

Principais relés empregados na proteção das redes de distribuição primárias

Proteção do Sistema Elétrico de Potência

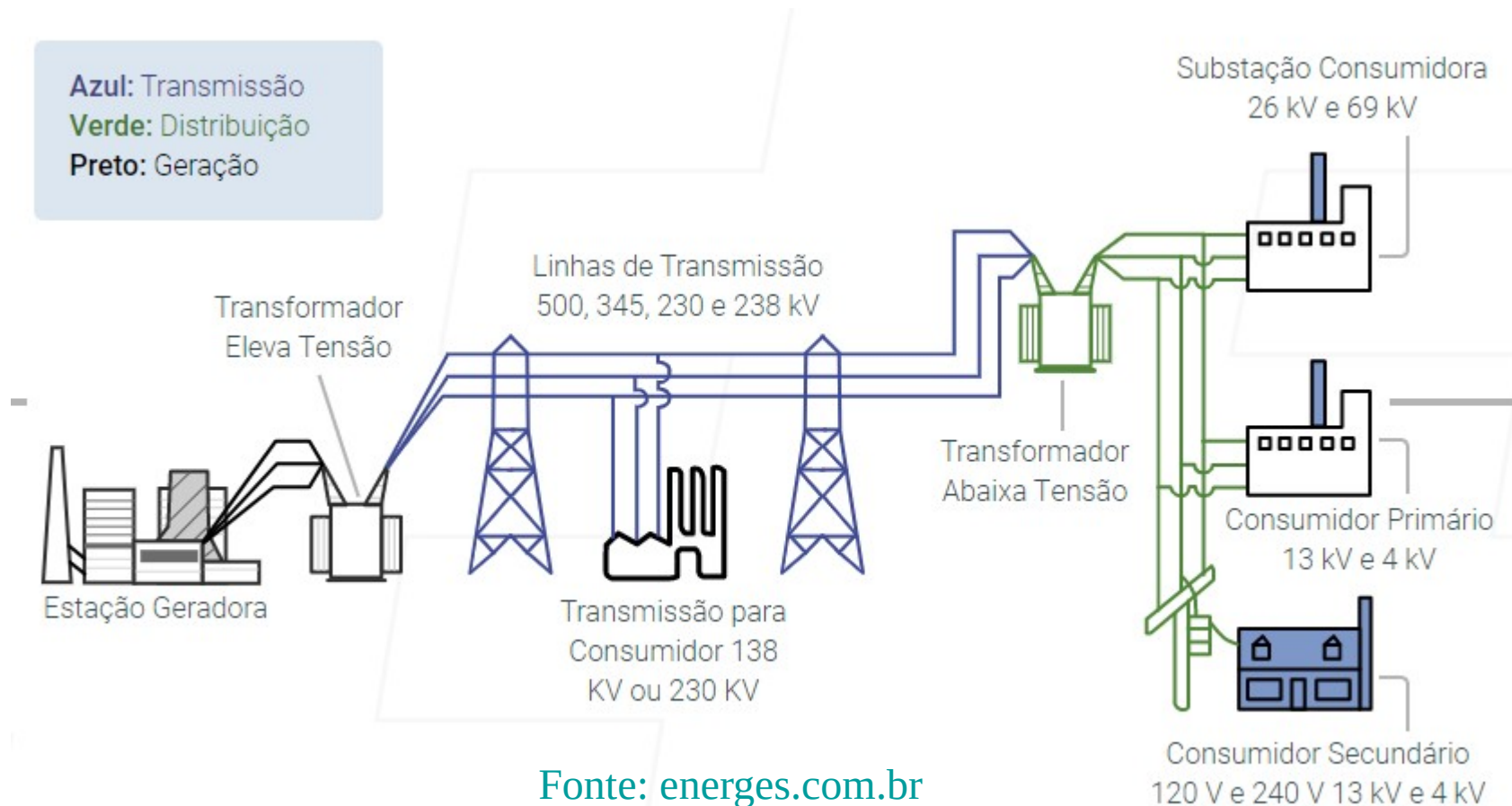
Redes de distribuição primárias

- Maioria possui topologia radial
- Predominante relé de proteção de sobrecorrente
- Geralmente curto-circuito em algum ponto tende a ter uma magnitude de corrente de falta resultante suficiente para sensibilizar a operação dos relés digitais de corrente

Geralmente usa-se como proteção

- Elos fusíveis
- Religadores
- Seccionalizadores
- Network Protector (redes subterrâneas)
- Relé digital (maioria de sobrecorrente)

Corrente de curto-circuito



- Magnitude do fluxo da corrente de curto-circuito
 - Sistemas de transmissão ($>$)
 - Sistemas de distribuição ($<$)

Relé de sobrecorrente

- Opera quando a magnitude da corrente de falta, que flui por um alimentador ou ramal, atinge um valor superior à corrente de sensibilização do relé (I_{LIMIAR})
- São classificados como instantâneos ou temporizados
 - (assim como nos sistemas de transmissão)
- Temporizados possuem curvas de operação do tipo:
 - inversa
 - muito inversa
 - extremamente inversa

Relés de sobrecorrente

- São não seletivos
 - Detectam condições de sobrecorrente na seção do alimentador sob sua responsabilidade e também em seções adjacentes
- A seletividade pode ser obtida, dependendo do caso:
 - Com base no ajuste da corrente I_{LIMiar}
 - No ajuste do tempo de operação
 - Na combinação de ambos, dependendo das características operativas de Tempo x Corrente
 - No emprego de relés direcionais de sobrecorrente

Exemplo (p. 119)

- Um relé de sobrecorrente digital é alocado:
 - No primário de um transformador de distribuição
 - Que está conectado a um alimentador
- Busca-se coordená-lo com outro relé digital alocado a jusante
 - Tempo de operação foi ajustado em 0,5 segundos (primário)
- Deve-se considerar que o relé do primário atua com um retardo de 55% a partir do tempo de atuação do relé no secundário

Exemplo (p. 119)

- Assumindo que haja uma falta no lado secundário
 - Cujas corrente referida ao primário é 1534 A
- Determine a alavanca de tempo AT (ajuste de tempo) do relé primário
 - Sabendo que ele foi ajustado com $I_{LIM IAR} = 120 \text{ A}$
 - E obedece a uma curva muito inversa, dada pela equação:

$$T_{OP} = \frac{13,5}{i_{cc_normalizado} - 1} \times AT.$$

Solução

- O T_{OP} do primário = $0,5 \times (1 + 55\%) = 0,775 \text{ s}$
(do slide 7)
- Ele deve operar de forma seletiva após $0,755 - 0,5 = 0,255 \text{ s}$
- Corrente de curto normalizada vista pelo relé primário

$$i_{cc_normalizado} = \frac{1534A}{120A} = 12,783$$

- Alavanca de tempo AT (ajuste de tempo do relé)

$$AT = \frac{T_{OP} \times (i_{cc_normalizado} - 1)}{13,5} = \frac{0,775 \times (12,783 - 1)}{13,5} = 0,676s$$

- O ajuste da corrente I_{LIMIAR} em relés de sobrecorrente utilizados nas redes de distribuição obedece, em geral, a uma regra prática
- I_{LIMIAR} é corrente mínima de excitação do relé, e nunca pode ser inferior à corrente máxima de carregamento do alimentador ou ramal
- I_{LIMIAR} : multiplicar o numerador da relação de transformação (RTC) do TC conectado ao relé, pelo coeficiente K_{LIMIAR} (que geralmente é < 2)

Exemplo (p. 120)

- Um alimentador de distribuição possui carregamento máximo de 200 A
- Na sua extremidade inicial é instalado um relé conectado a um transformador de corrente (TC) com $RTC = 500/10$
- Determine o valor de K_{LIMIAR} uma vez que I_{LIMIAR} tenha um valor 60% superior ao da corrente de carregamento máximo

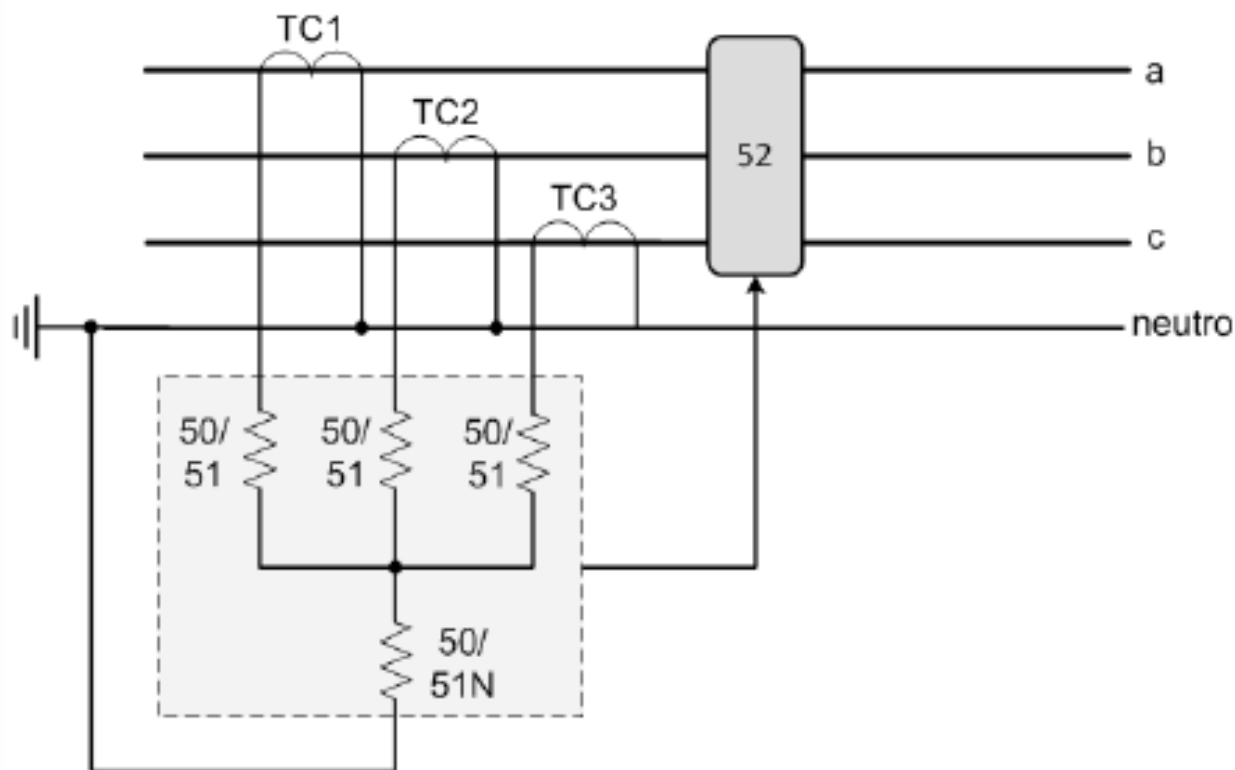
Solução

- $I_{LIMIAR} = 200 \times (1 + 60\%) = 320 \text{ A}$
- Usa-se o numerador da RCT $\rightarrow 500$

- $$K_{LIMIAR} = \frac{320 \text{ A}}{500 \text{ A}} = 0,64$$

Multifilar

Figura 3.9 | Diagrama de conexão de relés de sobrecorrente em alimentador trifásico



- 4 relês de sobrecorrente
- 3 TCs
- 50: instantâneo
- 51: temporizado
- 52: disjuntor

Relé de religamento

- Trabalha em conjunto com o relé de sobrecorrente
- Atua de modo automático para que o disjuntor seja religado, uma vez que este foi operado pelo relé de sobrecorrente
- Instantâneo ou temporizado
- Número de tentativas de religamentos geralmente entre 0 e 3
- Após a última tentativa entra em modo bloqueio e o disjuntor permanece aberto

Relé de bloqueio

- Desarme de um circuito ou equipamento que não pode ser posto novamente em operação sem que haja a devida inspeção ou reparo da situação que provocou o bloqueio, como um curto-circuito
- Uma vez disparado, o relé de bloqueio impede que comandos auxiliares sejam realizados, liberando-os apenas quando ele receber um sinal de liberação do estado de intertravamento, que pode ser manual ou elétrico
- Protege elementos críticos como: transformadores de potência, disjuntores, alimentadores, ramais laterais e bancos de capacitores

Relé de alta impedância

- O rompimento de um condutor energizado que entra em contato com um solo composto por uma superfície pouco condutiva, pode gerar alta impedância
- O relé de sobrecorrente e os elos fusíveis **podem** não atuar
- O relé de alta impedância usa um algoritmo que detecta padrões de perda de carga, precedida pela formação de um arco persistente
- Faltas de alta impedância somente requerem sinais relativos às correntes trifásicas e de retorno do alimentador

Proteção de subestações de distribuição

Fig. 3.12 (a)
SE com
suprimento
(alimentador)
único

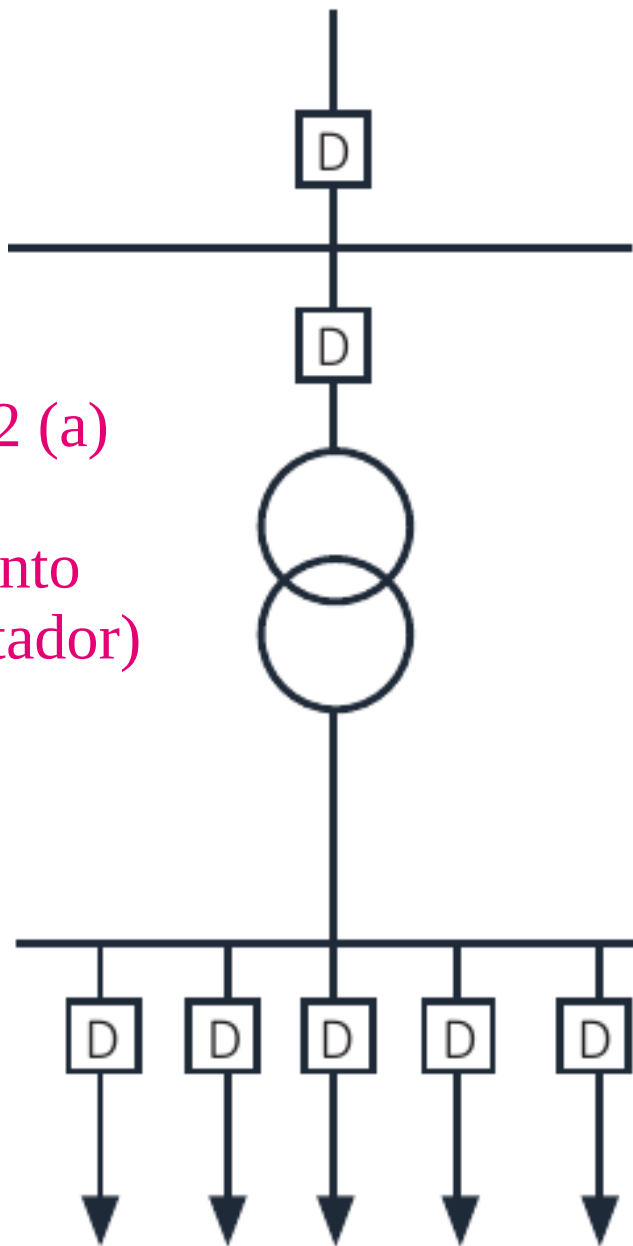
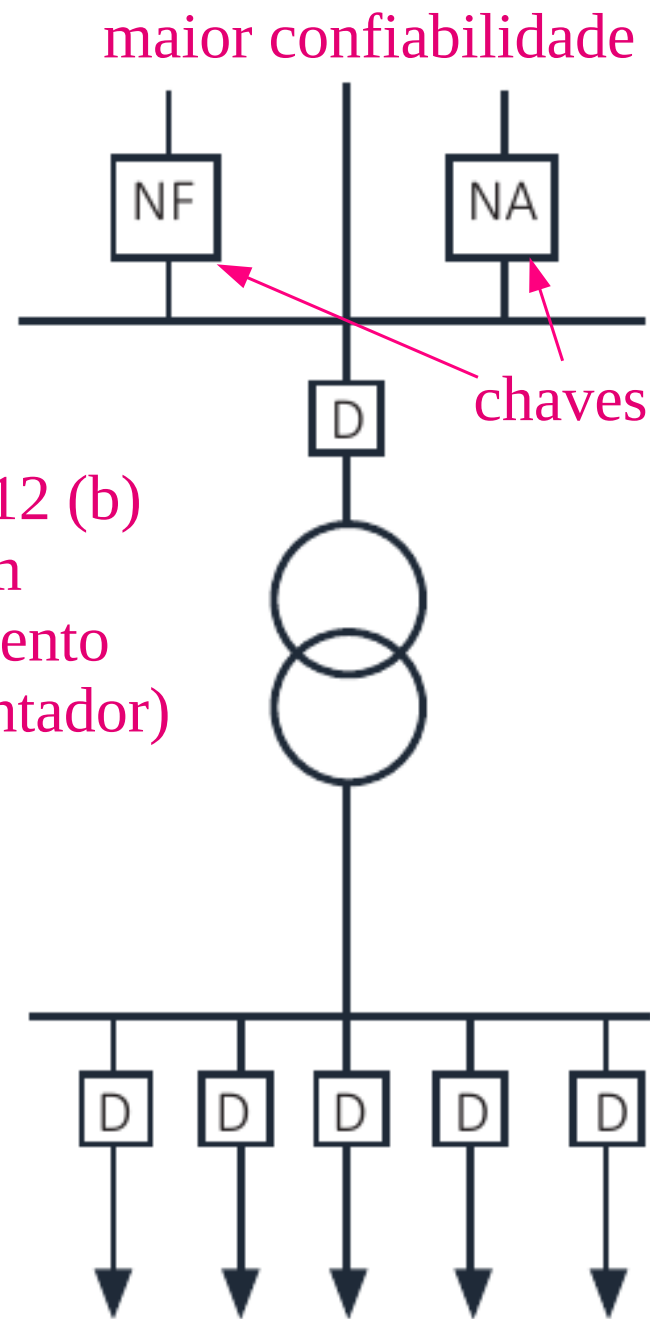


Fig. 3.12 (b)
SE com
suprimento
(alimentador)
duplo

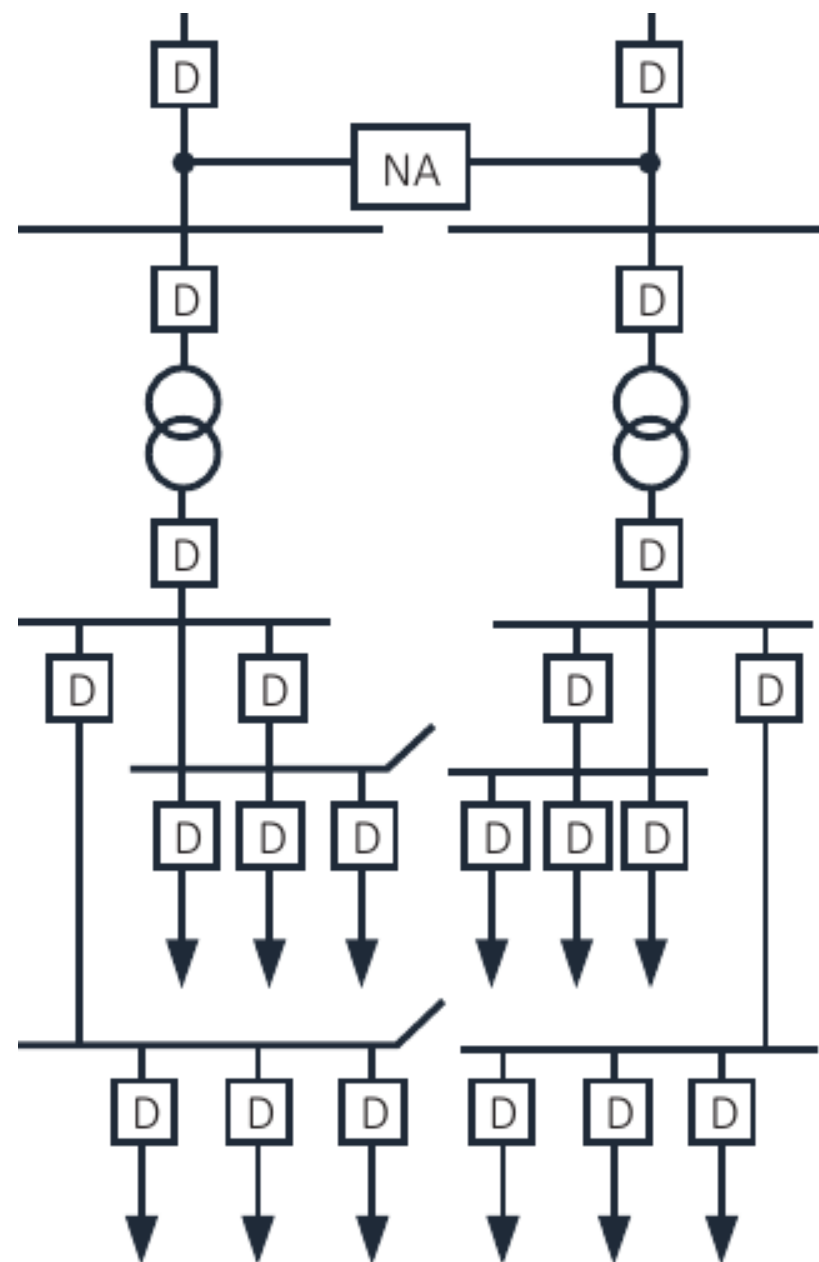
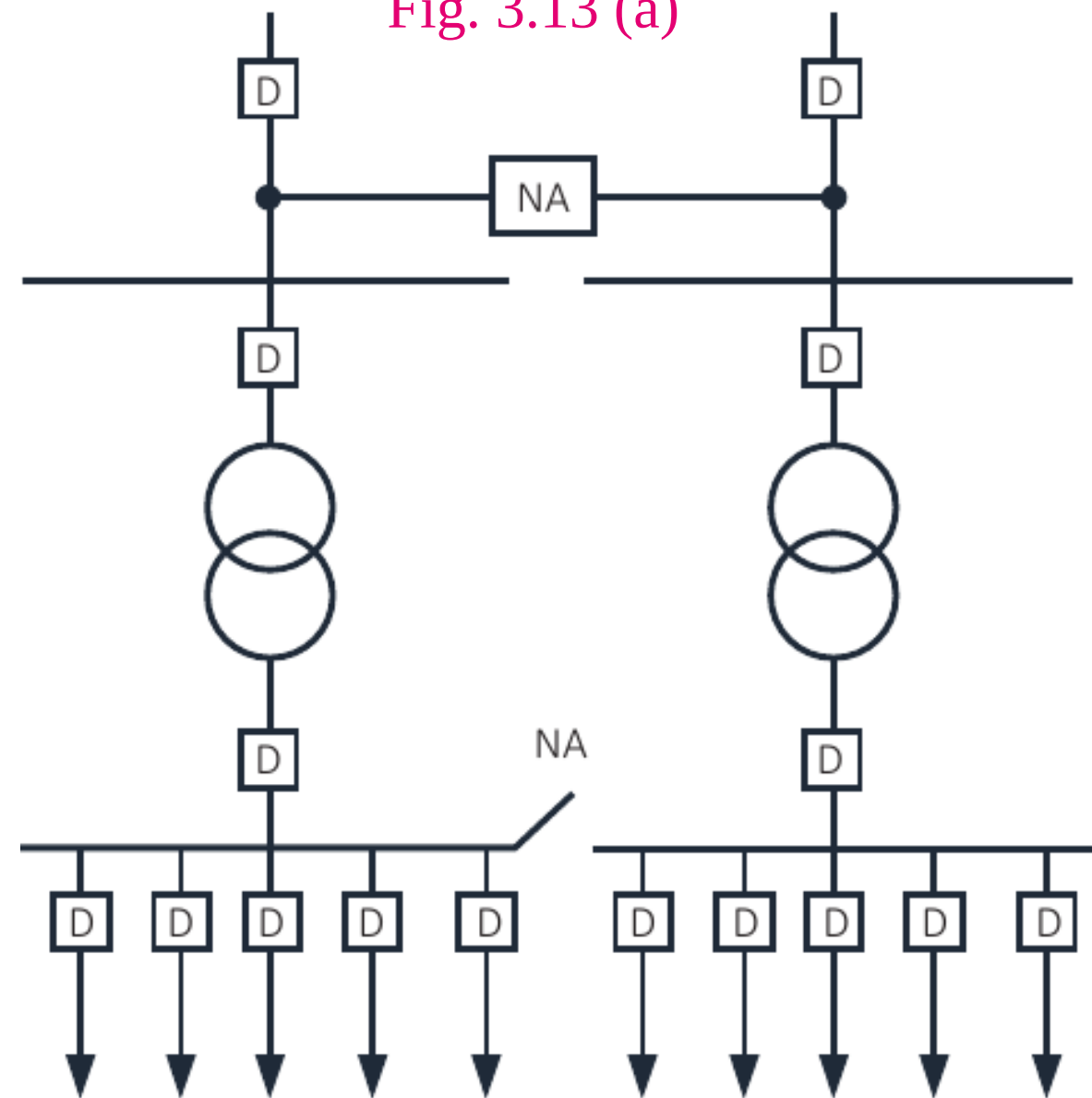


Diagramas unifilares de 2 SEs

(continua no próximo slide)

Fig. 3.13 (b)

Fig. 3.13 (a)



- A elaboração de esquemas de proteção para SEs deve obrigatoriamente levar em consideração o arranjo e a reconfiguração da sua topologia interna por meio da combinação entre chaves de transferência e disjuntores
- Dois alimentadores aumentam a confiabilidade
- Em regiões de elevada densidade de carga aumenta-se o número de transformadores para assegurar uma maior confiabilidade e maior flexibilidade de operação

Fig. 3.13 (a)

- 2 alimentadores de subtransmissão
- 2 transformadores
- Barramentos primários (alta tensão) independentes
- Barramento secundário (baixa tensão) seccionado
- Caso uma falta ocorra em um dos transformadores, a proteção diferencial do mesmo deve atuar isolando-o

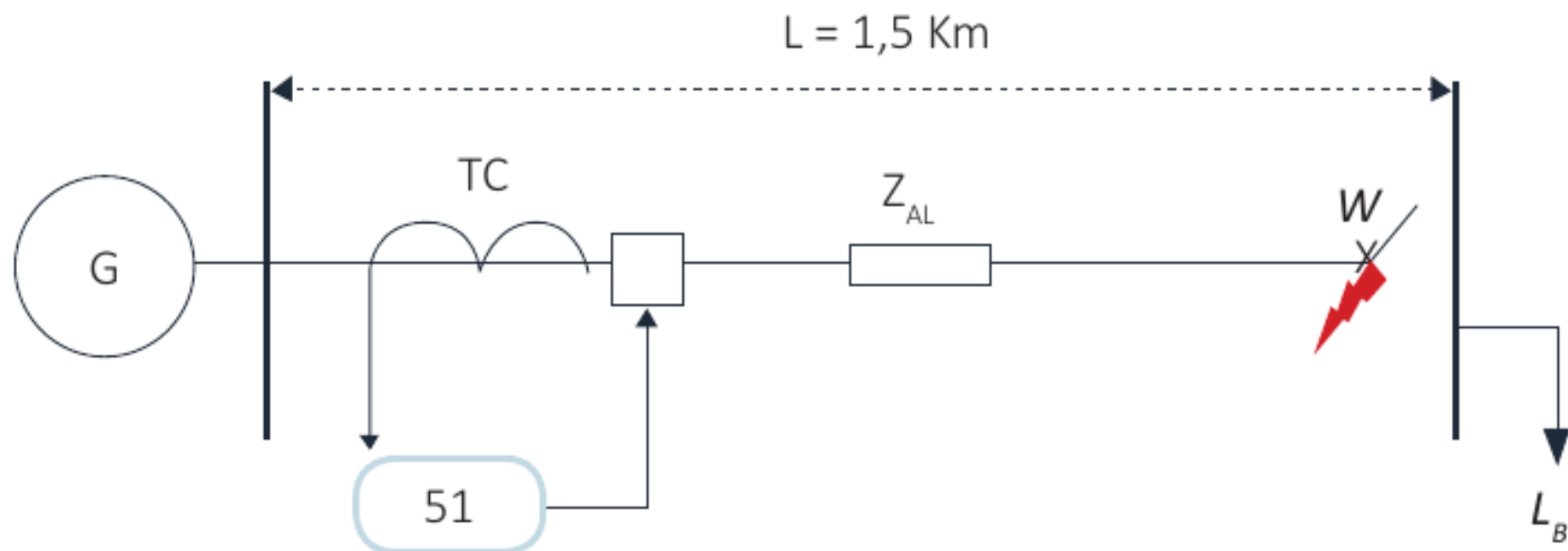
- Em seguida, a chave NA a montante é fechada, assim como a chave de seccionamento do barramento secundário, dessa forma, todas as redes de distribuição primárias da subestação serão supridas por um único transformador
- Cada um dos transformadores deve ter capacidade suficiente para suprir toda a demanda da subestação

Fig. 3.13 (b)

- Melhorias significativas na confiabilidade dos esquemas de proteção aplicados a subestações podem ser adquiridas caso a subestação tenha um arranjo com barramentos duplicados
- Os circuitos de saída são distribuídos em vários barramentos, então, sob condição de falta, a transferência de blocos de carga entre os transformadores pode ser efetivada com segurança

Exemplo 1 (p. 125)

Figura 3.8 | Rede a ser analisada da concessionária contratante



- Curto-circuito no ponto W

Dados

- Gerador
 - V_N (tensão nominal) = 3,8 kV
 - E_0 (tensão interna) = 3,8 kV
 - Reatância = 5%
 - Potência nominal = 10 MVA
 - Frequência = 60 Hz
- Alimentador
 - Z_{AL} (impedância característica)
 - resistência = 0,19 Ω /km
 - reatância = 0,38 Ω /km
 - Comprimento $L = 1,5$ km

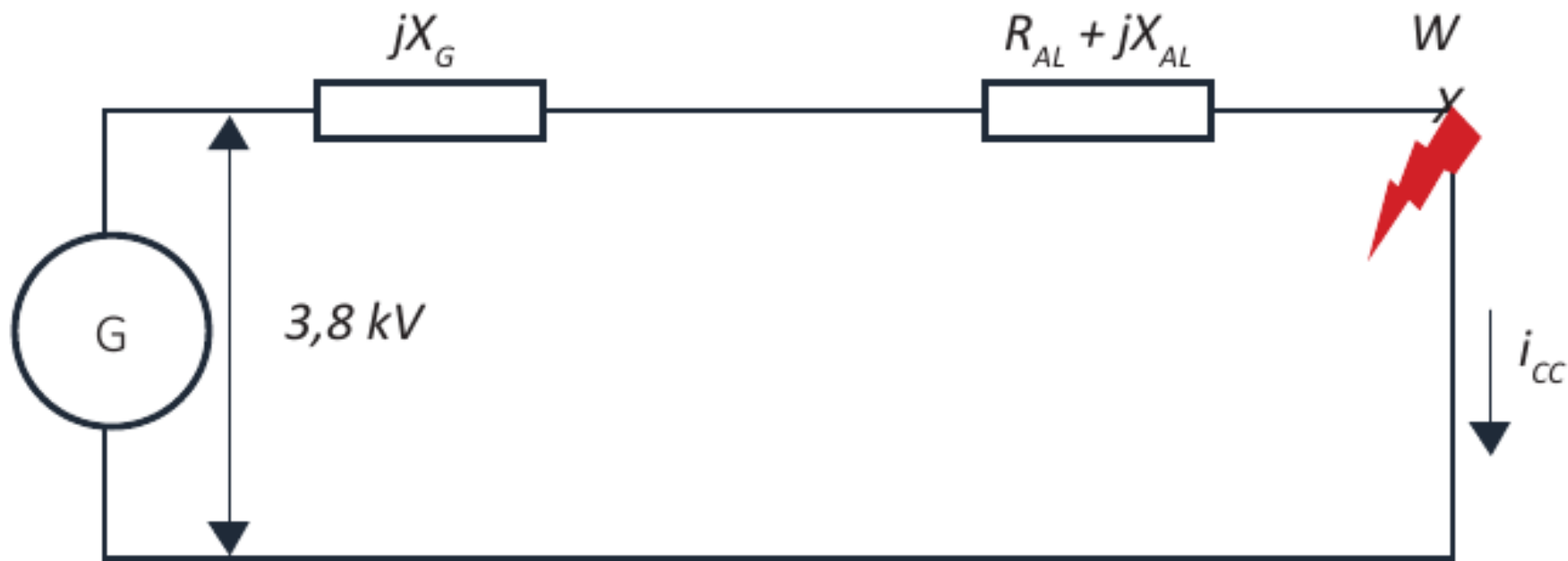
- O barramento do gerador é usado como referência angular no instante da falta
- Determinar a alavanca de tempo AT a ser ajustada no relé de sobrecorrente temporizado que será usado na proteção do alimentador
- O relé tem um tempo de atuação de 10 ciclos
- A corrente I_{LIMIAR} previamente ajustada é de 145 A
- Curva de tempo inverso dada:

$$T_{OP} = \left(\frac{0,14}{\left(i_{cc_normalizado} \right)^{0,02} - 1} \right) \times AT$$

- O alimentador irá conectar um gerador monofásico a um bloco de cargas
- Contudo, antes de se estabelecer a conexão com a carga, um curto-circuito se origina na extremidade final do alimentador próxima à carga

Solução

Figura 3.14 | Circuito elétrico resultante



- A determinação do fasor da corrente de falta pode ser obtido por meio da simples análise do circuito resultante

- Como a tensão no barramento do gerador é tida como referência angular, temos como fasor resultante

$$\hat{E}_0 = 3,8 \angle 0^\circ kV$$

- A impedância total (Z_T), do circuito monofásico a 2 fios é dada por:

$$Z_T = R_{AL} + j(X_G + X_{AL})$$

$$R_{AL} = 0,19 \times 1,5 \times 2 = 0,57\Omega$$

$$X_{AL} = 0,38 \times 1,5 \times 2 = 1,14\Omega$$

$$X_G = 0,05 \times \frac{(3,8kV)^2}{10MVA} = 0,0722\Omega$$

$$Z_T = 0,57 + j1,212\Omega = 1,339\angle 64,81^\circ\Omega.$$

- O fasor da corrente de curto-circuito é expresso por

$$\hat{I}_{CC} = \frac{\hat{E}_0}{Z_T} = \frac{3,8 \angle 0^\circ kV}{1,339 \angle 64,81^\circ \Omega} = 2,837 \angle -64,81^\circ kA$$

- Como relé de sobrecorrente leva em conta apenas a magnitude da corrente de falta para fins de ajuste, a alavanca de tempo (AT) é expressa por

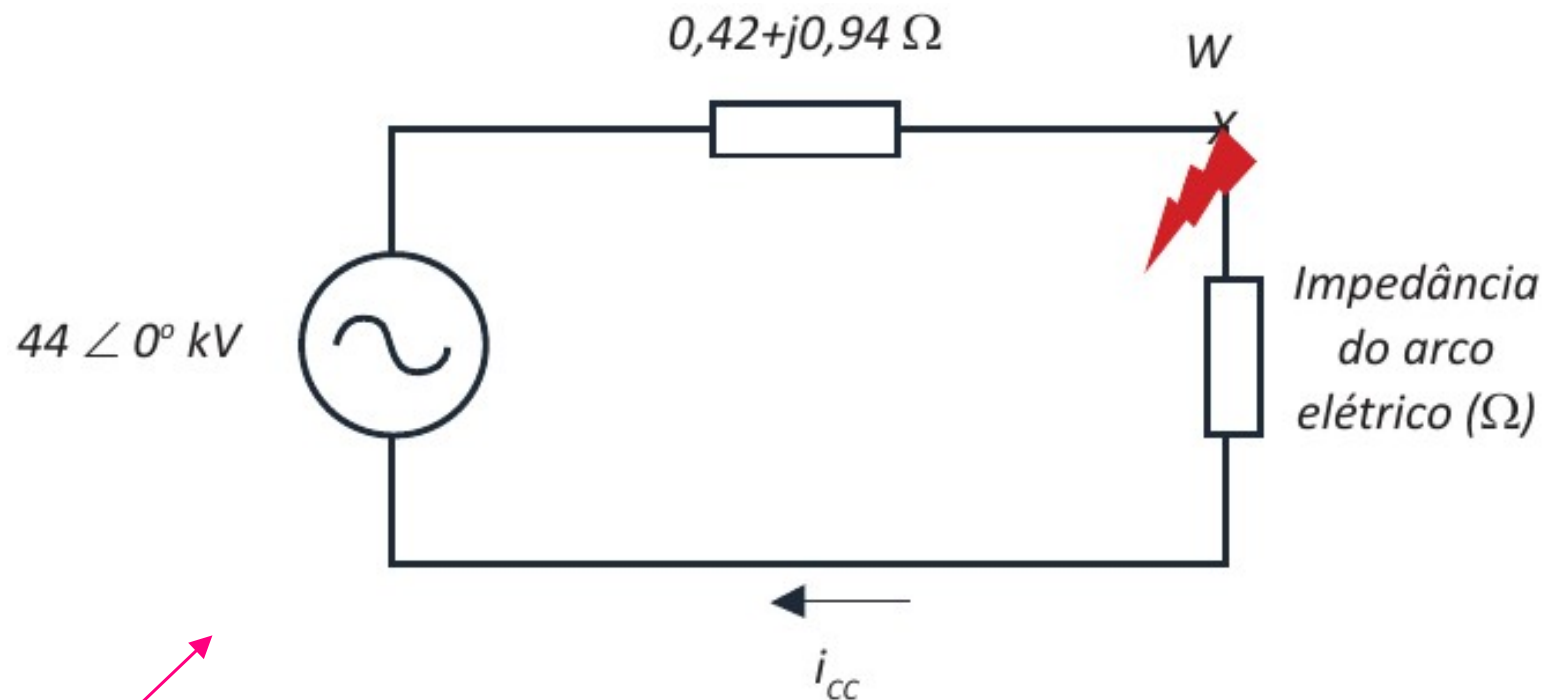
$$AT = \frac{T_{OP} \times \left(\left(\frac{|\hat{I}_{CC}|}{i_{LIMIAR}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

- O tempo de atuação T_{OP} do relé é igual a 10 ciclos, ou seja, como a frequência do gerador é 60 Hz, temos $T_{OP} = 0,166$ s

$$AT = \frac{0,166s \times \left(\left(\frac{2,837kA}{145A} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,0729s$$

Exemplo 2 (p. 127)

- Avaliar a proteção contra faltas de alta impedância para um alimentador de 44 kV
- O ponto mais propenso à ruptura de cabo está localizado acima de uma superfície formada por areia seca com resistividade de $3 \text{ k}\Omega/\text{m}$
- Devido à altura dos postes, no máximo 2 m de cabo entra em contato com o solo
- Assumir que o arco elétrico resultante possui impedância proporcional à resistividade do solo



- Circuito equivalente, visto no ponto de ruptura W do cabo do alimentador
- Pergunta: seria adequado um relé de sobrecorrente instantâneo ajustado com $I_{\text{LIMIAR}} = 15 \text{ A}$?

Resolução

- Impedância do arco elétrico = $2 \text{ m} \times 3 \text{ k}\Omega/\text{m} = 6 \text{ k}\Omega$
- A impedância do arco é superior à impedância do cabeamento ($0,42 + j0,94\Omega$), sendo a principal componente que limita a corrente de falta
- Resolvendo o circuito equivalente, a magnitude da corrente de falta é dada por

$$|\hat{I}_{cc}| = \left| \frac{44 \text{ kV}}{6000 + (0,42 + j0,94)} \right| = 7,333 \text{ A}$$

- Portanto a corrente originada pela falta de alta impedância (7,3 A) é inferior à corrente de sensibilização do relé (15 A)
- Neste caso deverão ser utilizados relês digitais que empregam algoritmos de detecção de padrões das faltas