RIPASSIAMO LE BASI DELL'ELETTROTECNICA

L'articolo offre un quadro completo ed aggiornato delle leggi che regolano l'elettrotecnica, leggi che anche un tecnico pratico, quale può essere un installatore, non può esimersi dal conoscere per svolgere razionalmente il proprio lavoro.
Parte dodici: La potenza nei circuiti a corrente alternata

A cura della Redazione

12.1 - Potenza attiva e potenza reattiva

Nei circuiti a corrente alternata si devono considerare due tipi di potenza:
— la potenza attiva (o reale) che corrisponde alle conversioni di energia che si verificano tra il sistema elettrico e gli altri sistemi;
— la potenza reattiva che corrisponde a scambi di energia tra gli elementi del sistema elettrico senza scambi con altri sistemi.

Nel capitolo 4 è stato visto il significato di potenza e di energia nei circuiti a corrente continua e gli scambi energetici che si verificano tra circuito elettrico ed elementi esterni. Si estendono ora questi concetti al caso delle correnti alternate tenendo presente che le grandezze in gioco sono variabili nel tempo e che pertanto si devono considerare, oltre agli elementi resistivi, anche quelli reattivi.

12.2 - Circuito puramente ohmico

Un utilizzatore puramente ohmico assorbe dal sistema una energia che viene trasformata in calore (legge di Joule). I vettori che rappresentano la tensione e la corrente sono in fase.

L'esame di questo circuito elementare permette di chiarire il significato di potenza istantanea e di potenza media.

Si consideri il circuito della figura 12.1 ed il relativo diagramma delle grandezze elettriche in gioco.

Il valore della potenza istantanea si calcola facendo il prodotto dei valori istantanei della tensione e della corrente: $p = u \cdot i$.

Si può notare che essendo tensione e corrente in fase, il loro prodotto è sempre positivo (per la regola del prodotto algebrico) e che la forma d'onda della potenza (ancora sinusoidale, ma di frequenza doppia di quella di tensione e corrente. L'andamento delta potenza istantanea è evidenziato dalla figura 12.1.

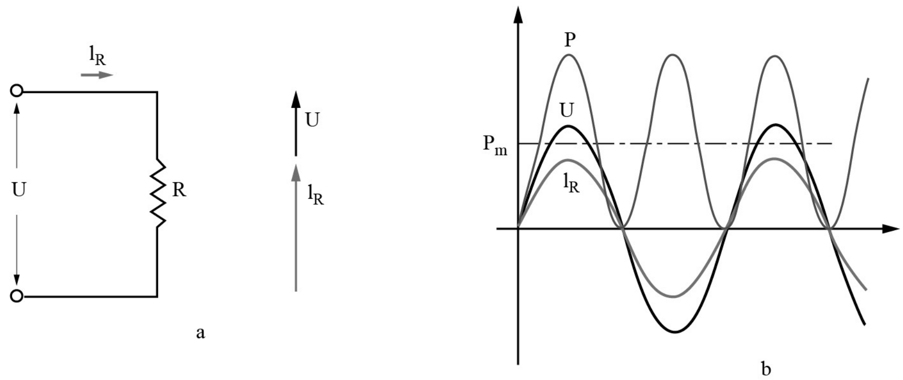


Figura 12.1 - Circuito ohmico in corrente alternata (a) e diagrammi dei valori istantanei della tensione, della corrente e della potenza (b).

Si può rilevare che per il caso considerato il diagramma giace tutto sopra l'asse dei tempi, salvo coincidere con questi per $v = 0$ e $i = 0$ ed assume il suo valore massimo pari a $U_M \cdot I_M$.

Quello che interessa all'atto pratico non è però il valore istantaneo della potenza, ma quello medio che la grandezza assume in un periodo.

Il valore medio della potenza nel caso di circuito ohmico è dato dall'asse d'oscillazione della sinusoide che ne rappresenta i valori istantanei come è evidenziato nella figura 12.1 già citata.

Per mezzo della matematica superiore si può dimostrare che il valore mediò della potenza corrisponde al prodotto dei valori efficaci di tensione e corrente:

$$P = U \cdot I_R$$

che può essere scritta anche:

$$P = R \cdot I_R^2 = \frac{U^2}{R}$$

Si osservi che queste ultime relazioni, ed in particolare quella in cui compare la corrente, giustificano la definizione di valore efficace dato al paragrafo 11.2 e cioè quello che si dovrebbe assegnare ad una corrente continua per avere gli stessi effetti termici.

Nel caso di circuito puramente ohmico si può quindi dire che è in gioco una energia che si trasforma in calore senza fenomeni d'altro tipo e che essa costituisce una potenza reale o attiva.

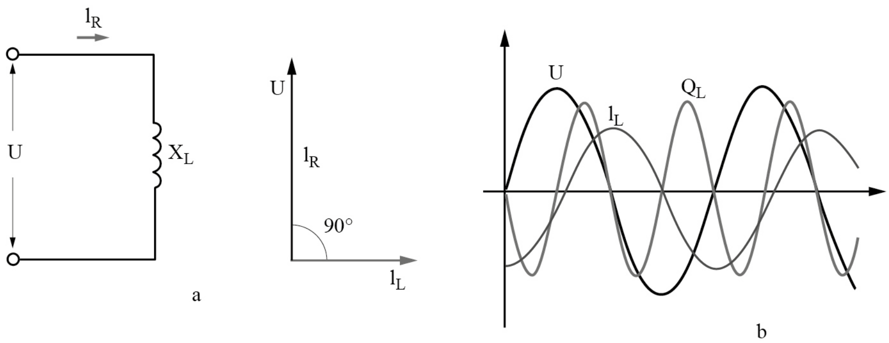


Figura 12.2 – Circuito puramente induttivo (a) e diagrammi dei valori istantanei della tensione, della corrente e della potenza (b).

12.3 - Circuito puramente induttivo

Un induttore scambia energia con il sistema che lo alimenta con la cadenza di un doppio scambio ogni periodo.
I vettori che rappresentano la tensione e la corrente sono in quadratura, la corrente è in ritardo sulla tensione.

Consideriamo ora il circuito della figura 12.2 ed il relativo diagramma delle grandezze elettriche.
Il valore della potenza istantanea si calcola come nel caso precedente facendo il prodotto, istante per istante, dei valori della tensione o della corrente:

$$p = u \cdot i$$

A differenza del caso precedente, il segno del prodotto può essere negativo in quanto vi sono istanti in cui la tensione e corrente hanno segno contrario.
La frequenza della potenza istantanea è doppia di quella di tensione e corrente. Se si esamina l'andamento del diagramma si può osservare che in questo caso l'asse di simmetria coincide con l'asse delle ascisse e che la potenza istantanea assume valori positivi e negativi di uguale ampiezza. Si conclude che:
— il valore medio della potenza è in questo caso nullo (potenza attiva nulla);
— il generatore fornisce energia all'induttore per 1/4 di periodo e la riceve di ritorno nel quarto di periodo successivo (nel circuito è in gioco potenza reattiva).
Nel caso di induttore ideale il prodotto della tensione U per la corrente I_L equivale alla potenza reattiva induttiva Q_L:

$$Q_L = U \cdot I_L = X_L \cdot I_L^2 = \frac{U^2}{X_L}$$

La potenza reattiva si misura in voltampere reattivi (var).

12.4 - Circuito puramente capacitivo

Un condensatore scambia energia con il sistema che lo alimenta con la cadenza di un doppio scambio ogni periodo.
I vettori che rappresentano la tensione e la corrente sono in quadratura, la corrente in anticipo sulla tensione.

Si consideri ora il circuito della figura 12.3 ed il diagramma delle grandezze elettriche in esso in gioco.

Procedendo come nel caso precedente si può calcolare la potenza istantanea e si trova che l'asse di simmetria della sinusoide che rappresenta detta potenza è sull'asse delle ascisse. Il valore medio della potenza è quindi nullo e perciò è nulla la potenza attiva assorbita dal circuito.

Anche in questo caso si verifica però uno scambio di energia tra generatore e condensatore, ma si può constatare che tali scambi, della durata di 1/4 di periodo, avvengono in modo esattamente contrario a quanto riscontrato per l'induttore.

Nel circuito è in gioco una potenza reattiva capacitiva Q_C che può essere calcolata con la relazione:

$$Q_C = U \cdot I_C = X_C \cdot I_C^2 = \frac{U^2}{X_C}$$

e alla quale per convenzione, al fine di distinguerla dalla precedente, viene attribuito segno negativo.

Anche la potenza reattiva capacitiva si misura in voltampere reattivi (var).

Se si confronta questo diagramma del circuito puramente capacitivo con quello relativo ai caso del circuito puramente induttivo che si riportano per comodità (Figura 12.4), si nota che le potenze reattive induttiva e capacitiva hanno segno opposto, essendo di natura diversa per cui si assume convenzionalmente positiva la potenza reattiva induttiva e negativa la potenza reattiva capacitiva.

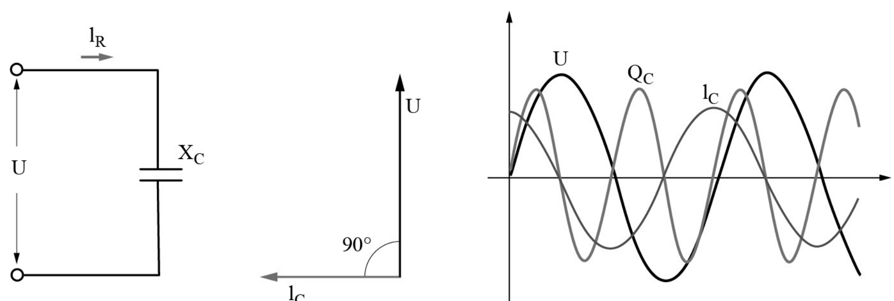


Figura 12.3 - Circuito puramente capacitivo (a) e diagrammi dei valori istantanei della tensione, della corrente e della potenza (b).

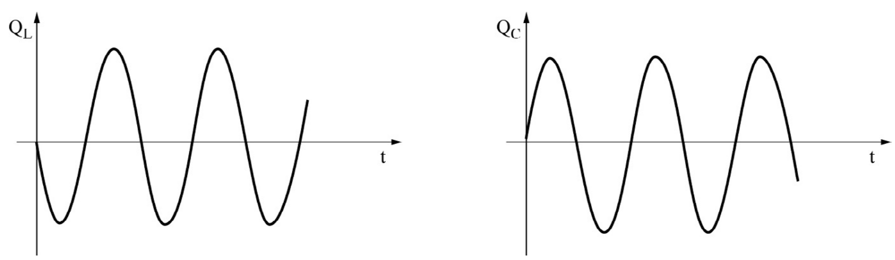


Figura 12.4 - Confronto tra i diagrammi dei valori istantanei della potenza nei circuiti induttivo e capacitivo.

12.5 - Circuito misto R-L

Un circuito misto R-L, comunque collegato, assorbe dal sistema che lo alimenta una potenza attiva e una potenza reattiva di tipo induttivo.

Si faccia riferimento al circuito della figura 12.5 nel quale due elementi, una resistenza e una induttanza, sono collegati in parallelo e alimentati alla tensione U.

Per ciascuno dei due rami possono essere applicate separatamente le considerazioni a cui si è giunti nei paragrafi precedenti.

La resistenza è attraversata da una corrente in fase con la tensione e assorbe potenza attiva, mentre l'induttanza è percorsa da una corrente in quadratura e assorbe potenza reattiva induttiva. Il valore della potenza attiva è dato ancora da:

$$P = U \cdot I_R = \frac{U^2}{R}$$

e quello della potenza reattiva da:

$$Q_L = U \cdot I_L = \frac{U^2}{X_L}$$

La corrente totale è la somma dei valori istantanei delle due correnti suddette, mentre l'andamento della potenza totale istantanea si ottiene da prodotto dei valori istantanei della corrente totale per quelli della tensione applicata (Figura 12.5).

II valore medio della potenza, rappresentato dalla ordinata dell'asse di simmetria della sinusoide a frequenza doppia, non è altro che il valore della potenza attiva.

Quanto è stato esposto può essere ripetuto per un circuito in cui resistenza e induttanza sono collegate in serie, tenendo presente che in questo caso la grandezza comune ai due elementi è la correnti (Figura 12.6). La potenza attiva risulta:

$$P_L = U_R \cdot I = R \cdot I^2$$

quella reattiva:

$$Q_L = U_L \cdot I = X_L \cdot I^2$$

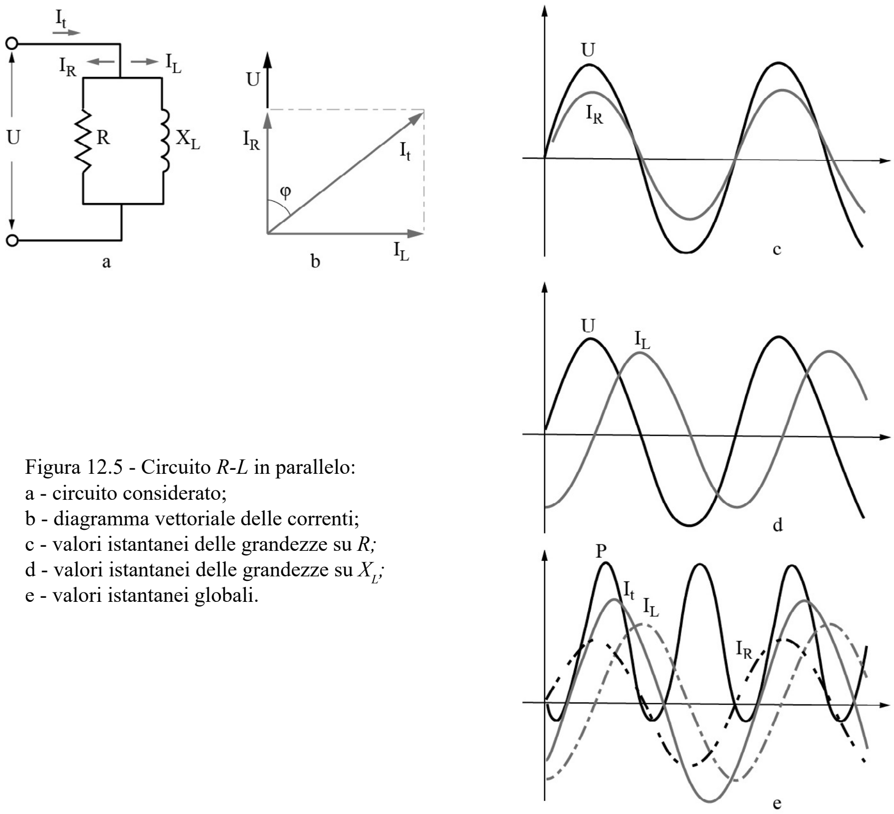


Figura 12.5 - Circuito *R-L* in parallelo:
a - circuito considerato;
b - diagramma vettoriale delle correnti;
c - valori istantanei delle grandezze su *R;*
d - valori istantanei delle grandezze su X_L;
e - valori istantanei globali.

La tensione totale è la somma dei valori istantanei delle due cadute di tensione suddette, mentre la potenza istantanea si ottiene dal prodotto dei valori istantanei della corrente applicata.

Il valore medio della potenza, rappresentato come al solito dalla ordinata dell'asse di simmetria della sinusoide a frequenza doppia, non è altro che il valore della potenza attiva calcolato con la formula sopra indicata.

Considerazioni analoghe alle precedenti possono essere svolte nel caso in cui si prenda in esame un componente reale (ad esempio, una bobina avvolta) che presenta nel suo insieme una impedenza (Figura 12.7).

In questo caso è sufficiente considerare un componente ideale in cui induttanza e resistenza siano considerate separatamente.

L'induttanza e la resistenza possono essere collegate in serie (Figura 12.7 b) oppure in parallelo (Figura 12.7 c) tenendo presente che i due circuiti equivalenti nel loro complesso si devono comportare come il componente reale. È importante osservare che i valori di R e di X_L dei due circuiti, sono diversi tra loro, mentre dovranno invece risultare uguali nei due casi i valori della potenza attiva e reattiva.

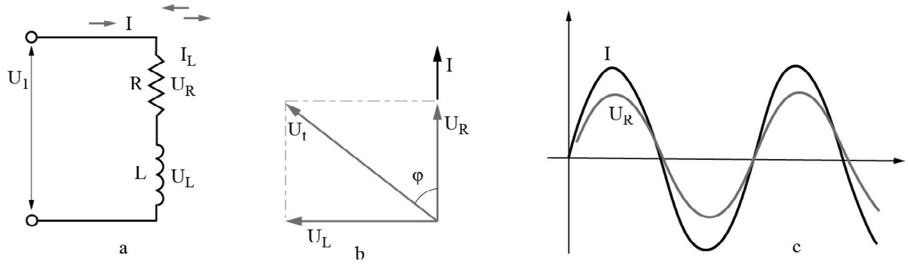
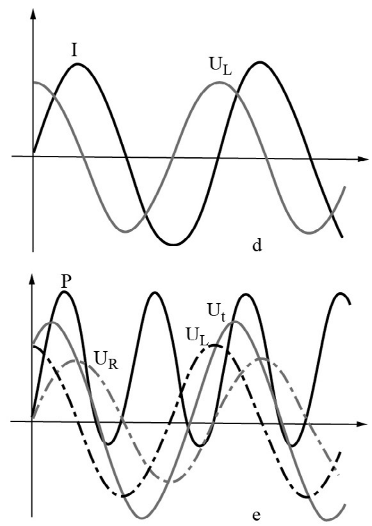


Figura 12.6 - Circuito *R-L* in serie:
a - circuito considerato;
b - diagramma vettoriale delle correnti;
c - valori istantanei delle grandezze su *R*;
d - valori istantanei delle grandezze su X_L;
e - valori istantanei globali.



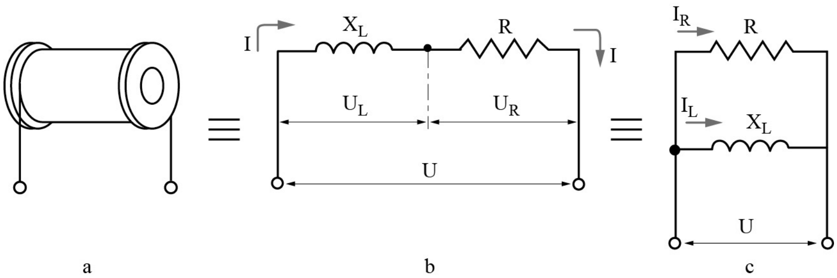


Figura 12.7 - Bobina avvolta (a) e circuiti equivalenti in serie ed in parallelo (b,c).

12.6 - Circuito R-C

Un circuito misto R-C, comunque collegato, assorbe dal sistema che lo alimenta una potenza attiva e una potenza reattiva di tipo capacitivo.

Quanto esposto al precedente paragrafo in merito al circuito *R-L* può essere esteso direttamente al caso di circuito *R-C*, tenendo conto che la corrente relativa al condensatore è, in questo caso, sfasata in anticipo di 90° rispetto alla tensione.

Per il circuito *R-C* in parallelo si possono pertanto tracciare i diagrammi riportati nella figura 12.8.

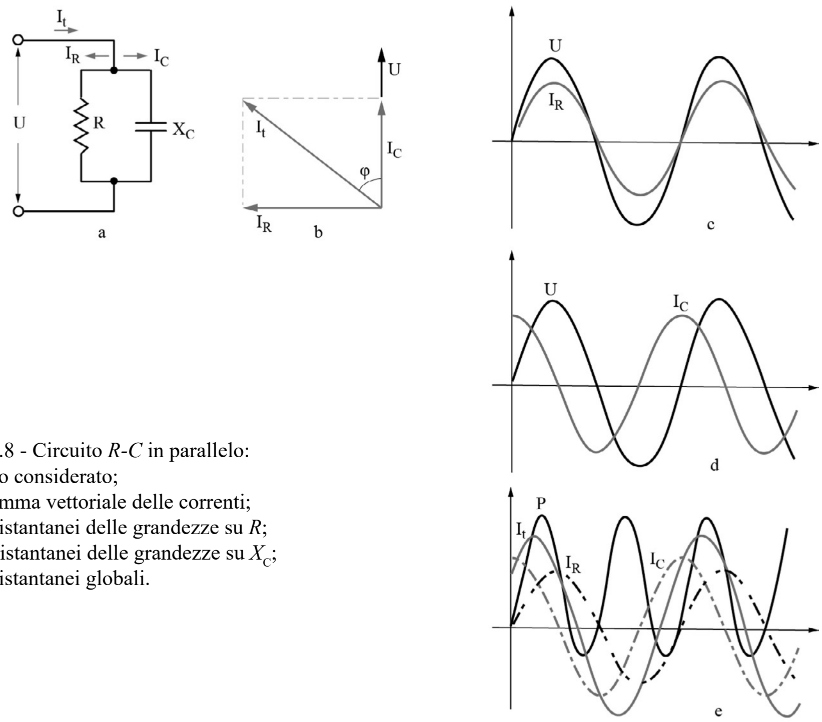


Figura 12.8 - Circuito *R-C* in parallelo:
a - circuito considerato;
b - diagramma vettoriale delle correnti;
c - valori istantanei delle grandezze su *R*;
d - valori istantanei delle grandezze su X_C;
e - valori istantanei globali.

La potenza attiva risulta perciò:

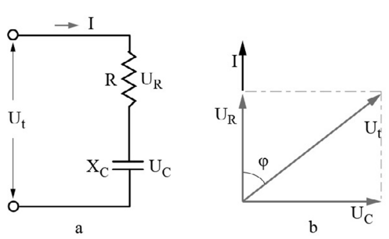
$$P = U \cdot I_R = \frac{U^2}{R}$$

mentre quella reattiva è:

$$Q_C = U \cdot I_C = \frac{U^2}{X_C}$$

Per il circuito *R-C* in serie si ha invece (Figura 12.9):

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



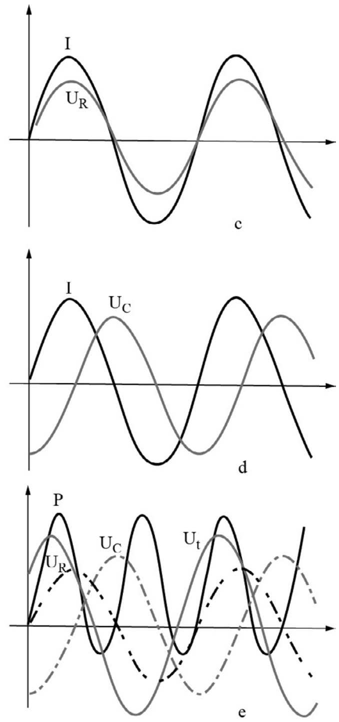


Figura 12.9 - Circuito *R-C* in parallelo:
a - circuito considerato;
b - diagramma vettoriale delle correnti;
c - valori istantanei delle grandezze su *R*;
d - valori istantanei delle grandezze su X_C;
e - valori istantanei globali.

$$Q_C = U_C \cdot I = X_C \cdot I^2$$

12.7 - Potenza apparente - Fattore di potenza

Per potenza apparente si intende il prodotto della tensione per la corrente (valori efficaci), indipendentemente dallo sfasamento esistente tra le due grandezze. Per fattore di potenza (cos φ) si intende il rapporto tra la potenza attiva e la potenza apparente. Esso rappresenta anche il coseno dell'angolo di sfasamento tra i vettori della tensione e della corrente.

Si può ora introdurre un terzo tipo di potenza detta apparente (*A*) data dalla formula:

$$A = U \cdot I$$

e intesa come prodotto della tensione per la corrente totale del circuito.

Per dedurre questa formula bastano alcune semplici considerazioni. Se si prende in esame il diagramma vettoriale di figura 12.10 relativo ad un circuito *R-L* in parallelo per il quale si può scrivere:

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

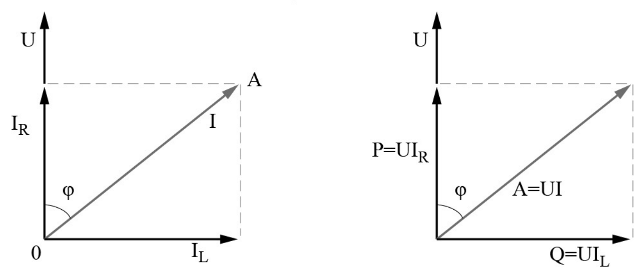


Figura 12.10 - Diagrammi vettoriali delle correnti e delle potenze in un circuito *R-L* in parallelo

Se consideriamo il triangolo *OAB* e si moltiplicano i lati per *U* si ottiene:

$$A = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

essendo:

$$A = U \cdot I \quad P = U \cdot I_R = U \cdot I \cos\varphi \qquad Q = U \cdot I_L = U \cdot I \operatorname{sen}\varphi$$

in modo analogo si può ragionare per un circuito *R-L* in serie (Figura 12.11).

La potenza apparente si misura in voltampere (*VA*) e rappresenta la potenza per la quale devono essere dimensionate le linee e i generatori anche se la potenza attiva in gioco (che è quella che più interessa) è ad essa inferiore.

Essa rappresenta anche il massimo valore che avrebbero la potenza attiva per $\varphi = 0°$ ($\cos\varphi = 1$) e la potenza reattiva per $\varphi = 90°$ ($\operatorname{sen}\varphi = 1$).

Al termine cos φ, che rappresenta l'angolo di sfasamento tra tensione e corrente, si dà il nome di fattore di potenza in quanto esso interviene come fattore nel calcolo della potenza attiva.

Quanto è stato esposto permette di considerare il caso generale di un utilizzatore a due morsetti che assorbe una potenza attiva, una potenza reattiva e di consegue una potenza apparente.

Detti *U* la tensione applicata, *I* la corrente assorbita e *φ* l'angolo di sfasamento fra le due si può immediatamente dire che:

— la potenza attiva è data dalla formula:

$$P = U \cdot I \cos\varphi$$

— la potenza reattiva è data dalla formula:

$$Q = U \cdot I \operatorname{sen}\varphi$$

— la potenza apparente e data dalla formula:

$$A = U \cdot I$$

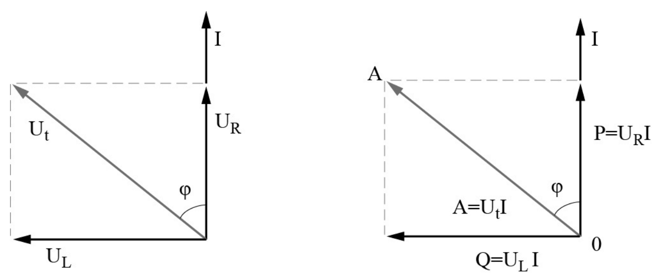


Figura 12.11 - Diagrammi vettoriali delle correnti e delle potenze in un circuito R-L in serie.

12.8 - Teorema di Boucherot

In un sistema di utilizzatori comunque complesso, le potenze attive si sommano aritmeticamente, mentre quelle reattive si sommano algebricamente.

Si può ora estendere il ragionamento al caso di più utilizzatori in parallelo, ciascuno caratterizzato da una potenza attiva, da una potenza reattiva e una potenza apparente (Figura 12.12).

Si possono applicare le seguenti regole semplici che derivano dal teorema di Boucherot e che permettono di pervenire alle caratteristiche equivalenti del complesso costituito dai vari utilizzatori (sezione A-A).

— per le potenze attive vale la regola:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + ...$$

nella quale P è la potenza totale del complesso e P_1, P_2, P_3, quella dei singoli utilizzatori;

— per la potenza reattiva si deve applicare la regola della somma algebrica in quanto possono essere in gioco due tipi di potenza reattiva (induttiva e capacitiva). Come precisato in precedenza si assegna convenzionalmente segno negativo alla potenza reattiva capacitiva. Quindi:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + ...$$

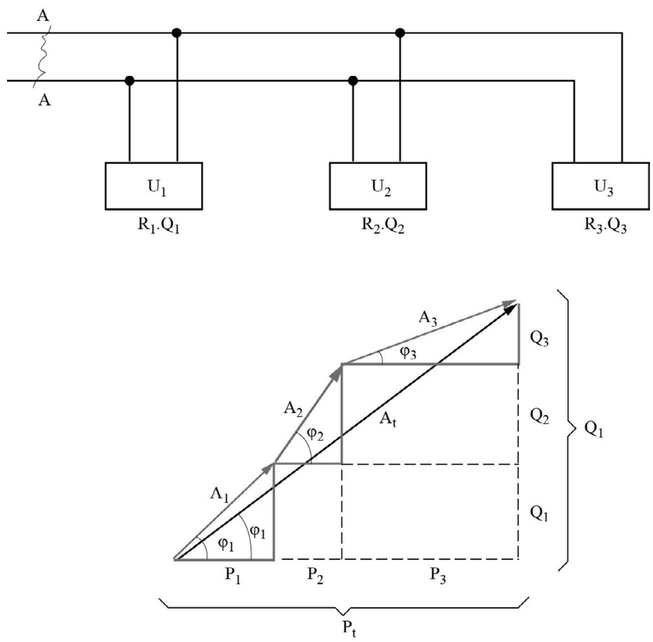


Figura 12.12 - Complesso di utilizzatori in parallelo e applicazione del teorema di Boucherot, con i diagrammi vettoriali delle potenze attiva, reattiva e apparente.

— per la potenza apparente non è più possibile effettuare delle somme algebriche, ma si dovrebbero fare somme vettoriali in quanto le correnti dei singoli utilizzatori non sono tra di loro in fase. Risulterà molto più semplice ricorrere ad una formula già considerata e precisamente:

$$A_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2}$$

Si tenga presente che dall'esame del triangolo delle potenze di figura 12.12 il fattore di potenza ($cos\ \varphi$) dell'intero complesso si deduce da:

$$cos\ \varphi_t = \frac{P_t}{A_t}$$

La corrente assorbita dall'intero complesso è data da:

$$I_t = \frac{A_t}{U}$$

ESERCIZI SVOLTI

Esercizio 1 - Si calcolino la potenza assorbita da un resistore da 12,5 Ω e da un induttore da 0,033 H che funzionano in parallelo e sottoposti alla tensione di 380 V a 50 Hz.

Soluzione

Il resistore assorbirà una potenza attiva che si trasforma in calore pari a:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{380^2}{12,5} = 11\ 552 \text{ W}$$

Per calcolare la potenza reattiva assorbita dall'induttore conviene fare prima il calcolo della reattanza:

$$X_L = 2\,\pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,033 = 10,36\ \Omega$$

e quindi:

$$Q = \frac{U^2}{X_L} = \frac{380^2}{10,36} = 13\ 939 \text{ var} \qquad \text{(induttivi)}$$

Esercizio 2 - Per il circuito dell'esercizio precedente si calcoli la potenza apparente e il f.d.p.

Soluzione

La potenza apparente si calcola risolvendo il triangolo della potenza:

$$A = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{11\ 550^2 + 13\ 940^2} = 18\ 100 \text{ VA}$$

Per il f.d.p. si calcola:

$$\cos\varphi = \frac{P}{A} = \frac{11\ 550}{18\ 100} = 0,638$$

che corrisponde ad un angolo di 50° 20'.

Esercizio 3 - La potenza apparente assorbita da un resistore e da un condensatore in parallelo è di 1 170 VA, mentre la potenza attiva è di 895 W. Se il circuito è alimentato a 220 V, 50 Hz, quali sono i valori di resistenza e capacità in gioco?

Soluzione

Si può calcolare immediatamente la potenza reattiva:

$$Q = \sqrt{A^2 - P^2} = \sqrt{1\ 170^2 - 895^2} = 753,6 \text{ var}$$

Il valore di resistenza di determina così:

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{895} = 54,07\ \Omega$$

Conviene ora calcolare il valore della reattanza capacitiva:

$$X_C = \frac{U^2}{Q} = \frac{220^2}{753,6} = 64,2\ \Omega$$

La capacità risulta allora:

$$C = \frac{1}{2\,\pi f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 64,2} = 49,6\ \mu\text{F}$$

Esercizio 4 - Un circuito assorbe la potenza attiva di 2500 W e si sa che il rapporto tra potenza reattiva e attiva è uguale a 1,2. Si calcoli il valore della potenza apparente.

Soluzione

Se si esamina il triangolo delle potenze si nota che il rapporto Q/P altro non è che la tangente dell'angolo φ può quindi procedere calcolando:

$$Q = P \cdot 1{,}2 = 2\,500 \cdot 1{,}2 = 3\,000 \text{ var}$$

e quindi passare alla potenza apparente:

$$A = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{2\,500^2 + 3\,000^2} = 3\,905 \text{ VA}$$

Si poteva anche procedere in altro modo e cioè trovare il coseno dell'angolo la cui tangente è 1,2:

$$\cos \varphi = \cos \text{arc tg } 1{,}2 = 0{,}640$$

e quindi:

$$A = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{2\,500}{0{,}640} = 3\,905 \text{ VA}$$

Questo secondo procedimento è molto più rapido se si dispone delle conversioni tra funzioni trigonometriche sul calcolatore tascabile.

Esercizio 5 - Tre utilizzatori assorbono te seguenti potenze:

$P_1 = 2\,800$ W $\quad Q_1 = 1\,980$ var induttivi

$A_2 = 5\,200$ VA $\quad a \cos \varphi_2 = 0{,}82$ capacitivi

$P_3 = 1\,500$ W $\quad a \cos \varphi_3 = 0{,}60$ induttivi

Si chiede di calcolare la potenza attiva, reattiva e apparente totali.

Soluzione

Conviene ricorrere al teorema di Boucherot (di cui si consiglia l'applicazione in tutti i casi possibili), dopo aver determinato i valori delle potenza attiva e reattiva di ciascun utilizzatore.

$$P_2 = A_2 \cos \varphi_2 = 5\,200 \cdot 0{,}82 = 4\,264 \text{ W}$$

$$Q_2 = A_2 \operatorname{sen} \varphi_2 = 5\,200 \cdot 0{,}572 = 2\,975 \text{ var (capacitivi)}$$

$$Q_3 = P_3 \operatorname{tg} \varphi_3 = 1\,500 \cdot 1{,}333 = 1\,999 \text{ var (induttivi)}$$

Si sommano ora tutte le potenze attive:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 2\,800 + 4\,264 + 1\,500 = 8\,564 \text{ W}$$

Per le potenze reattive si deve procedere algebricamente ricordando di dare segno positivo alla potenza reattiva induttiva e negativa a quella capacitiva.

$$Q_t = Q_1 - Q_2 + Q_3 = 1\,980 - 2\,975 + 1\,999 = 1\,004 \text{ var (induttivi)}$$

La potenza apparente totale risulta allora:

$$A_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{8\,564^2 + 1\,004^2} = 8\,623 \text{ VA}$$

Il f.d.p. si ottiene immediatamente dal rapporto tra P_t e A_t:

$$\cos \varphi = \frac{P_t}{A_t} = \frac{8\,564}{8\,623} = 0{,}993$$

al quale corrisponde un angolo di 6° 42'.

Esercizio 6 – La potenza assorbita da due utilizzatori è di 12,5 kW *a* $\cos \varphi_t = 0{,}77$ con carico induttivo. Se uno di essi assorbe 5,6 W e 2,7 kvar induttivo, quali sono le potenze relative al secondo utilizzatore.

Soluzione

Si applica il teorema di Boucherot sulle potenze e conviene perciò determinare la potenza reattiva globale:

$$Q_1 = P_1 \cdot tg\,\varphi_1 = 12{,}5 \cdot 0{,}828 = 10{,}35 \text{ kvar}$$

nella quale, come al solito, si deve fare una conversione di funzioni trigonometriche. Si può ora passare al calcolo della potenza del secondo utilizzatore:

$$P_2 = P_t - P_1 = 12{,}5 - 5{,}6 = 6{,}9 \text{ W}$$

$$Q_2 = Q_t - Q_1 = 10{,}35 - 2{,}7 = 7{,}65 \text{ kvar} \qquad \text{(induttivi)}$$

e quindi a quello della potenza apparente

$$A_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{6{,}9^2 + 7{,}65^2} = 10{,}31 \text{ kVA}$$

La $tg\,\varphi_2$ risulta:

$$\text{tg}\,\varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2} = \frac{7{,}65}{6{,}9} = 1{,}11$$

a cui corrisponde un angolo di 47° 59'.
Si poteva anche passare attraverso il coseno:

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{A_2} = \frac{6{,}9}{10{,}30} = 0{,}67$$

a cui corrisponde un angolo di 47° 56'.
La differenza fra i valori calcolati dell'angolo è da attribuire agli arrotondamenti introdotti.

Esercizio 7 - Due utilizzatori sono alimentati in parallelo e assorbono complessivamente 12,5 kW e 8,65 kvar induttivi. Se uno di essi assorbe 5,25 kW a $\cos \varphi_1 = 0{,}65$ induttivo, quali sono le potenze attive, reattive e apparente assorbite dal secondo utilizzatore?

Soluzione

L'esercizio viene risolto applicando il teorema di Boucherot. Per la potenza attiva il calcolo è immediato:

$$P_2 = P_t - P_1 = 12{,}5 - 5{,}25 = 7{,}25 \text{ kW}$$

Per determinare la potenza reattiva è necessario, per prima cosa calcolare quella assorbita dal primo utilizzatore. Bisogna passare attraverso la tangente di φ_1 .

$$tg\,\varphi_1 = \text{tang arc cos } 0{,}65 = 1{,}169$$

Si calcola ora il valore di Q_t:

$$Q_1 = P_1 \cdot tg\varphi_1 = 5{,}25 \cdot 1{,}169 = 6{,}138 \text{ kvar}$$

Per differenza si determina Q_2:

$$Q_2 = Q_t - Q_1 = 8{,}65 - 6{,}138 = 2{,}512 \text{ kvar}$$

Poiché il segno è positivo, la potenza reattiva è induttiva. La potenza apparente si calcola con la formula:

$$A = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{7{,}25^2 + 2{,}512^2} = 7{,}67 \text{ k VA}$$

ESERCIZI DA SVOLGERE

Es. 1 - Un condensatore è sottoposto alla tensione di 220 V, a 50 Hz e assorbe una potenza reattiva di 11,5 kvar. Si calcoli il valore della capacità.
(Risultato: C = 756,4 μF)

Es. 2 - Un induttore con reattanza da 25,8 Ω è posto in parallelo con un condensatore da 45 μF e a un resistore da 37,5 Ω. Se il complesso viene alimentato a 500 V, 50 Hz, quali sono le potenze attiva, reattiva e apparente assorbite? Se la tensione viene ridotta alla metà, a quanto si riducono le potenze?
(Risultato: P = 6 667 W; Q = 6 159 var; A = 9 076 VA; 1/4)

Es. 3 - Due utilizzatori posti in parallelo assorbono rispettivamente le potenze attive P_1 = 500 W, P_2 = 950 W e le potenze reattive di Q_1 = 200 var induttivi e Q_2 = 2 120 var capacitivi. Si calcolino le potenze attiva, reattiva e apparente assorbita dal complesso.
(Risultato: P_t = 1 450 W; Q_t = 1 920 var; A_t = 2 406 VA)

Es. 4 - Tre utilizzatori assorbono globalmente la potenza di 7,52 kW a $\cos\varphi$ = 0,65 induttivo. Due dei tre utilizzatori sono uguali e il terzo assorbe 2,52 kW e 3,20 kvar. Si calcolino le potenze assorbite da ciascuno dei due utilizzatori uguali.
(Risultato: P = 2 500 W; Q = 2 796 var; A = 3 751 VA)

Es. 5 - Un utilizzatore assorbe la potenza di 6,2 kW con un $\cos\varphi$ = 0,62 in ritardo (induttivo). Si desidera conoscere il valore della potenza reattiva capacitiva che dovrebbe assorbire un condensatore posto in parallelo affinché il f.d.p. globale salga a 0,90 induttivo.
(Risultato: Q_c = 4 843 var)