

Rifasamento

Dato un sistema (mono/trifase) avente potenza attiva P , con un certo f.d.p. e alimentato con una tensione concatenata V , si può osservare che:

- fissata la potenza attiva P , la potenza apparente è inversamente proporzionale al f.d.p. e ciò comporta l'utilizzo di macchine elettriche di maggiori dimensioni e costi;
- la potenza persa lungo la linea vale

$$\Delta p = 3R_1 I^2 = 3 \frac{\rho L}{S} \left(\frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi} \right)^2 = \frac{\rho L P^2}{S V^2 \cos^2 \varphi}$$

e risulta tanto maggiore quanto minore è il f.d.p., con maggiori perdite e costi. (L'aumento della tensione o della sezione non produce benefici economici)

- La caduta di tensione industriale lungo la linea vale

$$\begin{aligned} \Delta V &= \sqrt{3} I (R_1 \cos \varphi + X_1 \sin \varphi) = \\ &= \frac{P}{V} (R_1 + X_1 \tan \varphi) = \begin{cases} \frac{P R_1}{V} & \cos \varphi \rightarrow 1 \\ \infty & \cos \varphi \rightarrow 0 \end{cases} \end{aligned}$$

L'aumento di tale c.d.t. industriale al variare del f.d.p. provoca costi maggiori.

Utilizzatori con basso f.d.p.:

- Motori ad induzione (motori asincroni)
- Trasformatori
- Impianti di saldatura elettrica
- Forni ad induzione
- Lampade a scarica nei gas (normalmente già rifasate)
- Impianti di conversione a.c./d.c.

Le tariffe in vigore prevedono un pagamento anche per la potenza reattiva, se la potenza impegnata è maggiore di 15 kW. In particolare:

- il rifasamento è obbligatorio se il $\cos\varphi$ medio mensile è inferiore a 0.7;
- l'energia reattiva non viene pagata se il consumo di energia reattiva è inferiore al 50% dell'energia attiva. In tal caso:

$$Q \leq 0.5P \Rightarrow \frac{Q}{P} = \tan\varphi \leq 0.5 \Rightarrow \cos\varphi \geq 0.9$$

Quindi se il f.d.p. mensile medio è maggiore di 0.9 non viene pagata l'energia reattiva richiesta.

- Per la quota di consumo di energia reattiva compresa tra il 50% ($\cos\varphi=0.89$) ed il 75% ($\cos\varphi=0.8$) dell'energia attiva viene addebitato un certo costo al kvarh
- Per la quota di consumo di energia reattiva superiore al 75% ($\cos\varphi<0.8$) viene addebitato un costo al kvarh superiore al precedente.

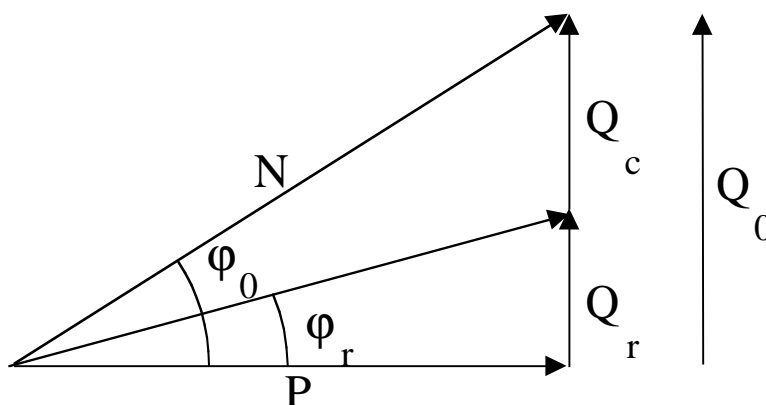
Riassumendo:

- per $\cos\varphi<0.7$ è obbligatorio rifasare;
- per $0.7 \leq \cos\varphi < 0.9$ non è obbligatorio rifasare, ma si deve pagare una certa quota. Può convenire in certi casi rifasare, in funzione dei costi dell'apparato di rifasamento e del consumo di energia reattiva.
- per $\cos\varphi>0.9$ non è obbligatorio rifasare e non si paga nulla.

Calcolo del rifasamento

Sia P la potenza attiva dell'impianto da rifasare, φ_0 l'angolo di sfasamento iniziale e φ_r quello a cui si vuole portare l'impianto. Osservando il diagramma delle potenze, si ha:

$$Q_c = Q_0 - Q_r = P(\operatorname{tg}\varphi_0 - \operatorname{tg}\varphi_r) = K_r P$$



Tab. 23.1 Valori di K_r (kvar/kW) per vari valori di $\cos \varphi_0$ e $\cos \varphi_r$

$\cos \varphi_0 \backslash \cos \varphi_r$	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1
0,40	1,805	1,861	1,924	1,998	2,085	2,288
0,42	1,681	1,738	1,800	1,874	1,961	2,164
0,44	1,558	1,614	1,677	1,751	1,837	2,041
0,46	1,446	1,502	1,567	1,636	1,725	1,929
0,48	1,343	1,400	1,464	1,534	1,623	1,826
0,50	1,248	1,303	1,369	1,441	1,529	1,732
0,52	1,160	1,215	1,281	1,353	1,441	1,644
0,54	1,075	1,130	1,196	1,268	1,356	1,559
0,56	0,996	1,051	1,117	1,189	1,277	1,480
0,58	0,921	0,976	1,042	1,114	1,202	1,405
0,60	0,849	0,905	0,971	1,043	1,131	1,334
0,62	0,781	0,836	0,902	0,974	1,062	1,265
0,64	0,716	0,771	0,837	0,909	0,997	1,200
0,66	0,654	0,709	0,775	0,847	0,935	1,138
0,68	0,595	0,650	0,716	0,788	0,876	1,079
0,70	0,536	0,591	0,657	0,729	0,811	1,020
0,72	0,479	0,534	0,600	0,672	0,754	0,963
0,74	0,425	0,480	0,546	0,618	0,700	0,909
0,76	0,371	0,426	0,492	0,564	0,652	0,855
0,78	0,319	0,374	0,440	0,512	0,594	0,803
0,80	0,266	0,321	0,387	0,459	0,541	0,750
0,82	0,214	0,269	0,335	0,407	0,489	0,698
0,84	0,162	0,217	0,283	0,355	0,437	0,645
0,86	0,109	0,167	0,230	0,301	0,390	0,593
0,88	0,054	0,112	0,175	0,246	0,335	0,538
0,90	/	0,058	0,121	0,192	0,281	0,484

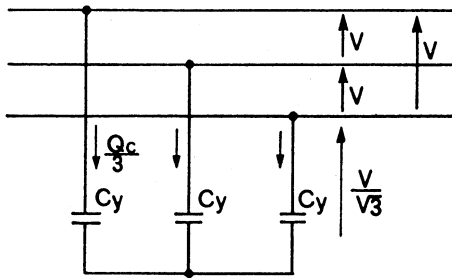
Calcolo delle capacità

moduli

Batteria monofase

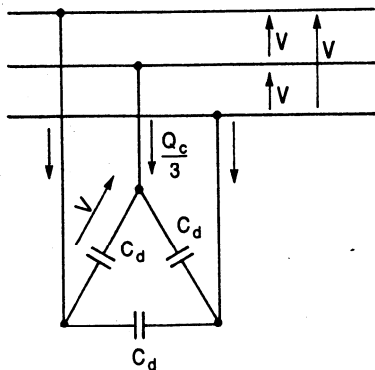
$$Q_c = X_c(I)^2 = B_c(V)^2 = 2\pi f C V^2 \Rightarrow C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2}$$

Batteria trifase con collegamento a stella



$$\frac{Q_c}{3} = 2\pi f C_Y \left(\frac{V}{\sqrt{3}} \right)^2 \Rightarrow C_Y = \frac{Q_c}{2\pi f V^2}$$

Batteria trifase con collegamento a triangolo



$$\frac{Q_c}{3} = 2\pi f C_d V^2 \Rightarrow C_d = \frac{Q_c}{6\pi f V^2}$$

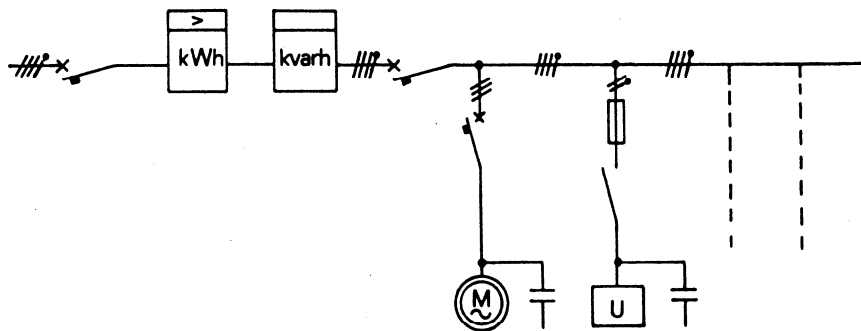
$$C_d = \frac{C_Y}{3}$$

Il collegamento a triangolo consente di utilizzare condensatori di capacità inferiore, ma che devono essere isolati per la tensione concatenata, mentre quelli a stella sono isolati per la tensione di fase (inferiore a quella concatenata). Quindi:

- nei sistemi di prima categoria (bassa tensione) la scelta è indifferente;
- nei sistemi di seconda e terza categoria (media e alta tensione) si sceglie il collegamento a stella.

Modalità di rifasamento

refasamento distribuito

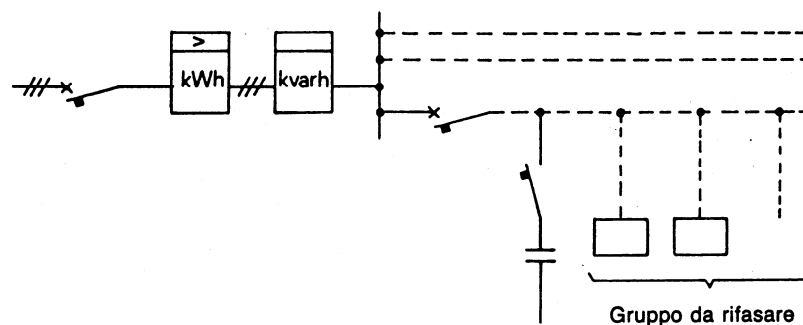


Un condensatore in parallelo per ogni utilizzatore, comandato dallo stesso apparecchio di manovra. Conveniente per pochi utilizzatori di notevole potenza.

Vantaggi:

- si adegua la potenza rifasante al numero degli utilizzatori;
- diminuisce la corrente nella conduttura, permettendo di ridurre la sezione dei cavi.

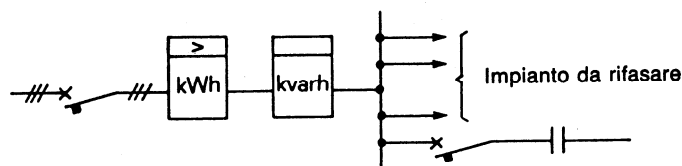
refasamento per gruppi



Una batteria di condensatori in parallelo per ogni gruppo di utilizzatori omogenei.

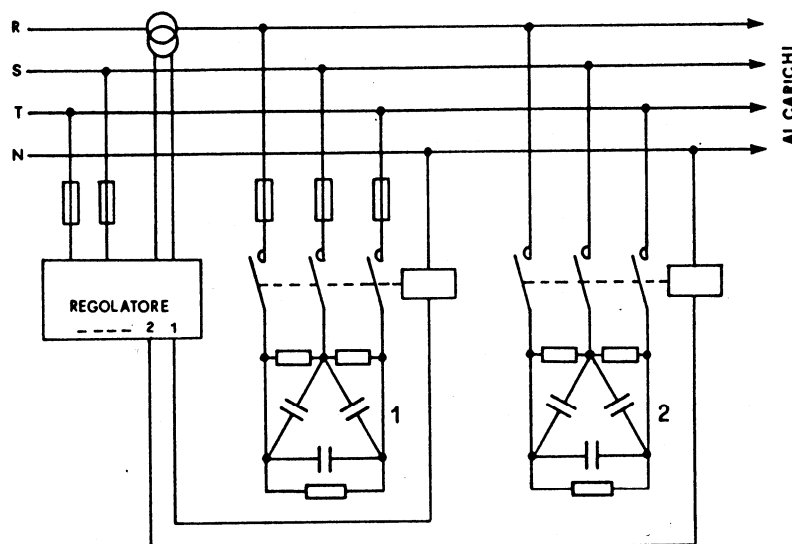
Nessun risparmio sui cavi.

rifasamento centralizzato a potenza costante



Un'unica batteria di condensatori per tutto l'impianto, che va calcolata tenendo conto del fattore di utilizzazione e di contemporaneità degli utilizzatori. E' importante avere potenza e $\cos\phi$ costanti in tutto l'impianto per assicurare un rifasamento corretto.

rifasamento centralizzato a potenza modulabile



La massima potenza reattiva capacitativa richiesta viene suddivisa su diverse batterie di rifasamento che entrano in funzione al variare delle esigenze del carico mantenendo un $\cos\phi$ costante in tutto l'impianto. Normalmente si usa un regolatore elettronico per inserire/disinserire le batterie di condensatori. Se le batterie presentano potenze reattive di diversa entità si possono ottenere molte combinazioni di potenza reattiva totale. Ad es. con 3 moduli di potenza 2.5 kvar, 5 kvar e 10 kvar si ottengono le seguenti combinazioni: 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 e 17.5.

Caratteristiche delle batterie di condensatori

- tensione nominale: deve essere maggiore di quella di esercizio: 230 V, 400 V, 550 V;
- frequenza nominale: è quella della rete elettrica;
- potenza reattiva nominale: è il valore della potenza reattiva calcolata alla tensione ed alla frequenza nominali;
- capacità: non sempre specificata, varia con la temperatura;
- tolleranza sulla capacità: scostamento rispetto al valore nominale, compreso tra il -5% ed il 10%;
- classe di temperatura ambiente: intervallo di temperatura in cui si garantiscono le caratteristiche; classe A (da -25° a +40°) classe B (da -10° a 40°) classe C (da -10° a +45°);
- fattore di perdita: rappresenta le perdite all'interno del condensatore, variabile tra 0.1 e 0.5 W/kvar;
- tensione massima di riferimento per l'isolamento: indicata per tensioni nominali maggiori di 1000 V;
- collegamento interno: a stella o a triangolo;
- tipo d'installazione: deve essere indicato se per interno od esterno e se può assumere qualunque posizione;
- contrassegno di riferimento alle norme: indica quali norme soddisfa il prodotto;
- massima corrente ammessa in servizio: espressa in funzione della corrente nominale e di norma si attesta a circa $1.3I_n$.

Valori di batterie commerciali di condensatori per sistemi a b.t.

Potenza nominale (kvar)	Tensione nominale (V)	Corrente nominale (A)	
2,5	230	6,5	Mono- fase
5	230	13	
10	230	25	
15	230	38	
20	230	50	
25	230	63	
1	400	1,5	Trifase
2	400	3	
3	400	4,5	
5	400	7	
10	400	14	
15	400	21	
20	400	29	
30	400	43	
40	400	58	
50	400	72	
5	550	5	
10	550	10	
15	550	15	
20	550	20	
30	550	30	
40	550	40	
50	550	50	

Valori regolatori automatici di potenza reattiva

Potenza massima (kvar)	Moduli		Numero combinazioni
	n.	Potenze (kvar)	
7,5	3	2,5	3
12,5	5	2,5	5
15	6	2,5	6
22,5	9	2,5	9
30	12	2,5	12
37,5	15	2,5	15
45	18	2,5	18
30	3	6-12-12	5
40	3	7,5-12,5-20	5
50	3	12,5-12,5-25	5
60	3	12-24-24	5
75	3	15-30-30	5
90	4	10-20-30-30	7
110	5	12,5-25-25-25-25	9
120	5	10-20-30-30-30	9
150	5	20-30-30-30-40	9
180	5	20-40-40-40-40	9
225	5	25-50-50-50-50	9