

CAPACITORES DE POTÊNCIA
OS BANCOS CAPACITIVOS EM ALTA TENSÃO, BAIXA TENSÃO
E OS GRANDES BANCOS DE CAPACITORES

RODRIGO EDUARDO DUARTE

Monografia submetida à Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Engenharia de Sistemas Elétricos de Potência – CESEP, Ênfase: Supervisão, Controle e Proteção de SEP, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do certificado da Especialização.

Aprovada em ____ de Novembro de 2007

José Luiz Silvino - Dr.
Supervisor

Silvério Visacro Filho - Dr.
Coordenador do CESEP

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 RELEVÂNCIA	1
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	2
2. BANCO CAPACITIVOS DE BAIXA TENSÃO	3
2.1 ALCANCE	3
2.2 NORMAS	3
2.3 ESQUEMA DE LIGAÇÃO	3
2.4 ELEMENTOS DE UM BANCO	7
2.5 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO	7
2.5.1 Capacitores tipo auto regeneráveis	7
2.5.2 Capacitores tipo empregnados	7
2.6 EQUIPAMENTOS DE CONTROLE.....	7
2.7 EQUIPAMENTOS DE MONTAGEM	7
2.8 RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA	8
2.9 TABELA DE APLICAÇÃO	8
3. BANCOS CAPACITIVOS DE ALTA TENSÃO	10
3.1 ALCANCE	10
3.2 NORMAS	10
3.3 ESQUEMA DE LIGAÇÃO	10
3.4 DIMENSIONAMENTO DOS BANCOS	10
3.5 CHAVEAMENTO DOS BANCOS	11
3.6 PROTEÇÃO DOS BANCOS	11
3.7 PERIGOS DE UMA PROTEÇÃO INCORRETA	11
3.8 CÁLCULO DOS FUSÍVEIS	11
3.9 CONCLUSÕES PARA CÁLCULOS DOS FUSÍVEIS	16
3.10 TABELA DOS FUSÍVEIS.....	17
3.11 RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA	18
3.12 O CONTROLE DE CAPACITORES DE ALTA-TENSÃO	19
4. OS GRANDES BANCOS DE CAPACITORES	20
4.1 FRACIONAMENTO EM ESTÁGIOS	20

4.2	FORMAÇÃO DOS GRANDES BANCOS	21
4.2.1	<i>Ligação em estrela com neutro isolado</i>	24
4.2.2	<i>Ligação em estrela com neutro aterrado</i>	25
4.2.3	<i>Ligação em dupla estrela com os centros solidamente interligados e não aterrados</i>	26
4.3	SISTEMAS DE LIGAÇÃO	27
4.3.1	<i>Banco em triângulo ou delta</i>	28
4.3.1.1	<i>Vantagens</i>	28
4.3.1.2	<i>Desvantagens</i>	28
4.3.2	<i>Banco em estrela com neutro aterrado</i>	30
4.3.2.1	<i>Vantagens</i>	31
4.3.2.2	<i>Desvantagens</i>	31
4.3.3	<i>Banco em estrela com neutro isolado</i>	32
4.3.3.1	<i>Vantagens</i>	33
4.3.3.2	<i>Desvantagens</i>	33
4.3.4	<i>Banco em duplo estrela</i>	34
4.3.4.1	<i>Vantagens</i>	34
4.3.4.2	<i>Desvantagens</i>	34
4.4	PROTEÇÕES DOS GRANDES BANCOS DE CAPACITORES	34
4.5	UTILIZAÇÃO DE PÁRA-RAIOS	36
4.6	UTILIZAÇÃO DE CHAVE`DE TERRA	36
5.	EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE BANCOS DE CAPACITORES	38
5.1	EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE BANCOS DE CAPACITORES	38
6.	CONCLUSÃO	43
6.1	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é colaborar com as pessoas que são diretamente responsáveis pelo setor de compensação reativa nas concessionárias de energia elétrica e nos estabelecimentos industriais. Este trabalho apresenta: os bancos de capacitores de alta e baixa tensão e os grandes bancos de capacitores. Primeiramente será abordado os capacitores de baixa e alta tensão com informações sobre: o alcance dos bancos, normas em vigor nas quais devem ser seguidas. Como são os esquemas de ligação dos bancos capacitivos, como são normalmente empregados e instalados em redes trifásicas. O uso adequado dos equipamentos de manobra, tais como: contadores magnéticos e chave seccionadoras blindadas de abertura sob carga; os equipamentos de proteção e de controle. Orientação aos usuários contra os riscos de uma proteção incorreta; dimensionamentos dos bancos; recomendações de segurança, o modo como se manuseia os bancos e cálculos de fusíveis.

Com relação aos grandes bancos de capacitores foi abordado: o fracionamento em estágios, formação dos bancos, as equações que auxiliam o estudo do comportamento dos grandes bancos (estrela com neutro isolado, estrela com neutro aterrado, ligação dupla-estrela); características dos diversos sistemas de ligação, suas vantagens e desvantagens; aplicação de pára-raios e de chaves de terra.

Será apresentado um exemplo de cálculo de dimensionamento de banco de capacitores. Este exemplo consiste na determinação e configuração dos bancos, escolha do fusível e dimensionamento de TC's, relés e chaves de terra.

ABSTRACT

The main purpose of this work is to cooperate with people directly responsible for the reactive compensation sector at energy concessionaries and industrial plants. This work presents: high and low voltage capacitor banks and great capacitor banks, informing bank ranges, standard specifications that must be followed and its prescription; how connection schemes of capacitor banks are normally utilized and installed in three-phases nets; adequate use of operating equipments, such as magnetic contactors and sectional switches of load opening; protection and control equipments, guiding users against the risks of inadequate protection; bank dimensioning; security recommendations, how to handle the banks; and safety fuse calculation. It was also covered, regarding the great capacitor banks: stage fractioning; bank formation, mostly the equations that help to study the behavior of great banks; characteristics of several connection schemes, its advantages and disadvantages; lightning arresters and grounding switches applications; and an example of dimensional calculation of capacitor banks. This example consists in the bank determination and configuration, choice of the safety fuse, TC's, relays and grounding switches dimensioning.

1 - Introdução

1.1- Relevância

Na maioria das vezes, nos sistemas de distribuição de energia elétrica as cargas são indutivas. A principal característica das cargas indutivas é que elas necessitam de um campo eletromagnético para operar. Por esta razão, elas consomem dois tipos de potência:

- Potência ativa (W) – Para gerar o trabalho de gerar, calor, luz e movimento.
- Potência reativa (KVAR) – Para manter o campo magnético.

A potência reativa não produz trabalho útil, mas circula entre o gerador e a carga, exigindo do gerador e do sistema distribuição uma corrente adicional. Esta potência reativa pode ser suprida por diversas fontes ligadas ao sistema elétrico, funcionando individualmente ou simultaneamente. São estas fontes:

- Geradores.
- Motores Síncronos.
- Capacitores.

As linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica são fontes de energia reativa, devida sua grande reatância:

- energia reativa indutiva.
- energia reativa capacitiva.

Para evitar transportar a energia reativa de terminais distantes das cargas, faz-se necessário que se instalem nas proximidades destas cargas as referidas fontes de energia reativa, reduzindo assim as perdas nas transmissões referentes a esse bloco de energia e deste modo resultando num melhor rendimento do SEP. Os equipamentos que geram energia indutiva são dotados de bobinas, tais como motores de indução, reatores, transformadores, etc., ou que operem com formação de arco elétrico, como os fornos a arco. Este tipo de carga apresenta fator de potência reativo indutivo. A energia capacitiva é gerada por motores síncronos superexcitados (compensadores síncronos) ou por capacitores. As cargas apresentam fator de potência dito reativo capacitivo.

Como já foi dito, a energia reativa indutiva é responsável pela formação do campo magnético podendo ser suprida por uma fonte geradora normalmente localizada distante da planta industrial, acarretando perdas por efeito Joule elevadas no sistema de transmissão e de distribuição. Mas a melhor situação é a instalação da fonte geradora de potência reativa próxima da planta industrial, aliviando assim o sistema de transmissão e com isto podendo transportar mais energia ativa.

1.2 – Organização do texto

O texto desta monografia foi distribuído em 6 capítulos, incluindo a presente **Introdução**.

No **Capítulo 2** são apresentados os desenvolvimentos dos Bancos de Capacitores de Baixa Tensão com informações sobre o alcance dos bancos, normas em vigor que devem ser seguidas, suas prescrições e como são normalmente empregados os esquemas de ligação dos bancos capacitivos instalados em redes trifásicas. O uso adequado dos equipamentos de manobra, tais como contadores magnéticos e chaves seccionadoras blindadas de abertura sob carga. São também abordados os equipamentos de proteção e de controle, orientando os usuários contra os riscos de uma proteção incorreta, dimensionamentos dos bancos, recomendações de segurança, o modo como se manuseia os bancos e os cálculos dos fusíveis.

No **Capítulo 3** são apresentados os desenvolvimentos dos Bancos de Capacitores de Alta Tensão informando o alcance dos bancos, normas em vigor que devem ser seguidas, suas prescrições; como são normalmente empregados os esquemas de ligação dos bancos capacitivos, instalados em redes trifásicas. Chaveamento dos bancos, dimensionamento dos bancos, proteção dos bancos, perigos de uma proteção incorreta, cálculo dos fusíveis.

No **Capítulo 4** são apresentados os desenvolvimentos dos Grandes Bancos de Capacitores informando o fracionamento em estágios, formação dos bancos e principalmente as equações que auxiliam o estudo do comportamento dos grandes bancos (estrela com neutro isolado, estrela com neutro aterrado, ligação dupla-estrela). Características dos diversos sistemas de ligação, suas vantagens e desvantagens. Aplicação de pára-raios e de chaves de terra.

No **Capítulo 5** é apresentado um exemplo de cálculo de dimensionamento de banco de capacitores. Este exemplo consiste na determinação dos bancos, configuração dos bancos, escolha do fusível, dimensionamento dos TC's, relés e chaves de terra.

A conclusão será apresentada no **Capítulo 6**

Ao final do texto são apresentadas as **Referências Bibliográficas** utilizadas.

2.0 - Bancos Capacitivos de Baixa Tensão

2.1- Alcance

Na frequência de 60Hz ou menos é considerado baixa tensão os bancos capacitivos onde a tensão de linha não é superior a 1000V.

2.2 - Normas

Nos Bancos capacitivos de baixa tensão devem ser seguidas às prescrições da norma NBR 5410 (“Execução de instalações em baixa tensão”) da ABNT. Existe também a norma NBR 5060 (“Guia para instalação e operação de capacitores de potência”).

2.3 - Esquema de ligação

Na baixa tensão os bancos de capacitores são usados em redes trifásicas e a sua ligação na maioria das vezes é em triângulo (existem casos de ligação em estrela), efetuada internamente e apresentando três terminais acessíveis externamente. Ao contrário dos motores os capacitores não tem sentido preferencial de rotação, seus terminais podem ser ligados em qualquer seqüência.

Se ligar o capacitor junto ao motor, utilizando a mesma chave de proteção, deveremos ter os seguintes cuidados:

- A fim de evitar eventuais sobretensões por auto-excitação após abertura da chave, a potência capacitiva (kVAr) a ser instalada não deve ser maior que a potência consumida pelo motor em vazio.
- Não se dispondo de valores reais da componente reativa da corrente em vazio do motor deve-se seguir a tabela 1 abaixo. Esta tabela também mostra os respectivos valores percentuais de redução da corrente da carga com aplicação dos kVAr recomendados.

Os valores da tabela 1 são baseados no NEC e são válidos para motores de indução classe B, podendo ser aplicados também para motores de rotor bobinado. A tabela 2 mostra valores correspondentes aos da tabela 1, porém para os motores de indução de tensão 2300 V / 4000 V de fabricação GE.

Potência do motor (HP)	Velocidade síncrona do motor (rpm) e número de pólos											
	3600 - 2		1800 - 4		1200 - 6		900 - 8		720 - 10		600 - 12	
	kVAr (1)	% I (2)	kVAr	% I	kVAr	% I	kVAr	% I	kVAr	% I	kVAr	% I
3	1.5	14	1.5	15	1.5	20	2	27	2.5	35	3.5	41
5	2	12	2	13	2	17	3	25	4	32	4.5	37
7.5	2.5	11	2.5	12	3	15	4	22	5.5	30	6	34
10	3	10	3	11	3.5	14	5	21	6.5	27	7.5	31
15	4	9	4	10	5	13	6.5	18	8	23	9.5	27
20	5	9	5	10	6.5	12	7.5	16	9	21	12	25
25	6	9	6	10	7.5	11	9	15	11	20	14	23
30	7	8	7	9	9	11	10	14	12	18	16	22
40	9	8	9	9	11	10	12	13	15	16	20	20
50	12	8	11	9	13	10	15	12	19	15	24	19
60	14	8	14	8	15	10	18	11	22	15	27	19
75	17	8	16	8	18	10	21	10	26	14	32.5	18
100	22	8	21	8	25	9	27	10	32.5	13	40	17
125	27	8	26	8	30	9	32.5	10	40	13	47.5	16
150	32.5	8	30	8	35	9	37.5	10	47.5	12	52.5	15
200	40	8	37.5	8	42.5	9	47.5	10	60	12	65	14
250	50	8	45	7	52.5	8	57.5	9	70	11	77.5	13
300	57.5	8	52.5	7	60	8	65	9	80	11	87.5	12
350	65	8	60	7	67.5	8	75	9	87.5	10	95	11
400	70	8	65	6	75	8	85	9	95	10	105	11
450	75	8	67.5	6	80	8	92.5	9	100	9	110	11
500	77.5	8	72.5	6	82.5	8	97.5	9	108	9	115	10

Tabela 1

Potência do motor (HP)	Velocidade síncrona do motor (rpm) e número de pólos											
	3600 - 2		1800 - 4		1200 - 6		900 - 8		720 - 10		600 - 12	
	kVAr	% I	kVAr	% I	kVAr	% I	kVAr	% I	kVAr	% I	kVAr	% I
100	20	7	25	10	25	11	25	11	30	12	45	17
125	30	7	30	9	30	10	30	10	30	11	45	15
150	30	7	30	8	30	8	30	9	30	11	60	15
200	30	7	30	6	45	8	60	9	60	10	75	14
250	45	7	45	5	60	8	60	9	75	10	90	14
300	45	7	45	5	75	8	75	9	75	9	90	12
350	45	7	45	5	75	8	75	9	75	9	90	11
400	60	6	60	5	60	6	90	9	90	9	90	10
450	75	5	60	5	75	6	90	9	90	8	90	8
500	75	5	75	5	90	6	120	8	120	8	120	8
600	75	5	90	5	90	5	120	8	120	8	135	8
700	90	5	90	5	90	5	135	7	150	8	150	8
800	90	5	120	5	120	5	150	7	150	8	150	8

Tabela 2

- Com pequenos motores de rotor em curto-circuito (gaiola, copo, etc.) ligados à rede por uma chave simples, o capacitor deve ser ligado aos terminais de saída da chave, fig. 1.

- Com motores de rotor bobinado ligados à rede na chave simples, o capacitor deve-se ser ligado aos terminais de saída da chave, fig. 2.

- Com motores com rotor em curto-circuito, de potência superior ou até 10HP, e que partam com chave estrela-triângulo automática; os capacitores neste caso devem ser ligados aos terminais do motor desde que, na partida, os mesmos deverão ser ligados à rede. Sendo assim pode ser usado o esquema da fig. 3.

- Com motores de rotor em curto-curcuito, de potência superior a 10HP, e que partam com chave estrela-triângulo do tipo que, retira temporariamente o contato com a rede, deve-se usar 3 capacitores monofásicos, cada um em paralelo com um enrolamento do motor; com isto se consegue uma maior duração da chave e dos capacitores: é o caso, por exemplo, do uso com chaves de tambor reversível, conforme a fig. 4.

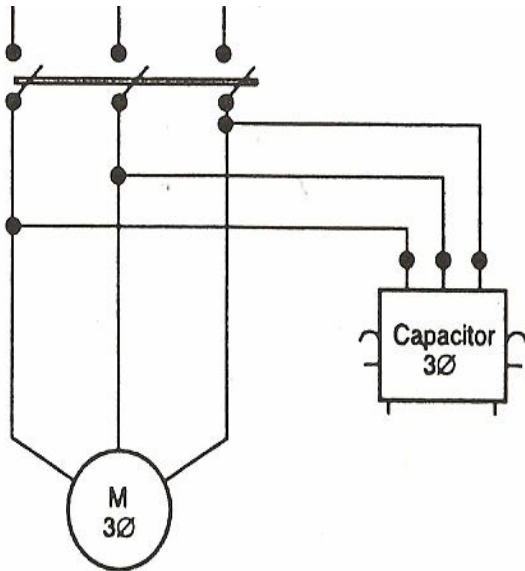


Figura 01

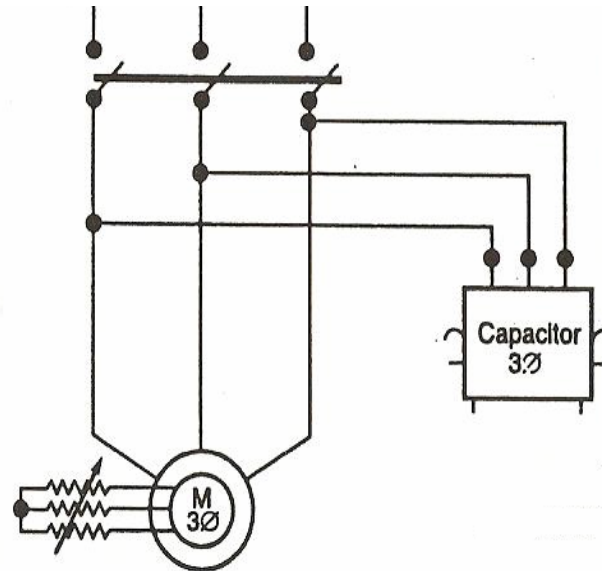


Figura 02

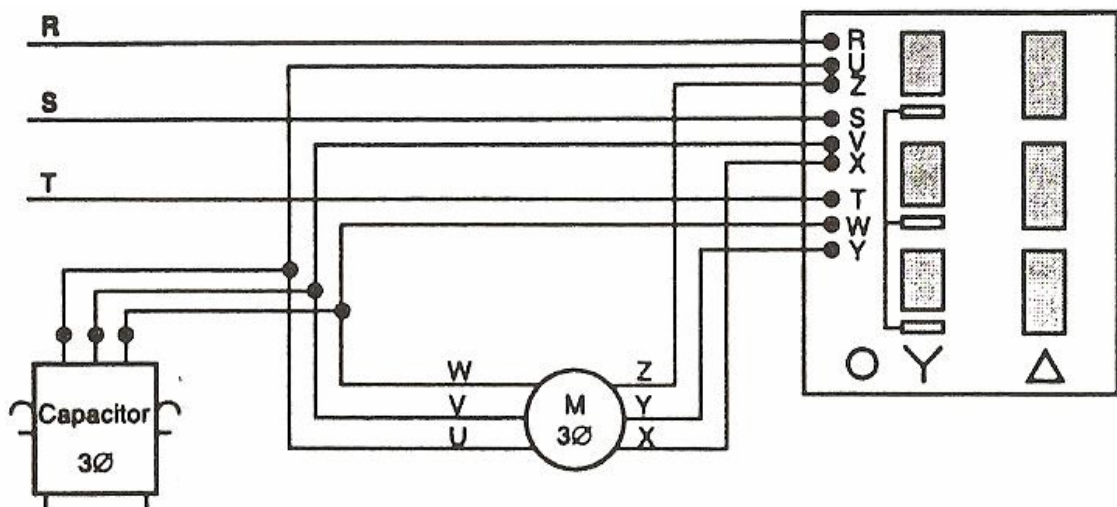


Figura 03

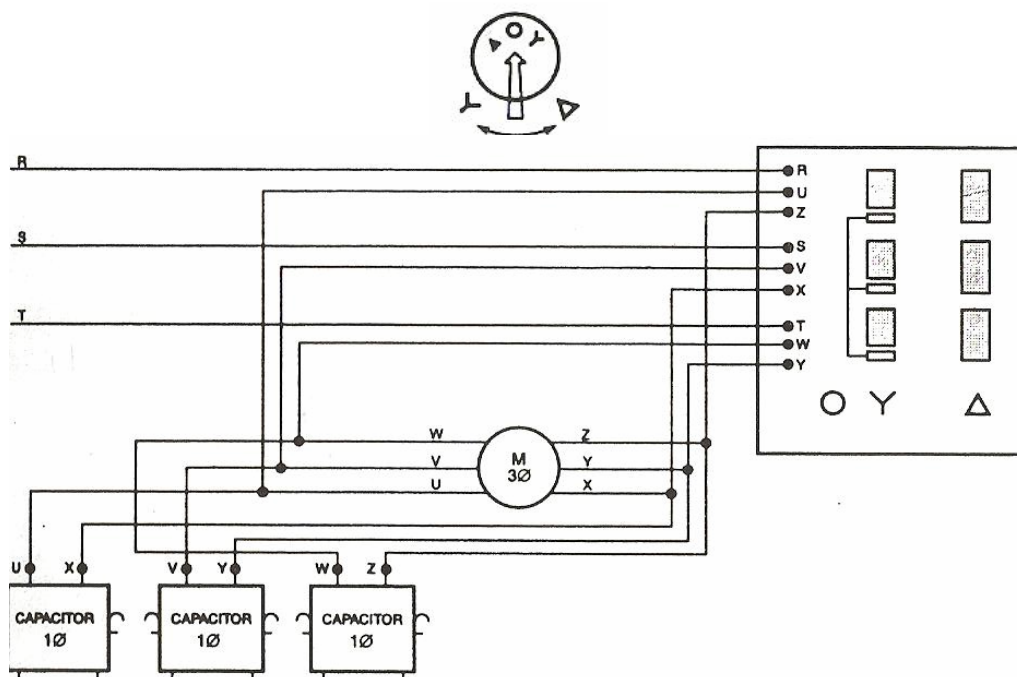


Figura 04

- Quando os motores partem com chave compressora, o capacitor deve ser ligado aos terminais de saída da chave, conforme fig. 5.

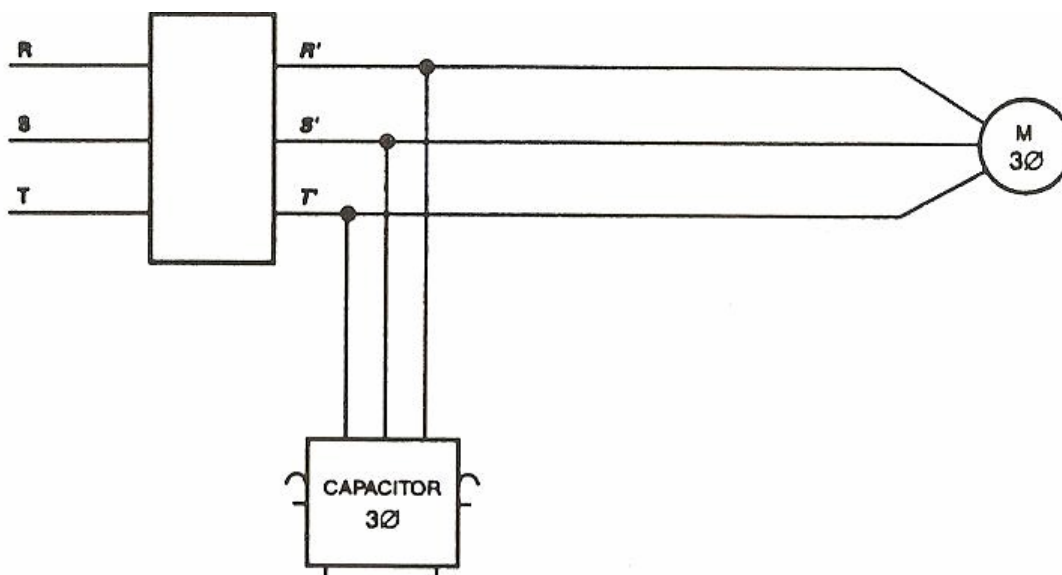


Figura 05

2.4 - Elementos de um banco

Temos os capacitores como elementos básicos, cujos dados de frequência e tensão devem ser compatíveis com a rede (frequência e tensão) e a potência do banco (reativa) deve ser a mais próxima dos valores calculados necessários à correção do fator de potência.

Como elementos auxiliares, podemos considerar: equipamentos de manobra, controle, proteção e montagem.

2.5 - Equipamentos de Proteção

2.5.1 - Capacitores tipo auto-regeneráveis

Tem a característica de eliminar pequenos curto-circuitos entre as partes metalizadas, sem a necessidade de desligamento e sem prejuízo de suas características técnicas. Normalmente acontecem nesses tipos de capacitores, são curto-circuitos de alta impedância com duração curta, elevando de um valor relativamente pequeno a corrente de trabalho durante a ocorrência da falha. O valor acrescido é insuficiente para provocar a abertura de um fusível de proteção. O fusível tem que suportar a corrente de 1.44 vezes a corrente nominal. Neste caso o uso de fusíveis não é recomendado. A recomendação é utilizar fusíveis na entrada do circuito para a proteção geral de todos os equipamentos.

2.5.2 - Capacitores tipo impregnados

A proteção desses capacitores é feita por fusíveis do tipo retardo, devendo ser dimensionado para suportar 144% da corrente nominal do capacitor. Devem-se usar fusíveis individuais de proteção, entretanto pode-se ligar três capacitores em paralelo, protegidos por fusíveis em grupo. Não é recomendado o uso de fusível de cartucho para proteção dos capacitores.

2.6 - Equipamentos de Controle

Na baixa tensão os capacitores são ligados ou desligados juntamente com a carga que eles estão corrigindo, como os capacitores conectados a motores. No caso de bancos maiores deverá haver um controle dos capacitores que devem ou não permanecer ligado, de acordo com a necessidade de reativos que a carga está apresentando.

2.7 - Equipamentos de Montagem

Os cabos devem ser dimensionados para suportar no mínimo 144% da corrente nominal do capacitor. Utilizar eletrodutos rígidos ou flexíveis para evitar o acúmulo de poeira nas conexões. Observar o afastamento mínimo de 50 mm entre capacitores adjacentes.

2.8 - Recomendações de Segurança

Os capacitores devem ter sua caixa ligada à terra. As recomendações de segurança são citadas na NRR 5410 da ABNT. Se não houver um bom aterramento, a caixa não deve ser tocada enquanto o capacitor não estiver descarregado. Depois de desligados os mesmos podem estar carregados. Antes de tocar em um capacitor carregado observe o seguinte:

- Aguarde alguns minutos para a redução da tensão.
- Depois desse tempo, use um cabo isolado para curto-circuitar os terminais entre si contra a caixa.

2.9 - Tabela de Aplicação

Essa tabela é usada valores para 60Hz. Para valores de 50Hz, a potência e a corrente devem ser multiplicadas por 0.833. Os capacitores são trifásicos. Cabos de ligação recomendados são para um único capacitor, dimensionados para eletrodutos com 3 cabos no máximo.

Tensão V	Potência kVA	Capacitância Normal	Corrente Nominal A	Cabo de Lig. PVC 70° C	Chave com Base Fusível NHA
220V	2.5	137.01	6.6	1.5	100
	5.0	274.02	13.1	2.5	100
	7.5	411.04	19.7	4.0	100
	10.0	548.05	26.2	6.0	100
	12.5	685.07	32.8	10.0	100
	15.0	822.08	39.4	16.0	100
	17.5	959.09	45.9	16.0	100
	20.0	1096.12	52.5	25.0	160
	22.5	1233.12	59.0	25.0	160
	25.0	1370.14	65.6	25.0	160
	30.0	1644.16	76.7	35.0	250
	35.0	1918.19	91.9	50.0	250
	40.0	2192.22	105.0	70.0	250
	45.0	2466.24	118.1	70.0	250
50.0	2740.27	131.2	95.0	250	
380V	2.5	45.92	3.8	1.5	100
	5.0	91.85	7.6	1.5	100
	7.5	137.77	11.4	1.5	100
	10.0	183.70	15.2	2.5	100
	12.5	229.62	19.0	4.0	100
	15.0	275.55	22.8	6.0	100
	17.5	321.47	26.6	6.0	100
	20.0	367.39	30.4	10.0	100
	22.5	413.32	34.2	10.0	100
	25.0	459.24	38.0	16.0	100
	30.0	551.09	45.6	16.0	100
	35.0	642.94	53.2	25.0	100
	40.0	734.79	60.8	25.0	100
	45.0	826.64	68.4	35.0	160
50.0	918.48	76.0	35.0	160	
60.0	1102.18	91.2	50.0	250	
70.0	1285.88	106.4	70.0	250	
80.0	1469.57	121.5	70.0	250	
90.0	1653.27	136.8	95.0	250	
100.0	1836.97	152.0	95.0	250	
440V	2.5	34.25	3.3	1.5	100
	5.0	68.51	6.6	1.5	100
	7.5	102.76	9.8	1.5	100
	10.0	137.01	13.1	2.5	100
	12.5	171.26	16.4	4.0	100
	15.0	205.52	19.7	4.0	100
	17.5	239.77	23.0	6.0	100
	20.0	274.03	26.2	6.0	100
	22.5	308.28	29.2	10.0	100
	25.0	342.53	32.8	10.0	100
	30.0	411.04	39.4	16.0	100
	35.0	479.54	45.9	16.0	100
	40.0	548.05	52.5	25.0	160
	45.0	616.56	59.0	25.0	160
50.0	685.07	65.6	25.0	160	
60.0	822.08	76.7	35.0	250	
70.0	959.09	91.9	50.0	250	
80.0	1096.11	105.0	70.0	250	
90.0	1233.12	118.1	70.0	250	
100.0	1370.14	131.2	95.0	250	
480V	2.5	28.78	3.0	1.5	100
	5.0	57.56	6.0	1.5	100
	7.5	86.34	9.0	1.5	100
	10.0	115.13	12.0	2.5	100
	12.5	143.91	15.0	2.5	100
	15.0	172.69	18.0	4.0	100
	17.5	201.47	21.0	4.0	100
	20.0	230.26	24.1	6.0	100
	22.5	259.04	27.1	6.0	100
	25.0	287.82	30.1	10.0	100
	30.0	345.39	36.1	10.0	100
	35.0	402.95	42.1	16.0	100
	40.0	460.52	48.1	16.0	100
	45.0	518.08	54.1	25.0	160
50.0	575.65	60.1	25.0	160	
60.0	690.78	72.2	35.0	160	
70.0	805.91	84.2	50.0	250	
80.0	921.04	96.2	50.0	250	
90.0	1036.16	108.2	70.0	250	
100.0	1151.29	120.3	70.0	250	

- Valores para 60Hz. Em 50Hz, a potência e a corrente são as indicadas na tabela acima multiplicadas por 0,833.
- Os capacitores da tabela acima são trifásicos. Para outras, potências, número de fases e dimensões, favor consultar a LAELC.
- Dimensões sujeitas a modificação sem aviso prévio.
- Cabos de ligação recomendados acima são para um único capacitor, dimensionados para eletrodos com 3 cabos no máximo.

Tabela 3

3.0 - Bancos Capacitivos de Alta Tensão

3.1 - Alcance

Na frequência de 60Hz ou menos, é considerado alta tensão os bancos capacitivos onde a tensão de linha é superior a 1000V.

3.2 - Normas

Nos bancos capacitivos em alta tensão (até 15kV) devem ser seguidas as prescrições da norma NBR-5414 (“Execução de Instalações Elétricas de Alta Tensão”) da ABNT. Devemos também observar a norma NBR-10671 (“Guia para Instalação, operação e manutenção de capacitores de potência em derivação”) e NBR-12479 (“Capacitores de Potência em derivação, para sistema de tensão acima de 1000V – padronização”).

3.3 - Esquema de ligação

Para determinar a forma de ligação de banco de capacitores de alta tensão, primeiramente verifica-se se o neutro do sistema de alimentação é aterrado ou não.

Recomenda-se para evitar eventuais distúrbios de ressonância série:

- Se o transformador a ser corrigido pelo banco estiver ligado em estrela aterrada o banco também deverá ser ligado em estrela aterrada.
- Se o transformador a ser corrigido pelo banco estiver ligado em estrela não aterrada o banco deverá ser ligado em estrela não aterrada ou triângulo de preferência.
- O transformador a ser corrigido pelo banco estiver ligado em triângulo o banco deverá ser ligado em estrela não aterrada, de preferência ou em triângulo.
- A ligação do banco capacitivo dupla-estrela é enquadrada nas condições da estrela não aterrada.

As fases do sistema devem ser as mais equilibradas possíveis.

3.4 - O dimensionamento dos bancos

A tensão de linha deve ser igual à tensão de cada fase do banco, mesmo ligando em triângulo, ou no mínimo igual a 58% da tensão de linha quando ligado em estrela. Fornos a arco, máquinas de solda, retificadores de mercúrio, etc., que possuem linhas de tensão pouco estáveis e cargas muito variáveis requerem capacitores com tensões nominais mais elevadas.

3.5 - O chaveamento dos bancos

Sempre que a instalação por ele corrigida esteja parada, recomenda-se desligar o banco ou em carga muito baixa, se a tensão não for estável e se à distância do mesmo à

subestação for de alguns quilômetros. Não são significativos os transitórios de tensão e corrente devidos às manobras, porém irão se tornar, à medida que aumenta o número de ocorrências conforme a tabela 4, extraída da NEMA CP-1-1988, item 6-3:

Transitórios de chaveamento permissíveis em capacitores	
Provável número anual de chaveamentos	Pico de tensão transitória permissível em termos da nominal
40	4
400	3.4
4000	2.9

Tabela 4

3.6 - Proteção dos bancos

Conforme já dissemos, os capacitores são projetados para suportar até 144% da potência nominal. Disjuntores são a melhor maneira de proteção para os bancos de capacitores contra sobrecargas, mas existem pequenos bancos ligados à rede sem disjuntor de proteção apenas com proteção de fusíveis.

3.7 - Perigos de uma proteção incorreta

Entrando o capacitor em curto-circuito, circulará pelo mesmo uma corrente dependente do esquema de ligação e dos valores do circuito de alimentação. Esse curto-circuito pode ocasionar a ruptura da caixa do capacitor, devido à pressão do gás da decomposição dos materiais dielétricos provocado pelo arco elétrico na área do defeito. Se essa corrente dura muito tempo há uma probabilidade da ruptura da caixa.

Então, se essa proteção estiver incorreta, pode ocorrer desde um simples vazamento do líquido do capacitor até a explosão da caixa. Com a explosão da caixa os fragmentos podem acidentar pessoas ou danificar outros equipamentos.

3.8 - Cálculo dos fusíveis

A norma recomenda para uma proteção segura e para uma melhor eficiência na atuação do fusível, que este seja atravessando na ocasião do defeito, por um corrente não inferior a 10 vezes o seu valor nominal. Pode este valor ser normalmente obtido nos casos em que o banco estiver ligado em estrela aterrada ou em triângulo, os valores usuais das correntes de curto-circuito, nos casos respectivos de defeito entre fase e terra e fase-fase como apresentado na figura 6.

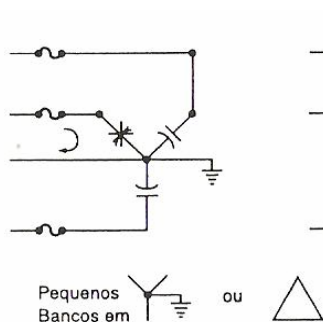


Figura 06

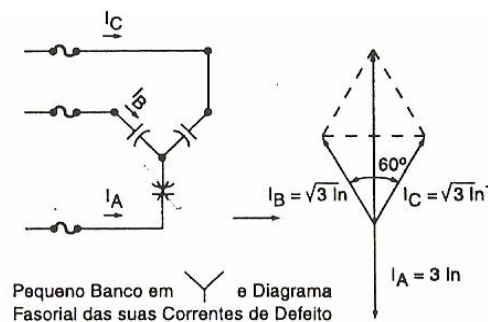


Figura 07

Quando o banco é ligado em estrela com o neutro isolado conforme a figura 7, a corrente no fusível da fase é defeituosa e limitada pela impedância das fases boas, a no máximo 300% da corrente normal na fase; e se o fusível não conseguir interromper logo o circuito, não só o capacitor inicialmente defeituoso pode romper-se como também os da outra fases, inicialmente bons, provavelmente apresentarão defeito, devidos as condições anormais a que estarão submetidos. Certamente o banco mais crítico é o banco em estrela com neutro isolado. Este precisa ter fusíveis baixos para que haja uma mínima segurança. Quando se tem estrela aterrada ou em triângulo, verifique se os fusíveis têm capacidade de ruptura e se a corrente de curto não excede os 4000 ou 5000 A. Pode se usar fusíveis do tipo limitador de corrente, ou fazer um novo rearranjo do banco, para que cada fase tenha grupo de capacitores, cada um com vários capacitores em paralelo, com seu fusível individual, obtendo assim uma atuação mais positiva. A tabela abaixo indica os números.

Número mínimo de capacitores em paralelo (M) por grupo.Cada capacitor com fusível individual			
Números de grupos série por fase	Estrela aterrada ou Triângulo	Estrela isolada	Dupla estrela (seções iguais)
1	1	4	2
2	6	8	7
3	8	9	8
4	9	10	9
5	9	10	10
6	10	10	10
7	10	10	10
8	10	11	10
9	10	11	10
10	10	11	11
11	10	11	11
12	11	11	11

Tabela 5

Vimos então que a corrente de atuação dos fusíveis não pode ser inferior a 10 vezes a corrente nominal do fusível. Observando a tabela acima cada capacitor está provido de seu “fusível individual”.

Quando existe apenas um grupo por fase ($X=1$), é também encontrado um outro sistema de colocação de fusíveis: um fusível para cada fase. Os fusíveis de grupo terá uma ação muito lenta em relação ao fusível individual.

A norma recomenda sempre que possível o uso de fusível individual. Quando for usado fusível de grupo deve-se evitar mais de 4 capacitores em paralelo por grupo.

Mesmo usando fusíveis individuais ou de grupo, será sempre desejável que, na ocasião de um eventual defeito, o tempo total de interrupção do fusível, para a corrente do defeito, seja inferior ao tempo de ruptura da caixa do capacitor defeituoso. Para verificação, lança-se mão das curvas máximas (tempo máximo x corrente) dos elos fusíveis e também das curvas de probabilidade de ruptura da caixa do capacitor. As figuras abaixo (fig. 8, 9 e 10), mostram curvas de ruptura da caixa para os capacitores de 25, 50, 100, 150, 200, 300 kVAr, em conjunto com algumas curvas máximas de elos fusíveis que estão nos limites da zona de segura. Do exame das figuras abaixo, considerada devida coordenação entre curvas de fusível e caixa, resultam nessas conclusões:

- As baixas correntes (como é o caso do pequeno banco em estrela isolado), para operação segura, o fusível não deve ser mais robusto que o 30 T para as unidades de 25 ou 50 kVAr, nem mais robusto que o 50 K para as unidades de 100 kVAr; nem mais robusto que 80 K para as unidades de 200 kVAr ou mais.
- As altas correntes (como é o caso do pequeno banco em triângulo ou em estrela aterrado); para operação segura, o fusível não deve ser mais robusto que o 25 T, para as unidades de 25 ou 50 kVAr, nem mais robusto que 30 T para as unidades de 100 kVAr; nem mais robusto que 80 K para unidades de 200 kVAr ou mais.
- Curvas de ruptura dos capacitores de 25 e 50 kVAr, em conjunto com as curvas máximas dos elos fusíveis 20, 25, 30 e 50 T.

Para tempos menores do que 1 ciclo, usar ampéres eficazes assimétricos.

- Curvas de ruptura dos capacitores de 100 kVAr, em conjunto com as curvas máximas dos elos fusíveis 30 T, 65 e 80 K. Para tempos menores que um ciclo, usar ampéres eficazes assimétricos.

- Curvas de ruptura dos capacitores de 150 a 300 kVAr, em conjunto com as curvas máximas dos elos fusíveis. Para tempos menores do que 1 ciclo, usar ampéres eficazes assimétricos.

- Nos dois itens acima, a proximidade dos limites de segurança tomados para as unidades de 25 ou 50 kVAr, e lembrando que os fusíveis de grupo não aproveita a descarga do grupo sobre a unidade defeituosa, convém baixar os limites de fusíveis de grupo (para as unidades de 25 ou 50 kVAr) para 25 T na estrela isolada, aterrada e em triângulo;
-

- Como mínimo tempo de interrupção dos fusíveis para efeito de uma coordenação segura o valor é de 0.8 ciclos, a corrente de defeito no capacitor não deve passar de 4000 A em unidades de 25 ou 50 kVAr, 5000 A em unidades de 100 kVAr , 6000 A em unidades de 150 a 200 kVAr e 7000 A para unidades de 300 kVAr ou acima.

Observamos as máximas limitações dos fusíveis, agora vamos observar as mínimas limitações:

- Permitir a máxima sobrecarga tolerável (144% de potência) ao capacitor.
- Capacidade de suportar os transitórios de ligamento, desligamento, ou descarga sobre uma unidade defeituosa em paralelo.

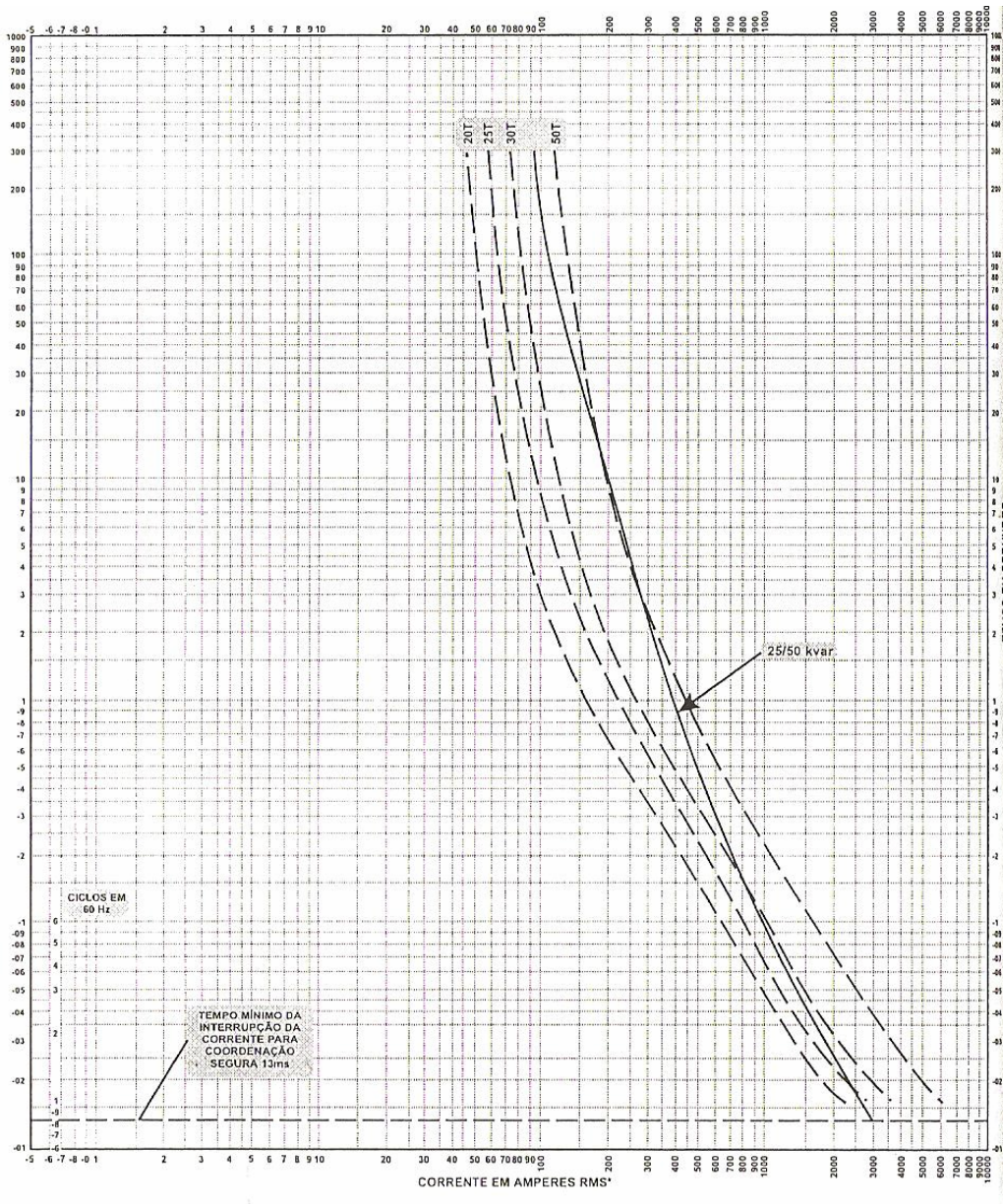


Figura 08

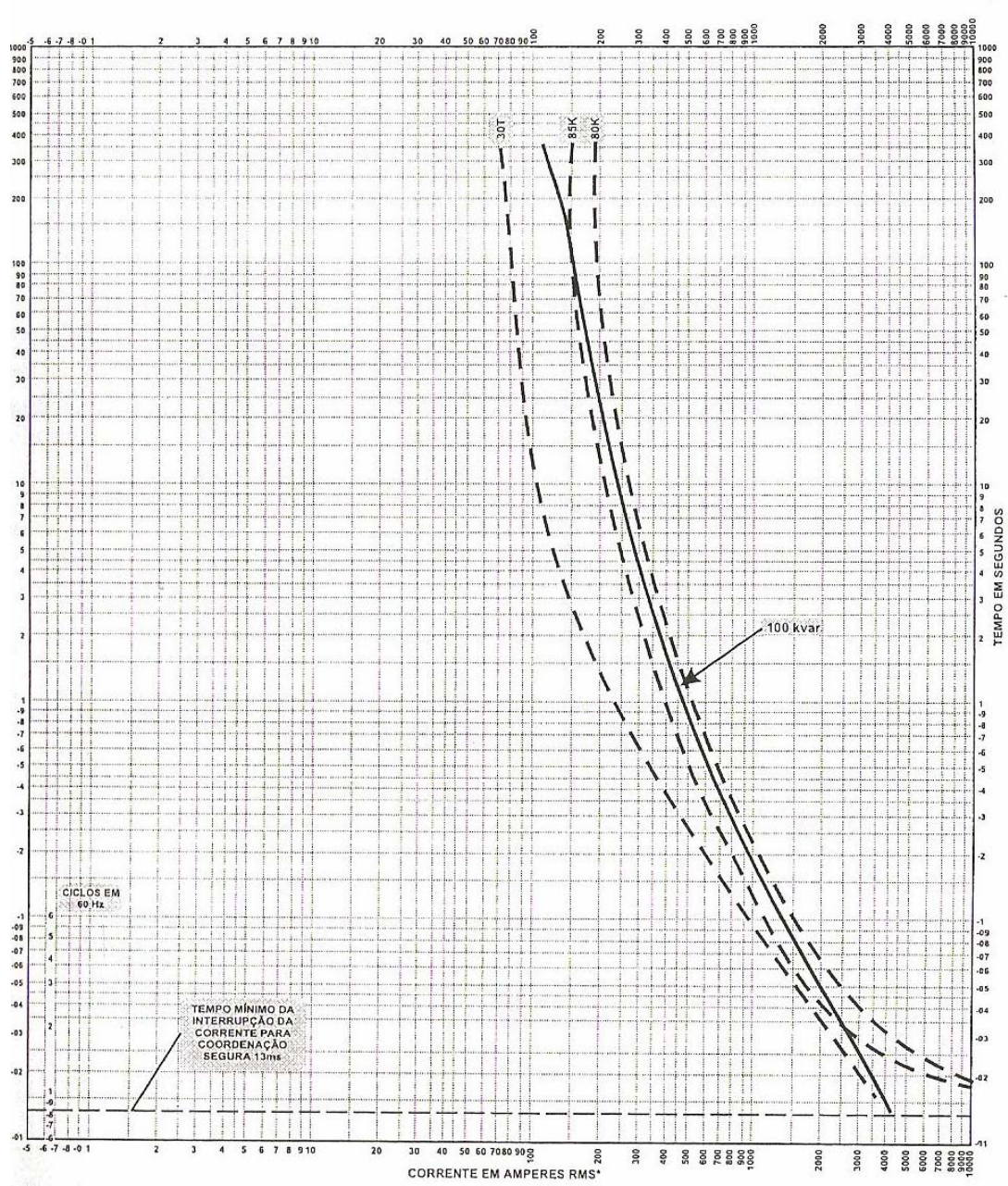


Figura 09

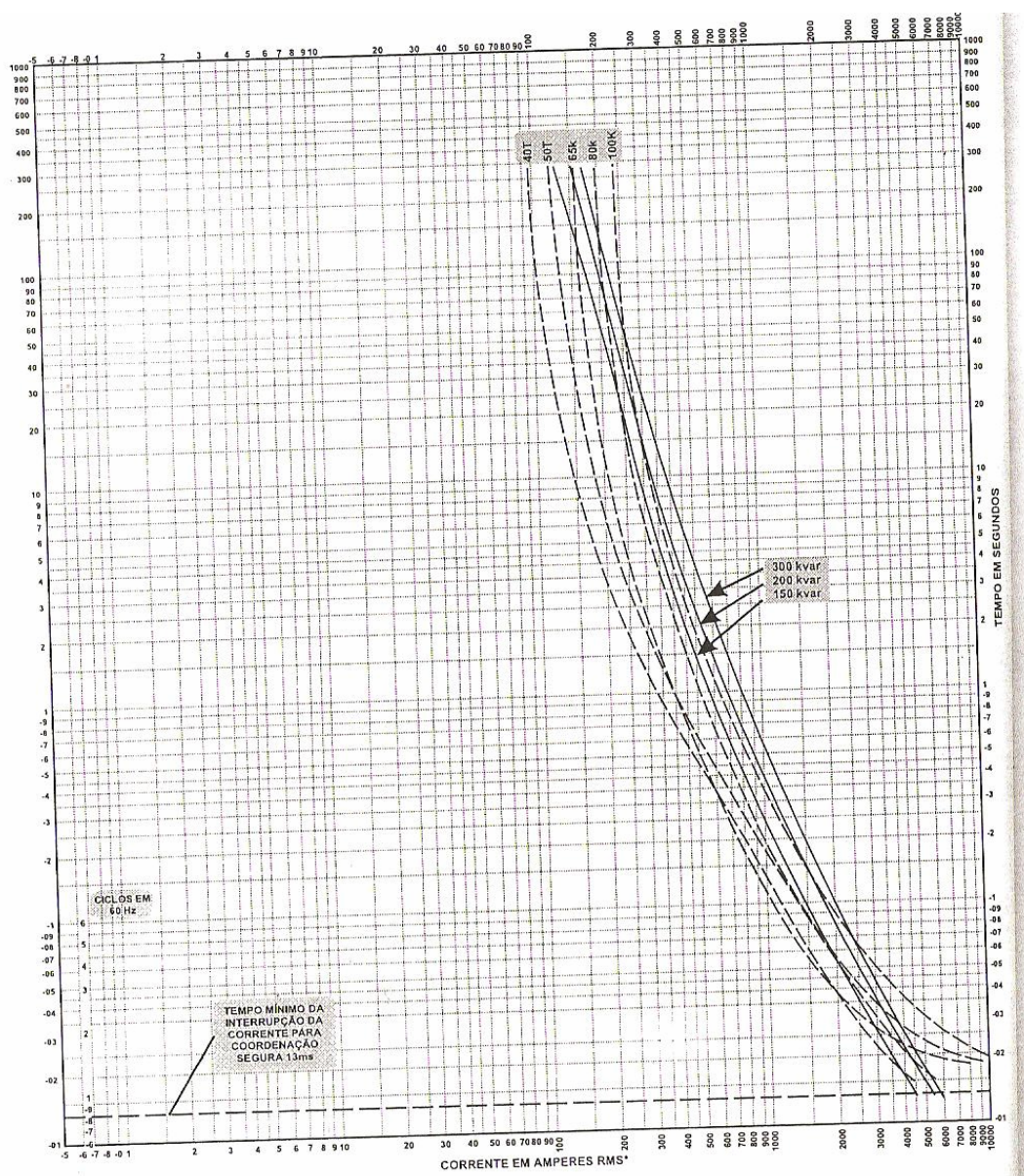


Figura 10

3.9 - Conclusões para cálculo dos fusíveis

O fusível sempre que possível deveria ser atuado por uma corrente não inferior a 10 vezes sua corrente nominal, a tabela 5 indica os bancos propícios a essa condição, munidos de fusíveis individuais.

- Verificar a capacidade de ruptura e se a corrente de defeito não excede 4000 A (em unidades de 25 ou 50 kVAr) ou em 5000 A (em unidades de 100 kVAr), 6000 A (150 ou 200 kVAr), e 7000 A (em unidades de 300 kVAr ou superior).
- Os fusíveis de grupo, este não deve conectar a linha com mais de 4 unidades em paralelo.
- As máximas limitações dos fusíveis são resumidas na tabela 6.
- As mínimas limitações dos fusíveis serão atendidas se for considerada sobre a corrente normal do capacitor (ou do grupo) uma tolerância de:

- 44% nos bancos em estrela não aterrado onde a corrente de defeito não atinja 10 vezes a corrente nominal do fusível (caso dos fusíveis de grupo em banco estrela não-aterrado).
- 50% nos bancos em triângulo ou em bancos em estrela que respeitam a tabela 5.
- 65% nos bancos em estrela aterrado sujeitos a harmônicas.

Máximos fusíveis permitidos para operação dentro da zona segura				
Sistema utilizado	Unidade capacitiva (kVAr)	Esquema do banco		
		estrela	delta	Estrela aterrado
Fusível individual	25 ou 50	30 T	25 T	25 T
	100	50 K	50 K	50 K
	200	65 K	80 K	80 K
Fusível em grupo	25 ou 50	25 K	25 T	25 T
	100	50 T	50 K	50 K
	200	50 T	65 K	65 K

Tabela 6

3.10 - Tabelas de fusíveis

As tabelas 7 e 8 é um exemplo dos cálculos dos fusíveis, individuais e de grupo.

Bancos de capacitores - Fusíveis de grupo			
Potencia do banco (kVAr)	Tensão de linha e tipo de banco		
	6.6kVdelta estrela aterrado	11.5kVdelta estrela aterrado	13.2kVdelta estrela aterrado
150	15 T	10 T	8 T
225	25 T	15 T	12 T
300	30 T	20 T	15 T
450	50 K	25 T	25 T
600	65 K	40 K	30 T
900	100 K **	50 K	50 K
1200	140 K ***	80 K*	65 K
1800	-	-	100 K**

Tabela 7

* Somente com unidades de 100 kVAr ou acima

** Somente com unidades de 150 kVAr ou acima

*** Somente com unidades de 300 kVAr ou acima

Capacitores da Alta Tensão - Fusíveis Individuais		
V	kVAr	Elo Fusível
2300	50	25 T
	100	50 K
	200	100 K *
3810	50	15 T
	100	30 T
	200	65 T
6640	50	8 T
	100	15 T
	200	40 T
7620	50	8 T
	100	15 T
	200	40 T
7960	50	8 T
	100	15 T
	200	30 T
10460	50	6 T
	100	10 T
	200	20 T
13200	50	5 H
	100	8 T
	200	15 T
13800	50	5 H
	100	8 T
	200	15 T
14430	50	5 H
	100	8 T
	200	15 T

Tabela 8

OBS:

* Operação fora da zona segura

** Os fusíveis acima foram dimensionados tendo como base que os capacitores a serem protegidos e estarão ligados na configuração estrela isolada tendo um capacitor por fase. No caso de utilização de quatro ou mais capacitores em paralelo por fase, fusível de valor de corrente superiores poderão ser utilizados.

*** Na utilização dos capacitores em ligação estrela aterrada e delta, independentemente da quantidade de capacitores em paralelo por fase, fusíveis de valor de corrente superiores poderão ser utilizados

3.11 - Recomendações de segurança

Pela norma NBR -5414 (“Execução das instalações Elétricas da Alta tensão, de 0.6kV a 15 kV”) da ABNT (em seu item “Ligação a terra, do equipamento”), os capacitores devem

ter suas carcaças ligadas a terra como qualquer equipamento elétrico nas mesmas condições nas mesmas condições; para tal ligação a terra, recomenda as orientações constantes na citada norma (ABNT NBR-5414), observando-se que os terras de pára-raios não devem ser aproveitadas (NBR-5414) para aterrar outro equipamento. O não aterramento das carcaças dos capacitores, deverão ser ostensiva e adequadamente isoladas da terra (como é o caso do emprego de estrutura de elevação aterrada e isolada da plataforma de suportes dos capacitores), observando-se os devidos cuidados para evitar algum contato pessoal fortuito.

3.12 - O controle dos capacitores de alta tensão

Os capacitores de alta tensão são normalmente manobrados com menor frequência que os de baixa tensão. Estes bancos de alta tensão são desligados nos períodos em que sua presença não é necessária, para que seja evitada a ocorrência de fator de potência capacitivo na rede, o que poderia trazer eventualmente inconvenientes de tensão muito elevada, porém sempre observar se a frequência das manobras não estará comprometendo a vida do banco, orientando-se pela tabela 6.

Em instalações simples o banco é manobrado por um operador que acionará a chave interruptora.

4.0 - Grandes bancos de capacitores

4.1 - Fracionamento em estágios

Como foi dito no Capítulo anterior, toda vez que ligamos bancos de capacitores, convém usar disjuntores ou chaves interruptoras, para ligar ou desligar os sistemas.

Até três estágios o uso mais comum, embora possam ser usados mais, dependendo da variação de tensão por estágios e da variação da carga.

Os grandes bancos podem ser analisados nas diversas disposições abaixo:

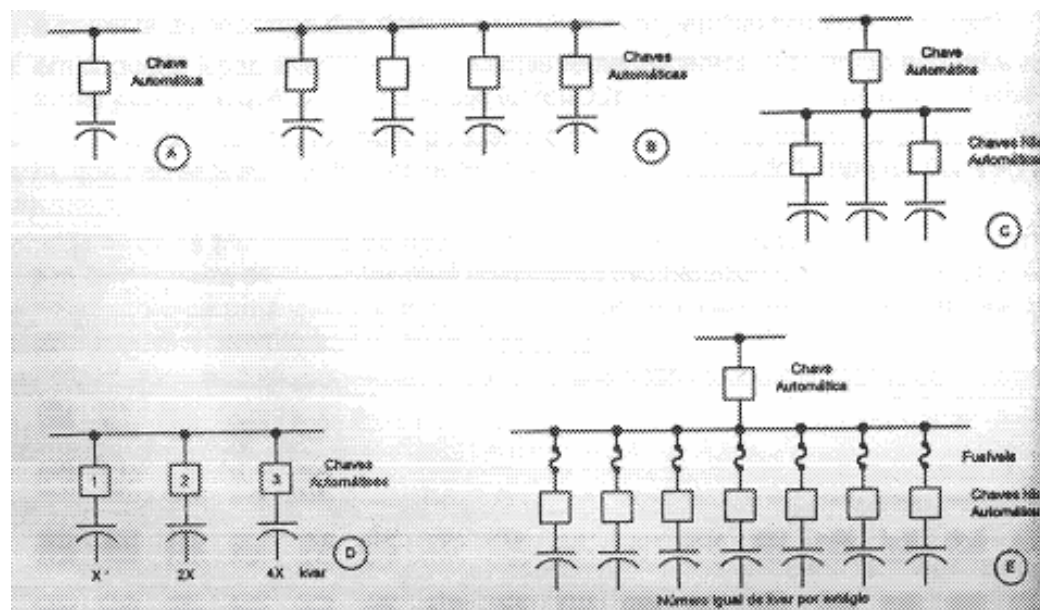


Figura 11

- A) Um único grupo de capacitores, comandado por uma chave automática.
- B) Com quatro chaves automáticas controlando quatro estágios iguais de um banco de capacitores.
- C) Com três estágios iguais, com chave automática comandando todo o banco (desligando automaticamente, em caso de curto em qualquer dos estágios); duas chaves não automáticas controlam o segundo e o terceiro estágios, sendo o primeiro controlado pela chave principal.
- D) Com três grupos de capacitores, sete estágios. A chave 1 comanda 1/7 do total, a chave 2, 2/7, e a chave 3, 4/7; as chaves 1 e 2, 3/7, as chaves 1 e 3, 5/7, e as chaves 2 e 3, 6/7; as chaves 1, 2 e 3 juntas comandam os 7/7 do total.

Neste esquema durante o processo de desligar e ligar operam-se grandes mudanças de kVAR em cada mudança de 3/7 para 4/7 do total, quando as chaves 1 e 2 devem ser abertas, desligando assim todos os capacitores antes de ser fechada à chave 3, existe outra opção com a

chave três deve ser fechada colocando-se todos os capacitores em serviços, antes de serem abertas às chaves 1 e 2.

Se neste período há uma variação de tensão e essas mudanças puderem ser toleradas, então os sete estágios do total de kVAr podem ser obtidos com apenas três chaves.

E) Como uma chave automática comandando um determinado número de chaves não automáticas, cada uma controlando um estágio idêntico em kVAr. Antes do desligamento da chave geral, cada chave não automática é provida de fusíveis de alta capacidade de ruptura, que isolam os estágios.

É sempre bom verificar os transitórios de chaveamento, observando se a frequência dessas manobras não estará levando os capacitores a condições anormais de trabalho. Se os transitórios estejam excessivos deve-se providenciar sua redução, para o cujo sucesso os métodos mais eficientes são:

- Usar disjuntores ou chaves interruptoras que sejam adequadas a estes casos. Os equipamentos normalmente lançam uma resistência em série com a carga, ao ligar e ao desligar, de modo a amortecer sensivelmente os transitórios.
- Intercalar pequenos reatores indutivos entre estágios, esta reatância adicional, convenientemente calculada deverá reduzir os transitórios.

4.2 - Formação dos grandes bancos

A melhor prática atualmente para instalações dos capacitores é a ligação em série de grupos de capacitores em paralelo, em vista do fator econômico. A figura 12 demonstra as unidades uma fase do sistema, numa ligação estrela.

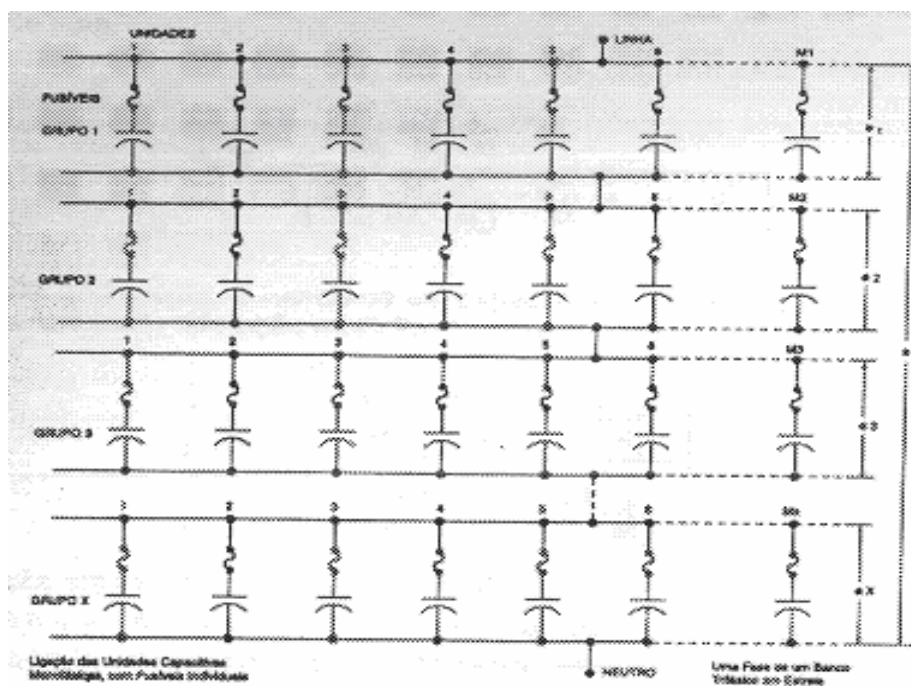


Figura 12

Para definir a escolha do número de unidades em paralelo por grupo, alguns fatores são de maior importância.

- O número de unidades deve ser suficientemente grande, de modo a assegurar que o fusível de uma unidade opere, se ela entrar em curto-circuito onde a corrente de descarga dos demais capacitores em paralelo circulará no fusível.

- A tensão nas unidades remanescentes num grupo não deve se tornar excessiva quando uma unidade for retirada desse grupo por queima de fusível.

Os transitórios de operação da chave e a energia do arco necessário para romper a caixa do capacitor, está atualmente estabelecido que a corrente através do fusível quando uma unidade entra em curto-circuito, não deve ser menor que 10 vezes a corrente nominal do fusível.

Os bancos com número mínimo de unidades, apenas uma operação de queima de fusíveis é permitida; por isso, inspeções periódicas são aconselháveis e recomendadas. É o fato comum dos grandes bancos de capacitores serem constituídos por um número de unidades maior que o mínimo recomendado; neste caso, mais de um fusível poderá operar sem haver grandes sobretensões nas unidades remanescentes, mas uma inspeção periódica nos fusíveis continua indispensável, a fim de que possam ser evitados danos em capacitores bons. São os 10% de sobretensões que governam o número mínimo.

ESTRELA COM NEUTRO ISOLADO			
Relação de tensão e corrente nos capacitores, com a retirada de uma unidade do banco			
Número de grupos em série por fase	Número mínimo de unidades em paralelo por grupo	Corrente na ocasião do defeito multiplicador da corrente normal	Porcentagem de tensão nas unidades restantes do grupo
X	M _{mín}	li	100 e ₁ / e _{in}
1	4	12.0	109
2	8	12.0	109
3	9	11.6	109.5
4	10	12.0	109
5	10	11.5	110
6	10	11.2	110
7	11	11.0	110
8	11	12.0	109.5
9	11	11.9	menos que 110
10	11	11.8	menos que 110
11	11	11.7	menos que 110
12	11	11.6	menos que 110
13	11	11.6	menos que 110
14	11	11.5	menos que 110
15	11	11.5	menos que 110
16	11	11.5	menos que 110

Tabela 9

ESTRELA COM NEUTRO aterrado			
Relação de tensão e corrente nos capacitores, com a retirada de uma unidade do banco			
Número de grupos em série por fase	Número mínimo de unidades em paralelo por grupo	Corrente na ocasião do defeito multiplicador da corrente normal	Porcentagem de tensão nas unidades restantes do grupo
X	Mmín	li	100 e1 / ein
1	1	corrente de curto	-
2	6	12.0	109
3	8	12.0	109
4	9	12.0	109
5	9	11.2	109.8
6	10	12.0	109
7	10	11.7	109.4
8	10	11.4	109.5
9	10	11.2	menos que 110
10	10	11.1	menos que 110
11	11	11.0	menos que 110
12	11	12.0	menos que 110
13	11	11.9	menos que 110
14	11	11.8	menos que 110
15	11	11.8	menos que 110
16	11	11.7	menos que 110

Tabela 10

As tabelas 9,10,11 e as curvas da figura abaixo foram calculadas pelas equações citadas abaixo. Para essas equações foi desprezada a impedância do sistema até o banco de capacitores e foi considerado que todas as unidades eram da mesma potência nominal. Os símbolos são identificados pela fig 12.

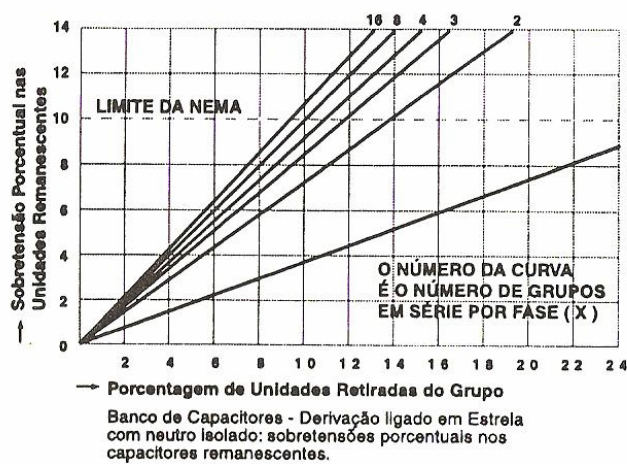


Fig 13

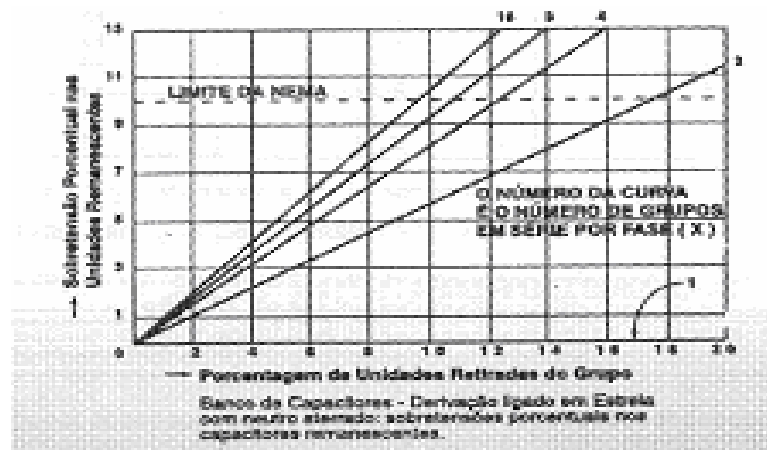


Fig 14

e_{in} = Tensão normal do grupo 1.

X = Número de grupos em série por fase.

M = Número normal de capacitores em paralelo por grupo.

N = Número de unidades retiradas de um grupo.

e_1 = Tensão real do grupo 1.

e_{c1} = Tensão nominal do grupo 1.

e_a = Tensão normal do sistema, de fase a neutro.

DUPLA -ESTRELA (Duas estrelas idênticas e de neutros solidamente interligados e não aterrados) Relação de tensão e corrente nos capacitores, com a retirada de uma unidade do banco				
Número de grupos em série por fase em cada estrela	Número mínimo de unidades em paralelo por grupo	Corrente na ocasião do defeito multiplicador da corrente normal	Porcentagem de tensão nas unidades restantes do grupo	Corrente na conexão de neutros após saída de 1 unidade: multiplicador da corrente normal do capacitor
X	$M_{mín}$	i_i	$100 e_1 / e_{in}$	I_{no}
1	2	12,0	109,1	0,545
2	7	12,0	109,1	0,272
3	8	11,1	109,9	0,183
4	9	11,4	109,6	0,137
5	10	12,0	109,1	0,109
6	10	11,6	109,4	0,091
7	10	11,4	109,7	0,078
8	10	11,2	109,8	0,068
9	10	11,0	110	0,061
10	11	12,0	109,1	0,054
11	11	11,9	109,2	0,049
12	11	11,8	109,2	0,045
13	11	11,8	109,3	0,042
14	11	11,7	109,3	0,039
15	11	11,6	109,4	0,036
16	11	11,6	109,4	0,034

Tabela 11

4.2.1 - Ligação em estrela com neutro isolado

A tensão normal e_{in} do grupo 1 é

$$e_{in} = \frac{\frac{e_{c1}^2}{M_1} (e_a)}{\frac{e_{c1}^2}{M_1} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}}$$

(1)

A tensão normal ein do grupo 1 é igual á expressa pela equação.

Quando N1 unidades são retiradas do grupo 1, a tensão e1 nas unidades fica assim:

$$e_1 = \frac{\frac{e_{c1}^2}{M_1 - N_1} (e_a)}{\frac{(3M_1 - N_1) (e_{c1}^2)}{3M_1 (M_1 - N_1)} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}}$$

(2)

Com as N1 unidades retiradas do grupo 1, o deslocamento no do potencial do neutro do banco será:

$$e_{no} = \frac{\frac{N_1}{M_1} \frac{e_{c1}^2}{M_1 - N_1} (e_a)}{3 \left(\frac{(3M_1 - N_1) e_{c1}^2}{3M_1 (M_1 - N_1)} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x} \right)}$$

(3)

A corrente que circula no fusível de um capacitor em curto-circuito no grupo 1 será a corrente normal de operação multiplicada pelo fator If.

$$I_f = (M_1) \left[\frac{\frac{e_{c1}^2}{M_1} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}}{\frac{e_{c1}^2}{3M_1} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}} \right]$$

(4)

4.2.2 - Ligação em estrela com neutro aterrado

A tensão normal é a mesma da ligação anterior, dada pela equação (1)

Retirando-se N1, unidades do grupo 1, a tensão e1 sobre as unidades remanescentes será:

$$e_1 = \frac{\frac{e_{c1}^2}{M_1 - N_1} (e_g)}{\frac{e_{c1}^2}{M_1 - N_1} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}}$$

(5)

A corrente que circula no fusível da unidade em curto-circuito no grupo 1 é igual á corrente normal multiplicada pelo fator If.

$$I_1 = (M_1) \left[\frac{\frac{e_{c1}^2}{M_1} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}}{\frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}} \right]$$

(6)

4.2.3 - Ligação em dupla-estrela com os centros solidamente interligados e não aterrados

A tensão normal é a mesma para os casos anteriores, é dada pela equação (1)

Com N1, unidades retiradas do grupo 1 em uma das estrelas, a tensão e1 nas unidades remanescentes deste grupo será

$$e_1 = \frac{\frac{1}{M_1 - N_1} (e_{c1}^2) (e_g)}{\left(\frac{6 - N_1}{M_1}\right) \frac{e_{c1}^2}{6(M_1 - N_1)} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}}$$

(7)

A corrente que circula no fusível da unidade em curto-circuito no grupo 1 é igual á corrente normal multiplicada pelo fator If.

$$I_1 = (M_1) \left[\frac{\frac{e_{c1}^2}{M_1} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}}{\frac{e_{c1}^2}{6M_1} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x}} \right]$$

(8)

A corrente na ligação entre os centros da estrelas, quando N1 unidades são retiradas do grupo 1 em uma das estrelas, será a corrente normal multiplicada pelo fator Ino.

$$I_{No} = \frac{1}{2} \left[\frac{\frac{\theta_{c1}^2}{6(M_1 - N_1)} + \frac{\theta_{c2}^2}{M_2} + \dots + \frac{\theta_{cx}^2}{M_x}}{\frac{\theta_{c1}^2}{6(M_1 - N_1)}} \right] \left(\frac{N_2}{M_1 - N_1} \right)$$

(9)

No caso em que todas as unidades sejam de igual tensão e potência nominais, e o número de unidades em paralelo em cada grupo seja o mesmo, as equações (1) e (9) podem ser simplificadas pelas seguintes, respectivamente:

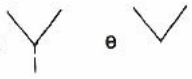



para 	$e_{in} = \frac{e_a}{X}$
para 	$e_1 = \frac{3M_1 e_a}{2N_1 + 3X(M_1 - N_1)}$
	$e_{No} = \frac{N_1 e_a}{2N_1 + 3X(M_1 - N_1)}$
	$I_1 = \frac{3M_1 X}{3M - 2}$
para 	$e_1 = \frac{M_1 e_a}{N_1 + X(M_1 - N_1)}$
	$I_1 = \frac{M_1 X}{X - 1}$
para 	$e_1 = \frac{6M_1 e_a}{5N_1 + 6X(M_1 - N_1)}$

Fig 15

As tabelas 9, 10 e 11 apresentam os números mínimos para a formação dos grandes bancos, e relações correspondentes:

É desaconselhável o uso de mais de 20 unidades em paralelo por grupo ou cuja energia paralela ultrapasse 10000J (aproximadamente 3100 kVAr).

4.3 - Sistemas de ligação

4.3.1 - Banco em triângulo ou delta

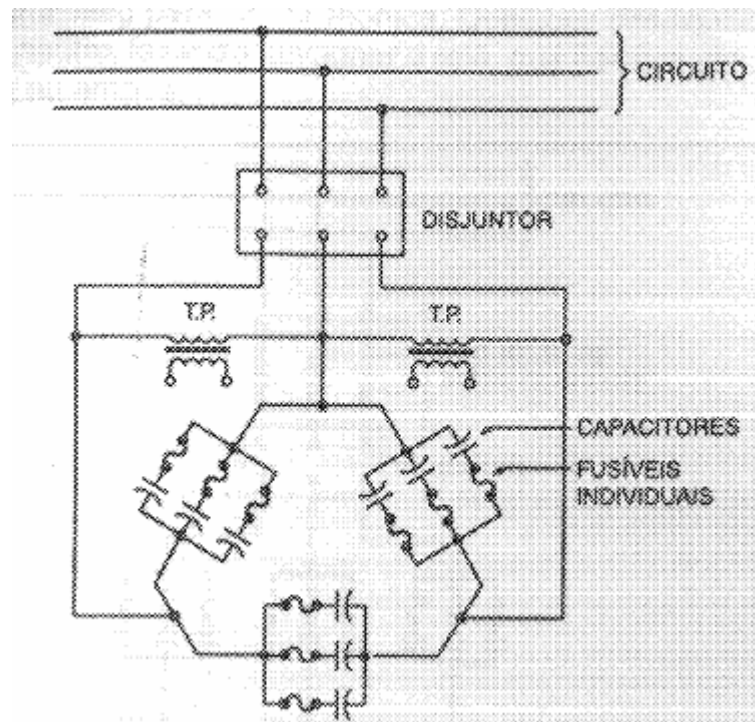


Fig 16

4.3.1.1 - Vantagens

- Não existem correntes de terceira harmônica, como existem em bancos ligados em estrela aterrada, e que podem causar interferência em circuitos de comunicação.
- Tensões abaixo de 2400 V.

4.3.1.2 - Desvantagens

- Usando relés de proteção diferencial, o custo da instalação aumenta, em vista do grande número de transformadores de corrente requeridos.
 - Relés de corrente usado nas derivações de alimentação raramente tem a sensibilidade que seria de desejar, especialmente no caso de grandes bancos onde o desequilíbrio é muito pequeno em relação á corrente total.
 - No circuito onde existe apenas um grupo série por fase, o fusível a ser utilizado deverá ser capaz de, em caso de defeito, interromper o valor de curto-circuito.
 - Em bancos próximos a subestações ou a outros bancos requer o uso de fusíveis limitadores de corrente, de custo muito elevado. Esses fusíveis ainda não são fabricados no Brasil.
- Esse esquema citado acima é empregado especialmente para classes de tensões até 2400 V. Para tensões superiores são usados outros tipos de ligação.

Todos os capacitores devem estar protegidos por fusíveis individuais, ou serem capacitores do tipo “auto protegido”, isto é, são usados fusíveis internos. Quando o banco de capacitores for controlado automaticamente, deve-se usar transformadores de potência entre fases, a fim de ser oferecido um rápido caminho de descarga quando os capacitores forem desligados.

As unidades são providas de resistências internas de descarga, adequadas a que os capacitores sejam descarregados dentro de 1 a 5 minutos (respectivamente às unidades de baixa ou alta tensão), mas este tempo é muito longo, porque se a chave for ligada antes que a carga residual haja sido dissipada podem resultar altas correntes transitórias nessa ocasião; também em outros casos, como os bancos de instalação interna, o uso destes transformadores de potência é recomendado, para a rápida dissipação da carga residual dos capacitores.

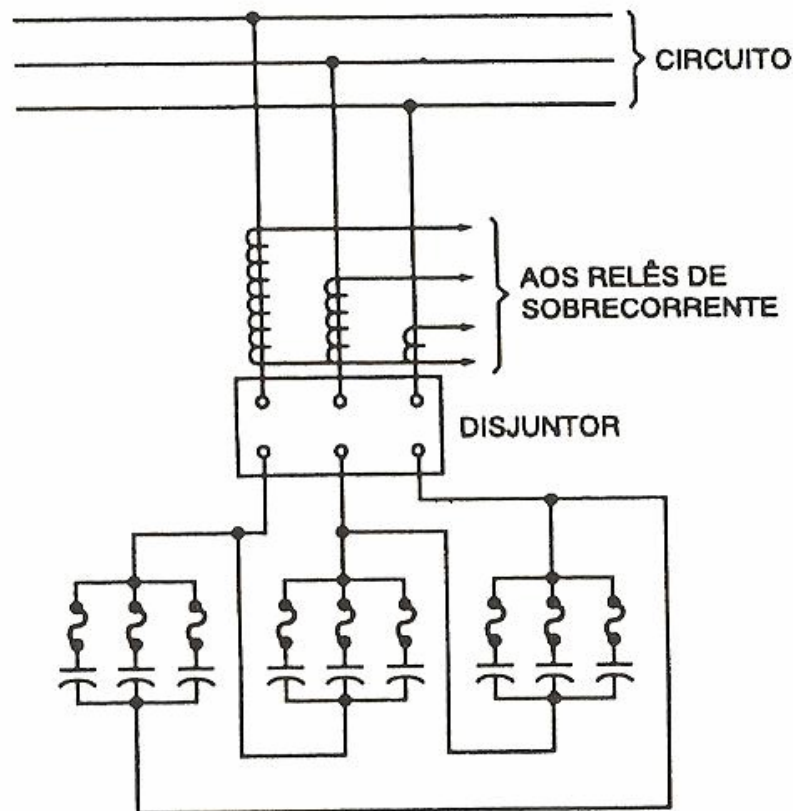


Fig 17

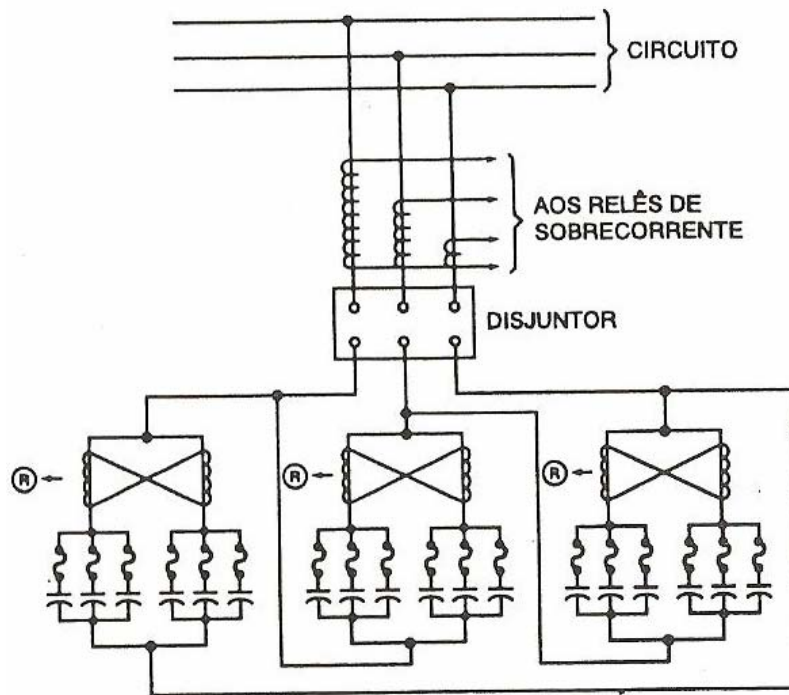


Fig 18

Nestas duas figuras acima existem dois esquemas de ligação para bancos de capacitores em triângulo:

- Um com proteção de corrente desequilibrada.
- Um com proteção diferencial.

4.3.2 - Banco em estrela com neutro aterrado

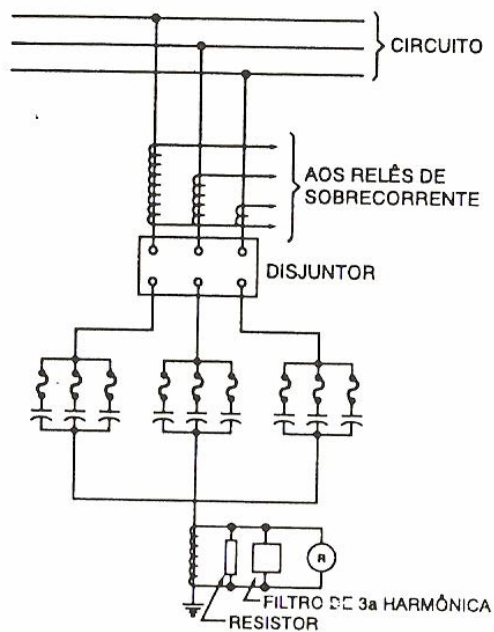


Fig. 19

4.3.2.1 – Vantagens

- É necessário ter uma via de escoamento de baixa impedância para o controle do nível das tensões harmônicas do sistema, um banco aterrado oferece este caminho.
- Baixo custo na instalação (para uma área ocupada).
- Número mínimo de unidades capacitivas é inferior aos dos outros esquemas em estrela, ou, em outros termos, um número maior de capacitores pode falhar, antes de ser atingido o limite de 10% de sobretensão.
- Quando se liga em estrela com neutro aterrado fornecem uma via de escoamento de baixa impedância para as correntes de descargas atmosférica; algumas vezes esta autoproteção é utilizada e o banco operado sem pára-raios.
- Neste caso como o neutro é fixo, o restabelecimento da tensão é reduzido e o banco é manobrado como se fossem três seções monofásicas. Restabelecimentos de tensão existem sempre, durante as manobras de bancos de capacitores; no caso do acionamento de fusíveis, essa RV é a tensão que existe no cartucho no preciso momento em que o circuito é interrompido.

4.3.2.2 - Desvantagens

- Relés devem ser filtrados contra terceira harmônicas.
 - Os relés devem ser providos de botões de reposição (reset).
 - Interferência em circuitos de comunicação, em virtude do fluxo de terceiras harmônicas para a terra.
 - Onde existe apenas um grupo série por fase, o fusível a ser utilizado deverá ser capaz de interromper a corrente no caso de curto-circuito.
 - Se estiver próximo de uma subestação ou a um outro banco, esse valor é alto, e como já foi falado, requer o uso de fusíveis limitadores de corrente, de custo muito elevado. Esses fusíveis ainda não são fabricados no Brasil.
 - Se a proteção é feita para um relé sensível a um desequilíbrio linha-neutro, pode haver falsa operação do relé; Se o banco for grande pode então ser dividido em duas partes; aterradas separadamente cada uma através do seu transformador de corrente e neste caso os secundários dos TC's são interconectados para indicar se existe corrente diferencial dos bancos para a terra. O esquema de ligação mostrado na figura, o neutro aterrado é ligado através de um transformador de corrente, a um relé de tensão, com resistor e filtro para a terceira harmônica. Se houver um desequilíbrio a corrente circulará pelo neutro, fazendo o relé atuar.
-

4.3.3 - Banco em estrela com neutro isolado

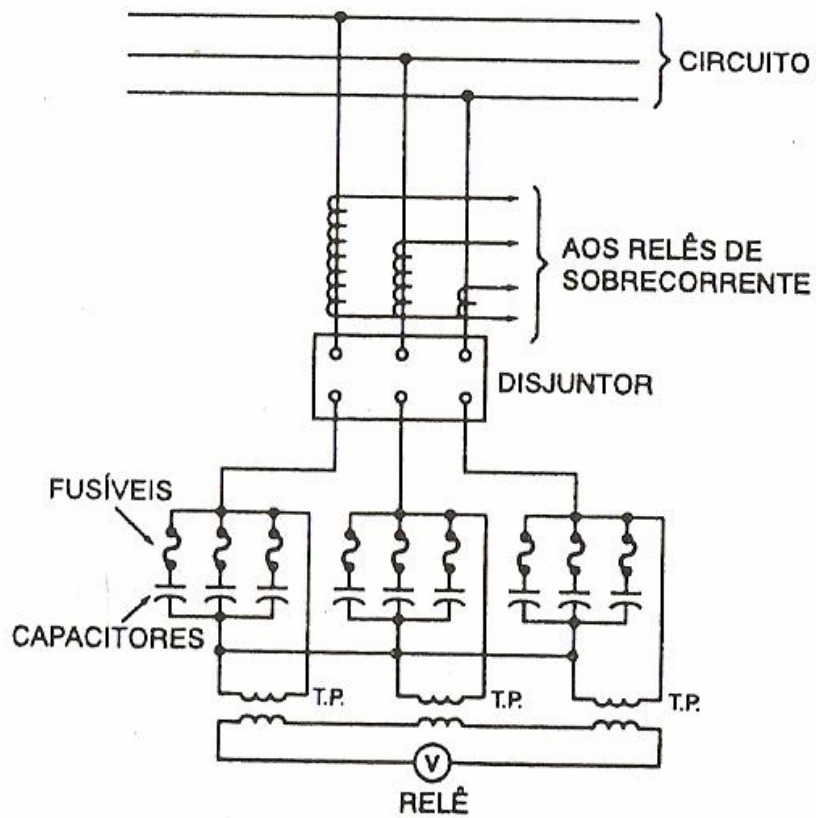


Fig 20

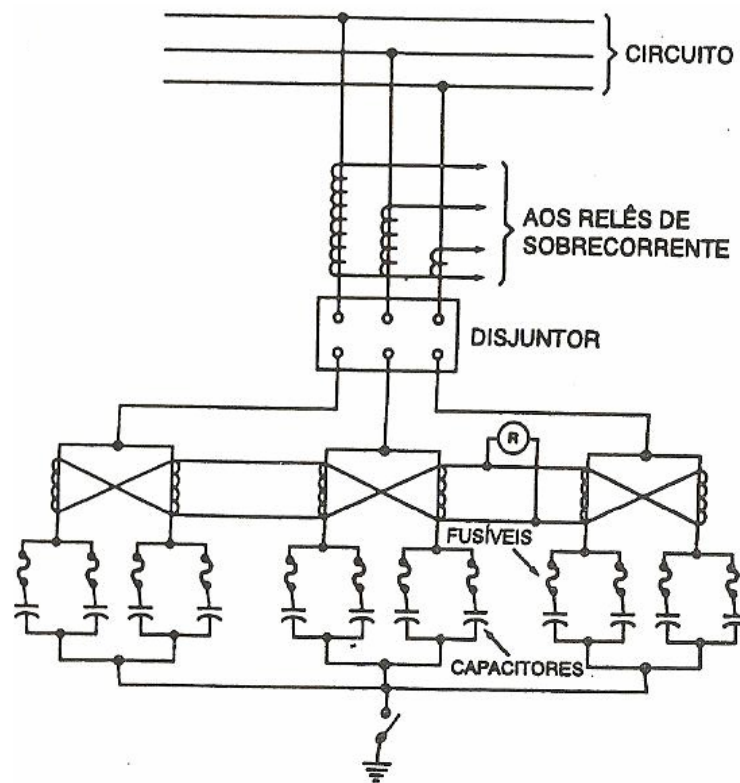


Fig 21

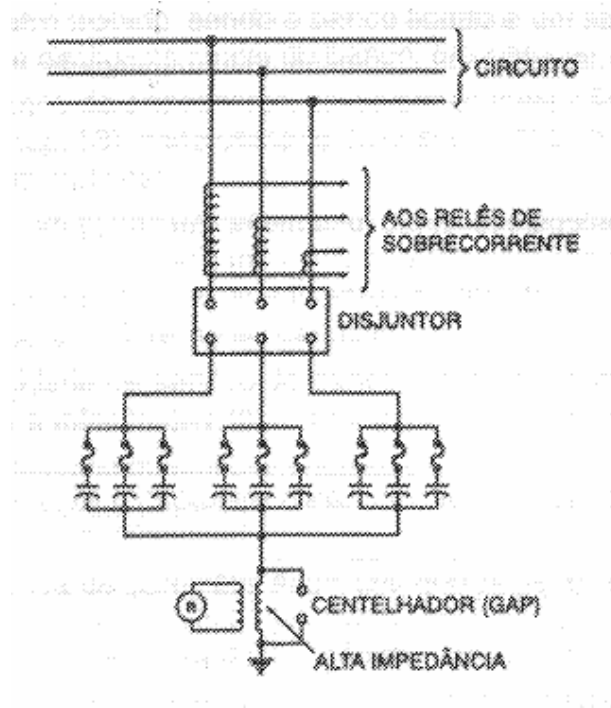


Fig 22

4.3.3.1 - Vantagens

- O banco é insensível à terceira harmônica.
- As correntes de defeito são limitadas pela impedância das outras fases, o que leva à diminuição de custo.

4.3.3.2 - Desvantagens

- Deve-se isolar o neutro para a tensão linha-linha, por prevenção contra surtos de manobra; no que diz respeito a custo, isto é pouco importante em tensões baixas, mas pode torna-se dispendioso em tensões mais elevadas.

O mesmo acontece para a ampliação de relés de tensão da fase, sistema bastante interessante, com classe de tensão até 15kV.

Na figura 20 o esquema de ligação é: proteção usando tensões de fases equilibradas, já na figura 21 e 22 são usados os esquemas: proteção diferencial para a figura 22 e proteção usando transformador de potencial de alta impedância para indicar tensão neutro-terra em consequência da operação de algum fusível para figura 21.

No esquema de ligação da figura 21 usa-se tc's, na 20 usa-se tp's (estes tem dupla finalidade de proteção; contra desequilíbrio e serve de via de escoamento de cargas residuais). Na figura 22 (com transformador de potencial) é sua simplicidade; suas desvantagens são a filtragem das terceiras harmônicas para que não afetam o relé, cuidados para evitar falsa atuação do relé, e cuidados para proteger o TP e o relé contra surtos de tensão.

4.3.4 - Banco em dupla-estrela

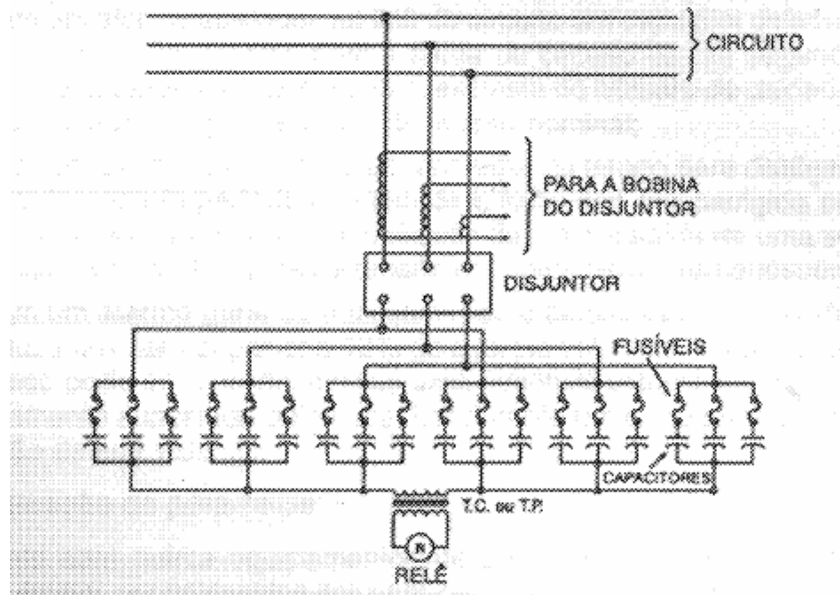


Fig 23

4.3.4.1 - Vantagens

- O banco é de baixo custo, principalmente no uso dos relés.
- Não há via de escoamento para terceiras harmônicas.
- Os distúrbios do sistema não se transmitem ao circuito de proteção do banco.

4.3.4.2 - Desvantagens

- O neutro deve ser isolado, tal como qualquer banco ligado em estrela com neutro não aterrado.
- A área deve ser maior, para mesma capacidade, quando comparado com o esquema de estrela simples, assim como maior quantidade de material para barramentos e conexões.
- O número mínimo de unidades paralelas por grupo exige normalmente a formação de bancos com mais unidades exigidas pelos outros esquemas.

Como vimos na figura o TC e o TP, ligado entre os centros das duas estrelas iguais, fornece proteção contra o desequilíbrio resultante da operação de um fusível em uma fase deste banco. Nos bancos controlados automaticamente, devem ser usados dois transformadores de potencial, que, ligados à linha de fornecimento de energia ao banco, fornecem um caminho rápido de descarga quando os capacitores forem desligados da fonte.

4.4 - Proteção dos grandes bancos de capacitores

As proteções nos grandes bancos de capacitores são:

-
- Transformador de potencial ligado entre o neutro e a terra, em um banco ligado em estrela com neutro isolado, sendo o banco ligado a um sistema aterrado, de modo a operar o relé e desligar a chave do banco, em caso do deslocamento do neutro.
 - Transformadores de corrente ou potencial ligados entre neutros de dois ou mais bancos ligados em estrela com neutro isolado, os quais operarão com o desequilíbrio de um banco, desligando a chave geral do relé de desequilíbrio.
 - Transformadores de potencial ligados em cada fase ou em cada grupo em série por fase, nos bancos ligados em estrela com neutro isolado, para desligamento da chave do banco em caso de desequilíbrio de tensão na fase ou no grupo.
 - Relés de sobrecorrente ou bobinas para desligamento do banco.
 - Fusíveis externos para grupos de capacitores ou para o banco todo.
 - Fusível externo individual para cada capacitor.
 - Fusíveis internos nos elementos capacitivos que constitui o capacitor.

Se os capacitores não forem do tipo “fusível interno”, todas as unidades devem ser protegidas por um fusível individual. Alguns motivos para se usar essa proteção.

- Indicar presença de correntes anormais que poderão estar sendo causadas ou por condições de sobretensão ou por harmônicas, as quais poderiam causar superaquecimento e consequentemente diminuição da vida útil do capacitor.
- Identificação facilmente do capacitor defeituoso em um banco constituído de muitas unidades.
- Continuidade dos serviços do banco em caso de falha de uma unidade, evitando assim a interrupção total do banco.
- Isolar o circuito onde se encontra o capacitor defeituoso, antes que possa danificar as unidades adjacentes. O fusível deve-se limitar e interromper a corrente e impedir a decomposição do impregante e o aparecimento de pressão anormal dentro do capacitor pela formação de arco interno ao capacitor.

A escolha dos fusíveis para aplicação na proteção individual dos capacitores, especialmente em grandes bancos são:

- Chaves, disjuntores e fusíveis de grupo não atingem o objetivo de limitar a duração do arco dentro do capacitor considerado como unidade, principalmente nos sistemas onde a corrente de curto-circuito for limitada.
 - Para o capacitor com fusível individual como qualquer outra proteção, deve possuir capacidade de interrupção suficiente para a sua aplicação.
 - Bancos ligados a sistemas capazes de produzir altas correntes de curto-circuito, ou os fusíveis.
-

Deverão ter alta capacidade de ruptura, ou os capacitores deverão ter o seu sistema de ligação projetado de modo a reduzir a um mínimo a probabilidade de alta corrente de defeito, para justificar o risco envolvido se os fusíveis tiverem limitado corrente de ruptura.

Os relés protetores são usados para:

- Denunciar falha no barramento do banco.

Estas falhas podem ser ocasionadas por animais que subam pelas estruturas: Os relés acionam a bobina de abertura dos interruptores, e são geralmente relés de sobrecorrente.

- Denunciar o número de capacitores que falharem, dentro do banco.

Estes relés funcionam segundo estes itens:

- Saindo do circuito um capacitor defeituoso, acionam o alarme qualquer, mesmo com a saída do circuito de um segundo capacitor, a tensão nas unidades remanescentes, em vista do número de unidades em paralelo por grupos, não ultrapassem 110% da tensão nominal.
- Quando desligam todo o banco, caso na falha do capacitor já produza um valor acima de 10% de sobretensão nas unidades remanescentes: este risco pode ser corrido, porque a eventual sobretensão de 10 % ou mais é perfeitamente suportada pelo capacitor durante um curto período, embora com diminuição de sua vida útil.
- Se um contador de tempo para desligar o banco dentro de um determinado período no caso da falha não ser corrigida com a saída de uma segunda unidade, atingir mais de 110% na tensão dos capacitores remanescentes.

4.5- Utilização de pára-raios

Todos os bancos de capacitores devem ser protegidos por pára-raios contra os eventuais surtos de tensão. A partir das condições de sobretensões geradas nas fases sem defeito durante uma falha fase-terra é feito o cálculo dos pára-raios. Normalmente estes surtos de tensão ocorrem através da linha de transmissão para o barramento da subestação.

Os pára-raios devem ser colocados entre as chaves interruptoras ou disjuntores e o banco de capacitor. Mas há necessidade de proteção dos disjuntores e das chaves interruptoras, por isso é necessária a instalação de pára-raios à frente dos mesmos.

É necessário também à instalação de pára-raios nos bancos de capacitores ligados em estrela com neutro aterrado mesmo tendo a peculiaridade de serem autoprotégidos.

4.6 - Utilização de chaves de terra

Em todos bancos de capacitores deverá ser instalada chave de terra, para o caso de manutenção do banco ou na troca de fusíveis.

Cada capacitor possui resistência interna de descarga, dimensionadas para que a tensão residual entre os terminais seja inferior a 50V, decorridos cinco minutos da

desenergização. Mesmo depois de passar cinco minutos pode ainda existir uma tensão residual, a qual é eliminada somente com curto-circuito nos terminais dos capacitores.

Instalando a chave de terra o banco pode ter todas suas unidades curto-circuitadas e aterradas simultaneamente por meio do aterramento de todas as fases do banco desenergizado (em bancos ligados em estrela com neutro isolado,aterra-se também o neutro).

Essa chave também deve possuir contatos auxiliares para que possa fazer um intertravamento elétrico com a chave interruptora ou disjuntor.

5.0 – Exemplo de dimensionamento de um banco de capacitores

5.1 – Exemplo de aplicação

Numa indústria metalúrgica foi adquirido um banco de capacitores cuja potência é de 6000 kVAr (para potência nominal superior a 1500 kVAr, a ligação mais indicada é a dupla estrela, devido ao seu baixo custo do sistema de proteção contra desequilíbrio do neutro), e de tensão 13.8 kV, entre fases (Capacitores de alta tensão normalmente são aplicados em subestações de concessionárias de energia elétrica e indústrias onde são conectados a barramentos da classe de 15kV), ligando dupla-estrela com neutros isolados e interligados através de um transformador de corrente conforme fig. 24, com base nestes dados calcule:

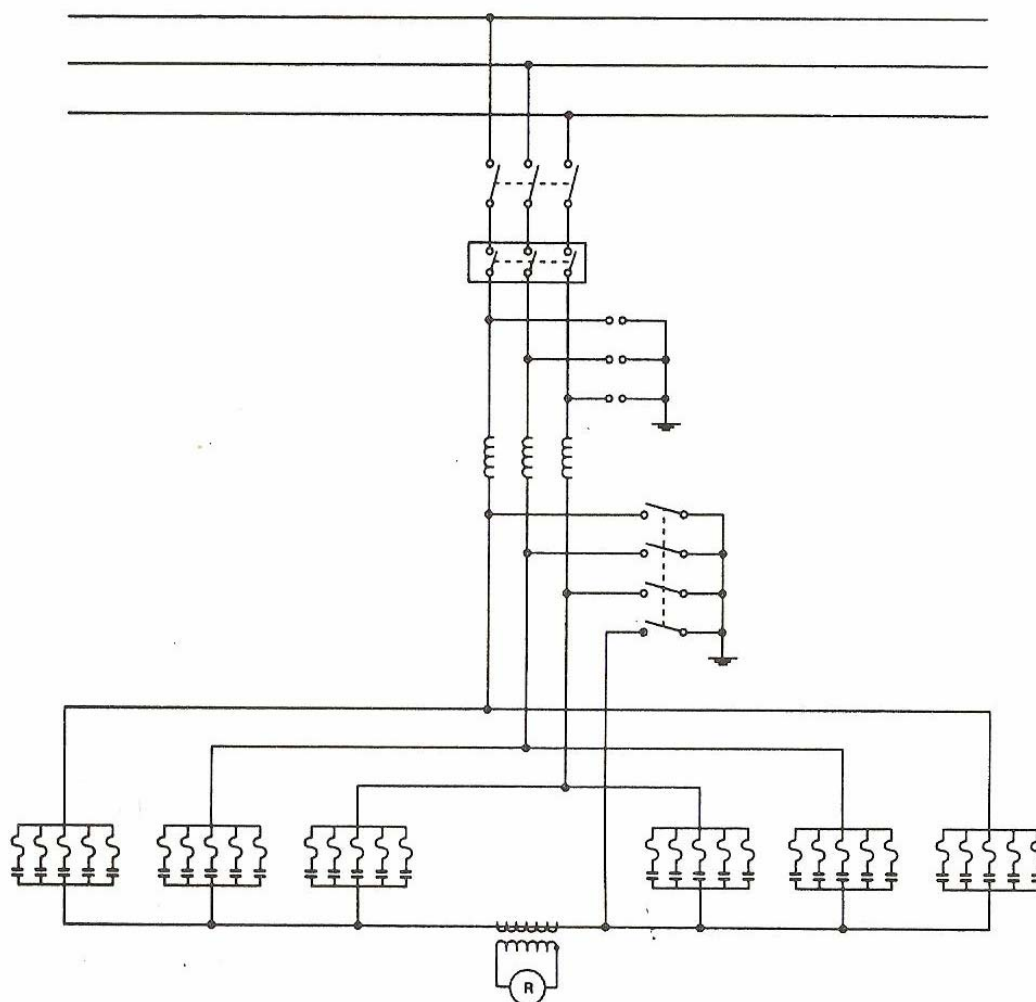


Fig 24

- Determinação do tipo das unidades capacitivas a ser usada.
- Configuração do banco.
- Escolha do fusível.
- Dimensionamento dos transformadores de corrente.

- e) Dimensionamento do relé de sobrecorrente.
- f) Dimensionamento da chave de terra.
- g) Dimensionamento do disjuntor ou chave interruptora.

a) O primeiro passo é determinar o tipo de unidades capacitivas; podem ser utilizados capacitores de potência nominal de 25,50,100 e 200 kVAr.

As unidades selecionadas são de 200 kVAr. O número de grupos de capacitores em série por fase é determinado pela tensão de fase do banco. A tensão de fase de cada unidade é 13,8 kV/1.73, então a tensão em cada unidade é 7,96 kV, para um único grupo em série por fase.

Portanto, serão usados unidades de 200 kVAr x 7.960 V.

b) Na configuração dos bancos na potência de 6000 kVAr, serão necessários 30 capacitores de 200 kVAr, totalizando os 6000 kVAr. Estes capacitores formarão duas estrelas independentes com 15 capacitores cada. Sendo 5 paralelos por fase. Pela tabela 8, o número de unidade por grupo seria 2, portanto o banco atende este requisito.

E1 – tensão real do grupo

Ea – tensão fase terra do sistema = 7.960 kV

X – número de grupos série por fase = 1

M – número normal de capacitores em paralelo por grupo = 5

N – número de unidades tiradas do grupo

If – fator de multiplicidade da corrente nominal do capacitor

IF – corrente que circula no elo fusível da unidade em curto = If * In

In – corrente nominal do capacitor $200 / 7.96 = 25A$

Ino – fator de multiplicidade da corrente nominal do capacitor

In – corrente que circula na interligação dos neutros = Ino * In

c) Na escolha do fusível nos bancos ligados em estrela com neutro isolado, a corrente que circula no elo fusível da unidade não é muito elevada, razão pela qual o uso de fusíveis do tipo expulsão, os quais são montados em tubos de fenolite apropriados com capacidade de ruptura de 6 kA.

A corrente calculada é de 25 A neste caso o uso do fusível é de 40T, na qual suporta 40A em regime permanente. O fator é aceitável pois está 1.60 vezes o valor da corrente nominal do capacitor.

Deve-se fazer uma verificação para saber em que zona da curva de probabilidade de ruptura da caixa do capacitor se encontra o ponto de ruptura do elo.

$$If = 6MX / 6X - 5 = 30$$

$I_f = 30 \text{ A}$

$I_n = 750 \text{ A}$

Se a corrente de 750 A circulando no elo fusível 40T da unidade capacitiva em curto, a sua abertura é em 0,32 segundos, o que ocorrerá na zona segura, conforme fig. 25:

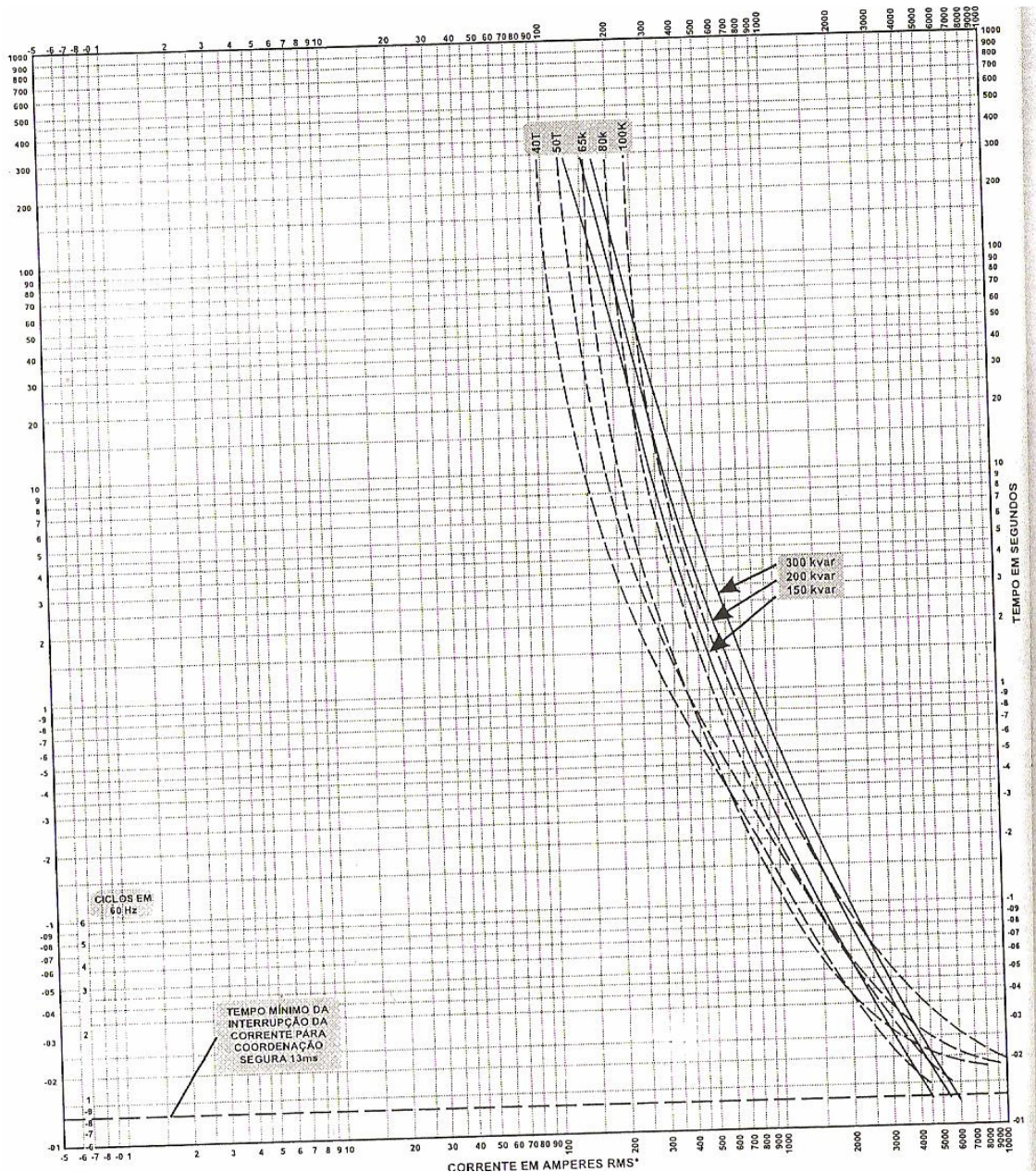


Fig 25

d) Para dimensionar um transformador de corrente inicialmente calcula-se o número de unidades que podem ser retiradas de um mesmo grupo-série sem que haja sobretensão superior aos 110% permissíveis nas unidades do mesmo grupo.

$$E1 = 6MEa / 5N + 6X(M-N) \cdot I_o$$

$$E1 / Ea = 30 / 30 - N$$

Para

$$N = 1 \quad E1 / Ea = 1,034$$

$$N = 2 \quad E1 / Ea = 1,071$$

$$N = 3 \quad E1 / Ea = 1,111$$

O banco deverá funcionar com até duas unidades de um mesmo grupo fora de serviço, devendo ser desligado na saída da terceira unidade. Calculando agora o valor da corrente que circula na interligação dos neutros com saída das unidades do mesmo grupo.

$$E1 = 6MN / 5N + 6X(M-N)$$

$$I_{no} = 15N / 30 - N$$

Para

$$N = 1 \quad I_{no} = 0,517$$

$$N = 2 \quad I_{no} = 1,071$$

$$N = 3 \quad I_{no} = 1,666$$

$$I_n = I_{no} \cdot I_n$$

Para

$$N = 1 \quad I_n = 12,99 \text{ A}$$

$$N = 2 \quad I_n = 26,92 \text{ A}$$

$$N = 3 \quad I_n = 41,87 \text{ A}$$

No entanto o TC deve ter uma corrente primária nominal de no mínimo igual a 26,92A vezes 1,44 que corresponde á 38,76 A .

O valor mais próximo que é de 40 A .

A relação escolhida é de 8:1 (40:5 A).

A tensão de isolamento deve ser 15 kV, com NI 34/ 110 kV.

Como será usado um relé de sobrecorrente, é suficiente a classe de precisão 10 A 100.

e) Para o dimensionamento do relé de sobrecorrente, que normalmente, possui uma característica de tempo normalmente inverso ou muito inverso, este relé deve possuir um elemento instantâneo que atue um alarme no instante da saída de serviço da 1ª unidade do banco. Como a relação do TC é de 8:1, teremos as seguintes correntes no secundário do transformador de corrente:

Para

$$N = 1 \quad I_n = 1,62A$$

$$N = 2 \quad I_n = 3,37A$$

$$N = 3 \quad I_n = 5,23A$$

O elemento instantâneo deve ser regulado para 1,0 A e o temporizado para atuar 3 segundos após o início da passagem de corrente superior a 4,9 A .

f) Para o cálculo da chave terra a mesma deverá ser tetrapolar, pois o neutro do banco é isolado.

A chave deve ser de classe 15 kV, NI 34 /110 kV montagem vertical e abertura vertical.

A chave deve possuir contatos auxiliares: pelo menos 3NA e 3NF, e bloqueio para ser usado o cadeado.

g) Para o cálculo do disjuntor ou da chave interruptora a mesma deverá ser própria para o comando de cargas capacitivas, de classe de 15 kV, com corrente nominal de 400 A, NI 34 /110 kV e dotada de comando manual ou automático.

Para manutenção é necessário uma chave seccionadora à frente da chave interruptora.

A utilização de um disjuntor exclusivo para comando e proteção de um banco de capacitores pode ser dispensada, desde que se tenha um disjuntor de retaguarda. Neste caso, deve-se analisar se há algum inconveniente quando da atuação do relé de proteção do banco no disjuntor.

6-0 – Conclusão

Os bancos de capacitores constituem uma fonte de corrente reativa, na ajuda do gerador, pois este na prática devido a razões econômicas não supre toda a carga reativa do sistema. Quando instalados nas indústrias, corrigem o fator de potência, com suas conseqüentes vantagens financeiras, em vistas das sobretaxas cobradas pelas concessionárias, além de benefícios adicionais de liberação de capacidade, diminuição de perdas e melhoria do nível de tensão.

Alguns benefícios quando se instala grupo de capacitores em:

- Linhas de transmissão:

Quando são instalados diretamente em linhas de transmissão:

- Aliviam os geradores das perdas reativas em linhas e transformadores sobrecarregados.
- Melhoram a regulação do sistema.
- Melhoram o nível de tensão na carga.
- Reduzem a componente atrasada do sistema.
- Melhoram o fator de potência na fonte supridora.

- Linhas de distribuição:

- Melhoram o fator de potência na instalação.
- Melhoram a regulação do sistema, quando adequadamente conectados.
- Reduzem a componente atrasada da corrente do circuito.
- Reduzem as perdas ativas e reativas.
- Diminuem a carga em kVA na fonte supridora e circuitos, liberando cargas adicionais.
- Fornecem potência reativa perto da carga.
- Ajudam a manter a tensão estável do sistema.

- Instalados na indústria:

- Corrigem o fator de potência, com vantagens econômicas, em vista das sobretaxas cobradas pelas companhias elétricas (Concessionárias).
- Diminuem as perdas na instalação.
- Aliviam o equipamento de manobra e proteção, quando ligados diretamente à carga a corrigir, como é o caso dos capacitores ligados juntos aos motores.
- Liberam capacidade nas fontes supridoras.

Já em relação aos grandes bancos de capacitores, estes podem ser ligados em triângulo, estrela com neutro aterrado, estrela com neutro isolado ou dupla-estrela. Para o sistema de ligação em estrela isolada, a corrente de defeito através do fusível é limitada pelas outras duas fases:

Não existe passagem para a terra para as correntes harmônicas, no caso do neutro isolado. Para os bancos em estrela com neutros aterrados, ou ligados em triângulo, entretanto, a

corrente de curto pode alcançar até o valor máximo do curto-circuito do sistema, pois as fases boas não podem limitar a corrente. Assim no sistema neutro isolado são permitidos fusíveis externos de menor capacidade de ruptura. Dois ou mais grupos de capacitores em série, por fase, a corrente de curto-circuito é limitada pelos grupos bons. Sempre os bancos de capacitores devem ser providos de um dispositivo de proteção, para desligá-lo do sistema em caso de defeito que ocasione um desequilíbrio de fases.

Além de todos os benefícios citados, na utilização dos bancos de capacitores, é de extrema importância a inclusão destes, nos planos de construção e de expansão, nas áreas industriais e nas empresas concessionárias de energia. Se for feito um estudo detalhado do sistema, antes da construção e da expansão, as empresas poderão reduzir o tamanho de alguns equipamentos elétricos tais como: transformadores, barramentos, chaves seccionadoras, etc, e conseguir uma redução significativa no investimento necessário.

Referências Bibliográficas

MAMEDE, F.,J., “Instalações Elétricas Industriais” 6º Edição LTC editora- Rio de Janeiro 2005

WEG – Catálogos de Motores Elétricos

WEG – Catálogos de Capacitores Elétricos

INDUCON – Manual INDUCOM Capacitores de Potência

LAELC – Manual LAELC Capacitores de Potência

ENGECOMP SPRAGUE CAPACITORES – Manual Capacitores

HF INDÚSTRIA E COMÉRCIO DIVISÃO DE CAPACITORES – Manual de Capacitores

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: especificações NBR 5113 (Fusível Rolha e Cartucho),NBR 5359 (Elos Fusíveis de Distribuição), NBR 5282 (Capacitores de Potência em Derivação para Sistema de Tensão Nominal acima de 1000V),Métodos NBR 7397/7398/7399/7400 (Ensaio de Galvanização), NBR 5289 (Ensaio de Capacitores);Normas NBR 5410 (Execução de instalações Elétricas de Baixa Tensão),NBR 5414 (Execução de Instalações Elétricas de Alta Tensão);Procedimento NBR 10671/NBR 5060 (Guia para instalação e operação de capacitores de potência);Padronização NBR 12479 (Capacitores de Potência em Derivação para Sistema de Tensão Nominal Acima de 1000V – Característica Elétricas e Construtiva).

Osman Ciufe Sarmiento, “A Proteção dos Pequenos Bancos de Capacitores”, “Mundo Elétrico”, nº 109, pp. 18-22, outubro,1968

B.D Whitman, “ Internally fused capacitors reduce environmental, reability problems Electric Light and Power, may 1980.

IEEE Publication nº. 141 , “ Electric Distribution for Industrial Plants”, The Institute of Electrical and Eletronics Engineers , 1969

IEC Publication 60871 e 60831 n°. 141 , “Shunt Power Capacitors”, International
Eletrotechnical Commission

William F. Mullin, “ ABC’s of Capacitors ”, Fuolsham-Sams, 1967
