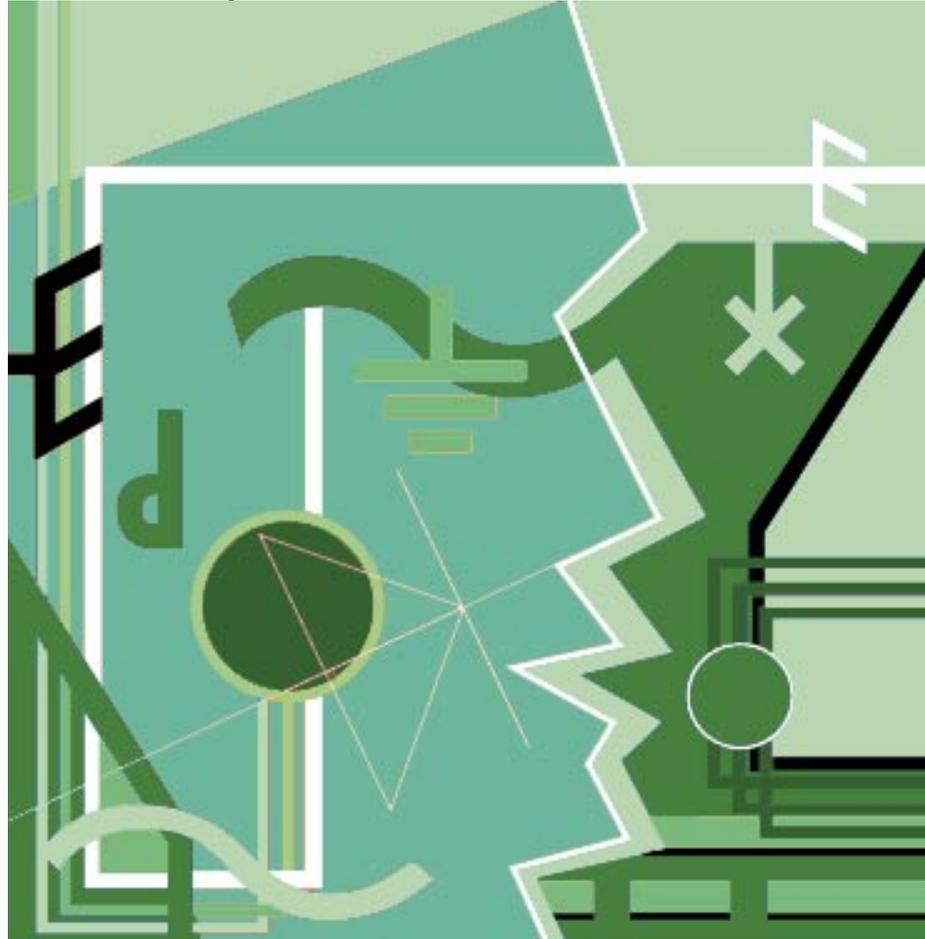


Programa de Formação Técnica Continuada

Seletividade e Continuidade de Serviço



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

Índice

1. Caracetrísticas fundamentais de um disjuntor.....1	
1.1 Tensão nominal.....1	
1.2 Corrente nominal.....1	
1.3 Tamanho nominal da estrutura.....1	
1.4 Corrente de disparo ajustada do relé de sobrecarga.....1	
1.5 Corrente de disparo ajustada do relé de curto-circuito.....1	
1.6 Característica de seccionamento.....2	
1.7 Capacidade nominal de interrupção de curto-circuito.....2	
1.8 Tensão de isolação nominal.....2	
1.9 Tensão nominal admissível de impulso.....2	
1.10 Categorias A e B e corrente suportável nominal de curta duração.....2	
1.11 Capacidade de estabelecimento nominal.....3	
1.12 Limitação da corrente de falta.....3	
1.13 Seleção de um disjuntor.....3	
2. Escolha de disjuntores BT para sistemas de distribuição.....3	
2.1 Seleção do limiar de disparo instantâneo ou de retardo curto.....4	
2.2 Escolha de função de requisitos de interrupção e estabelecimento.....4	
2.3 Seleção dos disjuntores "mestre" e "principal"....4	
3. Continuidade e seletividade.....6	
3.1 Introdução.....6	
3.2 Arranjo dos circuitos.....6	
3.3 Os esquemas principais em uma distribuição em BT.....6	
4. A continuidade do fornecimento de energia.....7	
4.1 A continuidade do fornecimento de energia.....7	
4.2 Divisão das instalações e provisão de mais de uma fonte.....7	
4.3 A provisão de fontes de reserva de emergência.8	
4.4 A subdivisão dos circuitos.....8	
4.5 Escolha de um sistema de aterramento.....8	
4.6 Discriminação seletiva por relés de proteção e/ou fusíveis.....9	
5. Seletividade.....9	
5.1 Os quatro tipos de seletividade.....9	
6. Seletividade por nível de corrente..10	
6.1 O disjuntor a jusante não é limitador.....10	
6.2 O disjuntor a jusante é limitador.....10	
6.3 O disjuntor a montante é rápido com retardo curto.....11	
7. Seletividade por retardo de tempo..11	
8. Seletividade Lógica.....11	
9. Limitação e Seletividade pela exploração da energia do arco.....12	
9.1 Princípio de operação.....12	
9.2 Princípio da seletividade.....12	
10. Seletividade AT/BT eu uma SE de Consumidor.....14	

1. Características Fundamentais De um Disjuntor

1.1 Tensão nominal (U_n)

É a tensão para a qual o disjuntor foi projetado para operar em condições normais (sem perturbações).

São também estipulados outros valores de tensão correspondentes a condições transitórias.

1.2 Corrente nominal (I_n)

É a máxima corrente que o disjuntor (com um relé disparador de sobrecorrente) pode conduzir indefinidamente, a uma temperatura ambiente especificada pelo fabricante, sem superar os valores limites de temperatura das partes condutoras.

Exemplo:

Um disjuntor com uma corrente nominal $I_n = 125\text{ A}$ para uma temperatura ambiente de 40°C possuirá um relé disparador de sobrecorrente adequadamente calibrado (para a corrente de 125 A).

Esse mesmo disjuntor pode ser usado em temperaturas ambientes mais altas se forem utilizados fatores de correção (reclassificado).

Assim, o disjuntor para uma temperatura ambiente de 50°C pode conduzir indefinidamente somente 117 A ou 109 A a 60°C conservando o limite especificado de temperatura.

"Reclassificar" o disjuntor implica em reduzir a corrente de ajuste do relé de sobrecorrente e remarcar o disjuntor. O uso de uma unidade de disparo do tipo eletrônico, projetado para suportar altas temperaturas, permite operar os disjuntores (reclassificados como descrito acima) a temperaturas ambientes de 60°C ou mesmo 70°C .

Nota: A corrente I_n para os disjuntores (na IEC - 947-2) é igual a I_u para equipamentos de manobra de um modo geral onde I_u é a corrente nominal permanente (não interrompida).

1.3 Tamanho nominal da estrutura

A um disjuntor que pode ser equipado com unidades de disparo por sobrecorrente de diferentes faixas de níveis de ajuste é atribuída uma estrutura nominal que corresponde àquela da unidade de disparo para o maior nível de corrente de disparo que pode conter.

1.4 Corrente de disparo ajustada do relé de sobrecarga (I_{rth} ou I_r)

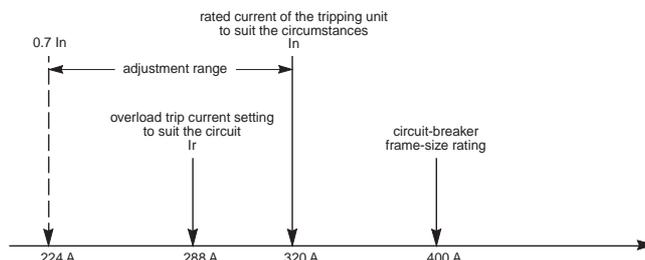
Ao contrário dos disjuntores pequenos que são facilmente substituídos, os disjuntores industriais são equipados com relés removíveis com disparo por sobrecorrente.

Mais ainda, de modo a adaptar um disjuntor aos requisitos do circuito controlado por ele, e para evitar a necessidade de instalar cabos superdimensionados, os relés de disparo são geralmente ajustáveis.

A corrente ajustada de disparo I_r ou I_{rth} (ambas designações são de uso comum) é a corrente acima da qual o disjuntor irá disparar. Ela representa também a maior corrente que o disjuntor pode conduzir sem disparar.

Este valor precisa ser maior que a máxima corrente de carga I_B , mas menor que a máxima corrente permitida no circuito.

Os relés de disparo térmico são geralmente ajustáveis de $0,7$ a $1,0$ vezes I_n , mas quando são usados dispositivos eletrônicos para esse serviço a faixa de ajustes é maior; tipicamente $0,4$ a $1,0$ vezes I_n .



Exemplo (fig. 1): Um disjuntor equipado com um relé de sobrecarga de 320 A ajustado para $0,9$, terá uma corrente de disparo ajustada de: $I_r = 320 \times 0,9 = 288\text{ A}$

Nota: Para os disjuntores equipados com relés com disparo por sobrecorrente não ajustáveis, $I_r = I_n$.

1.5 Corrente de disparo ajustada do relé de curto-circuito (I_m)

Os relés de disparo por curto-circuito (instantâneos ou levemente retardados) são destinados a disparar rapidamente o disjuntor quando ocorrerem valores elevados de correntes de falta.

O limiar de disparo I_m é:

- fixado pelas normas como a IEC 898 para disjuntores tipo doméstico
- indicado pelo fabricante para disjuntores do tipo industrial de acordo com as normas correspondentes, principalmente a IEC 947-2.

Para os últimos disjuntores existe uma variedade ampla de dispositivos de disparo que permitem ao usuário adaptar o comportamento protetor do disjuntor aos requisitos particulares da carga.

	type of protective relay	overload protection	short-circuit protection	
domestic setting type B IEC 898	thermal-high setting type C	$I_r = I_n$ circuit breakers type D	low setting magnetic	standard
10 I_n	10 I_n i $I_m < 20 I_n$ (1)		3 I_n i $I_m < 5 I_n$	5 I_n i $I_m < 10 I_n$
modular setting industrial (2) type D or K circuit breakers < 10 I_n	thermal-high setting magnetic	$I_r = I_n$ fixed	low setting type B or Z	standard type C
	10 I_n < fixed < 14 I_n		3.2 I_n < fixed < 4.8 I_n	7 I_n < fixed
industrial (2) circuit breakers IEC 947-2	thermal-magnetic	$I_r = I_n$ fixed adjustable: 0.7 I_n i $I_r < I_n$	fixed: $I_m \geq 7$ to 10 I_n adjustable: - low setting : 2 to 5 I_n - standard setting: 5 to 10 I_n	
	electronic	long delay 0.4 I_n i $I_r < I_n$	short-delay, adjustable 1.5 I_r i $I_m < 10 I_r$ instantaneous (I) fixed $I \geq 12$ to 15 I_n	

Tab.2: faixa de ajuste da corrente de disparo de dispositivos de proteção para disjuntores BT.

(1) 50 I_n na IEC898, que é considerado um valor não realista pela grande maioria dos fabricantes europeus (M-G= 10 a 14 I_n)

(2) Para uso industrial, as normas IEC não especificam valores.

Os valores acima aplicados são de uso comum.

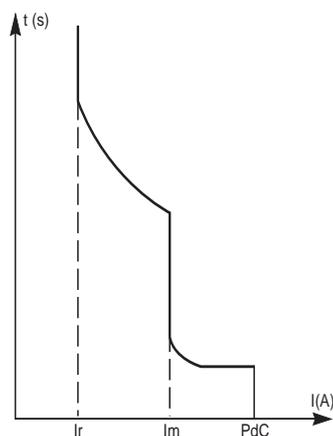


Fig.3: curva típica de um disj. termo-magnético

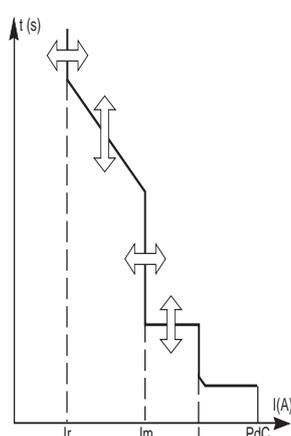


Fig.4: curva de comportamento de um disjuntor com esquema de proteção eletrônica

Onde:

- I_r = Corrente ajustável de disparo por sobrecarga (térmica ou retardo curto)
- I_m = Ajuste da corrente de disparo por curto-circuito (magnético ou retardo longo)
- I = Corrente ajustável de curto-circuito instantâneo
- Pdc = Capacidade de interrupção.

1.6 Característica de Secionamento (Isolamento)

Um disjuntor é adequado para isolar ou seccionar um circuito se ele preencher as condições prescritas para um seccionador (na sua tensão nominal) na norma correspondente. Ele deve suportar na posição aberta as tensões e sobretensões de baixa ou de alta frequência que possam surgir.

Todos equipamentos de manobra Multi 9, Compact NS e Masterpact LV da M-G estão nessa categoria.

1.7 Capacidade nominal de interrupção de curto-circuito (Icu ou Icn)

É o maior valor eficaz (prospectivo) da corrente simétrica que o disjuntor é capaz de interromper sem ser danificado.

A verificação é feita em um ciclo 0 - 3min - CO

Se o ciclo de religamento for 0-3 min - CO-3 min - CO a capacidade de interrupção será designada por I_{cs} (corrente de interrupção em serviço) e poderá ser de 25%, 50%, 75% ou 100% de I_{cu} .

Após os ensaios de interrupção os disjuntores são submetidos a outros ensaios para assegurar se:

- a suportabilidade dielétrica
- o comportamento como seccionador (função seccionador ou de isolamento)
- a operação correta em proteção contra sobrecarga

não foram prejudicadas.

1.8 Tensão de isolamento nominal (Ui)

É o valor de tensão ao qual são referidas a tensão de ensaios dielétricos (geralmente maior que 2 x U_i) e a distância de escoamento.

O valor máximo da tensão nominal não pode nunca exceder a tensão nominal de isolamento, isto é, $U_e < U_i$.

1.9 Tensão Nominal Admissível de Impulso (Uimp)

Esta característica expressa em valores de crista (kV - dada sua forma e polaridade) o valor de tensão que o *equipo* é capaz de suportar sem falha, sob condições de teste (ensaio).

São aplicados normalmente 15 impulsos de ambas polaridades e permitidas no máximo duas descargas disruptivas externas para a massa do disjuntor.

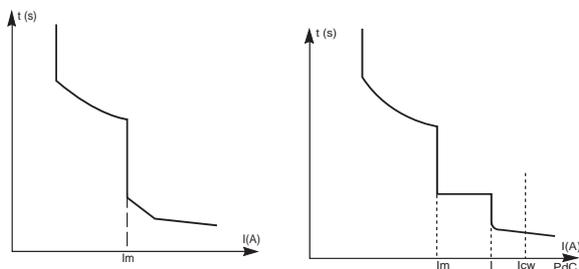
Outras normas pedem 5 aplicações e outras ainda 3 aplicações e se houver (em ambos os casos 1 falha da isolação externa para terra) deverão ser aplicados outros 5 (ou 3) impulsos durante os quais não pode haver mais nenhuma descarga em nenhuma parte do disjuntor.

Na posição aberta não pode haver descarga entre os contatos, mas só para a terra (massa) no lado em que for aplicado o impulso. Este último ensaio assegura a coordenação entre as distâncias para terra (massa) e entre contatos entrada/saída na posição aberta.

1.10 Categorias A e B e corrente suportável nominal de curta duração (Icw)

A IEC 947-2 considera duas categorias de disjuntor:

■ Categoria A, para a qual os disjuntores não podem ter seu disparo retardado e são geralmente do tipo caixa moldada (fig.5).



Figs 5 e 6-Disjuntores categoria A e B (respectivamente)

■ Categoria B, para a qual, de modo a se poder discriminar de outros disjuntores e, com base no tempo, é possível atrasar o disparo do disjuntor onde o nível de corrente de falta é menor que a corrente de curta duração I(cw) (fig.6).

Isto geralmente se aplica a disjuntores grandes do tipo aberto e a certos tipos de disjuntores de caixa moldada. Icw é a máxima corrente que o disjuntor categoria B pode suportar térmica e eletrodinamicamente, sem dano permanente, por um período de tempo dado pelo fabricante, geralmente 1s (outros valores também usados: 3s, 4s, 5s)

1.11 Capacidade de estabelecimento nominal (Icm)

Icm é o maior valor instantâneo de corrente que o disjuntor pode estabelecer na tensão nominal e em condições especificadas. Nos sistemas ca este valor instantâneo de crista está relacionado com Icu por um fator (k) que depende do fator de potência (cos φ) da malha (loop) da corrente de curto-circuito. (ver tabela 7 - abaixo).

Icu	cos φ	Icm = kIcu
6 kA < Icu < 10 kA	0.5	1.7 x Icu
10 kA < Icu < 20 kA	0.3	2 x Icu
20 kA < Icu < 50 kA	0.25	2.1 x Icu
50 kA < Icu	0.2	2.2 x Icu

Exemplo: um disjuntor BT tem uma capacidade de interrupção Icu de 100 kA ef. Sua capacidade de estabelecimento Icm será:

$$100 \times 2,2 = 220 \text{ kA de crista.}$$

1.12 Limitação da corrente de falta

É a qualidade de um disjuntor impedir a passagem da máxima corrente prospectiva permitindo somente a passagem de uma parcela da corrente.

Os fabricantes fornecem curvas como as da fig. 8:

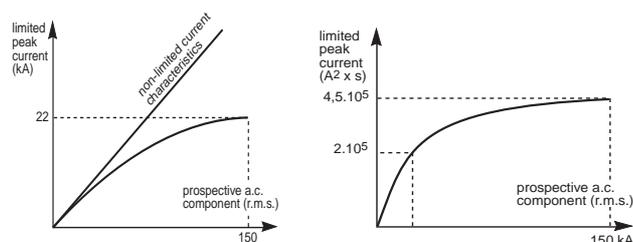


Fig.8 - Curvas de performance de um típico disjuntor de BT limitador de corrente

1.13 Seleção de um disjuntor

A escolha de uma gama de disjuntores é determinada por:

- características elétricas da instalação: tensão, corrente, cap. de curto circuito
- condições do ambiente: temperatura, umidade, poluição.
- requisitos de interrupção e estabelecimento em curto-circuito
- necessidade de controle remoto
- tipo de telecomunicação desejada
- regulamentos e legislação de instalação
- características da carga: motores, iluminação fluorescente, transformadores BT/BT

2. Escolha de disjuntores BT para sistemas de distribuição

Escolha da In - corrente nominal em função da temperatura ambiente:

De um modo geral adota-se:
30°C para disjuntores tipo doméstico
40°C para disjuntores tipo industrial

Em temperaturas diferentes o comportamento depende principalmente da tecnologia das unidades de disparo.

Deve-se considerar três casos:

■ **unidades termomagnéticas não compensadas**

Os fabricantes fornecem tabelas com fatores para desclassificar ou super-classificar, de acordo com temperaturas mais altas ou mais baixas. Considerar também tipo da montagem (isolado, lado a lado)

■ **unidades termo-magnéticas compensadas**

Os fabricantes fornecem o intervalo de temperatura em que há compensação e valores dos fatores de desclassificação (tab.9).

■ **unidades de disparo eletrônico**

Embora essas unidades sejam muito estáveis as demais partes do disjuntor podem limitar a faixa de utilização.

Os fabricantes fornecem tabelas para a desclassificação (para baixo) ou sobre-classificação (para cima) (tab.9)

2.1 **Seleção do limiar de disparo instantâneo ou de retardo curto**

Tipo B (ajuste pequeno) : fontes produzindo baixos níveis de correntes de curto-circuito (geradores de reserva) : linhas ou cabos longos.

Tipo C (ajuste normal ou padronizado): proteção de circuitos, caso geral.

Tipo D ou K (ajuste alto): proteção de circuitos com elevadas correntes transitórias iniciais (como motores, transformadores, cargas resistivas)

Tipo MA (12In): proteção de motores associados a contadores com proteção de sobrecarga

2.2 **Escolha em função dos requisitos de interrupção e estabelecimento**

A instalação de um disjuntor em uma instalação de BT precisa satisfazer uma das seguintes condições:

- ter uma Icu (ou Icn) igual ou maior que a corrente prospectiva no ponto de instalação, ou
- ser associado a um outro Dispositivo de Proteção contra Curto Circuito (DPCC) localizado a montante e que tenha a Icu requerida.

Neste último caso as características dos dois disjuntores devem ser coordenadas de modo que a energia recebida pelo disjuntor a jusante não seja maior que a sua capacidade e a dos condutores, e outros dispositivos possam suportar sem ser danificados de nenhuma maneira.

Isto pode ser conseguido por:

- associação de fusíveis e disjuntores
- associação de disjuntores limitadores e não

limitadores. Esta técnica é conhecida como "ligação em cascata".

2.3 **Seleção dos disjuntores "mestre" (BM) e principal (CBP)**

Nota: o "mestre" é o disjuntor logo na saída do transformador, é a primeira proteção e o disjuntor principal é de proteção de cada ramal e tem que estar coordenado com o mestre.

Exemplo: Na saída de um transformador de 250 kVA, 13,8 kV/380V deve-se usar um disjuntor que satisfaça às condições:

$$I_r \geq (250/380 \cdot \sqrt{3}) = 380 \text{ A (In do transformador)}$$

$$I_{sc} \geq 380/Z\% = 380/0,04 = 9,5 \text{ kA (trifásico) ou se o transformador for a seco, } = 380/0,06 = 6,3 \text{ kA}$$

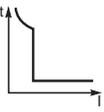
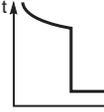
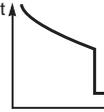
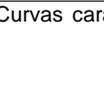
C60a, C60H: curve C, C60N: curves B and C (reference temperature: 30 °C)

rating (A)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	1.05	1.02	1.00	0.98	0.95	0.93	0.90	0.88	0.85
2	2.08	2.04	2.00	1.96	1.92	1.88	1.84	1.80	1.74
3	3.18	3.09	3.00	2.91	2.82	2.70	2.61	2.49	2.37
4	4.24	4.12	4.00	3.88	3.76	3.64	3.52	3.36	3.24
6	6.24	6.12	6.00	5.88	5.76	5.64	5.52	5.40	5.30
10	10.6	10.3	10.0	9.70	9.30	9.00	8.60	8.20	7.80
16	16.8	16.5	16.0	15.5	15.2	14.7	14.2	13.8	13.5
20	21.0	20.6	20.0	19.4	19.0	18.4	17.8	17.4	16.8
25	26.2	25.7	25.0	24.2	23.7	23.0	22.2	21.5	20.7
32	33.5	32.9	32.0	31.4	30.4	29.8	28.4	28.2	27.5
40	42.0	41.2	40.0	38.8	38.0	36.8	35.6	34.4	33.2
50	52.5	51.5	50.0	48.5	47.4	45.5	44.0	42.5	40.5
63	66.2	64.9	63.0	61.1	58.0	56.7	54.2	51.7	49.2

NS250N/H/L (reference temperature: 40 °C)

rating (A)	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
TM160D	160	156	152	147	144
TM200D	200	195	190	185	180
TM250D	250	244	238	231	225

Tab. 9 - Aplicação de disjuntores com fator de correção para temperatura

type	tripping unit	applications
	low setting type B	sources producing low-short-circuit-current levels (standby generators) long lengths of line or cable
	standard setting type C	protection of circuits: general case
	high setting	protection of circuits having high initial transient
	type D or K	current levels (e.g. motors, transformers, resistive loads)
	12 In type MA	protection of motors in association with discontactors (contactors with overload protection)

Curvas características e suas aplicações

3. Continuidade e Seletividade

3.1 Introdução

Em uma instalação típica em BT, os circuitos originam-se de um quadro geral de distribuição, de onde saem condutores em vários tipos de instalação para suprir quadros de distribuição e sub-distribuição locais.

O arranjo dos grupos de cabos isolados e os meios de fixá-los e protegê-los contra danos mecânicos, levando em conta considerações estéticas constitui a realização prática de uma instalação elétrica.

A continuidade do fornecimento de energia em uma instalação elétrica pode ser mais (ou menos) assegurada por um arranjo razoavelmente sofisticado dos circuitos e pelo emprego de dispositivos de proteção contra curtos-circuitos mais (ou menos) rápidos, seguros e religáveis rapidamente.

A seletividade será obtida por uma discriminação entre estes dispositivos de proteção de modo que, em caso de falta, seja desligado o menor número possível de cargas.

3.2 Arranjo dos circuitos

A criação de circuitos independentes para partes independentes de uma instalação permite:

- Limitar as conseqüências no caso de falhas de um circuito
- Simplificar a localização de um circuito defeituoso
- Efetuar a manutenção ou alteração de um circuito sem perturbar o resto da instalação

A divisão dos circuitos pode ser feita em várias categorias cada uma delas requerendo um circuito individual ou grupos de circuitos e, em alguns casos, determinados tipos de cabos (por exemplo: para circuitos de alarme contra incêndio ou de proteção).

Em geral são os seguintes os grupos utilizados:

- Circuitos de iluminação (circuitos em que ocorrem a maioria das falhas de isolamento);
- Circuitos de tomada;
- Circuitos para aquecimento e/ou ar condicionado;
- Circuitos de força para máquinas fixas acionadas por motores;
- Circuitos de força para serviços auxiliares (indicação e controle)
- Circuitos para sistemas de segurança (luz de emergência, sistemas de proteção contra incêndio e UPS para sistemas de computação, etc...).

estas instalações são sujeitas a regulamentos e normas nacionais.

3.3 Os esquemas principais em uma distribuição em BT

Os arranjos mais comuns de instalações de BT estão descritos a seguir.

3.3.1 Distribuição radial

Este esquema é praticamente universal e obedece em linhas gerais aos mesmos princípios dos outros descritos em seguida.

Vantagem

Um circuito independente somente será isolado em caso de falta pela atuação do disjuntor principal ou dos fusíveis. A localização do defeito é simples.

Quando das modificações ou manutenção, o restante do circuito continua em operação. A seção dos condutores pode ser reduzida à medida que a corrente das cargas vai diminuindo.

Desvantagem

Uma falta em um dos cabos que saem do quadro geral de distribuição corta todas as cargas dos quadros de distribuição e de sub-distribuição a jusante

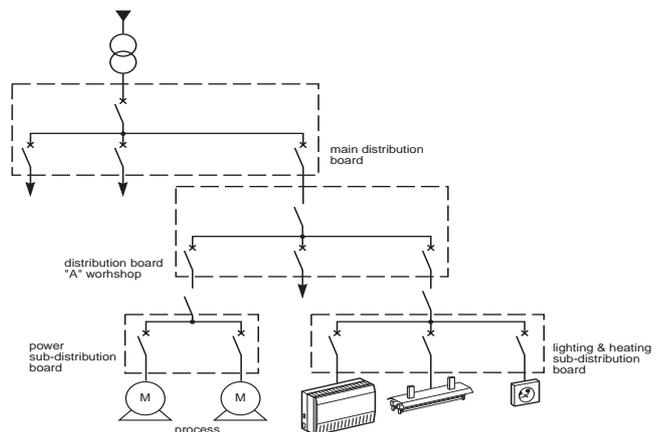


Fig. 11- Distribuição Radial ramificada

Instalação convencional da cablagem

Em edifícios para uso específico: residências, hotéis, atividades rurais, escalas etc.

Vantagens

Virtualmente é irrestrita a passagem para condutos, conduítes, bandejas, dutos, etc..

3.3.2 Com canaletas pré-fabricadas no segundo nível de distribuição, para instalações industriais e de serviços.

Vantagens

Flexibilidade de instalação em grandes espaços não compartimentados, facilidade de utilização.

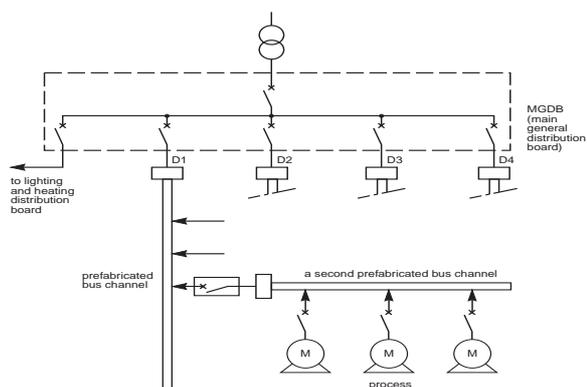


Fig.12 -Com canaletas pré-fabricadas no segundo nível de distribuição.

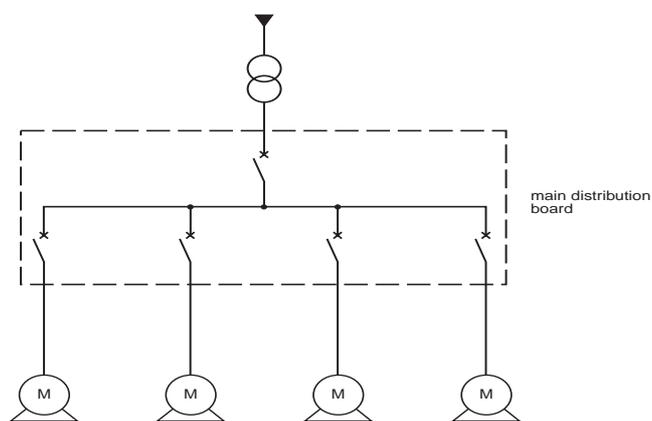


Fig.14 - Distribuição simples sem ramais

3.3.3 Com canaletas pré fabricadas a nível de circuitos finais: para escritórios, laboratórios etc..

Vantagens

Esteticamente aceitável, flexível em locais onde a compartimentação pode mudar de acordo com os requisitos dos usuários; facilidade de exploração.

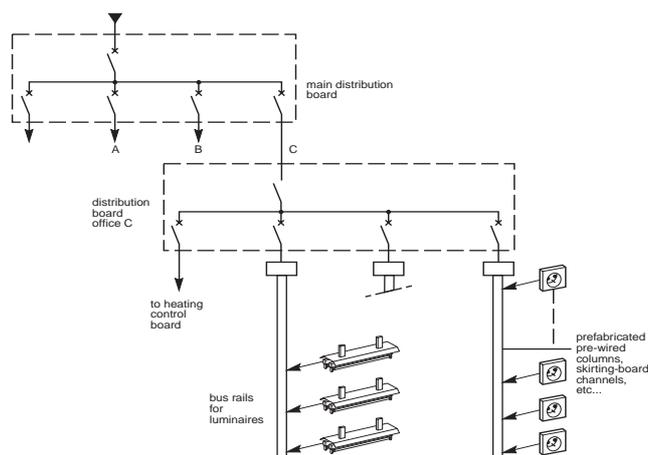


Fig.13 - Com canaletas pré fabricadas em nível de circuitos finais: para escritórios, laboratórios.

3.3.4 Distribuição simples sem ramais

Este esquema é usado para o controle centralizado de uma instalação ou processo dedicado à uma aplicação particular, sem controle, manutenção e supervisão

Vantagens

Uma falha (que não em nível do barramento) irá interromper somente um circuito.

Desvantagens

Gasto elevado de cobre devido à multiplicidade de circuitos. Os protetores devem ser de alta capacidade pela proximidade da fonte.

4. A continuidade do Fornecimento de Energia

4.1 A continuidade do fornecimento de energia é conseguida com:

- Divisão adequada da instalação e a provisão de fontes alternativas;
- Provisão de geração de reserva local de emergência;
- Subdivisão e duplicação de circuitos importantes,
- O tipo de esquema de aterramento (IT, por exemplo);
- Esquemas de proteção discriminativa.

4.2 Divisão das instalações e provisão de mais de uma fonte

O método mais comum de assegurar um alto nível de continuidade do fornecimento de energia da rede é o uso de circuitos em anel na média tensão e (onde for economicamente justificável) o emprego de dois ou mais transformadores AT/BT com possibilidade de interligação dos quadros principais de BT. O uso de vários transformadores permite a separação das cargas as quais poderiam, se isso não fosse feito, causar perturbações inaceitáveis em outros circuitos, como por exemplo:

- Sistemas de computadores os quais são sensíveis à regulação da tensão (quedas e picos) e às distorções harmônicas.
- Circuitos que criam harmônicos tais como: lâmpadas de descarga, conversores elétricos de vários tipos (retificadores controlados por tiristores, inversores, controladores de velocidade de motores, etc.)
- Circuitos que criam variações excessivas de tensão, como motores de grande porte, fornos a arco, etc.

Estas cargas e outras de características semelhantes, i.e, cargas susceptíveis às perturbações, e cargas que podem criá-las, devem de preferência ser supridas por transformadores diferentes. Desse modo, o PCC (ponto comum de acoplamento) é transferido dos barramentos de BT para os de AT, onde os efeitos são consideravelmente menores entre um grupo de cargas e o outro e em alguns casos são completamente eliminados.

Um caso particular diz respeito à 3a. harmônica e todas múltiplas da 3a. harmônica*. Se forem usados transformadores AT/BT em triângulo/estrela as harmônicas de terceira ordem do lado da BT de um transformador não aparecem nos condutores do lado da AT (as correntes circulam internamente no enrolamento em delta) e dessa forma não podem perturbar transformadores vizinhos.

Mais ainda, qualquer harmônica de 3a. ordem que possa estar presente no barramento AT (de cargas alimentadas diretamente pela AT, por exemplo) não será transferida para o lado da BT pelo transformador triângulo/estrela.

A separação das cargas através de transformadores é algumas vezes designada como "desacoplamento".

**Conhecidas como harmônicas de terceira ordem. Harmônicas de terceira ordem são de seqüência zero em circuitos trifásicos balanceados, o que é justificado pelo seu comportamento em transformadores triângulo/estrela.*

4.3 A provisão de fontes de reserva de emergência

Exemplos de fonte de reserva de emergência incluem: duas SE separadas de AT/BT, uma usina privada de energia, conjuntos motor diesel - gerador, fontes de potência não interrompidas (UPS).

4.4 A subdivisão dos circuitos

Os circuitos são divididos de acordo com sua importância relativa. Em geral, dois grupos de cargas, geralmente definidas como "essenciais" e "não essenciais" são separados e alimentados por barramentos diferentes.

A figura mostra um arranjo típico de um esquema automático de transferência para prover energia de reserva na BT a cargas "essenciais" no quadro de distribuição.

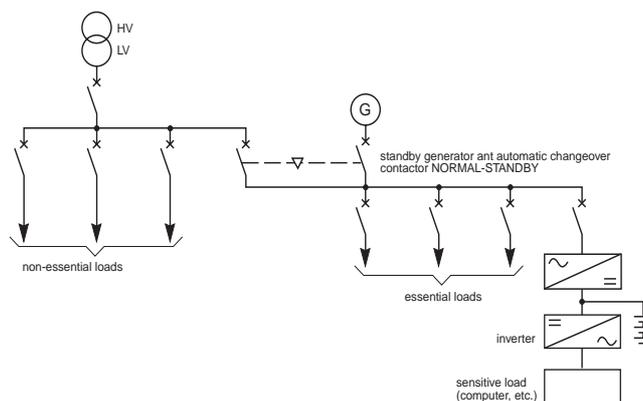


Fig.15 - Cargas essenciais e não-essenciais são separadas, com *stand-by* automático das fontes de alimentação exclusivas para as cargas essenciais.

Um subgrupo de cargas essenciais, denominadas computadores e equipamento de tecnologia de informática (ITE), requer o máximo grau de continuidade, de qualidade de forma de onda e de nível de tensão estabilizada. Este requisitos são satisfeitos por sistema inversor de UPS estática.

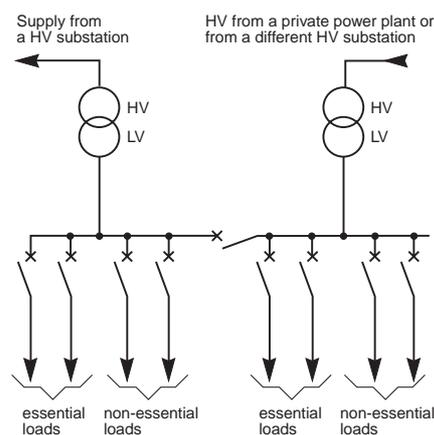


Fig.16 - Um exemplo de Reserva de AT.

4.5 Escolha de um sistema de aterramento

O esquema IT de aterramento é o escolhido quando a continuidade do suprimento de energia é primordial como, por ex., nos processos industriais contínuos, nos hospitais, cinemas, etc.

Este esquema permite uma operação normal e segura mesmo no caso de uma falta à terra (que é de longe a falha mais comum de uma isolação). Um desligamento para localizar o defeito e efetuar os reparos pode ser deixado para mais tarde em um período mais conveniente (como no fim de uma etapa do processo de fabricação, etc.).

Uma segunda falha (se ocorrer em uma outra fase ou no condutor neutro) irá, entretanto, constituir um curto circuito entre fases, o que irá fazer com que os relés de sobre corrente desliguem o(s) circuito(s).

4.6 Discriminação seletiva por relés de proteção e/ou fusíveis

O principal objetivo de qualquer esquema automático de proteção contra falhas de isolamento, sobrecargas, etc., é disparar o disjuntor ou romper somente o(s) fusível(eis) que controla(m) o circuito defeituoso, deixando todos os outros disjuntores ou fusíveis em operação.

Em circuitos radiais isto significa a operação do disjuntor mais próximo do ponto de falta. Todas cargas a jusante serão inevitavelmente privadas de energia.

A corrente de curto-circuito ou de sobrecarga irá necessariamente passar por um ou mais disjuntores (ou fusíveis) a montante do disjuntor ou fusível controlando o cabo com defeito.

Por "discriminação" entende-se que nenhum dos dispositivos de proteção a montante e através dos quais irá passar a corrente de falta (ou de sobrecarga), irá operar antes do dispositivo que controla o circuito com defeito opere. Em geral, a discriminação é obtida pelo aumento do tempo de operação dos relés à medida que eles se aproximam da fonte. Deste modo, a falha de operação do relé mais próximo do ponto de curto significa que o próximo relé a montante irá operar em um tempo um pouco mais longo.

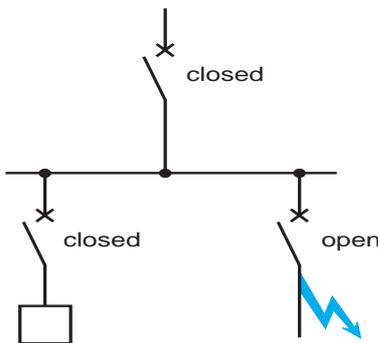


Fig.17 - Princípio da discriminação seletiva

5. Seletividade

É a propriedade de uma instalação de, em caso de falta, só abrir o dispositivo de proteção contra curtos-circuitos que estiver mais próximo do ponto de falta. Com isto, a parte do circuito que fica inoperante será a menor possível.

A propriedade de escolher entre dois dispositivos de proteção quem vai ser desligado é denominada discriminação, a qual vai garantir a seletividade.

5.1 A seletividade pode ser de quatro tipos:

5.1.1 Baseada em níveis de correntes

Este método é efetivado pelo ajuste das correntes de disparo de relés em degraus a partir dos relés a jusante (ajustes menores) para os do lado da fonte (maiores ajustes).

A seletividade é absoluta ou parcial de acordo com as condições particulares.

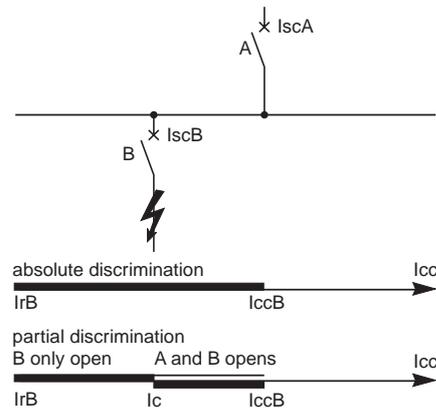


Fig.18 - Seletividade parcial e absoluta

Na discriminação parcial haverá seletividade para as faltas a partir de uma certa distância de B (a corrente será limitada pela impedância do circuito, ficando abaixo do ajuste inferior de A). Para as faltas próximas a B poderão abrir os dois disjuntores. Como a maioria das faltas estatisticamente ocorrem ao longo dos condutores, para a maioria dos defeitos haverá discriminação e portanto seletividade.

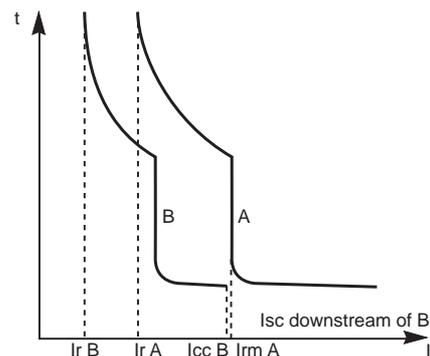


Fig. 19 - Seletividade absoluta entre disjuntores A e B.

5.1.2 Baseada em degraus de tempo

Este método é implementado pelo ajuste das unidades de disparo retardado de modo que os relés a jusante tenham tempos de operação mais curtos progressivamente em relação àqueles em direção à fonte. Nos arranjos em dois níveis mostrados na figura o disjuntor A é retardado suficientemente para assegurar uma discriminação absoluta com B (por exemplo: Masterpact eletrônico).

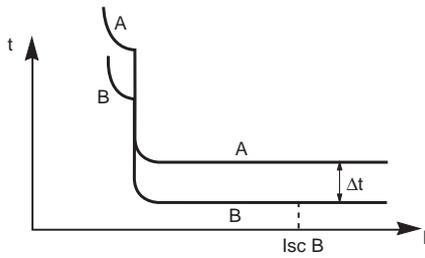


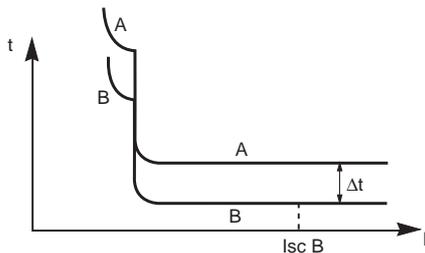
Fig.20 - Seletividade por degraus de tempo.

5.1.3 Baseada em uma combinação dos dois métodos anteriores.

Se for adicionado um retardo de tempo mecânico a um esquema de discriminação por correntes, a discriminação será melhorada, reduzindo ou eliminando a zona em que os dois disjuntores poderiam atuar simultaneamente.

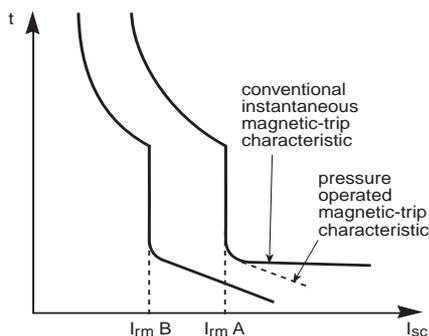
A seletividade será absoluta se $I_{sc} < I_{rm} A$ (valores instantâneos). O disjuntor a montante tem dois limiares de disparo magnético rápido:

- $I_{rm} A$ (retardado) ou um temporizador eletrônico tipo SD (retardo curto)
- $I_{rm} A$ (instantâneo) normal (Compact tipo SA)



5.1.4 Seletividade baseada nos níveis de energia do arco (patente MG)

Para a faixa de correntes de curto circuito este sistema proporciona uma discriminação absoluta entre dois disjuntores atravessados pela mesma corrente. Isto é conseguido usando disjuntores limitadores de corrente e iniciando o disparo por sensores de pressão instalados nas câmaras de arco dos disjuntores. A pressão do ar aquecido depende da energia do arco, como será descrito mais adiante.



Serão examinados a seguir, mais detalhadamente os diferentes tipos de seletividade.

6. Seletividade por Nível de Corrente

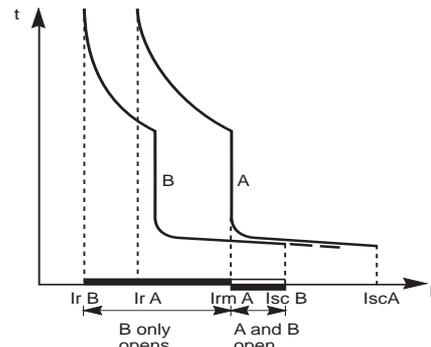
A seletividade por nível de corrente é conseguida com ajustes em degraus dos elementos de disparo magnético.

A seletividade por nível de corrente é obtida com disjuntores, de preferência limitadores, e elementos instantâneos de disparo magnético ajustáveis em degraus.

6.1 O disjuntor a jusante não é limitador

A discriminação pode ser parcial ou absoluta para uma falta a jusante de B.

A discriminação absoluta nesta situação é praticamente impossível porque $I_{sc} A \cong I_{sc} B$, e deste modo ambos os disjuntores geralmente irão disparar ao mesmo tempo.

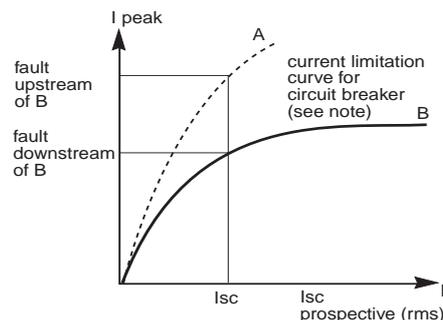


Neste caso a seletividade é parcial e limitada à I_{rm} do disjuntor a montante.

6.2 O disjuntor a jusante é limitador

Pode ser conseguida uma melhoria no disparo discriminativo usando um limitador de corrente em um ponto a jusante, por ex., para o disjuntor B.

Para uma falta a jusante de B, o nível da corrente de pico limitada irá operar (se devidamente ajustado) a unidade de disparo magnético de B, mas será insuficiente para causar o disparo do disjuntor A.

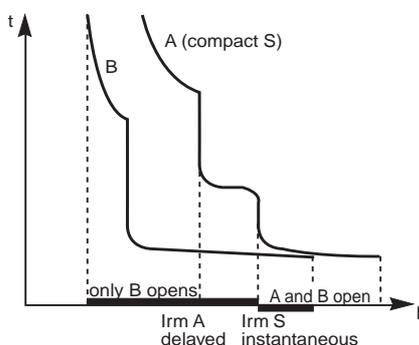


Nota: Todos os disjuntores de BT (considerados aqui) têm algum grau inerente de limitação de corrente, mesmo aqueles não classificados como limitadores de corrente. Isto justifica a característica "deformada" para o disjuntor padrão A na figura anterior.

São necessários cálculos cuidadosos e ensaios, portanto, para assegurar um comportamento satisfatório deste arranjo.

6.3 O disjuntor a montante é rápido com retardo curto (SD)

Estes disjuntores estão com unidades de disparo que incluem um retardo mecânico de tempo curto ajustável. O retardo é suficiente para assegurar discriminação absoluta com qualquer disjuntor rápido em qualquer valor da corrente de corrente até I_{rmS} .



Exemplo:

Disjuntor A: Compact NS250 N contendo uma unidade de disparo que inclui um SD. $I_r=250$ A, disparo magnético ajustado em 2.000 A; disjuntor B: Compact NS 100N, $I_r = 100$ A. O catálogo MG indica uma discriminação de 3.000A.

7. Seletividade por Retardo de Tempo

A seletividade baseada em disparadores com retardo de tempo usa disjuntores referidos como "seletivos" (em alguns países). A aplicação destes disjuntores é relativamente simples e consiste em retardar o instante de disparo dos vários disjuntores ligados em série em uma seqüência de tempo em degraus.

Esta técnica requer:

- A introdução de "timers" no mecanismo de disparo do disjuntor;
- Disjuntores com capacidades térmica e mecânica adequadas nos níveis elevados de corrente e para os retardos de tempo previstos.

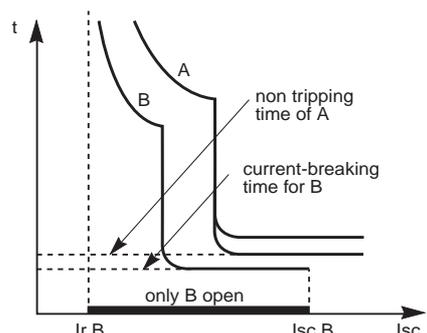
Dois disjuntores A e B em série (i.e., sendo atravessados pela mesma corrente) são discriminativos se o período de interrupção do disjuntor B a jusante for menor que o tempo de não disparo do disjuntor A.

Seletividade em vários níveis

Um exemplo de um esquema prático com disjuntores (MG) tipo Masterpact (com dispositivos eletrônicos de proteção).

Estes disjuntores podem ser equipados com temporizadores ajustáveis, o que permite seleção em quatro degraus tais como:

- O retardo correspondente a um dado degrau é maior que o tempo de interrupção do próximo degrau inferior;
- O retardo correspondente ao primeiro degrau é maior que o tempo total de interrupção do disjuntor rápido (tipo Compact por exemplo).



8. Seletividade Lógica

Os esquemas de seletividade baseados nas técnicas lógicas são possíveis usando disjuntores equipados com unidades disparadoras projetadas para essa função e interligadas com fios piloto.

Este sistema de seletividade lógica requer disjuntores equipados com unidades de disparo eletrônico, projetadas para essa aplicação, junto com fios piloto de interligação para troca de dados entre os disjuntores.

Com dois níveis A e B, o disjuntor A é ajustado para disparar instantaneamente, a não ser que o relé do disjuntor B mande um sinal confirmando que a falta é a jusante de B. Este sinal causa o atraso da unidade de disparo de A, e com isso assegurando uma proteção de retaguarda no evento de B falhar na interrupção da falta, e assim por diante...

Este sistema é patenteado pela MG e permite também uma rápida localização da falta.

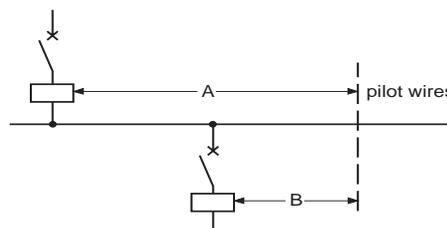
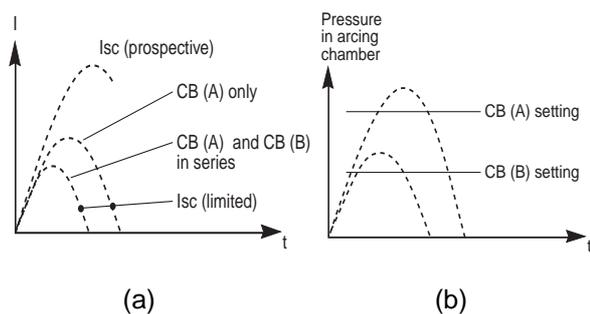


Fig.21- Seletividade Lógica

9. Limitação e Seletividade pela Exploração da Energia do Arco

Disjuntores recentemente introduzidos no mercado como o Merlin Gerin tipo NS, usam o princípio dos níveis de energia do arco para obter a seletividade.

A técnica da "seletividade pela energia do arco" (patente da Merlin Gerin) é aplicada em circuitos tendo um nível de corrente de curto circuito $\geq 25 I_n$ e assegura seletividade absoluta entre dois disjuntores conduzindo a mesma corrente de curto circuito. A discriminação requer que a energia deixada passar para o disjuntor a jusante (B) é menor que causará o disparo do disjuntor a montante (A)



9.1 Princípio de operação

Ambos os disjuntores são limitadores de corrente, de modo que as forças eletromagnéticas devidas ao curto circuito a jusante do disjuntor B o que causa a abertura simultânea dos contatos limitadores de corrente de ambos os disjuntores. A corrente de falta será fortemente limitada pelos dois arcos em série. O intenso calor do arco da corrente em cada disjuntor causa uma rápida expansão do ar no espaço confinado das câmaras de interrupção, produzindo uma rápida elevação da pressão. Acima de um certo nível de corrente, a elevação da pressão pode ser realmente detectada e usada para iniciar o disparo instantâneo.

9.2 Princípio da seletividade

Se ambos os disjuntores contêm um dispositivo de disparo por pressão adequadamente regulados, a discriminação absoluta pode ser conseguida pelo ajuste do disjuntor B para disparar a uma pressão mais baixa que a do disjuntor A.

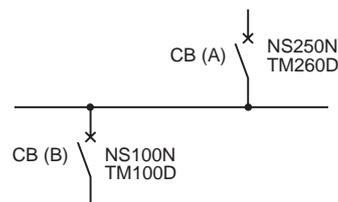
Se ocorrer um curto a jusante de A mas a montante de B, então somente a resistência do arco de A limitará a corrente. A corrente resultante irá ser significativamente maior que a que ocorreria para um curto circuito a jusante de B (onde os dois arcos em série causam uma limitação muito forte, como mencionado acima. A maior corrente através de A irá produzir correspondentemente uma maior pressão, a qual irá ser suficiente para operar seu dispositivo de disparo sensível à pressão (diagramas a e b).

Quanto maior a corrente de curto-circuito, mais rapidamente o disjuntor irá disparar.

A discriminação é assegurada com este equipamento de manobra se:

- A relação da corrente nominal dos dois disjuntores for $\geq 2,5$;
- A relação das 2 correntes nominais de disparo for $\geq 1,6$, como mostrado (tipicamente) na figura abaixo.

Para níveis de corrente inferiores a $25I_n$ são empregados os esquemas convencionais descritos acima.



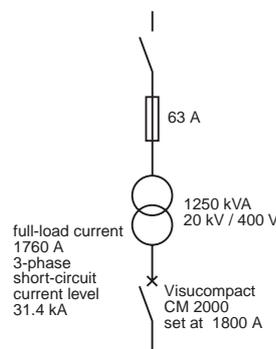
10. Seletividade AT/BT em uma Subestação de Consumidor

Geralmente, o transformador em uma subestação de consumidor é protegido por fusíveis AT, adequadamente dimensionados para o transformador, de acordo com os princípios estabelecidos nas IEC-787 e 420 seguindo as instruções do fabricante dos fusíveis.

O requisito básico é que o fusível AT não opere para faltas BT ocorrendo a jusante do disjuntor BT do transformador, de modo que a curva característica de disparo deste último precisa estar à esquerda daquela de pré-arco do fusível AT.

Este requisito geralmente fixa os maiores ajustes para o disjuntor BT:

- Ajuste do máximo nível de corrente de curto circuito do elemento de disparo magnético;
- Máximo retardo de tempo permissível para o elemento de disparo de corrente de curto circuito.



Exemplo:

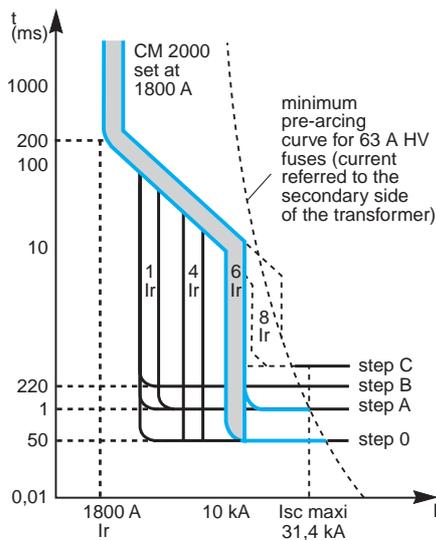
Nível de curto circuito nos terminais AT do transformador: 250 MVA;
Transformador AT/BT: 1250kVA 20/0,4kV;
Fusíveis AT: 63 A;
Cabeamento do transformador ao disjuntor: 10m de cabos monofásicos;
Disjuntor BT: Visucompact CM 2000 ajustado em 1800 A (I_r).

Qual é o máximo ajuste de disparo de corrente de curto circuito e qual o máximo retardo de tempo permissível?

As curvas da figura mostram que a seletividade é assegurada se a unidade de disparo retardado de tempo curto do disjuntor for ajustado em:

- Um nível $\leq 6I_r$ igual 10,8kA;
- Um ajuste do retardo de tempo 0 ou A.

Uma regra geral para a seletividade fusível AT/disjuntor BT, adotada em alguns países, é baseada nos limites de tolerância normalizados pelos fabricantes é ilustrado na figura:



Quando o transformador for controlado e protegido no lado de alta tensão por um disjuntor, é usual instalar relés separados e operados por TC e TP os quais energizam a bobina de disparo do disjuntor.

A seletividade pode ser conseguida juntamente com disparos rápidos para faltas no transformador usando métodos apropriados.