

Numa instalação elétrica, os elementos que a compõem podem atuar como consumidores, que utilizam a potência elétrica (ativa) da rede como fonte de energia de alimentação (computadores, impressoras, aparelhos de diagnóstico, entre outros), ou como conversor noutra forma de energia (por exemplo: lâmpadas ou fornos), ou em trabalho útil (como motores elétricos).

Para que isto ocorra, geralmente é necessário que o elemento da instalação comute com a rede (com um consumo líquido nulo), energia reativa principalmente de tipo indutiva. Esta energia, mesmo se não se converter imediatamente noutras formas, contribui para aumentar a potência total que transita para a rede elétrica, desde os geradores, ao longo de todas as linhas elétricas, até aos elementos que a utilizam. Para atenuar este efeito negativo é necessária a correção do Fator de Potência nas instalações elétricas. Devemos, contudo, salientar que, sem esta energia, não há fluxo magnético indispensável ao movimento ou na física da energia magnética no entreferro de um transformador, motor ou gerador.

A correção, através do uso de baterias de condensadores para gerar *in situ* a energia reativa necessária para a transferência de potência elétrica útil, permite uma gestão técnico-económica melhor e mais racional das instalações. Além disso, a atual difusão de equipamentos de Corrente Contínua ou componentes parasitas e transitórias, na iluminação de alta frequência, na eletrónica de potência nos conversores de frequência

(VEV) para acionamentos elétricos, inversores solares da microgeração e plantas solares, carregamento de veículos elétricos, entre outros, são tecnologias que intrinsecamente implicam a geração de harmónicas de corrente que se descarregam na rede, que têm como consequência a contaminação e distorção das formas de onda de outras cargas associadas. Face ao exposto, o uso de filtros de harmónicas, passivos ou ativos, contribui para melhorar a qualidade de potência total da rede, efetuando também a correção para a frequência de rede se os referidos filtros se encontrarem devidamente dimensionados. Tema que abordaremos num próximo artigo técnico.

### 1. Generalidades sobre a correção do Fator de Potência e $\cos\varphi$

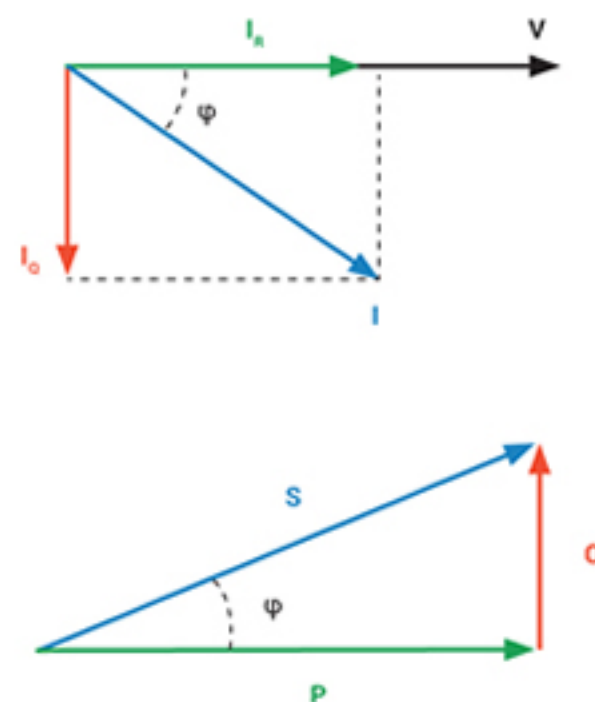
Nos circuitos de Corrente Alternada, corrente absorvida por uma carga pode ser representada por dois componentes:

- a componente ativa  $I_R$  em fase com a tensão de alimentação que está diretamente relacionada com o trabalho útil desenvolvido (e, por isso, com a parte proporcional de energia transformada em energia de outro tipo: mecânica, luminosa, térmica...);
- a componente reativa  $I_Q$ , perpendicular em relação à tensão, que serve para produzir o fluxo necessário para a conversão das potências através do campo eléctrico ou magnético e é um índice do intercâmbio energético entre a alimentação e o elemento da instalação elétrica. Sem esta componente não poderia ocorrer uma transferência líquida de potência, por exemplo, por intervenção do acoplamento magnético no núcleo de um transformador ou no entreferro de um motor.

O  $\cos\varphi$  representará o resultado do desfasamento entre a tensão  $U$  corrente  $I$ , e esta dependente do tipo de circuito. Se puramente resistivo (ideal) ou afetado indutiva ou capacitivamente.

No caso mais comum, na presença de cargas tipo óhmico indutivas, (circuitos do tipo RL) a corrente total  $I$  resulta desfasada ( $\varphi$ ) em relação à componente ativa  $I_R$ , tomando o  $\cos\varphi$  valores inferiores ao ideal 1.

Por outro lado, tomando como princípio que numa instalação elétrica é necessário gerar e transportar, concluímos que, além da potência ativa útil  $P$ , também uma



determinada potência reativa  $Q$ , indispensável para a conversão da energia elétrica mas, que não pode ser aproveitada pelas cargas. A componente da potência gerada e transportada constitui a potência aparente  $S$ . É à relação potência útil  $P$  e aparente  $S$  que se dá o nome de Fator de Potência (FP).

O laço comum entre os dois conceitos cruza-se no ângulo  $\varphi$ .

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} \quad FP = \frac{P}{S}$$

Na presença cada vez mais comum de cargas não lineares (nos acionamentos com recurso a variador de frequência, no controlo DC, nos retificadores, nas SAI<sup>1</sup>, entre outros), reflexo da eletrónica de potência cada vez mais generalizada nas instalações elétricas, o conceito Fator de Potência ganha uma maior preponderância face ao  $\cos\varphi$ , já que as componentes harmónicas entram também nesta relação.

Para o cálculo da energia reativa a faturar utiliza-se o fator  $\tan\varphi$ , o qual define a relação entre a energia reativa e a energia ativa medida no mesmo período.

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P}$$

Quanto maior for a  $\tan\varphi$  menor será o Fator de Potência e maior será o fluxo da energia reativa nas redes.

<sup>1</sup> Conforme legislação nacional, RTIEBT, Decreto-Lei n.º 226/2005, Portaria 949-A/2006, [I] 551 Sistemas geradores de Baixa Tensão.



Na Tabela 1 são apresentados alguns fatores de potência típicos.

TABELA 1. FATORES DE POTÊNCIA TÍPICO.

Carga	Fator de Potência	tgφ
Transformadores (em vazio)	0,1 a 0,15	9,9 a 6,6
Motores (em plena carga)	0,7 a 0,85	1,0 a 0,62
Motores (em vazio)	0,15	6,6
<b>Aparelhos para trabalhar o metal:</b>		
- soldadura por arco	0,35 a 0,5	2,7 a 1,3
- soldadura por arco compensada	0,7 a 0,8	1,0 a 0,75
- soldadura por resistência	0,4 a 0,8	2,3 a 1,3
- forno de fusão por arco	0,75 a 0,9	0,9+0,5
<b>Lâmpadas fluorescentes</b>		
- compensadas	0,9	0,5
- não compensadas	0,4 a 0,6	2,3 a 1,3
<b>Lâmpadas de vapor de mercúrio</b>		
	0,5	1,7
<b>Lâmpadas de vapor de sódio</b>		
	0,65 a 0,75	1,2 a 0,9
Conversores C.C. C.A.	0,6 a 0,95	1,3 a 0,3
Acionamentos C.C.	0,4 a 0,75	2,3 a 0,9
Acionamentos C.A.	0,95 a 0,97	0,33 a 0,25
Carga resistiva	1	0

A correção do Fator de Potência é a ação de aumentar a relação entre as potências (Q e P) num ponto da instalação onde se injeta localmente a potência reativa necessária a compensar, reduzindo assim o valor de corrente requerida e a potência absorvida a montante.

Desta forma, tanto a canalização como o gerador de alimentação podem ser dimensionados para uma menor potência aparente (S).

Em detalhe, como apresentado de forma aproximada nas Figuras 1 e 2, aumentando o Fator de Potência da carga:

- diminui a queda de tensão relativa  $U_{rp}$  por unidade de potência ativa transmitida;
- aumenta-se a potência ativa que pode ser transmitida e diminuem as perdas em iguais condições de outros parâmetros de dimensionamento.

Para as empresas de produção e distribuição de energia, assumir a tarefa de produzir e transmitir a potência reativa requerida pelas instalações utilitárias significa uma série de inconvenientes, que podem resumir-se em:

- Sobredimensionamento das linhas e da aparelhagem das linhas de transmissão;
- Maiores perdas por efeito Joule e quedas de tensão mais elevadas nas linhas e aparelhagem.

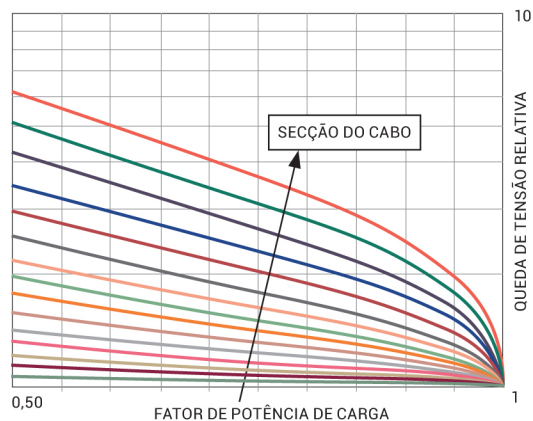


FIGURA 1. QUEDA DE TENSÃO RELATIVA POR UNIDADE DE POTÊNCIA ATIVA TRANSMITIDA.

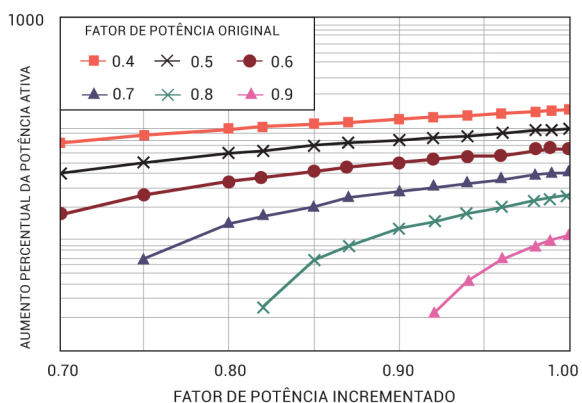


FIGURA 2. POTÊNCIA ATIVA QUE PODE SER TRANSMITIDA. AUMENTO DA POTÊNCIA ATIVA EM IGUAIS CONDIÇÕES DE DIMENSIONAMENTO.

Os mesmos inconvenientes são apresentados na instalação de distribuição do utilizador final.

O Fator de Potência constitui um índice utilizado pelas empresas de energia para definir os custos adicionais e, por consequência, utilizam-no para estabelecer o preço de venda da energia ao utilizador final.

O ideal seria ter um Fator de Potência ligeiramente superior ao fixado como referência, para não ter custos de penalização correspondentes, e ainda, ao mesmo tempo, não correr o risco de ter um Fator de Potência corrigido antecipadamente e demasiado próximo da unidade, não antevendo exploração e funcionamento de uma instalação ou circuitos a meia carga. Ou seja, estaremos a injetar uma potência reativa de componente capacitiva excessiva.

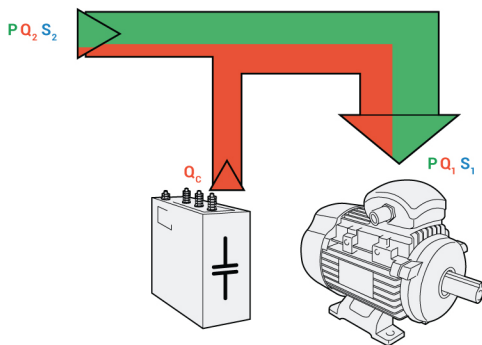
De facto, as empresas de fornecimento de energia geralmente não permitem que se forneça energia reativa à rede sem uma análise cuidada, também devido à possibilidade de sobretensões imprevistas, sentidas nas suas redes.

No caso de formas de onda sinusoidais, a potência reativa que faz falta para passar de um Fator de Potência  $\cos \varphi_1$  para um Fator de Potência  $\cos \varphi_2$  é apresentado pela seguinte equação:

$$Q_0 = Q_2 - Q_1 = P(tg \varphi_1 - tg \varphi_2)$$

Onde:

- P** potência ativa;
- $Q_1, \varphi_1$**  potência reativa e o ângulo de defasamento antes da correção do Fator de Potência;
- $Q_2, \varphi_2$**  potência reativa e o ângulo de defasamento depois da correção do Fator de Potência;
- $Q_0$**  potência reativa de correção do Fator de Potência;



## CONDENSADORES SECOS



CLMD 43, 53, 63 E 83



MODULAR - CLMD 13



COMPACTO - CLMD 33A



FIGURA 3.

Exemplo:

Suponhamos que pretendemos aumentar o Fator de Potência de uma instalação trifásica ( $U_n = 400 \text{ V}$ ) que consome, em média, 300 kW, de 0,8 a 0,96.

A corrente absorvida será:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_1} = \frac{300 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 540 \text{ A}$$

Aplicando a fórmula anteriormente descrita obtém-se a potência reativa que deve ser produzida localmente  $Q_0$ :

$$Q_c = P (tg \varphi_1 - tg \varphi_2) = 300 \cdot (0,75 - 0,3) = 135 \text{ kVar}$$

Por efeito da correção, a corrente absorvida passa de 540 A para:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_2} = \frac{300 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,96} = 451 \text{ A}$$

(redução de 17% aproximadamente)

Com tudo isto, as principais vantagens da correção podem resumir-se da seguinte forma:

- uso otimizado das máquinas elétricas;
- uso otimizado das linhas elétricas;
- redução das perdas;
- redução da queda de tensão.

## Caraterísticas das baterias de condensadores para a correção do Fator de Potência

A forma mais económica para aumentar o Fator de Potência, sobretudo se a instalação já existir, é instalar condensadores.

Os condensadores apresentam as seguintes vantagens:

- custo inferior em relação aos compensadores síncronos e aos conversores eletrónicos de potência;
- simplicidade de instalação e manutenção;
- perdas reduzidas (inferiores a 0,2 W/kvar de Baixa Tensão);

- possibilidade de abranger uma ampla margem de potências e diversos perfis de carga, simplesmente alimentando em paralelo diversas combinações de componentes de potência unitária relativamente pequena.

Do ponto de vista técnico destacamos ainda os argumentos diferenciadores dos condensadores das baterias CLMH-1, os CLMD 33A:

### Filme metalizado ABB

Dielétrico de fabrico ABB, no centro de competência da marca na Bélgica. Isolante (filme) em polipropileno metalizado que proporciona:

- Elevada resistência a potenciais disrupções em Alta Tensão;
- Resistência a elevados picos de corrente;
- Vida útil reforçada face aos elevados esforços elétricos que se registam com cada vez mais presença de cargas não lineares;



FIGURA 4.

- Propriedades extraordinárias, pouco comuns, de autogeneração (engenharia com perfuração), que permite a vaporização das matérias constituintes dos condensadores exatamente no ponto estratégico, garantindo, assim, uma melhor continuidade de serviço;
- Proteção interna especial. Os elementos chamados IPE (*Internally Protected Element*) têm um sistema de proteção patenteado ABB, que usa um fusível interno e um condensador auxiliar em paralelo com o condensador principal. Esta montagem permite uma só solução adaptada a fenómenos de curta duração ou longa;
- Proteção contra incêndios. Os invólucros dos condensadores são em material mineral inerte e não inflamável. Acrescenta-se também a utilização da mesma combinação química nos espaços entre condensadores (cartuchos) servindo como isolante e diminuindo todo o oxigénio no espaço livre. Mais ainda, a sua flexibilidade permite-lhe manter a energia expansiva numa possível explosão dos elementos condensadores.

No entanto, atualmente o mercado da especialidade apresenta-nos baterias sobrevoltadas



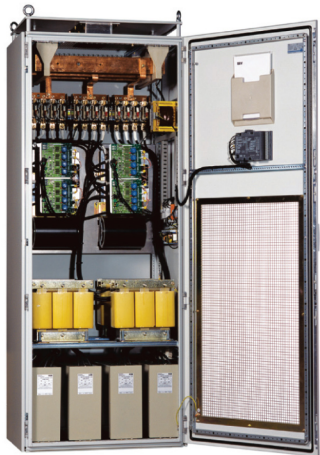


FIGURA 5.

Os contratos aplicados podem ser diferentes dependendo do país, e também podem variar em função do tipo de cliente. Compete à entidade reguladora<sup>2</sup> a devida aferição dos valores admissíveis pelas legislações nacional e comunitárias<sup>3</sup>, no princípio duma rede elétrica cada vez mais partilhada entre produtores, distribuidores e consumidores.

Face ao exposto, a matéria seguinte deve considerar-se apenas a título didático e indicativo, com a intenção de apresentar a poupança económica que se obtém com a correção.

Atualmente em Portugal há penalizações para um fator de potência inferior a 0,96, embora existam várias *nuances*<sup>2</sup>.

A título de exemplo: ter um Fator de Potência médio mensal superior ou igual a 0,96 significa requerer à rede uma energia reativa inferior ou igual a 30% da energia ativa:

$$tq\varphi = \frac{Q}{P} \leq 0,3 \quad \cos\varphi \geq 0,96$$

Ou seja, não são aplicadas sanções se as exigências de energia reativa não superarem 30% da ativa.

O custo anual que o utilizador suporta, consumindo uma energia reativa que exceda a correspondente a um Fator de Potência igual a 0,96, pode ser expressado da seguinte forma:

$$C_{EQ} = (E_Q - 0,3 \cdot E_P) \cdot c$$

Onde:

- $C_{EQ}$  custo da energia reativa num ano em €;
- $E_Q$  energia reativa consumida num ano em kVArh;
- $E_P$  energia ativa consumida num ano em kWh;
- $E_Q$  0,3 -  $E_P$  cota de energia reativa sujeita ao custo;
- $C$  custo unitário da energia reativa em €/kVArh.

Se for compensada para 0,96, para garantir um fator multiplicativo de modo a não pagar o consumo de energia reativa, o custo da bateria de condensadores e da sua instalação é:

$$C_{QC} = C_Q \cdot C_C$$

Onde:

- $C_{QC}$  custo anual em € para ter um Fator de Potência igual a 0,96;
- $Q_C$  potência da bateria de condensadores necessária para que o  $\cos\varphi$  seja de 0,96 em kVAr;
- $C_C$  custo de instalação anual da bateria de condensadores em €/kVAr.

A poupança para o utilizador será:

$$C_{EQ} - C_{QC} = (E_Q - 0,3 \cdot E_P) \cdot C - Q_C \cdot C_C$$

É necessário assinalar que a bateria de condensadores representa um "custo de instalação" oportunamente repartido pelos anos de vida da instalação, através de um ou mais coeficientes económicos; na prática, a poupança que se obtém com a correção permite recuperar o custo da instalação da bateria de condensadores nos primeiros anos. Obviamente que este retorno estará muito dependente do tipo de instalação, em concreto se se verificarem grandes alterações da reativa no ciclo diário ou mensal de exploração da instalação, capacidade de resposta dos relés varimétricos, tipo de comutação (contactores ou tiristores), entre outros.

Na realidade, numa análise precisa de investimento serão considerados determinados parâmetros económicos que se excluem dos objetivos deste Artigo Técnico.

Exemplo: uma empresa consome energia ativa e reativa segundo a Tabela 2:

TABELA 2. FATORES DE POTÊNCIA TÍPICO.

Mês	Energia ativa [kWh]	Energia reativa [kVArh]	fdp médio mensal
jan	7221	6119	0,76
fev	8664	5802	0,83
mar	5306	3858	0,81
abr	8312	6375	0,79
mai	5000	3948	0,78
jun	9896	8966	0,74
jul	10800	10001	0,73
ago	9170	8910	0,72
set	5339	4558	0,76
out	7560	6119	0,78
nov	9700	8870	0,74
dez	6778	5879	0,76
<b>Total</b>	<b>93 746</b>	<b>79 405</b>	<b>-</b>



FIGURA 7.

e preparadas para "redes poluídas" face à, cada vez maior, utilização da eletrónica de potência e controlo, e ainda, soluções de compensação dinâmica, Dynacomp®, onde a mecânica dos órgãos de comando vulgares (contactores) é substituída pela lógica de comando eletrónico. Através da tecnologia de vanguarda dos semicondutores anulam-se os fenómenos de sobretensão transitória inerentes às aberturas/fechos eletromecânicos.

Relativamente às normas e legislação aplicáveis aos condensadores estáticos de correção do Fator de Potência temos:

- IEC 60831-1 *Shunt power capacitors of the self-heating type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1000 V – Part I: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*;
- RTIEBT, Portaria n.º 949-A/2006, Secção 557.

Estas definem as *performances* exigidas na ação corretiva segura, de utilização fácil com HMI amigável e com uma melhor vida útil.



FIGURA 6. RELÉ VARIMÉTRICO RVT-TOUCH SCREEN.

## 2. Vantagens económicas da correção do Fator de Potência

Os distribuidores de energia elétrica aplicam um sistema de tarifas que sanciona o consumo de energia com um Fator de Potência médio mensal inferior a um determinado valor.

2 Em Portugal, ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, tutelada pelo Ministério da Economia, que pelo Despacho n.º 7253/2010 estabeleceu-se 3 escalões e respetivos fatores multiplicativos a aplicar ao preço de referência de energia reativa, indutiva e capacitiva, relativas ao uso da rede de transporte e rede de distribuição.

3 Regulamento (CE) n.º 714/2009.



Supondo um custo unitário médio da energia reativa de 0,045 €/kVarh, o custo total anual será:

$$C_{EQ} = (E_Q - 0,3 \cdot E_P) \cdot c = (79405 - 0,3 \cdot 93746) \cdot 0,045 = 2308\text{€}$$

A Tabela 3 apresenta a potência reativa necessária para elevar o Fator de Potência a 0,96.

TABELA 3.

Mês	Energia ativa [kWh]	fdp médio mensal	Horas de funcionamento	Potência ativa P [kW]	$Q_c = P(\text{tg}\varphi = 0.292^1)$
jan	7221	0,76	160	45,1	25,4
fev	8664	0,83	160	54,2	20,6
mar	5306	0,81	160	33,2	14,3
abr	8312	0,79	160	62,0	25,2
mai	5000	0,78	160	31,3	16,0
jun	9896	0,74	160	61,9	38,2
jul	10800	0,73	160	57,5	43,3
ago	9170	0,72	160	57,3	38,5
set	5339	0,76	160	33,1	18,8
out	7560	0,78	160	47,3	24,1
nov	9700	0,74	160	60,6	37,4
dez	6778	0,76	160	42,4	23,9

<sup>1</sup> 0,292 é a tangente correspondente ao cosφ igual a 0,96.

Se for seleccionada uma bateria automática de correção de fator de potência  $Q_c = 45\text{ kVar}$  com um custo de instalação CC de 25 €/kVar, é obtido um custo total de 1125€. A poupança para o utilizador, sem considerar a amortização e os encargos financeiros, será:

$$C_{EQ} - C_{QC} = 2308 - 1125 = 1183\text{€}$$

### 3. Tipos de correção do Fator de Potência

#### 3.1. Correção do Fator de Potência individual

A correção do Fator de Potência individual é realizada ao ligar um condensador de valor apropriado, diretamente aos terminais do dispositivo que absorve a potência reativa.

A instalação é simples e económica: condensador e carga podem usar as mesmas proteções contra sobrecargas e curto-circuitos; e são ligados e desligados ao mesmo tempo.

O ajuste do Fator de Potência é sistemático e automático com benefício não apenas para a empresa de fornecimento de energia, como também para toda a distribuição interior da instalação utilizadora.

Este tipo de correção do Fator de Potência é recomendado no caso de grandes instalações utilizadoras com carga e Fator de Potência constantes e tempos de ligação longos.

A correção do Fator de Potência individual é geralmente aplicada a motores e lâmpadas fluorescentes. As unidades capacitivas ou os pequenos condensadores que se utilizam nas lâmpadas estão ligados diretamente às cargas.

##### 3.1.1. Correção do Fator de Potência individual de motores

Na Figura seguinte são apresentados os diagramas gerais de ligação.

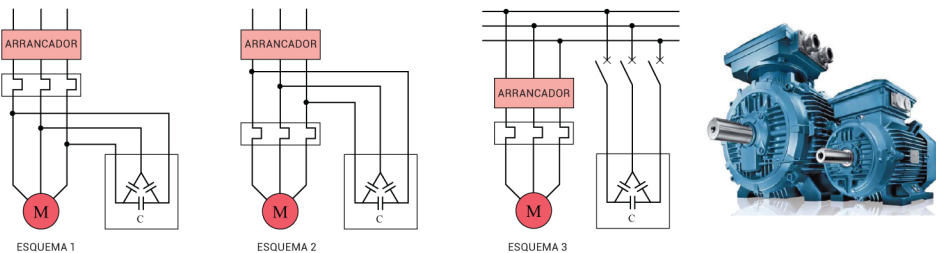


FIGURA 8.

No caso de ligação direta (Esquemas 1 e 2 da Figura 8), existe o risco de que, depois da desconexão da alimentação, o motor que continua a rodar (energia cinética residual) auto excita-se com a energia fornecida pela bateria de condensadores, comportando-se como um gerador assíncrono. Neste caso, mantém-se a tensão a jusante do dispositivo de manobra, com o risco



FIGURA 9. BATERIA CLMV- E.

de se apresentarem sobretensões perigosas, inclusivamente até ao dobro da tensão atribuída.

Em contrapartida, utilizando o Esquema 3 evita-se o risco anterior, procedendo-se normalmente, ligando a bateria de correção do Fator de Potência com o motor arrancado e desligando de forma antecipada em relação à desconexão anterior.

Como regra geral, para um motor de uma determinada potência  $P_r$ , é utilizar uma potência reativa de correção  $Q_c$  não superior a 90% da potência reativa absorvida pelo motor em vazio  $Q_0$  à tensão nominal  $U_n$  para garantir uma margem de segurança.

Considerando que em vazio a corrente absorvida  $I_0$  [A] seja apenas reativa, a compensação reativa será:

$$Q_c = 0,9 \cdot Q_0 = 0,9 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_0}{1000} \text{ [kvar]}$$

A corrente  $I_0$  está geralmente indicada na documentação do motor fornecida pelo fabricante.

Exemplo:

Para um motor assíncrono trifásico de 110 kW (400 V - 50 Hz - 4 pólos), a potência de correção do Fator de Potência sugerida pela Tabela é de 30 kvar.

##### 3.1.2. Correção do Fator de Potência individual para transformadores trifásicos

O transformador é um equipamento elétrico de importância fundamental que, por motivos de instalação, permanece constantemente em serviço. Em particular, nas instalações constituídas por diversas subestações de transformação da energia elétrica, é recomendado realizar a correção do Fator de Potência diretamente no transformador.

Geralmente, a potência de correção  $Q_c$  num transformador de potência atribuída  $S$ , [kVA] não deverá ser superior à potência reativa requerida nas condições de carga mínimas.

Obtendo, através das características atribuídas da máquina, o valor percentual da corrente em vazio  $I_0\%$ , o valor da tensão de

curto-circuito percentual  $u_k\%$  e as perdas no ferro  $P_{fe}$  e no cobre  $P_{cu}$  [kW], a potência de correção requerida é aproximadamente:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} \approx \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right) [\text{kvar}]$$

onde  $K_L$  é o fator de carga, definido como a relação entre a carga mínima de referência e a potência atribuída do transformador.

Exemplo

Supondo que se deva corrigir o Fator de Potência de um transformador em óleo de 630 kVA que alimenta uma carga que nunca é inferior a 60% da sua potência atribuída.

As características atribuídas do transformador são:

$$i_0\% = 1,8\%$$

$$u_k\% = 4\%$$

$$P_{cu} = 8,9 \text{ kW}$$

$$P_{fe} = 1,2 \text{ kW}$$

A potência de correção do Fator de Potência da bateria de condensadores ligada com o transformador deverá ser:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} = \sqrt{\left(\frac{1,8\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 1,2^2} + 0,6^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 8,9^2} = 19,8 \text{ kvar}$$

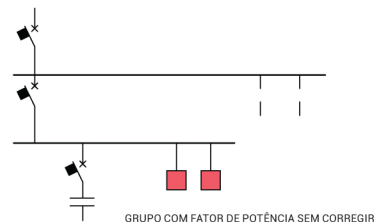
enquanto que utilizando a fórmula simplificada resulta:

$$Q_c = \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right) = \left(\frac{1,8\%}{100} \cdot 630\right) + 0,6^2 \cdot \left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right) = 20,4 \text{ kvar}$$



FIGURA 10.

## 3.2. Correção do Fator de Potência por grupos



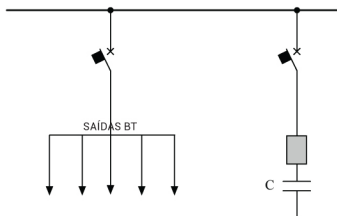
Consiste em corrigir localmente o Fator de Potência de grupos de cargas com características de funcionamento similares, instalando uma bateria de condensadores dedicada.

Este método permite o compromisso entre uma solução econômica e o funcionamento correto da instalação, já que apenas a linha a jusante do ponto no qual está instalada a bateria de condensadores deve ser



dimensionada considerando a potência reativa absorvida pelas cargas.

### 3.3. Correção do Fator de Potência centralizado



O perfil de funcionamento diário das cargas tem uma importância fundamental na seleção do tipo de correção do Fator de Potência mais conveniente.

Em instalações onde todas as cargas funcionam ao mesmo tempo e/ou onde algumas cargas estão ligadas apenas durante poucas horas do dia, é evidente que a solução da correção do Fator de Potência individual resulte demasiado onerosa já que muitos dos condensadores instalados estariam fora de serviço longos períodos de tempo.

No caso de instalações com muitas cargas que trabalham de forma descontínua, com o qual se tem uma elevada potência instalada e uma absorção média de energia por parte das cargas que funcionam simultaneamente bastante reduzida, a utilização de um sistema de correção do Fator de Potência individual na origem da instalação permite reduzir consideravelmente a potência global dos condensadores instalados.

Na correção do Fator de Potência centralizada, geralmente, são usadas unidades automáticas com baterias divididas em vários escalões, instaladas nos quadros principais de distribuição; a utilização de uma bateria ligada permanentemente é possível apenas se a absorção de energia reativa for suficientemente regular durante o dia.

A principal desvantagem da solução centralizada é que as canalizações da instalação, a montante do dispositivo de correção do Fator de Potência, devem ser dimensionadas considerando a potência reativa total absorvida pelas cargas.

### 4. Dispositivos de comando e de proteção

A legislação portuguesa na Secção 557.2.6 aborda as exigências funcionais e termodinâmicas das unidades funcionais requeridas no processo. Particular destaque para um necessário sobredimensionamento em linha com as normas de referência.

#### 4.1. Contadores UA...RA

Solução com resistência de amortecimento vocacionada para proteção do condensador contra picos de corrente. Valores 100 vezes superiores ao nominal e presença de harmónicas durante o funcionamento contínuo, em

conformidade, dimensionados segundo a IEC 947-4-1 para uma categoria de emprego AC-6 A. Acrescenta-se ainda a imunidade contra micro-cortes e cavas segundo as especificações SEMI F47.

#### 4.2. Disjuntores para a proteção e manobra de baterias de condensadores

Os disjuntores para a proteção automática e manobra de baterias de condensadores em Baixa Tensão devem cumprir as seguintes condições:

- suportar as correntes transitórias que se apresentam na ligação e desconexão da bateria; em particular, os relés instantâneos magnéticos e eletrónicos não devem intervir com as referidas correntes de pico;
- suportar as sobreintensidades periódicas ou permanentes devidas aos harmónicos de tensão e às tolerâncias (+15%) do valor atribuído da corrente absorvida pela bateria;
- realizar um elevado número de manobras em vazio e sob carga a uma frequência inclusivamente elevada;
- estar coordenadas com os eventuais aparelhos de manobra (contactores).

Além disso, o poder de fecho e de corte do disjuntor deve ser adequado ao nível de curto-circuito presumível (trifásico simétrico) da instalação.

As Normas IEC 60831-1 e 60931-1 afirmam que:

- os condensadores devem poder funcionar em condições de regime com uma corrente de até 130% da sua corrente atribuída  $I_r$  do mesmo (devido à possível presença de harmónicos de tensão na rede);
- é admitida uma tolerância de +10% da sua capacidade até 100 kVar e de +5% para capacidades acima de 100 kVar.

Consequentemente a corrente máxima que pode ser absorvida pela bateria de condensadores  $I_{cmax}$  é:

$$Q_c \leq 100 \text{ kvar} \longrightarrow I_{cmax} = 1,3 \cdot 1,1 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,43 \cdot I_{cn}$$

$$Q_c > 100 \text{ kvar} \longrightarrow I_{cmax} = 1,3 \cdot 1,05 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,365 \cdot I_{cn}$$

Pelo que:

- a corrente atribuída do disjuntor deverá ser superior a  $1,5 I_r$ ;
- a regulação para proteção contra sobrecarga deverá ser igual a  $1,5 I_r$ .

A ligação de uma bateria de condensadores é comparável a um corte em curto-circuito, está associada a correntes transitórias com frequência elevada (1 a 15 kHz), de curta duração (1 a 3 ms) e com pico elevado (25 a 200  $I_r$ ).

Pelo que:

- o disjuntor deve ter um poder de corte adequado;
- a regulação da proteção instantânea contra curto-circuito não deverá provocar disparos intempestivos.

A segunda condição geral que se cumpre:

- para os relés termomagnéticos, regulando a proteção magnética para valores não inferiores a  $10 I_{cmax}$ .

$$Q_c \leq 100 \text{ kvar} \longrightarrow I_3 \geq 10 \cdot I_{cmax} = 14,3 \cdot I_{rc} = 14,3 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$Q_c > 100 \text{ kvar} \longrightarrow I_3 \geq 10 \cdot I_{cmax} = 13,65 \cdot I_{rc} = 13,65 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

- para os relés eletrónicos deve excluir-se a proteção instantânea contra curto-circuito ( $I_3 = \text{OFF}$ ).

Os fabricantes podem apresentar e disponibilizar nos seus catálogos técnicos meios expeditos de consulta rápida e sustentada com base em soluções reais.



**ABB, S.A.**

Tel.: +351 214 256 000 · Fax: +351 214 256 390

marketing@pt.abb.com

www.abb.pt