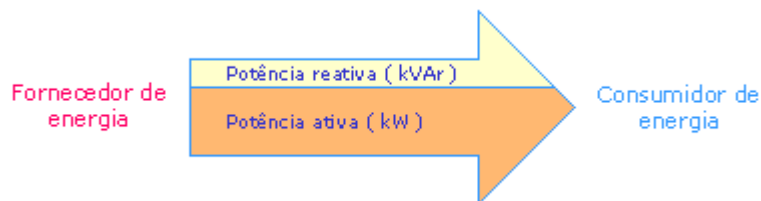


Fator de Potência e sua correção

A energia elétrica consumida em uma instalação industrial é composta basicamente por duas parcelas distintas, que são:



BANCO DE CAPACITORES

Nota: Energia consumida por unidade de tempo chama-se potência.

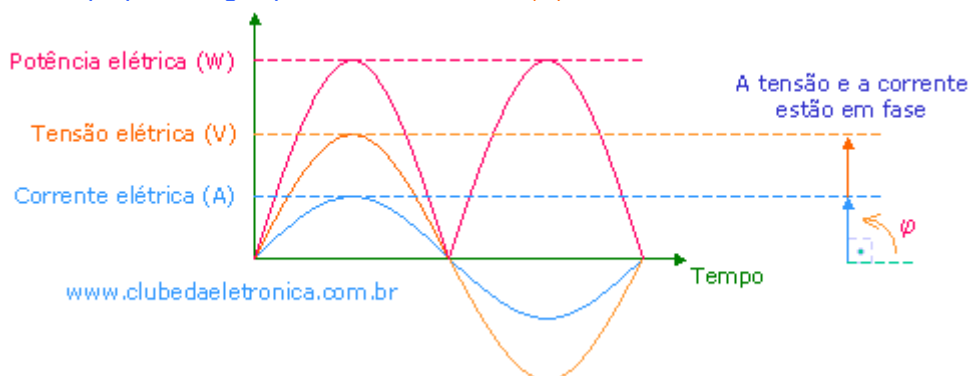
Potência ativa (W): é a que realmente produz trabalho, isto é, faz os motores e os transformadores funcionarem.

Potência reativa (VAr): não realiza trabalho efetivo, mas é necessária e consumida na geração do campo eletromagnético responsável pelo funcionamento de motores, transformadores e geradores.

O que geram as potências ativa e reativa?

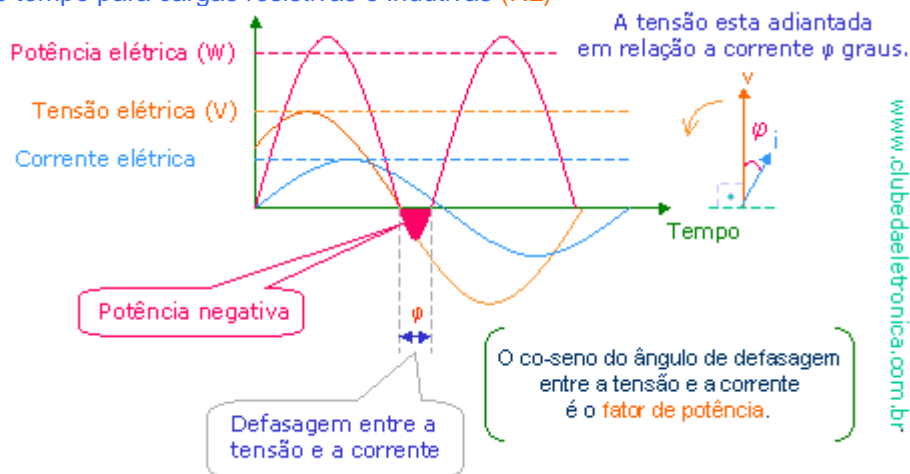
Em circuitos puramente resistivos a tensão e a corrente caminham juntas, ou seja, se a tensão for positiva a corrente será positiva e o produto potência será **positivo**. Análogo, se a tensão for negativa a corrente também será negativa e o produto potência também será **positivo**. Nesse tipo de instalação toda a potência fornecida será aproveitada denominada **potência ativa**.

Diagrama do tempo para cargas puramente resistivas (R)

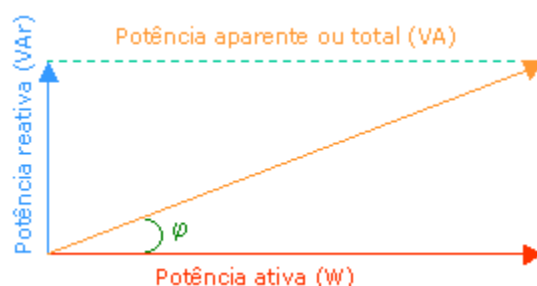


Hoje em dia é praticamente impossível encontrar em uma instalação cargas 100% resistivas, isso porque nas indústrias existem motores, transformadores, reatores etc. Nesses tipos de carga dito indutivas, corrente está adiantada em relação à tensão, ou seja, em um determinado momento a tensão será negativa e a corrente positiva, isso nos dará um produto **potência negativa**.

Diagrama do tempo para cargas resistivas e indutivas (RL)



A composição fasorial destas duas potências ativa (positiva) e reativa (negativa) na Potência aparente ou total, medida em kVAh. Um triângulo retângulo é usado para representar as três potências. Vejamos:



Relações entre as potências

$$\cos\varphi = P(W) \div S(VA)$$

$$\sin\varphi = Q(Var) \div S(VA)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

A relação entre a energia ativa e a energia aparente é o fator de potência, e o ângulo φ é a defasagem entre a tensão e a corrente.

O fator de potência é a relação entre a potência ativa (W) e a potência aparente (S) é também chamado de $\cos\varphi$ e pode ser calculado pela seguinte equação:

$$\text{Fator de potência} = \cos\varphi = \frac{\text{Potência ativa (W)}}{\text{Potência aparente (VA)}}$$

Nota: o fator de potência num sistema não linear não respeita a fórmula acima se não forem instalados filtros ou indutores nos equipamentos que geram harmônicas.

O FATOR DE POTÊNCIA MOSTRA SE A EMPRESA CONSOME ENERGIA ELÉTRICA ADEQUADAMENTE OU NÃO.

Vamos a um exemplo:

Em uma determinada industria foi registrado, pela medição, os seguintes valores de consumo:

- Potência ativa (P) = 8MW
- Potência reativa (Q) = 6MVar

Qual a potência aparente e o fator de potência?

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$S^2 = 8000000^2 + 6000000^2$$

$$S = 10000000\text{VA ou } 10\text{MVA}$$

$$\text{Fator de potência} = \cos\varphi = P (W) \div S(\text{VA})$$

$$\text{Fator de potência} = \cos\varphi = 8\text{MW} \div 10\text{MVA}$$

$$\text{Fator de potência} = \cos\varphi = 0,8$$

Nota: Os medidores potência ativa (W) e reativa (VAR) são respectivamente wattímetro e varímetro.

A multa pelo consumo inadequado da energia elétrica.

Resolução ANEEL 456/2000 determina que o fator de potência deve ser mantido o mais próximo possível da unidade (1), mas permite um valor mínimo de 0,92.

Se o Fator de Potência estiver abaixo desse mínimo, a conta de energia elétrica sofrerá um ajuste em reais, com base no seguinte cálculo:

$$\text{Acréscimo} = \text{Valor da fatura} \times \left(\frac{0,92}{\text{Fator de potência medido}} - 1 \right)$$

Vamos verificar a multa que será aplicada a indústria com um fator de potência de 0,8.

$$\text{Multa} = \text{valor da fatura} \times \left(\frac{0,92}{0,80} - 1 \right)$$

A multa aplicada será de 15 % sobre o valor da fatura.

Principais causas de um baixo fator de potência:

- ❑ Transformadores operando a vazio ou subcarregados durante longos períodos de tempo.
- ❑ Motores operando em regime de baixo carregamento.
- ❑ Utilização de grande número de motores de pequena potência.
- ❑ Instalação de lâmpadas de descarga (fluorescentes, de vapor de mercúrio e de vapor de sódio).
- ❑ Capacitores ligados nas instalações das unidades consumidoras no período da madrugada.

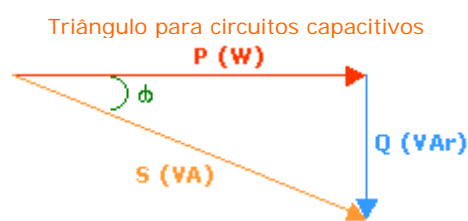
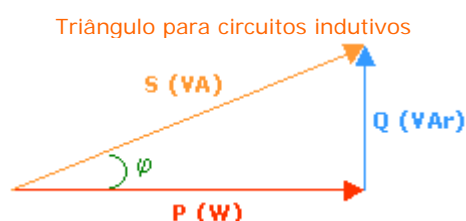
Um baixo fator de potência indica que a energia está sendo mal aproveitada pela sua empresa. Nesse caso, podem ocorrer as seguintes situações:

- ❑ Aumento das perdas elétricas internas da instalação.
- ❑ Queda de tensão na instalação.
- ❑ Redução do aproveitamento da capacidade dos transformadores.
- ❑ Condutores aquecidos.

Corrigindo o fator de potência

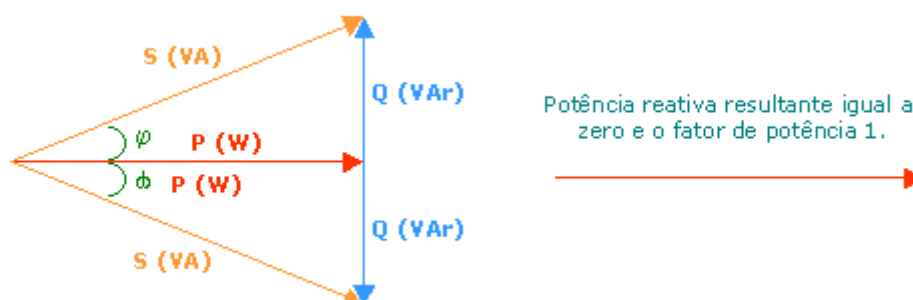
Uma forma econômica e racional de se obter a energia reativa necessária para a operação adequada dos equipamentos é a instalação de capacitores próximos desses equipamentos. Isso porque:

- ❑ Em circuitos indutivos a corrente está atrasada em relação à tensão;
- ❑ Em Circuitos capacitivos a corrente está adiantada em relação à tensão.



Colocando um capacitor em paralelo com o indutor a corrente será adiantada e teremos a tensão e corrente em fase e a potência reativa Q (Var) resultante será zero.

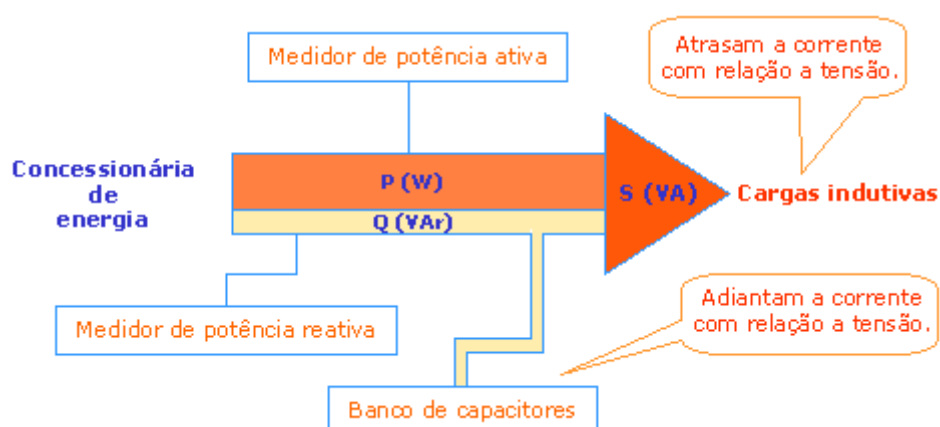
Representação fasorial



Nota: Em cargas indutivas a tensão está adiantada em relação a corrente e em cargas capacitivas a tensão está atrasada em relação a corrente.

Instalando capacitores de correção

A instalação de capacitores, porém deve ser precedida de medidas operacionais que levem à diminuição da necessidade de energia reativa, como o desligamento de motores e outras cargas indutivas ociosas ou superdimensionadas.



Após a instalação de capacitores, boa parte da energia reativa que antes era fornecida pela rede agora é fornecida pelos capacitores, eliminando o pagamento da taxa de excedente reativo para a concessionária de energia.

Tipos de correção do fator de potência

A correção pode ser feita instalando os capacitores de quatro maneiras diferentes, tendo como objetivos a conservação de energia e a relação custo/benefício:

- ❑ **Correção na entrada da energia de alta tensão:** corrige o fator de potência visto pela concessionária, permanecendo internamente todos os inconvenientes citados pelo baixo fator de potência e o custo é elevado.
- ❑ **Correção na entrada da energia de baixa tensão:** permite uma correção bastante significativa, normalmente com bancos automáticos de capacitores. Utiliza-se este tipo de correção em instalações elétricas com elevado número de cargas com potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes. A principal desvantagem consiste em não haver alívio sensível dos alimentadores de cada equipamento.
- ❑ **Correção por grupos de cargas:** o capacitor é instalado de forma a corrigir um setor ou um conjunto de pequenas máquinas (menor de 10 CV). É instalado junto ao quadro de distribuição

que alimenta esses equipamentos. Tem como desvantagem não diminuir a corrente nos circuitos de alimentação de cada equipamento.

- ❑ **Correção localizada:** é obtida instalando-se os capacitores junto ao equipamento que se pretende corrigir o fator de potência. Representa, do ponto de vista técnico, a melhor solução, apresentando as seguintes vantagens:
 - reduz as perdas energéticas em toda a instalação;
 - diminui a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos;
 - pode-se utilizar em sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, economizando-se um equipamento de manobra;
 - gera potência reativa somente onde é necessário.
- ❑ **Correção mista:** no ponto de vista conservação de energia, considerando aspectos técnicos, práticos e financeiros, torna-se a melhor solução. Usa-se o seguinte critério para correção mista:
 - Instala-se um capacitor fixo diretamente no lado secundário do transformador;
 - Motores de aproximadamente 10 cv ou mais, corrige-se localmente (cuidado com motores de alta inércia, pois não se deve dispensar o uso de contatores para manobra dos capacitores sempre que a corrente nominal dos mesmos for superior a 90% da corrente de excitação do motor).
 - Motores com potências inferiores a 10 CV corrigem-se por grupos.
 - Redes próprias para iluminação com lâmpadas de descarga, usando-se reatores de baixo fator de potência, corrige-se na entrada da rede;
 - Na entrada instala-se um banco automático de pequena potência para equalização final.

Dimensionando os capacitores de correção

Os capacitores poderiam corrigir 100% das necessidades reativas do circuito, ou seja, poderiam elevar o fator de potência a 1,00. Na prática, porém, a correção do fator de potência para aproximadamente 95% (fator 0,95) possui a melhor relação custo/benefício. Esse valor também é o recomendado pelas concessionárias de energia elétrica.

Vamos a um exemplo:

Em uma instalação industrial temos as cargas elétricas abaixo discriminadas e queremos o fator de potência da instalação:

Dados da rede:

- ❑ Tensão de linha 380V
- ❑ Freqüência 60Hz

Cargas instaladas:

- ❑ 100 lâmpadas fluorescentes de 40 W, cada uma com reator de 8W e fator de potência de 0,9;
- ❑ 50 lâmpadas incandescentes de 200W cada;
- ❑ 20 motores de indução de 5,0 CV, $\cos\phi = 0,8$ e rendimento de 0.85;
- ❑ 01 motor síncrono de 30 HP, $\cos\phi = 0,95$ e rendimento de 0.95.

Lâmpadas fluorescentes

$$100 \times 40 = 4000W \text{ ou } 4kW$$

Reatores

$$100 \times 8 = 800W \text{ ou } 0,8kW$$

$$\cos\phi = 0,9 \therefore \phi = \text{Acos}(0.9) = 25,84^\circ$$

$$S = P \div \cos\phi$$

$$S = 800W \div 0,9$$

$$S = 888,89 \text{ VA}$$

$$Q = S \cdot \sin\phi$$

$$Q = 888,89\text{VA} \cdot \sin 25,84^\circ$$

$$Q = 387,46 \text{ VAr}$$

Lâmpadas incandescentes

$$50 \times 200\text{W} = 10\text{kW}$$

$$20 \text{ Motores de indução } 100 \text{ CV} = 100 \times 735,75 = 73575\text{W}$$

$$\cos\phi = 0,8 \therefore \phi = \text{Acos}(0.8) = 36,86^\circ$$

$$S = 73575\text{W} \div \cos\phi \cdot \eta$$

$$S = 73575\text{W} \div 0,8 \cdot 0,85$$

$$S = 108198,53\text{VA}$$

$$P = 73575\text{W} \div 0,85$$

$$P = 86558,82 \text{ W}$$

$$Q = S \cdot \sin\phi$$

$$Q = 108198,53\text{VA} \cdot \sin 36,86^\circ$$

$$Q = 64919,12 \text{ VAr}$$

$$\text{Motor síncrono } 30\text{hp} = 30 \times 745,7 = 22371\text{W}$$

$$\cos\phi = 0,95 \therefore \phi = \text{Acos}(0.95) = 18,19^\circ$$

$$S = 22371\text{W} \div \cos\phi \cdot \eta$$

$$S = 22371\text{W} \div 0,95 \cdot 0,9$$

$$S = 26164,91\text{VA}$$

$$P = 22371\text{W} \div 0,9$$

$$P = 24856,67 \text{ W}$$

$$Q = S \cdot \sin\phi$$

$$Q = 26164,91\text{VA} \cdot \sin 18,19^\circ$$

$$Q = 8169,99 \text{ VAr (Em máquinas síncronas o fator de potência está adiantado)}$$

$$\text{Potência ativa total} = 4000\text{W} + 800\text{W} + 10000\text{W} + 86558,82 \text{ W} + 24856\text{W} = 126214,82\text{W}$$

$$\text{Potência reativa total} = 387,46\text{VAr} + 64919,12 \text{ VAr} - 8169,99\text{VAr} = 57136,59\text{VAr}$$

A potência aparente total pode ser calculada por:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$S^2 = 126214,82^2 + 57136,59^2$$

$$S = 138545,19\text{VA}$$

$$\text{Fator de potência} = \cos\phi = P(\text{W}) \div S (\text{VA})$$

$$\text{Fator de potência} = \cos\phi = 126214,82\text{W} \div 138545,19\text{VA}$$

$$\text{Fator de potência} = \cos\phi = 0,91$$

Concessionárias recomendam que esse valor seja elevado para 0.95, então vamos corrigi-lo.

Tabela para correção do fator de potência

Fabricantes de banco de capacitores fornecem em seus catálogos, tabelas para melhoramento do fator de potência. Vejamos uma delas:

cosφ atual	cosφ desejado								
	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,55	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
0,56	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
0,57	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441
0,58	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,202	1,262	1,405
0,59	0,943	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
0,60	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
0,61	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
0,62	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
0,63	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
0,64	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
0,65	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
0,66	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,886	0,935	0,996	1,138
0,67	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
0,68	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
0,69	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
0,70	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,71	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
0,72	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,73	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,74	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,75	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
0,76	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,77	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,78	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
0,79	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,80	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,81	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,82	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,83	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,84	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,85	0,194	0,225	0,257	0,291	0,28	0,369	0,417	0,477	0,620
0,86	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,450	0,593
0,87	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,88	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,89	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,90	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484
0,91	0,030	0,060	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
0,92	0,000	0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426
0,93		0,000	0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395
0,94			0,000	0,037	0,071	0,112	0,160	0,230	0,363
0,95				0,000	0,037	0,078	0,126	0,186	0,329
0,96					0,000	0,041	0,089	0,149	0,292
0,97						0,000	0,048	0,108	0,251
0,98							0,000	0,061	0,203
0,99								0,000	0,142
1,00									0,000

Para determinar o fator de potência ou $\cos\phi$ atual é recomendado, no mínimo, a média dos últimos doze meses e em casos de sazonalidade, deve-se fazer a análise dos períodos em separado, levando-se em consideração o pior caso;

Vamos aos cálculos:

Fator de potência desejado - recomenda-se fator 0,95;

Potência ativa consumida (P) - valor da demanda registrada (kW);

Fator multiplicador (K) - conforme de correção;

A potência reativa do capacitor é dada pela seguinte equação:

$$Q = P \cdot K$$

potência reativa do capacitor necessária em kVAr;
potência ativa consumida em kW;
coeficiente a ser aplicado, conforme tabela de correção.

$$P = 126214,82W$$

Fator de potência atual = 0,91

Fator de potência desejado = 0,95

$$K = 0,127$$

$$Q = P \cdot K$$

$$Q = 126214,82W \cdot 0,127$$

$$Q = 16029,28 \text{ VAr}$$

São necessários cerca de 16 kVAr para corrigir o fator de potência para próximo de 0,95.

Efeitos da correção do fator de potência na instalação

Ao corrigir o fator de potência, **diminui o dreno de corrente** da fonte geradora e conseqüentemente **haverá um aumento de tensão**, por **redução das perdas nos condutores elétricos**, liberando assim, a capacidade elétrica da instalação. Voltamos a nossa instalação:

Sem correção do fator de potência

$$\text{Potência aparente inicial (S)} = 138545,19VA$$

$$I = S \div \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi$$

$$I = 138545,19VA \div \sqrt{3} \cdot 380V \cdot 0,91$$

$$I = 231,57 \text{ A}$$

Com correção do fator de potência

$$\text{Potência aparente inicial (S)} = 138545,19VA$$

$$I = S \div \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi$$

$$I = 138545,19VA \div \sqrt{3} \cdot 380V \cdot 0,95$$

$$I = 221,57 \text{ A}$$

Neste caso, após a correção do fator de potência, a instalação poderá ter aumentos de cargas em até 4,5%. Isto se, esse percentual não estiver sobrecarregando a fiação.

Corrigindo o fator de potência do motor individualmente

Uma vez que do ponto de vista técnico a correção localizada representa a melhor solução, daremos melhor ênfase. Para correção localizada usaremos a seguinte equação:

$$Q = \frac{(\% \text{ carga}) \cdot P \cdot K}{\eta}$$

fator relativo à potência de trabalho do motor
potência ativa do motor em kW
coeficiente a ser aplicado, conforme tabela de correção
rendimento do motor em função do percentual de carga que está operando
potência reativa do capacitor necessária em kVAr

Vamos a um exemplo:

Um motor de 20HP, operando com 75% da carga possui um fator de potência atual de 0,86. Deseja-se corrigi-lo para 0,95. Vamos aos cálculos:

$$P = 20 \text{ HP} = 14,9\text{kW}$$

$$\eta = 0,9$$

$$\text{Fator de potência atual} = 0,86$$

$$\text{Fator de potência desejado} = 0,95$$

$$K = 0,265$$

$$Q = (0,75 \times 14,9 \times 0,265) \div 0,9$$

$$Q = 3,29\text{VAr}$$

São necessários cerca de 16 kVAr para corrigir o fator de potência para próximo de 0,95.

Os fabricantes de motores fornecem tabelas com os capacitores necessários para correção individual.

Ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar.

www.clubedaeletronica.com.br

Referências bibliográficas

- ❑ Creder, H. Instalações elétricas – 13ª edição. São Paulo: LTC, 1995.
- ❑ Gussow, Milton. Eletricidade básica – São Paulo. Schaum McGraw-Hill, 1985.
- ❑ Manual para Correção do Fator de Potência WEG
- ❑ Manual para Correção do Fator de Potência Siemens.
- ❑ Manual para Correção do Fator de Potência Lorenzetti.