

Capítulo V

Dispositivos de proteção – Parte III

Por Cláudio Mardegan*

Relé df/dt

Muitas vezes, esperar alguns ciclos para operar um relé de frequência pode não ser uma solução real de proteção de um sistema elétrico, pois esta espera pode pôr em risco a operação e/ou equipamentos do sistema. Nestes casos, lança-se mão dos relés df/dt , que operam quando a taxa de variação da frequência no tempo do sistema cai abaixo de um valor preestabelecido ou ajustado. A forma de se fazer esta proteção consiste em monitorar a tangente (derivada) da tensão no tempo, cuja inclinação nos permitirá avaliar a variação da frequência no tempo. A Figura 1 ilustra o exposto. Antes do distúrbio a inclinação da tensão é maior (Ponto A). Quando ocorre o distúrbio, a frequência cai e também a inclinação (derivada – Ponto B). Assim, antes mesmo de atingir o primeiro meio ciclo já se sabe que a frequência irá cair.

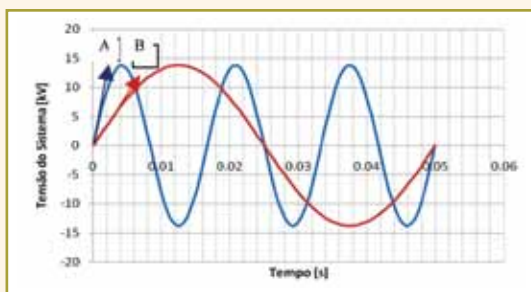


Figura 1 – Monitoração da frequência pela derivada (inclinação) da forma de onda de tensão.

Função ANSI

Como normalmente esta função é utilizada em conjunto com o relé de frequência, o número utilizado para a função ANSI é 81 + df/dt .

Polarização

A polarização do relé df/dt é por tensão.

Conexão

A conexão do relé de frequência + df/dt é apresentada no esquema unifilar da Figura 2.

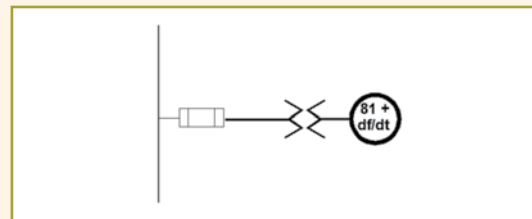


Figura 2 – Esquema unifilar do relé de frequência + df/dt .

Aplicação

A aplicação deste relé é feita em sistemas em que existe a possibilidade de haver a perda parcial de geração e ainda que estas perdas não possam ser toleradas por certo tempo, pois acabam impondo uma sobrecarga extrema à geração, que pode danificar a máquina, sendo assim muito usado no ponto comum de acoplamento entre dois sistemas de geração. Outra aplicação desta proteção é feita em sistemas em que há a necessidade de rejeição de cargas (load shedding) de alta velocidade, com o objetivo de descartar cargas de forma a recuperar a frequência do sistema. É óbvio que os relés auxiliares de multiplicação dos contatos também deverão ser muito rápidos para não degradar o tempo de descarte.

Fusível

Definição

É um dispositivo utilizado para a proteção de sobrecorrente em circuitos, fundamentalmente contra curto-circuito, e é constituído de um elemento condutor que se funde e interrompe o circuito quando a corrente atinge valores acima da sua capacidade nominal.

Podem ser retardados, rápidos, ultrarrápidos, limitadores de corrente, etc.

Curvas características

Os fusíveis apresentam quatro curvas características tempo versus corrente. A saber: (a) tempo mínimo de fusão; (b) tempo máximo de fusão; (c) tempo total para extinção de arco; e (d) característica de curta duração. Veja as curvas características na Figura 3.

Curvas características do fusível

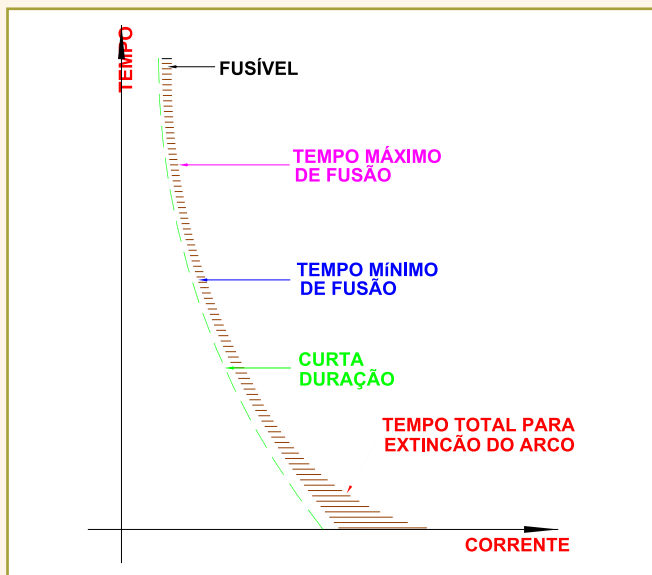
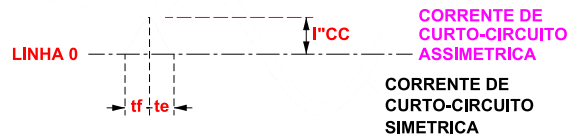


Figura 3 – Curvas características do fusível.

EFEITO LIMITADOR DO FUSÍVEL

PICO DE CORRENTE LIMITADO PELA ATUAÇÃO DO FUSÍVEL VALOR DE CRISTA NÃO LIMITADO



I^{CC} = CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO INICIAL EM CA, EM A (VALOR EFETIVO) NO LOCAL DE MONTAGEM

t_f = TEMPO DE FUSÃO

t_e = TEMPO DE EXTINÇÃO

$T_{total} = t_f + t_e \sim 1/4$ ciclo (Efeito Limitador)

Figura 4 – Efeito limitador do fusível – 1/4 de ciclo para eliminar a falta.

Fusível limitador de corrente

O fusível limitador de corrente é um dispositivo que pode interromper a corrente de curto-circuito em tempos da ordem de 1/4 de ciclo, não deixando a corrente de curto-circuito atingir o seu valor de pico máximo. A Figura 5 ilustra o exposto.

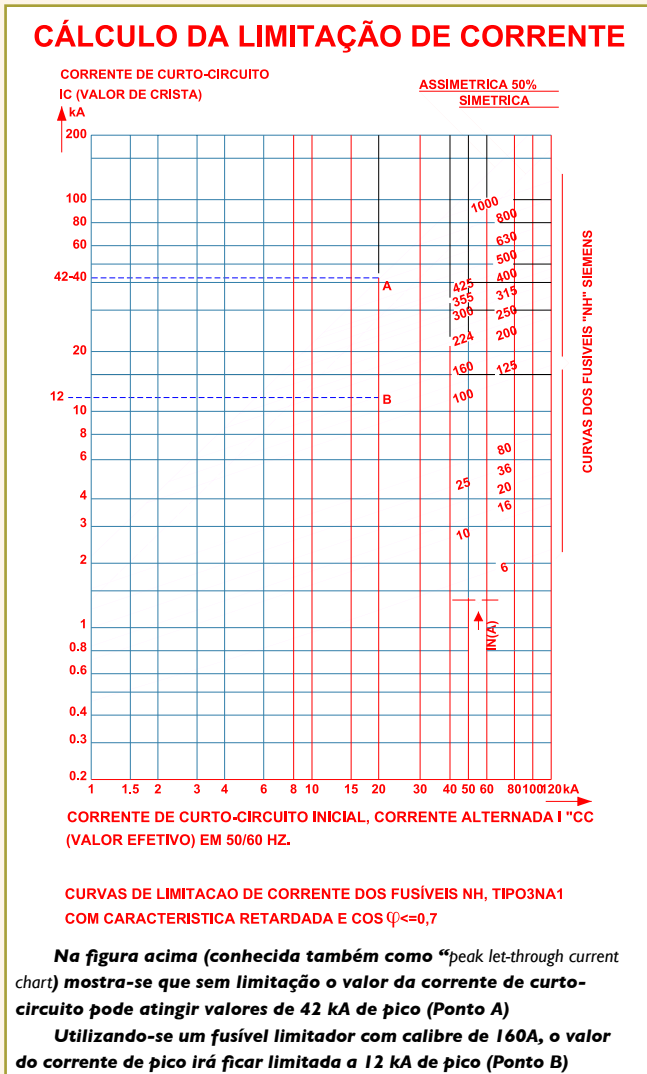


Figura 5 – Efeito limitador. Corrente de crista (pico) fica limitada.

Seletividade entre fusíveis

Para que possa haver seletividade entre dois fusíveis (1 e 2), é necessário que o I²t para tempo total de eliminação do fusível 1 esteja abaixo do I²t para tempo mínimo de fusão do fusível 2.

$$(I^2t)_{\text{TEMPO TOTAL ELIMINAÇÃO FUSÍVEL 1}} < (I^2t)_{\text{TEMPO MÍNIMO FUSÃO FUSÍVEL 2}}$$

TABELA I – COORDENAÇÃO ENTRE ELOS FUSÍVEIS DO TIPO K.

Elo a montante	10 K	12 K	15 K	20 K	25 K	30 K	40 K	50 K	65 K	80 K	100 K	140 K	200 K
Elo a jusante	MÁXIMA CORRENTE DE FALTA - AMPÈRE												
6 K	190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8 K		210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
10 K			300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
12 K				320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
15 K					430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
20 K						500	1100	1700	2200	2800	3900	5800	9200
25 K							660	1350	2200	2800	3900	5800	9200
30 K								850	1700	2800	3900	5800	9200
40 K									1100	2200	3900	5800	9200
50K										1450	3900	5800	9200
65 K											2400	5800	9200
80 K												4500	9200
100 K												2000	9100
140 K													4000

A Figura 6 ilustra o exposto

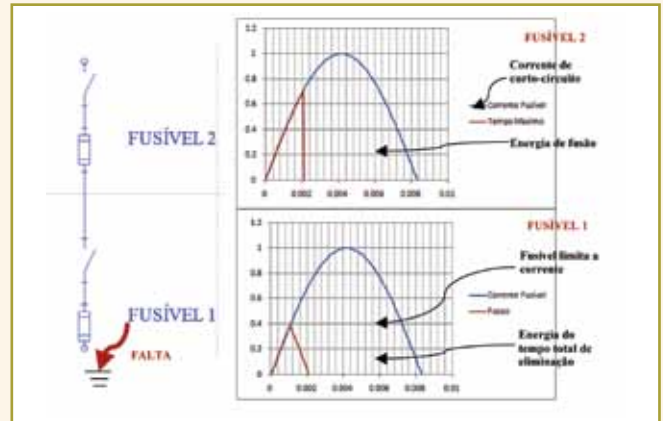


Figura 6 – Seletividade entre fusíveis.

Tabelas de relação de calibre para seletividade

Deve-se sempre consultar as tabelas fornecidas pelos fabricantes. Na falta destas, ou em etapas de projeto em que ainda não se dispõe do fabricante, o IEEE Std 242 mostra também algumas relações.

Elos

Constituem uma forma barata de proteção e consistem basicamente de um elemento fusível colocado em um invólucro. Não apresentam elevada capacidade de interrupção e são utilizados em redes de distribuição, principalmente aéreas.

A norma brasileira NBR-5359 (EB 123) da ABNT prescreve três tipos de elos fusíveis de distribuição: elo tipo K, H e T. Os elos tipo K são do tipo “rápido”. São utilizados para a proteção de alimentadores e ramais. Os elos tipo T são do tipo “lento”. Os elos do tipo H são do tipo “alto surto”. São utilizados na proteção de transformadores.

Os elos tipo K e T suportam continuamente aproximadamente 150% do valor de seus respectivos elos. Os elos tipo H suportam continuamente aproximadamente 100%. Os elos tipo K e T começam a operar a partir de 2.0 x In. Os elos tipo H começam a operar a partir de 1.5 x In. Deve-se sempre consultar a curva tempo x corrente fornecida pelo fabricante.

Apresenta-se a seguir as tabelas de coordenação entre elos fusíveis de distribuição.

TABELA 2 – COORDENAÇÃO ENTRE ELOS FUSÍVEIS DO TIPO T.

Elo a montante	10 T	12 T	15 T	20 T	25 T	30 T	40 T	50 T	65 T	80 T	100 T	140 T	200 T
Elo a jusante	MÁXIMA CORRENTE DE FALTA - AMPÈRE												
6 T	350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8 T		375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
10 T			530	1100	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
12 T				680	1280	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
15 T					730	1700	2500	3200	4100	5000	6100	9700	15200
20 T						990	2100	3200	4100	5000	6100	9700	15200
25 T							1400	2600	4100	5000	6100	9700	15200
30 T								1500	3100	5000	6100	9700	15200
40 T									1700	3800	6100	9700	15200
50 T										1750	4400	9700	15200
65 T											2200	9700	15200
80 T												7200	15200
100 T												4000	15200
140 T													7500

TABELA 3 – COORDENAÇÃO ENTRE ELOS FUSÍVEIS DO TIPO K E H

Elo a montante	8 K	10 K	12 K	15 K	20 K	25 K	30 K	40 K	50 K	65 K	80 K	100 K	140 K	200 K
Elo a jusante	MÁXIMA CORRENTE DE FALTA - AMPÈRE													
1 H	125	230	380	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
2 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
3 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
5 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8 H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200

TABELA 4 – COORDENAÇÃO ENTRE ELOS FUSÍVEIS DO TIPO T E H

Elo a montante	8 T	10 T	12 T	15 T	20 T	25 T	30 T	40 T	50 T	65 T	80 T	100 T	140 T
Elo a jusante	MÁXIMA CORRENTE DE FALTA - AMPÈRE												
1 H	400	520	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
2 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
3 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
5 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
8 H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700

TABELA 5 – ELOS FUSÍVEIS DO TIPO H PARA TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EM 13.2 KV

Potência (kVA)	Conectados	
	FASE-NEUTRO	FASE-FASE
5	-	-
10	1 H	-
15	2 H	1 H
25	5 H	2 H

TABELA 6 – ELOS FUSÍVEIS DO TIPO H E K PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS EM 13.2 KV

Potência (kVA)	Elo
10	-
15	-
30	1 H
45	2 H
75	5 H
112.5	6 K
150	6 K
200	10 K
225	12 K
500	20 K
750	30 K
1000	40 K

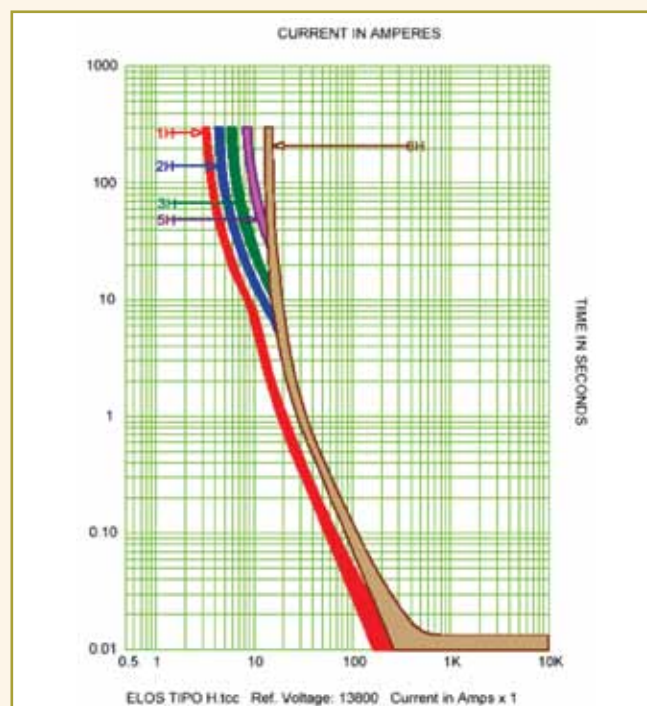


Figura 7 – Curva tempo x corrente para elos fusíveis tipo H.

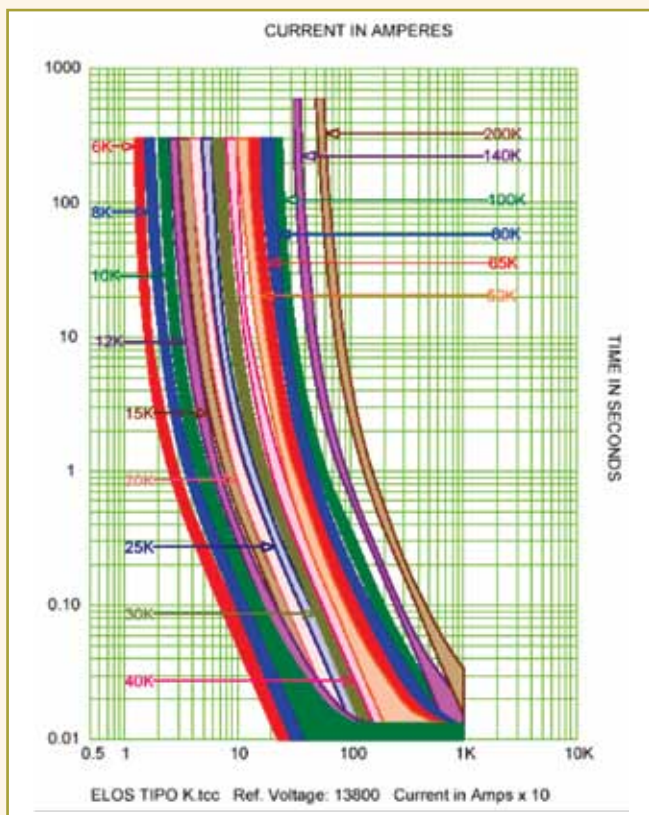


Figura 8 – Curvas tempo x corrente para elos fusíveis tipo K.

Disjuntores de baixa tensão

Tipos básicos dos disjuntores de baixa tensão

Existem vários tipos de disjuntores de baixa tensão. A classificação mais comumente encontrada divide estes disjuntores em duas grandes classes: os disjuntores abertos (Power Breakers ou LVPCB – Low Voltage Power Circuit Breakers) e disjuntores de caixa moldada (MCCB – Molded Case Circuit Breakers).

Os disjuntores de caixa moldada, como o próprio nome indica, são compostos por uma caixa isolante como uma se fosse uma unidade integral que aloja internamente todos os componentes do disjuntor. Sua desvantagem é que qualquer problema interno no disjuntor é praticamente impossível de reparar, ou seja, tem de substituí-lo por outro. Já os Power Breakers, como são abertos, permitem o acesso às suas partes internas, sendo possível a manutenção interna de seus componentes.

Antigamente praticamente todos os disjuntores em caixa moldada eram termomagnéticos. Os elementos térmicos eram constituídos de bimetálicos e as unidades magnéticas possuíam um eletroímã.

Com o avanço da tecnologia, passou-se a utilizar disparadores (relés) eletrônicos, os quais permitiram uma melhor adequação da sua curva de disparo. Esses disjuntores passaram a vir incorporados com as seguintes funções:

- LTD – Long Time Delay (corrente e tempo)
- STD – Short Time Delay (corrente e tempo)
- Instantâneo – unidade instantânea
- Ground – unidade de terra

Na Figura 9, podem ser observadas as três regiões dessas funções.

A função LTD possui dois ajustes, um de corrente e outro de temporização. A função STD possui também dois ajustes: um de corrente e outro de temporização. Alguns disjuntores possuem um recurso de ligar o I_{2t} para o STD ou deixar desligada (a curva fica reta ou “flat”), como mostrado na Figura 10. O objetivo do I_{2t}, neste caso, é melhor acomodar/coordenar a curva disjuntor com dispositivos situados a jusante, tais como fusíveis e/ou correntes de partida de motores.

A função “instantânea” possui somente ajuste de corrente. Alguns disjuntores apresentam também uma quinta função que consiste do instantaneous override, ou seja, uma função que opera instantaneamente, para um valor predeterminado de fábrica, independente de ajustes externos, cuja função é proteger o próprio disjuntor.

É importante observar que o tempo mostrado no gráfico tempo x corrente para os disjuntores retratam não só o tempo de operação disjuntor (como no caso dos relés), mas também o tempo de abertura e extinção de arco.

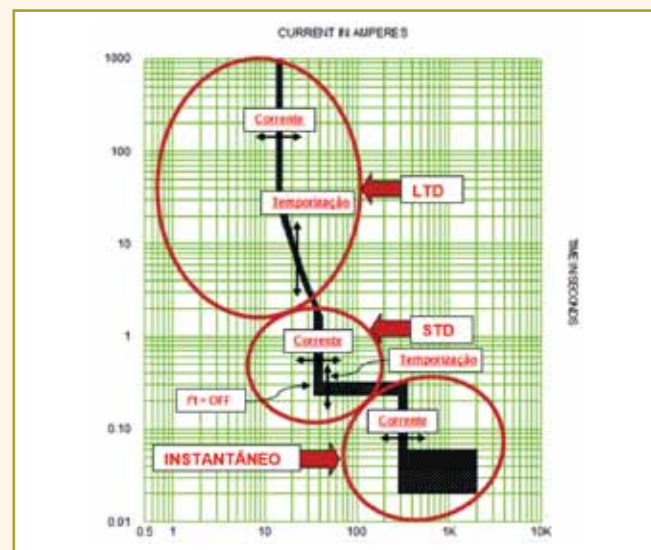


Figura 9 – Principais funções de fase de um disjuntor de baixa tensão: LTD, STD com I_{2t} OFF e instantâneo.

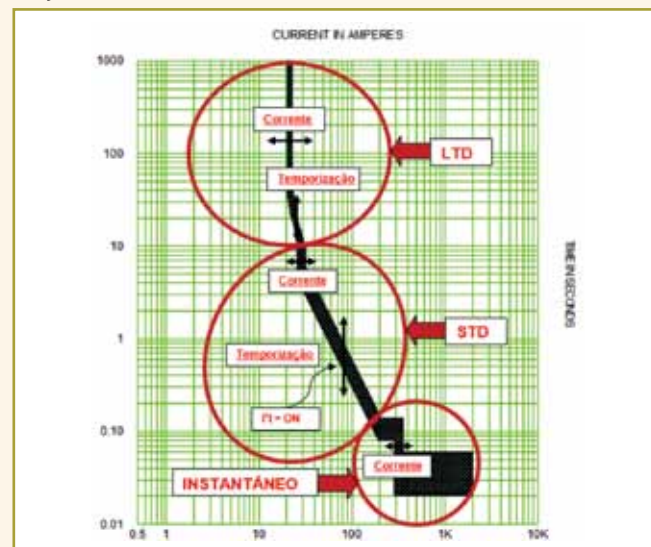


Figura 10 – Principais funções de fase de um disjuntor de baixa tensão: LTD, STD com I_{2t} ON e instantâneo.

Dados para especificação dos disjuntores de baixa tensão

Os principais dados necessários para a especificação dos disjuntores de baixa tensão são:

- Tensão – É a máxima tensão na qual o disjuntor pode operar;
- Frequência nominal – Frequência para a qual foi projetado para operar;
- Corrente nominal – Os disjuntores de caixa moldada são projetados para operarem para 100% de sua corrente nominal para uma temperatura especificada. O National Electrical Code (NEC) prescreve que não se deve permitir circular mais do que 80% de sua capacidade, ou seja, deve-se calcular a corrente prevista e dividir por 0.8. É importante notar que os Power Breakers podem operar com 100% de sua capacidade nominal e também alguns disjuntores de caixa moldada são projetados para isso;
- Capacidade de interrupção – É o maior valor de corrente (rms – eficaz) que o disjuntor pode interromper;
- Corrente de curta duração (short time current) – É o valor de corrente máxima para a qual o disjuntor é capaz de suportar os efeitos da corrente de curto-circuito para um tempo especificado, normalmente 0.5 s ou menos. Para os Power Breakers, o valor da corrente de short time é igual à da capacidade de interrupção do disjuntor;
- Número de polos – Se o disjuntor é unipolar, bipolar ou tripolar;
- Tensão de comando/controle – Valor de tensão AC ou DC para as bobinas de abertura e fechamento do disjuntor.

IEDs

Os IEDs, como mencionado na terminologia, são os Intelligent Electronic Devices, ou seja, são dispositivos eletrônicos inteligentes que, por serem microprocessados e com elevada velocidade de processamento (> 600 MHz), englobam uma série de funções, tais como medição, comando/controle, monitoramento, religamento, comunicação e proteção, permitem elevada quantidade de entradas analógicas (sinais de tensão e corrente) e elevada quantidade de entradas/saídas (I/O) digitais. Normalmente, estes dispositivos são voltados para a automação e já foram projetados dentro dos padrões da norma IEC 61850.

TABELA 7 – ALGUMAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO CONFORME IEC 61850.

IEC	ANSI
PTOC	51
PTOC	51N
PTOC	67
PTOV	59
PTOV	59N
PDIS	21
PDIF	87
PTR	49

Na Figura 11, apresenta-se um esquema unifilar com uma solução convencional para uma subestação de alta tensão a relés. Neste unifilar, existem 14 relés.

Nesta situação:

- Existem 12 relés desempenhando as funções 50/51 e 50/51N;
- Existem dois relés desempenhando a função 87T;
- A implantação de seletividade lógica dependerá do tipo dos relés instalados;
- Caso seja possível, há a necessidade de se passar fiação entre relés para que se possa implantar esta seletividade lógica;
- O custo de implantação devido à quantidade de relés é relativamente elevado.

Na Figura 12, apresentam-se um esquema unifilar com uma solução para uma subestação de alta tensão, os IEDs. Neste unifilar, existem quatro relés.

As vantagens dos IEDs nesta situação:

- Existem dois relés desempenhando as funções 50/51, 50/51N, 87T;
- Existem dois relés desempenhando as funções 50/51, 50/51N, 87T fazendo a redundância;
- A implantação de seletividade lógica é fácil, boa parte pode ser feita dentro do próprio relé;
- Pouca fiação entre relés para que se possa implantar esta seletividade lógica;
- O custo de implantação, devido à quantidade de relés, normalmente é menor que a solução convencional;
- Ganha-se quatro diferenciais de barra.

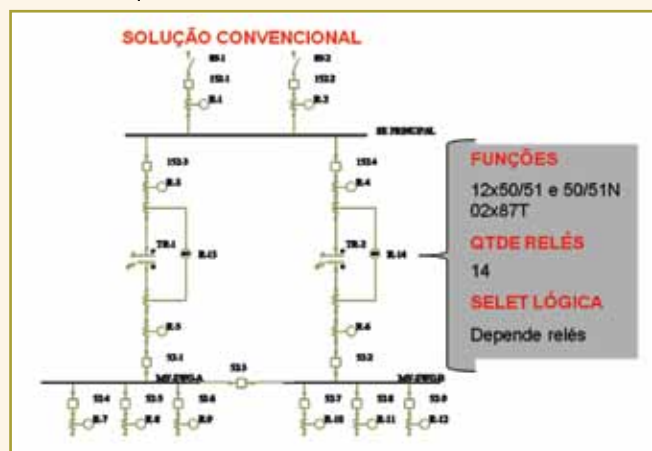


Figura 11 – Esquema unifilar com uma solução convencional.

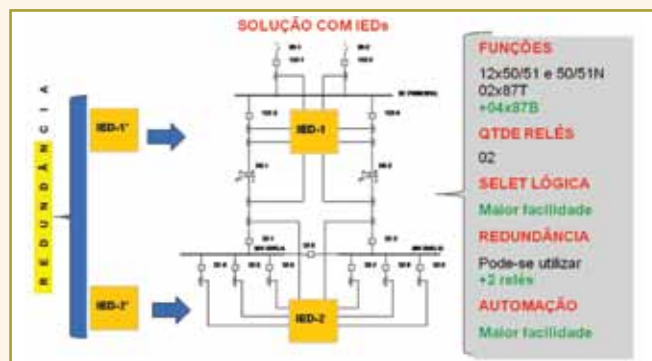


Figura 12 – Esquema unifilar com uma solução de IEDs.

As principais desvantagens da utilização de IEDs são:

- A concentração de fiação nos cubículos onde estão instalados os IEDs;
- Maior grau de dificuldade para a programação de um mesmo dispositivo;
- A detenção da programação do software por alguns fabricantes.

Descrição das funções ANSI

- 1 – Elemento principal
- 2 – Relé de partida ou fechamento temporizado
- 3 – Relé de verificação ou interbloqueio
- 4 – Contator
- 5 – Dispositivo de parada
- 6 – Disjuntor de partida
- 7 – Disjuntor de anodo
- 8 – Dispositivo de desconexão da energia de controle
- 9 – Dispositivo de reversão
- 10 – Chave de seqüência
- 11 – Reservada para futura aplicação
- 12 – Dispositivo de sobrevelocidade
- 13 – Dispositivo de rotação síncrona
- 14 – Dispositivo de subvelocidade
- 15 – Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência
- 16 – Reservada para futura aplicação
- 17 – Chave de derivação ou de descarga
- 18 – Dispositivo de aceleração ou desaceleração
- 19 – Contator de transição partida-marcha
- 20 – Válvula operada eletricamente
- 21 – Relé de distância
- 22 – Disjuntor equalizador
- 23 – Dispositivo de controle de temperatura
- 24 – Reservado para futura aplicação
- 25 – Dispositivo de check de sincronismo
- 26 – Dispositivo térmico do equipamento
- 27 – Relé de subtensão
- 28 – Reservado para futura aplicação
- 29 – Contator de isolamento
- 30 – Relé anunciador de alarme
- 31 – Dispositivo de excitação em separado
- 32 – Relé direcional de potência
- 33 – Chave de posição
- 34 – Chave de seqüência, operada por motor
- 35 – Dispositivo para operação das escovas ou para curto-circuitar os anéis coletores
- 36 – Dispositivo de polaridade
- 37 – Relé de subcorrente ou subpotência
- 38 – Dispositivo de proteção mancal
- 39 – Reservado para futura aplicação
- 40 – Relé de perda de campo
- 41 – Disjuntor ou chave de campo
- 42 – Disjuntor ou chave de operação normal
- 43 – Dispositivo ou seletor de transferência manual
- 44 – Relé de seqüência de partida das unidades
- 45 – Reservado para futura aplicação
- 46 – Relé de falta de fase ou desequilíbrio de corrente
- 47 – Relé de seqüência de fase de tensão
- 48 – Relé de seqüência incompleta
- 49 – Relé térmico para máquina ou transformador
- 50 – Relé de sobrecorrente instantâneo
- 51 – Relé de sobrecorrente temporizado
- 52 – Disjuntor de corrente alternada

- 53 – Relé de excitatriz ou gerador CC
- 54 – Disjuntor corrente contínua de alta velocidade
- 55 – Relé de fator de potência
- 56 – Relé de aplicação de campo
- 57 – Dispositivo para aterramento ou curto-circuito
- 58 – Relé de falha de retificação
- 59 – Relé de sobretensão
- 60 – Relé de balanço de tensão
- 61 – Relé de balanço de corrente
- 62 – Relé de interrupção ou abertura temporizada
- 63 – Relé de pressão ou nível de fluxo líquido ou gás
- 64 – Relé de proteção de terra
- 65 – Regulador (governor) de velocidade
- 66 – Relé de intercalação ou escapamento de operação
- 67 – Relé direcional de sobrecorrente
- 68 – Relé de bloqueio
- 69 – Dispositivo de controle permissivo
- 70 – Reostato eletricamente operado
- 71 – reservado para futura aplicação
- 72 – Disjuntor de corrente contínua
- 73 – Contator de resistência de carga
- 74 – Relé de alarme
- 75 – Mecanismo de mudança de posição
- 76 – Relé de sobrecorrente DC
- 77 – Transmissor de impulsos
- 78 – Relé de medição de ângulo de fase ou de proteção de falta de sincronismo
- 79 – Relé de religamento AC
- 80 – Reservado para futura aplicação
- 81 – Relé de frequência
- 82 – Relé de religamento DC

- 83 – Relé de seleção de controle ou de transferência automática
- 84 – Mecanismo de operação
- 85 – Relé receptor de onda portadora ou fio piloto
- 86 – Relé de bloqueio
- 87 – Relé de proteção diferencial
- 88 – Motor auxiliar ou motor gerador
- 89 – Chave separadora (line switch)
- 90 – Dispositivo de regulação
- 91 – Relé direcional de tensão
- 92 – Relé direcional de tensão e potência
- 93 – Contator de variação de campo
- 94 – Relé de desligamento ou de disparo livre
- 95 – Reservado para futura aplicação
- 96 – Reservado para futura aplicação
- 97 – Reservado para futura aplicação
- 98 – Reservado para futura aplicação
- 99 – Reservado para futura aplicação

**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.*

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**