

# TLA

## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA



POTENCIAL EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS LTDA

[www.TLA.com.br](http://www.TLA.com.br)

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>DEFINIÇÕES.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>NORMAS RELACIONADAS.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>CONSTRUÇÃO DOS CAPACITORES .....</b>	<b>9</b>
5.1	CONSTRUÇÃO.....	9
5.2	DISPOSITIVO DE SEGURANÇA.....	10
5.3	NÍVEL DE ISOLAMENTO .....	11
<b>6</b>	<b>FATOR DE POTÊNCIA.....</b>	<b>11</b>
6.1	CONCEITOS BÁSICOS.....	11
6.2	CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA .....	12
6.2.1	QUEDAS E FLUTUAÇÕES DE TENSÃO .....	12
6.2.2	PERDAS NA INSTALAÇÃO .....	13
6.2.3	SUBUTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA .....	13
6.2.4	NECESSIDADE DE AUMENTO DA SEÇÃO DOS CONDUTORES .....	13
6.2.5	SOBRECARGA NOS EQUIPAMENTOS DE MANOBRA E PROTEÇÃO .....	14
6.2.6	ACRÉSCIMOS NA FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	14
6.3	CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA.....	14
6.4	REATIVO EXCEDENTE .....	15
6.5	VANTAGENS DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	16
6.5.1	MELHORIA DA TENSÃO .....	16
6.5.2	REDUÇÃO DAS PERDAS .....	17

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

6.5.3	VANTAGENS PARA O COMSUMIDOR.....	18
6.5.4	VANTAGENS PARA A CONCESSIONÁRIA.....	18
<b>7</b>	<b>CAPACITORES DERIVAÇÃO .....</b>	<b>18</b>
7.1	VIDA DOS CAPACITORES DERIVAÇÃO .....	19
7.2	LOCALIZAÇÃO TÍPICA DOS CAPACITORES .....	19
7.3	CONTROLE AUTOMÁTICO PARA BANCOS DE CAPACITORES .....	21
7.4	INSTALAÇÃO DE CAPACITORES DERIVAÇÃO .....	22
7.4.1	ESCOLHA DA TENSÃO NOMINAL .....	22
7.4.2	TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO .....	23
7.4.3	CONDIÇÕES ESPECIAIS DE FUNCIONAMENTO .....	23
7.4.4	SOBRETENSÕES.....	24
7.4.5	SOBRECORRENTES .....	25
7.4.6	EQUIPAMENTOS DE MANOBRA, CONTROLE E PROTEÇÃO .....	25
7.4.7	CUIDADOS NA INSTALAÇÃO DE CAPACITORES DE POTÊNCIA .....	26
7.5	MANUTENÇÃO DE CAPACITORES DE POTÊNCIA.....	26
7.5.1	INSPEÇÃO PERIÓDICA.....	27
7.5.2	CONSEQÜÊNCIAS DA INSTALAÇÃO INCORRETA DE CAPACITORES.....	27
<b>8</b>	<b>BANCOS DE CAPACITORES NA PRESENÇA DE HARMÔNICAS ....</b>	<b>29</b>
8.1	ORIGEM DAS HARMÔNICAS.....	29
8.2	CLASSIFICAÇÃO DAS HARMÔNICAS .....	30
8.3	CARGAS NÃO LINEARES .....	30
8.4	PROBLEMAS CAUSADOS PELAS HARMÔNICAS .....	30
8.5	FATOR DE POTÊNCIA COM HARMÔNICAS .....	31
8.5.1	FATOR DE POTÊNCIA REAL.....	31
8.6	ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS HARMÔNICAS .....	32
8.7	EFEITOS DA RESSONÂNCIA.....	33

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

8.8	CÁLCULO DA FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA.....	33
8.9	PROTEÇÕES CONTRA HARMÔNICAS .....	34
<b>9</b>	<b>CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....</b>	<b>35</b>
9.1	DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA REATIVA PARA O TRANSFORMADOR A VAZIO 36	
9.2	DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA REATIVA PARA CORREÇÃO NOS MOTORES.	36
9.3	DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA REATIVA PARA BANCOS AUTOMÁTICOS.....	36
<b>10</b>	<b>ESQUEMAS DE LIGAÇÃO.....</b>	<b>38</b>
10.1	MOTORES DE PEQUENA POTÊNCIA .....	38
10.2	MOTORES DE MÉDIA OU GRANDE POTÊNCIA COM PARTIDA DIRETA.....	39
10.3	MOTORES COM PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO.....	40
10.4	MOTORES COM PARTIDA COMPENSADA.....	41
10.5	MOTORES COM PARTIDA ESTRELA SÉRIE-PARALELO .....	42
10.6	MOTORES COM PARTIDA TRIÂNGULO SÉRIE-PARALELO .....	43
<b>11</b>	<b>ANEXO A - CÁLCULO DA POTÊNCIA EM KVAR PARA CORREÇÃO FIXA DE TRANSFORMADORES A VAZIO.....</b>	<b>44</b>
<b>12</b>	<b>ANEXO B - TABELA PARA CÁLCULO DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA .....</b>	<b>45</b>
<b>13</b>	<b>ANEXO C - TABELA DE CAPACITORES A SEREM INSTALADOS NOS MOTORES .....</b>	<b>47</b>
<b>14</b>	<b>ANEXO D - TABELA PARA CÁLCULO DA EQUIVALÊNCIA DE CAPACITORES.....</b>	<b>48</b>
<b>15</b>	<b>ANEXO E - BARRAS DE COBRE SEÇÃO RETANGULAR - CAPACIDADE DE CONDUÇÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>16</b>	<b>ANEXO F – TABELA DE CONDUÇÃO DE CORRENTE (A) DE FIOS E CABOS.....</b>	<b>50</b>

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de máquinas e equipamentos que utilizam componentes indutivos faz baixar o fator de potência das instalações elétricas.

Os componentes indutivos solicitam da rede uma parcela de energia responsável pela formação do campo magnético. Esta energia é chamada de reativa. A energia reativa não realiza trabalho, portanto não é consumida. A cada ciclo da rede ela é absorvida e devolvida para o sistema.

A energia reativa está em quadratura com a energia ativa e o fator de potência representa a relação entre elas. Quanto mais baixo for o fator de potência de uma instalação, pior é o aproveitamento da energia elétrica.

No Brasil, para otimizar o uso da energia elétrica e reduzir o fornecimento de energia reativa, o Decreto nº 75.887 de 20 de junho de 1975 passa a adotar o valor de referência de 85% para o fator de potência.

O DNAEE, através da Portaria 045 do de 22 de abril de 1987, alterou as regras para o fornecimento de energia reativa: aumentou o valor de referência do fator de potência para 92% indutivo ou capacitivo; introduziu o faturamento da energia reativa excedente; alterou o período de avaliação do fator de potência de mensal para horário para as empresas com enquadramento horosazonal.

Com a desregulamentação do setor elétrico brasileiro e a criação da Aneel, os limites do fator de potência passaram a ser determinados pela Resolução 456 de 29 de novembro de 2000.

Este manual pretende orientar engenheiros, técnicos e eletricitas responsáveis pelo setor de compensação reativa para a correta especificação, instalação e manutenção de capacitores, para a efetiva correção do fator de potência e proporcionado maior qualidade da energia elétrica.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 2. DEFINIÇÕES

Capacitor – é um dispositivo cujo objetivo primário é introduzir capacitância num circuito elétrico.

Unidade capacitiva – é cada unidade de capacitor, com dielétrico e eletrodos, num invólucro, com terminais levados ao exterior do invólucro.

Capacitor derivação – é um capacitor ligado em paralelo com o circuito elétrico.

Capacitor série – é um capacitor ligado em série com o circuito elétrico.

Potência nominal de um capacitor - é a potência reativa, sob tensão e freqüência nominais, para a qual foi projetado o capacitor.

Perdas do capacitor – é a potência ativa consumida pelo consumidor operando em suas condições normais.

Tangente do ângulo de perdas ( $\text{tg } \delta$ ) - é o quociente das perdas do capacitor pela sua potência real. Normalmente é expressa em W/kVAr.

Dispositivo de descarga – é um dispositivo conectado ou entre os terminais do capacitor ou entre os terminais da rede, ou instalado dentro da unidade capacitiva, para reduzir a tensão residual do capacitor após este ter sido desconectado da rede. Normalmente, se apresenta na forma de um resistor ou enrolamento de descarga.

Banco de capacitores – é o conjunto de unidades capacitivas e seu equipamento de montagem, manobra, proteção e controle.

Banco de capacitores automático – banco de capacitores que possui um controlador eletrônico, geralmente microprocessado, que insere ou retira os capacitores do sistema de acordo com a variação do fator de potência.

Banco de capacitores semi-automático – banco de capacitores controlado por timer ou pelo valor da demanda de corrente do sistema. Proporciona um controle menos preciso que o banco automático.

Banco de capacitores fixo – é o banco que não possui nenhum tipo de controle. Os Capacitores permanecem ligados ao sistema indefinidamente e independente das condições da carga.

Carga instalada - soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora, em condições de entrar em funcionamento, expressa em quilowatts (kW).

Demanda - média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado.

Energia elétrica ativa - energia elétrica que pode ser convertida em outra forma de energia, expressa em quilowatts-hora (kWh).

Energia elétrica reativa - energia elétrica que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampère-reactivo-hora (kVArh).

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Estrutura tarifária convencional - estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano.

Estrutura tarifária horosazonal - estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano.

Fator de potência - razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado.

Potência - quantidade de energia elétrica solicitada na unidade de tempo, expressa em quilowatts (kW). Representa a velocidade com que um equipamento emprega ou utiliza energia elétrica.

Tensão secundária de distribuição - tensão disponibilizada no sistema elétrico da concessionária com valores padronizados inferiores a 2,3 kV.

Tensão primária de distribuição - tensão disponibilizada no sistema elétrico da concessionária com valores padronizados iguais ou superiores a 2,3 kV.

## 3. SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

C = capacitância, normalmente expressa em microfarads ( $\mu\text{F}$ ).

V = tensão entre fases, normalmente expressa em volts (V).

$V_c$  = tensão no capacitor, expressa em volts (V).

$\Delta V$  = queda de tensão (V).

R = resistência em ohms ( $\Omega$ ).

X = reatância em ohms ( $\Omega$ ).

f = frequência do sistema, expressa em hertz (Hz).

I = corrente, expressa em ampères (A).

kW = quilowatts.

kWh = quilowatt-hora.

kVA = quilovolt-ampères.

kVAr = quilovolt-ampères reativos.

FP = fator de potência.

$\varphi$  =  $\phi$ , ângulo de defasamento entre tensão e corrente.

$X_c$  = reatância capacitiva, expressa em ohms ( $\Omega$ ).

$X_l$  = reatância indutiva, expressa em ohms ( $\Omega$ ).

$\pm$  = (+) para fator de potência atrasado (indutivo), (-) para fator de potência adiantado (capacitivo).

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 4. NORMAS RELACIONADAS

NBR 5060 – Guia para instalação e operação de capacitores de potência.

NBR 5410 – Instalações elétricas em baixa tensão.

NBR 5282 – Capacitores de potência em derivação - Especificação.

NBR 5289 – Capacitores de potência – Métodos de ensaio.

NBR 10671 – Guia para instalação, operação e manutenção de capacitores de potência em derivação.

IEC 831-1 – Shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 660 V.

IEEE Std. 519-1992. Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control on Electrical Power Systems. Nova Iorque, EUA, 1993.

IEC Std. 61000-3-2. Electromagnetic Compabitibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16A$  per phase).

IEC Std. 61000-3-4 – Electromagnetic Compabitibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 4: Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $> 16A$  per phase).

## 5. CONSTRUÇÃO DOS CAPACITORES

### 1.1 CONSTRUÇÃO

Capacitores são, basicamente, dispositivos que armazenam cargas elétricas. São constituídos de duas placas paralelas separadas por um dielétrico. As matérias-primas utilizadas na construção de capacitores são as mais diversas. Para os capacitores de potência, as principais são eletrodos de alumínio ou zinco, filme de polipropileno e impregnante biodegradável. Atualmente, o material mais utilizado é o filme de polipropileno metalizado, que permite espessuras bastante finas, possibilitando a construção de capacitores de tamanhos bem reduzidos.

Para se conseguir capacitores de alta qualidade, é necessária uma alta pureza dos componentes internos e que haja compatibilidade entre eles. Todo material utilizado na construção dos capacitores passa por um rigoroso controle de suas características elétricas e de sua pureza.

Cada bobina (ou elemento) do capacitor é constituída de dois eletrodos formados por folhas de polipropileno metalizado com uma fina camada de alumínio.



# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

As bobinas são montadas em conjunto e realizadas ligações para obter a capacitância suficiente para a potência reativa desejada. As ligações podem ser em série, paralelo ou série-paralelo.

Os conjuntos são montados no interior de invólucros de dimensões adequadas e recebem o nome de célula capacitiva ou capacitor propriamente dito.

A partir deste ponto, os capacitores são montados de diferentes formas de acordo com a aplicação.

Os capacitores para correção do fator de potência são montados dentro de caixas metálicas, quadros de comando ou armários. O acionamento poderá ser feito de forma automática, semi-automática ou manual.

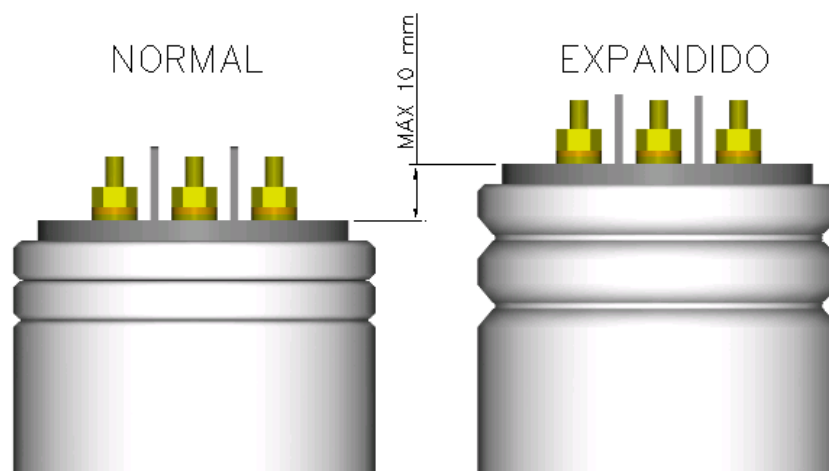
As unidades capacitivas são normalmente projetadas para montagem em posição vertical com os terminais voltados para cima, exceto quando outros tipos de montagem forem especificadamente recomendados pelo fabricante.

A máxima tensão de trabalho prevista para capacitores derivação é de 110% de sua tensão nominal, incluindo eventuais harmônicas, durante um intervalo de tempo de 12 horas em um período de 24 horas.

Os capacitores podem operar satisfatoriamente a uma potência de 144% da sua potência nominal.

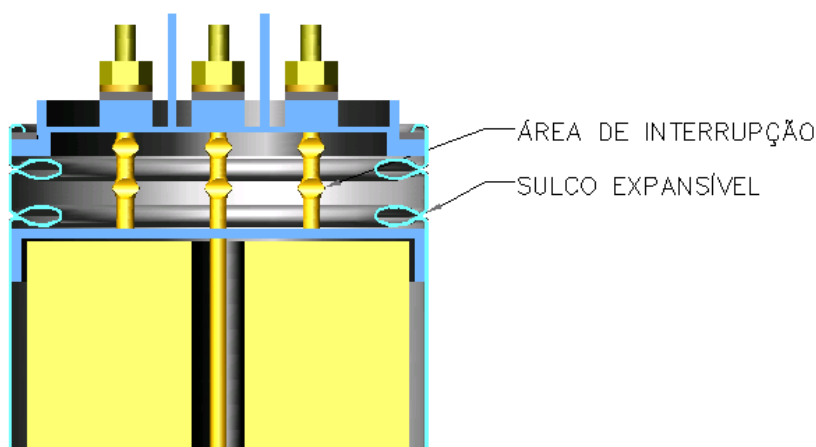
## 1.2 DISPOSITIVO DE SEGURANÇA

Os capacitores autoprotégidos possuem um dispositivo interno que interrompe a corrente elétrica em caso de sobrecarga ou sobrepressões internas ao capacitor. O aumento de corrente provoca um aquecimento excessivo dos elementos do capacitor incluindo a resina em seu interior. O aquecimento da resina forma vapores que fazem aumentar a pressão interna e causam a expansão da caneca. Com a expansão da caneca, rompem-se os dispositivos de proteção interna, interrompendo a circulação de corrente e evitando, assim, riscos de explosões e propagação de fogo.



**Fig. 1. Expansão da caneca do capacitor.**

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA



*Fig. 2. Detalhe do capacitor antiexplosivo.*

## 1.3 NÍVEL DE ISOLAMENTO

Conforme a tensão nominal do capacitor e seu uso pretendido, ele deverá apresentar uma isolação entre terminal e carcaça compatível com as solicitações. Em baixa tensão, as unidades são, normalmente, fabricadas para 220 V, 380 V, 440 V e 480 V, monofásicas ou trifásicas.

As unidades trifásicas podem ser ligadas em triângulo, estrela com neutro aterrado, estrela com neutro isolado ou dupla estrela com neutro isolado.

Normalmente, os capacitores de baixa tensão são fabricados para uso interno, embora, em casos especiais, possam ser fabricados para uso externo.

## 6. FATOR DE POTÊNCIA

### 1.4 CONCEITOS BÁSICOS

Todo equipamento elétrico construído na forma de bobina, como transformadores, motores elétricos e reatores para iluminação, funcionam pelo princípio da indução eletromagnética. Estes equipamentos são chamados de indutivos.

Os equipamentos indutivos têm como característica atrasar a corrente em relação à tensão. Sendo assim, uma parcela da corrente solicitada da rede estará em fase com a tensão e uma parcela não. A parcela da corrente que está em fase com a tensão é responsável pela energia ativa utilizada pelo equipamento. Energia ativa é aquela que o equipamento transforma em trabalho (luz, calor, movimento, som, etc.).

A parcela da corrente que está defasada da tensão é responsável pela formação do campo magnético nos equipamentos indutivos. A energia utilizada para isto é chamada de reativa e não é transformada em trabalho. A cada semiciclo da rede ela é solicitada da fonte e depois devolvida. A energia reativa fica, assim, numa espécie de pingue-pongue, circulando entre a fonte e a carga.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

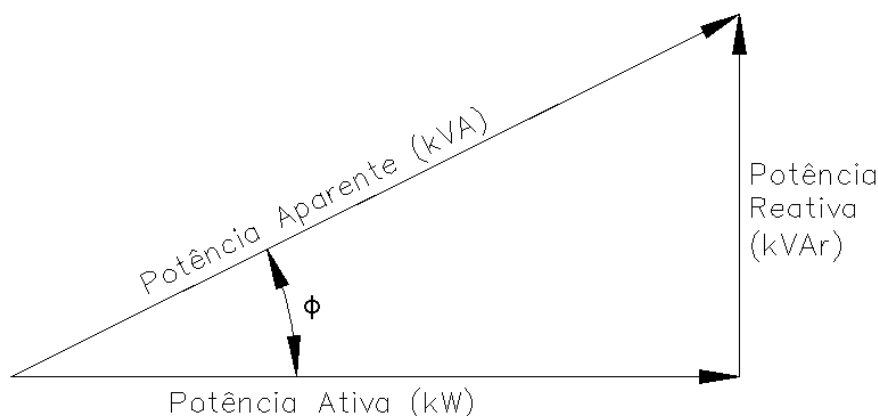
A energia reativa ocupa, então, um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa.

A soma vetorial da energia ativa com a energia reativa fornece o valor total da energia que circula pelo sistema elétrico. Esta energia recebe o nome de energia aparente.

A razão entre a energia ativa, que é realmente convertida em trabalho, e a energia aparente é chamada de **fator de potência**. Ele indica a eficiência no uso da energia. Seu valor varia de 0 a 1 capacitivo ou de 0 a 1 indutivo. Quanto mais perto de 1 maior é a eficiência do equipamento ou instalação.

As relações entre as energias ativa, reativa e aparente são representadas por um triângulo retângulo onde a hipotenusa representa a energia aparente (kVA), o cateto adjacente representa a energia ativa (kW) e o cateto oposto representa a energia reativa (kVAr).

O ângulo entre a energia aparente e a energia ativa representa o defasamento entre tensão e corrente e o seu cosseno é igual ao fator de potência.



**Fig 3. Triângulo de potências.**

$$\text{Fator de potência} = \cos \varphi = \frac{P(\text{kW})}{S(\text{kVA})}$$

## 1.5 CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

### 1.5.1 QUEDAS E FLUTUAÇÕES DE TENSÃO

O aumento de corrente devido ao excesso de energia reativa leva a diminuição dos níveis de tensão. Isto pode levar a interrupções do fornecimento e a sobrecargas em certos elementos da rede. Esse risco é sobretudo acentuado durante os períodos nos quais a rede é fortemente solicitada como no caso da partida de motores de indução. As quedas de tensão podem provocar, ainda, a diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas e aumento da corrente nos motores, podendo vir a causar a sua queima.

Uma forma simplificada de calcular a queda de tensão é com a fórmula abaixo:

$$\Delta V = R.I.\cos \varphi \pm X.I.\text{sen} \varphi$$

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.5.2 PERDAS NA INSTALAÇÃO

As perdas de energia elétrica ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total ( $I^2.R$  – Efeito Joule). Como essa corrente cresce com o excesso de energia reativa, estabelece-se uma relação entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos. Este aquecimento, além de representar um aumento nos custos com energia elétrica, deteriora o isolamento dos cabos podendo vir a causar interrupções no sistema.

Estima-se que as perdas nos sistemas elétricos industriais variam de 2,5 a 7,5% dos kWh da carga.

## 1.5.3 SUBUTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA

A energia reativa, ao sobrecarregar uma instalação elétrica, inviabiliza sua plena utilização, condicionando a instalação de novas cargas a investimentos que seriam evitados se o fator de potência apresentasse valores mais altos. O "espaço" ocupado pela energia reativa poderia ser, então, utilizado para o atendimento de novas cargas. Os investimentos em ampliação das instalações estão relacionados principalmente aos transformadores e condutores necessários. O transformador a ser instalado deve atender à potência total dos equipamentos utilizados, mas devido à presença de potência reativa, a sua capacidade deve ser calculada com base na potência aparente das instalações.

**Tabela 1. Potência do transformador em função do fator de potência.**

Potência útil absorvida - kW	Fator de Potência	Potência do trafo - kVA
1.000	0,50	2.000
	0,70	1.500
	0,80	1.250
	1,00	1.000

Também o custo dos sistemas de comando, proteção e controle dos equipamentos cresce com o aumento da energia reativa.

## 1.5.4 NECESSIDADE DE AUMENTO DA SEÇÃO DOS CONDUTORES

Da mesma forma, para transportar a mesma potência ativa sem o aumento de perdas, a seção dos condutores deve aumentar à medida que o fator de potência diminui. A tabela 2 fornece o aumento relativo da seção dos condutores em função do aumento da potência reativa do sistema.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Tabela 2. Variação da seção do cabo em função do fator de potência.

Fator de potência	Seção relativa
1,00	1,00
0,90	1,23
0,80	1,56
0,70	2,04
0,60	2,78
0,50	4,00
0,40	6,25
0,30	11,10

## 1.5.5 SOBRECARGA NOS EQUIPAMENTOS DE MANOBRA E PROTEÇÃO

O aumento da corrente devido ao baixo fator de potência provoca sobrecarga nos equipamentos de manobra e proteção, diminuindo a sua vida útil. Também podem ocorrer disparos indesejados dos disjuntores e fusíveis.

## 1.5.6 ACRÉSCIMOS NA FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA

A Resolução Aneel 456/2000 prevê a cobrança de consumo e demanda de reativo excedente. A ocorrência de excedente de reativo é verificada pela concessionária através do fator de potência mensal ou do fator de potência horário. O fator de potência mensal é calculado com base nos valores mensais de energia ativa ("kWh") e energia reativa ("kvarh"). O fator de potência horário é calculado com base nos valores de energia ativa ("kWh") e de energia reativa ("kvarh") medidos de hora em hora.

## 1.6 CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

As características elétricas e magnéticas das cargas determinam o fator de potência da rede. Algumas das causas de um baixo fator de potência são:

- ✓ Motores operando a vazio ou super dimensionados.
- ✓ Transformadores operando a vazio ou com pequenas cargas.
- ✓ Nível de tensão acima da nominal.
- ✓ Reatores para lâmpadas de descarga com baixo fator de potência.
- ✓ Grande quantidade de motores de pequena potência.
- ✓ Fornos de indução ou a arco.
- ✓ Máquinas de tratamento térmico,
- ✓ Máquinas de solda.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.7 REATIVO EXCEDENTE

São faturadas pela concessionária as ocorrências de consumo de reativo excedente e de demanda de reativo excedente. A verificação é feita através do fator de potência médio mensal ou do fator de potência horário.

Para os consumidores com tarifação horosazonal, o faturamento de consumo e potência reativos excedentes é feito segundo as expressões abaixo:

$$FER_{(p)} = \left[ \sum_{t=1}^n \left[ CA_t \cdot \left( \frac{0,92}{f_t} - 1 \right) \right] \right] \cdot TCA_{(p)}$$

$$FDR_{(p)} = \left[ \text{MAX}_{t=1}^n \left( DA_t \cdot \frac{0,92}{f_t} \right) - DF_{(p)} \right] \cdot TDA_{(p)}$$

Onde:

$FDR_{(p)}$  = Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário.

$DA_t$  = Demanda de potência ativa medida de hora em hora.

$DF_{(p)}$  = Demanda de potência ativa faturada em cada posto horário.

$TODA_p$  = Tarifa de demanda de potência ativa.

$FER_{(p)}$  = Faturamento do consumo reativo excedente por posto tarifário.

$CA_t$  = Consumo de energia ativa medido em cada hora.

$TCA_{(p)}$  = Tarifa de energia ativa.

$f_t$  = Fator de potência calculado de hora em hora.

$\sum$  = Soma dos excedentes de reativo calculados a cada hora.

$\text{MAX}$  = Função que indica o maior valor da expressão entre parênteses, calculada de hora em hora.

$t$  = Indica cada intervalo de uma hora.

$p$  = Indica posto tarifário: ponta e fora de ponta, para as tarifas horosazonais, e único, para a tarifa convencional.

$n$  = Número de intervalos de uma hora, por posto horário no período de faturamento.

Para os consumidores com tarifação horosazonal, o faturamento de consumo e potência reativos excedentes é feito segundo as expressões abaixo:

$$FDR = \left( DM \cdot \frac{0,92}{fm} - DF \right) \cdot TDA$$

$$FER = CA \cdot \left( \frac{0,92}{fm} - 1 \right) \cdot TCA$$

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Onde:

FDR= Faturamento da demanda de reativo excedente.

DM = Demanda ativa máxima registrada no mês (kW).

DF = Demanda ativa faturável no mês (kW).

TDA = Tarifa de demanda ativa (R\$/ kW).

FER= Faturamento do consumo de reativo excedente.

CA = Consumo ativo do mês (kWh).

TCA = Tarifa de consumo ativo (R\$ / kWh).

fm = Fator de potência médio mensal.

## 1.8 VANTAGENS DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

### 1.8.1 MELHORIA DA TENSÃO

As desvantagens de tensões abaixo da nominal em qualquer sistema elétrico são bastante conhecidas. Embora os capacitores elevem os níveis de tensão, é raramente econômico instalá-los em estabelecimentos industriais apenas para esse fim. A melhoria da tensão deve ser considerada como um benefício adicional dos capacitores.

A tensão em qualquer ponto de um circuito elétrico é igual a da fonte geradora menos a queda de tensão até aquele ponto. Assim, se a tensão da fonte geradora e as diversas quedas de tensão forem conhecidas, a tensão em qualquer ponto pode ser facilmente determinada. Como a tensão na fonte é conhecida, o problema consiste apenas na determinação das quedas de tensão.

A fim de simplificar o cálculo das quedas de tensão, a seguinte fórmula é geralmente usada :

$$\Delta V = R.I \cos \varphi \pm X.I.\text{sen}\varphi$$

Os valores de  $\Delta V$ , R e X são valores por fase. A queda de tensão entre fases para um sistema trifásico seria  $\Delta V.\sqrt{3}$ .

Conhecido o fator de potência e a corrente total, as componentes da corrente são facilmente obtidas:

$$I_{kW} = I . \cos\varphi$$

$$I_{kVAr} = I . \text{sen}\varphi$$

onde:

$$I_{kW} = \text{corrente ativa}$$

$$I_{kVAr} = \text{corrente reativa}$$

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

$$V = R.I_{kW} \pm X.I_{kVAr}$$

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Por esta expressão, torna-se evidente que a corrente relativa à potência reativa opera somente na reatância. Como esta corrente é reduzida 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.

Nos estabelecimentos industriais com sistemas de distribuição modernos e a uma só transformação, a elevação de tensão proveniente da instalação de capacitores é da ordem de 4 a 5%.

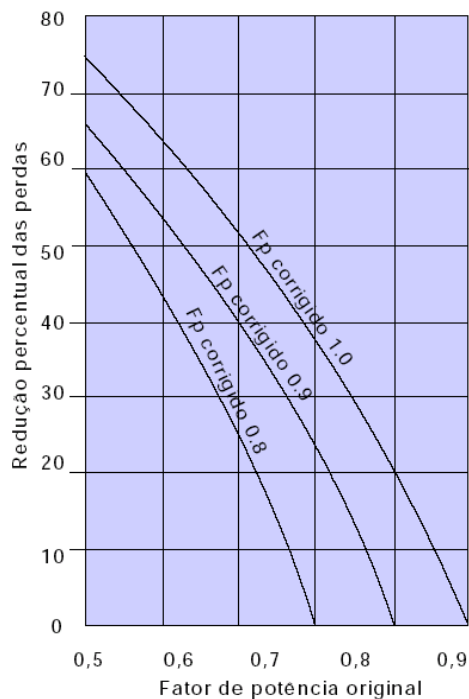
## 1.8.2 REDUÇÃO DAS PERDAS

Na maioria dos sistemas de distribuição de energia elétrica de estabelecimentos industriais, as perdas  $R I^2 t$  variam de 2,5 a 7,5% dos kWh da carga, dependendo das horas de trabalho a plena carga, bitola dos condutores e comprimento dos alimentadores e circuitos de distribuição.

As perdas são proporcionais ao quadrado da corrente e como a corrente é reduzida na razão direta da melhoria do fator de potência, as perdas são inversamente proporcionais ao quadrado do fator de potência.

Redução percentual das perdas:

$$\% \frac{\Delta P}{P1} = 100 - \frac{100 \cdot \cos^2 \varphi1}{\cos^2 \varphi2}$$



**Fig 4. Redução percentual das perdas em função do fator de potência.**



# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

A figura 4 está baseada na consideração de que a potência original da carga permanece constante. Se o fator de potência for melhorado para liberar capacidade do sistema e, em vista disso, for ligada a carga máxima permissível, a corrente total é a mesma, de modo que as perdas serão também as mesmas. Entretanto, a carga total em kW será maior e, portanto, a perda percentual no sistema será menor.

Algumas vezes torna-se útil conhecer o percentual das perdas em função da potência aparente (S) e potência reativa (Q) da carga e da potência reativa do capacitor (Qc). Assim:

$$\% \frac{\Delta P}{P_1} = 100 \cdot Q_c \frac{(2Q - Q_c)}{S^2}$$

## 1.8.3 VANTAGENS PARA O CONSUMIDOR

- ✓ Redução significativa do custo de energia elétrica;
- ✓ Aumento da eficiência energética da empresa;
- ✓ Melhoria da tensão;
- ✓ Aumento da capacidade dos equipamentos de manobra;
- ✓ Aumento da vida útil das instalações e equipamentos;
- ✓ Redução do efeito Joule;
- ✓ Redução da corrente reativa na rede elétrica.

## 1.8.4 VANTAGENS PARA A CONCESSIONÁRIA

- ✓ O bloco de potência reativa deixa de circular no sistema de transmissão e distribuição;
- ✓ Evita as perdas pelo efeito Joule;
- ✓ Aumenta a capacidade do sistema de transmissão e distribuição para conduzir o bloco de potência ativa;
- ✓ Aumenta a capacidade de geração com intuito de atender mais consumidores;
- ✓ Diminui os custos de geração.

## 7. CAPACITORES DERIVAÇÃO

A função de um capacitor derivação é suprir ao sistema ao qual está ligado a potência reativa necessária ao funcionamento de máquinas e equipamentos. Tais capacitores fornecem os kVAr ou a corrente necessária para contrabalançar a componente defasada ou corrente absorvida pelas cargas indutivas.

Os capacitores derivação, quando instalados em sistemas industriais, corrigem o fator de potência, com suas conseqüentes vantagens financeiras, além de benefícios adicionais de liberação de capacidade, diminuição de perdas e melhoria da tensão.

Os benefícios da instalação de capacitores derivação se fazem sentir em todo equipamento elétrico e circuitos sempre a montante do ponto onde forem instalados.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

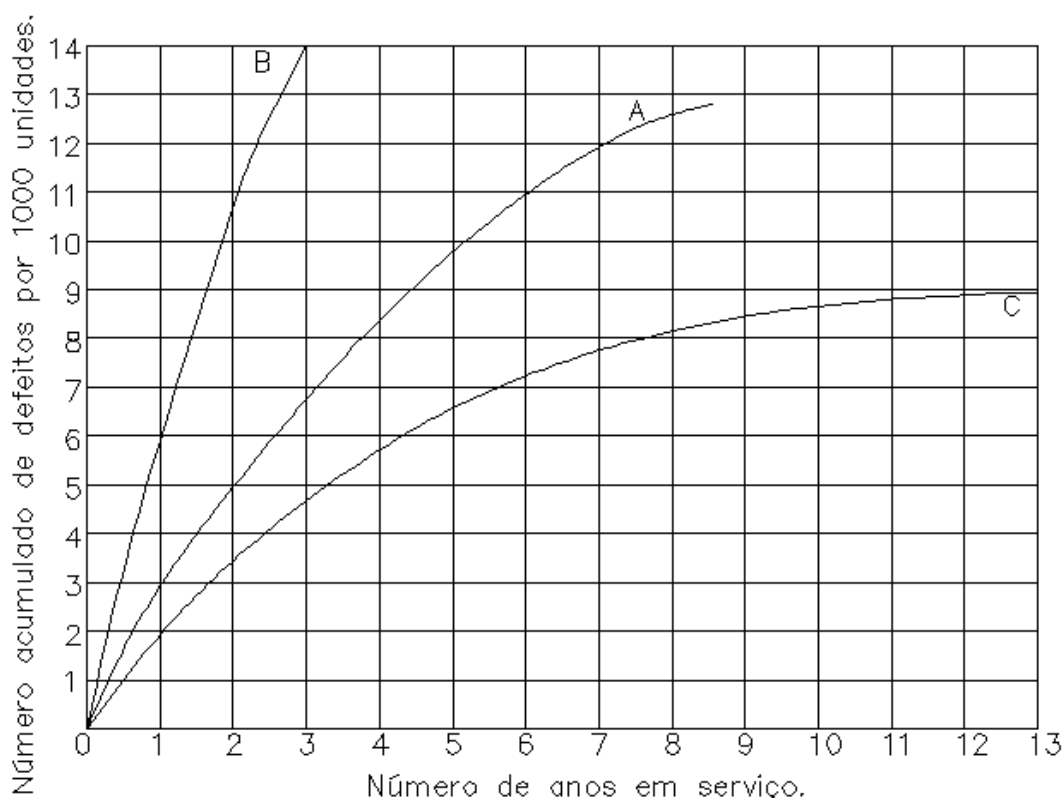
## 1.9 VIDA DOS CAPACITORES DERIVAÇÃO

Para melhor ser avaliada a operação econômica dos capacitores derivação, é importante ter-se conhecimento prévio do número de unidades que poderão dar defeito durante determinado período de tempo. Não somente estes defeitos significam a perda das unidades, como também, sob certas condições, uma unidade defeituosa pode ocasionar falhas nas unidades remanescentes.

A figura 5 mostra as curvas de frequência acumulada de defeitos em capacitores derivação. A curva A mostra o número de defeitos acumulados para cada 1000 unidades em serviço, levando em conta como ou onde foram instaladas ou como estejam protegidas.

A curva B representa o número de falhas de pequenos grupos de capacitores distribuídos por um sistema sem proteção contra descargas atmosféricas e sujeitos a outros riscos.

A curva C representa o funcionamento de capacitores para os quais foram observadas com o máximo cuidado e atenção as condições de operação e proteção. É considerada a mais econômica e satisfatória.



**Fig. 5. Curva de frequência acumulada de defeitos em capacitores.**

## 1.10 LOCALIZAÇÃO TÍPICA DOS CAPACITORES

Muitos fatores influem na escolha da localização dos capacitores, como: os circuitos da instalação, seu comprimento, as variações da carga, os tipos de motores e a distribuição

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

das cargas. Sempre que possível, os capacitores devem ser instalados o mais próximo da carga. Porém, nem sempre é prático ou econômico este tipo de ligação.

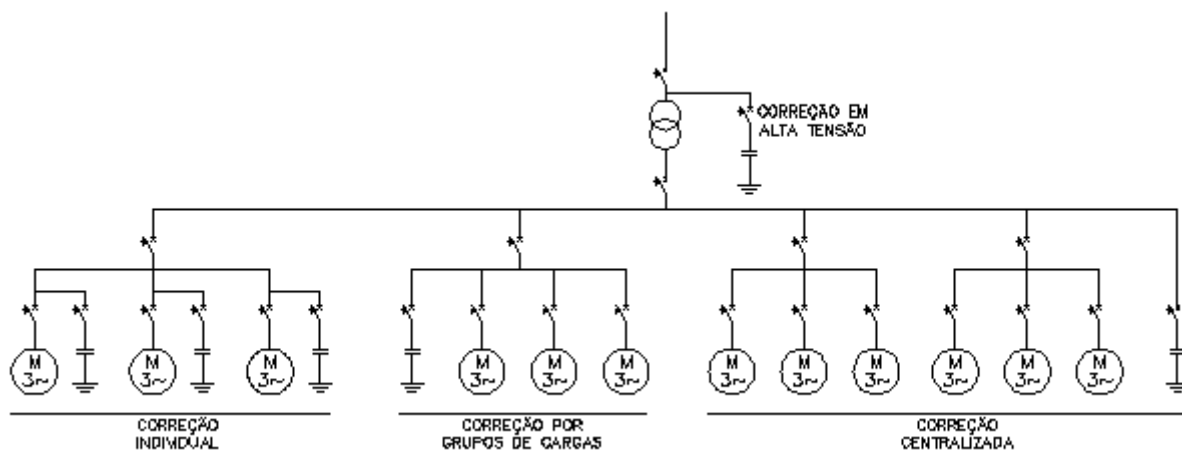
Os capacitores podem ser localizados das seguintes formas:

a) Correção na entrada da energia de alta tensão: em vista do custo unitário (por kVAr) dos capacitores para baixa tensão ser maior que os de alta tensão, pode haver alguma vantagem econômica inicial na instalação de capacitores no lado primário dos transformadores, embora, neste caso, não haja liberação de capacidade nos transformadores. Normalmente, os bancos de capacitores em alta tensão são fixos ou de acionamento manual devido ao alto custo dos bancos automáticos.

b) 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.

c) Correção por grupos de cargas: o capacitor é instalado de forma a corrigir um setor ou um conjunto de pequenas máquinas. 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. Para que se possa aplicar a correção por grupo, é necessário que:

- ✓ Os capacitores (ou bancos de capacitores) sejam dotados de dispositivos de proteção e manobra, como fusíveis e chaves.
- ✓ A carga a corrigir apresente um mínimo de uniformidade.



**Fig. 6. Localização dos capacitores para correção do fator de potência.**

d) Correção localizada: tecnicamente, é a melhor solução. Os capacitores devem ser instalados o mais perto possível das cargas, ou nas extremidades dos circuitos alimentadores, por três razões principais:

- ✓ Redução das perdas nos circuitos entre as cargas e os pontos de medição.
- ✓ Elevação da tensão perto da carga, melhorando as condições de trabalho desta.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

- ✓ Liberação de capacidade nos transformadores.

e) Correção mista: é a solução que atende aspectos técnicos, práticos e financeiros.

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 contadores para manobra dos capacitores sempre que a corrente nominal dos mesmos for superior a 90% da corrente de excitação do motor). Para verificar a potência dos capacitores diretamente junto a motores de indução, a potência capacitiva (kVAr) a ser instalada não deve ser maior que a potência consumida em vazio pelo motor, a fim de evitar eventuais inconveniências de sobretensão por auto-excitação após a abertura da chave (nos casos em que o banco capacitivo vá ser manobrado pela mesma chave que manobra o motor)
- ✓ Motores com menos de 10 CV corrige-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.

## 1.11 CONTROLE AUTOMÁTICO PARA BANCOS DE CAPACITORES

Muitas vezes é necessário ou desejável ligar ou desligar automaticamente capacitores em ambientes industriais, ou em redes de distribuição, a fim de que sejam evitadas sobretensões durante os períodos de carga leve. Isto acontece com mais frequência quando os capacitores estão localizados nas extremidades de linhas longas ou quando ocorrem consideráveis flutuações de carga ou tensão.

Os capacitores podem ser acionados em função da tensão da rede, da corrente de carga ou da energia reativa (kVAr) da carga. Os modernos controladores microprocessados permitem a verificação de diversos parâmetros do sistema para o acionamento correto dos capacitores.

A necessidade de operar os capacitores em estágios, assim como o número de estágios, é determinada pelo tamanho dos capacitores com relação ao circuito e à carga, e o efeito total dos capacitores.

A decisão com relação ao tipo de controle depende dos benefícios a serem esperados, potência da instalação (kVAr), variação das cargas em kVAr e kW durante um período típico (ciclo de carga).

As medições dos kW, kVAr e tensão, durante um período típico, determinarão:

- Total de kVAr necessário sob condições de carga máxima.
- Total de kVAr necessário sob condições de carga mínima.
- Total de kVAr a ser ligado.
- Total de kVAr máximo que pode ser ligado de uma só vez.



# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

- V. Relação entre o total de kVAr a ser ligado e o máximo kVAr a ser ligado de uma só vez.

O item III é determinado pela variação da tensão causada pelos capacitores, ou pela variação das kVAr da carga.

## 1.12 INSTALAÇÃO DE CAPACITORES DERIVAÇÃO

Ao contrário da maioria dos equipamentos elétricos, os capacitores ligados em derivação, quando postos em serviço, funcionam permanentemente a plena potência.

As sobrecargas e os aquecimentos diminuem a vida útil dos capacitores e, em conseqüência, as condições de funcionamento.

Deve-se notar que a introdução de uma capacitância concentrada num sistema pode produzir condições insatisfatórias de funcionamento como, por exemplo, amplificação de harmônicas, autoexcitação das máquinas, sobretensão de manobra, funcionamento insatisfatório dos equipamentos de telecomando.

### 1.12.1 ESCOLHA DA TENSÃO NOMINAL

A tensão nominal do capacitor deve ser igual à tensão efetiva de operação do sistema no qual o capacitor deve ser instalado, levando-se em conta a influência do próprio capacitor. Em certos sistemas pode existir uma considerável diferença entre a tensão efetiva e a tensão nominal do sistema.

Quando os circuitos de bloqueio são montados em série com o capacitor a fim de reduzir os efeitos das harmônicas, o aumento correspondente da tensão nos terminais do capacitor, com relação à tensão efetiva de operação do sistema, exigirá um aumento equivalente da tensão nominal do capacitor.

Deve-se evitar, na escolha da tensão nominal, uma excessiva margem de segurança, porquanto isto resultaria numa diminuição da potência efetivamente disponível. A potência reativa efetivamente fornecida pelo capacitor é igual ao produto da potência efetiva do capacitor pelo quadrado da relação entre a tensão efetiva de operação e a tensão nominal do capacitor.

Deve-se levar em conta, ainda, na determinação da tensão prevista nos terminais, as seguintes considerações:

a) os capacitores produzem um aumento de tensão no ponto onde eles se encontram. Em conseqüência, os capacitores podem ser levados a funcionar a uma tensão superior aquela medida antes de sua ligação.

b) a tensão nos terminais do capacitor pode ser particularmente elevada nos períodos de baixa carga. Neste caso, uma parte ou a totalidade dos capacitores deve ser colocada fora de funcionamento, de modo a evitar que os capacitores sejam submetidos a esforços excessivos, e o aparecimento de sobretensões anormais no sistema.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.12.2 TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO

Deve-se considerar particularmente a temperatura de funcionamento do capacitor, porquanto ela tem uma grande influência na vida do capacitor.

A temperatura do elemento mais quente é o fator determinante, mas na prática é impossível medir esta temperatura diretamente.

O valor médio da temperatura do ar de resfriamento durante 1 hora não deve ultrapassar mais de 5°C a temperatura ambiente indicada para a categoria apropriada.

Os capacitores devem ser dispostos de modo a permitir a dissipação, por radiação e convecção do calor produzido pelas perdas do capacitor.

Os seguintes pontos devem ser levados em consideração:

a) a ventilação do lugar da instalação e a disposição das unidades devem ser tais que assegurem uma boa circulação de ar em volta de cada unidade.

b) a temperatura dos capacitores aumenta consideravelmente quando submetidos aos raios do sol ou à radiação de uma superfície à temperatura elevada.

Os capacitores, a fim de evitar um aquecimento excessivo desnecessário, devem ser instalados voltando a superfície menor da caixa na direção do percurso do sol.

Dependendo da temperatura do ar de resfriamento, da intensidade do resfriamento e da intensidade da duração da radiação, será necessário escolher-se uma das seguintes soluções:

a) proteger os capacitores das radiações.

b) escolher um determinado capacitor para uma temperatura ambiente mais elevada, por exemplo, categoria -10°C a +45°C em lugar de -10°C a +40°C.

c) utilizar capacitores com uma tensão nominal superior (deve-se levar em conta a diminuição da potência reativa).

No caso de instalações abrigadas, deve-se dar atenção especial aos locais em que a temperatura do ar de resfriamento pode se tornar excessiva, por falta de ventilação adequada. Recomenda-se, neste caso, a utilização de ventilação forçada, para evitar o envelhecimento muito rápido do capacitor.

A temperatura não deve ultrapassar o limite máximo do capacitor de acordo com a sua categoria conforme IEC 831/1:

- ✓ Máximo: 50° C;
- ✓ Média 24h: 40° C;
- ✓ Média anual: 30° C.

## 1.12.3 CONDIÇÕES ESPECIAIS DE FUNCIONAMENTO

O instalador deve observar algumas condições desfavoráveis para a instalação de capacitores. As condições desfavoráveis mais importantes são as seguintes:

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

a) ocorrência freqüente de período de alta umidade relativa. Poderá ser necessário escolher uma instalação com nível de isolamento mais elevado.

b) o aparecimento rápido de bolor. Os metais, as matérias cerâmicas e um grande número de pinturas e de lacas não suportam o bolor.

c) atmosfera corrosiva, que se encontra nas zonas industriais e costeiras. Em climas de alta temperatura os efeitos dessa atmosfera podem ser mais severos que em climas temperados.

d) ação de insetos.

## 1.12.4 SOBRETENSÕES

Quando os capacitores são colocados fora de funcionamento por dispositivos de manobra que permitem reignição, podem se produzir sobretensões transitórias elevadas. Recomenda-se escolher dispositivos de manobra que operem sem causar excessiva sobretensão devida às reignições.

Capacitores que podem ser submetidos a sobretensões elevadas devido a descargas atmosféricas devem ser adequadamente protegidos. No caso de serem usados pára-raios, os mesmos devem ser colocados o mais próximo possível dos capacitores.

Quando um capacitor é permanentemente ligado a um motor, podem surgir problemas quando o motor é desligado da fonte de alimentação. O motor ainda girando pode atuar como um gerador e fazer surgir tensões consideravelmente mais elevadas que a tensão do sistema. Entretanto, previne-se este inconveniente assegurando que a corrente do capacitor seja inferior à corrente de excitação do motor. Sugere-se um valor de cerca de 90%.

No caso em que o motor pare imediatamente depois de ter sido desligado da rede, a corrente do capacitor pode ultrapassar o valor indicado acima. Capacitor ou banco de potência superior à acima indicada deve ser desligado do motor quando este é desligado da rede.

Na constituição de um banco de capacitores as unidades devem ser escolhidas convenientemente, de modo que as diferenças de capacitância entre as unidades não causem sobretensões inadmissíveis em algumas unidades. A diferença entre duas unidades igualmente especificadas pode ser de até 15%. No caso de bancos com várias unidades, deve-se considerar a diferença entre a maior e a menor.

Quando uma ou mais unidades de um banco são retiradas pelos dispositivos de proteção, em consequência de faltas, algumas das unidades não atingidas podem ficar sujeitas a tensões mais elevadas.

As máximas tensões a que os capacitores podem ser submetidos segundo a IEC 831/1:

- ✓  $1,0 \cdot V_n$  Duração Contínua – Maior valor médio durante qualquer período de energização do Banco.
- ✓  $1,1 \cdot V_n$  Duração de 8h a cada 24h de operação (não contínuo) – Flutuações do sistema.

## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

- ✓  $1,15 \cdot V_n$  Duração de 30 min a cada 24h de operação (não contínuo) – Flutuações do sistema.
- ✓  $1,20 \cdot V_n$  Duração de 5 min (200 vezes durante a vida do capacitor) – Tensão a carga leve.
- ✓  $1,30 \cdot V_n$  Duração de 1 min (200 vezes durante a vida do capacitor).

### 1.12.5 SOBRECORRENTES

Os capacitores não devem jamais funcionar com correntes superiores aos valores máximos especificados.

As correntes de sobrecarga podem ser produzidas por uma tensão excessiva, na frequência fundamental, ou por harmônicas, ou por ambos.

Se a elevação de tensão nos períodos de baixa carga é mantida pelos capacitores, a saturação do núcleo dos transformadores pode ser considerável. Neste caso, produzem-se harmônicos de amplitude anormal, um dos quais pode ser amplificado por ressonância entre o transformador e o capacitor.

Se a corrente no capacitor ultrapassar o valor máximo especificado, enquanto que a tensão se encontra nos limites admissíveis, o harmônico predominante deve ser determinado de maneira a se definir a melhor solução:

- a) deslocar uma parte ou a totalidade dos capacitores para outro ponto do sistema.
- b) ligar uma reatância em série com o capacitor.
- c) aumentar o valor da capacitância quando o capacitor está instalado perto de retificadores.

Quando os capacitores são colocados em funcionamento, podem se produzir sobrecorrentes transitórias de grande amplitude à alta frequência.

Efeitos transitórios devem ser esperados quando uma seção de banco de capacitores é colocada em paralelo com outras seções já energizadas. Pode ser necessário reduzir-se estas sobrecorrentes transitórias a valores aceitáveis para os capacitores e equipamentos, colocando-se os capacitores em funcionamento através de uma resistência ou de uma reatância.

### 1.12.6 EQUIPAMENTOS DE MANOBRA, CONTROLE E PROTEÇÃO

Os equipamentos de manobra, controle e proteção, e suas ligações, devem ser projetados para suportar permanentemente uma corrente igual a 1,3 vezes a corrente nominal.

Os dispositivos de manobra, controle e proteção e as ligações, devem suportar as contrações térmicas e eletrodinâmicas ocasionadas pelas sobrecorrentes transitórias de grande amplitude e de frequência elevada que podem aparecer no momento da energização.



# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Quando os capacitores possuírem controle automático, nas operações repetidas de ligar e desligar, a tensão nos terminais do capacitor, na reaplicação da tensão, não deve ser maior que 10% da sua tensão nominal.

Devem ser utilizados dispositivos de manobra tais que não permitam a ocorrência de reinição durante uma operação de abertura.

Em certos casos, os fusíveis não constituem uma proteção suficiente contra sobrecorrentes.

A proteção contra sobrecorrentes de uma instalação de capacitores não assegura uma proteção contra as sobretensões, nem geralmente contra os defeitos internos de um capacitor unitário. Medidas apropriadas devem ser tomadas, neste caso, para eliminar automática e imediatamente toda unidade defeituosa.

Qualquer mau contato nos circuitos no banco de capacitores pode provocar pequenas sobrecargas, que causam oscilações de alta frequência suscetíveis de aquecer e sobrecarregar os capacitores.

## 1.12.7 CUIDADOS NA INSTALAÇÃO DE CAPACITORES DE POTÊNCIA

- ✓ Evitar exposição ao sol ou proximidade de equipamentos com temperaturas elevadas;
- ✓ Não bloquear a entrada e saída de ar dos gabinetes;
- ✓ Os locais devem ser protegidos contra materiais sólidos e líquidos em suspensão (poeira, óleos, vapores);
- ✓ Evitar instalação de capacitores próximo do teto (calor);
- ✓ Evitar instalação de capacitores em contato direto sobre painéis e quadros elétricos (calor);
- ✓ Cuidado na instalação de capacitores próximo de cargas não lineares.

## 1.13 MANUTENÇÃO DE CAPACITORES DE POTÊNCIA

No período de 8 a 24 horas após a instalação dos capacitores, e durante os primeiros períodos de carga baixa, devem ser lidas a tensão e a corrente em cada fase, de forma a determinar:

- a) que as tensões estejam equilibradas e dentro dos limites nominais dos capacitores.
- b) que a potência de funcionamento não exceda o limite de 135% da nominal.

O programa de inspeções regulares da instalação de capacitores deve incluir verificações de ventilação, proteções, temperaturas e tensões. Recomenda-se uma inspeção a intervalos regulares de todos os contatos do equipamento capacitor.

As buchas e superfícies isolantes dos capacitores devem ser limpas periodicamente. O intervalo entre as inspeções depende das condições a que estiverem expostos os capacitores.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Capacitores e equipamentos ao tempo podem requerer pintura periódica para evitar corrosão e garantir a qualidade da superfície de radiação.

Os capacitores podem ser danificados se descarregados pela colocação em curto-circuito dos terminais, antes de decorrido pelo menos um minuto da retirada do potencial. Para descarregar os capacitores, utilizar resistores de 50 k $\Omega$  ou 100 k $\Omega$  2 W.

Recomenda-se que sejam aguardados pelo menos 5 minutos para a descarga, e somente após terem sido os terminais do capacitor ligados entre si e a terra, se devem tocar partes vivas.

Como os capacitores são hermeticamente fechados, suas características permanecem relativamente constantes em condições normais de funcionamento. Entretanto, estas podem mudar, o que torna necessárias inspeções e verificações periódicas, para constatar condições de funcionamento capazes de danificar ou reduzir a vida dos capacitores.

## 1.13.1 INSPEÇÃO PERIÓDICA

Alguns cuidados devem ser tomados para que se prolongue a vida dos capacitores de potência. Abaixo são apresentados alguns itens que precisam ser verificados periodicamente. O período de inspeção pode variar de acordo com o local e as condições de instalação dos capacitores. Entretanto, recomenda-se, no mínimo, uma inspeção visual mensalmente. No período inicial, logo após a instalação, estas verificações devem ser diárias e, principalmente, nos períodos de baixa carga.

Verificar visualmente todas as unidades quanto a atuação do dispositivo de segurança, indicado pela expansão da caneca de alumínio, vazamento da resina pelos terminais, aquecimento dos terminais.

Verificar a existência de fusíveis queimados e, caso positivo, identificar a causa.

Verificar os apertos nas conexões, providenciando o reaperto, se necessário.

Medir tensões e correntes em cada fase de todas as unidades capacitivas.

Verificar o funcionamento adequado dos contactores e do controlador automático, se houver. Efetuar um teste completo de funcionamento do controlador automático.

Verificar a ventilação nos bancos (natural e/ou forçada), as condições de funcionamento dos ventiladores e as aberturas para entrada e saída de ar quanto a vedação contar entrada de insetos e outros objetos.

No caso dos bancos, medir a temperatura interna (máximo de 45°C).

Efetuar a limpeza do armário ou quadro interna e externamente.

## 1.13.2 CONSEQÜÊNCIAS DA INSTALAÇÃO INCORRETA DE CAPACITORES

Sintoma: Repique do contactor.

Causas: Tensão de alimentação das bobinas contactor superior à tensão da rede.

Queda de tensão muito intensa no sistema.

## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Mau funcionamento do controlador automático.

Mau contato nas conexões dos condutores de comando.

Sintoma: Queima de fusíveis.

Causas: Ressonância série causada pela presença de harmônicas na rede.

Desequilíbrio de tensão.

Utilização de fusíveis normais ou ultra-rápidos (utilizar fusíveis retardados).

Aplicação de tensão em capacitores ainda carregados.

Repique de contactores.

Chaveamento dos capacitores (em bancos automáticos) sem dar tempo para a descarga.

Sintoma: Expansão da unidade capacitiva.

Causas: Repique do contactor.

Temperatura elevada.

Tensão elevada.

Corrente de surto elevada.

Descargas atmosféricas.

Chaveamento dos capacitores (em bancos automáticos) sem dar tempo para a descarga.

Sintoma: Corrente verificada abaixo da nominal.

Causas: Tensão abaixo da nominal.

Células expandidas.

Fusível queimado em uma das fases.

Sintoma: Corrente verificada acima do nominal.

Causas: Ressonância série entre os capacitores e o transformador.

Tensão elevada.

Excesso de capacitores instalados.

Sintoma: Tensão verificada acima da nominal.

Causas: Ressonância paralela entre capacitores e carga.

Ressonância paralela devido ao fator de potência ter ficado unitário.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Tensão da rede elevada, mesmo sem capacitores.

Fator de potência capacitivo.

Harmônicas na rede.

Sintoma: Capacitor continua energizado após abertura do contactor.

Causas: Contatos do contactor colados.

Sintoma: Resistor de descarga queimado.

Causas: Resistência do resistor abaixo do valor recomendado para o nível de tensão.

Potência do resistor abaixo do valor real dissipado.

Tensão aplicada acima da nominal.

Tensão elevada devido a ressonâncias.

## 8. BANCOS DE CAPACITORES NA PRESENÇA DE HARMÔNICAS

O termo *harmônicas* se refere às ondas de frequências múltiplas inteiras de uma determinada frequência fundamental. Na verdade, não existem várias ondas de frequências variadas no mesmo sistema. O que existe é uma única onda resultante das condições da carga deste sistema. Normalmente, a forma da onda de corrente ou tensão nos sistemas elétricos em corrente alternada, é praticamente senoidal. Na presença de cargas não-lineares, esta onda pode se apresentar de forma muito irregular e deformada. Por muito tempo, foi considerado impossível calcular o valor eficaz de uma onda deste tipo. Fourier apresentou, então, uma solução matemática para o problema demonstrando que toda onda pode ser decomposta em infinitas ondas de frequências múltiplas inteiras da frequência tomada como referência. A equação apresentada por Fourier ficou conhecida como *Série de Fourier* e é amplamente utilizada por engenheiros para calcular e determinar a taxa de distorção harmônica (THD) de um sistema elétrico.

A tarefa de corrigir o fator de potência em uma rede elétrica com harmônicas é mais complexa, pois as harmônicas podem interagir com os capacitores causando fenômenos de ressonância.

### 1.14 ORIGEM DAS HARMÔNICAS

As harmônicas são causadas por cargas não-lineares. Cargas não-lineares, geralmente, são aquelas que possuem em sua estrutura algum tipo de retificação ou chaveamento. São exemplos de cargas não-lineares as fontes de alimentação de aparelhos eletrônicos, os conversores de frequência variável, e os equipamentos condicionadores de energia (UPS's). Nos transformadores de força, são consequência da relação não linear entre o fluxo de magnetização e a corrente de excitação correspondente.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.15 CLASSIFICAÇÃO DAS HARMÔNICAS

Atualmente as cargas não lineares são classificadas em três categorias de acordo com a natureza da deformação:

a) CATEGORIA 1 – Nesta categoria encontram-se os equipamentos com característica operativa de arcos voltaicos, tais como: fornos a arco, máquinas de solda, lâmpada de descarga e outros. A natureza da deformação da corrente é oriunda da não linearidade do arco voltaico.

b) CATEGORIA 2 – Nesta categoria encontram-se os equipamentos de núcleo magnético saturado, tais como: reatores e transformadores de núcleo saturados. A natureza da deformação da corrente é oriunda da não linearidade do circuito magnético.

c) CATEGORIA 3 – Nesta categoria encontram-se os equipamentos eletrônicos, tais como: inversores, retificadores, UPS, televisores, microondas, computadores e outros. A natureza da deformação da corrente é oriunda da não linearidade dos componentes eletrônicos.

## 1.16 CARGAS NÃO LINEARES

São cargas que distorcem a forma de onda de corrente e/ou tensão, tais como:

- ✓ Conversores / inversores de frequência;
- ✓ Acionamentos de corrente contínua;
- ✓ Retificadores;
- ✓ Fornos a arco e indução;
- ✓ Transformadores com o núcleo saturado;
- ✓ No-Breaks (UPS);
- ✓ Controladores tiristorizados;
- ✓ Fontes chaveadas;
- ✓ Máquinas de solda elétrica;
- ✓ Lâmpadas Fluorescentes;
- ✓ Microcomputadores (Centro de processamento de dados), etc.

## 1.17 PROBLEMAS CAUSADOS PELAS HARMÔNICAS

Correntes e tensões harmônicas sobrepostas na fundamental produzem efeitos combinados em equipamentos e dispositivos ligados à rede de alimentação. Esses efeitos danosos dependem do tipo de carga e se dividem em efeitos instantâneos e efeitos de longo prazo devido aos aquecimentos.

Os efeitos instantâneos são causados pelas forças eletrodinâmicas, produzidas pelas correntes instantâneas associadas às correntes harmônicas. Isto pode causar ruído acústico

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

especialmente em dispositivos eletromagnéticos (transformadores, reatores, etc). No caso de máquinas girantes, pode causar vibrações devido ao conjugado mecânico pulsante, causado por campos harmônicos rotativos.

O principal efeito de longo prazo é o aquecimento. Nos capacitores, as perdas que causam aquecimento são decorrentes de dois fenômenos: condução e histerese dielétrica. Em uma primeira análise, as perdas são, para a condução, proporcionais ao quadrado da tensão aplicada e, para a histerese, proporcionais à frequência.

As correntes de alta frequência, que encontrarão um caminho de menor impedância pelos capacitores, elevarão as suas perdas ôhmicas. O decorrente aumento no aquecimento do dispositivo encurta a vida útil do capacitor.

O maior problema aqui é a possibilidade de ocorrência de ressonâncias (excitadas pelas harmônicas), podendo produzir níveis excessivos de corrente e/ou de tensão que são consideravelmente mais elevadas que os valores previstos para condições normais de operação. Além disso, como a reatância capacitiva diminui com o aumento da frequência, tem-se um aumento nas correntes relativas às harmônicas presentes na tensão.

## 1.18 FATOR DE POTÊNCIA COM HARMÔNICAS

Quando há distorção harmônica na instalação elétrica o triângulo de potências sofre uma alteração, recebendo uma terceira dimensão provocada pela potência aparente necessária para sustentar a distorção da frequência fundamental.

### 1.18.1 FATOR DE POTÊNCIA REAL

O Fator de Potência Real é o quociente entre a potência média (ativa) e a potência aparente, onde todos os valores são totais, isto é, incluem a fundamental e todas as harmônicas.

Assim, o fator de potência é dado pela seguinte equação:

$$FP = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

O termo  $\cos \varphi$  representa o defasamento angular entre tensão e corrente e comumente é confundido com o próprio fator de potência. Isto se explica, pois, em sistemas onde não há distorção harmônica, o resultado do denominador é igual a 1. Assim, o fator de potência é o próprio  $\cos \varphi$ .

A figura 6 apresenta a interpretação gráfica para a análise da potência aparente de um sistema na presença de harmônicas.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

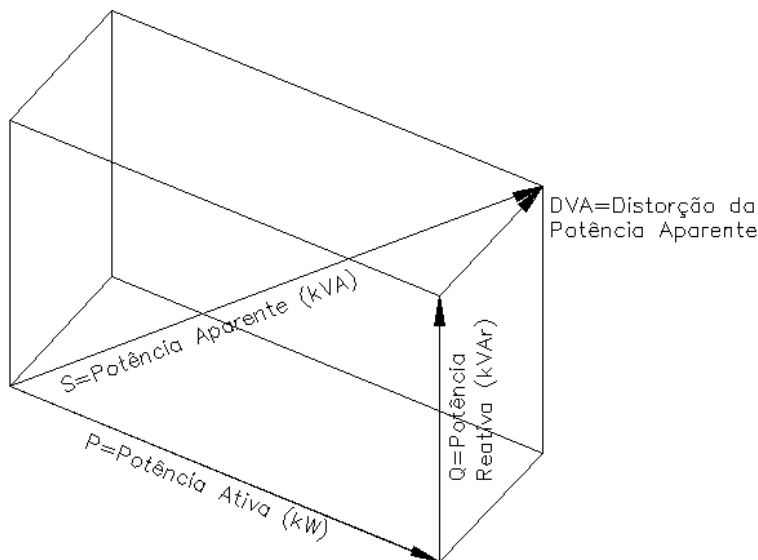


Fig 7. Figura do paralelepípedo.

## 1.19 ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS HARMÔNICAS

Entende-se por espectro de frequências harmônicas um gráfico ou tabela da amplitude de tensão ou corrente em função das frequências harmônicas. Geralmente tais amplitudes são apresentadas em percentuais ou em p.u. (por unidade) da amplitude da fundamental (frequência da rede). Com as medições realizadas com analisador de harmônicas, pode-se obter os valores de sobretensão e sobrecorrente, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$DHT_t = \sqrt{\sum_{N=1}^{\infty} (U_{HN} / U_n)^2} \leq 1,10$$

(A sobretensão máxima não deve ultrapassar a 10%. Tolerância por 8 horas contínuas a cada 24 horas).

$$DHT_l = \sqrt{\sum_{N=1}^{\infty} (I_{HN} / I_n)^2} \leq 1,30$$

(A sobrecorrente máxima não ultrapassar a 30% continuamente).

Onde:

$U_{HN}/U_n$  = relação entre a tensão do harmônico de ordem N e a tensão nominal (tensão RMS da rede).

N = número de ordem da harmônica.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.20 EFEITOS DA RESSONÂNCIA

Quando se tem harmônicas presentes na rede elétrica acima dos valores pré-estabelecidos anteriormente, corre-se o risco que ocorra ressonância série entre o trafo e o capacitor ou banco de capacitores ou ressonância paralela entre os mesmos e as cargas (motores, etc.). Nesta situação, usam-se indutores anti-harmônicas em série com os capacitores, os quais evitam a ressonância do(s) capacitor(es) em todo o espectro de harmônicas que possa ser gerado.

O fenômeno da ressonância série ou paralela também pode ocorrer em instalações livre de harmônicas e com fator de potência unitário.

**Ressonância Série:** é a condição na qual as reatâncias capacitiva e indutiva de um circuito RLC são iguais. Quando isso ocorre, as reatâncias se cancelam entre si e a impedância do circuito se torna igual à resistência, a qual é um valor muito pequeno. Ocorre entre o transformador de força e os capacitores ou banco de capacitores ligados num mesmo barramento.

A ressonância série é a responsável por sobrecorrentes que danificam os capacitores e os demais componentes do circuito.

**Ressonância Paralela:** baseia-se na troca de energia entre um indutor e um capacitor ligados em paralelo com uma fonte de tensão. Na condição ressonância paralela a corrente de linha é nula porque a soma vetorial das correntes no circuito "tanque" é zero.

A tensão e a impedância resultante assumem valores muito elevados.

Obs: Quando se utilizam indutores anti-harmônicas, dispensa-se o uso de indutores anti-surto!

Diagrama unifilar representando as ressonâncias: série e paralela.

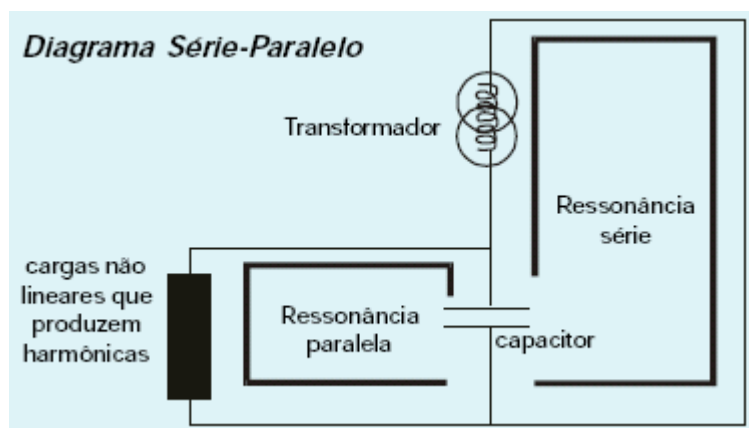


Fig. 8. Ressonância série-paralelo.

## 1.21 CÁLCULO DA FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA

Deverá ser calculada para cada estágio do banco mais a correção do transformador, pois se for muito próxima da frequência de alguma harmônica deverão ser instalados mais capacitores ou indutores anti-harmônica, conforme equação abaixo:



# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

$$f_r = f_o \cdot \left( \frac{\sqrt{S_{tr}}}{Z \cdot Q_c} \right)$$

Onde:

$f_o$  é a freqüência da fundamental (50/60 Hz)

$f_r$  é a freqüência de ressonância

$S_{tr}$  é a potência aparente do transformador (kVA)

$Z$  é a impedância do transformador ( $\Omega$ )

$Q_c$  é a potência reativa de cada estágio mais o banco fixo (kvar)

Outra forma é calcular a ordem harmônica em que pode ocorrer ressonância através de equação abaixo:

$$h = \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_c}}$$

Onde:

$h$  = ordem harmônica em que ocorre ressonância.

$S_{sc}$  = potência de curto-circuito no ponto sob análise.

$Q_c$  = potência reativa capacitiva instalada.

Uma alternativa à instalação de filtros é alterar a impedância característica do sistema. Isto exige um estudo cuidadoso das instalações, mas fornece uma solução bastante econômica e eficiente. Entretanto deverá ser feito por profissional com experiência no assunto.

## 1.22 PROTEÇÕES CONTRA HARMÔNICAS

Tendo concluído haver mais de 20 % de CNL na instalação e que os índices de harmônicas estão acima dos limites permitidos, deve-se instalar indutores anti-harmônicas em série com os capacitores. Nesta condição, utilizar capacitores com tensão reforçada (redimensionar a potência do capacitor).

- ✓ Dados fundamentais para a determinação do indutor anti-harmônicas;
- ✓ Esquema unifilar elétrico atualizado de toda a instalação;
- ✓ Indicação no esquema unifilar do(s) ponto(s) de medição das harmônicas;
- ✓ Potência, tensão e freqüência do(s) capacitor(es);
- ✓ Espectro das harmônicas;
- ✓ Corrente, tensão e fator de potência de cada harmônica.

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

**Proteção contra harmônicas: Indutor Anti-harmônica:** Protege os capacitores contra harmônicas e correntes de surto, porém as harmônicas permanecem na rede elétrica.

**Filtro Anti-harmônica:** Elimina uma harmônica específica da rede elétrica evitando assim problemas na instalação e nos equipamentos. Caso existam problemas com mais de uma harmônica, deve-se colocar um filtro individual para cada uma delas. Os filtros anti-harmônicas podem ser passivos ou ativos. Os filtros passivos são mais baratos, mas são menos eficientes.

## 9. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Os principais benefícios resultantes do emprego de capacitores nos sistemas de fornecimento de energia elétrica são:

- 1) Redução das perdas associadas com o fornecimento de energia reativa no ponto de utilização.
- 2) Redução do investimento necessário em equipamentos para a entrega de energia nos locais de utilização, através de:
  - ✓ Redução de corrente para a mesma carga em kW.
  - ✓ Redução da capacidade em kVA dos equipamentos para os mesmos kW.
  - ✓ Redução da queda de tensão para os mesmos kW.
  - ✓ Controle das tensões.

Para a aplicação de capacitores em grandes sistemas, evidentemente, não se podem fixar regras rígidas, nem a respeito da localização dos bancos, nem com relação ao grau de importância dos resultados futuramente obtidos. Cada caso é diferente e requer um estudo pormenorizado, baseado no conhecimento do sistema.

Para o bom conhecimento do sistema, são necessárias e essenciais as seguintes providências:

- ✓ Determinar a variação, de preferência por instrumentos gráficos, dos kW e kVA, em cada circuito, por períodos de 24 horas. Usualmente, o número mínimo de kVAr determina a potência dos capacitores a serem instalados sem necessidade de controle. Isto resultaria em um fator de potência igual a 1 para carga mínima. Os capacitores adicionais receberiam controle, quer automático ou não.
- ✓ Obter medidas de tensão real no circuito, a fim de determinar a melhor localização dos capacitores.
- ✓ É aconselhável a instalação dos kVAr necessários o mais próximo possível da carga. Assim, os bancos de capacitores devem ser instalados nos centros de carga ou nas extremidades dos circuitos alimentadores.
- ✓ Calcular, para os kVAr instalados, quais os kW e kVA liberados no circuito.
- ✓ Calcular a redução das perdas até a fonte (subestação).

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.23 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA REATIVA PARA O TRANSFORMADOR A VAZIO

Pode-se determinar o capacitor para compensação dos reativos do transformador a vazio através da seguinte expressão:

$$Q_t = \sqrt{(I_0 \cdot S_n / 100)^2 - P_0^2}$$

Onde:

$Q_t$  = potência reativa capacitiva necessária para corrigir o fator de potência do transformador para a unidade.

$I_0$  = corrente a vazio do transformador expresso em pu e em %.

$S_n$  = potência nominal do transformador em kVA.

$P_0$  = potência de perdas a vazio em kW, dado de placa fornecido pelo fabricante.

OBS: Recomenda-se a utilização da potência em kVAr de cerca de 95% do valor calculado.

Alternativamente, pode-se recorrer ao anexo A para obter o valor do capacitor para compensação do reativo de transformadores a vazio. Os valores do anexo A são calculados para fator de potência 0,95 indutivo.

## 1.24 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA REATIVA PARA CORREÇÃO NOS MOTORES

Para o cálculo do capacitor a ser instalado junto a um motor deve-se, primeiramente, levantar os dados de placa: potência (em CV, HP ou kW), fator de potência e o rendimento do motor.

Em seguida, calcula-se a demanda do motor em kW.

$$D_m = \frac{P_{cv} \cdot 0,736}{\eta} (kW)$$

Depois, toma-se o fator de potência do motor e, com a ajuda do anexo B, encontra-se o multiplicador a ser utilizado para encontrar o valor do capacitor a ser instalado.

Inicialmente, procura-se na primeira coluna o valor do fator de potência do motor. Depois, anda-se lateralmente à direita até a coluna correspondente ao fator de potência desejado. Então, toma-se este valor e multiplica-se pela demanda do motor.

Opcionalmente, pode-se utilizar as tabelas do anexo C para encontrar os valores de capacitores a serem instalados nos motores. Para a utilização das tabelas do anexo C deve-se considerar o percentual de carga aplicada ao motor.

As tabelas do anexo C foram calculadas para um fator de potência médio de 98%.

## 1.25 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA REATIVA PARA BANCOS AUTOMÁTICOS

O dimensionamento de bancos de capacitores automáticos requer cuidados especiais conforme citado anteriormente.

## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

Será necessário considerar as curvas de carga da instalação, os período de baixa carga e picos de demanda.

Recomenda-se dividir em estágios de, no máximo, 25 kVAr (380/440V) ou 15 kVAr (220V) por estágio do controlador. Para facilitar o ajuste do fator de potência pelo controlador, a melhor técnica é fazer o valor dos estágios múltiplos inteiros do menor valor de capacitância necessária. Assim, se a menor capacitância necessária para o sistema em estudo, para uma determinada condição de carga mínima, for, por exemplo, 5 kVAr, os estágios seguintes deveriam ter 10 kVAr, 15 kVAr, 20 kVAr, etc. Ao se atingir o valor máximo para um estágio, os demais deverão ter todos a mesma potência.

É importante conhecer, também, o tipo de lógica utilizada pelo controlador. Controladores cíclicos requerem estágios de mesmo valor, já os controladores que fazem varredura das potências instaladas trabalham bem com a técnica descrita anteriormente.

Praticamente, pode-se dimensionar bancos de capacitores para qualquer sistema utilizando a tabela do anexo B. Toma-se o valor da potência ativa da instalação considerada a pior situação em relação ao fator de potência e procura-se, na tabela do anexo B o multiplicador a ser utilizado para obter a potência capacitiva a ser instalada.

Por exemplo, suponha uma instalação com uma potência ativa de 750 kW e fator de potência de 75% que se deseja corrigir para 96%. Inicialmente, procura-se na tabela a linha de 75% na primeira coluna. Sem seguida, move-se lateralmente até a coluna 96% e encontra-se o valor de 0,590. Então, multiplicando-se 750 kW por 0,590 obtém-se 442,5 kVAr.

Também é possível obter os valores de potência ativa e fator de potência diretamente das faturas de energia da concessionária. Contudo, é mais prudente que se levante um histórico das últimas faturas para cálculos mais precisos.

Em muitos casos, especialmente com cargas muito variáveis, faz-se necessário efetuar medições das curvas de carga e fator de potência com equipamentos especiais que registram os valores em intervalos de integração configuráveis e permitem análise mais apurada, inclusive com simulação de inserção e retirada de reativos.

**Importante: se o fator de potência natural de um sistema elétrico for menor que 70%, não se deve efetuar a correção centralizada. Deve-se, sim, optar pela correção distribuída. O banco centralizado deve servir apenas para o ajuste fino do fator de potência.**

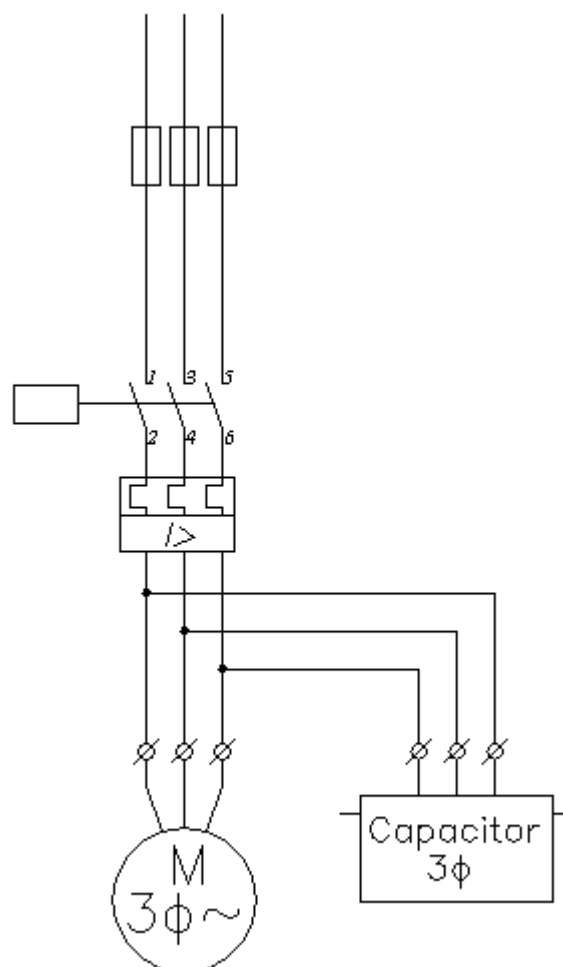
## 10. ESQUEMAS DE LIGAÇÃO

### 1.26 MOTORES DE PEQUENA POTÊNCIA

Motores de pequena potência são aqueles cuja potência em CV multiplicada pelo número de pólos fornece um resultado inferior a 4.

Motores de pequena potência ligados à rede por chave simples ou com partida direta podem ter o capacitor ligado aos terminais da chave ou contactor conforme figura 9.

**Importante: o capacitor deve ser ligado aos terminais do relé e nunca nos terminais do motor.**



**Fig. 9. Motor de pequena potência com partida direta.**

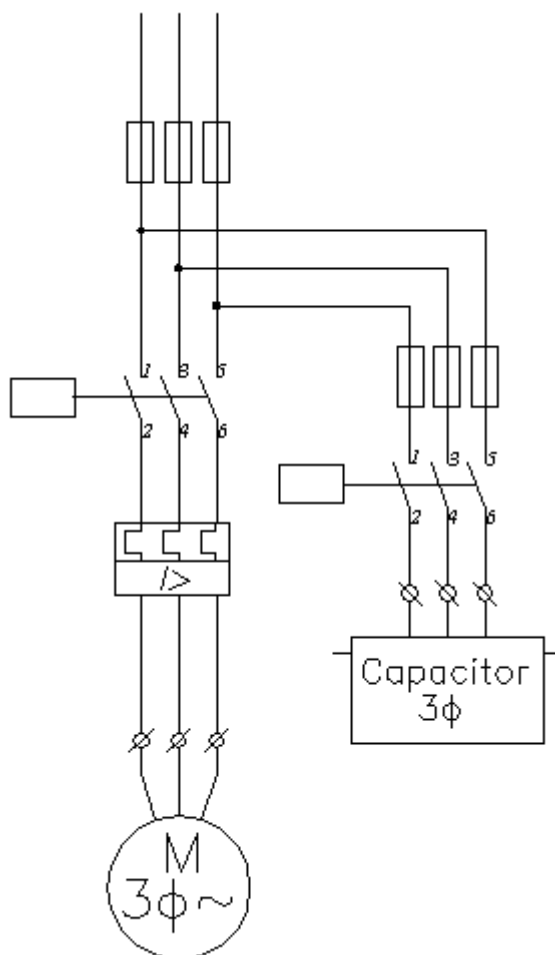
# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.27 MOTORES DE MÉDIA OU GRANDE POTÊNCIA COM PARTIDA DIRETA

Motores de média potência são aqueles cuja potência em CV multiplicada pelo número de pólos fornece um resultado entre 4 e 400. Os de grande potência são aqueles cujo resultado for maior que 400.

Motores de média ou grande potência ligados à rede por chave simples ou com partida direta devem ter o capacitor ligado através de contator individual e independente do contator do motor conforme figura 10.

Motores de média potência até 10 CV, se tiverem baixa inércia, podem, opcionalmente, serem ligados conforme a figura 9.



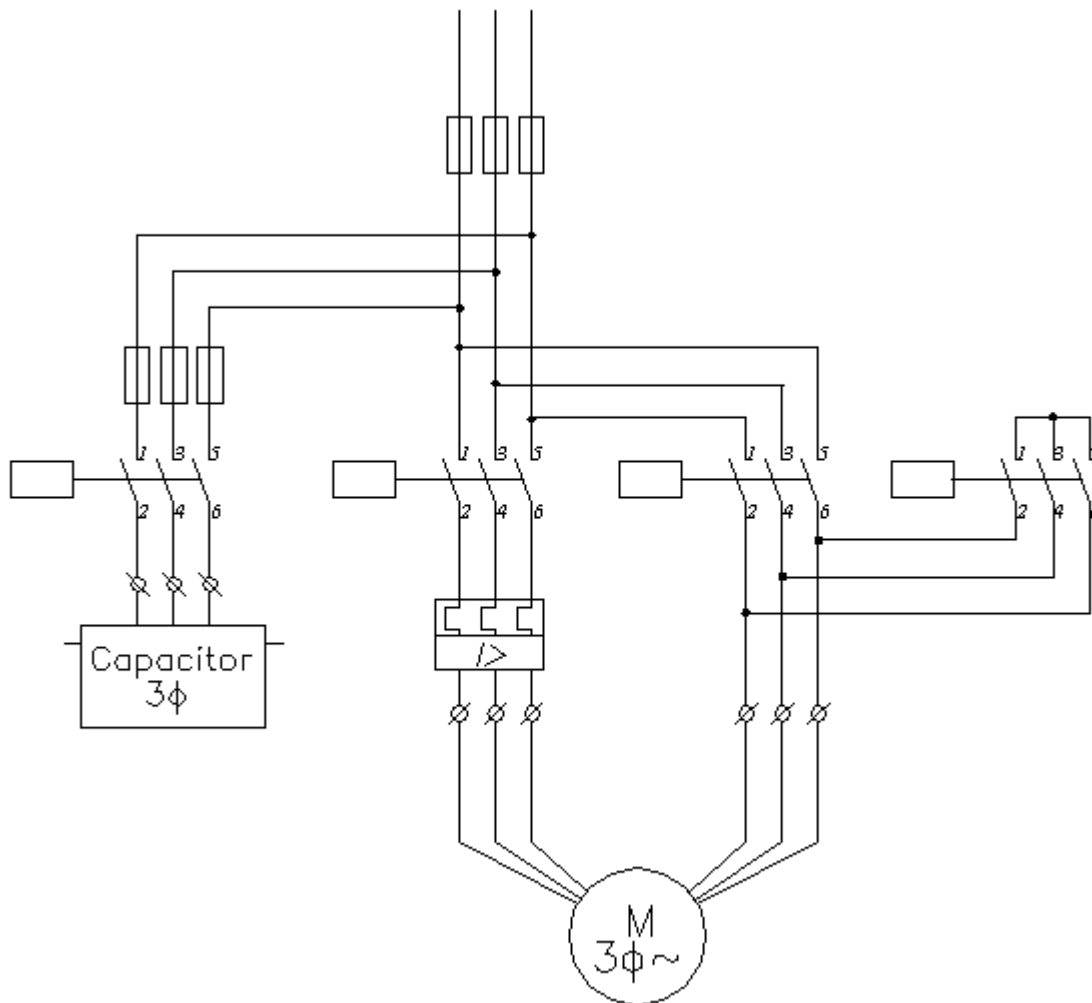
**Fig. 10. Motor de média potência com partida direta.**

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.28 MOTORES COM PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Motores que partam através de chave estrela-triângulo devem ter o capacitor ligado conforme a figura 11.

Motores com partida através de chave estrela-triângulo do tipo que retira momentaneamente o contato com a rede (por exemplo, tipo tambor reversível), deve usar 3 capacitores monofásicos, cada um em paralelo com um enrolamento do motor.

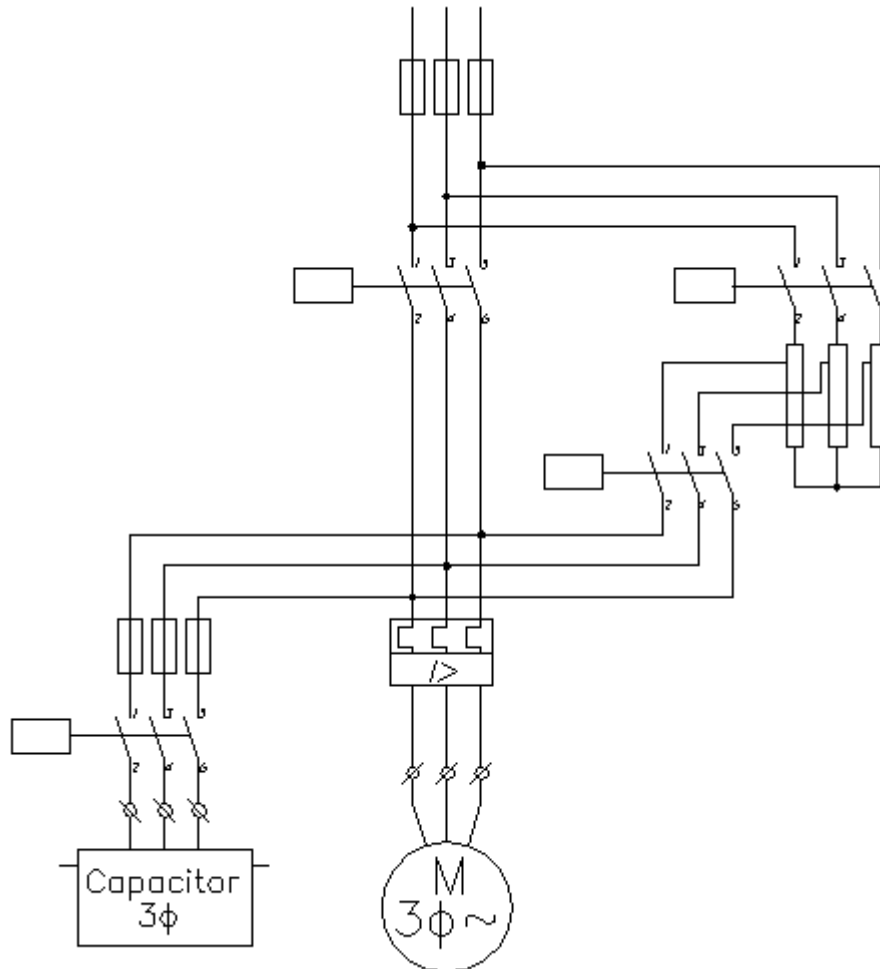


**Fig. 11. Motor com partida estrela-triângulo.**

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.29 MOTORES COM PARTIDA COMPENSADA

Motores que partam através de chave compensadora devem ter o capacitor ligado na saída da chave conforme a figura 12.



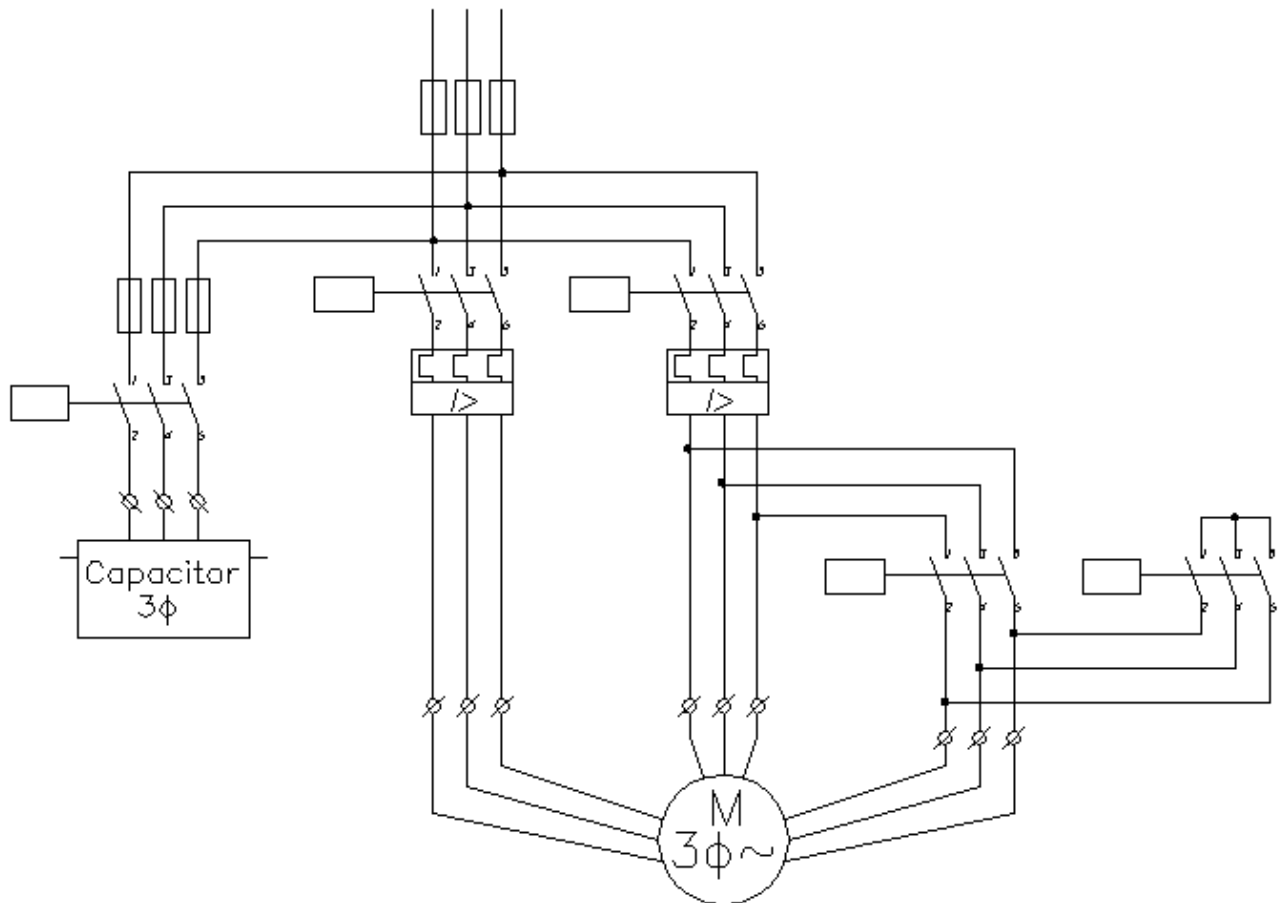
**Fig. 12. Motor com partida compensada.**



# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.30 MOTORES COM PARTIDA ESTRELA SÉRIE-PARALELO

Motores que partam através de chave de partida estrela série-paralelo devem ter o capacitor ligado conforme a figura 13.

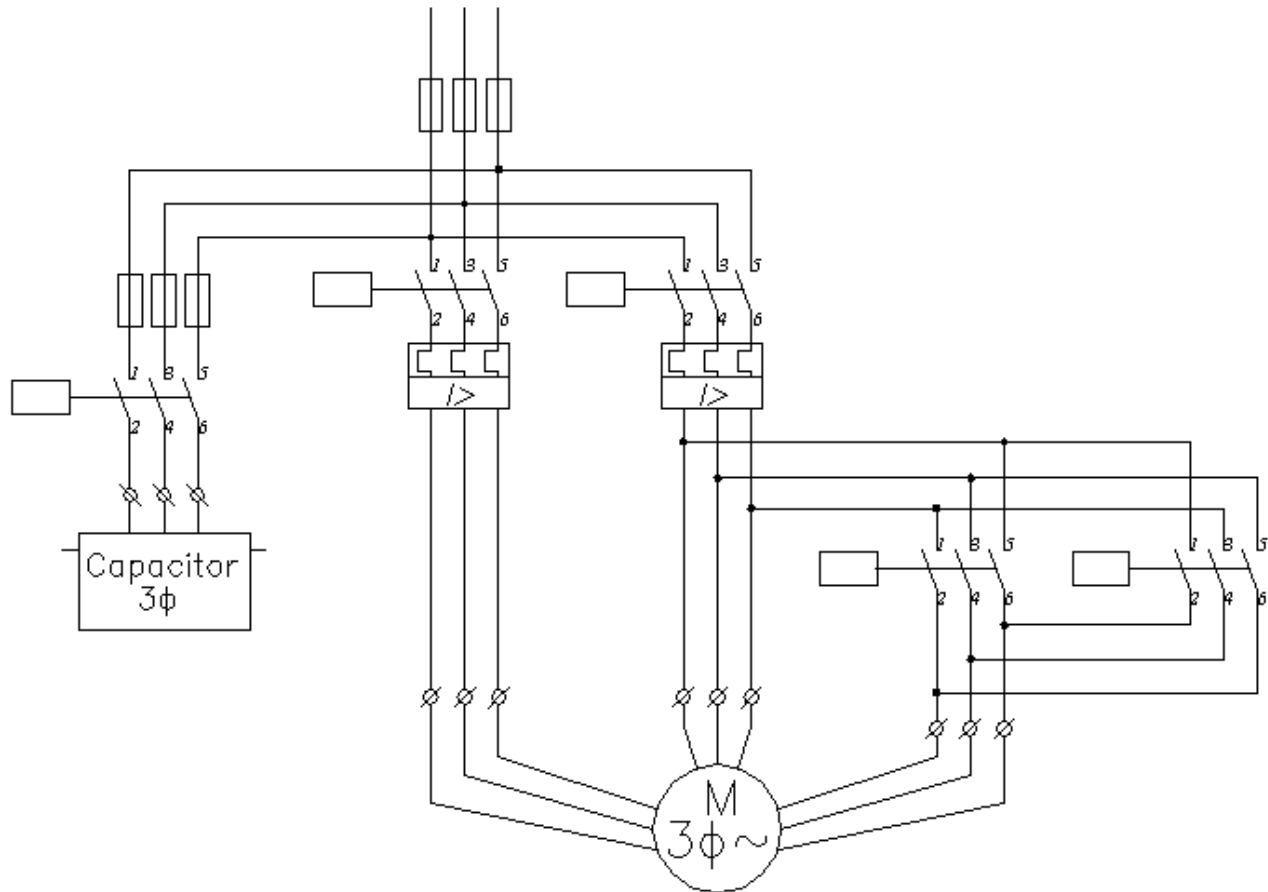


**Fig. 13. Motor com partida estrela série-paralelo.**

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 1.31 MOTORES COM PARTIDA TRIÂNGULO SÉRIE-PARALELO

Motores que partam através de chave de partida triângulo série-paralelo devem ter o capacitor ligado conforme a figura 14.



**Fig. 14. Motor com partida triângulo série-paralelo.**

## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

### 11. ANEXO A - CÁLCULO DA POTÊNCIA EM KVAR PARA CORREÇÃO FIXA DE TRANSFORMADORES A VAZIO

Classe 15 kV

Transformador kVA	Corrente de Excitação Io%	kVAr	
		Calculado	Nominal
15	4,8	0,68	0,75
30	4,1	1,17	1,00
45	3,7	1,58	1,50
75	3,1	2,21	2,00
112,5	2,8	2,99	3,00
150	2,6	3,71	3,50
225	2,3	4,92	5,00
300	2,2	6,27	6,00
500	1,5	7,13	7,50
750	1,3	9,26	10,00
1000	1,2	11,40	10,00
1500	1,0	14,25	12,50

Classe 25 kV

Transformador kVA	Corrente de Excitação Io%	kvar	
		Calculado	Nominal
15	5,7	0,81	0,75
30	4,8	1,37	1,25
45	4,3	1,84	1,75
75	3,6	2,57	2,50
112,5	3,2	3,42	3,50
150	3,0	4,28	4,00
225	2,7	5,77	5,00
300	2,5	7,13	7,50
500	1,5	7,13	7,50
750	1,4	9,98	10,00
1000	1,3	12,35	12,50
1500	1,0	14,25	15,00

# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 12. ANEXO B - TABELA PARA CÁLCULO DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

FATOR DE POTÊNCIA ORIGINAL %	FATOR DE POTÊNCIA DESEJADO %								
	92	93	94	95	96	97	98	99	100
50	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732
51	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
52	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
53	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,458	1,600
54	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
55	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
56	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
57	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441
58	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
59	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
60	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
61	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
62	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
63	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
64	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
65	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
66	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
67	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
68	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
69	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
70	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
71	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
72	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
73	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
74	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
75	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
76	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
77	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
78	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
79	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
80	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
81	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
82	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
83	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
84	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
85	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
86	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
87	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
88	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
89	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
90	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484
91	0,030	0,060	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
92		0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426
93			0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395



## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

94				0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363
95					0,037	0,078	0,126	0,186	0,329
96						0,041	0,089	0,149	0,292
97							0,048	0,108	0,251
98								0,061	0,203
99									0,142

## BANCO AUTOMÁTICO



## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

### 13. ANEXO C - TABELA DE CAPACITORES A SEREM INSTALADOS NOS MOTORES

POTÊNCIA DOS CAPACITORES EM kVAr									
POTÊNCIA NOMINAL		II PÓLOS		IV PÓLOS		VI PÓLOS		VIII PÓLOS	
		CARGA NO EIXO		CARGA NO EIXO		CARGA NO EIXO		CARGA NO EIXO	
CV	KW	75%	100%	75%	100%	75%	100%	75%	100%
1	0,75	0,36 kVAr	0,28 kVAr	0,5 kVAr	0,35 kVAr	0,75 kVAr		1 kVAr	
1,5	1,1	0,50 kVAr	0,37 kVAr	0,75 kVAr		1,5 kVAr		1,50 kVAr	
2	1,5	0,75 kVAr	0,34 kVAr	1 kVAr		1,5 kVAr		1,75 kVAr	
3	2,2	1,5 kVAr	1 kVAr	1,5 kVAr		2 kVAr		1,75 kVAr	
4	3	1,5 kVAr	1 kVAr	1,75 kVAr		2,5 kVAr	2 kVAr	2,5 kVAr	
5	3,7	1,5 kVAr	1 kVAr	2 kVAr	1,75 kVAr	2,75 kVAr	2,5 kVAr	3 kVAr	2,75 kVAr
6	4,4	1,5 kVAr		2 kVAr		3 kVAr		3,75 kVAr	3,5 kVAr
7,5	5,5	2,5 kVAr	1,75 kVAr	2,75 kVAr	2,5 kVAr	3,5 kVAr		4,5 kVAr	
10	7,5	2 kVAr		3,5 kVAr	3 kVAr	5 kVAr		5,75 kVAr	5,5 kVAr
12,5	9,2	2,5 kVAr		5 kVAr	4 kVAr	4 kVAr		4,5 kVAr	4 kVAr
15	11	2,75 kVAr	2,5 kVAr	4 kVAr	4,5 kVAr	5,5 kVAr		5 kVAr	4,5 kVAr
20	15	4,5 kVAr	4 kVAr	5,75 kVAr		8,5 kVAr	8 kVAr	5,75 kVAr	
25	18,5	4,75 kVAr	4,5 kVAr	7 kVAr		3,75 kVAr	3,5 kVAr	12 kVAr	12,5 kVAr
30	22	5,5 kVAr		7,75 kVAr		7,5 kVAr		8,75 kVAr	8,5 kVAr
40	30	7 kVAr		9,5 kVAr	9,75 kVAr	10,0 kVAr	10,5 kVAr	12,5 kVAr	11,5 kVAr
50	37	8,5 kVAr		10,5 kVAr	10,75 kVAr	13 kVAr		16,5 kVAr	14 kVAr
60	45	9 kVAr	7,75 kVAr	11,75 kVAr		12,75 kVAr	13 kVAr	18,75 kVAr	18,5 kVAr
75	55	8,5 kVAr	9,5 kVAr	14,5 kVAr	12,5 kVAr	19 kVAr	17,5 kVAr	23,75 kVAr	
100	75	9,5 kVAr	10,5 kVAr	21 kVAr	20 kVAr	29 kVAr	27,75 kVAr	40,5 kVAr	40,75 kVAr
125	90	19,75 kVAr	20,5 kVAr	25 kVAr	25,5 kVAr	31 kVAr		40,5 kVAr	43,5 kVAr
150	110	23,75 kVAr	18,5 kVAr	28 kVAr		42,5 kVAr	40,5 kVAr	49,5 kVAr	52,5 kVAr
175	130	22,5 kVAr	22 kVAr	37 kVAr	41 kVAr	50,5 kVAr	52 kVAr	59 kVAr	55,75 kVAr
200	150	25,5 kVAr	25 kVAr	41,75 kVAr	42,5 kVAr	63,5 kVAr	63 kVAr	73 kVAr	75,5 kVAr
250	185	31,5 kVAr	30,75 kVAr	47,5 kVAr	52 kVAr	70,5 kVAr	78 kVAr	86,75 kVAr	88,5 kVAr
300	220	22,75 kVAr	15,75 kVAr	51 kVAr	49 kVAr	97 kVAr	92,5 kVAr	97,5 kVAr	96,75 kVAr
350	260	20,5 kVAr	18,5 kVAr	60,0 kVAr	58 kVAr	92,5 kVAr	101,5 kVAr	127,5 kVAr	115,75 kVAr
400	300			63 kVAr	66,5 kVAr	113 kVAr	116,75 kVAr		
450	331			76 kVAr	73,5 kVAr	137,75 kVAr	137,5 kVAr		
500	368			85,5 kVAr	82 kVAr				

**OBSERVAÇÃO :** Realizar correção por grupo de motores



# MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

## 14. ANEXO D - TABELA PARA CÁLCULO DA EQUIVALÊNCIA DE CAPACITORES

TENSÃO ORIGINAL	NOVA TENSÃO	MULTIPLICAR POR
127	220	3,00
	250	3,88
	380	8,95
	440	12,00
	600	22,32
220	127	0,33
	250	1,29
	380	2,98
	440	4,00
	600	7,44
250	127	0,26
	220	0,77
	380	2,31
	440	3,10
	600	5,76
380	127	0,11
	220	0,34
	250	0,43
	440	1,34
	600	2,49
440	127	0,08
	220	0,25
	250	0,32
	380	0,75
	600	1,86
600	127	0,04
	220	0,13
	250	0,17
	380	0,40
	440	0,54

## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

### 15. ANEXO E - BARRAS DE COBRE SEÇÃO RETANGULAR - CAPACIDADE DE CONDUÇÃO

DIMENSÃO				BARRAS POR FEIXE	
L	x	e	S	1	2
15	x	2	30	140	240
15	x	3	45	170	300
20	x	2	40	185	315
20	x	3	60	220	380
20	x	5	100	295	500
25	x	3	75	270	460
25	x	5	125	350	600
30	x	3	90	315	540
30	x	5	150	400	700
40	x	3	120	420	710
40	x	5	200	520	900
40	x	10	400	760	1350
50	x	5	250	630	1100
50	x	10	500	820	1600
60	x	5	300	760	1250
60	x	10	600	1060	1900
80	x	5	400	970	1700
80	x	10	800	1380	2300
100	x	5	500	1200	2050
100	x	10	1000	1700	2800
120	x	10	1200	2000	3100
160	x	10	1600	2500	3900
200	x	10	2000	3000	4750



## MANUAL TLA CAPACITORES DE POTÊNCIA

### 16. ANEXO F – TABELA DE CONDUÇÃO DE CORRENTE (A) DE FIOS E CABOS

#### Instalação Aglomerada

Seção Nominal (mm <sup>2</sup> )	2 Condutores Carregados				3 Condutores Carregados			
	Temperatura Ambiente (°C)				Temperatura Ambiente (°C)			
	30	35	40	45	30	35	40	45
1,0	13,5	12,6	11,8	10,7	12,0	11,2	10,4	9,5
1,5	17,5	16,3	15,2	13,8	15,5	14,4	13,5	12,2
2,5	24,0	22,3	20,9	19,0	21,0	19,5	18,3	16,6
4	32,0	29,8	27,8	25,3	28,0	26,0	24,4	22,1
6	41,0	38,1	35,7	32,4	36,0	33,5	31,3	28,4
10	57,0	53,0	49,6	45,0	50,0	46,5	43,5	39,5
16	76,0	70,7	66,1	60,0	68,0	63,2	59,2	53,7
25	101,0	93,9	87,9	79,8	89,0	82,2	77,4	70,3
35	125,0	116,3	108,8	98,8	111,0	107,7	96,6	87,7
50	151,0	140,4	131,4	119,3	134,0	124,6	116,6	105,9
70	192,0	178,6	167,0	151,7	171,0	159,0	148,8	135,1
95	232,0	215,8	201,8	183,3	207,0	192,5	180,1	163,5
120	269,0	250,2	234,0	212,5	239,0	222,3	207,9	188,8
150	309,0	287,4	268,8	244,1	272,0	253,0	236,6	214,9
185	353,0	328,3	307,1	278,9	310,0	288,3	269,7	244,9
240	415,0	386,0	361,1	327,9	364,0	338,5	316,7	287,6
300	473,0	439,9	411,5	373,7	419,0	389,7	364,5	331,0
400	566,0	526,4	492,4	447,1	502,0	466,9	436,7	396,6
500	651,0	605,4	566,4	514,3	578,0	537,5	502,9	456,6

#### Instalação livre

Seção Nominal (mm <sup>2</sup> )	2 Condutores Carregados				3 Condutores Carregados			
	Temperatura Ambiente (°C)				Temperatura Ambiente (°C)			
	30	35	40	45	30	35	40	45
1,0	15,0	14,0	13,0	11,9	13,5	12,6	11,7	10,7
1,5	19,5	18,1	17,0	15,4	17,5	16,3	15,2	13,8
2,5	26,0	24,2	22,6	20,5	24,0	22,3	20,9	19,0
4	35,0	32,6	30,5	27,7	32,0	29,8	27,8	25,3
6	46,0	42,8	40,0	36,3	41,0	38,1	35,7	32,4
10	63,0	58,6	54,8	49,8	57,0	53,0	49,6	45,0
16	85,0	79,1	74,0	67,2	76,0	70,7	66,1	60,0
25	112,0	104,2	97,4	88,5	101,0	93,9	87,9	79,8
35	138,0	128,3	120,1	109,0	125,0	116,3	108,8	98,8
50	168,0	156,2	146,2	132,7	151,0	140,4	131,4	119,3
70	213,0	198,1	185,3	168,3	192,0	178,6	167,0	151,7
95	258,0	239,9	224,5	203,8	232,0	215,8	201,8	183,3
120	299,0	278,1	260,1	236,2	269,0	250,2	234,0	212,5
150	344,0	319,9	299,3	271,8	309,0	287,4	268,8	244,1
185	292,0	364,0	341,0	309,7	353,0	328,3	307,1	278,9
240	461,0	428,7	401,1	364,2	415,0	386,0	361,1	327,9
300	526,0	489,2	457,6	415,5	473,0	439,9	411,5	373,7
400	631,0	576,8	549,0	498,5	566,0	526,4	492,4	447,1
500	725,0	674,3	630,8	572,8	651,0	605,4	566,4	514,3



# Unidade Capacitiva Trifásica Anti-Explosão UCTAE

