

## CORREÇÃO ECONÔMICA DO FATOR DE POTÊNCIA NA INDÚSTRIA

### 1. INTRODUÇÃO

No início do século, as primitivas Empresas de Energia Elétrica eram predominantemente de geração locais.

A proximidade dos centros de carga, não necessitavam grandes linhas de transmissão.

Com o avanço da indústria nacional, necessitou-se de explorar grandes potências hidráulicas, que infelizmente encontravam-se afastados do centro de carga.

Com o advento de grandes linhas de transmissão, tornou-se patente a transmissão de maior potência ativa através das linhas do que sobrecarregá-las com uma potência reativa em excesso.

A otimização da geração levou os órgãos competentes (DNAEE) a optar por um limite de transferência de potência reativa através dos alimentadores. Seria necessário então corrigir (gerar) os quilovars nas próprias cargas, aliviando assim a geração desse pesado ônus.

Com o aumento das perdas de energia no sistema, e a sub utilização dos equipamentos da geração, provocadas por um baixo fator de potência levou ao órgão legislador do direito da eletricidade (DNAEE) a incluir nas contas de energia uma multa por baixo fator de potência.

Atualmente no Brasil o limite mínimo do fp é de 0,85.

### 2. COMPUTAÇÃO DA MULTA POR BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Uma fórmula reduzida para estimar-se uma conta de energia, é dado por:

$$\begin{aligned} \text{CUSTO TOTAL DE ENERGIA} &= (\text{Consumo do mês (Kwh)} \\ &= \text{Diferença de leitura} \times \text{F.M.M.} \times \\ &\quad \times \text{Adicional de perdas} \times \text{Tarifa} \\ &\quad \text{do consumo}) + \text{Demanda do} \\ &\quad \text{mês (Kwh)} \times \\ &\quad \times \text{Tarifa da de-} \\ &\quad \text{manda}) \end{aligned}$$

$$\times \left( \frac{085}{fp} \right) + \text{Único) (Empréstimo compulsório ou Imposto)}$$

Podemos observar que o fator de potência atua diretamente sobre o subtotal da conta de energia.

### 3. CAUSAS DE BAIXO FATOR DE POTÊNCIA NAS INSTALAÇÕES

As principais causas de baixo fator de potência nas instalações são:

- Nível de tensão elevada
- Motores funcionando a vazio
- Motores superdimensionados
- Transformadores alimentando durante longos períodos pequenas cargas
- Transformadores operando a vazio durante longos períodos por motivo de evitar as operações de energização e desenergização.

#### 3.1. Nível de tensão elevado.

A tabela I mostra como a tensão aplicada num motor influencia no fator de potência.

Como a potência reativa varia "aproximadamente" com o quadrado da tensão, para uma tensão de 500V numa instalação qualquer, apresentou um fator de potência de 0,40.

Após verificação nos tap's do transformador, constatou-se que o mesmo se encontrava no tap de 12 Kv.

Após correção, o fp passou para um valor em torno de 0,60.

#### 3.2. Motores operando a vazio.

No cenário das indústrias, por falta de esclarecimentos ou por um "quebra galho" é comum o uso de motores funcionando com pequena carga ou mesmo a vazio.

A componente ativa da corrente necessária para produção do torque é muito pequena ( $T = K2T2\cos2$ ). Como consequência, já que a componente para produção do Campo Magnético Girante é maior do que a componente ativa da corrente, resulta um fp baixo.

#### 3.3. Motores Superdimensionados.

É muito comum uma instalação, a substituição de motores de pequena potência por motores de potência maior, objetivando assim uma continuidade na produção.

Estas substituições temporárias ficam muitas vezes em definitivo.

Para exemplificarmos, suponhamos um motor de 5CV, 4 polos, 60 HZ que funcionava a plena carga.

De um catálogo, podemos encontrar um fp de 0,83.

Por qualquer motivo, este motor foi substituído por um de 10CV. Consultando-se o mesmo catálogo, encontramos um fp de 0,76P.

#### 3.4. Transformadores de distribuição operando a vazio ou com pequena carga.

A tabela 2 mostra a carga reativa a vazio de um transformador em função da sua potência nominal.

O fp de um transformador a vazio, varia de 0,10 a 0,17.

O uso de pequenos transformadores para iluminação pode resolver este problema já que o transformador de maior potência seria utilizado somente para força motriz.

Esta medida deveria ser adotada sempre que o período de funcionamento da indústria justifique a sua aplicação.

## 4. OS BENEFÍCIOS DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Quando corrigidas diretamente em linhas de transmissão temos:

1. Aliviam os geradores das perdas reativas em linhas e transformadores sobrecarregados.

2. Melhoram a regulação do sistema.

3. Reduzem as perdas  $I^2R$ .

4. Reduzem as perdas  $I^2X$ .

Quando corrigido no circuito de distribuição:

Além da melhoria das perdas e da regulação temos:

1. Liberação de carga (KVA) na fonte supridora e circuitos a fim de uma ampliação da carga.

2. Ajudam a manter estável a tensão no sistema.

Quando corrigidas nas Indústrias:

1. Evita a multa imposta pela lei.

2. Libera potência no(s) transformador(es).

3. Diminuem as perdas na instalação.

4. Aliviam os equipamentos de manobra e proteção.

#### 5. COMO CORRIGIR?

Após serem tomadas as medidas cabíveis para redução das causas do baixo fator de potência, as maneiras mais econômicas para correção são:

— Compensação pelo aumento do consumo de energia ativa.

— Compensação por motores síncronos.

— Compensação por capacitores estáticos.

#### 6. LEVANTAMENTO DE DADOS

##### 6.1. Dados a partir da ficha de leitura da concessionária.

Na ficha de leitura da concessionária, existem dados suficientes para a correção econômica do fator de potência.

Por exemplo:

—Valores apresentados nos medidores:

Em 27/04

Em 27/03

Diferença de leitura

F.M.M. do consumo

Consumo mensal

Em 27/04

Em 27/03

Diferença de leitura

F.M.M. do consumo em reativo

Consumo mensal em reativos

Fator de potência médio mensal

- 1016
- 886
- 130
- 360
- 46.800 Kwh.
- 1000
- 800
- 200
- 360
- 72.000 KVARh.
- 0,545

### 6.2. Dados a partir dos medidores (DIA TÍPICO DE TRABALHO).

A figura 1 mostra o levantamento da carga feito em 24 horas num dia típico de trabalho.

Este levantamento, poderá provocar erros na correção do fp.

### 6.3. Dados Instantâneos.

Em último caso, deve-se optar pelo levantamento através de medições instantâneas.

Geralmente o capacitor calculado excede a 20% ao calculado com dados dos itens 6.1 e 6.2.

## 7. METODOLOGIA DO CÁLCULO

7.1. Compensação pelo aumento de consumo de energia ativa.

Após análise detalhada do processo de produção da indústria e objetivando manter a demanda máxima no mesmo valor, pode-se optar por esta correção.

Como exemplo ilustrativo, suponhamos que uma indústria apresentou os seguintes dados:

Consumo de energia ativa médio mensal — 12.500 Kwh.

Fator de potência médio mensal — 0,71

Deseja-se corrigir o fator de potência usando-se um forno de 35 Kw funcionando durante 8 horas por dia somente no período noturno.

Formulários:

$$\Delta c = C \left( \frac{\operatorname{tg} \Theta_m}{\operatorname{tg} \Theta} - 1 \right) \text{ onde:}$$

onde:  $\Delta c$  — aumento de carga ativa

$C$  — consumo mensal

$\Theta_m$  — ângulo de fp mensal

$\Theta$  — ângulo do fp pedido

Então: Para 0,85:

$$\Delta c = 12.500 \left( \frac{0,991}{0,6197} - 1 \right) = 7.490 \text{ Kwh ao mês}$$

A carga seria:

$$C_{RW} = \frac{7490}{240} = 31,2 \text{ Kw}$$

Logo o forno de 35 Kw corrigiria o fp para:

$$35 \times 240 = 12.500 \left( \frac{0,99}{\operatorname{tg} \Theta} - 1 \right)$$

$$\cos \Theta = 0,86$$

### 7.2. Compensação por motores síncronos.

A compensação do fator de potência por motores síncronos, torna-se econômico a partir de 300 CV, quando a máquina a ser acionada é de baixa rotação e funciona 24 horas por dia.

### 7.3. Compensação por capacitores estáticos.

#### 7.3.1. Para cargas constantes.

Para cargas constantes (difícil encontrar na indústria) o formulário é básico e pode ser encontrado em qualquer literatura sobre o assunto.

#### 7.3.2. Caso geral.

O método mais recomendado é o que utiliza os valores de energia ativa e reativa médias mensais, que podem ser encontradas na ficha de leitura da concessionária.

A princípio, este método pode parecer falho já que o consumo de energia varia mês a mês.

O valor para o qual o fp deve ser corrigido a fim de evitar as variações do consumo de energia ativa e reativa deve ser estudado pelo projetista de tal maneira que o capacitor encontrado funcione de acordo com as variações do consumo.

De uma maneira geral podemos calcular, usando-se a fórmula:

De uma maneira geral podemos calcular, usando-se a fórmula:

$$P_{c\text{op}} = \frac{C_r - C_a \times \operatorname{tg} \Theta}{h} \text{ onde:}$$

$P_{c\text{op}}$  — potência em Kvar do banco a ser instalado.

$C_r$  — consumo médio mensal de energia reativa.

$C_a$  — consumo médio mensal de energia ativa.

$\Theta$  — ângulo para o qual deve-se corrigir.

$h$  — número de horas durante o mês em que irão os capacitores funcionar efetivamente a plena carga para compensar a potência reativa induzida da instalação.

A potência  $P_e$  é encontrada através de aproximações sucessivas.

Uma regra prática para estipular o número de horas "h" é levantando-se de maneira aproximada a curva de carga da instalação e verificar-se a potência reativa da carga  $P_{ir}$  referente as horas fora do período de trabalho é inferior a 20% da potência reativa média no horário de trabalho ou seja:

Se  $\frac{P_{lr}}{P_r} < 0,20$  então "h" deverá

ser o número de horas do mês referente exclusivamente ao horário de trabalho.

Se  $\frac{P_{lr}}{P_r} > 0,20$  então "h" deverá

ser o número de horas do mês.

Convém lembrar que os medidores de energia reativa possuem catraca evitando assim para fins tarifários a desmarcação da energia já registrada.

Com o cálculo acima pretende-se evitar que nos horários de baixa carga os capacitores fiquem ociosos para fins tarifários.

Como exemplo ilustrativo, tomemos os seguintes dados:

Consumo mensal (Kwh)	34.500 Kwh
Consumo mensal (KVARh)	34.870 KVARh
Fp médio	0,70
Potência do trafo	150 KVA
Demanda máxima	120 Kw
Reativa no horário de trabalho	80 KVAR

Após um levantamento feito num domingo, observou-se que a fábrica funcionava com pouca carga, obtendo-se os seguintes dados:

Pa — 30Kw  
Pr — 35KVAR  
Fp — 0,65

Após um levantamento feito na ficha de leitura, observou-se a necessidade de correção para 0,90.

Então:

$$P_{cop} = \frac{34.870 - 0,84 \times 34.500}{h} \quad \text{mês h vale}$$

$$\frac{35}{80} = 0,438 > 0,20 \text{ logo } h = 720$$

$$P_{cop} = \frac{34870 - 0,484 \times 34500}{720} = 25 \text{ KVAR}$$

Como a potência de capacitores é menor durante o mês inteiro a potência reativa indutiva da instalação (25 B5), não será preciso fazer nenhuma verificação.

### 8. ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO

O problema da localização do "Banco", requer um estudo criterioso por parte do técnico projetista.

A compensação do fator de potência, visando somente o alívio da multa resulta mais econômico em média tensão. Neste caso, a liberação de potência aparente no transformador, não constitui um aspecto indispensável.

Em linhas gerais, os capacitores instalados na baixa tensão (secundário dos trafos), quando é visada a ampliação de carga na SE, termina sendo mais econômico.

Optando-se pela correção no secundário do transformador, resta ainda fazer o estudo da sua localização. (por exemplo: no barramento geral? Em circuitos alimentadores? Ou em circuitos terminais?)

### 9. CONDIÇÕES NORMAIS DE FUNCIONAMENTO PARA CAPACITORES

#### 9.1. Quanto ao Limite ou Temperatura

Basicamente as categorias de temperatura normais são:

- 40°C a + 40°C
- 10°C a + 40°C
- 10°C a + 50°C
- 25°C a + 40°C
- 10°C a + 45°C

É muito importante na especificação do capacitor, informar ao fabricante qual a categoria de temperatura que se quer.

#### 9.2. Quanto a Tensão Máxima de Funcionamento.

A tensão eficaz máxima que o capacitor poderá funcionar continuamente será de 1,10 x a tensão nominal incluindo os harmônicos de tensão.

Na instalação do capacitor deverá ser levantada a tensão do sistema antes e depois de sua entrada em operação.

Qualquer discrepância no índice de tensão estabelecido deverão ser tomadas medidas para eliminação de harmônio de tensão causados por reatores, melhores termomagnéticos principalmente quando saturados e retificadores.

#### 9.3. Corrente Máxima de Funcionamento.

Os capacitores poderão funcionar continuamente com uma corrente de valor 1,8 x a sua corrente nominal quando serão considerados os componentes fundamental e harmônicos da corrente, obedecendo o limite de tensão.

#### 9.4. Potência Máxima de Funcionamento.

Os capacitores devem funcionar com uma potência igual a 135% da sua potência nominal satisfatoriamente.

#### 9.5. Limite de Capacitância.

A diferença de capacitância entre duas unidades igualmente especificadas, pode ser de até 15%.

Esta limitação, diminui a possibilidade de sobretensão de unidades menores na instalação.



MODULO  
construções e projetos Ltda.



### Responsáveis Técnicos

LUIS CARLOS S. MONTENEGRO  
RAIMUNDO WILSON GONÇALVES

RUA AGAPITO DOS SANTOS, 622  
FONE: 223.1449 — FORTALEZA - CEARÁ

TABELA I

FP DE OPERAÇÃO DOS MOTORES DE INDUÇÃO EM FUNÇÃO DA CARGA E TENSÃO APLICADAS

TENSÃO APLICADA EM PORCENTAGEM DA NOMINAL DO MOTOR	CARGA DOS MOTORES (EM RELAÇÃO À NOMINAL)		
	50%	75%	100%
120%	Decresce de 15% a 40%	Decresce de 10% a 30%	Decresce de 5% a 15%
115%	Decresce de 8% a 20%	Decresce de 6% a 15%	Decresce de 4% a 9%
110%	Decresce de 5% a 6%	Decresce de 4%	Decresce de 3%
100%	—	—	—
90%	Cresce de 4% a 5%	Cresce de 2% a 3%	Cresce de 1%

FONTE: W. C. Bloomquist — "Capacitors for Industry"

TABELA II

PERDAS E CARGA REATIVA DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

(CLASSE DE 15 kV)

POTÊNCIA k VA	PERDAS A VAZIO ( $P_{HF}$ ) (k W)	CARGA REATIVA A VAZIO k VAR
10	0,14	1
15	0,18	1,5
30	0,30	2
45	0,35	3
75	0,55	4
112,5	0,60	5
150	0,80	6
225	0,95	7,5
300	1,10	8
500	1,70	12,5
750	2,00	17
1000	3,00	19,5

Obs.: 1) F.P. médio (a vazio)  $\cos \theta_0 = (0,14 \text{ a } 0,17)$

2) Valores obtidos a partir da corrente de excitação média.

### BIBLIOGRAFIA

—Capacitor for Industry — Bloomquist Wilson  
—ABNT  
—Inducon  
Capacitores na Indústria — Frota, ASS.

AUTOR: Eng. Prof. Antônio Sérgio Soares Frota  
\*Engenheiro da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial — NUTEC  
\*Auxiliar de Ensino em Tempo Parcial da UNIFOR.