



Zeno Martini (admin)

POTENZA TRIFASE

1 January 2004

Applicando il teorema di conservazione delle potenze attive e reattive si possono scrivere le espressioni delle potenze in una sezione qualsiasi di una linea trifase.

$$P = P_{f1} + P_{f2} + P_{f3}$$

$$Q = Q_{f1} + Q_{f2} + Q_{f3}$$

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

Per il sistema trifase simmetrico ed equilibrato in cui i moduli delle tensione di fase sono uguali tra loro, come lo sono i moduli delle tensioni di linea, delle correnti di linea e delle correnti di fase, valgono le seguenti espressioni.

$$P = 3 \cdot U_z \cdot I_f \cdot \cos \phi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L \cdot \cos \phi$$

$$Q = 3 \cdot U_z \cdot I_f \cdot \sin \phi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L \cdot \sin \phi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3 \cdot U_z \cdot I_f = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L$$

Un fatto importante, è che la potenza istantanea è costante e coincide con la potenza attiva P. Infatti per ogni fase la potenza istantanea è la somma della potenza attiva P e di una potenza fluttuante, corrispondente ad una sinusoide di frequenza doppia di quella della tensione e della corrente, e di ampiezza pari alla potenza apparente della fase.

Se ci riferiamo ad una fase otteniamo:

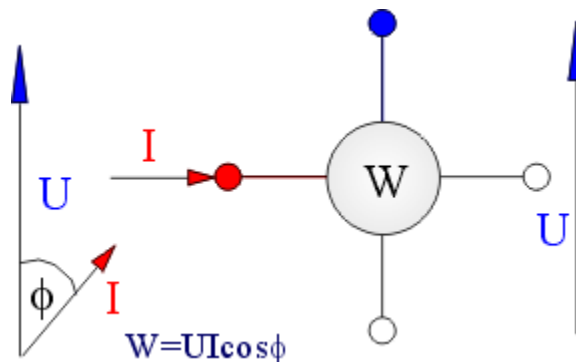
$$\begin{aligned} p(t) &= e(t) \cdot i(t) = E_M \cdot I_M \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \phi) = \\ &= E_M \cdot I_M \cdot (\sin^2 \omega t \cdot \cos \phi - \sin \phi \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= E_M \cdot I_M \cdot \left(\left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) \cdot \cos \phi - \frac{1}{2} \cdot \sin \phi \cdot \sin 2\omega t \right) = \\
 &= \frac{E_M \cdot I_M}{2} \cdot \cos \phi - \frac{E_M \cdot I_M}{2} \cdot \cos(2\omega t - \phi)
 \end{aligned}$$

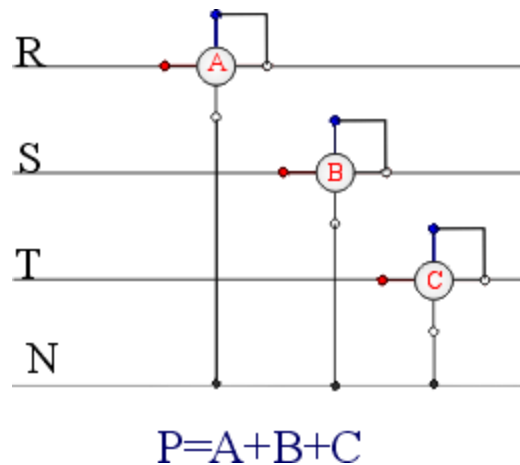
Il primo termine dell'ultima espressione rappresenta la potenza attiva di una fase ($P=EI\cos\phi$), il secondo la potenza fluttuante. Ripetendo i calcoli per le altre due fasi otteniamo un identico primo termine per entrambe mentre i secondi termini sono sfasati di 120° in anticipo l'uno ed in ritardo l'altro. La loro somma è dunque nulla e la potenza istantanea coincide con la somma dei tre termini costanti.

MISURA DELLA POTENZA ATTIVA

Per la misura della potenza attiva in una linea monofase occorre un wattmetro. Il wattmetro è uno strumento a quattro morsetti facenti capo ad un circuito amperometrico e ad uno voltmetrico, il quale fornisce un'indicazione proporzionale al prodotto del valore efficace della tensione applicata alla voltmetrica per il valore efficace dell'intensità di corrente che attraversa l'amperometrica per il coseno dell'angolo di sfasamento. La figura seguente lo illustra, indicando come tensione e corrente devono essere applicate rispetto ai morsetti contrassegnati per avere un'indicazione positiva quando il valore dell'angolo di sfasamento, in valore assoluto, è inferiore a 90° .

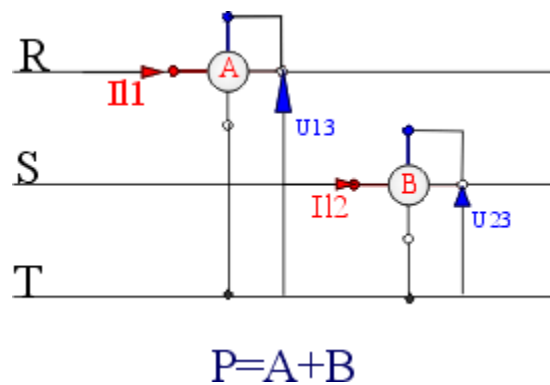


Per la misura della potenza attiva in un sistema trifase è sufficiente misurare la potenza di ogni fase, quindi effettuare la somma delle indicazioni. Questo vale sia per sistemi simmetrici ed equilibrati che dissimmetrici e squilibrati. E' evidente che se il sistema è simmetrico ed equilibrato è sufficiente misurare la potenza attiva di una fase, quindi moltiplicarla per tre. La figura che segue mostra la misura in un sistema a quattro fili.



Essa ci induce ad osservare che i 3 wattmetri misurano la potenza di tre sistemi monofasi che hanno in comune il filo di ritorno. La tensione sulla voltmetrica è quella tra il filo in cui è inserita l'amperometrica ed il filo comune.

Questa osservazione suggerisce la possibilità di fare la stessa cosa anche in un sistema a tre fili. Si ha in tal caso l' **INSERZIONE ARON**:



E' intuibile che la potenza si ottenga sommando le indicazioni dei due wattmetri, ma è opportuno osservare che la somma deve essere algebrica in quanto i wattmetri possono dare indicazioni negative, potendo essere l'angolo di sfasamento tra le tensioni concatenate e le correnti di linea, in valore assoluto, maggiore di 90° .

Vediamolo per il caso del sistema simmetrico ed equilibrato

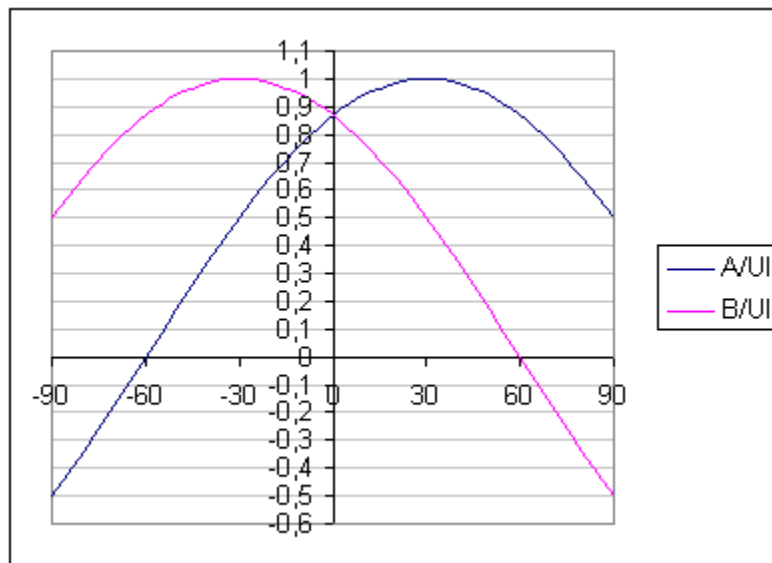
Facendo riferimento al diagramma vettoriale tracciato per il collegamento a stella dei carichi e tenendo presente che la tensione U_{13} è in opposizione di fase rispetto alla tensione U_{31} (il wattmetro **A** è per questo motivo detto anticiclico) si ha:

$$A = U \cdot I_L \cdot \cos(\phi - 30) = U \cdot I_L \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \phi + \frac{1}{2} \cdot \sin \phi \right)$$

$$B = U \cdot I_L \cdot \cos(30 + \phi) = U \cdot I_L \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \phi - \frac{1}{2} \cdot \sin \phi \right)$$

$$A + B = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L \cdot \cos \phi = P$$

Come detto A e B possono avere segno negativo. Il grafico delle loro indicazioni in funzione dell'argomento dell'impedenza del carico che può variare da -90° a $+90^\circ$ è:



Osservazioni sul grafico

- Le indicazioni dei Wattmetri sono normalizzate (relative al prodotto $1,73 \cdot UI$)
- i due wattmetri danno la stessa indicazione quando il carico è puramente resistivo.
- Il wattmetro A (anticiclico) dà valori superiori a quelli di B (ciclico) per carichi induttivi. Il wattmetro B invece dà valori superiori a quelli di A per carichi capacitivi. Ciò fornisce il criterio per stabilire la natura del carico, quando è noto il senso ciclico delle fasi, o il senso ciclico delle fasi quando è nota la natura del carico

- Come già detto entrambi i wattmetri possono dare indicazione negativa. Per il wattmetro anticiclico questo succede per carichi capacitivi di argomento inferiore a -60° , per il wattmetro ciclico per carichi induttivi di argomento superiore a $+60^\circ$. Ovviamente per carichi puramente reattivi A e B forniscono indicazioni uguali ed opposte, come deve essere essendo nulla la potenza attiva.