Apoio
CLAMPER
aFap
Blutrafos
MEGABARRE

Capítulo XVII

A seletividade

*Por Cláudio Mardegan**

O objetivo maior de um estudo de seletividade é determinar os ajustes dos dispositivos de proteção, de forma que, na ocorrência de um curto-circuito, opere apenas o dispositivo mais próximo da falta, isolando a menor porção do sistema elétrico, no menor tempo possível e ainda protegendo os equipamentos e o sistema. Historicamente, a seletividade apareceu no começo da década de 1950.

A folha de seletividade

Para que se possa fazer um estudo de seletividade, é importante primeiro conhecer a folha de verificação gráfica de seletividade (em inglês conhecida como TCC – Time Current Curves).

A seletividade é feita em um papel em escala bilogaritmica, em que são plotadas as curvas para a verificação gráfica. A escala de tempo vai usualmente de 0.1 s a 1000 s.

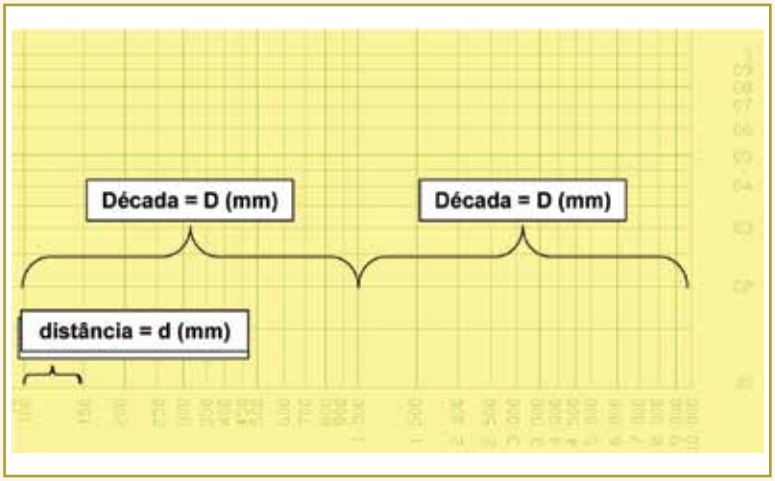

Figura 1 – Escala bilogarítmica utilizada em folhas de seletividade.

A escala de corrente vai normalmente de 0.5 A a 10000 A, podendo ainda ser multiplicada por 10 ou por 100. Assim, nas folhas, os espaçamentos (1 a 10, 10 a 100, 100 a 1000 e 1000 a 10000) se repetem na forma de décadas. O espaçamento de cada década é fixo, ou seja, a distância entre 1 e 10 é a mesma daquela entre 10 e 100, 15 e 150, 200 e 2000, etc.). A Figura 1 apresenta um "pedaço" da folha de seletividade mostrando os espaçamentos normalmente anotados.

Mesmo dispondo-se de um software para a elaboração das folhas de seletividade, saber trabalhar com a escala bilogarítmica é imprescindível, pois, muitas vezes, é necessário levantar as curvas fornecidas pelos fabricantes.

Para manipular a escala logarítmica, necessitamos conhecer duas equações: a primeira nos informa a distância d(mm) de um determinado ponto a partir do início de sua década correspondente e a segunda fornece o valor que corresponde àquela distância na escala. Veja as equações:

$$\log_{10} 10 \rightarrow D\ (mm)$$
$$\log_{10} 10 \rightarrow d\ (mm)$$

$$d\ (mm) = D.\ \log_{10} N,\ ou \qquad \text{Equação 1}$$
$$N = 10^{\frac{d}{D}} \qquad \text{Equação 2}$$

Exemplo 1

Ao receber uma curva de um fabricante, mediu-se

a década de corrente e obteve-se 56 mm (D). Identificado um ponto na escala de corrente que está à 10 mm (d) de distância do início da década 100, qual é o valor da corrente?

$$N = 10(10/56) = 1.5086 \text{ A}.$$

Como a medição inicia-se na década de 100, o valor real da corrente será:

$$I = N \times 100 = 150.86 \text{ A}$$

Seletividade amperimétrica

A seletividade amperimétrica é aquela que é utilizada quando existe uma impedância muito grande entre os pontos em que se está fazendo a seletividade. Neste caso, a corrente de falta vista pelo dispositivo de proteção à montante é muito maior que aquela vista pelo dispositivo de proteção instalado à jusante. Enquadram-se aqui os dispositivos instantâneos instalados no primário de transformadores.

Seletividade cronológica

A seletividade cronológica é aquela realizada aplicando intervalos de tempo entre os dispositivos de proteção situados à jusante e à montante, de forma que se garanta que eles irão operar de forma seletiva e coordenada.

Seletividade lógica

A seletividade lógica é aplicada por meio de relés digitais que permitem que as unidades situadas mais próximas da falta possam eliminá-la em um tempo muito pequeno, normalmente entre 50 ms e 100 ms como mostra a Figura 2.

Em alguns casos não é possível utilizar temporizações entre 50 ms e 100 ms, uma vez que podem existir fusíveis à jusante e, assim, deve-se permitir que eles operem antes e o tempo total para extinção do arco pode chegar até a ordem de 200 ms. Assim, quando ocorre este fato, o ajuste da unidade de sobrecorrente do relé deve ser de 250 ms. Neste caso, a temporização dos relés à montante será de 100 ms.

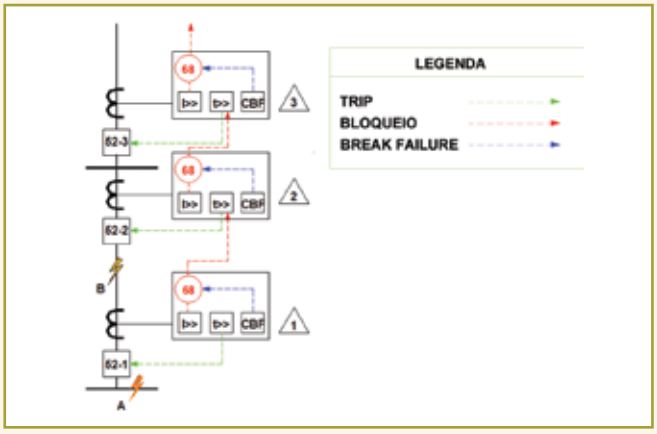

Figura 2 – Escala bilogarítmica utilizada em folhas de seletividade.

Apoio
CLAMPER
afap
Blutrafos
MEGABARRE

A explicação da filosofia da Figura 2 é a seguinte:

(a) As funções I>> são definidas para não dar trip por pick up.

(b) Para um curto-circuito no ponto A, todos os relés 1, 2 e 3 enxergam a falta.

(c) A unidade I>> é então ativada e envia o bloqueio (função ANSI 68) para a unidade t>> do dispositivo imediatamente à montante.

(d) Todos os relés 1, 2 e 3 iniciam a contagem do tempo, porém, apenas o relé 1 opera, visto que os demais estão bloqueados, embora já estejam operados.

(e) A função t>> do relé deve operar o disjuntor correspondente, no caso, o 52-1.

(f) Após contado o tempo ajustado em CBF (Circuit Breaker Failure – normalmente em torno de 200 ms), se o disjuntor 52-1 não abriu, o bloqueio de t>> do relé 1 é retirado, habilitando a função t>> a atuar e enviar o sinal de trip sem retardo ao disjuntor 52-2, visto que o relé já estava operado.

(g) Caso o disjuntor 52-2 falhe, a situação descrita em (f) se repete, agora para o disjuntor 52-3.

Algumas práticas para um bom projeto de seletividade lógica

As seguintes práticas são fundamentais para um bom projeto de seletividade lógica:

- Ajustar o pick-up dos relés da seletividade lógica acima da somatória de corrente de carga mais a corrente de partida do maior motor da barra.
- Ajustar o pick-up dos relés da seletividade lógica acima da corrente de contribuição para o curto-circuito dos motores que ficam à jusante do relé, no nível de tensão do motor e verificar também o valor no primário do transformador.
- Ajustar o pick-up dos relés da seletividade lógica acima da corrente inrush dos transformadores.
- Habilitar as funções de sobrecorrente utilizadas na seletividade lógica com característica de tempo definido.
- Utilizar o pick-up da unidade temporizada (I>>) para bloquear a função t>> da proteção à montante.
- Utilizar a temporização (t>>) para desligar o disjuntor mais próximo da falta.
- Utilizar o "breaker failure" para retirar o bloqueio do relé correspondente.
- Utilizar todos os contatos dos relés de saída vinculados à seletividade lógica com selamento ajustado para "unlatched".
- Quando os relés não permitem a programação do desligamento pelo pick-up e pela temporização, constitui-se um bom procedimento para que se possa fazer seletividade lógica, utilizar relés com três unidades de sobrecorrente de fase e três de terra, pois assim utiliza-se uma unidade para a seletividade convencional, uma unidade para bloqueio e outra para trip. Quando não for possível, é interessante que o relé possua "break failure".
- Utilizar as funções I> e t> para fazer a seletividade convencional, bem como I>>>, quando disponível.
- Quando se faz seletividade entre primário e secundário de transformador e os níveis de curto-circuito ficam muito próximos, utilizar um tempo de seletividade lógica menor (50 ms, por exemplo), pois, neste caso, a corrente de falta ainda conterá assimetria e, normalmente, o X/R do primário é maior que o do secundário e, assim, as correntes que cada dispositivo enxergará no instante de falta será diferente.

Seletividade convencional

A seletividade convencional consiste da aplicação dos recursos da seletividade cronológica e/ou da amperimétrica.

Escolha da característica do relé de sobrecorrente

A escolha da característica de um relé de sobrecorrente envolve uma análise, na qual se deve observar, no mínimo, o seguinte:

- Se a proteção é de fase;
- Se a proteção é de terra;
- Quando envolve transformador, a sua conexão;
- A característica dos dispositivos de proteção (fusíveis, relés, disjuntores de BT) que estão à jusante;
- Os equipamentos que estão sendo protegidos (I2t).

Característica de tempo definido

(a) Proteção de fase - Os relés de tempo definidos preferencialmente não devem ser utilizados para proteção temporizada de fase em todos os níveis, uma vez que, em um sistema elétrico, a proteção se inicia na carga e, como envolve muitas outras proteções até chegar à entrada (vários níveis), é preciso existir certo intervalo de coordenação entre elas. Se houver mais de três níveis, chega-se com tempos superiores a 1 segundo na entrada, o que não é um bom procedimento.

(b) Proteção de terra - Para proteção de terra, em sistemas industriais, a característica de tempo definido é excelente, considerando que:

- A maior parte dos transformadores em sistemas industriais tem conexão triângulo-estrela.
- Normalmente, a cada delta de transformador, um novo sistema de proteção de terra se inicia e o problema relatado para a proteção de fase (item (a)) não se aplica.
- Tendo em vista que faltas por arco, que são extremamente destrutivas, podem atingir valores que normalmente variam entre 20% e 100% da falta franca, com a utilização do relé de tempo definido obtém-se um tempo fixo e praticamente independente da corrente dentro desta faixa.

Característica de tempo inverso

(a) Proteção de fase - Os relés com característica extremamente inversa são muito rápidos para faltas elevadas e muito lentos para

Apoio
CLAMPER
aFap
Blutrafos
MEGABARRE

faltas de baixo valor ou sobrecargas. Coordenam muito bem com fusíveis e com o I2t dos equipamentos.

Os relés com característica normal inversa são muito lentos para faltas elevadas e rápidos para faltas de baixo valor ou sobrecargas. Não coordenam adequadamente com fusíveis/elos e com o I2t dos equipamentos.

Os relés com característica muito inversa apresentam atuação adequada para faltas elevadas e razoável para faltas de baixo valor ou sobrecargas. Coordenam bem com fusíveis e com o I2t dos equipamentos.

Assim, a característica muito inversa se constitui uma alternativa atrativa para a proteção de sistemas elétricos industriais.

(b) Proteção de terra - Para a proteção de terra, entre os relés de tempo inverso o que apresenta mais vantagens é o normal inverso, porém o de tempo definido é ainda melhor.

Intervalos de coordenação

Chama-se intervalo de coordenação o intervalo de tempo que garante que a proteção mais próxima da falta irá operar primeiro e que a proteção situada imediatamente à montante não irá operar, a menos que a proteção mais próxima falhe.

Com o advento das caixas de calibração de relés, que garantiam o tempo de operação dos relés, pode-se baixar o valor do intervalo de coordenação, como segue:

Coordenação entre relés de sobrecorrente em série
Tempo de interrupção do disjuntor (8 ciclos) ..... 133 ms
Tolerância do fabricante/erro/overtravel.....100 ms
Fator de segurança.....67 ms
Intervalo de coordenação 300 ms

Para relés estáticos, o overtravel é substituído pelo overshoot e este tempo é reduzido para 50 ms. Assim, pode-se obter um intervalo de coordenação de 0.25 s.

A Tabela 1 traz os valores praticados de intervalos de coordenação.

Tabela 1 – Valores de intervalo de coordenação praticados

INTERVALOS DE COORDENAÇÃO				
Dispositivo à Montante	Dispositivo à Jusante			
	Relé Estático	Relé Eletromecânico	Disjuntor BT	Fusível
Relé Estático	0.25 s	0.30 s	0.20 s	0.20 s
Relé Eletromecânico	0.30 s	0.30 s	0.20 s	0.20 s
Disjuntor BT	0.20 s	0.30 s	Nota 1	Nota 2
Fusível	0.20 s	0.30 s	Nota 3	Nota 4

Notas:
1 - Basta a parte inferior da curva do disjuntor a montante ficar acima do à jusante.
2 - Basta a parte inferior da curva do disjuntor ficar acima da curva de tempo máximo de fusão.
3 - Basta a curva tempo mínimo de fusão ficar acima da parte superior da curva do disjuntor.
4 - É necessário que o I2t do fusível a jusante seja menor que o do situado a montante.

Importante:

Os relés de entrada de painéis devem ser ajustados no máximo em 1 segundo, procurando não passar este valor, pois todos os equipamentos são dimensionados para a corrente de curto-circuito durante 1 segundo.

Seletividade lógica

- Entre dispositivos que se comunicam na seletividade lógica - 0.050 s

- Entre dispositivos que não se comunicam na seletividade lógica - tdj + Δtc

Em que: tdj - Tempo do dispositivo à jusante
Δtc - Intervalo de coordenação (0.050 s)

Conceito de maior saída

Este conceito é importante para entender como coordenar um dispositivo à montante com outro à jusante.

(a) Elementos em série

O exemplo a seguir ilustra o conceito:
Dado o sistema apresentado na Figura 3, com qual dispositivo o relé 3 tem de ser seletivo, com o 1 ou com o 2?

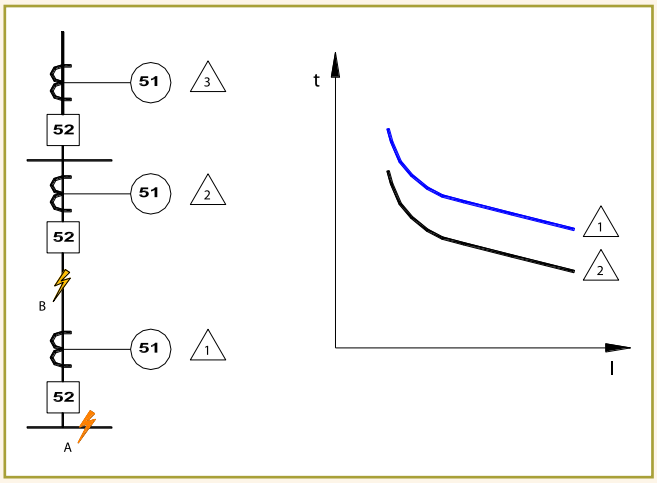

Figura 3 – Conceito de maior saída para dispositivos de proteção em série.

Solução:

Para a análise, deve-se "olhar" o gráfico tempo versus corrente.

Falta no ponto A:

Pelo gráfico t x I, uma falta no ponto A, o relé 2 tira primeiro.

Falta no ponto B:

Pelo gráfico t x I, uma falta no ponto B, só o relé 2 "enxerga" e tira primeiro.

Conclusão:

O relé 3 deve ser seletivo com o relé 2. Mesmo havendo um erro de ajuste do relé 1, para falta em qualquer ponto, o relé 2 tira primeiro. É óbvio que o erro de ajuste foi feito propositalmente. Caso o relé 1 estivesse abaixo do 2, para uma falta no ponto A, o relé 1 tiraria primeiro. Para uma falta no

ponto B, o relé 2 é que tiraria e, assim, o relé 3, da mesma forma que, no caso errado, deve ser seletivo com o relé 2.

Ou seja:

Quando dois dispositivos de proteção estão em série, deve-se fazer a seletividade com aquele imediatamente à jusante, independentemente dos ajustes.

Dispositivo geral versus *dispositivos paralelos à jusante*

Regra:

O dispositivo de entrada deve fazer seletividade com a envoltória composta pelas curvas de cada saída. As Figuras 4 e 5 ilustram a situação.

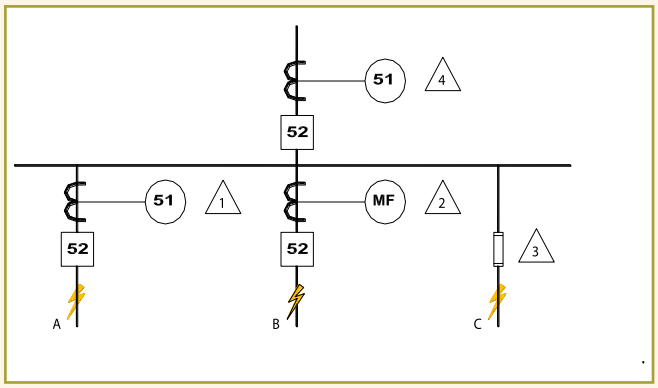

Figura 4 – Esquema unifilar para um dispositivo de entrada e várias saídas.

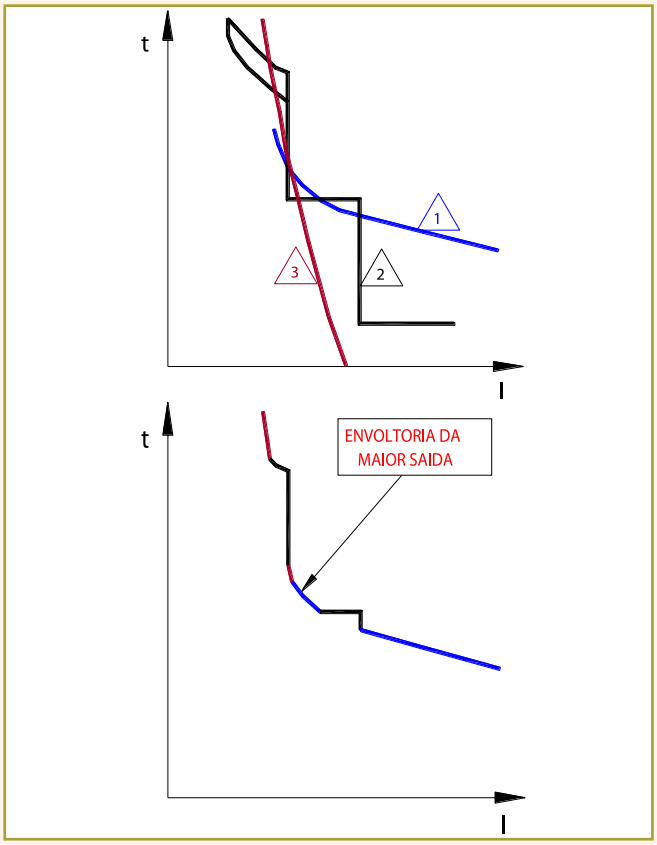

Figura 5 – Curva tempo versus corrente (a) dos dispositivos de saída e (b) da envoltória da maior saída.

Apoio
CLAMPER
aFap
Blutrafos
MEGABARRE

Onde aplicar o intervalo de coordenação?

(a) Regra

Deve-se aplicar o intervalo de coordenação no valor da corrente de curto-circuito vista pelo dispositivo analisado, ou seja, curto trifásico (transitório para dispositivos temporizados) para a seletividade de fase e curto-circuito fase-terra para a seletividade de terra. A Figura 6 ilustra esta regra.

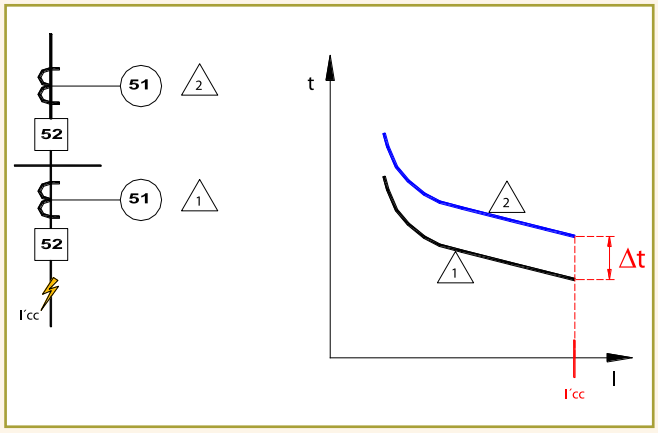

Figura 6 – Aplicação do intervalo de coordenação na corrente de curto-circuito: (a) esquema unifilar e (b) curva tempo versus corrente correspondente.

(b) Particularidades

Circuitos operando em paralelo + saídas

Deve-se aplicar o intervalo de coordenação ao valor da corrente de curto-circuito vista por cada dispositivo.

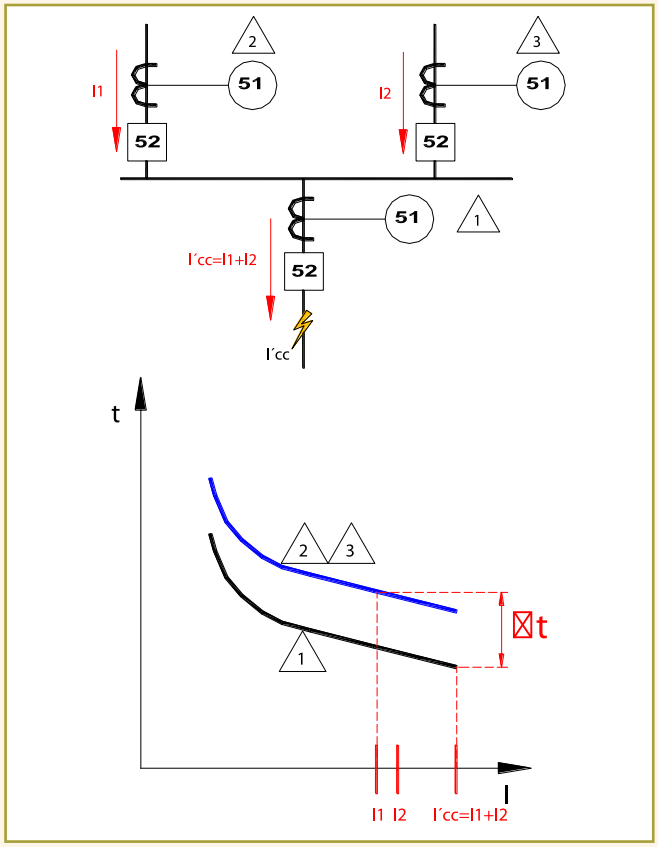

Figura 7 – Aplicação do intervalo de coordenação na situação de duas entradas e uma saída.

Curto-circuito bifásico no secundário de transformador triângulo-estrela

Deve-se aplicar o intervalo de coordenação entre o valor de Icc2ϕ (dispositivo do secundário) e o valor de Icc3ϕ (dispositivo do primário).

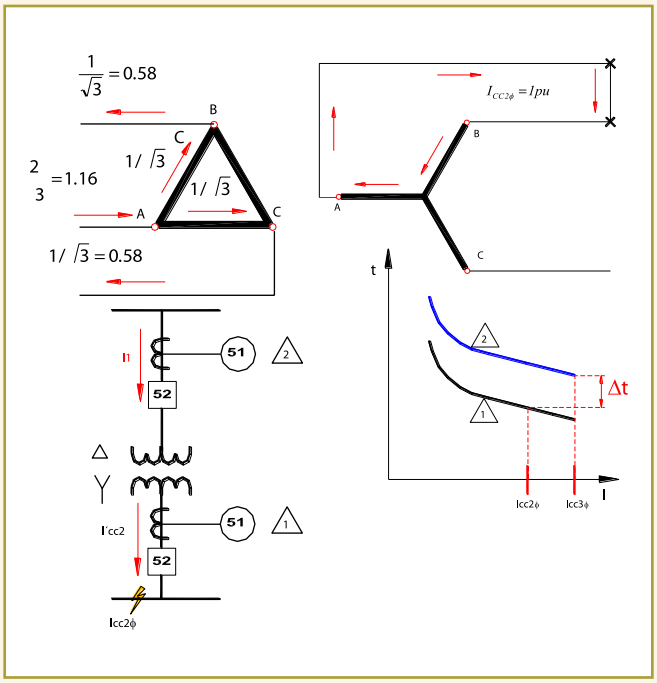

Figura 8 – Aplicação do intervalo de coordenação entre a proteção primária e secundária de um transformador triângulo (primário) – estrela (secundário) sob curto-circuito bifásico.

Problemas de seletividade em função de tempos de reset

Quando se tem um relé de disco de indução à montante de um relé digital à jusante, pode-se perder a seletividade se o tempo de reset do relé digital for instantâneo, e a falta for intermitente e/ou houver religamento enquanto ocorre o reset. Veja a Figura 9.

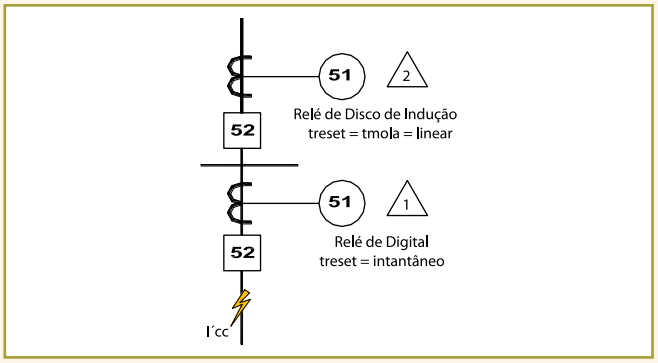

Figura 9 – Ilustração da perda de seletividade em função do tempo de reset entre relés digitais e eletromecânicos.

O tempo de reset do relé de disco de indução é linear (devido à constante de mola). Como o relé digital tem reset instantâneo, se a falta for intermitente ou houver religamento, o relé digital à jusante reseta e inicia a contagem dos tempos ao passo que o relé de disco de indução ainda está com o disco no meio do caminho e recomeça a contagem de tempo a partir daquela posição intermediária, o

Apoio
CLAMPER
afap
Blutrafos
MEGABARRE

que, obviamente, atuará num tempo inferior ao previsto, podendo implicar perda de seletividade.

Onde assumir compromissos de seletividade

Após fazer um estudo de seletividade, algumas vezes, acaba-se chegando com tempos superiores a 1 segundo no secundário dos transformadores e/ou nas entradas. Nestas situações, devem ser tomadas ações no sentido de reduzir estes tempos. Uma técnica utilizada consiste em assumir compromissos de seletividade que podem e, neste caso, devem ser assumidos, pois a maior parte dos equipamentos do sistema (TCs, painéis, etc.), é dimensionada para a corrente de curto-circuito durante 1 segundo.

Os melhores locais para se assumir os compromissos são os alimentadores e os transformadores, pois se for a proteção à jusante ou à montante que operar primeiro desliga-se o mesmo circuito.

Entretanto, é preciso pensar também no pessoal de operação e manutenção da planta, verificando qual o melhor local para se adotar este compromisso (em função da distância, do tempo de reenergização, etc.

Onde utilizar outros grupos de ajustes

Muito se tem falado a respeito dos relés digitais e dos IEDs, entretanto, pouco se fala da aplicação de certos recursos que eles possuem, tal como os grupos de ajustes.

A maior parte dos relés digitais possui mais de um grupo de ajustes. O grupo de ajuste é um conjunto de parâmetros de todas as funções. Ter outro ou outros grupos de ajustes implica disponibilizar outro conjunto ou conjuntos de ajustes que sejam réplica do primeiro, para todas as funções que o relé dispõe.

Existem casos em que é interessante utilizar outros grupos de ajustes.

(a) Paralelismo de gerador com a concessionária

Um desses casos ocorre quando se tem geradores que podem operar em paralelo com a rede, por exemplo, em horário de ponta.

As concessionárias normalmente exigem que a função 67 esteja ativada quando houver paralelismo. Assim, para evitar atuações indevidas da função 67 (quando se tem, por exemplo, capacitores fixos), são feitos dois grupos de ajustes (Grupo A e Grupo B). Quando a geração está fora, trabalha-se com as funções do Grupo A (que não tem a função 67 ativada). Quando entra o gerador, ativa-se o segundo grupo de ajustes (Grupo B) que contém os ajustes da função 67.

(b) Transformadores que suprem inversores com mais de 24 pulsos

Muitas vezes se faz necessário dispor de mais de um grupo de ajustes, visto que é necessário permitir a energização do transformador e, ao mesmo tempo, proteger as correntes indicadas pelos fabricantes dos inversores. Na energização, o ajuste da unidade instantânea permite circular a corrente de energização do transformador (corrente inrush) no Grupo A.

Após a energização do transformador, comuta-se a proteção para o Grupo B, de forma que a unidade instantânea fique ajustada para um valor bem inferior ao da corrente inrush e que proteja o inversor conforme prescrição do fabricante.

(c) Sistemas que possuem condições operacionais que mudem bastante o valor da corrente de curto-circuito e/ou de carga

Existem situações em que o nível de curto-circuito e/ou de carga muda substancialmente, dependendo da condição operacional. Assim, podem-se fazer dois grupos de ajustes, um para a condição de valor inferior de corrente de falta e/ou de carga e outro grupo para o valor superior.

Locais de baixa corrente de regime e elevado nível de curto

Conseguir definir TCs + relés para sistemas em que a corrente de regime é baixa e o nível de curto-circuito é alto, muitas vezes, torna-se uma tarefa árdua. Tem-se que conciliar:

- Faixa de ajuste do relé
- Corrente de curta-duração do relé
- Ajuste da unidade instantânea
- Saturação do TC

Locais que tipicamente apresentam estas características são os sistemas de 23 kV, como um sistema de 23 kV que supre um transformador de 300 kVA e nível de curto-circuto de 500 MVA. A corrente nominal do transformador é 7,5 A. A corrente de curto-circuito é de 12.551 A. A faixa inferior de ajuste dos relés de sobrecorrente normalmente é de 0.1 In, ou seja, 0,5 A. Para ficar dentro da faixa de ajuste, a relação deveria ser de 7,5/0,5 = 15 è 75-5 A. O ajuste seria de 0.12 In = 0,6 A. A de curto-circuito no secundário seria 12.551/15 = 836, ou seja, o relé digital que apresenta uma suportabilidade térmica de 500 A – 1 s não suporta a corrente. Outro problema seria a saturação do relé.

As seguintes alternativas que se apresentam nessa situação são:

- Utilizar IEDs com seis entradas de corrente (três para a unidade temporizada conectada a TCs de baixa relação e três para a unidade instantânea conectada a TCs de alta relação).
- Utilizar fusíveis.

Otimização dos estudos de seletividade para a proteção de pessoas

Nos primórdios dos sistemas elétricos em corrente alternada, o foco foi a proteção do sistema. Na década de 1950, iniciou-se uma nova linha filosófica que, além da proteção, devia haver seletividade. Com o advento das faltas por arco iniciaram-se os “papers”, o que culminou, em 1978, com a inclusão da seção 230-95 no NEC, entretanto, hoje somente

isso não é mais suficiente, pois o foco de proteção de sistemas e equipamentos foi expandido e deve-se também proteger as pessoas.

O que é mais importante na eliminação da falta: o tempo ou a corrente?

Para a proteção das pessoas, o importante é diminuir a energia incidente. Sabe-se da eletrotécnica que:

$$Energia = Potência \cdot Tempo \quad Potência \propto I^2 \rightarrow \quad Energia \propto I^2 \cdot t$$

O que é mais importante: a redução do tempo ou da corrente?

A corrente de arco possui um valor menor do que as faltas francas, entretanto, são mais destrutivas. E o tempo atua proporcionalmente na energia. Veja a Figura 10.

Assim, ambos são importantes. A própria evolução do tipo de sistema de aterramento demonstra que é importante a redução do valor da corrente de falta à terra. O sistema de aterramento, por meio de resistor de baixo valor, surgiu para diminuir os danos em caso de faltas à terra no estator de máquinas girantes para preservar a chaparia das máquinas.

Como o tempo e a corrente são importantes, a integração do estudo de curto-circuito, de seletividade e de proteção para que se possa diminuir a energia incidente é fundamental.

Figura 10 – Importância do tempo de eliminação da falta.

Apoio
CLAMPER
afap
Blutrafos
MEGABARRE

Técnicas para melhorar a proteção de pessoas contra arco

São apresentadas a seguir algumas técnicas para melhorar um sistema no que tange à proteção das pessoas quanto aos riscos do arco elétrico:

(a) Ajuste adequado do disjuntor de baixa tensão (ISTD < IArco);
(b) Utilização de disjuntor de baixa tensão com ISTD de faixa mais baixa;
(c) Substituição de relés eletromecânicos por digitais;
(d) Utilização de relés digitais com ajustes otimizados;
(e) Utilização de seletividade lógica com relés digitais;
(f) Utilização de transformadores de força de no máximo 2000 kVA na baixa tensão;
(g) Utilização de relés de arco;
(h) Utilização de "bottoms" sensores de arco acoplado a relés de arco para operadores durante as manobras;
(i) Utilização de um segundo grupo de ajuste mais baixo quando a planta está "parada" para manutenção;
(j) Utilização de disjuntores com menor tempo de interrupção;
(k) Utilização da característica de tempo definido para a proteção de terra;
(l) Limitação da corrente de falta à terra.

(a) Ajuste adequado do disjuntor de baixa tensão (ISTD < IArco)

A Figura 11 ilustra a situação. Antes da utilização do ajuste da corrente de STD (Short Time Delay) abaixo da corrente arco, o tempo de atuação da proteção é Ta (tempo antes) e, com a implantação do ajuste abaixo da corrente de arco, o tempo reduz a Td (tempo depois). Como o Td < Ta, a energia incidente fica mais baixa e, consequentemente, aumenta o nível de proteção das pessoas.

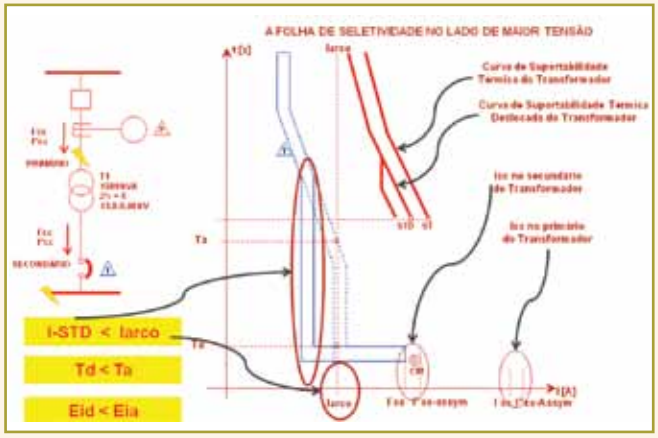

Figura 11 – Ajuste da corrente de Short Time Delay abaixo da corrente de arco.

(b) Utilização de disjuntor de baixa tensão com ISTD de faixa mais baixa

A Figura 12 ilustra a situação. Os disjuntores de baixa tensão mais antigos possuem faixa de corrente de STD da ordem de (4 a 10) x In, (4 a 12) x In. A utilização de disjuntores com disparadores eletrônicos/digitais abaixa a faixa inferior para correntes da ordem de 4 x In para 1 a 2 x In.

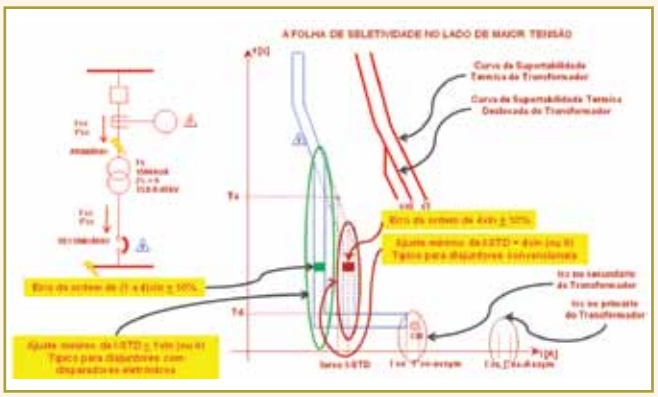

Figura 12 – Utilização de disjuntor de baixa tensão com ISTD de faixa mais baixa.

(c) Substituição de relés eletromecânicos por digitais

A Figura 13 ilustra a aplicação. A utilização de relés digitais, além de permitir um menor intervalo de coordenação entre relés, leva a vantagem dos diais de tempo poderem ser ajustados em "steps" da ordem de 0.01. Já nos relés eletromecânicos, os "steps" de ajustes são da ordem de 0.5.

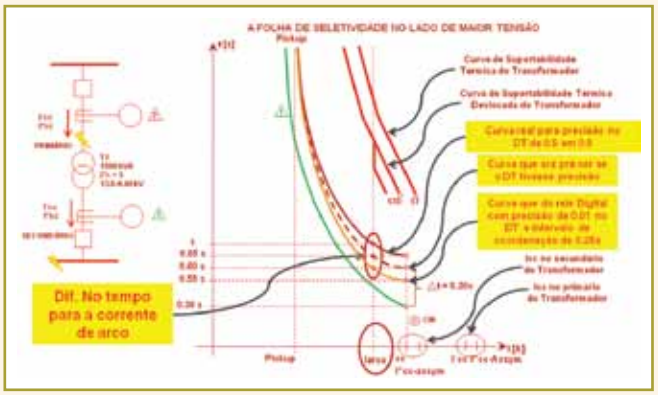

Figura 13 – Ganho no tempo com a substituição de relés eletromecânicos por digitais.

(d) Utilização de relés digitais com ajustes otimizados

A Figura 14 mostra a aplicação. Sem a utilização desta técnica (por exemplo, uma empresa sem especialização), para o valor da corrente de arco, os tempos de atuação dos dispositivos de proteção seriam T3 e T3 para os relés 2 e 3, respectivamente. Com a utilização da técnica de ajuste dos três estágios, os ajustes passam a ser T2 e T3 e o ganho é muito grande, obviamente, diminuindo o tempo, a energia incidente e os danos aos equipamentos e às pessoas.

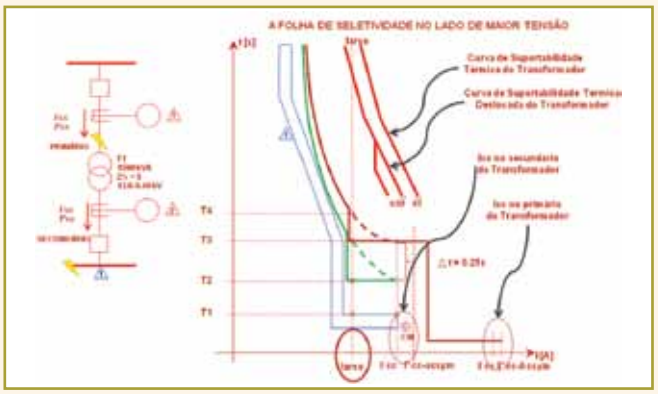

Figura 14 – Ajustes com relés digitais utilizando-se três estágios.

Apoio
CLAMPER
afap
Blutrafos
MEGABARRE

(e) Utilização de seletividade lógica com relés digitais

A Figura 15 ilustra a aplicação. Como pode ser observado nesta figura, os tempos da seletividade lógica são extremamente menores que os da seletividade convencional (cronológica).

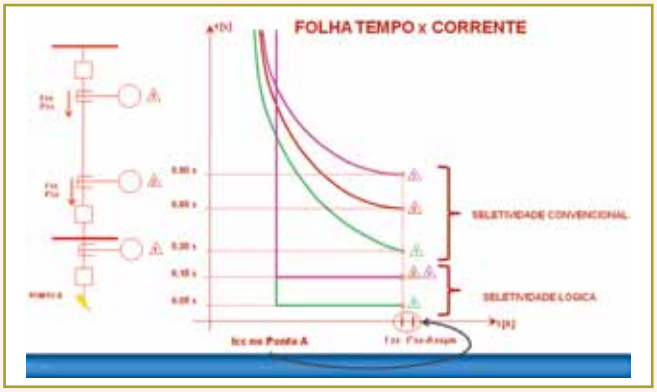

Figura 15 – Utilização de seletividade lógica com relés digitais.

(f) Utilização de transformadores de força de, no máximo, 2.000 kVA na baixa tensão

A utilização de transformadores maiores que 2.000 kVA para suprir cargas/painéis de baixa tensão implica elevadas correntes de falta e, consequentemente, elevadas correntes de arco, o que se traduz em danos em caso de falta por arco, tanto para o equipamento, como para o sistema e para as pessoas. Adicionalmente, potências de 2.000 kVA vão implicar disjuntores/painéis de custo bem mais elevado devido à capacidade de interrupção/correntes térmicas e dinâmicas dos equipamentos.

(g) Utilização de relés de arco

A utilização de relés de arco irá auxiliar na diminuição do tempo de eliminação da falta e, consequentemente, irá auxiliar também na diminuição dos danos aos equipamentos, ao sistema e às pessoas e ainda no "time to repair", que significa menor tempo para restabelecer a energia na planta e a recolocação do sistema em marcha. Os tempos envolvidos nas saídas digitais dos relés de arco são da ordem de 3 ms a 5 ms e as saídas a relés são da ordem de 15 ms.

(h) Utilização de "bottoms" sensores de arco acoplado a relés de arco para operadores durante as manobras

Com a utilização de relés de arco, é possível equipar os operadores com "bottoms" que são colocados em seus uniformes e ligados aos relés de arco. Quando o operador vai fazer a manobra no painel, no caso de arco, o sensor fotoelétrico do "bottom" é sensibilizado e comanda o desligamento do relé de arco.

(i) Utilização de um segundo grupo de ajuste mais baixo quando a planta está "parada" para manutenção

Durante as paradas para manutenção, o risco de acidente normalmente acaba aumentando devido à elevada quantidade de pessoas externas à planta. A programação do relé com outro grupo de ajustes mais baixo constitui-se uma técnica eficiente, pois, em caso de curto-circuito, o tempo de eliminação será bem mais rápido e, consequentemente, o nível de proteção de pessoas irá aumentar.

(j) Utilização de disjuntores com menor tempo de interrupção

A utilização de disjuntores com menor tempo de interrupção diminui o tempo de eliminação e, consequentemente, a energia incidente, o dano aos equipamentos, ao sistema e às pessoas.

(k) Utilização da característica de tempo definido para a proteção de terra

Como mais de 90% das faltas em sistemas industriais iniciam-se com faltas à terra, a utilização de relés de tempo definido para a proteção de faltas à terra é uma forma eficiente de se proteger o sistema, visto que a corrente de arco é sempre menor que a da falta franca e, assim, a utilização de relés de tempo inverso apenas aumentaria o tempo e a energia incidente.

(l) Limitação da corrente de falta à terra

Utilização de resistores de aterramento de alto valor na baixa tensão e de baixo valor em média tensão reduzem drasticamente a intensidade da corrente de falta e também a energia incidente. Assim, essas técnicas estão sendo cada vez mais aplicadas. Adicionalmente, no caso de aterramento por resistor de alto valor, a falta não precisa ser eliminada imediatamente, visto que o valor da corrente de falta é muito baixo.

Conclusões

a) Apenas ter software de renome internacional de curto-circuito e seletividade e possuir um estudo de curto-circuito e seletividade não garante um estudo que protege os equipamentos, o sistema e as pessoas. Assim, é importante contratar empresas especializadas com profissionais experientes.

b) Com o emprego de relés digitais (que possuem pelo menos três estágios de sobrecorrente) pode-se otimizar (diminuir) os ajustes de forma que se obtenha um tempo menor de atuação para a corrente de arco.

c) A implementação de seletividade lógica por meio da utilização de relés digitais/IEDs apresenta resultados mais satisfatórios do que a seletividade convencional no que tange à energia incidente.

d) É preciso buscar sempre técnicas para melhorar os ajustes/grupos de ajustes, quando em manutenção, para diminuir a energia incidente.

e) Embora não se consiga visualizar por intermédio dos softwares que calculam as energias incidentes segundo o IEEE Std 1584, medidas que atenuam as correntes de falta à terra, como a utilização de resistores de aterramento de alto valor em sistemas de baixa tensão e de baixo valor em sistemas de média tensão, devem ser buscadas e incentivadas, visto que mais de 90% das faltas iniciam-se com faltas à terra em sistemas industriais. Dessa maneira, são reduzidos os danos aos equipamentos, ao sistema e às pessoas. Esta técnica, associada à redução dos tempos das

proteções e dos dispositivos de interrupção, irá atingir um grau de proteção excelente, além de muitas vezes evitar que a falta evolua para uma falta trifásica.

f) As normas atuais utilizam o curto-circuito trifásico tomando como premissa que as faltas à terra evoluem rapidamente para as trifásicas. No entanto, as normas deveriam também ser revistas de maneira a inserir as faltas à terra, assim, seria possível visualizar os benefícios que se obtém do fato de se reduzir o valor da falta à terra, bem como os respectivos tempos dos relés de terra.

g) Tem-se observado que muitos painéis acabam não suportando as pressões desenvolvidas dentro dos painéis. As normas atuais devem também implementar requisitos mínimos para que as pressões desenvolvidas internamente aos painéis fiquem em limites que não causem danos aos trabalhadores.

h) Sugere-se aos fabricantes de disjuntores de baixa tensão para que implementem mais de um grupo de ajustes nos relés dos disparadores eletrônicos, para que em caso de manutenção permita a alternância de forma automática e independente das pessoas, o que evita erros e melhora a performance do sistema como um todo.

i) As normas brasileiras deveriam ser mais enfáticas e explícitas quanto à obrigatoriedade de utilização de placa de advertência nos painéis, contendo o nível de energia incidente e os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) recomendados.

j) A utilização de painéis à prova de arco está hoje muito mais acessível e assim deve-se conscientizar os projetistas, os EPCistas e os investidores do custo-benefício desta escolha.

k) A utilização de "bottoms" sensores de arco no uniforme dos operadores em atividades de manobra ou inserção de disjuntores extraíveis irá minimizar o tempo de exposição do operador em caso de falta por arco.

l) Deve haver maior conscientização das empresas, especialmente da alta direção, de forma que as manutenções possam ser realizadas com zero kV (desenergizadas). A vida deve estar acima dos valores econômicos.

***CLÁUDIO MARDEGAN** é engenheiro eletricista 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.*

FIM

Encerramos nesta edição o fascículo sobre "Proteção e seletividade". Confira todos os artigos desta série em www.osetoreletrico.com.br

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br