

Capítulo XIII

Proteção de Bancos de Capacitores Shunt

Por Cláudio Mardegan*

A utilização de bancos de capacitores em sistemas elétricos industriais tem crescido ultimamente devido ao fato de se constituir uma forma simples, prática e econômica de corrigir o fator de potência. Entretanto, a sua aplicação necessita de certos cuidados, pois podem ocorrer alguns “efeitos colaterais”. Alguns cuidados e atenção devem ser tomados, entre outros, quando se chaveia um banco. Um disjuntor pode interromper vários kAs de corrente indutiva, mas suportará uma corrente capacitiva de apenas algumas centenas de ampères.

Normas e guias

Existem várias normas e guias para a proteção de capacitores, entre as quais podem ser citadas:

- IEEE Std C37.99-2002 “Guide for protection of shunt capacitors banks”
- IEEE Std 18-2002 “Shunt Power Capacitors”

- IEC 831-1 1988 “Shunt Power Capacitors of the self healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 660 V”
- ABNT NBR 5282 JUN 1998 – “Capacitores de potência em derivação para sistemas de tensão acima de 1000 V – Especificação”

Tipos de conexões dos bancos de capacitores Shunt

Os bancos de capacitores shunt trifásicos são comumente conectados em uma das seguintes formas:

- Delta
- Estrela não aterrada
- Estrela aterrada
- Dupla estrela não aterrada
- Dupla estrela aterrada

É necessário lembrar que quando os bancos de capacitores ficam com potência acima de 3.100 kVA, é prática utilizar as conexões em dupla estrela não aterrada e com neutros interligados. Há também a possibilidade de utilizar os bancos na configuração H.

Ultimamente, encontram-se no mercado fornecedores de bancos em que os capacitores suportam mais do que 10% de sobretensão. Dessa forma recomenda-se sempre consultar os respectivos fabricantes dos equipamentos.

Principais proteções de um banco de capacitores

As proteções mais usuais de um banco de capacitores podem ser resumidas em:

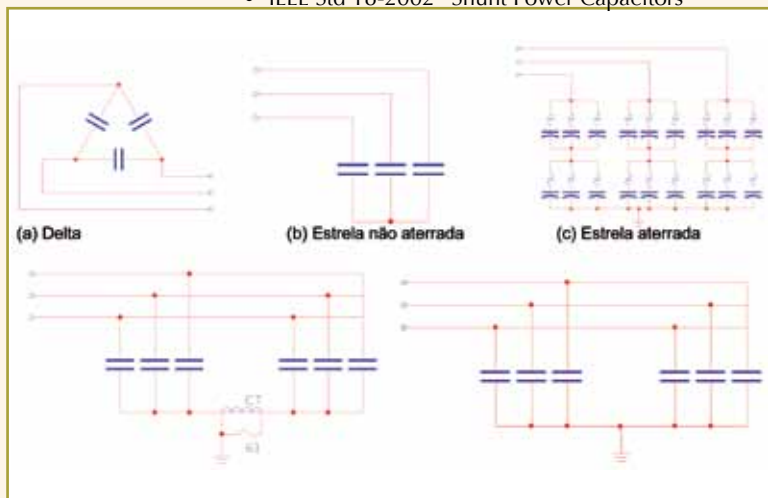


Figura 1 – Conexões mais usuais de banco de capacitores.

- De sobrecorrente para falta na barra e/ou circuito do banco;
- De sobrecorrente para faltas nas unidades do banco;
- De sobretensão permanentes nas unidades restantes devido à falha de unidades individuais;
- De sobretensão na barra do banco de capacitores;
- De surto de tensão do sistema;
- Descarga de corrente de unidades paralelas;
- De corrente inrush devido ao chaveamento;
- De arcos sobre a estrutura do capacitor;

Corrente inrush

Na energização de um banco de capacitores, ocorre um transitório eletromagnético que se traduz pelo aumento dos valores de corrente e de frequência. Os valores atingidos nesse transitório e sua duração dependem do instante em que está passando a tensão, da capacitância, da indutância do circuito, da carga inicial do capacitor no instante da energização e dos amortecimentos promovidos pelas resistências do circuito.

Observações importantes sobre a corrente inrush de banco de capacitores:

- Quando o banco de capacitores está descarregado, sua impedância é praticamente nula e assim os valores de corrente podem atingir valores expressivos.
- Quando existe um banco único na barra, a corrente inrush deste banco é menor que a corrente de curto-circuito no ponto de instalação do banco de capacitores.
- Quando um capacitor é chaveado, estando um outro já energizado na mesma barra (conhecido como chaveamento “back to back”), as correntes de energização tendem a ser ainda maiores, considerando que a contribuição de corrente do banco já conectado na barra é limitada apenas pela indutância dos capacitores e dos barramentos.
- Quando um banco é chaveado “back to back”, a corrente inrush poderá exceder o valor da corrente de curto-circuito no ponto onde está o banco de capacitores.
- Normalmente a corrente inrush máxima suportada por um banco de capacitores é de $100 \times I_n$. Deve-se consultar sempre o fabricante e também verificar qual a norma de fabricação do capacitor para certificar este valor.
- A forma de onda não é senoidal e aparece uma onda de alta frequência sobreposta à senóide da onda de tensão.
- A duração do transitório normalmente varia da ordem de uma fração de ciclo a alguns ciclos da frequência do sistema.

A Figura 2 apresenta o gráfico de uma simulação feita do chaveamento de um banco de 30 MVAR em 69 kV, através de um programa de transitórios eletromagnéticos.

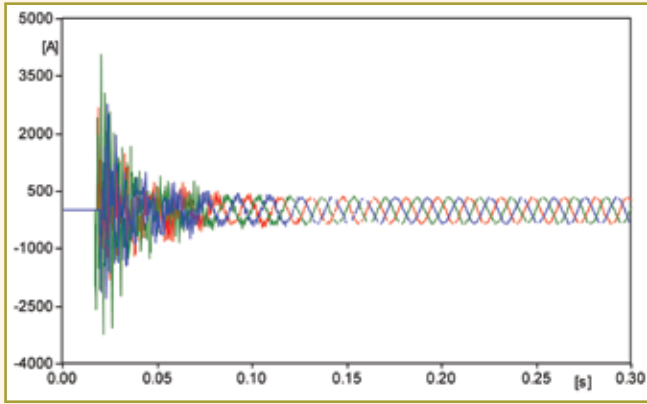


Figura 2 – Chaveamento de capacitor de 30 MVar em 69 kV single na barra. Corrente = 4074,5 Ap e frequência = 528,8 Hz.

A Figura 3 apresenta o gráfico de uma simulação feita, por meio de um programa de transitórios eletromagnéticos, do chaveamento de um segundo banco de capacitores de 30 MVar em 69 kV, estando já energizado na mesma barra um banco de 30 MVar.

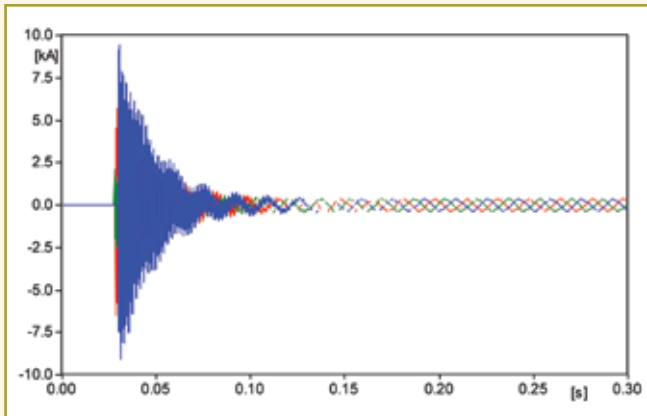


Figura 3 – Chaveamento de capacitor de 30 MVar em 69 kV back to back, estando um banco de capacitores também de 30 MVar já energizado na barra. Corrente = 9431,8 Ap e frequência = 2341,9 Hz.

Como pode ser observado nas simulações, o valor da corrente inicialmente é muito alto, porém o valor cai abruptamente e em torno de 100 ms praticamente já atingiu o valor de regime.

(a) Valor da corrente inrush

(a1) Chaveamento único (banco singelo)

A Figura 4 mostra o modelo de circuito representativo de um capacitor singelo sendo chaveado na barra.

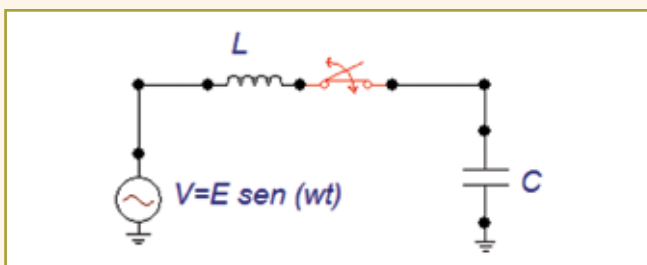


Figura 4 – Circuito equivalente de um banco de capacitores sendo chaveado.

Do circuito da Figura 4 pode-se dizer que, a partir do fechamento da chave, uma corrente $i(t)$ irá circular e, pela Lei de Kirchoff, das tensões pode-se tirar:

$$V = L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int i(t).dt \quad \text{Equação 1}$$

Como se pode observar, a solução no domínio do tempo acaba ficando um pouco complexa e o que se faz é passar para o domínio da frequência através das transformadas de Laplace que transforma as equações diferenciais em equações algébricas como segue:

$$\frac{\sqrt{2}E}{s} = Ls.I(s) + \frac{1}{sC} I(s) \quad \text{Equação 2}$$

Isolando-se o valor da corrente $I(s)$ na Equação 2, tem-se:

$$I(s) = \frac{\frac{\sqrt{2}E}{s}}{Ls + \frac{1}{sC}} = \frac{\frac{\sqrt{2}E}{s} sC}{s^2 LC + 1} = \frac{\sqrt{2}EC}{s^2 LC + 1} = \frac{\sqrt{2}E}{L} \cdot \frac{1}{s^2 + \frac{1}{LC}} \quad \text{Equação 3}$$

Aplicando-se a antitransformada de Laplace, fica:

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}E}{L} \cdot \sqrt{LC} \cdot \text{sen}\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) = \sqrt{2}E \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \text{sen}\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) \quad \text{Equação 4}$$

Chamando-se de:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{Equação 5}$$

Aplicando a Equação 5 na 4, tem-se:

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}E}{\omega_o L} \cdot \text{sen}(\omega_o t) \quad \text{Equação 6}$$

Aplicando-se a Equação 5 em 6 e, manipulando, fica:

$$i(t) = \frac{\sqrt{2} \cdot E}{L} = \sqrt{2} \cdot E \cdot \frac{\sqrt{LC}}{\sqrt{L^2}} = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \text{sen}\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) \quad \text{Equação 7}$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \text{sen}\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) \quad \text{Equação 8}$$

$$i(t)_{\text{MÁX}} = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \rightarrow \text{Para } \Leftrightarrow \text{sen}\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) = 1 \quad \text{Equação 9}$$

$$i(t)_{\text{MÁX}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{E^2 \cdot \frac{C}{L} \cdot \omega} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{E}{X_C} \cdot \frac{E}{X_L}} \quad \text{Equação 10}$$

$$I_{\text{INRUSH}} = \sqrt{2 \times I_N \times I_{CC}} \quad \text{Equação 11}$$

A frequência de chaveamento do banco simples é dada pela Equação 5, a qual pode ser expressa em Hz e em μH e μF , conforme mostrado na Equação 9.

$$f_o[\text{Hz}] = \frac{10^6}{2\pi \cdot \sqrt{LC}} \quad \text{Equação 12}$$

(a2) Chaveamento de mais de um banco na barra (banco de múltiplos estágios)

Ao chavear um banco (ou um novo estágio de um mesmo banco), havendo outro já energizado na barra, praticamente, a única impedância que irá limitar o chaveamento será a impedância dada pela indutância entre os bancos (visto que esta é muito menor que a indutância da rede). Dessa maneira, a corrente de chaveamento que aparece atinge valores elevados. A Figura 5 traz o circuito representativo desta situação.

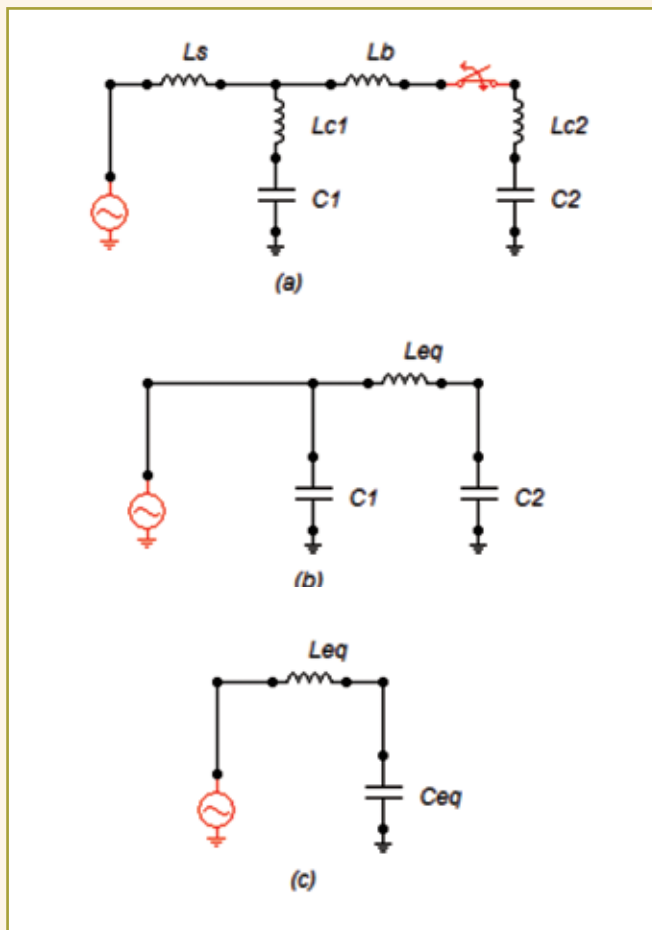


Figura 5 – Circuito equivalente do chaveamento de um banco múltiplo na barra.

A Figura 5(a) mostra o banco sendo chaveado. A Figura 5(b) mostra a associação equivalente da indutância e a Figura 5(c) é o equivalente final. Analisando ainda a Figura 5(c), vemos que corresponde à Figura 4. Logo, a Equação 8 pode ser aplicada, a qual, na condição de valor máximo, corresponde ao seno igual a 1, cujo resultado é aplicado à Equação 13.

$$i_{M\acute{A}X} (A) = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sqrt{\frac{C_{eq}}{L_{eq}}} \quad \text{Equação 13}$$

A tabela a seguir apresenta a indutância típica dos bancos e dos barramentos.

TABELA 1 – INDUTÂNCIA TÍPICA DE BARRAMENTOS E BANCOS		
Tensão [kV]	Indutância da barra [mH/m]	Indutância típica dos capacitores [mF]
< 15.5	0,7021	5
38	0,7808	5
48.3	0,8399	10
72.5	0,8399	10
121.0	0,8563	10
145.0	0,8563	10
169.0	0,8793	10
242.0	0,935	10

Ao manipular a Equação 13, chega-se então à Equação 14.

$$i_{M\acute{A}X} (A) = 1750 \cdot \sqrt{\frac{kV_{FF}}{L_{eq}} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{I_1 + I_2}} \quad \text{Equação 14}$$

Em que:

kV_{FF} = Tensão entre fases do banco em kV;

L_{eq} = Indutância equivalente entre os bancos em micro-henries [μ H];

I_1, I_2 = Corrente nominal dos bancos já energizado (banco 1) e do banco chaveado (2) em [A].

A frequência de chaveamento deste banco múltiplo é dada pela Equação 15.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{eq} C_{eq}}} \quad \text{Equação 15}$$

A Equação 16 expressa a frequência em Hertz e L em μ H.

$$f_o[\text{Hz}] = 9585 \cdot \sqrt{\frac{f_s[\text{Hz}] \cdot kV_{FF}}{L_{eq}[\mu\text{H}]} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{I_1 + I_2}} \quad \text{Equação 16}$$

Os valores de corrente de chaveamento, frequência e os respectivos tempos de duração do inrush podem ser utilizados no programa ATP (Alternative Transient Program). As frequências de chaveamento de banco são da ordem de kHz e a duração do transitório de chaveamento é de alguns semiciclos da frequência de chaveamento.

Pontos a serem protegidos

Os capacitores, assim como os motores elétricos, constituem equipamentos muitos sensíveis, como pode ser visto pelas prescrições normativas de projeto das normas IEEE Std 18 e C37.99. Os capacitores podem:

- Operar permanentemente com 110% de V_n (incluindo-se sobretensões harmônicas);

- Operar até 180% de I_n (incluindo a fundamental e as harmônicas);
- Operar no máximo a 115% kVAr nominal para a fundamental;
- Operar permanentemente com 135% dos kVAr nominais (desde que não exceda a 110% V_n).

Nota: Deve-se sempre consultar o fabricante para verificar as condições de suportabilidade do respectivo banco.

(a) Pick up da unidade temporizada

Deve ser escolhido em função da norma em que o capacitor foi fabricado. Normalmente deve ser ajustado entre 1.2 e 1.35 x I_n . Valor sugerido: 1.2. Embora a corrente permissível possa ser maior (por exemplo 8 x I_n – ANSI), a limitação é imposta pela potência.

(b) Temporização da unidade

Não deve atuar para a corrente de energização do banco. Assim, seu ajuste deve ficar acima do Ponto (Inrush [A]; 0.1 s), embora, parte das vezes este transitório pode durar menos que 100 ms para o valor da corrente inrush.

(c) Pick up da unidade instantânea

Deve ser ajustada para 110% do valor da corrente de energização.

(d) Resumo dos critérios de proteção

Para proteção de um capacitor ou banco, deve-se prever a limitação da:

- Sobretensão em 10%;
- Sobrecorrente de 130% a 135% (Conforme norma de fabricação).

Ajustes recomendados:

Pick up sobrecorrente: $1,2 \times I_n$

Temporização da unidade temporizada: acima do ponto (0.1 s; Inrush)

Instantâneo: $> 1,1 \times I_{nrush}$

Bancos em dupla estrela

Bancos em média e alta tensões normalmente são conectados em dupla estrela, pois, dessa forma, podem ser utilizados capacitores de menor isolamento, implicando menor custo. A estrela é normalmente isolada, porém, interligada e, nessa interligação, é instalado um relé que consegue identificar desequilíbrios de corrente que surgem em função da queima de algum fusível de alguma “lata” (unidade) de capacitor.

Assim, deve-se promover o ajuste deste relé, montando uma tabela, excluindo lata por lata (unidade por unidade), de modo que a tensão fique abaixo de 110%, limite máximo normalizado para a fabricação dos capacitores.

Apresenta-se a seguir as principais equações para banco dupla estrela.

Tensão remanescente nas unidades restantes do grupo e corrente de desequilíbrio no neutro de bancos dupla-estrela

(a) Tensão no restante do grupo

A Equação 17 apresenta o cálculo da sobretensão das unidades restantes de um grupo.

$$V_{\text{GRUPO}} = \frac{6xP}{6xSx(P-F)+5F} \quad \text{Equação 17}$$

(b) Corrente de desequilíbrio

A Equação 18 traz o cálculo da corrente de desequilíbrio no neutro da dupla estrela na saída (queima de fusíveis) de um grupo.

$$I_{\text{DESEQUILIBRIO}} = \frac{3x F}{6xSx(P-F)+5F} \times I_{N-1\text{PERNA}} \quad \text{Equação 18}$$

Em que:

P = Número de unidades em paralelo por grupo

S = Número de grupos série por perna

F = Número de fusíveis queimados

(c) Tensão remanescente em cada grupo série com o grupo em falta

A Equação 19 apresenta o cálculo da tensão remanescente em cada grupo série com o grupo em falta para um banco em dupla estrela.

$$I_F = \frac{6xV_{FN} \times P \times (2S-1)}{X_C \times S \times (6S-5)} \quad \text{Equação 19}$$

$$V_{\text{TOTAL}} - X_{eq} \times I_F \quad \text{Equação 20}$$

$$X_{eq} = \frac{\frac{X_C \times (S-1)}{P} \times \frac{X_C}{P}}{X_C \times (S-1) + X_C \times S} + \frac{X_C \times S \times (S-1)}{P \times (2S-1)} \quad \text{Equação 21}$$

$$V_{\text{TOTAL}} = \frac{6xV_{FN} \times P \times (2S-1)}{X_C \times S \times (6S-5)} = \frac{X_C \times S \times (S-1)}{P \times (2S-1)} \quad \text{Equação 22}$$

$$V_{\text{TOTAL}} = \frac{6xV_{FN} \times (S-1)}{(6S-5)} \quad \text{Equação 23}$$

$$V_{\text{GRUPO}} = \frac{V_{\text{TOTAL}}}{(S-1)} \quad \text{Equação 24}$$

$$V_{\text{GRUPO}} = \frac{6xV_{FN} \times (S-1)}{(6S-5) \times (S-1)} \quad \text{Equação 25}$$

$$V_{\text{GRUPO}} = \frac{6xV_{FN}}{(6S-5)} \quad \text{Equação 26}$$

(d) Corrente de falta com uma unidade curto-circuitada

Apresenta-se a seguir a Equação 27 para o cálculo corrente de falta na fase, para um banco em dupla estrela.

$$I_F = \frac{3xV_{FN}}{2Za+Z} \quad \text{Equação 27}$$

$$Za = \frac{\frac{X_C(S-1)}{P} \times \frac{X_C+S}{P}}{\frac{X_C(S-1)}{P} + \frac{X_C \times S}{P}} = \frac{X_C}{P} \times \frac{S(S-1)}{2S-1} \quad \text{Equação 28}$$

$$Z = \frac{X_C \times S}{2P} \quad \text{Equação 29}$$

$$Zt = 2Za + Z \quad \text{Equação 30}$$

$$Zt = \frac{X_C \times S}{P} \left[\frac{2(S-1)}{2S-1} + \frac{1}{2} \right] \quad \text{Equação 31}$$

$$Zt = \frac{X_C \times S}{P} \left[\frac{4S-4+2S-1}{2S-1} \right] \quad \text{Equação 32}$$

$$Zt = \frac{X_C \times S}{2P} \left[\frac{6S-5}{2S-1} \right] \quad \text{Equação 33}$$

$$I = \frac{3V_{FN} \times P \times [2S-1]}{\frac{X_C \times S}{2} [6S-5]} \quad \text{Equação 34}$$

Para se determinar a corrente de falta no grupo curto-circuitado, utiliza-se a Equação 35.

$$I_F = P \times \frac{6S}{(6S-5)} \times I_N \quad \text{Equação 35}$$

Em que:

I_N = Corrente nominal do capacitor.

(e) Número mínimo de unidades por grupo para uma sobretensão de 10%

Na equação seguinte, é determinado o número mínimo de unidades por grupo para uma sobretensão de 10%.

$$\frac{600P \times S}{[6S \times (P-F) + 5F]} > 110\% \quad \text{Equação 36}$$

$$600P \times S = 660P \times S + 110F (-6S+5) \quad \text{Equação 37}$$

$$P \times S(-60) = 110F(6S-5) \quad \text{Equação 38}$$

$$P = 11 \frac{F}{6S} \times (6S-5) \quad \text{Equação 39}$$

Exemplo 1

Dado um banco de capacitores de 3600 kVAr, instalado em 13.8 kV, em um local em que o nível de curto-circuito é de 8519 A. A característica do banco é apresentada a seguir. Pede-se para ajustar as proteções do banco.

Conexão: dupla estrela não aterrada

kVAr de 1 unidade = 200

Número de grupos série por fase (S) = 1

Número de unidades em paralelo por grupo (P) = 3

kVn 1 unidade = 7,967

TC de fase = 400-5 A

TC do neutro da dupla estrela = 15-5 A

Solução

$$I_{N-BANCO} = \frac{kVar_{BANCO}}{\sqrt{3} \times kV_{N-BANCO}} = \frac{3600}{\sqrt{3} \times 13.8} = 150.6A \quad \dots$$

$$\dots \quad I_{N-1PERNA} = \frac{I_{N-BANCO}}{2} = \frac{150.6}{2} = 75.3A$$

$$\text{Ajustel } \geq 1.2 \times I_{N-BANCO} = 1.2 \times 150.6A = 180.7A$$

$$I_{>} = \frac{1.2 \times I_{N-BANCO}}{RTC} = \frac{180.7}{80} = 2.3A \Rightarrow \frac{I_{>}}{I_{N-RELE}} = \frac{2.3}{5} = 0.45$$

O valor da corrente inrush é calculado como segue:

$$I_{INRUSH} = \sqrt{2 \times I_N \times I_{CC}} = \sqrt{2 \times 150.6 \times 8519} = 1601.9A$$

A duração é 0.1 s. Assim, a temporização do relé deve ficar acima deste tempo, ou seja, 0.15 s. Escolhendo uma característica muito inversa, fica:

$$t = \frac{13.5}{I - 1} \cdot DT \Rightarrow 0.15 = \frac{13.5}{\frac{1601.9}{180} - 1} \cdot DT \Rightarrow DT = 0.088 \approx 0.10$$

A unidade instantânea tem que ser ajustada 10% acima do valor da corrente inrush:

$$\text{Ajustel } \geq 1.1 \times I_{INRUSH} = 1.1 \times 1601.9A = 1762A$$

$$I_{>} = \frac{1.1 \times I_{INRUSH}}{RTC} = \frac{1762}{80} = 22A \Rightarrow \frac{I_{>}}{I_{N-RELE}} = \frac{22}{5} = 4.5$$

O cálculo a seguir mostra a sobretensão nas unidades restantes.

Do grupo, quando são retiradas unidades e a corrente de desequilíbrio no neutro, sabe-se que a sobretensão das unidades restantes do grupo e a corrente de desequilíbrio no neutro da dupla estrela são dadas por:

$$V_{GRUPO} = \frac{6 \times P}{6 \times S \times (P - F) + 5F} \quad I_{DESEQUILIBRIO} = \frac{3 \times F}{6 \times S \times (P - F) + 5F} \times I_{N-1PERNA}$$

Com nenhuma unidade retirada (F=0), para P=3 e S=1, fica:

$$V_{GRUPO} = \frac{6 \times 3}{6 \times 1 \times (3 - 0) + 5 \times 0} = \frac{18}{18} = 1 \quad I_{DESEQUILIBRIO} = 0 \times I_{N-1PERNA} = 0$$

Com uma unidade retirada (F=1), para P=3 e S=1, fica:

$$V_{GRUPO} = \frac{6 \times 3}{6 \times 1 \times (3 - 1) + 5 \times 1} = \frac{18}{17} = 1.0588 \text{ pu} \quad \dots$$

$$\dots \quad I_{DESEQUILIBRIO} = \frac{3}{17} \times 75.3 = 0.1765 \times 75.3 = 13.29 \text{ A}$$

Com duas unidades retiradas (F=2), para P=3 e S=1, fica:

$$V_{GRUPO} = \frac{6 \times 3}{6 \times 1 \times (3 - 2) + 5 \times 2} = \frac{18}{16} = 1.125 \text{ pu} \quad \dots$$

$$\dots \quad I_{DESEQUILIBRIO} = \frac{6}{16} \times 75.3 = 0.375 \times 75.3 = 28.24 \text{ A}$$

A tabela a seguir resume o exposto:

Nº de unidades retiradas	Tensão nas unidades restantes (pu)	Tensão nas unidades restantes (kV/sistema)	Tensão nas unidades restantes (pu - kVBanco)	Corrente no neutro da dupla estrela (A)
0	1,000	7,967	1,000	0,00
1	1,059	8,436	1,059	13,29
2	1,125	8,963	1,125	28,24
3	1,200	9,561	1,200	45,18

Como se sabe, o banco não deve ficar submetido mais do que

10% de sobretensão. Neste caso, com uma unidade retirada, dá-se o alarme e, com duas, dá-se o trip.

Ajuste da unidade de alarme

$$I_{>>} = \frac{(0.9)^2 \times I_{Deseq}(13.29)}{RTC_{Neutro-YY}} = \frac{10.75}{3} = 3.6 \text{ A} \Rightarrow \frac{I_{>>}}{I_{N-RELE}} = \frac{3.6}{5} = 0.72$$

Ajuste da unidade de trip

$$I_{>} = \frac{(0.9)^2 \times I_{Deseq}(28.24)}{RTC_{Neutro-YY}} = \frac{22.87}{3} = 7.6 \text{ A} \Rightarrow \frac{I_{>}}{I_{N-RELE}} = \frac{7.6}{5} = 1.52$$

Nota: O valor de 0.9 utilizado é para garantir que, mesmo com subtensão na barra, a proteção irá operar adequadamente.

**CLÁUDIO MARDEGAN é engenheiro electricista formado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (atualmente Unifei). Trabalhou como engenheiro de estudos e desenvolveu softwares de curto-circuito, load flow e seletividade na plataforma do AutoCad®. Além disso, tem experiência na área de projetos, engenharia de campo, montagem, manutenção, comissionamento e start up. Em 1995 fundou a empresa EngePower® Engenharia e Comércio Ltda, especializada em engenharia elétrica, benchmark e em estudos elétricos no Brasil, na qual atualmente é sócio diretor. O material apresentado nestes fascículos colecionáveis é uma síntese de parte de um livro que está para ser publicado pelo autor, resultado de 30 anos de trabalho.*

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO
 Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
 Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br