



Zeno Martini (admin)

POTENZA IN C.A.S.

1 January 2004

Articolo n° 7 su 13 del corso "[Elettrotecnica di base](#)". Vai all'[indice](#) del corso.

Paragrafi dell'articolo:

1. [Introduzione](#)
2. [Potenza in c.a. sinusoidale](#)
3. [Triangolo di potenza e potenza complessa](#)
4. [Linee elettriche bifilari](#)
5. [Dimensionamento di una linea](#)
6. [Rifasamento](#)
7. [Conclusioni](#)

Introduzione

In questo articolo sono definite le suddivisioni tecniche della potenza in c.a. e sviluppati alcuni semplici ma tipici esempi di calcoli impiantistici, evidenziando i criteri di progetto di una linea in bassa e media tensione (<60 kV), e l'esigenza del rifasamento. Nell'impiantistica elettrica l'approccio ai circuiti in termini di potenza è il più comune e, sfruttando il principio di conservazione dell'energia, è possibile risolvere numerosi problemi.

Potenza in c.a. sinusoidale

fig. 7. 1

La potenza che in ogni istante si trasferisce tra due sezioni circuitali bipolari è, come già detto nell'art. 1, il prodotto dei valori istantanei di tensione e di corrente:

$p(t)=u(t) \cdot i(t)$ (fig. 7.1). I versi positivi di tensione e di corrente ne stabiliscono il verso positivo, concorde con quello della corrente nel punto a potenziale più elevato. Poiché l'intensità di corrente e la tensione elettrica assumono in alternata, rispetto ai versi prefissati, valori sia positivi che negativi, il loro prodotto, cioè la potenza, è un numero relativo. Ciò significa che può esserci un intervallo di tempo, minore o, al massimo uguale a mezzo periodo ($T/2$), in cui il bipolo utilizzatore funziona da generatore. Questo succede, in regime variabile, per la presenza dei bipoli accumulatori di energia magnetica ed elettrostatica. Il generatore, a regime, si trova a dover rifornire il circuito della sola potenza elettrica consumata, dopo averne dotato gli accumulatori, nella fase di accensione, dell'energia che essi a regime continueranno a scambiare reciprocamente e con il generatore.

Elaboriamo matematicamente l'espressione della potenza per indagarne la struttura e definirne le componenti di rilevanza tecnica.

Siano in una certa sezione del circuito la tensione e la corrente sfasate di un angolo f ; quindi:

$$u(t)=U_M \sin \omega t$$

$$i(t)=I_M \sin(\omega t- f)$$

La potenza è data da

$$p(t)=u(t) \cdot i(t)= U_M \cdot I_M \sin \omega t \sin(\omega t - f)$$

dopo alcuni passaggi matematici:

$$U_M \cdot I_M \sin \omega t (\sin \omega t \cos f - \cos \omega t \sin f)=$$

$$U_M \cdot I_M \cos f \sin^2 \omega t - U_M \cdot I_M \sin f \cos \omega t =$$

$$U_M \cdot I_M \cos f \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) - \left(\frac{1}{2} \right) \cdot U_M \cdot I_M \sin f \sin 2\omega t =$$

$$U \cdot I \cos f - \left(U \cdot I \cos f \cos 2\omega t + U \cdot I \sin f \sin 2\omega t \right)$$

Si può scrivere:

$$1. \quad p(t)=P - S \cos(2\omega t - f) \quad 7.1$$

da cui si può vedere inoltre che la potenza $p(t)$ è la somma del valore costante \mathbf{P} e di una sinusoide di frequenza doppia di quella della tensione e di ampiezza pari ad \mathbf{S} .

oppure

$$2. \quad \mathbf{p}(t) = \mathbf{P} \cdot (1 - \cos 2\omega t) - \mathbf{Q} \cdot \sin 2\omega t \quad 7.2$$

dopo aver posto, ricordando che $U = U_M/\sqrt{2}$, $I = I_M/\sqrt{2}$ sono i valori efficaci di tensione e di corrente:

$$1) \quad \mathbf{S} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{I} \quad 7.3$$

a) È detta potenza apparente. Alla sua unità di misura si dà il nome di VA (volt-ampere). E' spesso detta potenza di dimensionamento, in quanto è in base agli effettivi valori di U e di I che le apparecchiature vanno dimensionate.

b) Per una impedenza di modulo Z , ricordando la legge di Ohm si hanno le formule : $\mathbf{S} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{I}^2$; $\mathbf{S} = \mathbf{U}^2 / \mathbf{Z}$

$$2) \quad \mathbf{P} = \mathbf{S} \cdot \cos \phi \quad 7.4$$

a) E' detta potenza attiva. Alla sua unità di misura si conserva il nome di watt (W). E' il valore medio della potenza effettivamente consumata, La potenza che fluisce costantemente dal generatore all'utilizzatore può essere rappresentata dal primo addendo della 7.1.2: $\mathbf{p}_R(t) = \mathbf{P} \cdot (1 - \cos 2\omega t)$ sempre positivo, che è la somma del valore costante \mathbf{P} e di una sinusoide di ampiezza \mathbf{P} e frequenza doppia della tensione; il suo valore medio è dunque \mathbf{P} con valore massimo $2\mathbf{P}$.

b) $\cos \phi$ è chiamato fattore di potenza (f.p.)

c) La potenza attiva si misura con il wattmetro, strumento a quattro morsetti (vedi art. 2)

d) Indicando con R_s la resistenza di una impedenza nella schematizzazione serie si ha: $\mathbf{P} = \mathbf{R}_s \cdot \mathbf{I}^2$; Se G è la conduttanza di un'ammettenza si ha $\mathbf{P} = \mathbf{G} \cdot \mathbf{U}^2$

$$3) \quad \mathbf{Q} = \mathbf{S} \cdot \sin \phi \quad 7.5$$

a) È detta potenza reattiva. Alla sua unità di misura si dà il nome di var (volt-ampere-reattivi). Corrisponde al picco della potenza di scambio tra generatore ed accumulatori, quindi al valore massimo del secondo addendo della 7.1.

2: $p_x(t) = -Q \sin 2\omega t$, è una senoide di ampiezza Q e frequenza doppia di quella della tensione.

b) La potenza reattiva si può misurare con un varmetro, strumento a quattro morsetti che si inserisce come un wattmetro. Spesso però la si deduce da misure effettuate con i tre principali strumenti voltmetro, amperometro e wattmetro:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad \text{oppure} \quad Q = P \cdot \tan(\arccos(P / U \cdot I)). \quad 7.6$$

c) Si noti che da queste sole misure non se ne può dedurre il segno, quindi non si può sapere la natura capacitiva od induttiva dell'impedenza del carico.

d) Indicando con X_s la reattanza di una impedenza nella schematizzazione serie si ha: $Q = X_s \cdot I^2$; Se B è la suscettanza di un'ammettenza si ha $Q = B \cdot U^2$

Nella fig. 7. 2 sono rappresentati tutti i grafici normalizzati, cioè rapportati ad un valore di riferimento che è il valore massimo per tensione e corrente e la potenza apparente per $p(t)$, $p_R(t)$, $p_X(t)$, P .

Lo sfasamento tra tensione e corrente è di 60° Ritardo.

fig. 7. 2

Triangolo di potenza e potenza complessa

E' immediato constatare che

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad 7.8$$

S rappresenta cioè l'ipotenusa di un triangolo rettangolo i cui cateti sono P e Q . P viene generalmente disegnato orizzontale e Q verticale (verso l'alto se Q è positiva).

l'angolo tra l'ipotenusa ed il cateto \mathbf{P} è l'angolo di sfasamento tra la tensione e la corrente, corrispondente, in valore e segno all'argomento dell'impedenza.

Molto importante dal punto di vista pratico è il **teorema di Boucherot**: esso afferma che, immaginando di dividere un qualsiasi circuito elettrico in due parti la totale potenza attiva proveniente da una delle due parti è esattamente uguale alla somma aritmetica delle potenze attive presenti nella seconda parte calcolate per ogni bipolo di essa, mentre la potenza reattiva Q è la somma algebrica delle potenze reattive di tutti i precedenti bipoli. Nella somma algebrica si considerano positive le potenze reattive degli induttori e negative quelle dei condensatori.

$$\mathbf{P}=\mathbf{P}_1+\mathbf{P}_2+\dots+\mathbf{P}_n$$

$$\mathbf{Q}=\mathbf{Q}_1+\mathbf{Q}_2+\dots+\mathbf{Q}_n$$

7. 9

La potenza apparente totale non è mai uguale alla somma delle potenze apparente parziali (tranne il caso particolare di bipoli aventi tutti impedenza con lo stesso argomento). Essa si ricaverà pertanto dalla 7.8:

$$S_n=P^2+Q^2$$

Il teorema di Boucherot dà luogo ad un efficace metodo di analisi dei circuiti in c.a. denominato metodo delle potenze.

E' stato anche introdotto il concetto di potenza complessa.

Si tratta di un [numero complesso](#) la cui parte reale corrisponde alla potenza attiva \mathbf{P} e la cui parte immaginaria corrisponde in valore e segno alla potenza reattiva \mathbf{Q} . Questo numero si ottiene moltiplicando tra loro il numero complesso che rappresenta la tensione per il coniugato del numero complesso che rappresenta la corrente:

7. 10

Le proprietà della somma di numeri complessi consente di vedere immediatamente come la somma delle potenze complesse corrisponda al teorema di Boucherot: il numero che rappresenta la potenza complessa nella sezione di un circuito è uguale alla somma delle potenze complesse dei singoli bipoli della parte a valle.

Esercizio 7. 1

fig 7.1

Nel circuito di fig. 7.2 gli strumenti, tutti ideali, misurano: voltmetro: $U=220$ V; amperometro: 5 A; wattmetro: $P=800$ W.

Calcolare resistenza e reattanza dell'utilizzatore, schematizzato sia con elementi in serie che con elementi in parallelo.

Per determinare la natura della reattanza si pone in parallelo al carico un condensatore ideale: l'amperometro misura allora 4 A.

Stabilire la natura della reattanza e, sapendo che la frequenza di alimentazione è 50 Hz, determinare il valore della capacità posta in parallelo e dell'elemento reattivo del carico.

Il modulo dell'impedenza del carico è

$$Z=U/I=44 \text{ W}$$

Il suo argomento in valore assoluto è

$$F=\arccos(P/U \cdot I)=43,3^\circ$$

Quindi gli elementi per la schematizzazione in serie valgono

$$R_S=Z \cdot \cos F= 32 \text{ W}; X_S= Z \cdot \sin F=30,2 \text{ W}$$

Nella schematizzazione in parallelo

$$G=P/U^2=800/220^2=0,0165 \text{ S}; B=Q/U^2=0,0156 \text{ S}$$

Poichè l'intensità di corrente diminuisce, quindi la potenza apparente, significa che la potenza reattiva in assoluto diminuisce ponendo il condensatore in parallelo: l'impedenza è perciò ohmico-induttiva.

L'induttanza vale

$$L = X_S / 2\pi f = 30,2 / 314 = 0,096 \text{ H} = 96 \text{ mH}$$

L'iniziale potenza reattiva, dovuta alla sola impedenza di carico, vale per la 7.5.d(1)

$$Q = X_S \cdot I^2 = 30,2 \cdot 5^2 = 755 \text{ var}$$

Dopo l'inserzione del condensatore diventa, per la 7.6

$$Q_1 = P \cdot \tan(\arccos(P/UI)) = 800 \cdot \tan(\arccos(800/880)) = 367 \text{ var}$$

La potenza reattiva del condensatore è allora, in valore assoluto

$$Q_C = Q - Q_1 = 755 - 367 = 388 \text{ var}$$

La sua suscettanza è per la 7.5.d(2)

$$B_C = Q_C / U^2 = 388 / 220^2 = 0,00802 \text{ S}$$

La sua capacità vale allora

$$C = B_C / 2\pi f = 0,00802 / 314 = 25,5 \text{ mF}$$

Esercizio 7. 2

Un bipolo passivo è costituito da una resistenza R_1 in serie al parallelo di una resistenza $R_2 = 350 \text{ W}$ con una capacità $C = 20 \text{ mF}$, assorbe una potenza attiva complessiva $P = 1 \text{ kW}$ con un fattore di potenza di $0,8$. La frequenza di alimentazione è di 50 Hz . Calcolare il valore della resistenza in serie al parallelo R_1 .

Procedimento di soluzione

Si determinano la potenza attiva (P_{R1}) e l'intensità di corrente (I_{R1}) sulla resistenza R_1 . P_{R1} è la differenza tra la potenza attiva totale (P) e la potenza attiva sulla resistenza R_2 (P_{R2}), mentre la corrente su R_1 è la somma vettoriale delle intensità di corrente sulla capacità C e sulla resistenza R_2 , che sono in quadratura. La corrente su R_2 si trova dividendo il valore della tensione ai capi della capacità (U_C) per R_2 . La tensione U_C sul condensatore si può trovare dopo aver calcolato la sua potenza reattiva (Q_C) e la sua reattanza X_C .

I calcoli

$$Q_C = P \cdot \tan(\arccos 0,8) = 1000 \cdot 0,75 = 750 \text{ var}$$

$$X_C = 10^6 / (6,28 \cdot 50 \cdot 20) = 159 \text{ W}$$

$$U_C = \ddot{O} (Q_C \cdot X_C) = \ddot{O} (750 \cdot 159) = 345 \text{ V}$$

$$I_C = U_C / X_C = 345 / 159 = 2,17 \text{ A}$$

$$I_{R2} = U_C / R_2 = 345 / 350 = 0,987 \text{ A}$$

$$P_{R2} = R_2 \cdot I_{R2}^2 = 350 \cdot 0,987^2 = 341 \text{ W}$$

$$I_{R1} = \ddot{O} (I_C^2 + I_{R2}^2) = \ddot{O} (2,17^2 + 0,987^2) = 2,38 \text{ A}$$

$$P_{R1} = P - P_{R2} = 1000 - 341 = 659 \text{ W}$$

$$R_1 = P_{R1} / I_{R1}^2 = 659 / 2,38^2 = 116 \text{ W}$$

Linee elettriche bifilari

La linea elettrica è il mezzo per trasmettere l'energia elettrica da un bipolo generatore ad un bipolo utilizzatore. E' costituita da due conduttori isolati tra loro ed il dimensionamento di una linea consiste nel determinare la sezione dei conduttori.

Le esigenze cui fare fronte sono di rendere accettabile la perdita di energia e contenere entro limiti prefissati la temperatura per il mantenimento nel tempo delle proprietà dell'isolamento.

La perdita di energia è dovuta alla resistenza ohmica dei conduttori ed al conseguente effetto joule.

L'energia per unità di carica disponibile all'arrivo (tensione) inoltre, in alternata, diversa da quella disponibile dopo la dissipazione, per la parte che l'unità di carica scambia con il campo elettromagnetico.

La seconda legge di Ohm ci fa capire che, a parità di conduttore e di temperatura di funzionamento, la variabile sulla quale si può intervenire per limitare la resistenza è la sezione. La lunghezza della linea, quindi dei conduttori, è determinata dalla posizione reciproca di generatore e carico, e non ci sono praticamente alternative al rame.

La linea bifilare può dunque essere schematizzata con un quadripolo costituito dai due bipoli che rappresentano i due conduttori che la costituiscono. Essa è riconducibile al quadripolo di fig. 7. 2 a). La resistenza e la reattanza rappresentate

tengono conto di entrambi i conduttori della linea. Se ne indichiamo con l la lunghezza sarà allora, applicando la seconda legge di ohm, $R_L=r \cdot 2 \cdot l/A$.

fig. 7. 4

Generalmente i costruttori di cavi forniscono tabelle con i valori unitari di resistenza e reattanza espressi entrambi in ohm/km. Se allora consideriamo questi valori unitari r_L , x_L , ed l è la lunghezza della linea in km, sarà $R_L=2 \cdot l \cdot r_L$; $X_L=2 \cdot l \cdot x_L$.

Nella fig. 7.3 è riportato un estratto di queste tabelle. In essa sono anche mostrate le portate per cavi in PVC in tre condizioni di posa per una temperatura ambiente di 30°C.

CAVI UNIPOLARI			Portate cavi in PVC (I_z in A)		
S (mm ²)	r_L (ohm/km) 80°C	x_L (ohm/km)	entro tubi in aria	in libera	terreno
1,5	14,8	0,176	17	21	28
2,5	8,91	0,168	23	29	38
4	5,57	0,155	32	40	50

6	3,71	0,135	41	51	63
10	2,24	0,119	57	71	83
16	1,41	0,112	76	96	108
25	0,889	0,106	100	126	140
35	0,641	0,101	123	155	168
50	0,473	0,101	148	187	199
70	0,328	0,0965	189	240	245
95	0,236	0,0975	230	290	295
120	0,188	0,0939	270	340	335
150	0,153	0,0928	305	385	375
185	0,123	0,0908	355	445	430
240	0,0943	0,0902	420	525	500

fig. 7. 5

Il problema fondamentale è quello della caduta di tensione industriale, che è la differenza aritmetica tra il valore efficace della tensione in ingresso ed il valore efficace della tensione in uscita.

Il problema può essere convenientemente risolto in due modi principali:

1) con il metodo delle potenze (teorema di Boucherot). Si ha:

a) $P_i = P_u + 2 \cdot I \cdot r_L \cdot I_L = P_u + R_L \cdot I_L^2$

$$b) \quad Q_i = Q_u + 2 \cdot l \cdot x_L \cdot I_L^2 = Q_u + X_L \cdot I_L^2$$

$$c) \quad S_i = \text{rad}Q(P_i^2 + Q_i^2)$$

$$d) \quad U_i = S_i / I_L$$

$$e) \quad DU = U_i - U_u$$

$$f) \quad d = \arctan(Q_i / P_i - f_u)$$

2) con la formula approssimata, più che accettabile per fattori di potenza del carico compresi tra 0,5 e 0,9 ricavabile dal grafico vettoriale di fig. 7. 2. b) (detto anche diagramma semplificato di Perryne-Baum):

a) $DU = 2 \cdot l \cdot I_L \cdot (r_L \cdot \cos f_u + x_L \cdot \sin f_u) = I_L \cdot (R_L \cdot \cos f_u + X_L \cdot \sin f_u)$: si noti che per carichi capacitivi $\sin f_u$ è negativo, quindi DU può essere nullo od addirittura negativo; in quest'ultimo caso $U_u > U_i$ (effetto Ferranti)

$$b) \quad Du\% = 100 \cdot (DU / U_u) = 100 \cdot 2 \cdot l \cdot (r_L \cdot P + x_L \cdot Q) / U_u^2 = 100 \cdot (R_L \cdot P_u + X_L \cdot Q_u) / U_u^2$$

3) Per la potenza persa si ha:

$$a) \quad P_{jL} = P_i - P_u = R_L \cdot I^2 = R_L \cdot (P_u^2 + Q_u^2) / U_u^2 = R_L \cdot (P_i^2 + Q_i^2) / U_i^2 = 2 \cdot l \cdot r_L \cdot (P_u^2 + Q_u^2) / U_u^2 = 2 \cdot l \cdot r_L \cdot (P_i^2 + Q_i^2) / U_i^2$$

$$b) \quad P_{jL}\% = 100 \cdot P_{jL} / P_u = 100 \cdot R_L \cdot I_L^2 / P_u = 100 \cdot R_L \cdot P_u / (U_u^2 \cos^2 f_u) = 100 \cdot 2 \cdot l \cdot r_L \cdot P_u / (U_u^2 \cos^2 f_u) =$$

c) Si definisce rendimento il rapporto tra la potenza attiva in uscita e la potenza attiva in ingresso. Si ha pertanto:

$$i) \quad h = P_u / P_i = P_u / (P_u + P_{jL}) = (P_i - P_{jL}) / P_i = 1 - P_{jL} / P_i$$

$$ii) \quad h\% = 100 \cdot h$$

Dimensionamento di una linea

Il dimensionamento di una linea parte dalla conoscenza della corrente di Linea I_L , che si ricava dalla potenza apparente in uscita:

$$I_L = S_U / U_u = (\sqrt{P_u^2 + Q_u^2}) / U_u$$

In base al tipo di isolamento ed al tipo di posa si sceglie da tabella la sezione in modo che sia $I_Z > I_L$.

Ora occorre verificare la caduta di tensione e confrontarla con quella ammessa (generalmente 3% carichi luce, 5% forza motrice). A questo scopo con i dati di tabella, si utilizzano le formule in precedenza illustrate. Se la caduta di tensione effettiva è superiore a quella ammessa si deve passare alla sezione commerciale successiva e si ricalcola la caduta. Il ciclo va ripetuto finché la condizione è rispettata.

Esercizio 7.3

Dimensionare una linea bifilare lunga 150 m, in aria libera, che deve alimentare 3 carichi ohmico induttivi aventi le seguenti caratteristiche: tensione nominale $U_n=400$ V; $P_1=5$ kW, $Q_1=10$ KVAR; $P_2=4$ kW $\cos\phi_2=0,6$; $Q_3=4$ kVAR, $\cos\phi_3=0,9$. La caduta di tensione percentuale ammessa è del 5%. Usare i valori della tab. di fig.7.3.

Le potenze attive e reattive totali in uscita sono (7.4)

$$P_u = P_1 + P_2 + P_3 = 5 + 4 + 4 \cdot \tan(\arccos 0,9) = 9 + 8,3 = 17,3 \text{ kW}$$

$$Q_u = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 10 + 4 \cdot \tan(\arccos 0,6) + 4 = 14 + 5,33 = 19,33 \text{ kvar}$$

Il fattore di potenza in uscita è

$$\cos\phi_u = \cos(\arctan(Q_u/P_u)) = 0,666$$

La corrente in linea è

$$I_L = (\sqrt{P_u^2 + Q_u^2})/U_u = (\sqrt{17,3^2 + 19,3^2})/0,4 = 65 \text{ A}$$

Dalla tabella si può scegliere una sezione $A=10 \text{ mm}^2$

Cui corrispondono i valori di resistenza e reattanza per la linea

$$R_L = 2 \cdot l \cdot r_L = 2 \times 0,150 \times 2,24 = 0,672 \text{ W}$$

$$X_L = 2 \cdot l \cdot x_L = 2 \times 0,150 \times 0,119 = 0,0357 \text{ W}$$

La caduta di tensione % è data da

$$Du\% = 100 \cdot (R_L \cdot P_u + X_L \cdot Q_u)/U_u^2 = 100 \times (0,672 \times 17300 + 0,0357 \times 19300)/160000 = 7,68\%$$

Essa è superiore al valore ammesso. Occorre pertanto provare con la sezione successiva in tabella $A=16 \text{ mm}^2$. Ripetendo i calcoli della caduta con i nuovi valori si ottiene:

$$R_L=2 \cdot l \cdot r_L=2 \times 0,150 \times 1,41=0,423 \text{ W}$$

$$X_L=2 \cdot l \cdot x_L=2 \times 0,150 \times 0,112=0,0336 \text{ W}$$

La caduta di tensione % è data da

$$Du\%=100 \cdot (R_L \cdot P_u + X_L \cdot Q_u) / U_u^2 = 100 \times (0,423 \times 17300 + 0,0336 \times 19300) / 160000 = 4,97\%$$

Il valore ora è accettabile: la sezione da utilizzare è dunque **A= 16 mm²**

Rifasamento

In un sistema elettrico di data tensione nominale, l'intensità di corrente circolante in una linea è dovuta in c.a. alla potenza apparente dei carichi alimentati.

La potenza apparente comprende la potenza attiva e la potenza reattiva. La potenza attiva deve essere inevitabilmente fornita da un generatore, quindi necessariamente attraversare la linea. La potenza reattiva può essere fornita integralmente dal generatore, quindi viaggiare lungo la linea, ma può anche essere generata localmente alla fine della linea. Si sfrutta in questo caso la collaborazione tra induttori e condensatori: gli uni possono essere infatti i generatori della potenza che gli altri assorbono. I carichi industriali sono generalmente ohmico-induttivi. Essi necessitano pertanto di potenza reattiva induttiva e questa può essere localmente fornita da condensatori. . L'uso dei condensatori in una rete è noto anche come "metodo di compensazione". L'ENEL installa nelle sue primarie cabine di trasformazione (AT/MT) su reti a 20 kV batterie di condensatori che possono raggiungere un valore di potenza di 10 Mvar. Gli utenti MT o BT devono compensare i propri impianti per ottenere, nel punto di consegna dell'energia, un fattore di potenza minimo di 0,9.

fig. 7. 6

Nella fig. 7. 3 è mostrato il triangolo delle potenze in base al quale è possibile ricavare la formula per calcolare la potenza della batteria di condensatori che consegue il compensamento desiderato. La potenza reattiva Q_C della batteria si sottrae alla potenza reattiva iniziale Q_i dell'impianto di potenza attiva P per ottenere la potenza reattiva finale Q_f . In questo modo la potenza apparente passa dal valore S_i al valore S_f , diminuendo e, corrispondentemente l'angolo di sfasamento passa da f_i a f_f con aumento del fattore di potenza. Quindi:

$$Q_C = P * (\tan f_f - \tan f_i) \quad 7. 11$$

Esercizio 7. 4

Una linea bifilare lunga 400 m e di sezione $A=120 \text{ mm}^2$ alimenta alla sua estremità due utilizzatori. Il primo assorbe una potenza attiva $P_1=8 \text{ kW}$ con un fattore di potenza di $\cos f_1=0,7_R$ in ritardo; il secondo assorbe una potenza attiva di 6 kW ed una potenza reattiva induttiva di 8 kvar . La tensione nominale dei carichi è di 220 V .

Calcolare il valore della potenza della batteria di condensatori necessaria ad avere in uscita un $\cos f_u=0,9_R$ Ritardo, la tensione all'ingresso della linea, le perdite, il rendimento prima e dopo il rifasamento.

Si applica la 7.6 dove

$$P = P_u = P_1 + P_2 = 8 + 6 = 14 \text{ kW}$$

$$\tan f_f = Q_u / P_u = P_1 * \tan(\arccos(0,7)) + Q_2 = (8,16 + 8) / 14 = 1,15$$

$$\tan f_i = Q_u / P_u = \tan(\arccos(0,9)) = (8,16 + 8) / 14 = 0,484$$

$$Q_C = 14 * (0,484 - 1,15) = - 9,4 \text{ kvarr} \text{ (il - indica che è una potenza capacitiva)}$$

La corrente prima del rifasamento è

$$I_L = (\text{radq}(P_u^2 + Q_u^2)) / U_u = \text{radq}(14^2 + 16,16^2) / 0,220 = 97,2 \text{ A}$$

Dopo il rifasamento

$$I_L' = (\text{radq}(P_u^2 + (Q_u + Q_C)^2)) / U_u = (\text{radq}(14^2 + 6,78^2)) / 0,220 = 70,7 \text{ A}$$

La caduta di tensione prima del rifasamento è:

$$DU = 2 \cdot I_L \cdot (r_L \cdot \cos f_u + x_L \cdot \sin f_u) = 2 \cdot 0,4 \cdot 97,2 \cdot (0,132 \cdot 0,655 + 0,0658 \cdot 0,756) = 13,2 \text{ V}$$

dopo il rifasamento

$$DU' = 2 \cdot 0,4 \cdot 70,7 \cdot (0,132 \cdot 0,9 + 0,0658 \cdot 0,436) = 10,4$$

La tensione di ingresso è allora rispettivamente $U_i = 233,2$ e $U_i' = 230,4$ V.

La potenza persa in linea per effetto Joule passa da

$$P_{JL} = 0,132 \cdot 97,2^2 = 1243 \text{ W} \text{ a } P_{JL}' = 0,132 \cdot 70,7^2 = 658 \text{ W}$$

Di conseguenza il rendimento passa da

$$h = 1 - 1243 / 14000 = 0,911 \text{ a } h = 1 - 658 / 14000 = 0,953$$

Esercizi proposti

1. Una linea monofase di sezione $A = 25 \text{ mm}^2$ e lunga 400m alimenta in uscita due carichi, uno dei quali assorbe una potenza attiva $P_1 = 4,5 \text{ kW}$ e fattore di potenza $f.p. = 0,8$ Ritardo. La potenza apparente vale $S = 8,8 \text{ kVA}$ ed il fattore di potenza globale vale $f.p. = 0,74$ Ritardo. Calcolare la tensione in ingresso linea, la potenza attiva del secondo utilizzatore, il rendimento percentuale della linea, la potenza reattiva della batteria di condensatori che rifusa a $0,9$ Ritardo, la caduta di tensione in linea dopo il rifasamento. Considerare $r_L = 0,907 \text{ W/km}$, $x_L = 0,0813 \text{ W/km}$ ($U_i = 243 \text{ V}$, $P_2 = 2 \text{ kW}$ $\cos^2 = 0,62$ Rit; $h = 85\%$; $Q_c = 2,76 \text{ kvar}$; $DU = 22,4 \text{ V}$)

Conclusioni

In questo articolo dopo aver esaminato il significato delle tre potenze in c.a.s. se ne sono applicati i concetti per i problemi impiantistici più tipici quali il rifasamento ed il dimensionamento delle linee.

Si è fatto riferimento a linee monofasi quindi bifilari, ma i procedimenti esposti sono del tutto generali.

In particolare le formule valgono anche per le linee trifasi, trattate nel successivo art. 8. Si usano in tal caso, per quanto concerne ad esempio la caduta di tensione, che si riferirà alla concatenata, le formule in cui compaiono i valori unitari r_L ed x_L , usando **1,73·l** come fattore al posto di **2·l**. Per le potenze al posto di **2·l** ci sarà **3·l** intendendo con P_i, P_u e Q_i, Q_u le potenze trifase. Nel calcolo della corrente di linea **I_L** , la potenza apparente d'uscita è divisa per **1,73·U**.