

METODOLOGIA PARA CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA, USANDO CAPACITORES ESTÁTICOS

* Carlos Anízio Gomes Bastos
** Helena Bárbara Magalhães
*** Ana Cláudia Franco Vieira

Este trabalho destina-se a apresentar um método para projetar bancos de capacitores afim de corrigir o fator de potência nas instalações industriais. Serão mostradas as vantagens adicionais com correção do fator de potência.

1. INTRODUÇÃO

Através de nossa experiência desde 1980, em várias indústrias locais, desenvolvemos no SFTOR ELETRO-ELETRÔNICO da FUNDAÇÃO NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL-NUTEC, alguns métodos de cálculo do Fator de Potência.

Surgiu a necessidade de transferir para o meio externo, os conhecimentos e as experiências adquiridas no decorrer de todos esses anos de atividade. Portanto, foi fomentada a idéia de divulgar alguns métodos de correção de Fator de Potência para servir de auxílio aos profissionais que trabalham em manutenção industrial.

2. MÉTODO CASO GERAL

Para se fazer um projeto de correção de fator de potência são necessárias algumas informações, tais como: histórico das informações do consumidor, medições de potência ativa e reativa no momento de plena carga e em baixa carga (vazio) e horas de funcionamento da instalação industrial.

O Caso Geral é o método mais recomendado para corrigir o fator de potência na indústria, já que o fp é o médio mensal, utiliza as energias ativa e reativa mensal registradas pelo medidor.

A fórmula usada para o cálculo da potência capacitiva a ser instalada a fim de compensar o fp é:

$$PC = \frac{E_r - E_a \cdot \text{tg} \Theta_d}{h} \quad (1)$$

Onde:

- PC = Potência em Kvar do banco de capacitores a ser instalado.
- Er = energia reativa em Kvarh registrada na ficha de leitura (COELCE).
- Ea = energia ativa em KW registrada pela ficha de leitura (COELCE).
- $\text{tg} \Theta_d$ = tangente do ângulo cujo cosseno é o desejado
- h = nº de horas durante o mês em que irão os capacitores funcionar efetivamente.

3. 1º CASO

Este método é usado quando a medição é em AT e a potência dos capacitores é menor que a potência a vazio da instalação.

Como exemplo, temos:

$$E_r = 22.200 \text{ Kvarh}$$

$$E_a = 20.800 \text{ KWh}$$

$$\text{Cos} \Theta = 0,9 \text{ (desejado)} : \text{tg} \Theta = 0,484$$

$$h = 30 \text{ dias} \times 24 \text{ horas} = 720 \text{ h/mês}$$

Aplicando estes valores na fórmula (1), temos:

$$PC = 11,47 \text{ Kvar. Valor comercial mais próximo: } 12,5 \text{ Kvar.}$$

* Eng.º Eletricista do NUTEC e Prof. da UNIFOR
** Estudante de Engenharia Elétrica e Estagiária do NUTEC
*** Estudante de Engenharia Elétrica e Estagiária do NUTEC

TABELA 01 (1: CASO)

Levantamento da Curva de Carga: (Medidores KVAR e KW)

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
KW	72	72	88	88	88	88	88	72	72	161	161	261	912	691	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Kvar	72	72	48	48	48	48	48	72	72	141	161	141	891	141	72	72	48	48	48	48	48	48	72	72
FP do Período	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	0,80	0,75	0,80	6,70	9,70	1,71	1,71	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,71	1,71

Histórico da Ficha de Leitura

TABELA 02 (1: CASO)

MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CONSUMO EM KWh	3600	26400	28800	28500	27600	27000	26500	26000	27500	28000	28400	28600
CONSUMO EM KVARh	3600	17400	22200	23100	23500	24500	22200	22300	22700	24700	23500	23000
FATOR DE POTÊNCIA	0,71	0,80	0,80	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8
OBSERVAÇÕES: (Na existência de um banco, de capacitores)												

4. 2º CASO:

Utilizaremos este caso quando a medição for feita em AT e a potência dos capacitores for maior que a potência em vazio.

Usando a energia ativa/reactiva retiradas da ficha de leitura fornecida pela concessionária, temos que considerar o período em que o transformador se encontra a vazio.

$$PC = \frac{Er - (Ea \cdot \text{tg } \theta \cdot d + Pv \cdot hv)}{h}$$

Onde:

Pv = potência a vazio do transformador (dado pelo fabricante)

hv = horas de funcionamento a vazio

Como exemplo, temos:

Er = 28.560 kvarh
 Ea = 26.400 kwh
 cos θ = 0,87 (desejado) tg θ = 0,567
 h = 396 h/mês
 Pv = 5 kVA
 hv = 324 horas

Aplicando estes valores na fórmula acima, temos:

PC = 23,3 kvar.

Valor comercial = 22,5 kvar.

TABELA 03 (2º CASO)

Levantamento da Curva de Carga: (Medidores KVAR e KW)

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
KW	9	9	9	9	9	49	39	95	49	99	99	09	09	44	44	44	99	99	05	05	12	9	9	9
kvar	9	9	9	9	9	25	44	54	64	94	94	05	05	93	93	96	05	05	44	44	02	4	9	9
FP do Período	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	8,70	1,70	8,70	6,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	08,0	08,0	9,70	9,70	2,70	08,0	1,70	1,70

TABELA 04 (2º CASO)

Histórico da Ficha de Leitura

MESES	set/83		dez/83					jan/84					ago/84	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
CONSUMO EM KWh	18.960	14.040	17.640	19.680	20.640	23.760	26.880	22.080	21.840	24.720	25.200	26.400		
CONSUMO EM KVARh	4.680	4.560	3.040	1.440	17.040	18.480	22.560	20.640	23.560	22.800	20.160	24.720		
FATOR DE POTÊNCIA	0,97	0,95	0,92	0,90	0,77	0,79	0,77	0,74	0,61	0,74	0,78	0,74		
OBSERVAÇÕES: (Na existência de um banco, de capacitores)	Estão instalados dois bancos de capacitores, um de 15 kvar e outro de 27 kvar. Verificamos que o banco de 27 kvar se autoregenerou devido curto circuito interno e passou a funcionar com parte da potência nominal.													

5. 3º CASO

Este caso é usado quando a medição é feita em BT e o banco de capacitores funciona apenas durante o período de carga.

Como exemplo temos: (vide tabela 05)

Er = 6.681 kvarh (dados da ficha da COELCE)
Ea = 6.783 kWh (dados da ficha da COELCE)

h = 192 horas/mês (a indústria não trabalha 24 horas/dia)

cosθ = 0,9 (desejado) tgθ = 0,484

Aplicando a fórmula:

$$PC = \frac{Er - Ea \times \text{tg}\theta}{h} \quad PC = 17,7 \text{ kvar}$$

Valor comercial = 16 kvar.

Histórico da Ficha de Leitura

TABELA 05 (3: CASO)

MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CONSUMO EM KWh	5.202	7.344	6.936	6.783	4.386	4.896	4.650	4.930	5.560	5.900	5.576	7.820
CONSUMO EM KVARh	4.080	6.630	6.630	6.681	4.080	4.896	4.320	4.650	4.860	5.030	6.150	6.538
FATOR DE POTÊNCIA	0,79	0,74	0,72	0,71	0,73	0,71	0,73	0,73	0,75	0,76	0,73	0,64
OBSERVAÇÕES: (Na existência de um banco, de capacitores)												

6. 4º CASO

Usado em regimes intermitentes.

Er = 19.440 kvarh
 Ea = 16.920 kWh
 Cosθ = 0,87 (desejado) tgθ = 0,567
 hv = 8 horas x 30 dias = 240h
 Pv = 5 kvar
 h = 480 horas/mês

Onde:

Pv = potência a vazio do transformador (dado pelo fabricante)

hv = horas de funcionamento a vazio

Aplicando a fórmula:

$$PC = \frac{Er - (Ea \cdot \text{tg} \theta \cdot d + Pv \cdot hv)}{h}$$

Temos: PC = 18 kvar.
 Valor comercial = 5 kvar e 12,5 kvar.

Ligaremos o banco de 5 kvar no secundário do transformador e o banco de 12,5 kvar no barramento dos motores, assim o banco de 12,5 kvar funciona de acordo com o regime desses motores.

TABELA 06 (4: CASO)

Levantamento da Curva de Carga: (Medidores KVAR e KW)

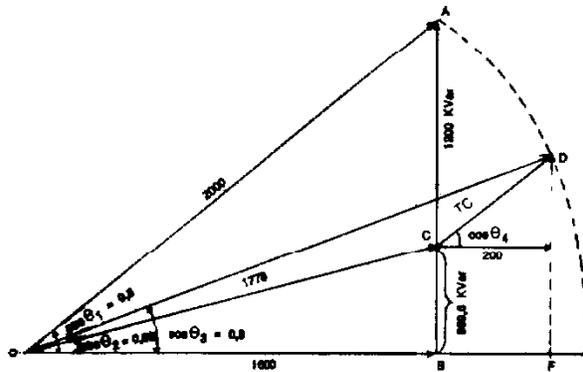
Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
KW	6	86	86	6	86	6	84	82	82	84	2	2	82	2	84	2	84	2	82	2	2	2	2	2
Kvar	2	62	62	2	62	4	60	62	62	64	2	2	43	2	64	2	68	2	64	2	2	2	2	2
FP do Período	0,83	0,81	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81	0,79	0,79	0,79	0,71	0,75	0,88	0,71	0,79	0,71	0,77	0,71	0,78	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71

7. LOCALIZAÇÕES TÍPICAS DOS CAPACITORES

Sempre que possível, os capacitores devem ser instalados o mais perto da carga, nos sistemas de baixa tensão, ou imediatamente antes dos transformadores, na alta tensão.

Para decidimos sobre a sua melhor localização numa determinada indústria, alguns fatores devem ser observados:

- circuitos de instalação;
- comprimento destes circuitos;
- variação de carga;



Para corrigirmos para 0,95 inicialmente, devemos ter $C_{kvar} = 1600 (tg \theta_1 - tg \theta_2) = 1600 (0,75 - 0,33) = 674$ kvar em capacitores resultando em kvar 16 igual a:

$$KVA_{0,95} = 1600 = 1684,2 \text{ kvar}$$

e um kvar $C_{0,95} = 1200 - 674 = 526$ KVA

Portanto afirmo de que o $COS \theta$ final fique em 0,90 a carga KVA (CD) assim acrescentado será:

$$KW_{total} = 2000 \times 0,90 = 1800 \text{ logo KW do acréscimo} = 1800 - 1600 = 200KW$$

$$kvar_{total} = 2000 \times SEN (ARC COS (0,9)) = 871,78$$

kvar logo kvar acrescido será::

$$871,78 - 526 = 345,78 \text{ kvar}$$

Na figura $BF = 200kW$ e $DF = 345,78$ kvar, então:

$$CD = KVA_{acrescido} = \sqrt{BF^2 + DF^2} = 399,45 \text{ kva}$$

E o fp ou carga será:

$$COS (ARC Tg \frac{345,78}{200}) = 0,5$$

Liberação da capacidade em KW dos alimentadores

Se o fator limitante de um alimentador for sua capacidade térmica e não o fator queda de tensão, então o que foi dito no item 4.1 é aplicado nesse caso.

Se a queda de tensão for o fator limitante o que geralmente ocorre em alimentadores primários de distribuição aérea, a liberação deverá ser calculada considerando-se a redução da queda de tensão causada pela instalação do capacitor.

A liberação de KW nos alimentadores pode ser calculado pela fórmula:

$$\Delta KW = \frac{PC}{tg \theta_1 + R/X} \text{ onde:}$$

ΔKW = aumento da capacidade de condução, em KW

P_c = potência em kvar (trifásico) do capacitor

θ_1 = aumento do FP não corrigido

R = resistência equivalente desde a subestação até o capacitor (vista do capacitor)

X = Reatância equivalente da subestação ao capacitor

Quando melhoramos o Fp temos um aumento na capacidade de condução do KW no alimentador.

$$\frac{(P_1 - P_2) \times 100}{P_1} = \frac{tg \theta_1 - tg \theta_2}{R/X + tg \theta_1} \times 100 \text{ onde:}$$

P_2 = Capacidade de condução de KW total (3Ø) do alimentador depois da melhoria do Fp

P_1 = Idem, antes de ser melhorado o Fp

θ_1 = Fator de potência inicial

θ_2 = Fator de potência final

8.2 - Melhoria de tensão

Apesar das desvantagens de tensões baixas e conseqüentes prejuízos econômicos e operacionais, não é econômico instalarmos capacitores unicamente com a finalidade de elevarmos a tensão. Essa melhoria de tensão é obtida como um benefício adicional dos capacitores.

Para determinarmos a tensão em qualquer ponto de um circuito elétrico, subtraímos da fonte supridora a queda de tensão até o ponto em que queremos determinar a tensão.

O nosso único problema, portanto, está em determinarmos essas quedas, já que a tensão da fonte é conhecida.

A fórmula abaixo é usada com o objetivo de simplificar o cálculo das quedas de tensão.

$$\Delta V = RI \cos \theta \pm XI \sin \theta$$

Onde:

V = Queda de tensão

R = Resistência em OHM

I = Corrente total em ampères

θ = Ângulo do fator de potência

X = Reatância em OHMS

$+$ = Para cargas de fator de potência atrasado

$-$ = Para cargas de fator de potência adiantado

Os valores de ΔV , R e X serão tomados na base "linha - para - terra". A queda entre fases para um sistema trifásico seria $\Delta V \sqrt{3}$

Conhecidos o fator de potência e a corrente total, as componentes da corrente são facilmente obtidas.

$$\text{Corrente dos KW} = I_{total} \cos \theta$$

$$\text{Corrente dos kvar} = I_{total} \sin \theta$$

Assim, a equação anterior pode ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta V = R (\text{corrente dos KW}) \mp (\text{corrente dos kvar})$$

Por esta expressão, torna-se evidente que a corrente dos kvar opera somente na reatância e como esta corrente é produzida pelos capacitores, a queda de tensão total é então reduzida de um valor igual, a corrente do capacitor multiplicada pela reatância. Portanto é apenas necessário conhecer a potência

nominal do capacitor e a reatância do sistema, para se conhecer a elevação de tensão ocasionada pelos capacitores.

8.3 - Redução das perdas

Outra vantagem do uso de capacitores numa instalação é a redução de corrente que é fornecida pelo transformador à carga. Como consequência teremos uma redução nas perdas, pois as mesmas são diretamente proporcionais ao quadrado da corrente. Então, chegaremos a uma equação do tipo:

$$\text{KW perdas} \propto \left(\frac{\text{Cos}\theta \text{ original}}{\text{Cos}\theta \text{ corrigido}} \right)^2$$

$$\text{KW perdas (redução)} = 1 - \left(\frac{\text{Cos}\theta \text{ original}}{\text{Cos}\theta \text{ corrigido}} \right)^2$$

Para fixação sugerimos: um circuito trifásico em 380V formado por cabos 85mm² de cobre, 92 metros de extensão, cuja corrente circulante seja de 250 ampéres.

Quais as perdas antes da instalação do capacitor?

Qual a redução das perdas se a corrente foi reduzida para 180 ampéres com a instalação do capacitor?

Suponha a resistência do cabo 0,22 OHM/Km

$$R (92 \text{ metros}) = \frac{0,22 \times 92}{1000} = 0,02024 \text{ OHM}$$

$$\text{kW Perdas} = \frac{I^2 \times R}{1000} = \frac{(250)^2 \times 0,02024}{1000} = 1,26 \text{ kW por}$$

condutor

Como o circuito é trifásico temos KW perdas totais = 3x126 = 3,795 kW

Perdas depois da correção:

$$\text{kW perdas } 180 = 3 \times \frac{(180)^2 \times 0,02024}{1000} = 1,96 \text{ W}$$

$$\text{Redução das perdas: } 3,795 - 1,96 = 1,8276 \text{ kW}$$

Determine a redução das perdas numa instalação onde o fator de potência é de 0,70 e o consumo desta no mês é de 200.000kwh, adotando-se um fator de perdas de 3%.

Deve-se corrigir o fator de potência para 0,90.

$$\text{kW (perdas) redução} = 1 - \left(\frac{0,70}{0,90} \right)^2 = 0,395 \text{ ou}$$

39,5%

$$\text{Perdas atuais para (fp} = 0,70) = 200.000 \times 0,03 = 6000 \text{ kwh.}$$

Então a redução das perdas será:

$$\text{Redução} = 6000 \times 0,395 = 2370 \text{ kWh.}$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PARANHOS, Heraldo—Melhoria do Fator de Potência. MANUAL DA INDUCON — Catálogo n: 2.
IEC PUBLICATION 70 — "Power Capacitors", International Electrochemical Commission — 1967.