente il campo ruoterà soltanto di $1/3$ di giro.

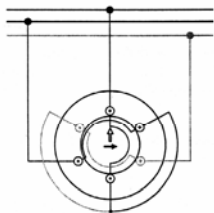


Fig 1

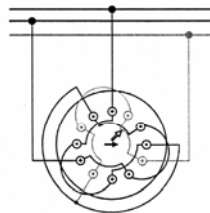


Fig 2

Velocità di sincronismo

La formula generale applicabile sia per motori bipolari che per motori multipolari, per la velocità di sincronismo (n_s) è pertanto la seguente:

$$n_s = \frac{60 f}{2 p} \text{ giri/min} \quad 2p = \text{numero delle coppie polari}$$

$$(\omega) = \frac{\text{giri/min} \times 6,28}{60} = \text{rad/sec} \quad \text{Trasformazione giri/min in rad/sec}$$


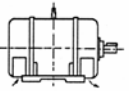
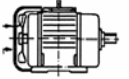
Velocità sincrone in funzione del numero di poli

Velocità sincrone ed effettive a pieno carico a 50 Hz di motori a 2, 4, 6, 8 poli

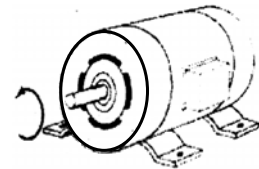
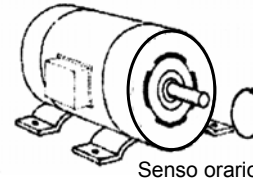
Numero poli ►			2	4	6	8
Velocità sincrone (giri al minuto) ►			3 000	1 500	1 000	750
Velocità effettive a pieno carico (giri al minuto) per motori della potenza nominale di:	kW	CV				
	0,37	0,5	2 760 ÷ 2 820	1 350 ÷ 1 410	900 ÷ 925	675 ÷ 700
	0,55	0,75	2 770 ÷ 2 820	1 360 ÷ 1 410	900 ÷ 925	685 ÷ 700
	0,74	1,0	2 790 ÷ 2 820	1 380 ÷ 1 420	915 ÷ 930	685 ÷ 700
	1,10	1,5	2 800 ÷ 2 850	1 380 ÷ 1 420	920 ÷ 935	695 ÷ 710
	1,47	2,0	1 810 ÷ 2 880	1 400 ÷ 1 420	930 ÷ 940	695 ÷ 710
	2,21	3,0	2 820 ÷ 2 880	1 410 ÷ 1 430	935 ÷ 950	700 ÷ 710
	2,94	4,0	2 840 ÷ 2 880	1 415 ÷ 1 430	935 ÷ 955	700 ÷ 710
	3,68	5,0	2 840 ÷ 2 880	1 415 ÷ 1 430	945 ÷ 955	705 ÷ 720
	5,14	7,0	2 840 ÷ 2 890	1 420 ÷ 1 440	950 ÷ 960	710 ÷ 720
	7,36	10,0	2 850 ÷ 2 890	1 430 ÷ 1 440	950 ÷ 960	710 ÷ 720
	10,00	13,6	2 850 ÷ 2 890	1 440 ÷ 1 450	950 ÷ 960	715 ÷ 720

Ventilazione e senso di rotazione

Le macchine elettriche rotanti sono influenzate dalle perdite nel ferro e perdite per resistenza negli avvolgimenti che si traducono in calore. Questo calore viene dissipato tramite una adeguata ventilazione. Le norme CEI classificano le macchine elettriche rotanti in relazione al sistema di raffreddamento adottato.

Classificazione	Rappresentazione	Note
A ventilazione naturale		Nessun dispositivo è previsto per aumentare la ventilazione prodotta dagli organi in moto della macchina o dalla circolazione dell'aria esterna.
Autoventilata		Il rotore è provvisto di mezzi speciali (ventole) capaci di attivare il movimento dell'aria dall'esterno verso l'interno della macchina.
A ventilazione esterna		La macchina è del tipo chiuso, l'aria di raffreddamento è spinta a lambire la superficie esterna della carcassa.

Guardando dal lato sporgenza albero



Senso antiorario

Funzionamento a vuoto di un motore asincrono

Se il motore funziona a vuoto, cioè se nessuna coppia resistente è applicata all'albero (motore staccato da ogni macchina o apparecchio da azionare), la velocità del motore sarà molto prossima a quella di sincronismo.

Il motore assorbirà dalla linea una certa corrente, chiamata corrente a vuoto, fortemente sfasata rispetto alla tensione, dato che in queste condizioni la corrente magnetizzante (necessaria per la generazione del flusso magnetico) prevale sulla corrente attiva, assai piccola.

Applicando all'albero una coppia resistente, la corrente attiva aumenta dovendo corrispondere alla potenza fornita. Perciò man mano che aumenta il carico aumenta la corrente attiva rispetto a quella magnetizzante, di conseguenza lo sfasamento fra tensione e corrente assorbita dallo statore diminuisce.

Nel motore asincrono a causa dell'esistenza del traferro, la corrente magnetizzante assume valori notevoli: dal 15 al 40% dalle maggiori alle minori potenze. Ne consegue che l'inserimento in rete di un motore asincrono comporta sempre un certo sfasamento il quale per quanto si è detto aumenta notevolmente con il diminuire del carico.

Si presenta perciò molto spesso la necessità del rifasamento della rete ove siano installati molti motori asincroni, specialmente quando questi non possono, per ragioni inerenti alle esigenze delle produzioni a cui sono adibiti, funzionare sempre alla loro potenza nominale cioè a pieno carico.

Funzionamento a carico

Abbiamo già detto che la rotazione del motore è dovuta alla mutua azione fra campo rotante statorico e correnti indotte nel rotore. Questa azione cioè provoca una coppia motrice, la quale deve essere in grado di vincere la coppia resistente eventualmente applicata al rotore.

In realtà anche nel funzionamento a vuoto il motore deve vincere una coppia resistente; questa è costituita dagli attriti fra perni e cuscinetti e dalla resistenza dell'aria alle parti in rotazione.

Se aumentiamo la coppia resistente applicata, il rotore tenderà a rallentare, poiché la velocità del campo rotante statorico (sincrona) è costante, il rallentamento del rotore provoca un aumento dello scorrimento (essendo questo, dato dalla differenza fra la velocità sincrona e la velocità effettiva del rotore).

Aumentando lo scorrimento, aumentano tensione e correnti indotte nel rotore, ma se aumenta l'intensità delle correnti rotoriche crescerà pure l'azione di queste sul campo statorico, ossia la coppia motrice; perciò il motore non rallenterà indefinitamente fino a fermarsi, ma assumerà una velocità tale (naturalmente inferiore a quella preesistente) per cui le correnti indotte abbiano una intensità da provocare un'azione (coppia motrice) che faccia equilibrio alla coppia resistente.

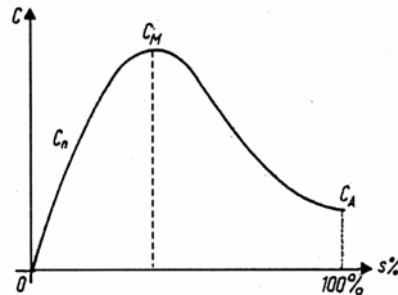
Pertanto il motore asincrono, oltre ad essere autoavviante ha anche funzionamento stabile, almeno entro ampi limiti.

Curva caratteristica elettromeccanica

La coppia motrice di un motore asincrono è dunque una funzione dello scorrimento. Questa funzione è rappresentata dalla curva caratteristica elettromeccanica: ad un aumento di velocità (diminuzione di scorrimento) corrisponde un aumento di coppia motrice e quindi un ulteriore aumento della velocità.

Viceversa, ad un rallentamento dovuto ad un aumento della coppia resistente, corrisponde una diminuzione di coppia motrice a quindi un ulteriore rallentamento.

Invece nel tratto C_M-0 il funzionamento è stabile, infatti quando un motore accelera per una diminuzione della coppia resistente, diminuisce lo scorrimento e con questo la coppia motrice.



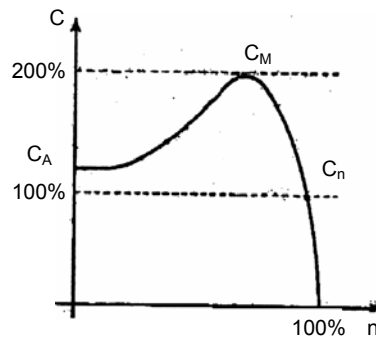
Caratteristica meccanica

Da quanto abbiamo detto risulta chiaro che il funzionamento normale del motore deve avvenire nel tratto C_M-0 . Anzi molto al di sotto di C_M : a questo tratto del resto corrispondono i bassi valori di scorrimento che usualmente si riscontrano in pratica. La curva caratteristica elettromeccanica può essere messa sotto la forma illustrata dalla caratteristica meccanica.

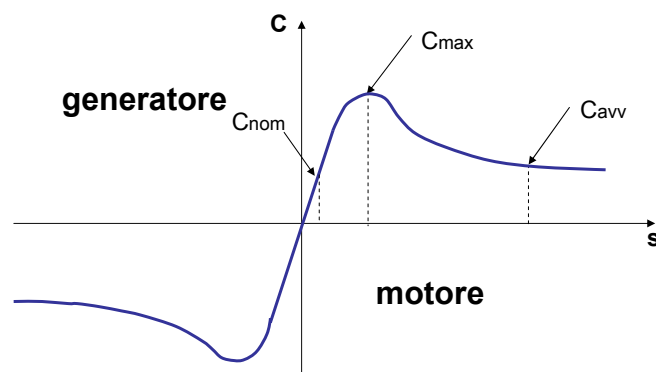
In questo caso è sufficiente porre sulle ascisse anziché gli scorrimenti i corrispondenti valori delle velocità effettive del rotore. Sotto questa forma la curva può risultare di più facile consultazione e corrispondente al modo comune con cui si traccia la caratteristica meccanica per qualsiasi altro tipo di motore.

La curva della caratteristica elettromeccanica pone invece in evidenza il fenomeno fisico della dipendenza della coppia, nel caso del motore asincrono, dallo scorrimento.

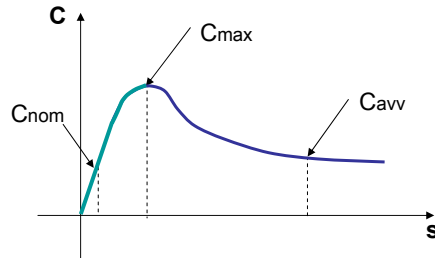
È fondamentale per non cadere in equivoci che possono anche avere conseguenze gravi nella scelta e nell'esercizio di un motore, tener presente che le dimensioni di un motore elettrico sono determinate dalla coppia e non semplicemente dalla sua potenza. A pari potenza le dimensioni variano con la velocità e la coppia varia con il numero di giri.



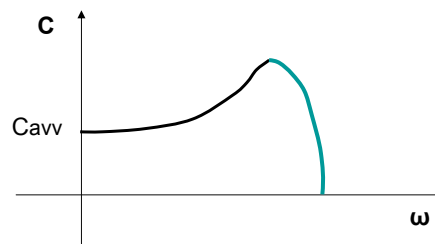
Caratteristica meccanica a tensione e frequenza costanti



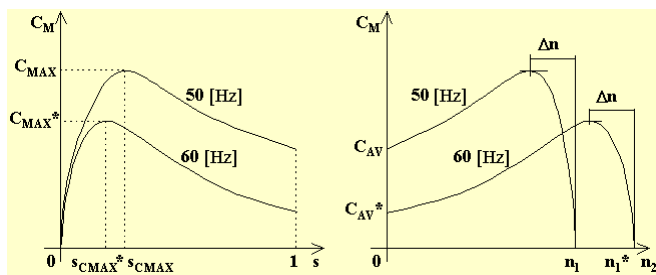
Caratteristica meccanica a tensione e frequenza costanti



motore



Caratteristica meccanica



Coppia meccanica

La coppia meccanica rappresenta lo sforzo che il motore deve compiere per azionare la macchina ad esso associata.

La coppia può essere:

RESISTENTE (Cr)	E' quella che la macchina oppone al moto
ACCELERAZIONE(Cacc)	È quella necessaria per portare la macchina alla velocità di funzionamento nel tempo voluto
AVVIAMENTO (Cavv)	E' determinata dalla coppia resistente e dalla coppia di accelerazione. $C_{avv} = C_r + C_{acc}$
FRENATURA	Di segno contrario alle precedenti, è quella necessaria a decelerare la macchina fino alla velocità desiderata.
$C = K V^2$	La coppia di un motore asincrono varia con il quadrato della tensione di alimentazione
$C = K \Phi_R I_R \cos \phi$	Il flusso e la corrente dipendono dalla tensione di alimentazione.
$C = \frac{60 \times P_u}{2\pi n}$	P_u (potenza utile all'asse in watt) C (coppia in joule al radiante) n (numero di giri al minuto)

Potenza meccanica

La coppia motrice che si manifesta nel rotore dà luogo, quando il motore è in moto, ad una potenza meccanica P_m il cui valore è dato dal prodotto della coppia stessa per la velocità angolare ossia:

$$P_m = C \omega \quad \text{dove} \quad \omega = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{e quindi} \quad P_m = \frac{2\pi n}{60} C$$

Dove P_m in watt , C in joule al radiante, n in giri al minuto.

Detraendo dalla suddetta potenza le perdite per attriti e ventilazione si ottiene la potenza resa sull'albero, ossia la potenza che può effettivamente essere utilizzata per le applicazioni.

La potenza resa quando corrisponde al funzionamento previsto per le prestazioni normali del motore si chiama anche potenza nominale.

Se la coppia C fosse data in Kilogrammetri (Kgm) la potenza P in Kilowatt risulterebbe:

$$P_m = \frac{2\pi \times 9,8 \times C \times n}{60 \times 1000} = \frac{Cn}{974}$$

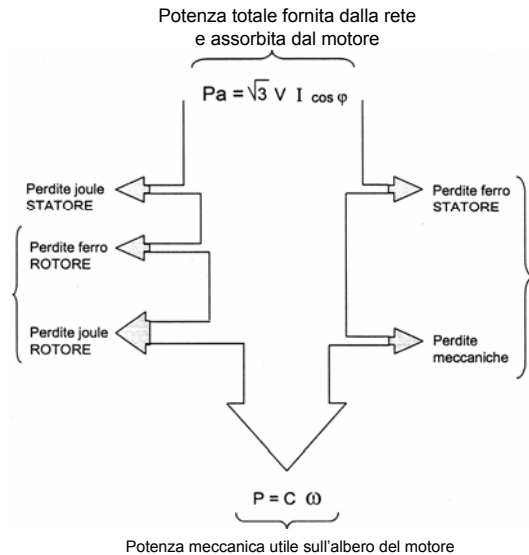
Essendo $1\text{Kgm} = 9,8 \text{ N} \times \text{m}$

Se la potenza fosse data in cavalli avremmo:

$$P_m = \frac{2\pi \times 9,8 \times C \times n}{60 \times 735} = \frac{Cn}{716}$$

Essendo $1\text{CV} = 75 \text{ Kgm} / \text{sec} = 735 \text{ W}$

Bilancio energetico del motore asincrono



Potenza assorbita dal motore

Nelle varie parti del motore si hanno diverse perdite di energia, dovute a:

- P_f Perdite per isteresi e correnti parassite nei nuclei
- P_1 Perdite per resistenza negli avvolgimenti di statore
- P_2 Perdite per resistenza negli avvolgimenti del rotore
- P_m Perdite per attriti e ventilazione
- P_{add} Perdite addizionali dovute a cause varie difficilmente valutabili

Pertanto la potenza assorbita dal motore sarà espressa da:

$$P_a = P + P_f + P_1 + P_2 + P_m + P_{add}$$

Dove P è la potenza utile sull'albero del motore = $C \omega$

Avviamento dei motori

All'atto dell'avviamento di un motore asincrono si ha una grande differenza di velocità tra campo rotante e rotore, in quanto il campo rotante ruota alla velocità di sincronismo, mentre il rotore è fermo.

Quindi nell'avvolgimento rotorico si induce un'elevata f.e.m. e di conseguenza si ha un'elevata corrente che crea un intenso campo magnetico.

Questo campo magnetico, tende a frenare il campo rotante che a sua volta reagisce rinforzandosi, assorbendo così, una notevole intensità di corrente dalla linea di alimentazione.

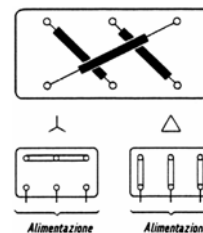
Per limitare la corrente assorbita in tali condizioni, si ricorre a particolari accorgimenti che variano a seconda della potenza del motore e del tipo di avvolgimento rotorico.

In alcuni casi però, i motori asincroni possono essere avviati direttamente senza particolari accorgimenti, in altri casi invece occorre:

- Ridurre la tensione di alimentazione, ad esempio per i motori con rotore in cortocircuito. Infatti riducendo la tensione di alimentazione si riduce la corrente assorbita dagli avvolgimenti statorici, in quanto essa è data da $I = V/Z$ dove Z rappresenta l'impedenza degli avvolgimenti statorici.
- Ridurre la corrente rotorica: ad esempio per i motori con rotore avvolto. Infatti riducendo la corrente nel rotore si riduce l'effetto frenante che indebolisce il campo magnetico rotante e quindi riduce l'assorbimento di corrente dalla linea.

Collegamento dell'avvolgimento statorico

Il collegamento dell'avvolgimento statorico dei motori asincroni può essere realizzato a stella od a triangolo. Esso si effettua collegando i morsetti dello statore mediante piastrine conduttrici nel modo riportato in figura:

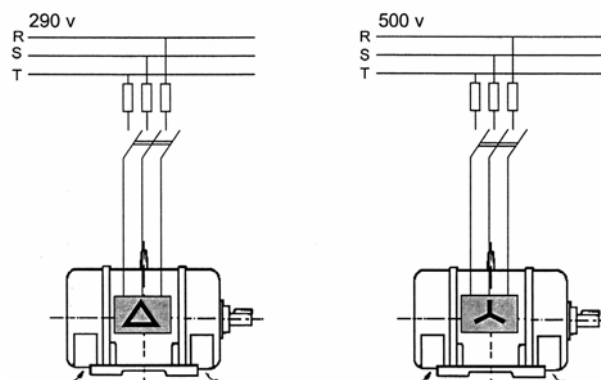


Il collegamento a stella o a triangolo dell'avvolgimento statorico permette di alimentare il motore con due diversi valori di tensione.

Infatti se gli avvolgimenti dello statore sono collegati a triangolo, ogni avvolgimento viene sottoposto alla tensione (V) esistente tra fase a fase, mentre se è collegato a stella ogni avvolgimento viene sottoposto alla tensione esistente tra una fase ed il neutro (cioè $V/1,73$).

Esempio di collegamento

Un motore con gli avvolgimenti collegati a triangolo che sopporta 290 Volt, a stella può essere alimentato anche a 500 Volt .



In entrambi i casi la tensione ai capi di ogni avvolgimento è di 290 v

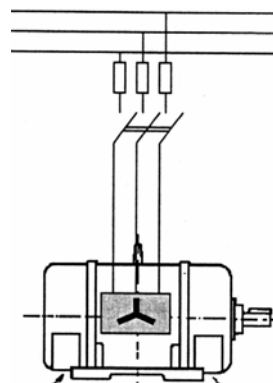
Avviamento dei motori con rotore in cortocircuito

L'avviamento dei motori di piccola potenza viene effettuato senza particolari accorgimenti, cioè collegando il motore alla linea come in figura.

L'avviamento dei motori di media e grande potenza viene effettuato alimentando il motore con tensione ridotta.

La riduzione di tensione può essere ottenuta mediante:

- commutatore stella - triangolo
- autotrasformatore
- mediante impedenze

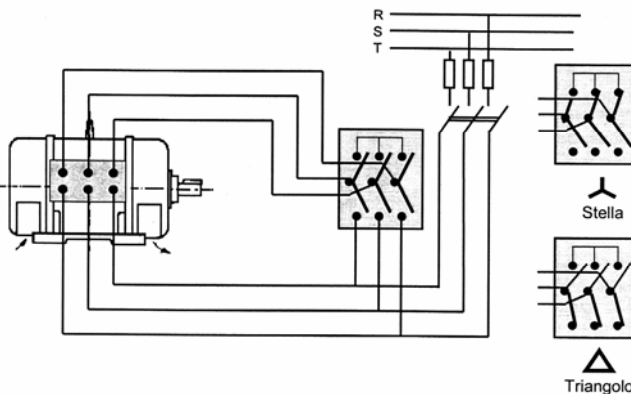


Commutatore stella - triangolo

Il commutatore stella - triangolo viene collegato ai morsetti come indicato nella figura sottostante, e consente di alimentare il motore con l'avvolgimento collegato prima a stella a poi a triangolo. Pertanto l'avvolgimento viene sottoposto inizialmente ad una tensione di valore 1,73 volte minore di quella di normale funzionamento.

Tale commutazione può essere effettuata manualmente od automaticamente.

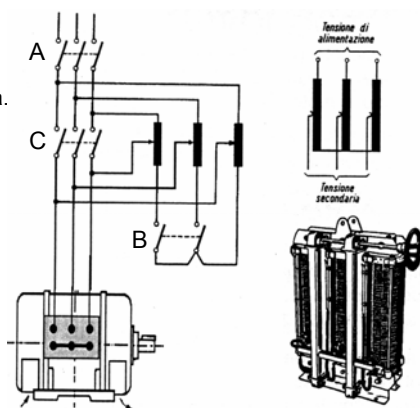
Nota: prima di effettuare la commutazione a triangolo occorre attendere che il motore raggiunga la velocità di regime a quindi, che la corrente assorbita non superi i valori di targa.



Avviamento con autotrasformatore

L'autotrasformatore viene collegato ai morsetti del motore, come indicato in figura, in tal modo si alimenta il motore con due valori intermedi a tensione ridotta.

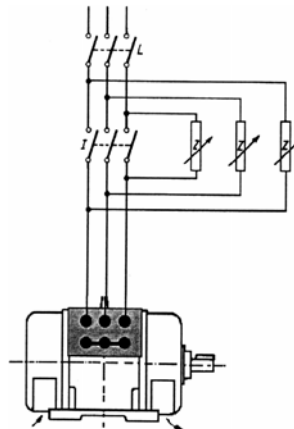
- 1) A chiuso - B chiuso - C aperto
motore alimentato dall'autotrasformatore con tensione circa metà di quella di linea
- 2) A chiuso - B aperto - C aperto
motore alimentato da rete con avvolgimenti trasformatore in serie e con tensione circa $\frac{3}{4}$ di quella di linea
- 3) A chiuso - B aperto - C chiuso
motore alimentato da rete



L'avviamento dei motori asincroni mediante l'autotrasformatore può essere effettuato manualmente od automaticamente. L'avviamento dei motori asincroni a semplice gabbia viene, in genere, effettuato con il motore privo di carico, invece l'avviamento dei motori a doppia gabbia, può essere effettuato con il motore sotto carico, in quanto questi motori hanno la caratteristica di possedere una coppia di spunto più elevata.

Avviamento mediante impedenze

All'avviamento si provoca una caduta di tensione mediante inserzione in serie sulla linea di resistenze o di reattanze che si escludono gradualmente, riducendo in tal modo la corrente di spunto. Questo sistema di avviamento è adatto per motori di piccola o media potenza, specialmente quando è richiesto un avviamento dolce.



Avviamento dei motori con rotore avvolto

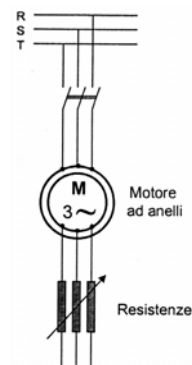
Alimentando lo statore di un motore con rotore avvolto, ma tenendo gli anelli e le spazzole cortocircuitate, si nota:

- La coppia motrice all'atto dell'avviamento (coppia di spunto) è notevolmente inferiore alla coppia massima, ne consegue che il motore può avviarsi solamente a vuoto, oppure con una coppia resistente molto ridotta.
- La corrente assorbita è elevatissima (da 8 a 10 volte a quella nominale) sia perché la resistenza nell'avvolgimento rotorico è molto bassa, sia perché in tale istante la tensione indotta nel rotore è massima.

Attraverso il sistema degli anelli e delle spazzole si può modificare temporaneamente l'impedenza del circuito rotorico, inserendovi delle resistenze ausiliarie. Praticamente si collega alle spazzole un reostato trifase (reostato di avviamento), all'atto dell'avviamento, prima ancora di chiudere l'interruttore di alimentazione del motore, si porta il reostato nella posizione di massima resistenza, dopo aver chiuso l'interruttore di linea si escludono gradualmente le resistenze del reostato man mano che il motore acquista velocità e lo si esclude completamente raggiunta una velocità prossima a quella normale.

Tale manovra può essere eseguita anche in modo automatico. Successivamente si provvede a chiudere in corto circuito direttamente gli anelli e a sollevare le spazzole mediante l'apposito dispositivo e ciò per evitare inutili perdite di contatto o di attrito tra le spazzole e gli anelli e ridurre inoltre il consumo delle spazzole stesse.

Con tale operazione si ottiene una diminuzione della corrente assorbita nell'avviamento che altrimenti non potrebbe essere tollerata, né dall'impianto di alimentazione né dal motore stesso. Con il reostato di avviamento si riesce infatti a mantenere la corrente di spunto a valori compresi fra 1,2 e 2 volte la corrente nominale con coppie 1-2 volte la nominale.



Azionamenti con motori asincroni trifasi

La possibilità di realizzare azionamenti a velocità variabile costituiti da un motore asincrono alimentato tramite un invertitore trifase a frequenza e tensione regolabili, ha permesso di estendere l'applicazione di tale tipo di azionamento, che risulta così spesso concorrenziale anche dal punto di vista economico col tipo a corrente continua, tenendo anche conto del minor costo del motore e della sua maggiore semplicità; in particolare, la mancanza di collettore lo rende praticamente esente da manutenzione. Inoltre il motore asincrono può essere fornito correttamente anche nelle esecuzioni chiuse a antideflagranti, che risultano invece di più difficile realizzazione per i motori a c.c.

In questi azionamenti la velocità è regolata variando la frequenza di alimentazione, e quindi la velocità del campo rotante del motore. Per ottenere le migliori condizioni di funzionamento, e cioè la costanza del flusso magnetico e quindi della coppia del motore, la tensione deve essere variata nella stessa proporzione della frequenza: inoltre la forma d'onda deve essere il più possibile vicina a quella sinusoidale.

Si tratta pertanto di realizzare degli invertitori trifasi, con frequenza variabile in funzione della regolazione della velocità, tensione variabile in accordo con la frequenza, a forma d'onda quasi sinusoidale.

Normalmente si realizza la regolazione con modulazione di ampiezza dell'impulso (PWM), che permette di ottenere sia la regolazione di tensione che la sua forma sinusoidale, in tre sistemi sfasati fra di loro di 120° . Come si può facilmente comprendere, il circuito di regolazione risulta alquanto complesso e si ricorre quindi alla tecnica digitale ed al microprocessore.

IL MOTORE A C.C.

La costruzione delle macchine in c.c.

Nelle macchine a corrente continua lo statore assolve alla funzione di induttore e il rotore a quella di indotto. Ciò vale sia per i generatori (dinamo) che per i motori.

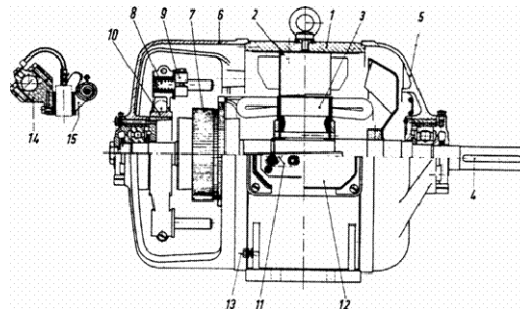
Agli effetti costruttivi si possono fare alcune considerazioni di carattere generale. In primo luogo; talune parti dell'induttore possono essere realizzate con nuclei massicci in quanto non soggette a variazioni di flusso. Questa particolarità consente di affidare alla carcassa funzioni magnetiche (oltre che meccaniche), semplificando quindi la costruzione.

Secondariamente; mentre nei motori asincroni si cerca di ridurre al massimo il traferro fra statore a rotore (compatibilmente con le esigenze meccaniche) per avere basse correnti a vuoto e migliorare il fattore di potenza, nelle macchine a corrente continua il problema del fattore di potenza non esiste per cui è possibile avere traferri maggiori (da 1 mm circa per le macchine di piccola potenza fino a 10 mm per le macchine a potenza elevata). Anche questo particolare contribuisce, sia pure in minima parte ad una semplificazione costruttiva, nel senso che consente di lavorare il diametro esterno del rotore con tolleranze più ampie.

In contrapposto a questi vantaggi costruttivi, ricordiamo che le macchine a corrente continua sono munite di collettore a lamelle, organo di complessa costruzione e che richiede particolari accorgimenti nel montaggio e nella connessione con l'avvolgimento indotto. La presenza del collettore esige la realizzazione di supporti per i portaspazzole rendendo così l'intera costruzione della macchina decisamente più complessa e di non agevole manutenzione.

Macchina in corrente continua

Le macchine sincrone sono così chiamate perché la velocità di funzionamento è rigidamente legata alla frequenza della tensione generata (alternatori) o applicata (motori) ai morsetti degli avvolgimenti statorici.



- | | |
|---|----------------------------------|
| 1 Corona | 9 Prese di corrente |
| 2 Nuclei poli e relativi avvolgimenti induttori | 10 Anello porta spazzole |
| 3 Rotore e relativi avvolgimenti indotti | 11 Morsetti |
| 4 Albero | 12 Copri morsetti |
| 5 Scudo lato sporgenza albero | 13 Morsetto per la messa a terra |
| 6 Scudo lato collettore | 14 Porta spazzole |
| 7 Collettore | 15 Molla pressione spazzole |
| 8 Alberello porta spazzole | |

Disposizioni costruttive: Lo statore

Lo statore è costituito da una corona (ossia un anello) sul cui diametro interno sono fissati i poli induttori.

La corona può essere realizzata in ferro, acciaio o ghisa; la sua sezione è massiccia non essendo soggetta a variazioni di flusso.

Anche i **poli** possono essere massicci, ma è preferita la soluzione di realizzarli con un pacco di lamierini magnetici per sopperire alla leggera variazione di flusso conseguente al passaggio del rotore (che è dentato a causa delle cave) sotto il polo. I lamierini sono collegati fra loro mediante tiranti ribaditi.

Il polo è costituito da una parte a sezione quadrata o rettangolare (nella quale si infila l'avvolgimento induttore) e da una **espansione polare** (o scarpa polare) le cui estremità vengono denominate corni polari.

Le bobine induttrici sono costruttivamente diverse a seconda del tipo di eccitazione della macchina (molte spire di filo di piccola sezione nelle macchine eccitate in derivazione; poche spire di grande sezione nelle macchine eccitate in serie).

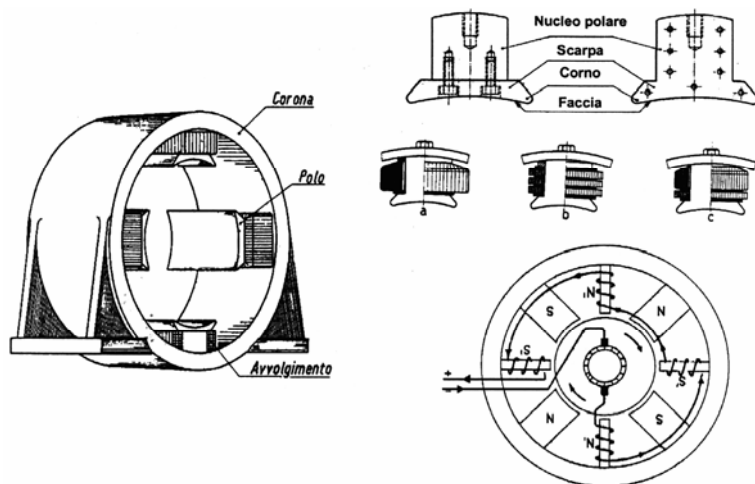
Le bobine devono essere collegate fra loro in modo che diano luogo a polarità alternativamente di nome opposto.

Tra i poli induttori trovano posto, salvo che nelle macchine di piccolissima potenza, i poli ausiliari (polo di commutazione).

Sono formati da un nucleo principale di sezione più piccola di quella dei poli principali, rastremato all'estremità, circondato da una bobina costruttivamente analoga a quella dei circuiti di eccitazione.

La successione delle polarità è diversa per i generatori e per i motori.

Lo statore



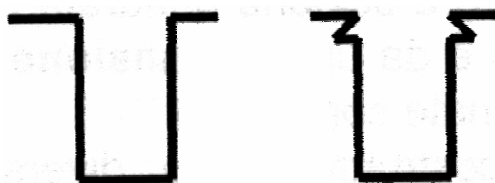
Il rotore

Il rotore delle macchine a corrente continua consta dell'indotto o (armatura) e del collettore a lamelle.

L'indotto è formato da un nucleo costituito da dischi o anelli di lamierino magnetico isolati infilati sull'albero, o direttamente tramite mozzo (raggiera o lanterna), come detto parlando dei rotori delle macchine asincrone.

Alla periferia esterna di questo nucleo sono praticate le cave per contenere gli avvolgimenti .

Le forme delle cave sono quasi sempre del tipo aperto. Gli avvolgimenti del motore si fissano nelle cave mediante legature o mediante zeppe (biette).



Tipi di cave per rotori

Collettore

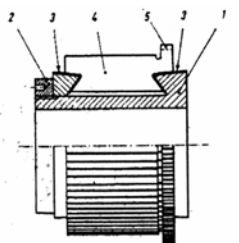
Il collettore è costituito da una serie di lamelle di rame trafilato a freddo (per conferire durezza al materiale), di sezione trapezoidale. L'isolamento fra le lamelle è realizzato con mica bianca o materie plastiche.

Le lamelle con i relativi isolamenti, vengono riuniti in modo da formare un cilindro cavo le cui parti frontali vengono tornite in modo da fare assumere la caratteristica forma a coda di rondine. Successivamente le lamelle sono montate sulla bussola di acciaio e serrate mediante un anello filettato.

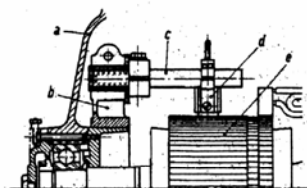
Dopo un certo periodo di lavoro si può verificare una certa usura della superficie del collettore sul quale appoggiano le spazzole: è opportuno pertanto procedere alla rettifica della superficie stessa.

Sulla carcassa della macchina, o su uno degli scudi, è fissato un anello che reca dei fori ad asola affinché possa parzialmente ruotare rispetto alla parte fissa della macchina. Su tale anello sono montati degli alberelli sporgenti per il sostegno dei portaspazzole. La possibilità che l'anello possa essere spostato è richiesta per poter regolare la posizione delle spazzole sull'esatto piano di commutazione. Le spazzole sono costituite da un blocchetto di carbone amorfo, grafite naturale elettrografite o metalcarbone a seconda della condizione di esercizio.

Esempio di collettore



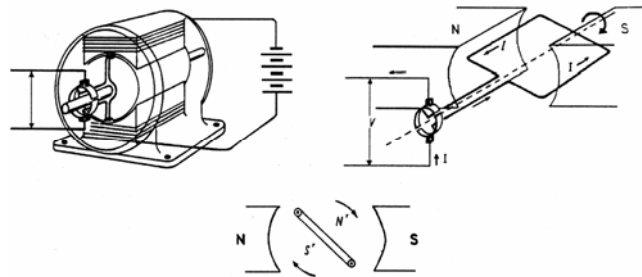
- 1 Bussola in acciaio
- 2 Anello di bloccaggio
- 3 Isolamenti in mica
- 4 Lamelle in rame
- 5 Attacchi dei conduttori



- A Scudo
- b Anello portaspazzole
- c Alberello portaspazzole
- d Portaspazzole
- e Collettore

Principio di funzionamento

Se al rotore di una macchina a corrente continua applichiamo una tensione continua, i suoi avvolgimenti saranno percorsi da corrente. Questa corrente produce nell'indotto un flusso magnetico la cui direzione è perpendicolare a quella dell'asse dei poli induttori con poli nord e sud rispettivamente in N' e S', ossia del campo principale. Si può allora paragonare l'indotto ad un elettromagnete. Fra questi poli e quelli S e N dell'induttore si manifestano delle forze attrattive e corrispondentemente delle forze repulsive le quali concorrono a fare ruotare l'indotto nel senso indicato in figura.



Principio di funzionamento

Alla stessa conclusione si arriva ricordando che una spira posta entro un campo magnetico e percorsa da corrente tende a ruotare per disporsi in modo da essere attraversata dal massimo flusso. Evidentemente se non esistesse il collettore a lamelle, non appena il polo N' dell'indotto ed il polo S dell'induttore si trovasse affacciati (e quindi il polo S' affacciato al polo N) il rotore non potrebbe più ruotare perché cesserebbero le forze attrattive e repulsive fra gli elettromagneti costituiti dall'indotto e dall'induttore. La presenza del collettore a lamelle (rotante con l'indotto) e delle spazzole (fisse) consente che la posizione relativa dei due flussi (indotto e induttore) rimanga sempre la stessa poiché in ogni conduttore, passando attraverso il piano di commutazione, il senso della corrente si inverte: per conseguenza le forze attrattive e repulsive permangono e la rotazione prosegue sempre nello stesso senso.

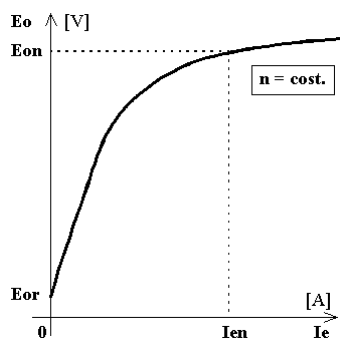
La coppia C sviluppata dalle forze attrattive e repulsive è proporzionale al flusso e alla corrente che circola nell'indotto, precisamente:

$$C = K' \Phi I$$

Essendo K' una costante dipendente dalle caratteristiche costruttive della macchina.

Caratteristiche di funzionamento a vuoto

Nel funzionamento a vuoto risulta essere particolarmente significativa la caratteristica di magnetizzazione, ricavata facendo variare la corrente di eccitazione e mantenendo costante (e pari al valore nominale) la velocità di rotazione.



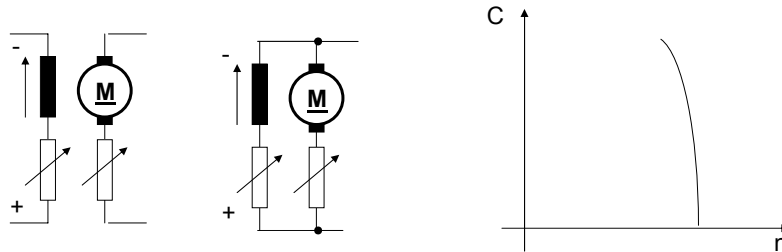
L'andamento di tale caratteristica è quello tipico dei materiali ferromagnetici, la corrente di eccitazione è proporzionale al campo magnetico, la f.e.m. è proporzionale al flusso e quindi all'induzione. Si osserva che, a causa del magnetismo residuo, tipico nelle macchine eccitate in corrente continua, si ha una f.e.m. **E_{or}** anche con corrente di eccitazione nulla.

Caratteristiche di funzionamento a carico

Le caratteristiche che più interessano il funzionamento dei motori sono le caratteristiche elettromeccaniche (curva della coppia e della velocità in funzione della corrente assorbita) e la caratteristica meccanica, ossia la curva della coppia in funzione della velocità.

Quest'ultima particolarmente adatta per stabilire il campo di impiego dei vari motori, varia sostanzialmente a seconda del sistema di eccitazione della macchina.

Caratteristiche di funzionamento nelle macchine ad eccitazione indipendente

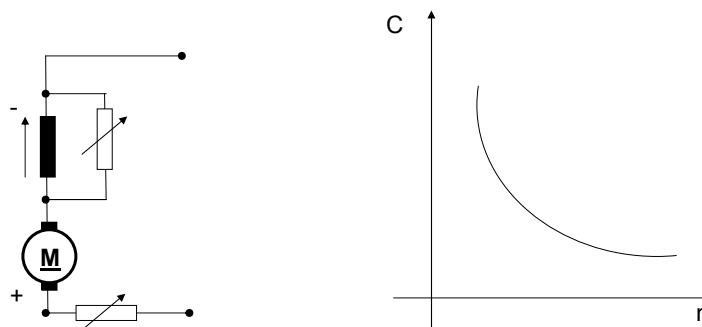


Nelle macchine ad **eccitazione indipendente** (separata) e in quelle ad eccitazione in derivazione la variazione di velocità è assai limitata con il variare del carico: queste macchine si impiegano pertanto quando sia richiesta una velocità praticamente costante al variare del carico. La caratteristica meccanica è una retta quasi parallela all'asse delle ordinate. I motori ad eccitazione indipendente hanno possibilità di regolare la velocità entro amplissimi limiti, agendo sia sulla tensione di alimentazione, sia sulla corrente di eccitazione; sono perciò molto utilizzati specialmente nei gruppi di regolazione,

Caratteristiche di funzionamento a carico

Nei motori con eccitazione in serie:

La velocità diminuisce con l'aumentare della coppia resistente e viceversa: esse hanno dunque funzionamento stabile a potenza pressoché costante. La loro coppia di spunto è molto elevata. Sono perciò particolarmente indicati per la trazione elettrica.



Caratteristiche di funzionamento a carico

Nei motori a eccitazione composta:

La corrente di carico è diretta in senso contrario a quella del funzionamento del generatore per cui aumentando il carico si indebolisce il flusso risultante. Si ha pertanto aumento della velocità che può compensare la diminuzione di velocità dovuta all'aumento della coppia resistente.

La caratteristica meccanica è rappresentata da una retta parallela all'asse delle ordinate, il che significa appunto che la velocità è costante al variare del carico.

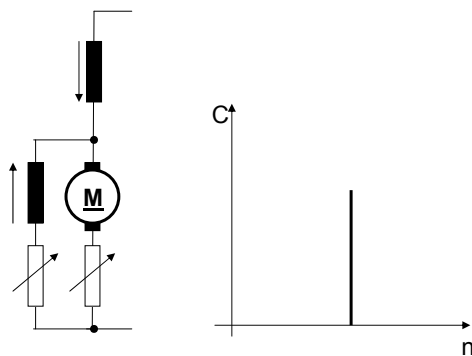
Tuttavia questi tipi di motore presentano il grave inconveniente che un brusco sovraccarico può far prevalere l'eccitazione in serie su quella in derivazione tendendo ad invertire il senso di rotazione, hanno però una buona coppia di spunto e buon comportamento in sovraccarico, per cui vengono usati per l'azionamento dei laminatoi.

Caratteristiche di funzionamento a carico

Nei motori a eccitazione composta differenziale:

Il flusso prodotto dall'avvolgimento in serie è contrario al flusso prodotto dall'avvolgimento in derivazione. La coppia è proporzionale alla corrente di linea.

Un aumento del carico produce una diminuzione del flusso, che tende ad aumentare la velocità, compensando la diminuzione dovuta alle aumentate cadute nell'indotto: quindi la velocità è quasi rigorosamente costante.



Velocità

La velocità di un motore a corrente continua è inversamente proporzionale al flusso induttore e direttamente proporzionale alla tensione applicata.

$$n = \frac{E}{K\Phi} = \frac{V_{\text{armatura}}}{I_{\text{eccitazione}}}$$

Per variare la velocità di un motore a corrente continua si può agire come segue:

- variare il flusso magnetico rammentando che la diminuzione di questo significa aumento della velocità)
- variare la tensione di alimentazione (la diminuzione di questa porta comporta la diminuzione della velocità).

Entrambi i metodi sono in vari modi applicati in pratica.

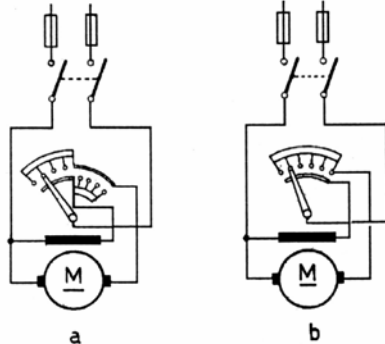
Dal fatto che la velocità aumenta con il diminuire del flusso magnetico deriva un'importante osservazione: non si deve mai fare funzionare un motore a corrente continua senza eccitazione, poiché assumerebbe velocità pericolose, Per lo stesso motivo il motore eccitato in serie, nel quale la corrente di eccitazione è la stessa del carico, non si deve mai fare funzionare a vuoto con carichi troppo bassi.

Avviamento

All'avviamento essendo il motore ancora fermo, alimentando il motore la corrente dell'indotto assumerebbe un valore tale da non essere sopportata né dal motore, né dall'impianto. Occorre pertanto inserire all'avviamento un reostato (reostato di avviamento) che viene gradualmente disinserito man mano che il motore prende velocità.

Il flusso induttore invece deve essere massimo, quindi l'avviamento dovrà sempre farsi con reostato di campo disinserito.

Avviamento con eccitazione in derivazione



- a inserzione a velocità regolabile
- b inserzione a velocità costante

Necessitano di un reostato di avviamento (eventualmente uno di campo) per limitare la corrente di avviamento. All'avviamento il reostato di campo (qualora esista) deve essere completamente escluso; il reostato di avviamento totalmente incluso.

Avviamento con eccitazione in serie

A macchina ferma

Reostato di avviamento totalmente incluso.

Per avviare

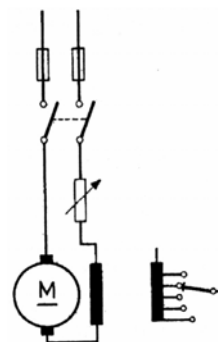
Chiudere l'interruttore, escludere gradualmente il reostato. Osservare che il collegamento meccanico fra motore e macchina operatrice sia realizzato con ingranaggi, catene ecc., in quanto a vuoto, il motore può assumere velocità pericolose.

Regolazione dei numero dei giri

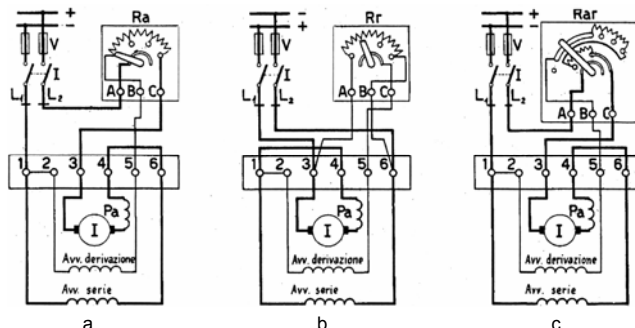
Per rendere possibile la regolazione si includono o si escludono le spire dell'avvolgimento di campo mediante speciali inseritori, come da figura.

Inversione del senso di rotazione

Invertire la direzione del campo nello statore, a tal fine si invertono i collegamenti alla morsettiera.



Avviamento con eccitazione composta



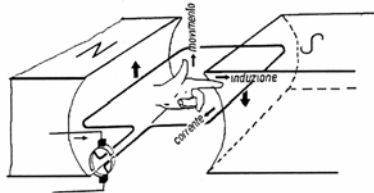
a con reostato di avviamento (Ra)
 b con reostato di regolazione (Rr)
 c con reostato di avviamento e di regolazione (Rar)

A macchina ferma Ra ed Rar inseriti
 Per avviare chiudere l'interruttore I ed escludere gradualmente i reostati
 Per regolare il numero di giri agire sui reostati
 Per invertire il senso di rotazione, invertire il campo negli avvolgimenti di eccitazione in serie e in derivazione

Senso di rotazione del motore in c.c.

Il senso di rotazione si può determinare applicando la regola della mano sinistra (Fleming). Riferendosi alla figura, disponendo la mano sinistra in modo che il dito medio indichi il senso della corrente in un conduttore e l'indice il senso del flusso induttore, il pollice indicherà il senso verso cui il conduttore è sollecitato a muoversi, ossia il senso di rotazione dell'indotto.

Supponendo invariata la polarità della linea, in un generatore (dinamo) il morsetto positivo (+) è quello dal quale esce la corrente, mentre in un motore il morsetto positivo (+) è quello da cui la corrente entra..



Pertanto nell'indotto di un motore a corrente continua, il senso della corrente risulta sempre contrario a quello che si avrebbe se la macchina funzionasse da generatore. Agli effetti del senso di rotazione esso può essere uguale o contrario nel funzionamento come generatore o come motore a seconda del sistema di eccitazione e del modo con cui sono effettuati i collegamenti.

Da ciò risulta pure che per invertire il senso di rotazione di un motore a corrente continua è necessario invertire il senso della corrente o soltanto nell'induttore o soltanto nell'indotto: se si invertisse in entrambi i circuiti le condizioni reciproche rimarrebbero invariate e quindi anche il senso di rotazione. Non si può quindi realizzare l'inversione del moto invertendo i collegamenti fra i morsetti e la linea.

Frenatura, recupero di energia

Frenatura in controcorrente

Se si inverte la corrente dell'indotto di un motore a corrente continua si ha un'energica azione frenante, in quanto la macchina tende a ruotare in senso inverso. (frenatura violenta riservata solo ai casi di emergenza)

Frenatura dinamica

Se si stacca la macchina dalla linea di alimentazione e la si inserisce su una resistenza, il motore funziona come generatore a spese dell'energia meccanica dovuta alla forza viva del sistema (motore più macchina comandata, motore più veicolo) l'energia prodotta viene dissipata in calore nella resistenza.

Frenatura a recupero

Se un motore ad eccitazione indipendente, derivata o composta, supera per ragioni esterne la velocità di funzionamento a vuoto (il che può accadere per esempio in una locomotiva in discesa) anziché assorbire energia elettrica dalla linea, ne fornisce alla stessa, assorbendo energia meccanica.

Si ha così un'azione frenante dovuta all'assorbimento di energia meccanica e un'azione di recupero, in quanto questa energia meccanica viene trasformata in energia elettrica e riversata sulla linea: a causa dell'aumento di velocità la forza contro elettromotrice supera la tensione applicata e la macchina diventa generatore.

Naturalmente appena la velocità ridiscende ad un valore uguale o inferiore a quello di funzionamento a vuoto l'azione frenante cessa.

COMPONENTI ELETTRICI

I componenti dei circuiti elettrici

Nel descrivere i vari elementi che compongono un circuito elettrico e riferendosi ai loro contatti si parlerà sempre di contatti normalmente aperti o chiusi, quindi si dirà e si scriverà NA per i primi (aperti) e NC per i secondi (NC).

Su molte apparecchiature di fabbricazione straniera si troverà al posto di NA l'indicazione NO (normally open).

Per capire uno schema elettrico è fondamentale avere le idee chiare su questo punto, ossia sapere esattamente che cosa si intende per contatti NA e per contatti NC.

Un contatto verrà definito **normalmente aperto** o chiuso, considerando sempre l'elemento in oggetto, sia esso un relé, un pulsante, un microinterruttore, quando è **in condizione di riposo**.

Qualora si parli del circuito elettrico della macchina, la stessa dovrà essere considerata ferma, in condizione di riposo o di inizio ciclo.

Un contatto è definito **normalmente aperto (NA)** allorché, applicando tensione ai suoi morsetti in condizioni di riposo, non vi è alcun passaggio di corrente, in quanto non vi è alcuna connessione che unisca tra di loro i due morsetti.

Un contatto è invece definito **normalmente chiuso (NC)** allorché, applicando tensione ai suoi capi in condizioni di riposo, si riscontra un passaggio di corrente in quanto esiste una connessione tra i due morsetti.

Questo concetto, come già precisato, è valido per qualsiasi tipo di componente di un circuito elettrico considerato in condizione di riposo, come per esempio un pulsante non premuto, un microinterruttore non sotto camma, un relé o teleruttore o un temporizzatore con la bobina diseccitata.

Cavi elettrici

Per cavo elettrico si intende uno o più conduttori uniformemente isolati, i cavi sono generalmente provvisti di rivestimento protettivo per evitare che sollecitazioni esterne possano danneggiare l'isolamento.

La classificazione più comune dei cavi si basa sul tipo di isolamento usato che può essere: carta impregnata, gomma, materiale termoplastico, per il tipo di guaina e rivestimento protettivo.

La scelta del tipo di cavo da usare viene attuata in base a quattro elementi fondamentali, quali:

Valori di tensione di esercizio dell'impianto nel quale cavo deve essere inserito.

- Valore della potenza e della corrente da trasmettere.
- Tipo di posa (direttamente nel terreno, in canalette o tubi protettivi, in aria libera)
- Tipo di rivestimento protettivo; le condizioni da rispettare, al fine di evitare un deterioramento troppo rapido del cavo durante il funzionamento sono essenzialmente due: limite della tensione di esercizio, limite di temperatura.

Nella scelta di un cavo si dovranno infine considerare le caratteristiche dell'ambiente di posa per poter scegliere il mezzo protettivo più efficace contro azioni meccaniche, chimiche, corrosive ecc.

Si ricorda che i cavi possono essere marchiati (ossia soggetti al regime del Marchio Italiano di Qualità) essi offrono la garanzia di essere conformi alle norme CEI-UNEL.

Per la determinazione della sezione dei conduttori per i vari tipi di cavi esaminati può essere dedotta per mezzo delle tabelle e dei diagrammi. La norma CEI 64-8 (fascicolo 1000 del 1987) codifica i colori usati per individuare i cavi unipolari o le anime dei cavi multipolari.

Morsettiere

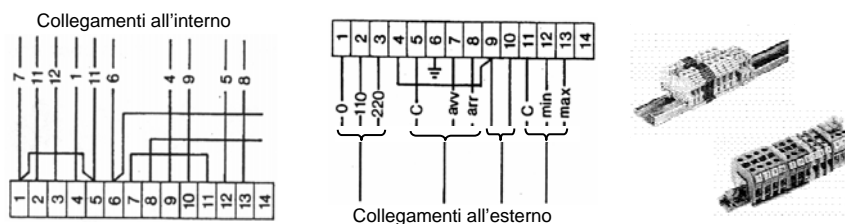
Per la documentazione elettrica dei circuiti, sono da ritenere necessari i disegni delle morsettiere e le tabelle di tesatura a collegamento dei cavi di interconnessione tra le diverse parti di un sistema utilizzatore dell'elettricità.

Sempre in relazione alla generata numerazione dei conduttori e dei morsetti, è anche possibile realizzare direttamente collegando diligentemente i conduttori secondo le indicazioni numeriche di apposite tabelle.

E' chiaro che questo sistema è prevalentemente adatto per cablaggi ripetitivi di componenti più o meno complessi e abbisogna di solo capacità manuale e diligenza esecutiva.

Agli operatori non occorrono infatti nozioni di elettrotecnica a dei suoi problemi a di solito sono sufficienti informazioni generiche sullo scopo dei circuiti che devono realizzare.

Per le morsettiere finali dei componenti elettrici, normalmente occorrono disegni con diverso aspetto grafico in relazione alle informazioni che si devono trasmettere. Un esempio è indicato nelle figure sottostanti:



Pulsanti e selettori

Sono degli organi di comando che si trovano a diretto contatto dell'operatore e servono ad interrompere o chiudere un circuito elettrico. In base a precise norme di sicurezza debbono sempre lavorare a tensioni inferiori a 110 volt. Ne esistono di vari tipi, sia come struttura meccanica, sia come caratteristiche elettriche. Essi sono sempre montati su quadri di comando (pulsantiera) ed in certi casi sugli armadi dell'apparecchiatura stessa.

Pulsanti



Selettori



Pulsanti

Sono organi di comando che aprono o chiudono un circuito, ma lo mantengono in tale posizione solo fino a quando vengono tenuti premuti. Sono quindi degli organi che servono soltanto a trasmettere degli impulsi di tipo digitale (on - off). In commercio ve ne sono di diversi tipi: a tasto, a fungo, a tasto luminoso, a tasto con tenuta stagna. Tutti comunque possono avere contatti singoli o doppi o multipli normalmente chiusi o normalmente aperti. I tasti dei pulsanti sono di diversi colori, in quanto ogni colore viene usato per indicare una certa funzione, ad esempio:



Rosso

Emergenza



Giallo

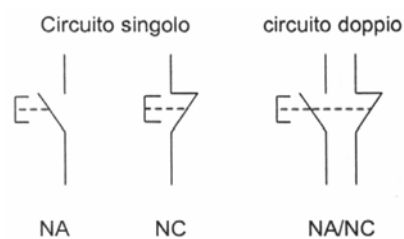
Intervento



Verde

Avviamento

Simboli



Selettori

Strutturalmente sono simili ai pulsanti, e servono per selezionare parti di circuiti elettrici.

Possono avere due o più posizioni e a differenza dei pulsanti dopo il loro azionamento mantengono la posizione dei contatti in una determinata posizione fino ad un successivo intervento.

Vengono usati anche per includere o escludere certi dispositivi.

Possono avere uno o più contatti per posizione ed in certi casi il loro comando è abbinato ad un pulsante che può essere premuto in una o più posizioni.

Costruttivamente possono essere a tasto, a leva, a pulsante o a chiave; quest'ultima può essere estratta in una sola o più posizioni.

Simboli



Con posizione neutra



Con passaggio senza interruzione

Microinterruttori (finecorsa meccanici)

Possono essere paragonati a dei pulsanti, in quanto possono aprire o chiudere dei circuiti elettrici.

Mentre i pulsanti sono azionati dalla mano dell'operatore i microinterruttori sono sempre azionati meccanicamente attraverso la presenza di un organo meccanico.

Sul mercato esistono un'infinita di tipi, a seconda dell'applicazione a cui sono destinati, hanno contatti normalmente chiusi o aperti, possono essere a semplice o a doppi contatti.



Contatto NA

NA = 0 non passa corrente
NA = 1 passa corrente



Contatto NC

NC = 0 passa corrente
NC = 1 non passa corrente

Lampade

Sono organi di segnalazione ottica che servono ad avisare il conduttore o manutentore di una apparecchiatura quando una certa funzione è avvenuta, oppure quando si è verificato un inconveniente o una anomalia. Sono normalmente alimentate a 110 volt, ma sono dotate di un piccolo autotrasformatore che riduce la tensione a 24 volt. Possono assumere diverse colorazioni in funzione dell'evento ed in particolare:

Rosso	Pericolo od allarme
Giallo	Attenzione
Verde	Sicurezza

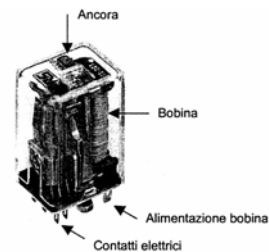
Relé

Quando si rilascia un pulsante, si ripristinano le condizioni precedenti al suo intervento. Affinché questo non avvenga, nei circuiti elettrici il pulsante non comanda mai direttamente per esempio un motore, una elettrovalvola o delle resistenze, ma li aziona sempre tramite un relé.

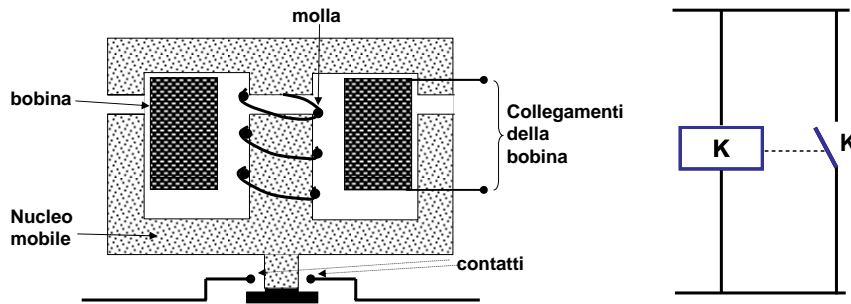
Il relé come si è già accennato, è un apparecchio costituito da un elettromagnete che attirando presso di sé un'ancora di ferro dolce, provoca l'apertura o la chiusura dei suoi contatti, innescando la commutazione dei circuiti elettrici ad essi associati.

Per ottenere ciò occorre che la bobina sia percorsa dalla corrente, essa genera in tal modo un campo magnetico nell'armatura consentendo di attirare l'ancora ed azionare quindi i contatti. Cessando la circolazione della corrente nella bobina, cessa l'azione magnetizzante, l'ancora viene rilasciata facendo assumere ai contatti le condizioni di riposo.

Simbolo generico



Relè: schema di principio

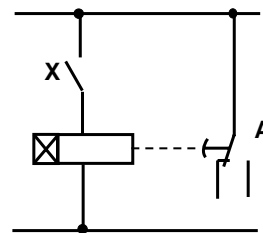


Contatti: Semplice NA
 Semplice NC
 Doppio scambio 1NA + 1 NC
 Doppio scambio 2NA + 2 NC

Temporizzatori

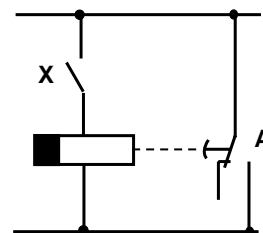
Temporizzatore ritardato all'attivazione

Dopo la chiusura del circuito elettrico di comando, ad opera del segnale in ingresso, il relè si attiva e chiude il circuito elettrico di uscita con un certo ritardo



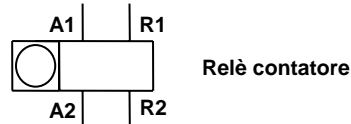
Temporizzatore ritardato alla disattivazione

Quando il segnale d'ingresso cessa e si apre il circuito elettrico che alimenta il relè, il circuito di uscita si apre con un certo ritardo



Relè contatore

Questo relè ha una bobina di set e una di reset. Il relè sente il fronte di salita del segnale, e ogni volta si presenta la variabile del contatore. Quando questa variabile ha raggiunto il valore voluto, allora apre o chiude un circuito.



Il relè si eccita dopo che è stato contato un numero predefinito di impulsi di corrente fra le connessioni A1 e A2. Se viene applicato un potenziale fra le connessioni R1 e R2, il contatore viene resettato al suo valore predefinito. Con questo relè si può realizzare uno Stop automatico in un Ciclo Continuo.

Sensori

Nei progettare una macchina o un impianto automatico o nel metterlo in funzione si ha bisogno di conoscere, durante i vari cicli di lavorazione, le varie posizioni assunte da carrelli, torrette, slitte, pistoni ecc. A questo scopo trovano largo impiego gli interruttori di posizionamento o di prossimità detti comunemente fine corsa.

In particolare il fine corsa è quell' interruttore di posizionamento che viene posto nella parte esterna della corsa che si vuole controllare.

Il funzionamento degli interruttori di posizionamento si distinguono in elettromeccanici, magnetici, elettronici, induttivi, capacitivi, ottici.

- Il fine corsa di tipo magnetico è un'apparecchiatura che permette il rilevamento di una posizione senza il contatto fisico, il contatto viene realizzato con dei "Reed" i quali sono realizzati dentro un bulbo di vetro, ove si trova un gas inerte con una lamina piatta di rodio, la quale chiude il circuito quando è sottoposta ad un campo magnetico. (E' spesso usato sui cilindri con pistone magnetico).

Sensori induttivi o capacitivi

- Un altro fine corsa di tipo statico è rappresentato **dall'interruttore di prossimità induttivo o capacitivo**. Sono costituiti da un circuito oscillatore che genera un campo induttivo ad alta frequenza, questo campo viene disperso attraverso la "testina" sensibile ai materiali metallici. Quando in tale campo viene introdotto un materiale metallico, le oscillazioni vengono attenuate, e attraverso il circuito di Trigger, va a comandare il circuito amplificatore e quindi si avrà un segnale in uscita.
- Gli **interruttori di prossimità capacitivi** hanno un funzionamento simile a quello degli interruttori induttivi. Essi generano un campo elettrico, quando quest'ultimo varia per l'effetto dell'eventuale mutamento della costante dielettrica del mezzo circostante la loro zona di influenza, a causa della presenza di un materiale anche non metallico (vetro, olio, legno, acqua, plastica ecc) varia anche il segnale interno che va a pilotare un circuito amplificatore che permetterà anche in questo caso di avere un segnale d'uscita.

Sensori a fotocellula

Un sistema molto diffuso per il rilevamento di posizione di oggetti, di livelli, di fori ecc., sono le fotocellule. Esse si dividono essenzialmente in tre modelli a in base al metodo di rilevamento: a sbarramento o unidirezionali, a riflessione con catarifrangente, a reflex o tastaggio diretto.

- Le fotocellule a sbarramento si compongono di due parti: l'emettitore di luce e l'elemento fotosensibile presente nel ricevitore. Il fascio di luce che esce dall'emettitore tramite una lente focale viene concentrato su un ricevitore, questo essendo sensibile al cambiamento di luce che lo investe, cambia la sua condizione logica e quindi dà o nega un segnale.
- Le fotocellule a riflessione sono costruite in un unico blocco che contiene l'emettitore di luce e il ricevitore fotosensibile. La luce emessa è del tipo infrarosso e, per evitare l'influenza della luminosità esterna, la luce viene modulata. Il funzionamento delle fotocellule a riflessione viene agevolato con l'ausilio di un catarifrangente che viene montato sul lato opposto alla fotocellula stessa, in quanto come già detto l'unità emittitrice e quella ricevente sono montate nello stesso contenitore.
- Le fotocellule reflex o a tastaggio diretto si differenziano dalle precedenti in quanto l'oggetto che devono rilevare non interrompe il fascio di luce, ma lo riflette. Sono costruite in un unico contenitore dove risiede l'emettitore dell'infrarosso modulato e il ricevitore.

APPARECCHIATURE ELETTRICHE

Apparecchi di manovra e sistemi di protezione

Un apparecchio si definisce di manovra quando è in grado di eseguire operazioni di apertura e di chiusura di un circuito di potenza; queste manovre possono avvenire a vuoto o sottocarico.

Apparecchio di manovra a vuoto: a un apparecchio in grado di aprire e chiudere un circuito in assenza di corrente, cioè viene azionato quando lo stesso circuito è interrotto in un altro punto.

Apparecchio di manovra sotto carico: è un apparecchio in grado di aprire e chiudere un circuito quando in esso circola corrente.

Le suddette manovre si possono attuare o nel funzionamento normale o nel funzionamento anormale; nel funzionamento normale per separare o collegare un circuito all'impianto principale; nel funzionamento anormale quando, a causa di guasti, si ha l'esigenza di separare il circuito in avaria rispetto al resto dell'impianto.

Tali manovre possono avvenire: manualmente, quando l'operatore agisce su apposite maniglie o su dispositivi di comando, oppure automaticamente, quando i dispositivi di protezione appositamente installati ne comandano l'intervento.

Queste apparecchiature si possono suddividere in:

SEZIONATORI

INTERRUTTORI

CONTATTORI

Sezionatore

Ogni dispositivo di interruzione per quanto accuratamente progettato, non si può considerare, in generale, assolutamente sicuro. Inoltre i dispositivi di protezione predisposti anche se particolari, non sono sempre in grado di eliminare qualsiasi genere di guasto.

Per questo motivo in alcuni casi è indispensabile l'intervento dell'operatore per eliminare il pericolo, per cui devono essere predisposti particolari accorgimenti e utilizzati alcuni apparecchi per facilitare l'intervento dell'operatore.

Tra i vari apparecchi, assumono particolare importanza i dispositivi per l'interruzione dell'alimentazione elettrica tramite manovra su interruttori di sezionamento. Gli interruttori di sezionamento permettono l'esecuzione di due manovre, quella appunto di sezionamento a quella di emergenza. Le manovre di sezionamento servono a sezionare dalla rete e bloccare in tale posizione l'equipaggiamento elettrico di sezionatore. Questa operazione viene fatta per effettuare lavori di manutenzione, di riparazione o in caso di inutilizzazione prolungata dell'impianto a valle.

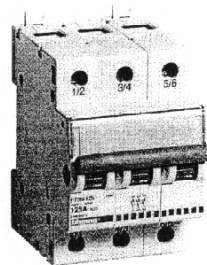
Sezionatore

Secondo le norme IEC, ogni Impianto, macchina o sezione di grande impianto o macchina complessa deve essere equipaggiata con un interruttore principale; questo può essere un interruttore di sezionamento.

Le manovre di emergenza si effettuano nel momento in cui nei circuiti elettrici esistono e si verificano le seguenti cause di pericolo:

- a) quando la manovra viene effettuata senza osservare le regole relative a un normale sezionatore;
- b) quando va in avaria una parte di macchina complessa e il ciclo di lavorazione non permette di togliere l'alimentazione elettrica dell'intero impianto;
- c) quando i normali organi di manovra non sono visibili nella posizione di aperto e quindi non si ha la certezza che i circuiti siano aperti.

Quindi i dispositivi per la manovra di emergenza devono essere installati in posizione tale da poter essere raggiunti in modo rapido e sicuro.



Sganciatore termico

Quando si vuol proteggere un circuito da un sovrappassaggio di corrente elettrica, si installa un interruttore con sganciatore termico di massima corrente. Lo sganciatore termico di massima corrente funziona sfruttando il principio della dilatazione lineare di alcuni metalli conduttori accoppiati, questo accoppiamento prende il nome di bimetallo. I bimetalli sono composti da due lamine aventi diverso coefficiente di dilatazione e pressate al laminatoio a temperatura elevata, in modo da farle aderire intimamente. Se viene innalzata la temperatura, i bimetalli si incurvano per effetto della dilatazione; il metallo con minor coefficiente di dilatazione termica si troverà sulla parte concava. Questo fenomeno viene appunto sfruttato per costruire gli sganciatori termici di massima corrente con intervento dipendente dalla corrente che circola nel loro circuito.

Gli sganciatori termici di massima corrente vengono costruiti in modo che la corrente da controllare attraversi il bimetallo, oppure attraverso un conduttore avente resistenza elettrica tale da riscaldare il bimetallo al passaggio della corrente. In ambedue i casi il bimetallo è fissato solo ad una estremità, l'altra è lasciata libera. Quando il bimetallo viene riscaldato, o per il passaggio della corrente o per effetto di essa, si incurva, spostando l'estremità libera da 2 a 10 mm (per aumenti di temperatura fino a 100°C). Questo spostamento attiva lo sganciatore che provoca l'apertura dell'interruttore a cui è abbinato.

Sganciatore magnetico

Gli sganciatori magnetici sono costituiti da un elettromagnete alimentato dalla corrente del circuito principale ed avente un nucleo mobile il cui movimento provoca direttamente o indirettamente lo sgancio dell'interruttore tramite un servomeccanismo.

Occorre realizzare un elettromagnete che, con la più bassa forza magnetotermica possibile, abbia la corsa necessaria per liberare il sistema di sostegno e sviluppi forze sufficienti per azionare il meccanismo di sgancio.

E' essenziale ridurre al minimo la f.m.m. necessaria per stabilire nel circuito magnetico un flusso idoneo a garantire la forza meccanica sufficiente ad attivare il meccanismo di sgancio dello sganciatore magnetico.

Si ricorda che per realizzare uno sganciatore elettromagnetico di massima corrente, bisogna rendere la corrente che attraversa la bobina proporzionale alla corrente da controllare.

Interruttori automatici

E' un dispositivo di protezione circuitale simile ad un fusibile, ma con la differenza che può essere ripristinato. La maggior parte degli interruttori di circuito è caratterizzata da due modi di funzionamento

PROTEZIONE DA SOVRACCARICO TERMICO

Protegge il cablaggio e l'apparecchiatura da danni causati da sovracorrenti a "lungo termine"

PROTEZIONE DA CORTO CIRCUITO MAGNETICO

Protegge il cablaggio e l'apparecchiatura da correnti di guasto estremamente elevate causate da un guasto catastrofico di componenti, per cui la maggior parte degli interruttori di circuito viene descritta come di tipo "**termo-magnetico**".

Sono calibrati ad una normale corrente di portata, normale tensione nominale e massima corrente e tensione di guasto che sono in grado di interrompere con sicurezza e ripetutamente. La continuità di conduzione in condizioni anormali è limitata al tempo di interruzione che è dell'ordine dei millisecondi.

L'interruttore ha due posizioni caratteristiche: quella di aperto, leva di manovra posizionata in giù, su "O", e quella di chiuso, leva di manovra posizionata in su, sopra "I". Una di queste posizioni viene mantenuta fino a quando non è modificata dall'azione esterna dell'operatore.

La leva di manovra individua direttamente con tre posizioni diverse l'effettiva posizione dei contatti dell'interruttore:

" I " interruttore chiuso

" O " interruttore aperto normalmente

" intermedia " interruttore aperto per interventi degli sganciatori.

Dopo l'apertura automatica dell'interruttore per intervento degli sganciatori, l'operazione di chiusura è possibile solo dopo il ripristino e viene fatto spingendo a fondo la leva di manovra dalla posizione intermedia a quella di aperto, normalmente "O"

Il contattore

Il contattore si può definire come un dispositivo meccanico di manovra ad azionamento automatico; esso è previsto per un numero elevato di manovre. Il contattore assume una sola posizione di riposo ed è capace di stabilire, interrompere, sopportare le correnti in condizioni ordinarie e in condizioni di sovraccarico che si stabiliscono nel circuito. Nella condizione di riposo, cioè con la bobina diseccitata, i contatti principali del contattore sono aperti; se invece fossero chiusi l'apparecchio si definirebbe chiuso a riposo. La forma costruttiva più diffusa e quella a pacco, denominazione derivata dalla forma stessa dell'apparecchio. Le operazioni di chiusura e di apertura di un contattore si eseguono alimentando e togliendo tensione alla bobina dell'elettromagnete che serve a dare il movimento alla parte mobile del contattore stesso.

L'insieme della bobina e del nucleo magnetico prende il nome di elettromagnete.

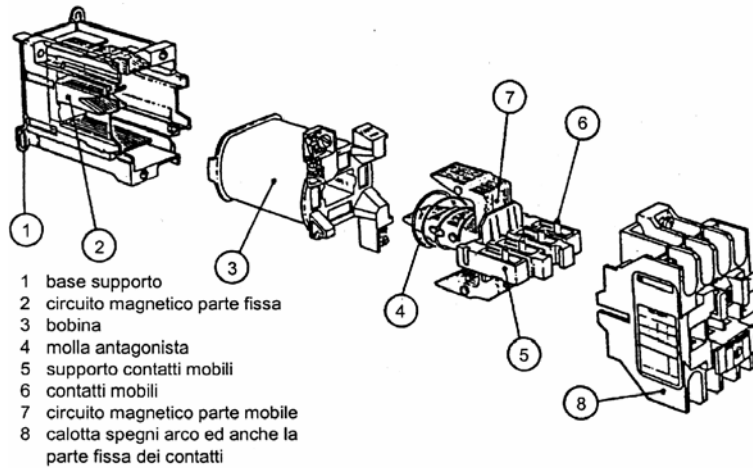
Il nucleo elettromagnetico è composto da due parti:

- parte fissa, dove è solitamente montata la bobina
- parte mobile, solidale al supporto di sostegno dei contatti mobili.

I contatti di un contattore si distinguono in:

- Contatti principali o di potenza, cioè costruiti in modo tale da sopportare la corrente del carico.
- Contatti ausiliari, che sono utilizzati per attivare segnalazioni, consensi, interblocchi, autoeccitazione e altre possibili funzioni ausiliarie.

Componenti di un contattore



Caratteristiche principali

Quando l'elettromagnete attira l'equipaggio mobile (spunto) il valore della corrente necessaria è sicuramente maggiore di quello della corrente assorbita nella successiva fase di ritenuta, in cui l'equipaggiamento mobile rimane attirato ed i contatti sono chiusi. L'assorbimento energetico dell'elettromagnete non è costante a ciò va tenuto presente per determinare il consumo del circuito di comando al fine di scegliere correttamente la sezione dei conduttori. Si deve poi tenere presente che l'elettromagnete di un contattore deve chiudere con sicurezza in presenza di una tensione di comando compresa tra 85% e il 110% della tensione nominale di alimentazione della bobina.

Questi sono i limiti di tensione che devono essere garantiti dal circuito di comando e che rendono delicato il dimensionamento del trasformatore.

Per quanto riguarda il circuito magnetico di comando va inoltre ricordata una differenza strutturale, infatti se la bobina è eccitata in c.c., il nucleo può essere massiccio; mentre se è eccitata in c.a., il nucleo è obbligatoriamente laminato per limitare le perdite per correnti parassite. Se il circuito magnetico è eccitato in c.a., la forza attrattiva che la parte fissa agisce su quella mobile risulta variabile.

Al fine di ridurre le conseguenti vibrazioni indesiderate e dannose, con conseguente ronzio, è sufficiente applicare un anello di rame su una delle estremità polari. Tale dispositivo viene chiamato "antivibrante o silenziatore".

La vita di un contattore dipende molto dal mantenimento delle prestazioni dell'elettromagnete. Pertanto si raccomanda un'accurata verifica di esso e del grado di protezione del contenitore agli agenti esterni quali: polvere, muffe, corpi solidi ecc

Individuazione dei terminali

Per permettere una corretta individuazione dei terminali, essi vanno contraddistinti secondo quanto stabilito dalle norme:

Le bobine di comando vanno siglate con A1 a A2.

I morsetti dei contatti principali vanno siglati con i numeri da 1 a 6 di cui le entrate lato linea, avranno i numeri dispari -1 3 5 -, le uscite avranno i numeri pari -2 4 6 -.

I morsetti dei contatti ausiliari vanno siglati con numeri a due cifre, di cui la prima indica il numero d'ordine del contatto, la seconda indica la funzione, 1-2 per indicare un contatto normalmente chiuso. Il numero 3-4 per indicare un contatto normalmente aperto.

B O B I N A	CONTATTI DI POTENZA	CONTATTI AUSILIARI
A1 □	1 3 5	13
A2 □	2 4 6	14
A1 □	1 3 5	13 21
A2 □	2 4 6	14 22
A1 □	1 3 5	13 21 33
A2 □	2 4 6	14 22 34
A1 □	1 3 5	13 21 33 43
A2 □	2 4 6	14 22 34 44
A1 □	1 3 5	13 21 33 43 53
A2 □	2 4 6	14 22 34 44 54

Criteri di scelta in base all'impiego

I criteri di scelta di un contattore si basano principalmente sull'osservanza delle varie norme relative alle categorie d'impiego. Le norme, sia in relazione ai contattori che ai contatti ausiliari, definiscono delle categorie d'impiego a cui seguono delle precise condizioni di prova. Di seguito vengono elencate le varie categorie d'impiego secondo le norme sui contattori.

Motori in corrente alternata

- AC1 Inserzione o disinserzione di apparecchi utilizzatori aventi fattore di potenza almeno uguale a 0,95.
- AC2 E' relativa all'avviamento ed alla frenatura in controcorrente dei motori ad anelli.
- AC3 Avviamento ed arresto dei motori a gabbia.
- AC4 Avviamento a frenatura in controcorrente, manovra ad impulsi dei motori a gabbia

Motori in corrente continua

- DC1 Si applica a tutti gli utilizzatori resistivi o debolmente induttivi.
- DC2 E' relativa ai motori eccitati in derivazione nel quale si stabilisce una corrente pari a 2,5 volte la nominale.
- DC3 Si applica all'avviamento, alle manovre ad impulsi ad alta frenatura in controcorrente dei motori eccitati in derivazione.
- DC4 E' relativa all'avviamento ed all'arresto dei motori eccitati in serie. La costante di tempo a sui 10 ms.
- DC5 Avviamento, manovra ad impulsi a frenatura in controcorrente dei motori eccitati in serie.

Criteri di scelta nel comando motore

Quando un contattore viene preso in esame per comandare un motore, la sua scelta dovrà essere effettuata considerando i seguenti parametri:

LA TENSIONE NOMINALE D'IMPIEGO DEL MOTORE (V_n) deve essere sempre inferiore o uguale alla massima tensione d'impiego o d'isolamento del contattore (U_i) quindi:

$$V_n \leq U_i$$

LA CORRENTE NOMINALE DEL MOTORE (I_n)

o la sua potenza nominale (P_m) espressa in Kw devono essere compatibili con i rispettivi valori di corrente e di potenza normali d'impiego del contattore (I_e o P_m) vale a dire:

$$I_n \text{ o } P_m \leq P_n$$

Normalmente il costruttore fornisce, a seconda della categoria di impiego, tabelle a diagrammi, dove è possibile determinare, la potenza o la corrente nominale impiegabile.

Relé termico

Nel costruire un quadro di comando per l'inserzione di un carico (es. un motore asincrono trifase), è necessario interporre fra il contattore e il carico stesso una protezione contro eventuali sovraccarichi; queste protezioni prendono il nome di relé termici o di sovraccarico.

I relé termici vengono così utilizzati contro i fenomeni di sovracorrente (ad eccezione del cortocircuito) per la protezione del carico, ma anche dei conduttori e dello stesso contattore.

L'intervento del relé termico è dipendente dalle precedenti condizioni di carico. Questo perché, essendo il suo intervento dipendente dal valore della corrente di sovraccarico, prima che intervenga l'intervento vero e proprio deve trascorrere il tempo necessario affinché l'eccessiva corrente, e quindi il surriscaldamento del bimetallo, arrivi al cinematismo di sgancio.

La caratteristica essenziale del relé termico è il campo di regolazione che è compreso fra il minimo e il massimo valore della corrente di sgancio.

Il funzionamento del relé termico è regolato da una curva caratteristica a tempo inverso, ciò vuol dire che il tempo di intervento del relé diminuisce all'aumentare della corrente.

Principio di funzionamento del relé termico

Quando la corrente che attraversa il conduttore avvolto sul bimetallo supera il valore di taratura, l'effetto termico da essa prodotto conduce alla deformazione dello stesso bimetallo. Il bimetallo, deformandosi, esercita un'attrazione meccanica su una leva la cui posizione di riposo è determinata dalla regolazione esterna di taratura, quest'ultima spostandosi arriverà ad attivare il cinematismo di scatto rapido, dove è montato il contatto in deviazione che apre il circuito da esso controllato e si chiude su un eventuale circuito di segnalazione di scatto avvenuto.

Quando il relé termico è scattato, il contatto permane in tale posizione finché dall'esterno non si interviene per ristabilire la condizione di riposo sull'apposito pulsante.

I Fusibili

La protezione dei circuiti dalle sovracorrenti può anche essere affidata ai fusibili. Il loro intervento è determinato dalla fusione di un conduttore calibrato che ne costituisce l'elemento basilare.

I fusibili differiscono dagli interruttori automatici in quanto non sono previsti per effettuare manovre di apertura a chiusura dei circuiti.

Inoltre, il loro intervento richiede sempre la sostituzione del fusibile stesso. Operazione che comporta una perdita di tempo anche se questo componente è più economico dei relé.

La sostituzione dei fusibili non deve effettuarsi sotto tensione, può essere pericoloso per l'incolumità degli operatori. In taluni casi il fusibile assolve le funzioni di sezionatore, nel qual caso appositi dispositivi antinfortunistici impediscono di venire a contatto con le parti sotto tensione.

Interruttore differenziale

DIFFERENZIALI PURI, si chiamano in tal modo perchè sono dotati solo dello sganciatore differenziale. Questi tipi di differenziali sono degli interruttori capaci di proteggere solo dai guasti verso terra. Per avere una protezione più completa bisogna abbinarli a interruttori magnetotermici. Infatti gli interruttori differenziali puri non limitano né la corrente di sovraccarico, né la corrente di corto circuito.

DIFFERENZIALI MAGNETOTERMICI, sono delle apparecchiature integrate e dotate dello sganciatore differenziale, magnetico e termico, si ha così una protezione dalle correnti di corto circuito, dalle correnti di sovraccarico e dalle correnti di dispersione verso terra.

Il funzionamento della maggior parte di tali dispositivi prevede il monitoraggio della corrente di andata e ritorno che normalmente scorre in un tratto di apparecchiatura.

L'eventuale differenza di corrente (residua), risultante da un percorso di corrente a massa (provocata ad esempio da una persona che viene a contatto con un elemento sotto fase), viene sottoposta a monitoraggio e, ad un livello predeterminato, il dispositivo disinserisce l'alimentazione dell'apparecchiatura.

Schema di principio dell'interruttore differenziale monofase

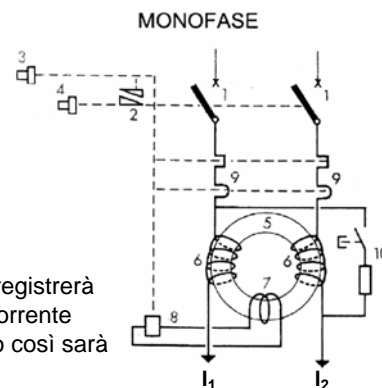
In assenza di anomalia il flusso nel toroide magnetico sarà dunque nullo. Non ci sarà perciò nessuna corrente indotta nella bobina di segnalazione, si ha quindi, nel monofase:

$$I_1 = I_2$$

In presenza di un difetto d'isolamento, si ha:

$$I_1 > I_2 \text{ con } I_1 - I_2 = I_f$$

Il circuito di segnalazione del differenziale registrerà questo scarto fra la corrente uscente a la corrente rientrante, aprendo così i contatti, l'impianto così sarà automaticamente messo fuori tensione.



- | | |
|-----------------------|--|
| 1 Contatti di potenza | 6 Avvolgimenti principali |
| 2 Aggancio meccanico | 7 Avvolgimenti di segnalazione |
| 3 Elemento di sgancio | 8 Relé sensibile alla segnalazione differenziale |
| 4 Elemento di riarmo | 9 Rilevazione termica e magnetica |
| 5 Toroide magnetico | 10 Pulsante di test |

PROTEZIONE E SICUREZZA

Protezione delle persone

Se la corrente che circola nel corpo umano supera qualche milliampere, ci sarà il rischio di folgorazione (Elettrocuzione)

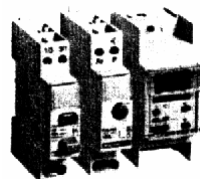
Contatto diretto

la persona tocca un elemento sotto tensione, per negligenza o per mancato rispetto delle regole di sicurezza. In questo caso la folgorazione è la conseguenza di una disattenzione o di una negligenza.



Rimedi

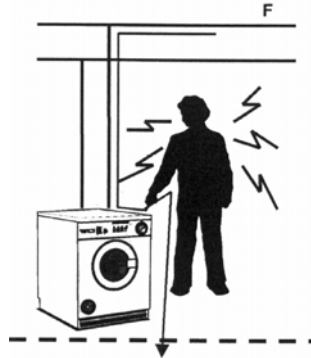
La norma CEI consiglia delle precauzioni d'installazione completate da un dispositivo differenziale ad alta sensibilità



Protezione delle persone

Contatto indiretto

la persona tocca un elemento che è sotto tensione a causa di un cattivo isolamento (invecchiamento o rottura degli isolanti). In questo caso la folgorazione non è dovuta alla irresponsabilità della persona, ma è conseguenza di un difetto imprevedibile.



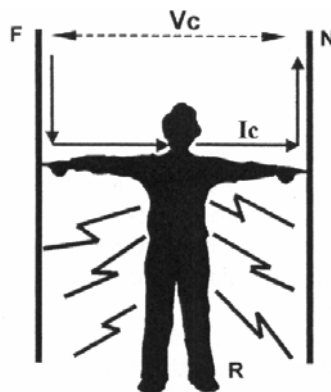
Rimedi

Installare all'inizio del circuito un dispositivo differenziale associato ad una presa di terra la cui resistenza sia compatibile con la sensibilità del differenziale.



Reazione dell'elettricità sul corpo umano

Il corpo umano, è sottoposto ad una tensione, è percorso da una corrente elettrica. La corrente agirà sul corpo in due modi:

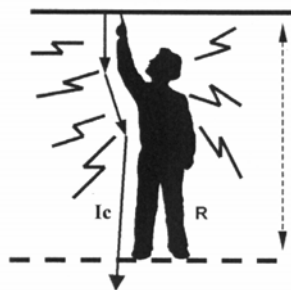


Blocco muscolare

(tetanizzazione)

Nel 1786, L. Galvani (fisico italiano) scoprì che i muscoli di una rana priva di pelle, si contraevano al passaggio di una corrente elettrica. La corrente che circola nel corpo umano, contrae dunque i muscoli, sia quelli delle membra, della gabbia toracica, o il cuore (muscolo cavo).

Reazione dell'elettricità sul corpo umano



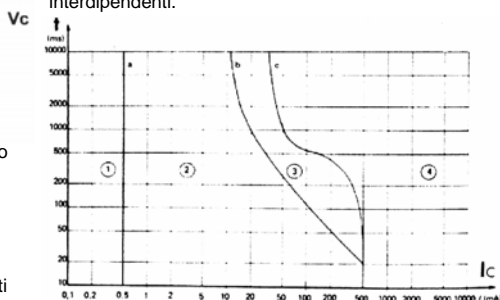
I parametri di cui bisogna tener conto nella valutazione dei rischi sono:

Ic = Corrente che attraversa il corpo
 Vc = Tensione applicata al corpo
 R = Resistenza del corpo
 t = Tempo di passaggio della correnti

Zona 1: Nessuna reazione, fino alla soglia di percezione.
 Zona 2: Nessun effetto fisiologico pericoloso, sino alla soglia di tetanizzazione
 Zona 3: Possibilità di effetti fisiologici (tetanizzazione, asfissia, disturbi cardiaci)
 Zona 4: Possibilità di fibrillazione, arresto cardiaco o della respirazione, ustioni.

Bruciatore L'elettricità provoca, con i suoi effetti termici, delle lesioni ai tessuti più o meno gravi, a seconda del valore della corrente.

La curva in figura tratte dalla IEC, permettono di vedere come questi quattro parametri sono interdipendenti.



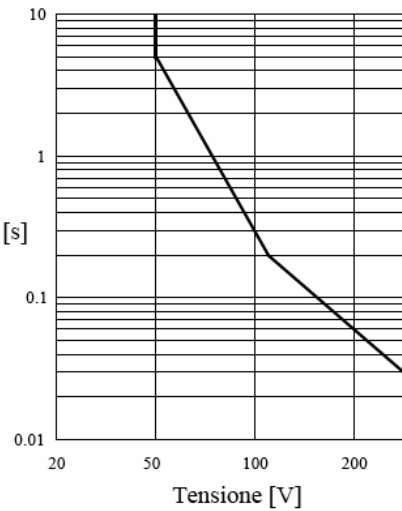
La RESISTENZA del corpo umano

La resistenza del corpo umano, che generalmente compete alla pelle, dipende dai seguenti parametri:

1. I punti di ingresso e uscita della corrente: il valore più alto si raggiunge per il contatto fra le
2. due mani e diminuisce del 25% fra una mano ed i due piedi e del 50% nel contatto fra le due mani
3. ed i due piedi.
4. L'aumento della pressione di contatto fa diminuire la resistenza.
5. La resistenza è inversamente proporzionale alla superficie di contatto.
6. La resistenza tende a diminuire con la durata del contatto: solo una eventuale carbonizzazione da ustione ne provoca un aumento.
7. La consistenza e lo stato della pelle sono decisive: a tensione non superiore a 50 V, la resistenza corporea si riduce del 25% se la pelle è bagnata con acqua; la riduzione arriva al 50% se la pelle è bagnata con soluzioni conduttrici (come ad esempio molti detergenti).
8. La resistenza del corpo umano dipende in maniera inversa dalla tensione applicata. Una epidermide asciutta, soprattutto nelle zone callose, determina una resistenza di $10 \div 100 \text{ k}\Omega$ ad una tensione di 50 V, che scende però ad appena $1 \text{ k}\Omega$ quando la tensione sale a 500 V. In caso di lesioni cutanee estese la resistenza scende fino a 500Ω .

Curva di sicurezza

L'International Electrotechnical Commission (IEC) (Publ. 364-4-41) ha individuato una curva di sicurezza, riportata in figura, che fornisce, in corrispondenza ad ogni valore di tensione di contatto (la curva si riferisce al valore efficace della tensione supposta in c.a.) il tempo massimo che un dispositivo di protezione può impiegare per interrompere il contatto stesso, affinché non vi sia pericolo per la persona soggetta al contatto. La curva mostra come tensioni aventi un valore efficace inferiore a 50 V possano permanere indefinitamente nel tempo senza provocare pericolo per le persone. Tale valore di tensione viene denominato tensione di contatto limite ed usualmente indicato con il simbolo UL. In condizioni ambientali particolari (cantieri, locali agricoli, piscine) la tendenza normativa è di ridurre la tensione di contatto limite UL a 25 V.



Esercitazioni

Obiettivo

Conoscere i circuiti elettrici, la loro composizione e la loro realizzazione

Saper effettuare misure di tensione, corrente e resistenza

Interpretare il problema e impostare lo schema elettrico funzionale

Rappresentare lo schema elettrico

Scegliere il materiale occorrente

Il circuito elettrico

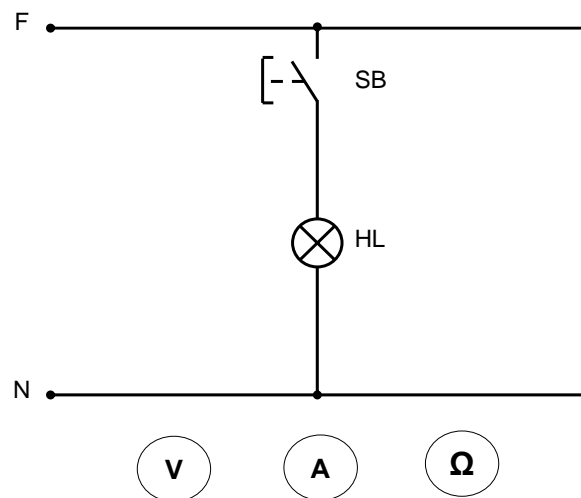
Obiettivo

- Conoscere il circuito elettrico, la sua composizione e la sua realizzazione
- Effettuare le misure di tensione, di corrente e resistenza con l'impiego di un tester
- Verificare la relazione tra tensione, corrente e resistenza (legge di Ohm)

Impostazione dell'esercitazione

- Interpretazione del problema e impostazione dello schema
- Stesura dello schema elettrico
- Scelta dei materiali occorrenti
- Utilizzo del tester

Schema del circuito elettrico



Il circuito elettrico con resistenze in serie

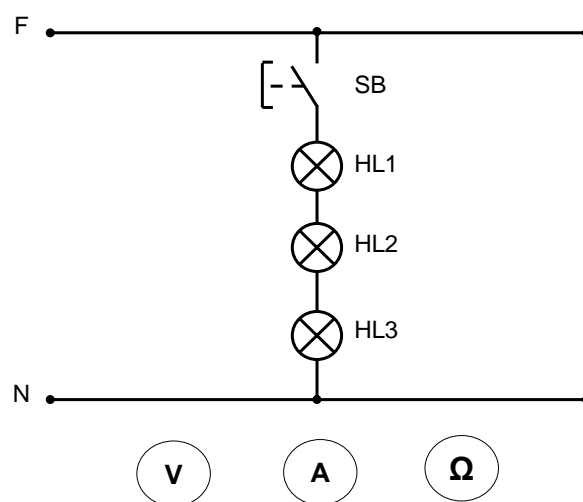
Obiettivo

- Conoscere e realizzare il circuito elettrico con resistenze collegate in serie
- Applicazioni pratiche di resistenze collegate in serie
- Comportamento della corrente, della tensione e della resistenza nel collegamento in serie (legge di Ohm)

Impostazione dell'esercitazione

- Interpretazione del problema e impostazione dello schema
- Stesura dello schema elettrico
- Scelta dei materiali occorrenti
- Rilievo delle misure con il tester

Collegamento elettrico di resistenze in serie



Il circuito elettrico con resistenze in parallelo

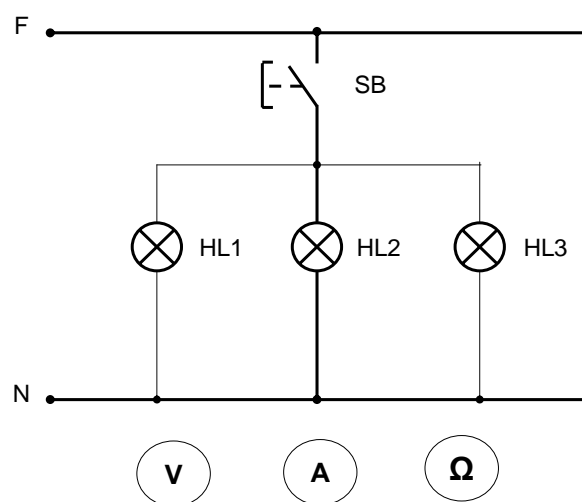
Obiettivo

- Conoscere e realizzare il circuito elettrico con resistenze collegate in parallelo
- Applicazioni pratiche di resistenze collegate in parallelo
- Comportamento della corrente, della tensione e della resistenza nel collegamento in parallelo (legge di Ohm)

Impostazione dell'esercitazione

- Interpretazione del problema e impostazione dello schema
- Stesura dello schema elettrico
- Scelta dei materiali occorrenti
- Rilievo delle misure con il tester

Collegamento elettrico di resistenze in parallelo



Eccitazione e diseccitazione di un Relé

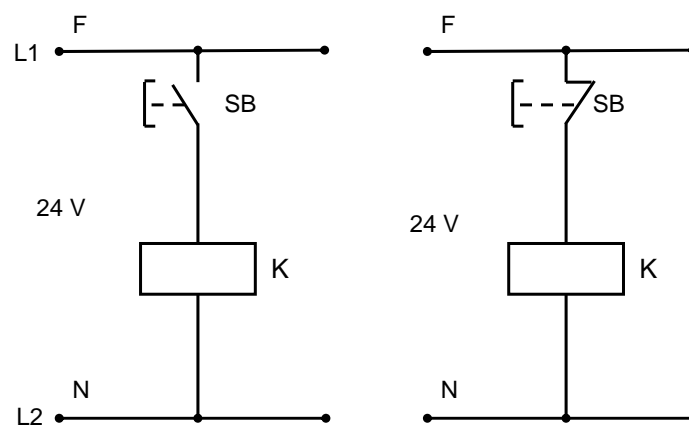
Obiettivo

- Analizzare le caratteristiche tecniche e funzionali dei relé
- Verificare le modalità di collegamento

Impostazione dell'esercitazione

- Interpretazione del problema
- Realizzazione dello schema

Eccitazione e diseccitazione di un Relé



Circuito di autoalimentazione di un relé con segnalazione

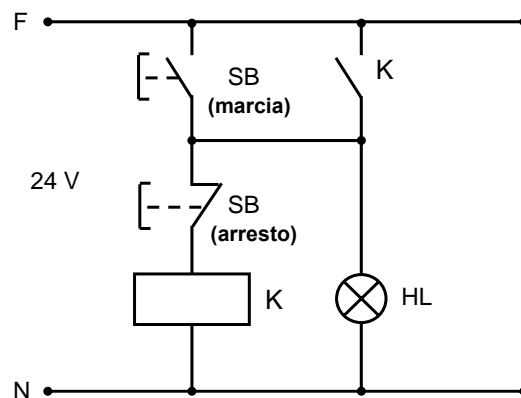
Obiettivo

- Conoscere i sistemi di memorizzazione e le modalità realizzative

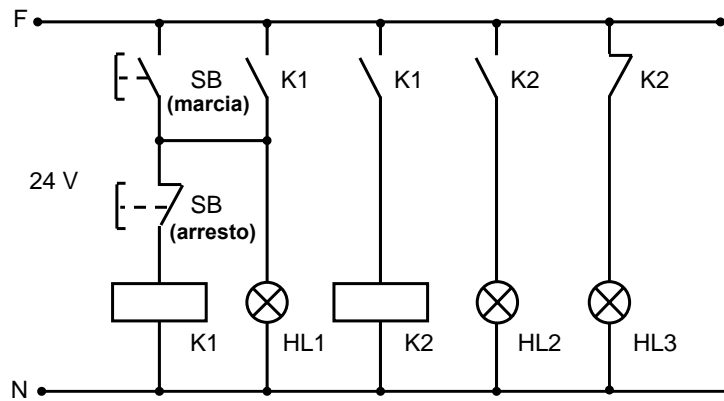
Impostazione dell'esercitazione

- Interpretazione del problema
- Realizzazione dello schema

Circuito di autoalimentazione di un relé con una sola segnalazione luminosa



Eccitazione di due relé: il secondo tramite il primo e relativa segnalazione



Comandi basilari del contattore

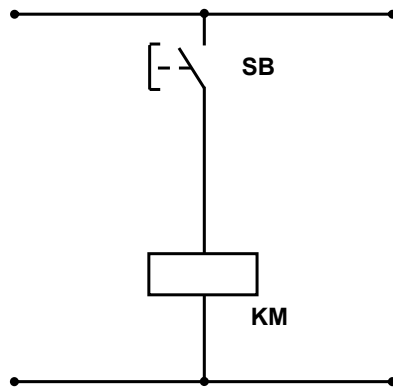
Obiettivo

- Conoscere la funzione del contattore nel contesto del circuito elettrico
- Apprendere i sistemi basilari per l'azionamento dei contattori e stabilire le loro particolarità funzionali

Impostazione dell'esercitazione

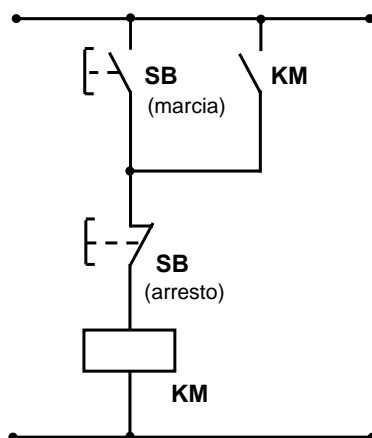
- Realizzare, uno alla volta, i circuiti di comando di un contattore, avendo cura di scegliere l'alimentazione del circuito dopo avere accertata la tensione nominale della bobina del contattore che si vuole impiegare
- Considerare le peculiarità funzionali di ciascun circuito e constatarne il comportamento sia in condizioni normali che nelle possibili condizioni di anomalia verificabili nella pratica, ad esempio, nel caso di interruzione dell'alimentazione, o altre.

Comando ad impulso semplice, mediante un pulsante con ritorno a molla



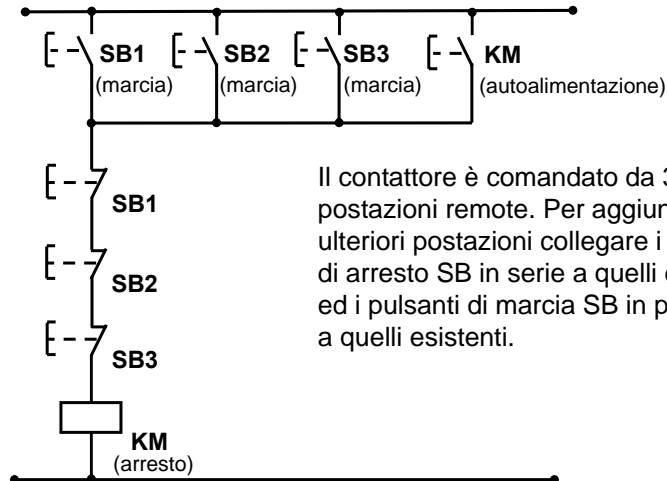
La bobina rimane eccitata solo quando il pulsante viene premuto

Comando ad impulso con autoalimentazione



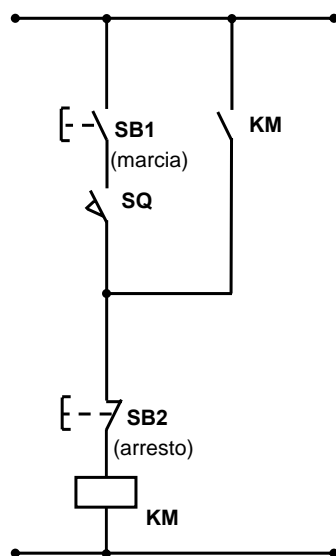
Il comando di eccitazione della bobina si attua premendo il pulsante SB. Un contatto ausiliario NA del contattore svolge la funzione di mantenere autoalimentata la sua stessa bobina. La diseccitazione si attua per mezzo del pulsante SB con contatto NC. Nei sistemi automatici il pulsante SB può essere sostituito da un fine corsa, dal contatto di relé e da quant' altro che interrompa il collegamento creatosi attraverso il contatto di autoalimentazione.

Comando remoto da più posti



Il contattore è comandato da 3 postazioni remote. Per aggiungere ulteriori postazioni collegare i pulsanti di arresto SB in serie a quelli esistenti ed i pulsanti di marcia SB in parallelo a quelli esistenti.

Comando di un contattore condizionato dalla posizione di un organo meccanico alla fine di un ciclo automatico



Il ciclo automatico, svolto da una macchina, che ha inizio con l'eccitazione della bobina KM di un contattore, non può essere avviato se un certo organo meccanico non si trova nella posizione per la quale il finecorsa SQ risulta azionato.

Ad ogni arresto del ciclo, determinato dall'azionamento del pulsante SB2, tale posizione deve essere ripristinata affinché il ciclo possa nuovamente avere inizio.

Comando ad impulso con autoritenuta di un contattore che deve rimanere chiuso per un tempo prefissato

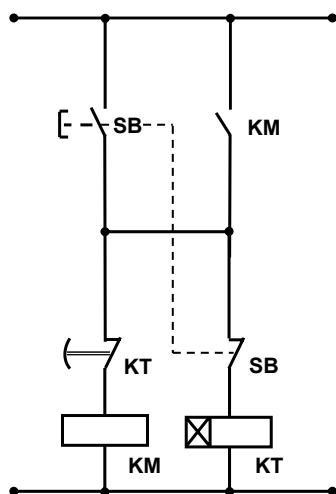
Obiettivo

- Apprendere la funzione svolta dai temporizzatori nei circuiti di comando dei contattori
- Conoscere le diverse tecnologie costruttive dei temporizzatori
- Conoscere le diverse caratteristiche funzionali dei temporizzatori reperibili sul mercato

Richiami teorici

- I temporizzatori sono dotati di contatti il cui azionamento non avviene contemporaneamente all'eccitazione od alla diseccitazione della bobina ma, bensì, con un certo ritardo prefissabile; si possono distinguere 3 tipi basilari:
 1. Temporizzatori con contatti ritardati all'eccitazione
 2. Temporizzatori con contatti ritardati alla diseccitazione
 3. Temporizzatori che uniscono entrambe le funzioni sopra citate

Comando ad impulso con autoritenuta di un contattore che deve rimanere chiuso per un tempo prefissato



Con un impulso del pulsante SB si eccita la bobina KM del contattore che rimane autoalimentata attraverso il contatto KM (NA) del contattore stesso. Il pulsante SB ha due contatti, di cui uno NA e uno NC. Al rilascio del pulsante il suo contatto SB (NC) torna nelle condizioni di riposo e provoca l'eccitazione della bobina del temporizzatore che essendo ritardato all'eccitazione, dopo il tempo prefissato, apre il suo contatto KT (NC), interrompendo l'alimentazione a KM. Ad ogni azionamento del pulsante, prima dello scadere del tempo preimpostato, il circuito si azzerava ed il conteggio del tempo reinizia.

Semplice sistema di segnalazione di allarme acustico e visivo intermittente

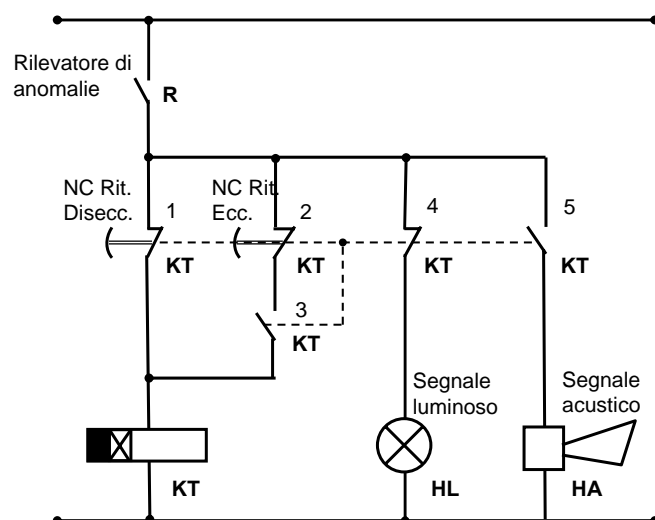
Obiettivo

- apprendere il funzionamento di un temporizzatore con contatti istantanei e ritardati, sia all'eccitazione che alla diseccitazione
- Realizzare un semplice circuito di segnalazione acustica e visiva intermittente

Procedura dell'esercitazione

- Realizzare il circuito con riferimento allo schema elettrico rappresentato, simulando il contatto rilevatore di presenza di anomalia, R, con un selettore 0 - 1 a contatto permanente
- Eseguire la taratura dei tempi di ritardo
- Osservare il comportamento del sistema di allarme attuando e disattivando il contatto R di simulazione di presenza di anomalia
- Modificare la taratura dei tempi di ritardo ed osservare il comportamento del sistema
- Interrompere il collegamento di autoritenuta (collegamento tra il contatto 3 e la bobina del temporizzatore) ed esaminare il diverso comportamento del sistema e fornire la spiegazione

Semplice sistema di segnalazione di allarme acustico e visivo intermittente



Semplice sistema di segnalazione di allarme acustico e visivo intermittente

Funzionamento

Il sistema comprende un segnalatore di allarme luminoso ed un acustico ed un temporizzatore munito di contatti istantanei, ritardati all'eccitazione a ritardati alla diseccitazione.

Il ciclo di segnalazione ha inizio con l'attuazione del contatto R che rileva la presenza di una anomalia nel sistema monitorizzato. Si ha quindi l'eccitazione del temporizzatore KT che viene autoritenuto attraverso il contatto istantaneo 3. Il contatto 1 (ritard. alla diseccitazione) si apre istantaneamente mentre si chiude il contatto istant. 5 che attiva la segnalazione acustica di allarme e disattiva quella luminosa. Dopo alcuni secondi, prefissati sul temporizzatore, si apre il contatto 2 (ritard. all'eccit.) che determina la disattivazione del segnalatore acustico e l'attivazione di quello luminoso.

Dopo ulteriori alcuni secondi, in seguito alla richiusura del contatto 1 (NC, rit. disecc.), si determina nuovamente l'eccitazione del temporizzatore KT con la ripetizione del ciclo iniziale (disattivazione della segnalazione luminosa ed attivazione di quella acustica).

Il ciclo di segnalazione, con le modalità descritte, si ripete sin tanto che il contatto R permane attivato, cioè fino a che permane l'anomalia nel sistema monitorizzato.

Avviamento diretto dalla linea di un motore asincrono trifase con rotore a gabbia di scoiattolo

Obiettivo

- Stabilire il comportamento del motore nella fase di avviamento con l'osservazione dei parametri:
 - I_s = Corrente di Spunto
 - C_s = Coppia di Spunto
 - n = Velocità del Motore
 - t_a = Tempo di avviamento
- Apprendere come si può invertire il senso di rotazione del motore

Avviamento diretto dalla linea di un motore asincrono trifase con rotore a gabbia di scoiattolo

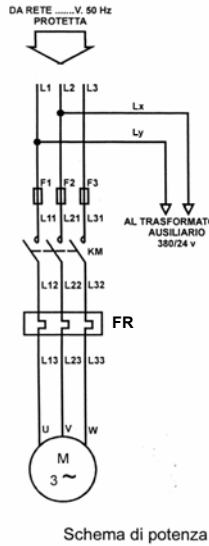
Procedura dell'esercitazione

- Controllare la morsettiera del motore affinché gli avvolgimenti statorici siano collegati fra loro (a stella oppure a triangolo) a seconda della tensione di rete alla quale verrà allacciato il motore. Il collegamento da realizzare in relazione alla tensione disponibile è precisato sulla targhetta del motore stesso.
- Scegliere la portata del contattore in funzione della potenza nominale del motore, consultando le tabelle del costruttore.
- Scegliere il relè termico di protezione in relazione al valore nominale del motore e tararlo per un valore di corrente = $1.05 - 1.1 I_n$.
- Scegliere i fusibili del tipo aM del valore nominale che risulti coordinato con le caratteristiche del contattore e del relè termico.
- Scegliere l'amperometro, del tipo con scale raccorciate al fondo, di portata adeguata ed il relativo trasformatore amperometrico.
- Realizzare lo schema di potenza indicato con conduttori di sezione adeguata contrassegnati con i numeri indicati nello schema.
- Scegliere il trasformatore ausiliario della potenza adeguata alle caratteristiche dell'elettromagnete di comando, della tensione primaria a seconda della tensione di rete e della tensione secondaria in conformità della tensione nominale della bobina dell'elettromagnete di comando del contattore.
- Scegliere i pulsanti di comando delle colorazioni indicate nello schema (Norme CEI)

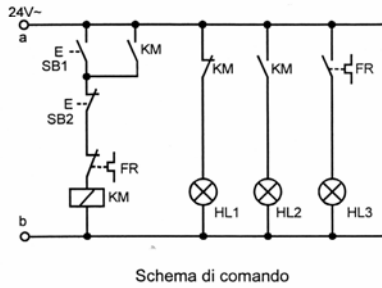
Avviamento diretto dalla linea di un motore asincrono trifase con rotore a gabbia di scoiattolo

- Scegliere le lampade di segnalazione delle caratteristiche e colorazioni indicate nello schema
- Scegliere gli interruttori automatici di protezione del primario e del secondario del trasformatore ausiliario (oppure fusibili)
- Realizzare il circuito ausiliario indicato nello schema con conduttori della sezione di 1.5 mm^2 , contrassegnati con la numerazione indicate
- Verificare il funzionamento del circuito ausiliario in bianco (cioè senza tensione al circuito di potenza)
- Controllare con il tester (o meglio ancora con un Megger) l'eventuale presenza di corto-circuiti dovuti ad errori di collegamento (Per questa verifica il motore deve essere scollegato)
- Allacciare il motore
- Avviare il motore osservando l'andamento della corrente di spunto
- Arrestare il motore e munirsi di un contagiri
- Riavviare il motore osservando contemporaneamente la corrente di spunto e la velocità del motore. Prendere nota della velocità del motore quando la corrente di spunto inizia a diminuire.
- Arrestare il motore
- Invertire tra di loro 2 fasi (e solo 2) sulla morsettiera del motore
- Riavviare il motore e notare il senso di rotazione del motore che risulterà invertito.

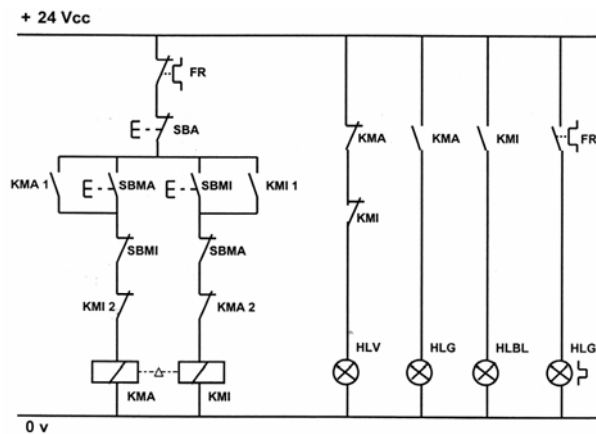
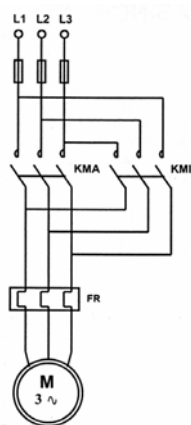
Circuito di Potenza e di Comando a relé



- Chiusura del contattore ZM mediante l'azionamento del pulsante SB1 di marcia
- Autoalimentazione di KM per mezzo del contatto NA del KM
- Segnalazione di KM diseccitato per mezzo del contatto NC del KM (luce verde)
- Segnalazione di KM eccitato per mezzo del contatto NA del KM (luce rossa)
- Segnalazione dell'intervento del relé termico mediante il contatto NA del relé termico stesso (luce gialla intermittente)
- Apertura del contattore mediante l'azionamento del pulsante SB2 di arresto



Inversione di marcia per motore asincrono trifase



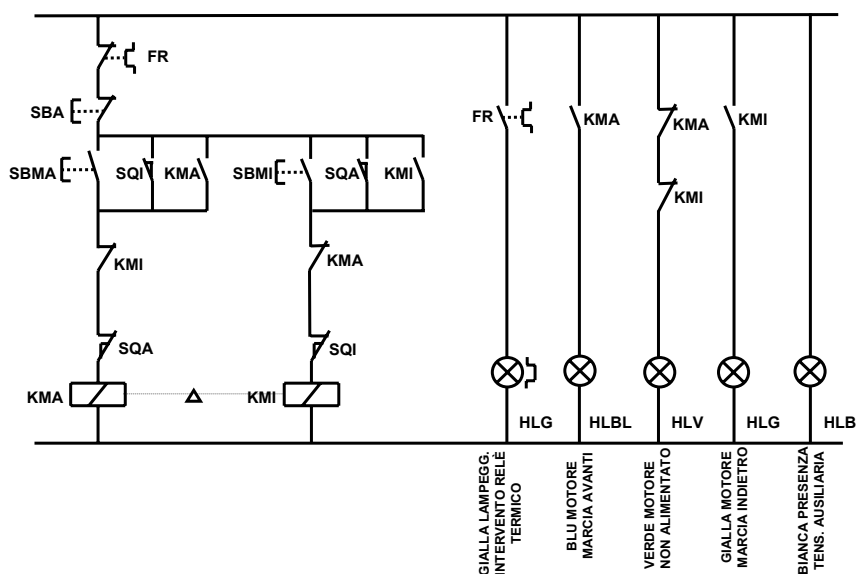
Questo tipo di circuito viene impiegato per l'avviamento di macchine con inerzia relativamente bassa e con tempi di avviamento non superiore a 10-20 sec. L'inversione del senso di marcia avviene in modo diretto.

Avviamento di un motore asincrono con inversione automatica del senso di marcia alla fine della corsa nei due sensi di marcia

Funzionamento

- Ciclo di marcia in un senso ed inversione istantanea automatica:
 - Con l'azionamento di uno dei due pulsanti di marcia SBMA e SBMI si può dare inizio al ciclo con marcia iniziale del motore nel verso scelto;
 - Quando il meccanismo azionato dal motore arriva alla fine della corsa il motore viene arrestato dall'intervento del finecorsa (SQA oppure SQI);
 - I finecorsa SQA e SQI sono corredati da due contatti: uno NC per mezzo del quale si arresta il motore e uno NA per mezzo del quale si mette in moto istantaneamente il motore stesso nel senso di marcia inverso;
 - Il ciclo marcia avanti-indietro continua sino a che l'operatore non interviene ad arrestarlo azionando il pulsante di arresto SBA.
- Osservazioni
 - Il motore comandato da una apparecchiatura di questo tipo deve sopportare continue frenature in controcorrente per cui esso deve avere caratteristiche adatte a sopportare le sollecitazioni meccaniche e termiche conseguenti.

Avviamento di un motore asincrono con inversione automatica del senso di marcia alla fine della corsa nei due sensi di marcia



Avviamento di un motore asincrono con inversione automatica ritardata del senso di marcia

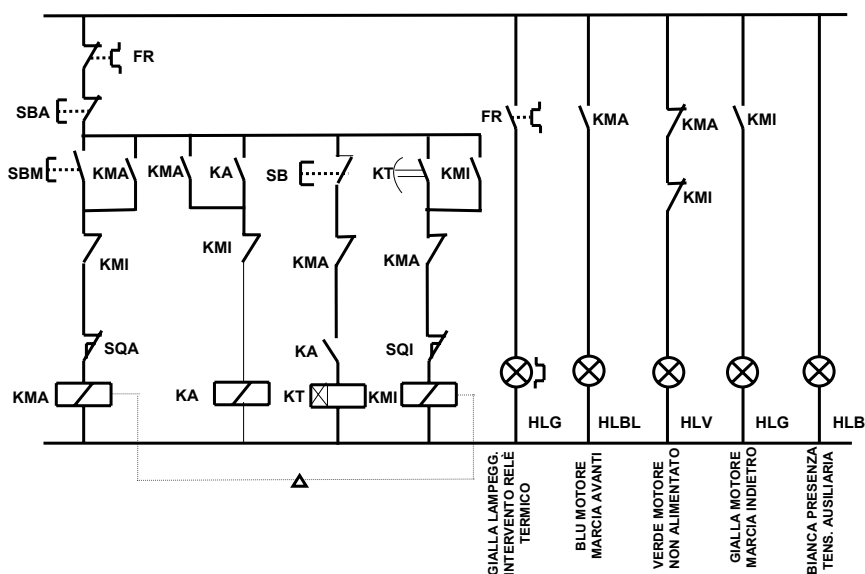
Funzionamento

- Premendo il pulsante SBM di marcia si eccita la bobina del contattore KMA ed il motore si mette in moto nel senso "avanti";
- Nel contempo si eccita la bobina del relè ausiliario KA attraverso il contatto NC di KMI e si autoritiene per mezzo del suo contatto NA.
- Con l'azionamento di KA si predispose il circuito di alimentazione del temporizzatore KT che inizia il conteggio del tempo, quando, con il meccanismo azionato dal motore arrivato alla fine della corsa, il contattore KMA si diseccita in seguito all'intervento del finecorsa SQA ed il motore inizia la decelerazione;
- L'eccitazione del temporizzatore KT avviene infatti per mezzo del contatto NC del contattore KMA può essere interrotta momentaneamente premendo il pulsante SB (NC).
- Trascorso il tempo prefissato sul temporizzatore KT si chiude il suo contatto KT (NA ritardato all'eccitazione) con conseguente eccitazione della bobina del contattore KMI che si autoritiene e mette in moto il motore in senso inverso.
- Il motore continua la sua marcia in senso inverso sino a che il meccanismo azionato dal motore non è tornato nella posizione di partenza allorquando interviene il finecorsa SQI.
- Il ciclo è così ultimato e l'operatore lo potrà nuovamente iniziare azionando il pulsante SBM.

Osservazioni

- Il motore non sarà sottoposto a frenatura in controcorrente a meno che l'operatore non tenga premuto il pulsante SBM mentre il motore è nella fase di marcia in senso inverso. L'inconveniente può essere evitato inserendo, tra il contatto di FR ed il pulsante SBA un contatto NC di KMI.

Avviamento di un motore asincrono con inversione automatica ritardata del senso di marcia



Avviamento a tensione ridotta di un motore asincrono col metodo stella - triangolo

Obiettivo

- Stabilire il comportamento del motore nella fase di avviamento mediante l'osservazione dei parametri:
 - I_s = Corrente di Spunto
 - C_s = Coppia di Spunto
 - n = Velocità del motore
 - t_a = tempo di avviamento
- Conoscere e realizzare il circuito elettrico dell'avviatore.

Richiami

- L'avviamento stella- triangolo è applicabile ai motori trifasi a 6 morsetti (il capo e la fine dei 3 avvolgimenti portati tutti all'esterno). Il motore inoltre deve essere previsto per la connessione a triangolo alla tensione di rete,
- Ad esempio, per rete a 380 V, il motore deve essere previsto per 380 V a triangolo e 660 V a stella, infatti se gli avvolgimenti dello statore sono collegati a triangolo, ogni avvolgimento viene sottoposto alla tensione concatenata V esistente tra fase a fase cioè $V = E$, mentre se è collegato a stella ogni avvolgimento viene sottoposto alla tensione esistente tra una fase ed il neutro, cioè:

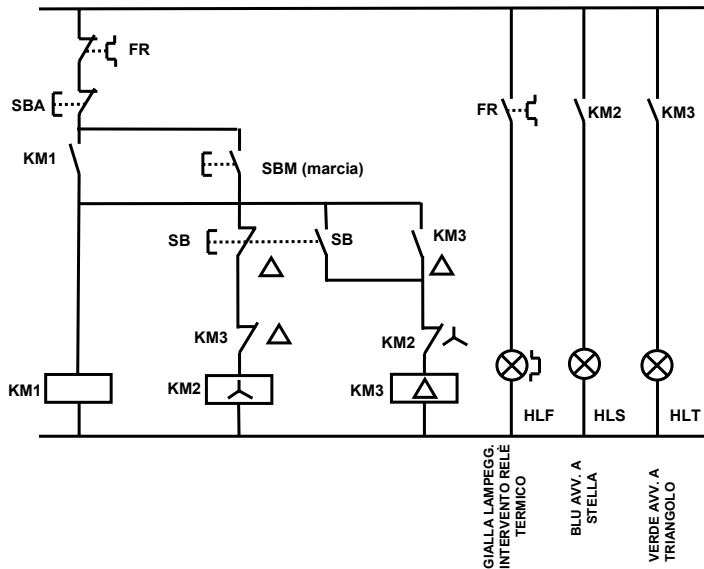
$$E = V / 1,73 \quad \rightarrow \quad V = 1,73 \times E = 1,73 \times 380 = 660 \text{ V}$$

Avviamento a tensione ridotta di un motore asincrono col metodo stella - triangolo

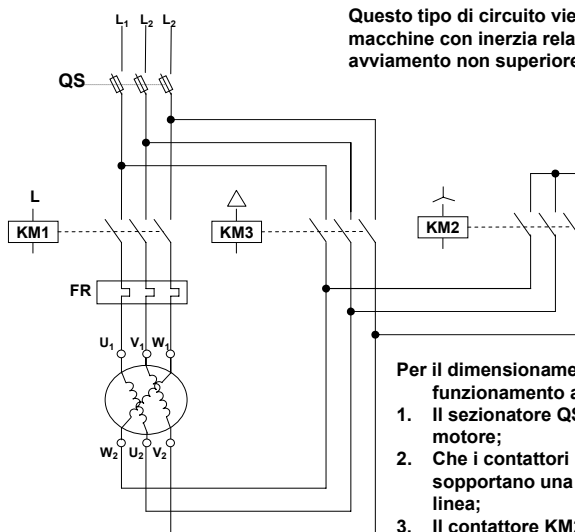
Funzionamento

- Il principio di funzionamento è quello dell'avviamento a tensione ridotta che si ottiene collegando. All'inserzione, le fasi del motore a stella. Esse si troveranno così sottoposte ad una tensione del 58% della nominale ($1/\sqrt{3}$).
- La coppia e la corrente di spunto si riducono così ad 1/3 dei valori che assumerebbero alla tensione di rete con avviamento diretto.
- Dopo un certo tempo, tale da permettere al motore di superare lo spunto, le fasi vengono commutate a triangolo e quindi ognuna viene sottoposta alla piena tensione di rete

Avviamento MANUALE a tensione ridotta di un motore asincrono col metodo stella - triangolo



Avviatore Stella-Triangolo a tensione ridotta di un motore asincrono con relé termico sul contattore di linea



Questo tipo di circuito viene impiegato per l'avviamento di macchine con inerzia relativamente bassa e con tempi di avviamento non superiore a 10 - 20 sec.

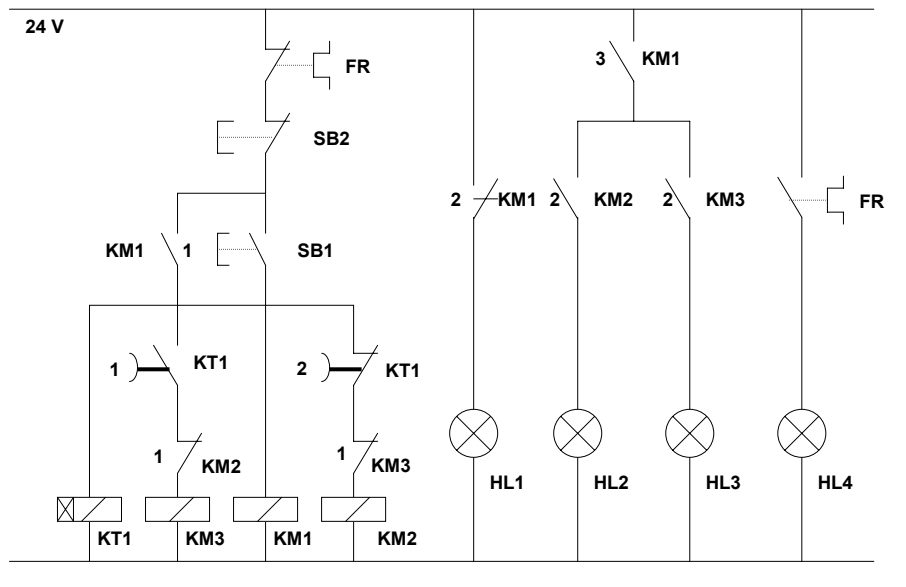
Nota:

1. La tensione nominale del motore (per il collegamento a triangolo) deve essere uguale alla tensione di rete;
2. Qualche normativa richiede, oltre all'interblocco elettrico, tra KM2 e KM3, anche l'interblocco meccanico.

Per il dimensionamento tenere presente che, nel funzionamento a regime, (Δ):

1. Il sezionatore QS è soggetto alla piena corrente del motore;
2. Che i contattori KM1 (linea) e KM3 (triangolo) sopportano una corrente 0,58 della corrente in linea;
3. Il contattore KM2 può essere dimensionato per 1/3 della corrente nominale del motore a triangolo.

Avviatore Stella-Triangolo a tensione ridotta di un motore asincrono con relé termico sul contattore di linea

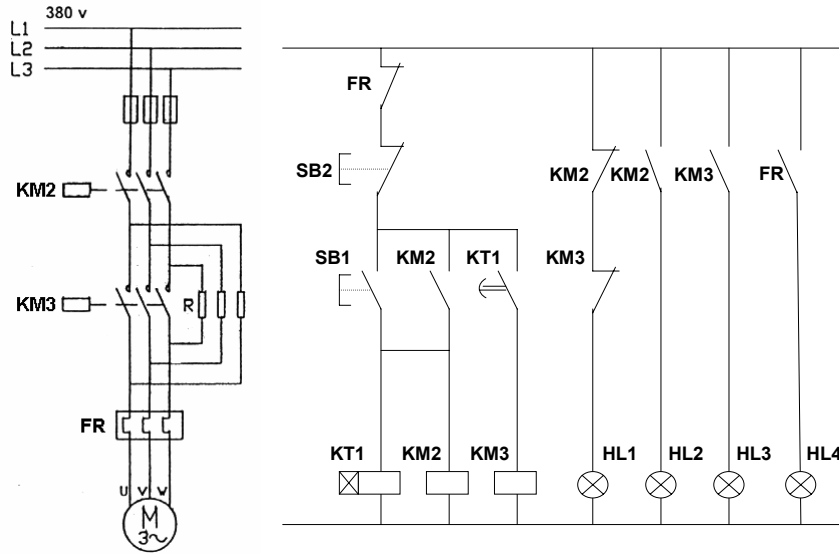


Avviatore Stella-Triangolo a tensione ridotta di un motore asincrono con relé termico sul contattore di linea

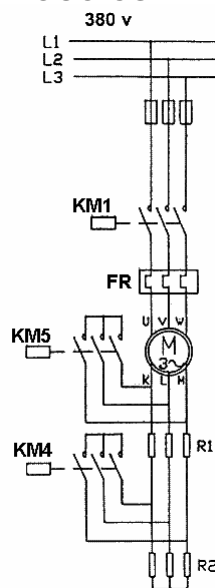
Funzionamento – Marcia

- Chiusura dei contattori KM1 (Linea) e KM2 (Stella) mediante l'azionamento del pulsante SB1 e contemporanea attivazione del contattore temporizzatore ritardato all'eccitazione KT1;
- Autoritenuta del contattore KM1 per mezzo del contatto 1 di KM1;
- Allo scadere del tempo programmato il temporizzatore KT1 attiva i suoi contatti chiudendo il contatto 1 e aprendo il 2;
- Il contatto 2 di KT1 toglie l'alimentazione a KM2 (Stella) e disattiva i suoi contatti;
- Il contatto 1 di KT1 alimenta il contattore KM3 (Triangolo) che attiva i suoi contatti;
- Arresto mediante il pulsante SB2

Teleavviamento con resistenze statoriche



Teleavviamento con resistenze rotoriche di un motore trifase con indotto ad anelli



Teleavviamento con resistenze rotoriche di un motore trifase con indotto ad anelli

