



UFPR



TE 131

Proteção de Sistemas Elétricos

Capítulo 6 –
Proteção de
Barramentos Elétricos



1. Introdução

- As barras não dispõem de uma proteção específica, pelas seguintes razões:
 - As barras e aparelhagens apresentam elevado grau de confiabilidade;
 - Receio de que a operação acidental da proteção de barra cause desestabilização do sistema de potência, que, se não for rapidamente eliminada, gere mais danos do que as infrequentes faltas;
 - Espera-se que a proteção do sistema ou a proteção de retaguarda possam prover uma adequada proteção a barra.

- Porém:
 - Em virtude da concentração de MVA, o dano resultante de uma falta não eliminada pode vir a ser muito danoso;
 - Ainda que a proteção de distância seja aplicada a todos alimentadores, a barra ficará na segunda zona de todas as proteções de distância, de modo que uma falta numa barra será eliminada de maneira relativamente lenta;
 - De maneira geral, a proteção de barra torna-se necessária quando a proteção de sistema não cobre as barras, ou quando, a fim de manter a estabilidade do sistema de potência, a eliminação rápida de faltas torna-se necessária.

2. Principais Defeitos em Barramentos Elétricos

- Os defeitos mais comuns em geradores são:
 - Rompimento da isolação devido a danos de natureza elétrica ou mecânica;
 - Objetos estranhos;
 - Esquecimento de cabos de aterramento e ferramentas;
 - Falhas de dispositivos de bloqueio das chaves de terra;
 - Falhas ou inexistência de sistema contra descargas atmosféricas;
 - Animais;
 - Poluentes ambientais.

3. Tipos de esquemas de proteção

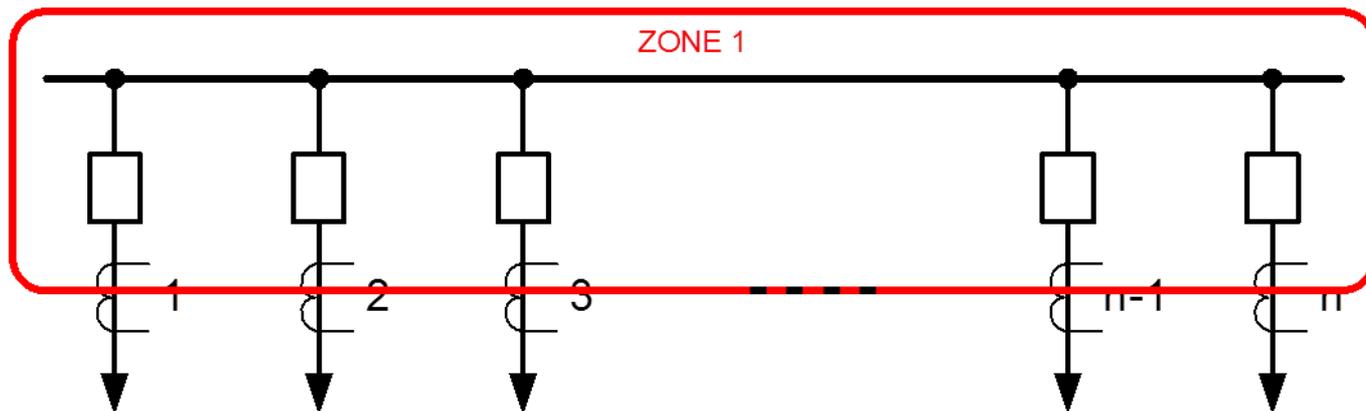
- Proteção instantânea (50/50N);
- Proteção temporizada (51/51N);
- Proteção diferencial de barramento (87B);
- Proteção de terra (64);
- Proteção contra correntes desequilibradas (46);
- Proteção direcional de terra (67G);

- Condições básicas que devem ser consideradas:
 - Todos TCs devem ter a mesma relação (Exceção relés digitais);
 - Tempo de operação deve ser rápido. Utilizar curva de tempo inverso;
 - Condutores que interligam os TCs ao relé diferencial ter seção mínima de 10 mm^2 para reduzir a queda de tensão;
 - Impedir que defeitos externos à barra causem a operação da proteção;

4. Arranjos de Barras

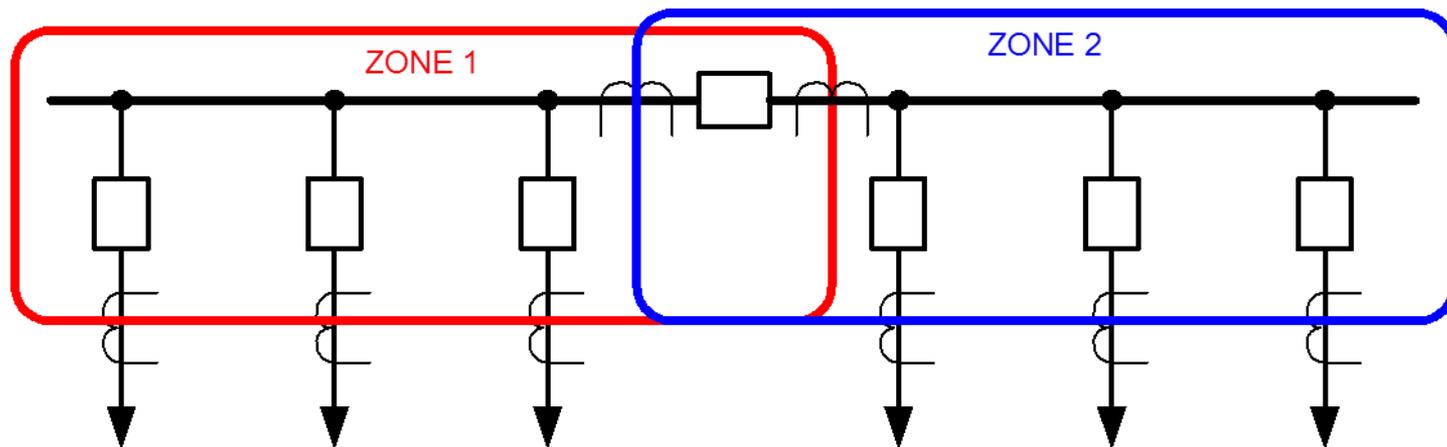
Barramento Simples:

- Distribuição e transmissão com níveis de tensão inferiores;
- Sem flexibilidade operacional;
- Falha na barra, todos os disjuntores abrirão.



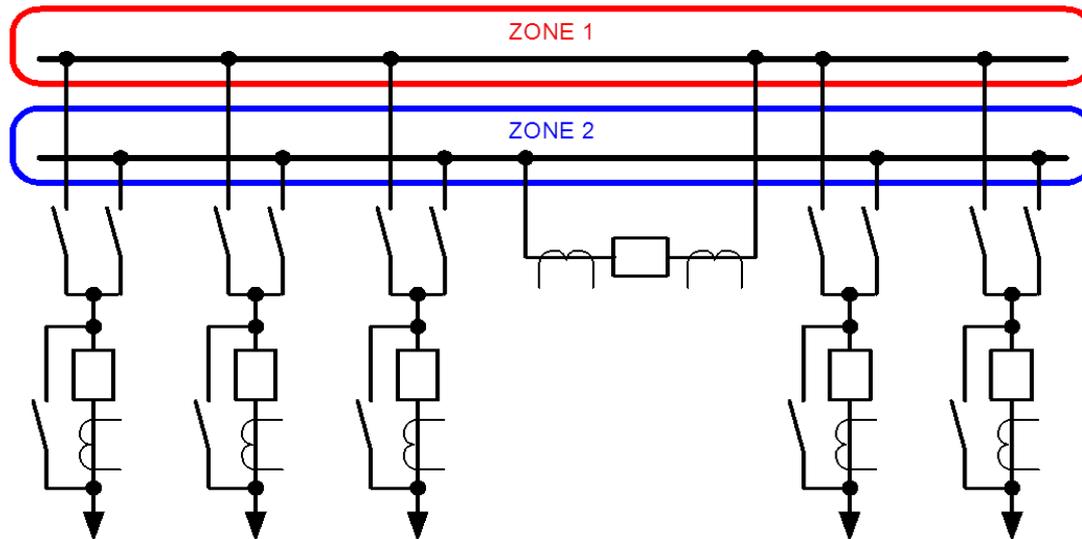
Barramento Simples Seccionado:

- Distribuição e transmissão com níveis de tensão inferiores;
- Continuidade aumentada;
- Flexibilidade operacional limitada.



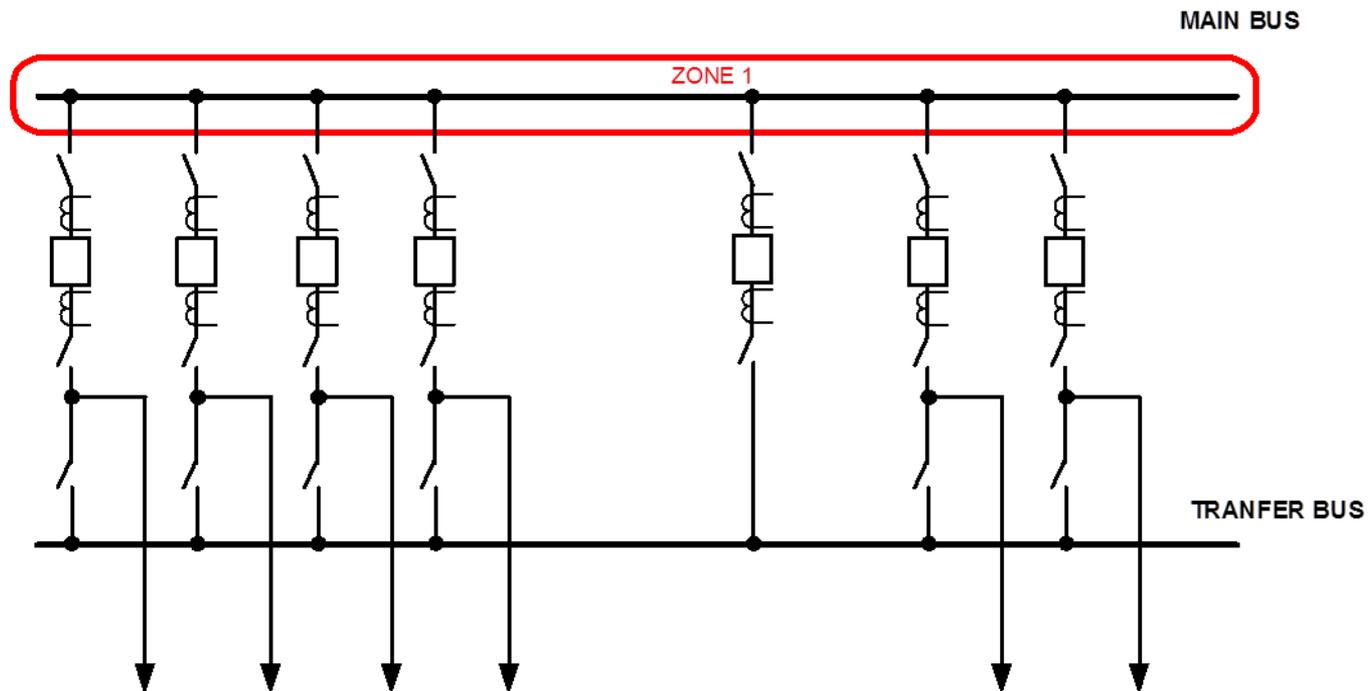
Barramento Duplo:

- Distribuição e transmissão;
- Continuidade e confiabilidade elevada;
- Manutenção do disjuntor sem remoção do circuito;
- Falha em uma barra não afeta os circuitos a ela conectados;
- Elevada complexidade e investimento.



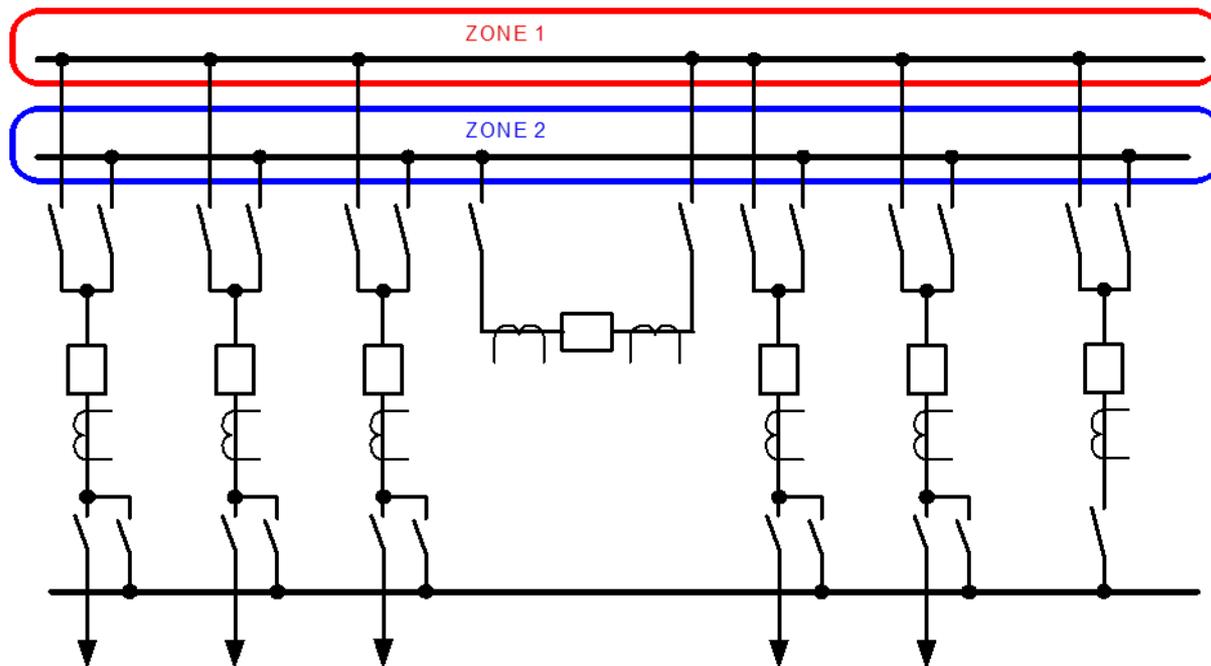
Barramento Principal e de Transferência:

- Aumenta flexibilidade operacional;
- Defeito no barramento principal obriga desligamento a SE;
- Transferência de barra para manutenção do disjuntor.



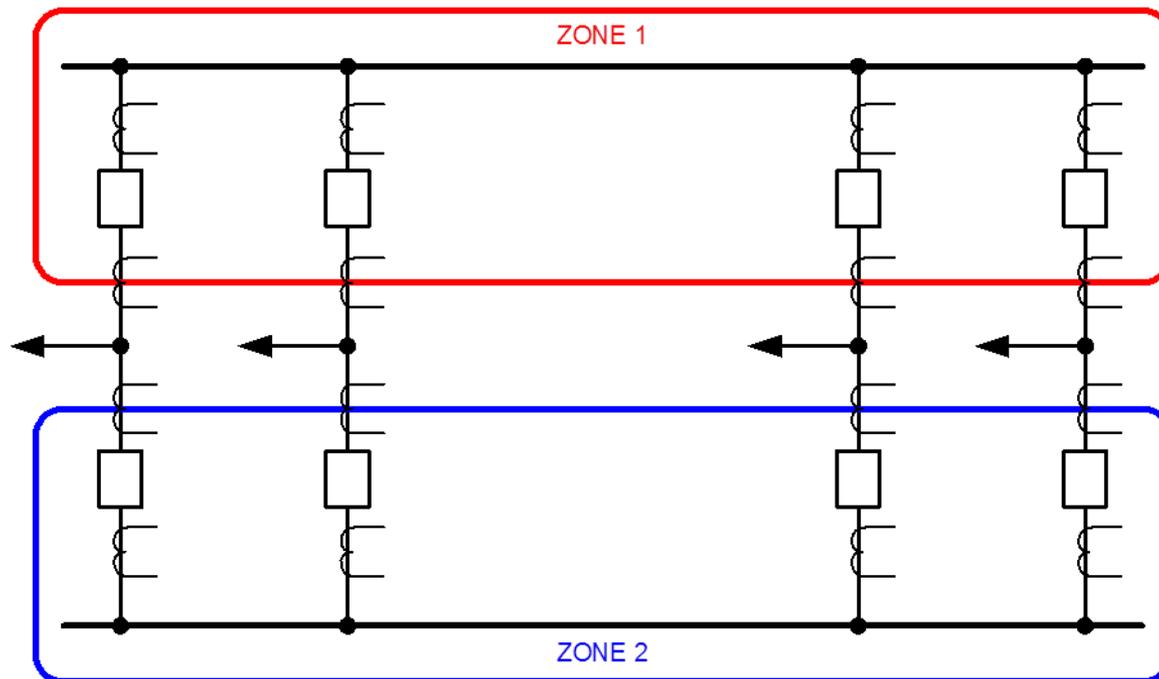
Barramento Duplo – disjuntor único com barra de transferência:

- Elevada flexibilidade operacional;
- Transferência de barra para manutenção do disjuntor.



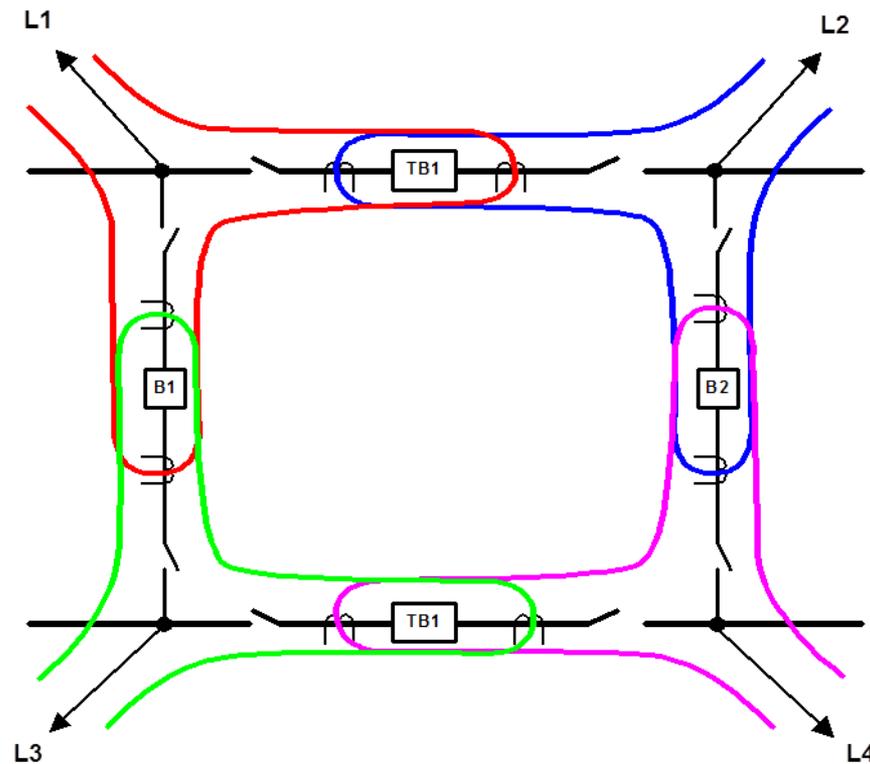
Barramento Duplo – disjuntor duplo:

- Elevada flexibilidade operacional;
- Protecção da linha cobre seção de barra entre dois TCs;
- Falha em uma barra não atrapalha fornecimento.



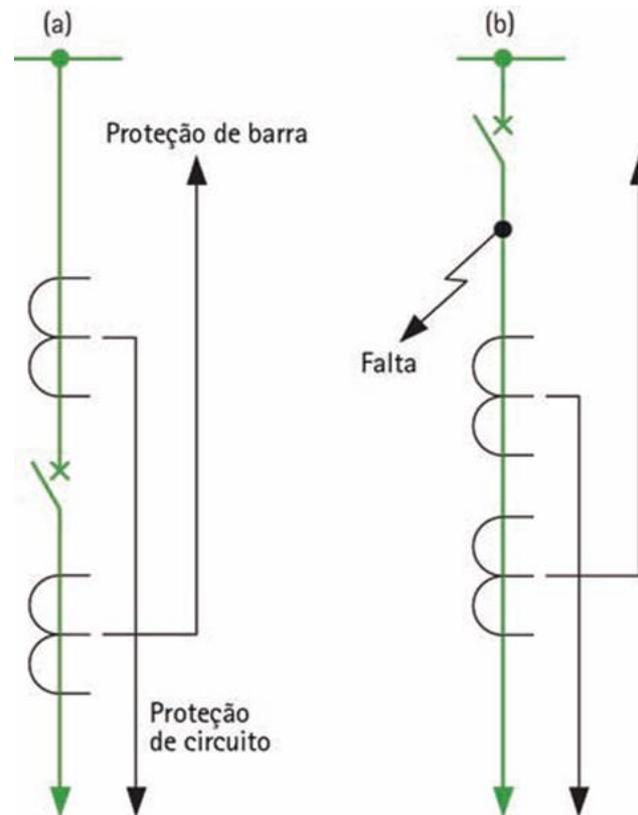
Barramento em Anel:

- Níveis de tensão mais elevados;
- Alta flexibilidade operacional com mínimo de disjuntores.



4. Localização de TCs

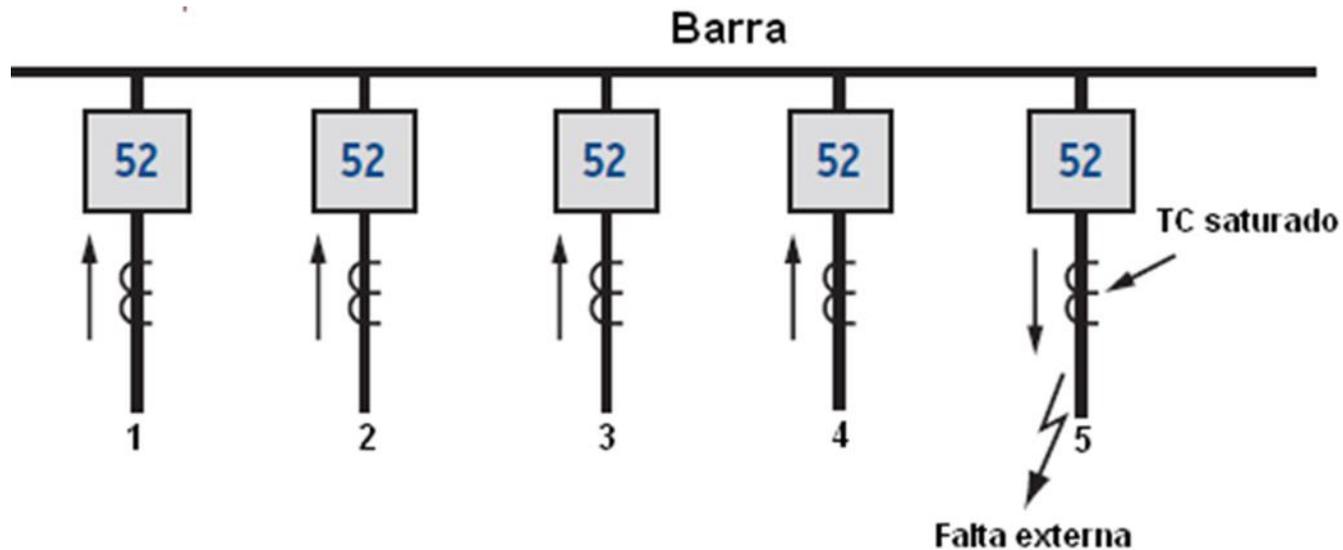
- Instalar TC's em cada lado do disjuntor.



5. Saturação de TCs

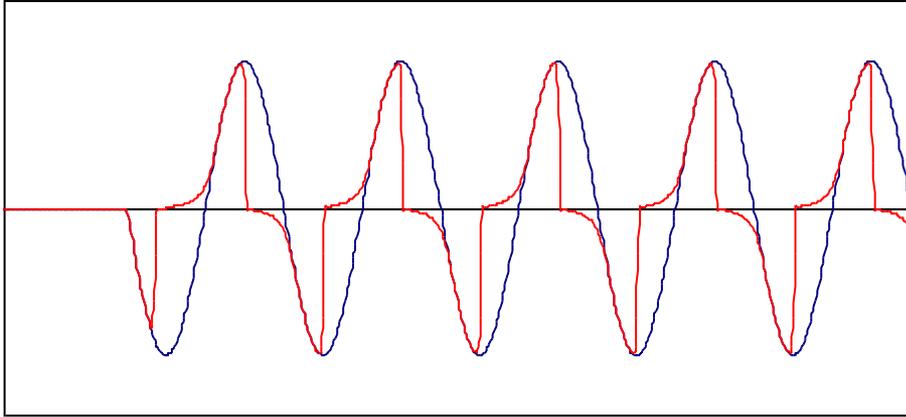
- A saturação de TC's depende de alguns fatores:
 - Características físicas (classificação, tamanho, resistência do enrolamento, tensão de saturação);
 - Conexão da carga ao secundário do TC (fios + de relés);
 - Magnitude da corrente primária, DC offset (X/R do sistema);
 - Fluxo residual no núcleo do TC.

- Duas Formas de Saturação:
 - Saturação por Corrente Contínua;
 - Saturação por Corrente Alternada.
- Por que acontece a saturação de um TC?

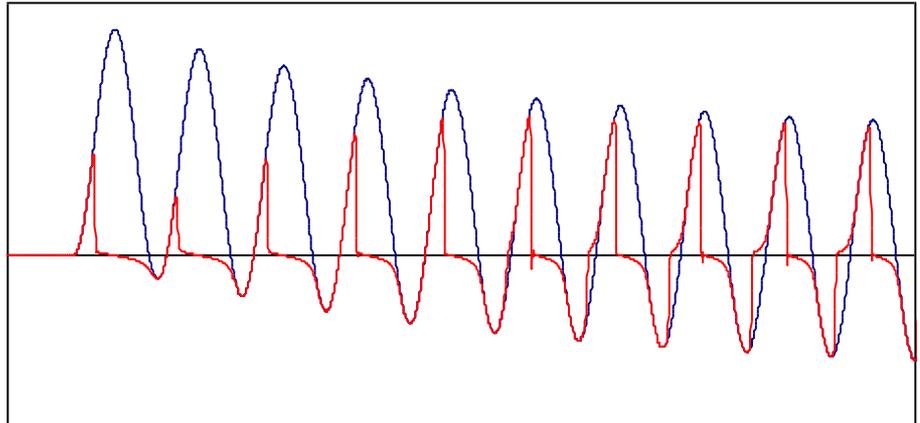


- Saturação por CC:

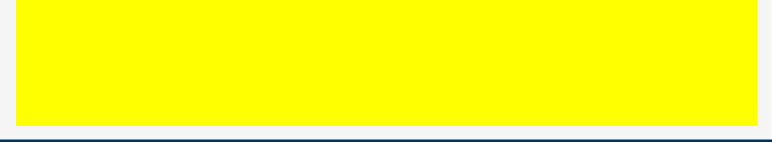
- Ocorre devido à correntes de faltas deslocadas – componente contínua;
- Corrente primária deslocada pode causar um crescimento da tensão secundária (V_s) muito rápido;
- Variação abrupta de V_s provoca crescimento rápido do φ e a saturação ocorre.



— Ratio Current — CT Current



— Ratio Current — CT Current



- Saturação por CC:

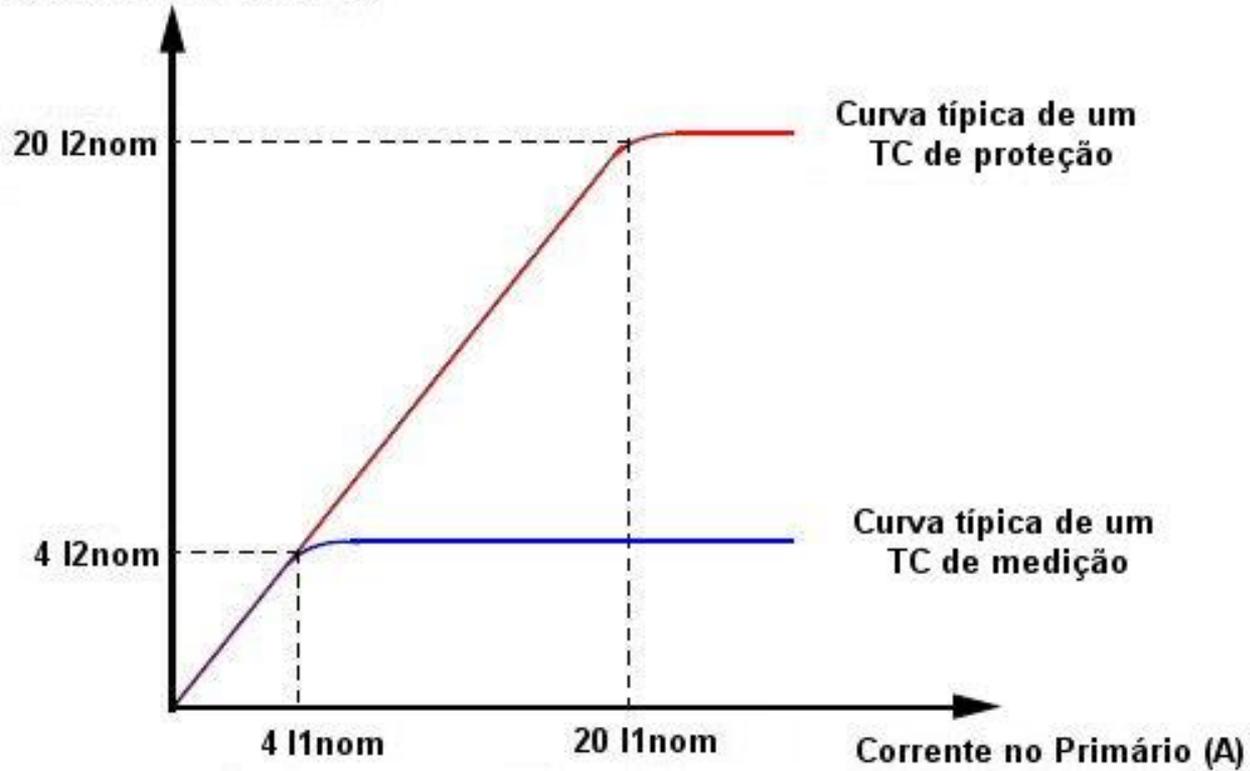
- Aumento da carga no secundário corrige o problema;
- Pode reduzir sensibilidade para correntes de faltas pequenas.



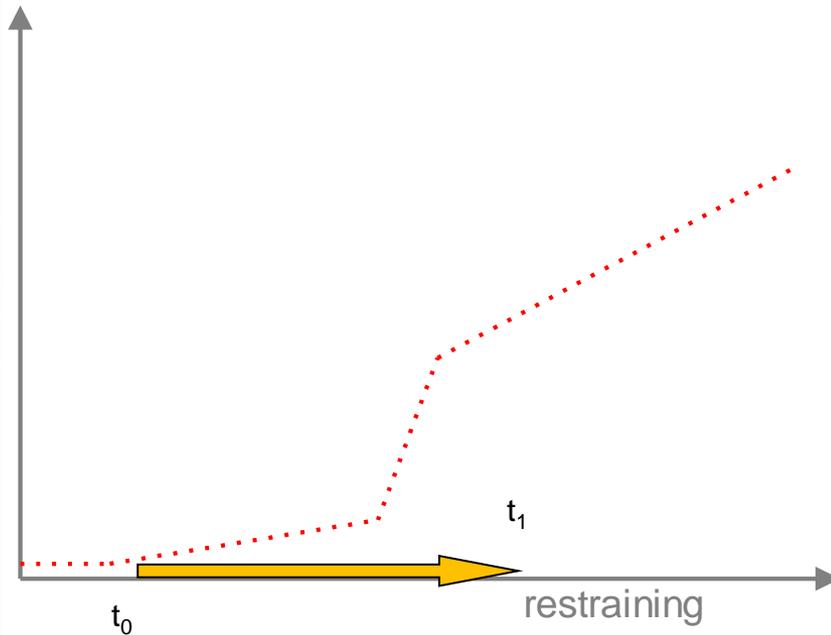
- Saturação por CA:

- Corrente primária senoidal;
- Corrente Secundária menor que primária e forma de onda distorcida;
- Se a carga no secundário for muito alta, produzirá uma tensão de saída elevada saturando o secundário.

Corrente no Secundário (A)



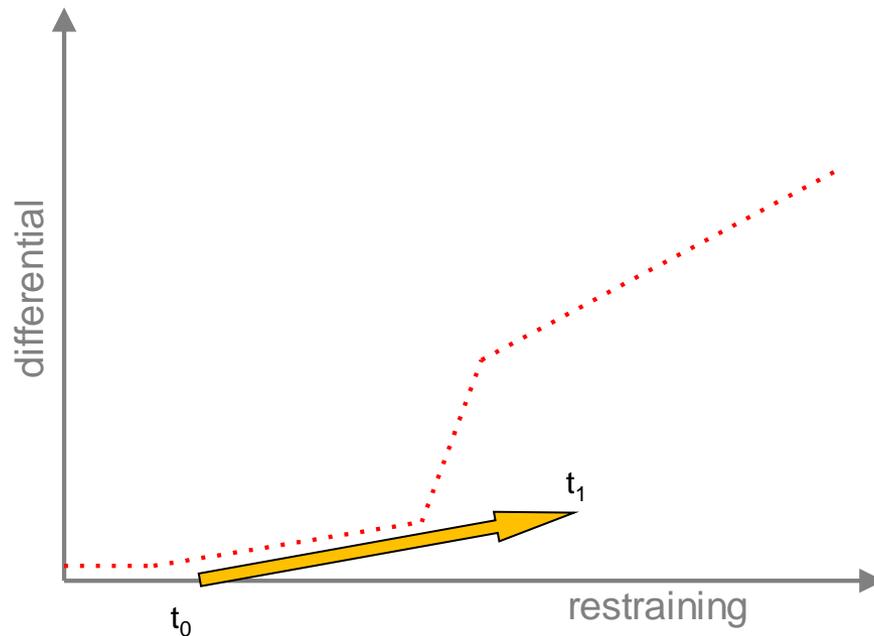
- Falta externa em TC's ideais



- Falta inicia-se em t_0
- A condição de regime da falta ocorre em t_1

TC's ideais não têm saturação ou erros de incompatibilidade, portanto, não produzem corrente diferencial.

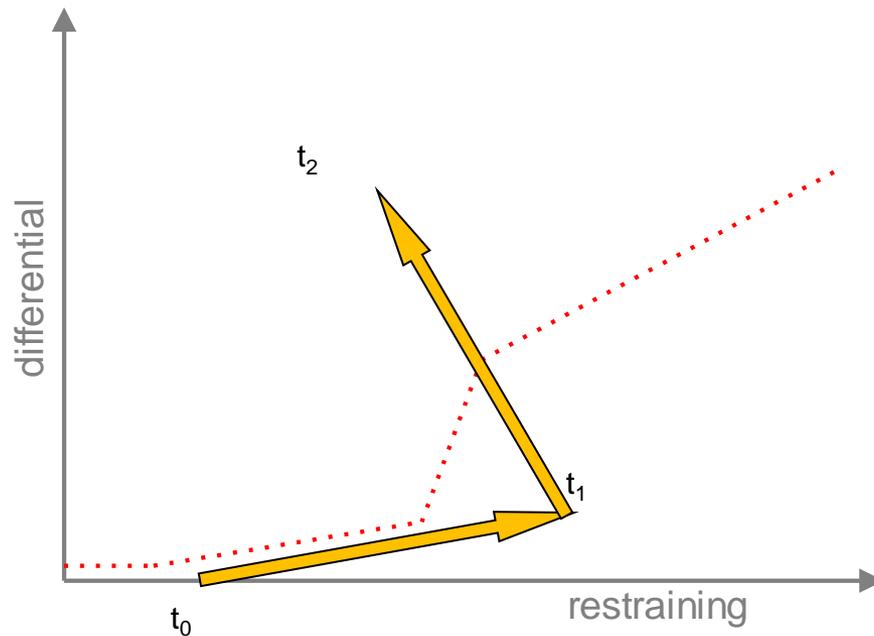
- Falta externa em TC's reais



- Falta inicia-se em t_0
- A condição de regime da falta ocorre em t_1

TC's reais introduzem erros, produzindo alguma corrente diferencial (sem saturação do TC).

- Falta externa em TC's reais



- Faltas começam em t_0 , Início da saturação do TC em t_1
- TC totalmente saturado em t_2

Saturação do TC traz elevação da corrente diferencial, levando o elemento diferencial a entrar na região de operação.

6. Requisitos de Proteção

- Altas correntes de curto nos barramentos, devido ao grande número de circuitos ligados:
 - Saturação do TC muitas vezes se torna um problema;
 - TCs podem não ser devidamente dimensionado para o pior caso;
 - Grandes forças dinâmicas associadas a falhas de barras exigem tempos rápidos, a fim de reduzir dano ao equipamento;

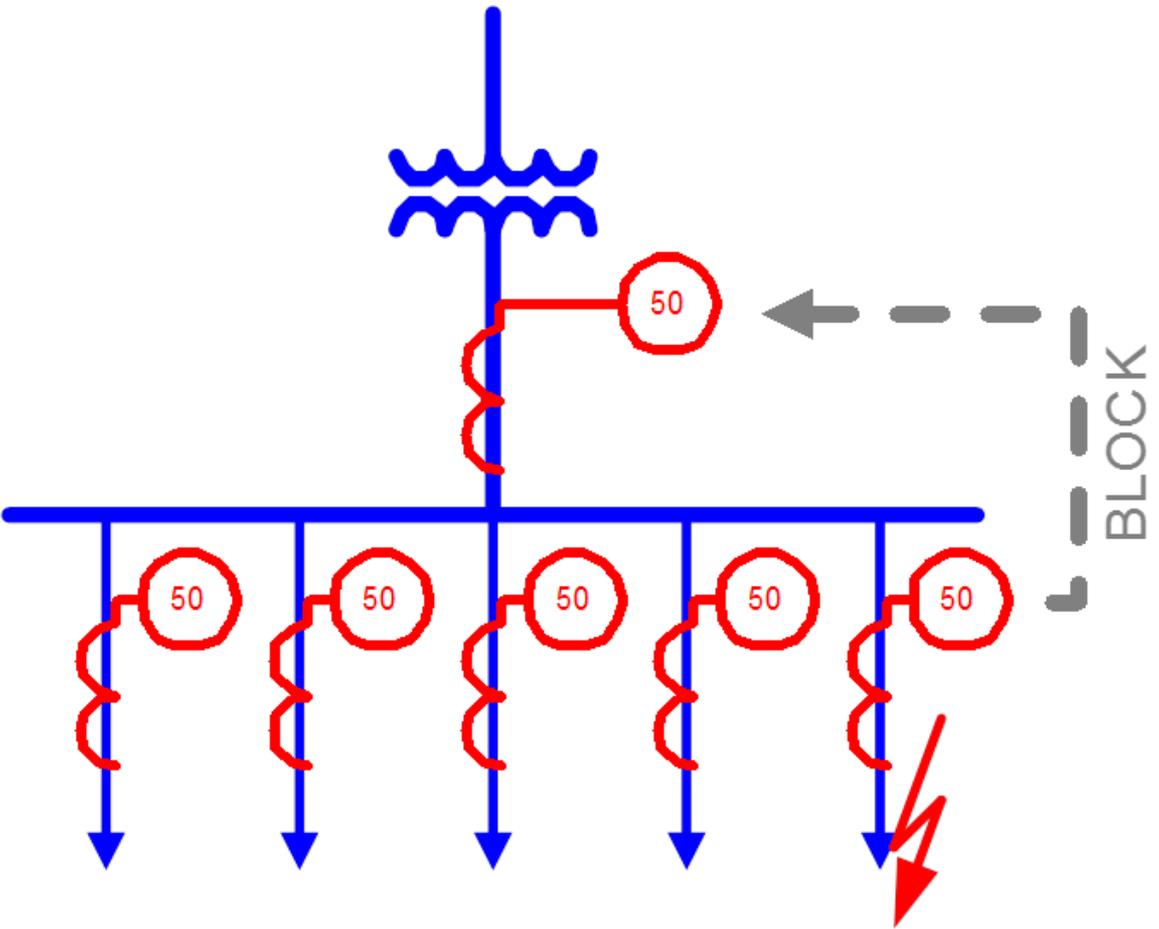
- Atuação em falso:
 - Interrupção do serviço para um grande número de circuitos (distribuição e transmissão);
 - Problemas de estabilidade (níveis de tensão de transmissão);
- Deve-se garantir a confiabilidade e segurança, porém a preferência é sempre dada à segurança.

7. Técnicas de Proteção de Barras

- Sistemas de inter-travamento;
- Diferencial de sobrecorrente ("irrestrito" ou "imparcial");
- Diferencial percentual ("restrito" ou "parcial");
- Acopladores lineares;
- Diferencial de alta impedância;
- Diferencial de baixa impedância.

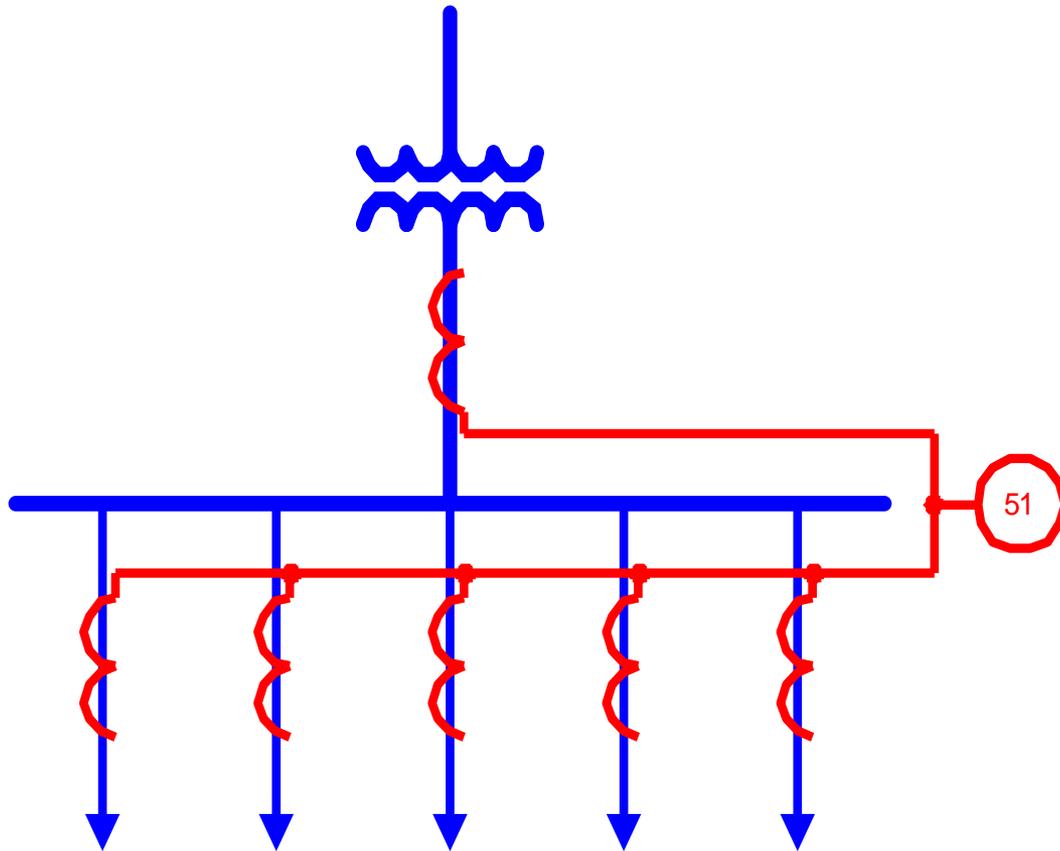
7.1 – Esquemas de inter-travamento

- Esquemas de bloqueio tipicamente usados;
- Tempo curto de coordenação necessário;
- Cuidados devem ser tomados com a possível saturação dos TCs;
- Bloqueio de sinal pode ser enviado através de portas de comunicação;
- Esta técnica é limitada a um sistema de barra simples contendo único alimentador de distribuição.



7.2 – Diferencial de sobrecorrente “irrestrito”

- Sinal diferencial formado pela soma de todas as correntes de alimentação do barramento;
- TCs devem ter mesma relação de transformação;
- Em falhas externas, TCs podem saturar e aparecer corrente diferencial;
- Atraso de tempo utilizado para lidar com a saturação do TC.



7.3 – Acopladores lineares

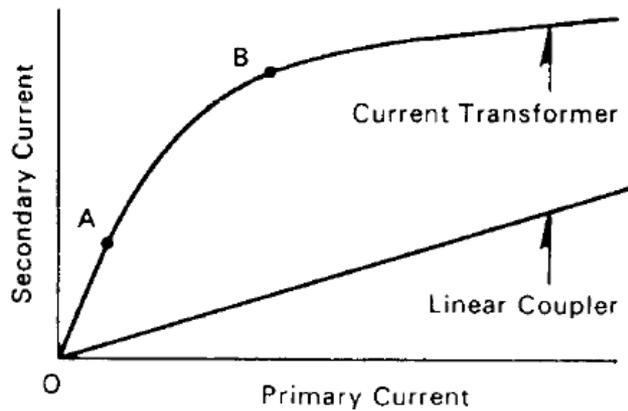
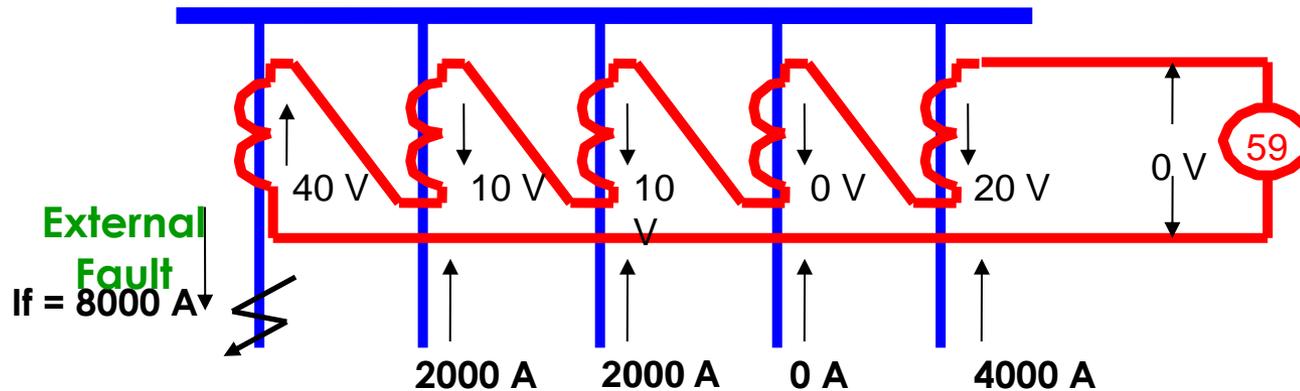


Fig. 33. Typical bushing type linear coupler.

$Z_C = 2 \Omega - 20 \Omega$ - typical coil impedance

(5V per 1000Amps => $0.005\Omega @ 60\text{Hz}$)



- TCs tipo barra;
- Secundário com muitas espiras – comporta-se como bobina de potencial;
- Desta forma, converte corrente em tensão;
- Aplicação é limitada devido à peculiaridade construtiva dos acopladores magnéticos.

$E_{sec} = I_{prim} * X_m$ - Tensão secundária nos terminais do relé

$I_R = \Sigma I_{prim} * X_m / (Z_R + \Sigma Z_C)$ - Corrente mínima de operação

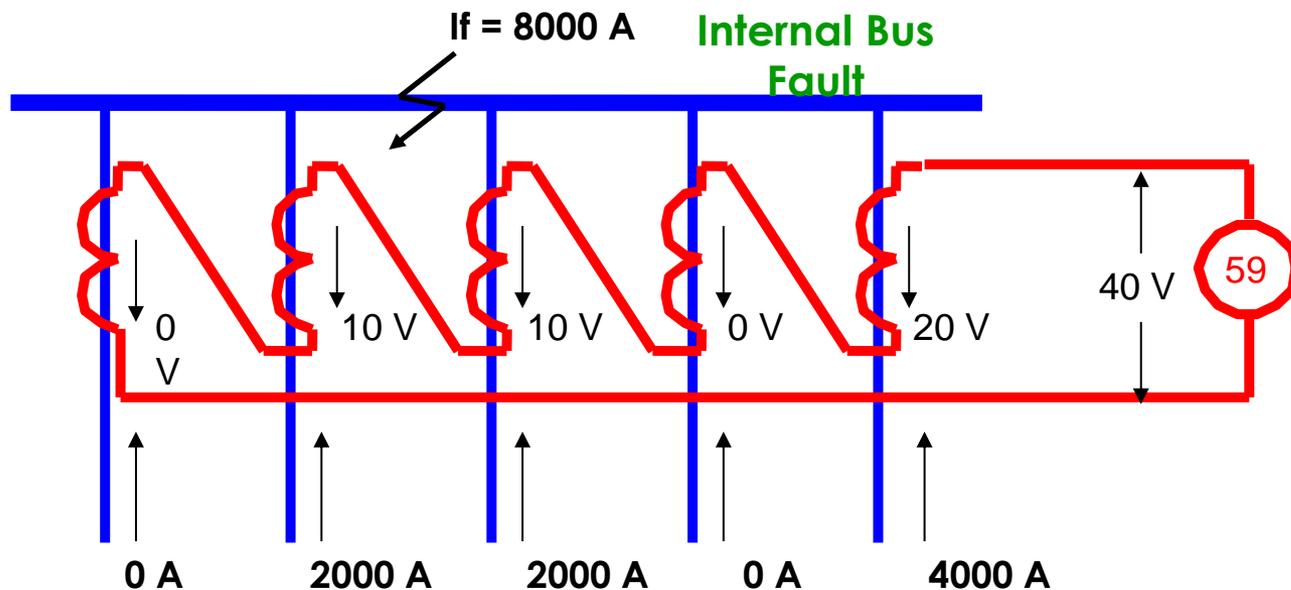
Onde,

I_{prim} - corrente primária de cada circuito

X_m - Reatância mútua do acoplador linear (5V por 1000Amps => 0.005Ω -60Hz)

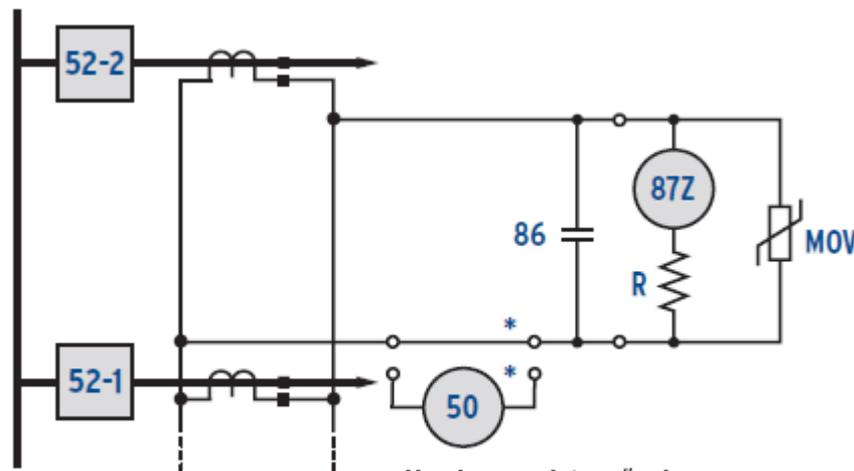
Z_R - Impedancia do tap do relé

ΣZ_C - soma de todas impedancias dos acopladores



7.4 – Proteção Diferencial de Alta Impedância

- A proteção diferencial de alta impedância oferece imunidade contra a operação indevida do relé em consequência da saturação do TC;
- Resistor de estabilização do circuito deve ter valor ADEQUADO.



* Usado para detecção de condição de falha de disjuntor

Requisitos da Proteção de Alta Impedância:

- Deve ser suficientemente alta para corrigir a saturação CC e suficientemente baixa para não causar saturação CA
- Deve-se restringir a carga no secundário do TC para que o valor de V_s não atinja a tensão do ponto de saturação CA.

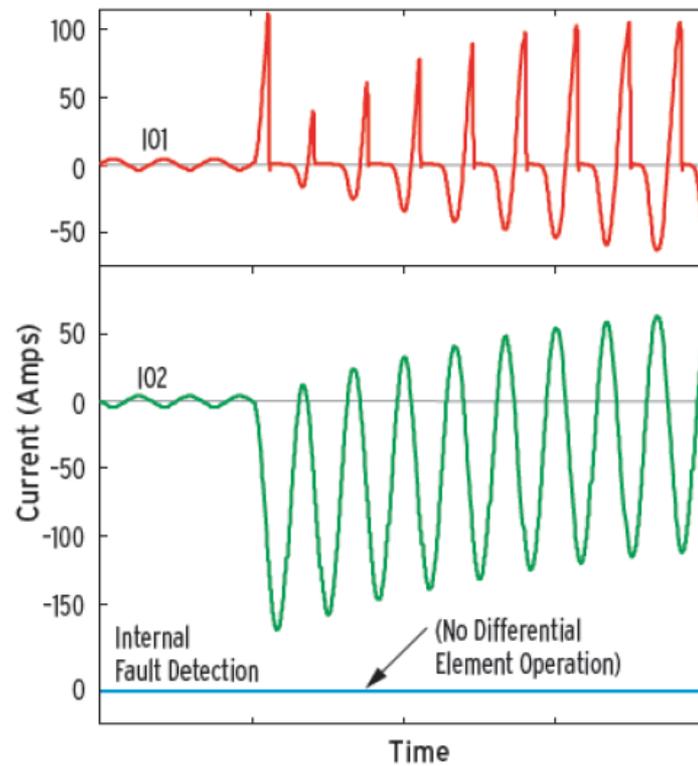
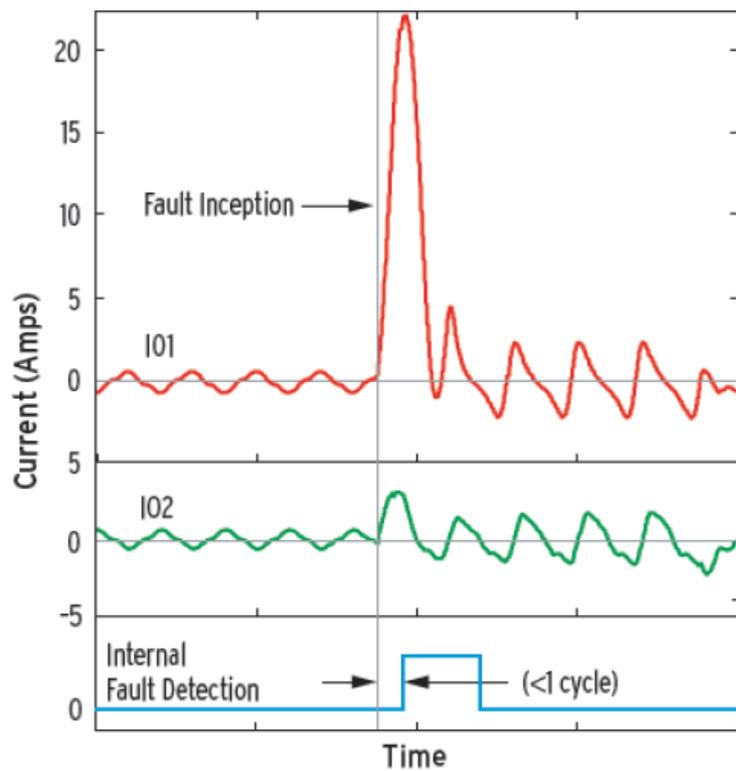
$$Z_B \leq \frac{V_S}{I_F \times \left(\frac{X}{R} + 1 \right)}$$

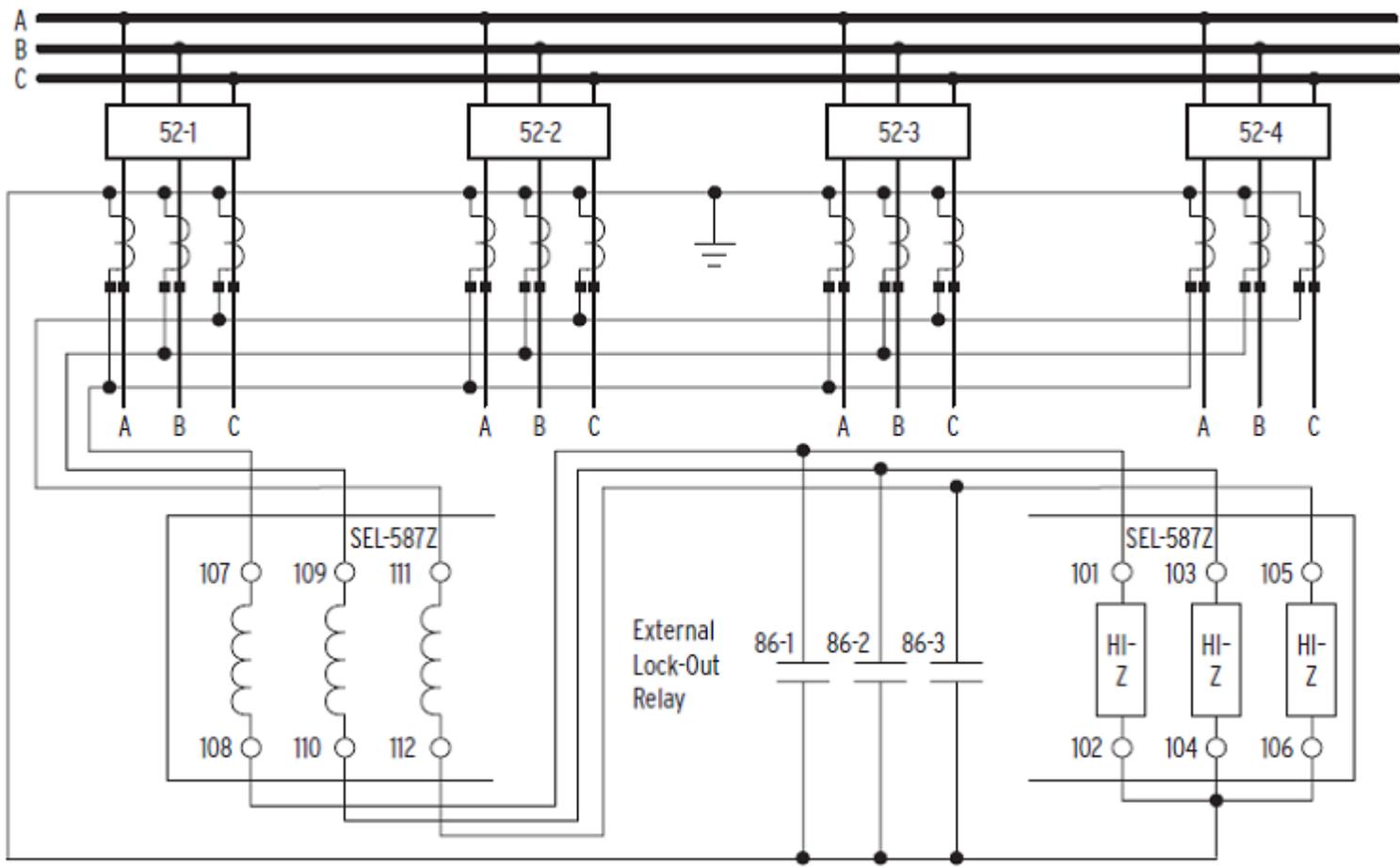
Onde:

- Z_B = Impedância de carga em ohms
- V_S = Classe de tensão do TC
- I_F = Corrente de falta máxima em amperes secundários
- X/R = Relação entre a reatância e resistência do circuito sob falta

Desempenho da Proteção de Alta Impedância

- Precisão depende da resistência do circuito secundário;
- Normalmente requer cabos maiores para reduzir os erros → custo mais elevado;
- Rápido e seguro;
- Pode ser aplicado em pequenos barramentos;
- Dependendo das correntes de falta internas e externas, alta impedância pode não fornecer as saídas adequadas para a sensibilidade e segurança.





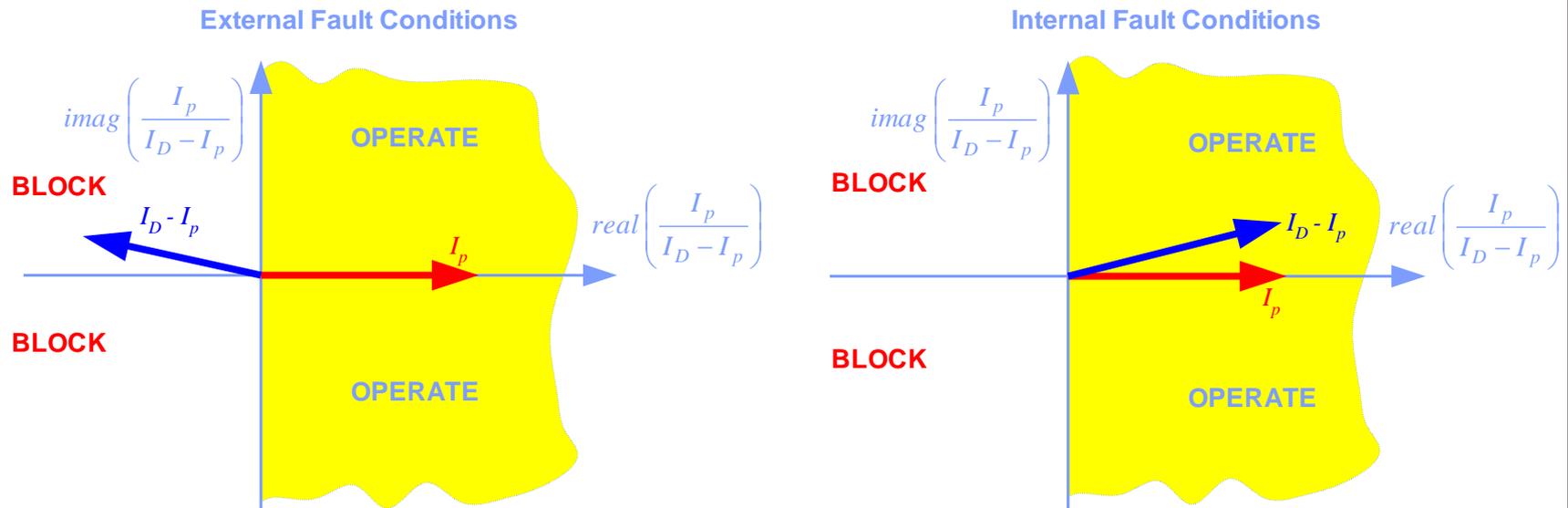
7.4 – Proteção Diferencial de Baixa Impedância

- Melhor exatidão pelo uso de pequeno resistor para estabilização de sinais;
- Característica percentual é usada para compensar a saturação do TC e outros erros;
- Característica de comparação de fase reduz risco de operação para faltas externas;
- Nenhum TC dedicado é necessário;

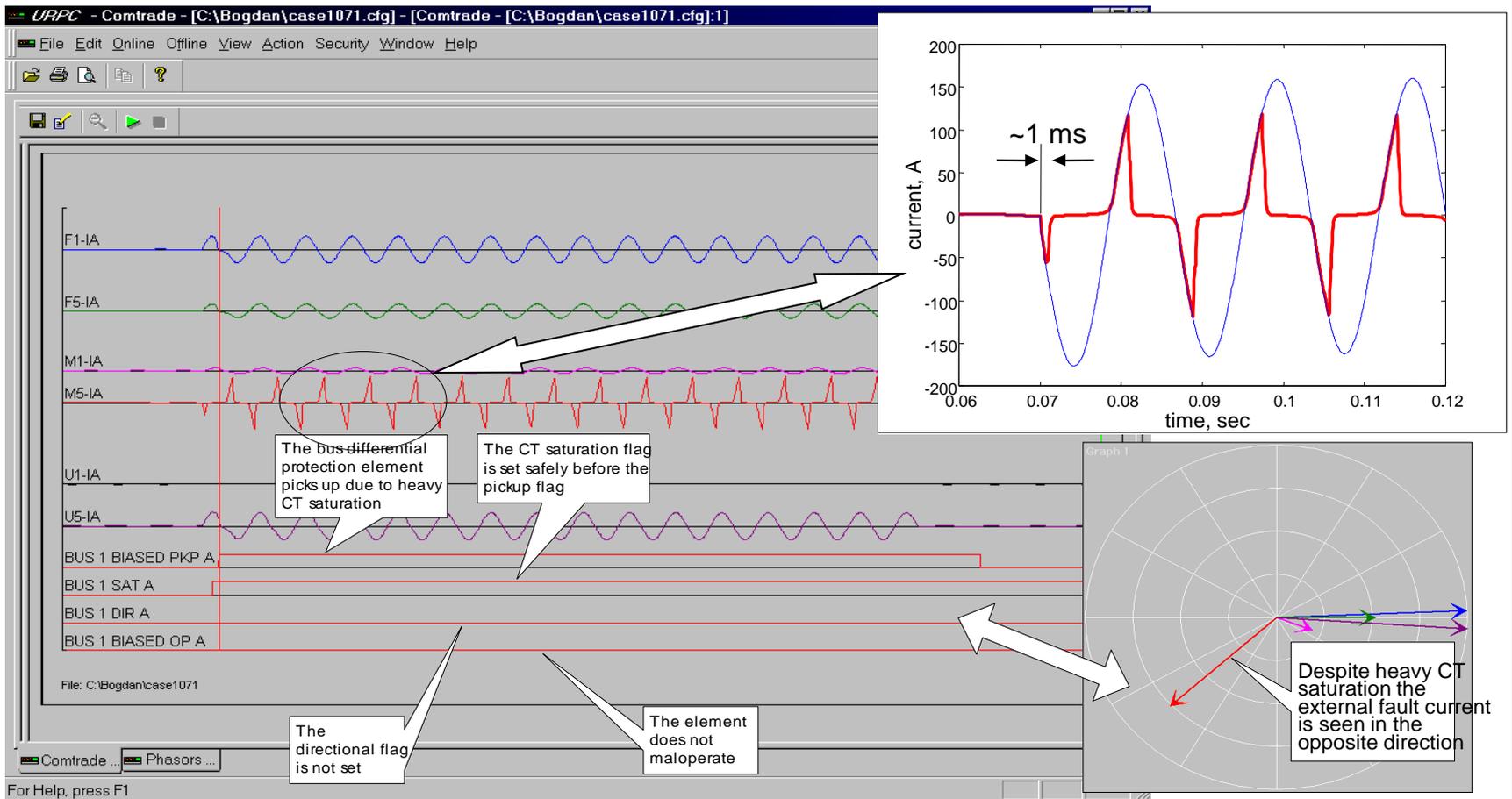
Característica de Comparação de Fase

- As correntes de carga ou de falta passantes nos extremos de um alimentador protegido estão com fases opostas enquanto que durante uma falta interna as correntes tendem a ficar em fase;
- Se a relação de fase das correntes passantes de falta for considerada como uma condição de referência, as faltas internas darão origem a uma defasagem de fase de aproximadamente 180° em relação à condição de referência.

Característica de Comparação de Fase



Característica de Comparação de Fase



Característica de Comparação de Fase

