



SEL354 Proteção de Sistemas de Energia Elétrica

## TÓPICOS

---

### A proteção de sistemas elétricos

- Introdução.
- Filosofias básicas da proteção.
- Proteção das linhas de transmissão, máquinas, transformadores e barramentos.
- Transformadores de potencial e de corrente.

## 2.1 Introdução aos sistemas de proteção

---

- ✓ Apanhado geral dos princípios operacionais dos relés em funcionamento atualmente.

Entrada {V e I fasoriais} → Saída {on-off - mudança de status}

- ✓ Razão principal desta revisão: ponto de referência para a proteção microprocessada.
- ✓ Muitas técnicas digitais utilizam dos mesmos princípios de maneira mais sofisticada.

### Histórico:

- ✓ Os primeiros relés eletromecânicos: robustos mecanicamente, imunes a EMI e lentos.
- ✓ Relés de estado sólido (final dos anos 50): componentes eletrônicos, não necessitavam de manutenção, mais flexíveis e com maior velocidade de atuação.
- ✓ Relés digitais
- ✓ Atualmente há uma combinação de eletromecânico + estado sólido + digital nos SEPs.

## 2.2 Função da proteção

---

- ✓ Proteger os SEPs dos efeitos danosos de uma falta.
- ✓ Atributos cada vez mais exigidos → crescimento, complexidade e interligamentos dos SEPs.

*Os relés de proteção devem provocar, sem delongas, o desligamento total do elemento defeituoso.*

### Prováveis causas dos defeitos:

- ✓ **Ar:** CC por aves, roedores, galhos de árvores, TCs, rigidez dielétrica afetada por frio ou calor.
- ✓ **Isoladores de porcelana** curto-circuitados ou rachados.
- ✓ **Isolação** de transformadores e geradores afetados pela umidade.
- ✓ **Envelhecimento e desgaste.**
- ✓ **Descargas atmosféricas.**
- ✓ **Surtos de chaveamento.**
- ✓ **Vandalismo ou danos intencionais.**

## 2.2 Função da proteção

---

### Efeitos indesejáveis dos CC:

- ✓ Redução da margem de **estabilidade** do sistema.
- ✓ **Danos** aos equipamentos próximos a falta.
- ✓ **Explosões**.
- ✓ **Efeito cascata** (ou efeito dominó) que podem estar associados a erros de operação (operação inadequada de equipamentos ou manobras incorretas).

## Quadros Estatísticos dos defeitos



Quadro I - Levantamento estatístico ocorrido na *Central Electricity Generating Board* – Inglaterra

EQUIPAMENTO	DEFEITO (%)
Linhas aéreas	31,3
Proteção	18,7
Transformadores	13,0
Cabos	12,0
Seccionadores	11,7
Geradores	8,0
Diversos	2,1
TC's e TP's	1,8
Equipamento de controle	1,4

# Quadros Estatísticos dos defeitos

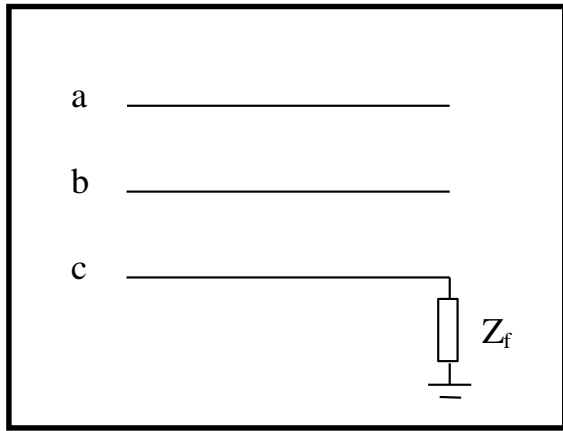
↳ Quadro II – Levantamento dos tipos de faltas sobre linhas de transmissão fornecido pela *Boneville Power Association (BPA)* e *Swedish State Power Board (1951 – 1975)*

Tipo dos defeitos	BPA 500KV	SSPB	
		400 KV	200 KV
Fase - Terra	93%	70%	56%
Fase - Fase	4%	23%	27%
Fase – Fase - Terra	2%	} 7%	} 17%
Trifásico	1%		

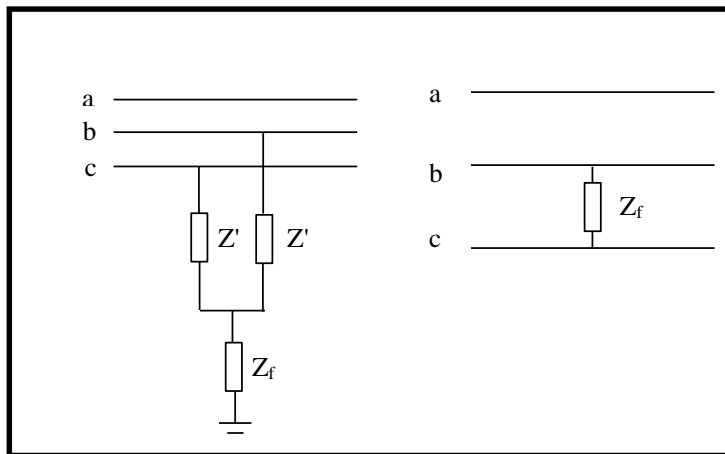
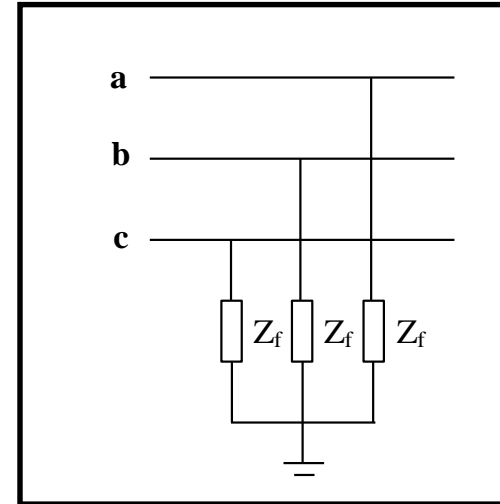
Os níveis de tensão AC:

- Transmissão – 138kV-765kV  
(230kV; 345kV; 440kV, 500kV)
- Subtransmissão: 34,5kV; 69kV; 88kV; 138kV
- Distribuição: 13,8 kV

# Curto-Circuitos Simétricos e Assimétricos



↪ Curto-circuito fase-terra



↪ Curto-circuito entre duas fases

↪ Curto-circuito metálico (ou sólido,  $R_f=0$ ), simétrico (ou equilibrado) nas três fases.

A capacidade de transmissão é reduzida a zero.



# Curtos Circuitos Simétricos e Assimétricos

Tipo de Falta	
A - terra	assimétrica
B - terra	assimétrica
C - terra	assimétrica
AB	assimétrica
BC	assimétrica
CA	assimétrica
AB - terra	assimétrica
BC - terra	assimétrica
CA - terra	assimétrica
ABC	simétrica

# Defeitos e Curto Circuito

---



# Defeitos e Curto Circuito

---

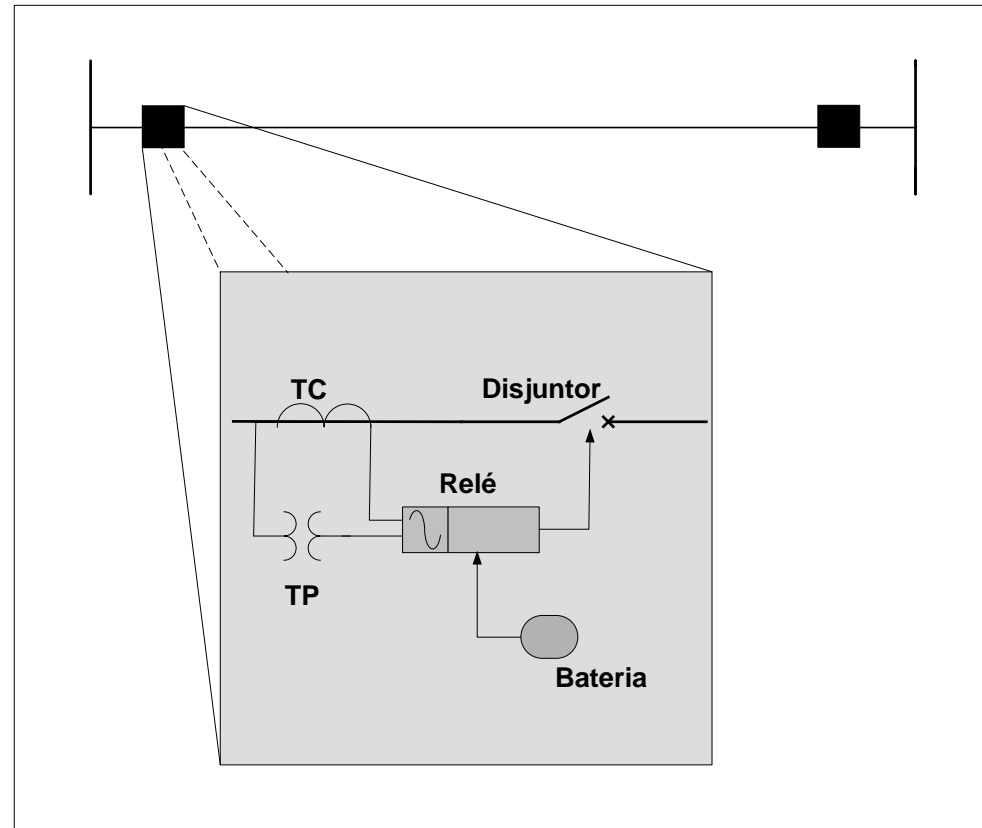


# Subsistemas do sistema de proteção

✓ **Circuito Disjuntor:** isola o circuito faltoso interrompendo uma corrente quando esta está próxima de zero. É operado por um disparador energizado pela bateria, que por sua vez, é comandada pelo relé.

✓ **Transdutores:** TPs e TCs – reduzem a magnitude da  $V$  e  $I$  (dentro de certos limites, reproduzem fielmente os valores observados).

✓ **Relés:** são os elementos lógicos do sistema de proteção. Normalmente respondem a  $V$  e  $I$  acusando a abertura ou não dos disjuntores.



✓ **Bateria:** fonte reserva do sistema (tem que ser independente do sistema a ser protegido).

# Características funcionais dos relés

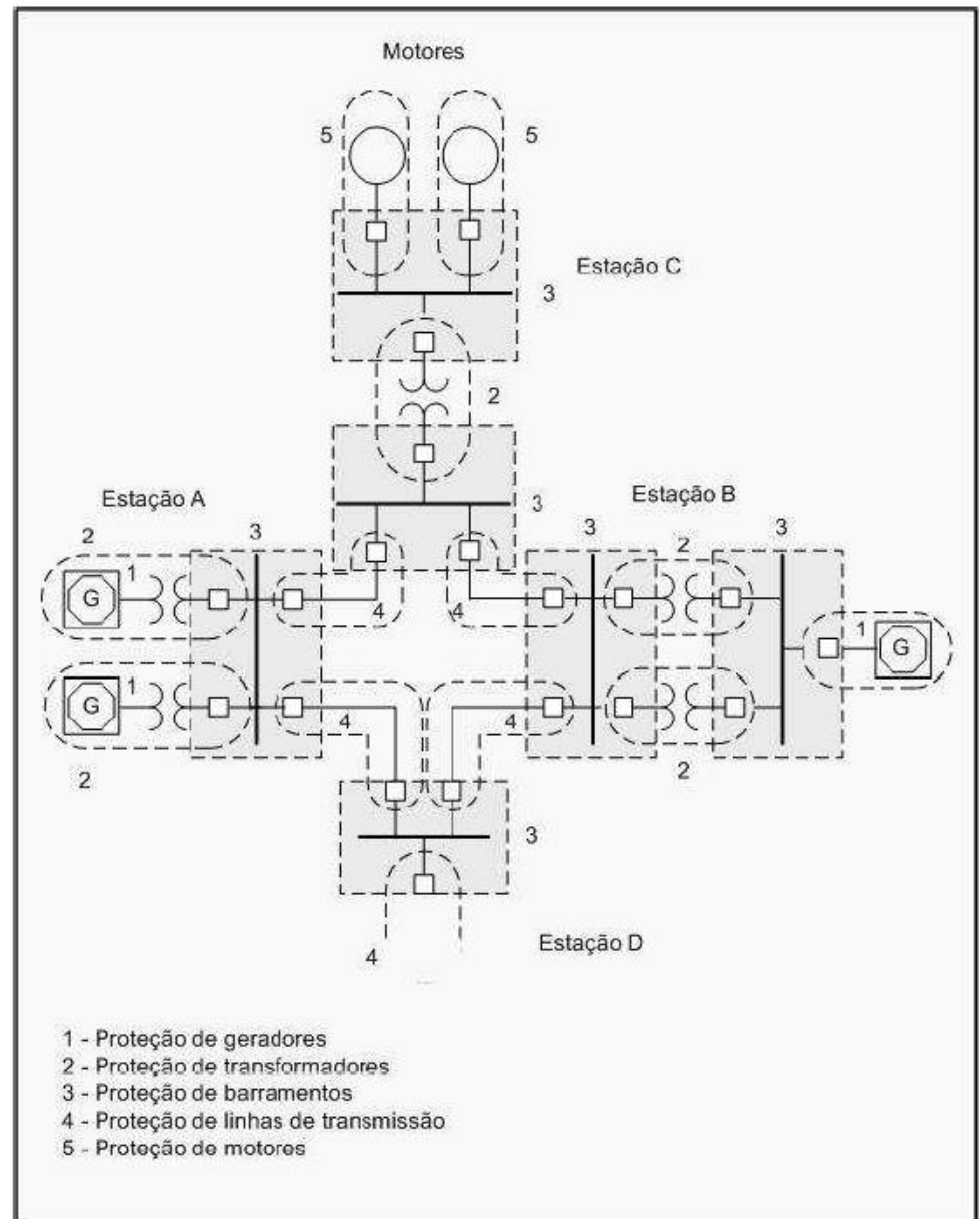
---

Os relés devem possuir as seguintes características funcionais:

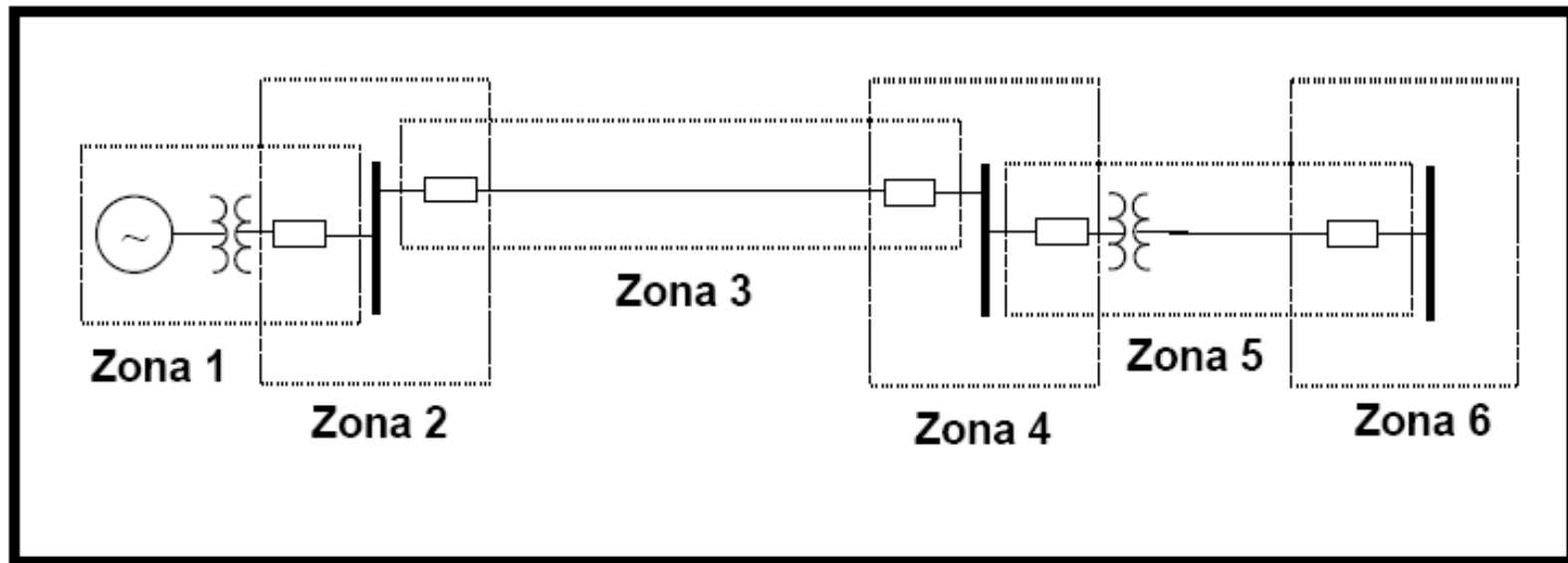
- ✓ **Sensibilidade:** capacidade da proteção em responder às anormalidades nas condições de operação e CC a qual foi projetada, retirando de operação apenas a parte do sistema que se encontra sob falta, deixando o resto do sistema operando normalmente.
- ✓ **Seletividade:** isolar completamente o elemento defeituoso e desligar a menor porção possível do sistema, operando os disjuntores adequados a ele associados.
- ✓ **Velocidade de atuação:** minimiza o vulto dos defeitos e risco de instabilidade. É o tempo entre a incidência da falta e o comando de abertura do disjuntor dado pelo relé.
- ✓ **Confiabilidade:** probabilidade de um componente, um equipamento ou um sistema satisfazer uma função prevista, sob dadas circunstâncias e evitar operação desnecessária durante a operação normal do sistema ou na presença de faltas fora de sua zona de proteção.

# Zonas de Proteção

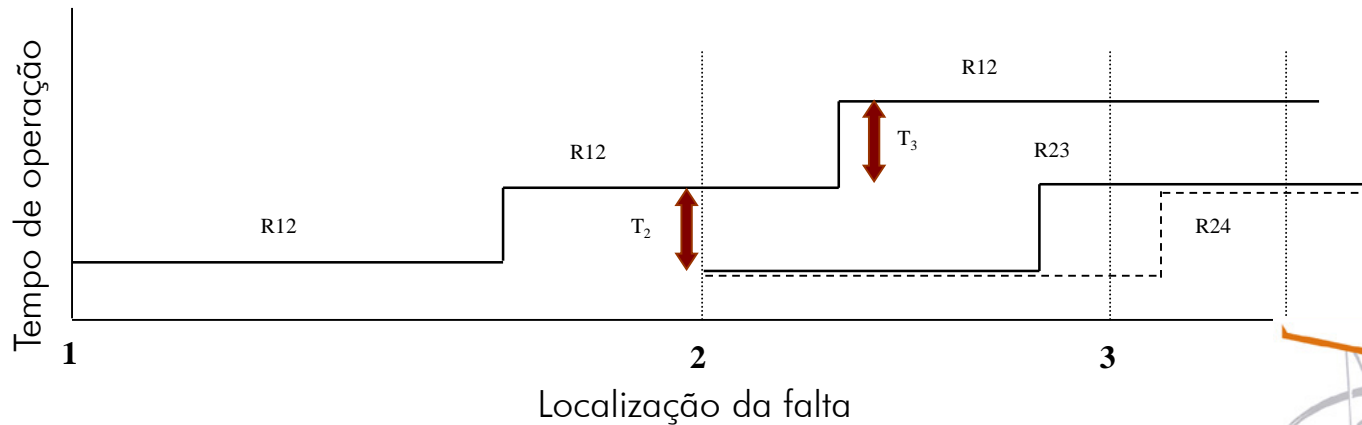
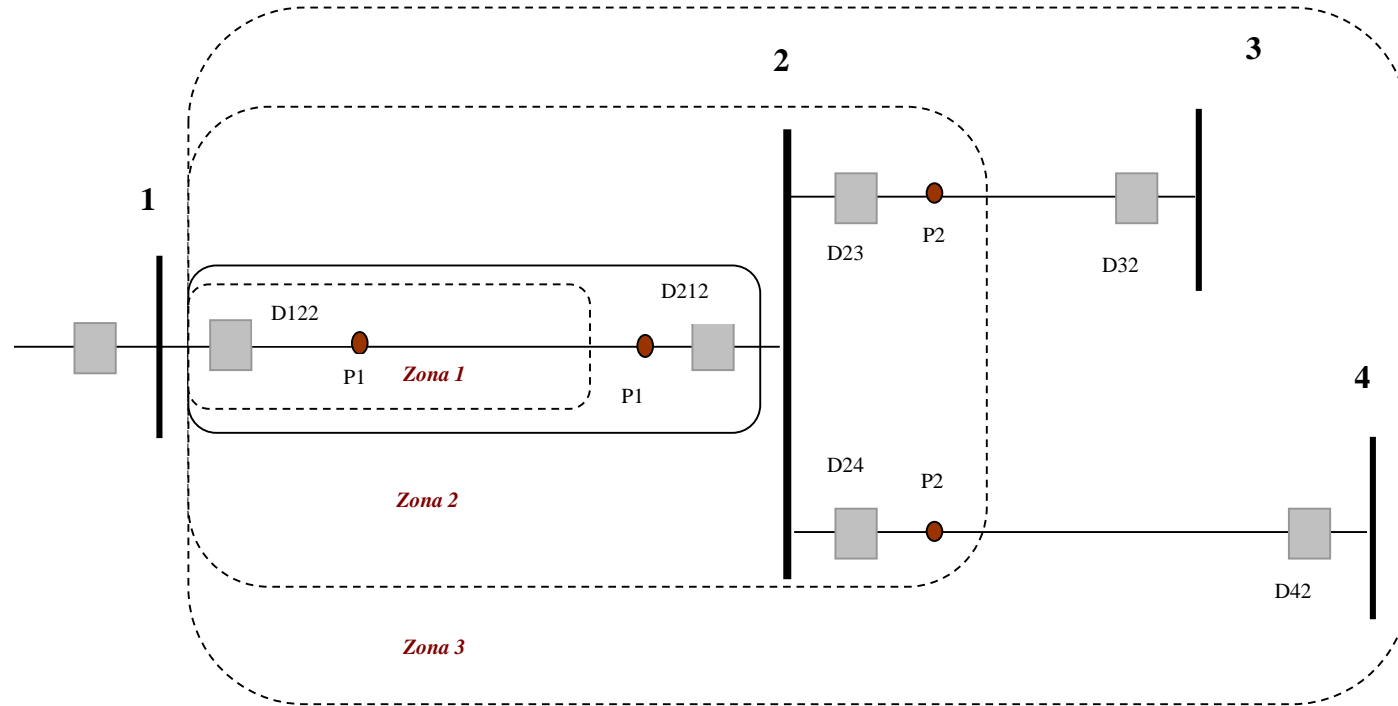
A responsabilidade de proteção de uma porção dos SEPs é definida por uma linha pontilhada limite chamada zona de proteção.



# Zonas de Proteção



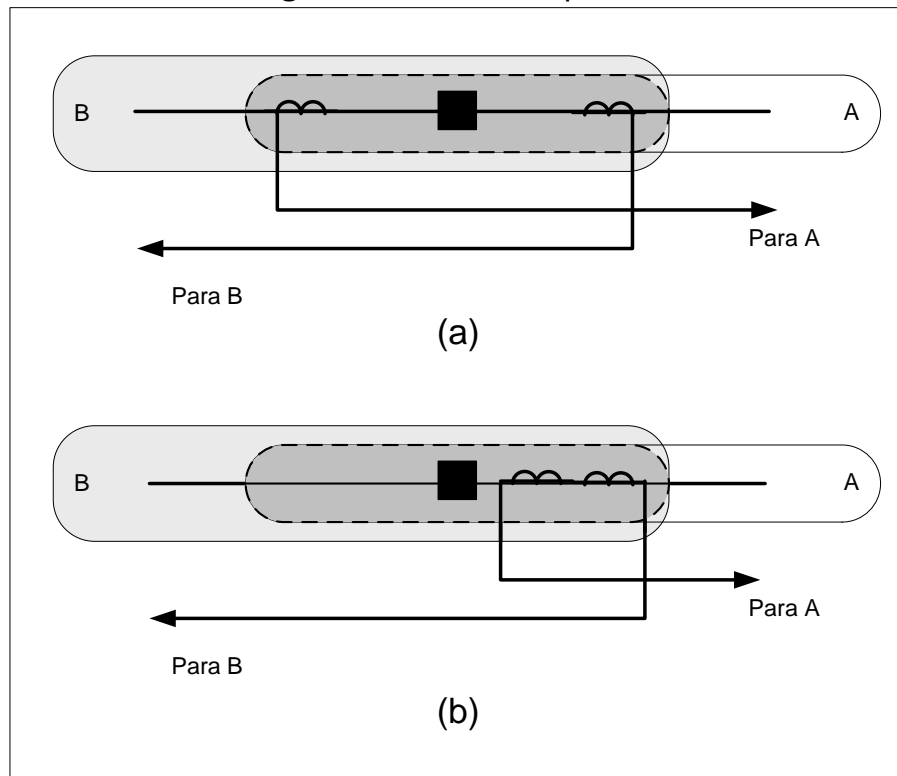
# Zonas de Proteção





# Zonas de Proteção

- ✓ O sistema de proteção: responsável pelas faltas ocorrendo dentro das zonas.
- ✓ Os disjuntores isolam o defeito respeitando a zona que a falta incide.
- ✓ As **zonas primárias** são definidas pelos disjuntores.
- ✓ **Importante:** as zonas de proteção se interpõem – para garantir que nenhuma porção do sistema seja deixada sem proteção primária de alta velocidade (eliminação de pontos cegos). É desejável manter esta região a menor possível.

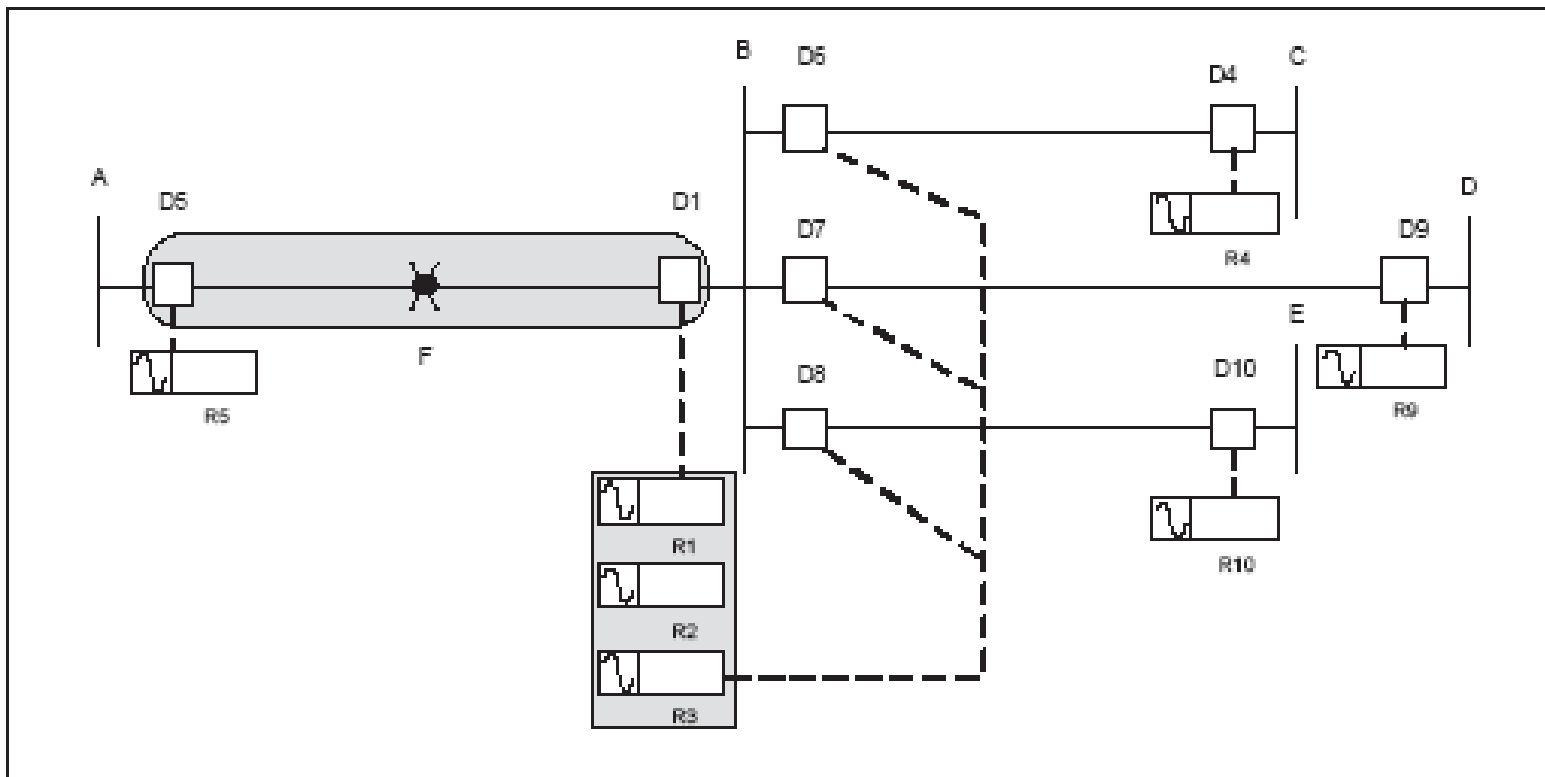


# Zonas de Proteção

Deve ser ressaltada a exigência da proteção de retaguarda caso a principal não funcione:

## Opções:

- ✓ **Duplicação** de alguns elementos do sistema como secundário do TC, disparador do circuito disjuntor, etc.
- ✓ Função de proteção de **Retaguarda Remota e Local** (retardo de tempo de coordenação).

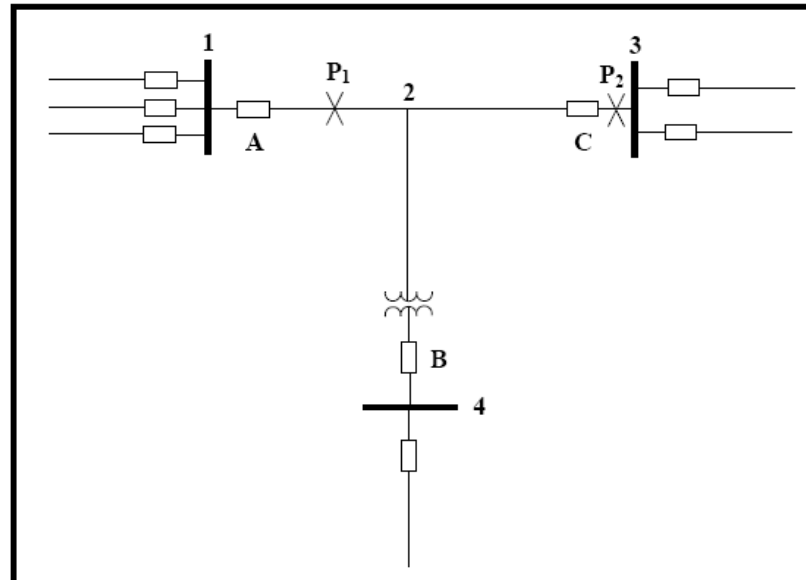


Circuito primário duplicado, proteção local e proteção de retaguarda.

# Zonas de Proteção

↗ Exemplo:

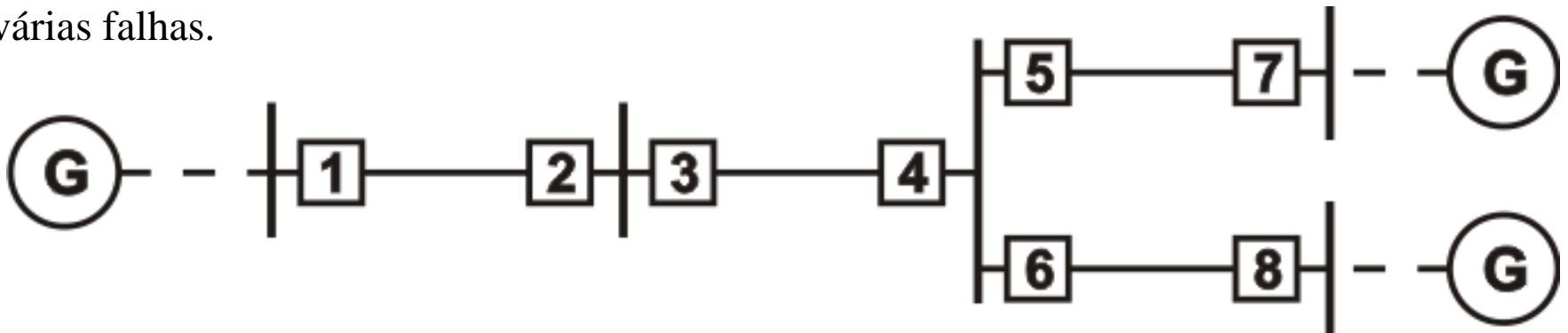
- a) Consideremos o sistema de potência mostrado na figura abaixo com fontes geradoras além das barras 1, 3 e 4. Quais são as zonas de proteção nas quais este sistema poderia ser dividido? Que disjuntores operariam para falhas em  $P_1$  e em  $P_2$ ?
- b) Se forem adicionados três disjuntores no ponto 2, como seriam modificadas as zonas de proteção?



## Exercício 1

O SEP mostrado abaixo contém esquemas de proteção principal e de retaguarda. Em cada um dos casos indicados, ocorreu um curto-circuito e certos disjuntores foram abertos conforme o esperado. Suponhamos que a abertura desses disjuntores foi correta de acordo com as circunstâncias. Onde ocorreu o curto-circuito? Houve alguma falha da proteção, incluindo os disjuntores e, em caso afirmativo, o que falhou? Assumir que só uma falha ocorreu por vez. Traçar um esboço mostrando a sobreposição de zonas de proteção primária e as localizações exatas das várias falhas.

Caso	Disjuntores Abertos
a	4,5,8
b	3,7,8
c	3,4,5,6
d	1,4,5,6
e	4,5,7,8
f	4,5,6



# Classificação dos relés

---

Princípios fundamentais dos principais tipos de relés:

- ✓ **Relés de Magnitude:** respondem as mudanças em magnitude; relés de sobrecorrente.
- ✓ **Relés Direcionais:** respondem ao ângulo de fase entre duas entradas AC: V e I ou  $I_1$  e  $I_2$ .
- ✓ **Relés de Distância:** respondem a razão de dois fasores de entrada – número complexo.

Exemplo: Relé de impedância.

- ✓ **Relés diferenciais:** respondem a soma algébrica de correntes entrando em uma zona de proteção.

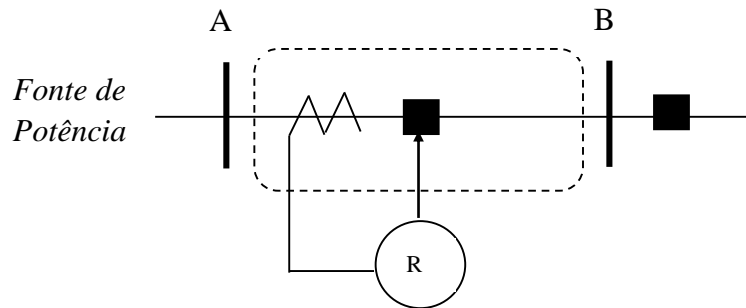
Exemplo: Transformadores.

- ✓ **Relés com Fio Piloto:** utiliza comunicação da informação da localização remota como sinais de entrada.

## 2.3 Proteção de Linhas de Transmissão

Relés de sobrecorrente: respondem a amplitude de sua corrente.

- ✓ Pode ser usado para proteger qualquer elemento do sistema: LT, trafos, geradores, etc.
- ✓ Para um sistema radial:

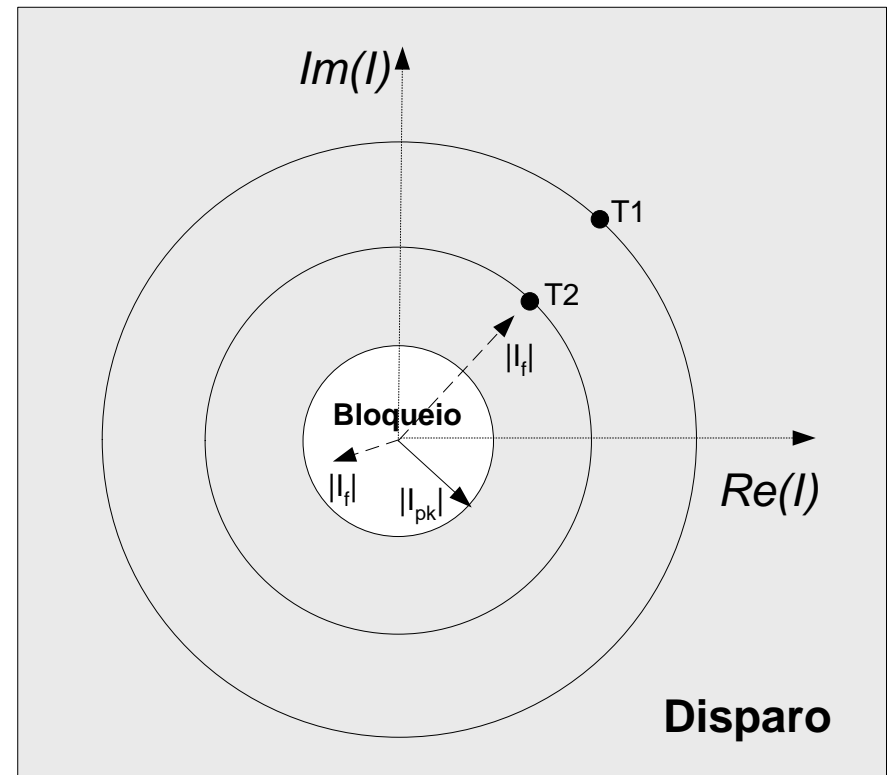


Descrição funcional:  $|I_f| > |I_p|$  *disparo*

Onde:  $|I_f| < |I_p|$  *bloqueio*

$I_p$  – corrente do enrolamento secundário do TC previamente definida (*pickup*)

$I_f$  – corrente da falta



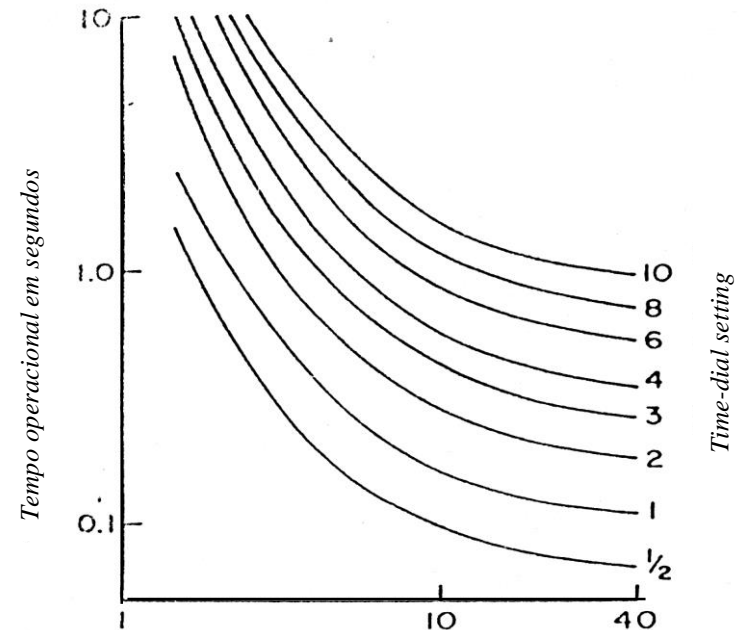
# Ajuste do relé

Há normalmente dois tipos de ajustes:

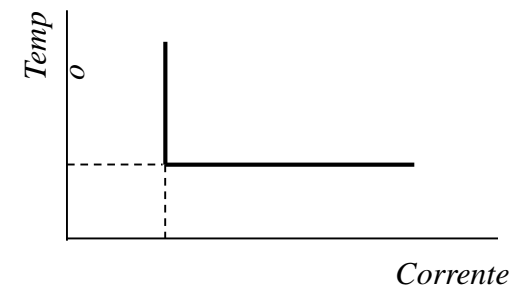
- Ajuste de corrente:  $|I_p|$  através de *tapes* do enrolamento de atuação.
- Ajuste de tempo: característica no tempo pode ser deslocada ( $\frac{1}{2}$  atuação + rápida, 10 + lenta).

✓ Frequentemente é desejável se obter o tempo operacional dependente da magnitude da corrente: característica inversa, muito inversa, extremamente inversa.

✓ A escolha da característica vai depender da aplicação.



a. Temporizado: característica de tempo inversa

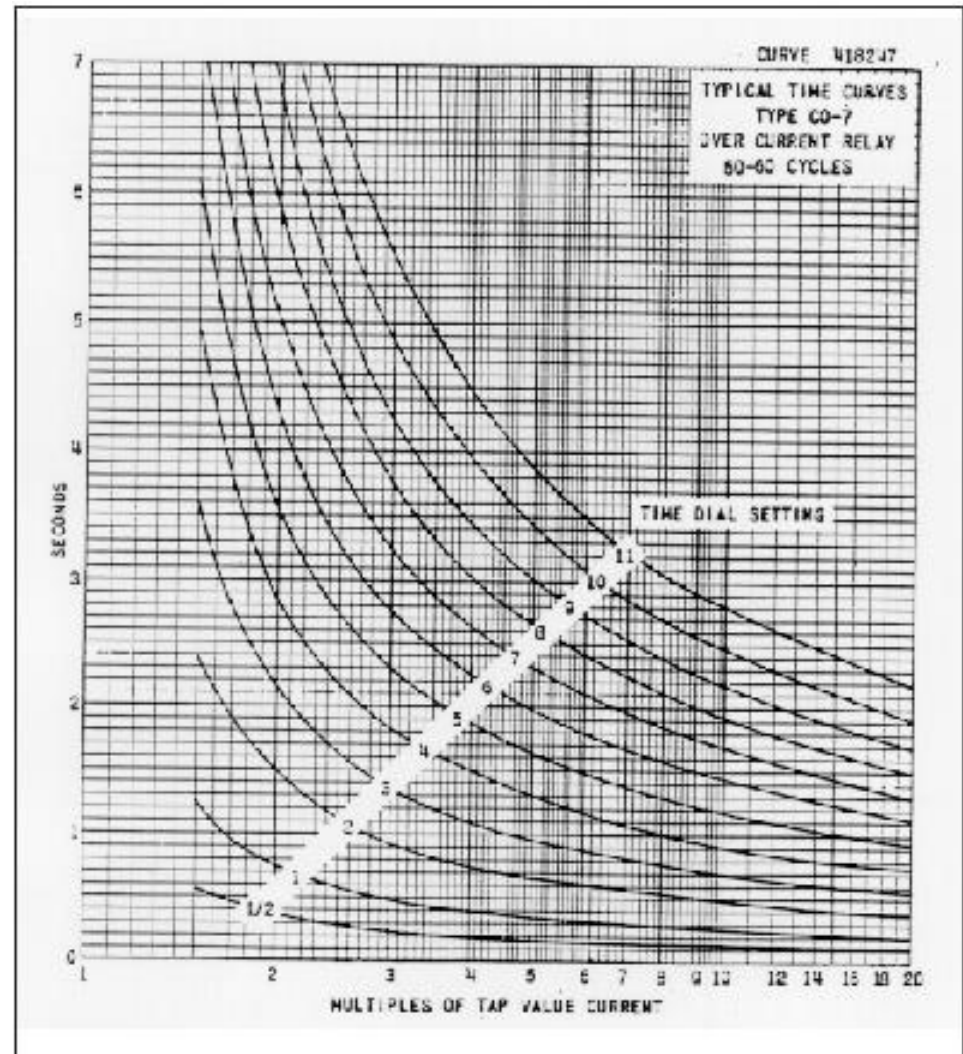


b. Instantâneo

# Ajuste do Relé:

Curva de tempo-inverso típica de um relé de sobre-corrente comercial.

Um defeito de 6000 A é detectado por um relé de sobrecorrente, com característica de operação mostrada ao lado, através de um TC de relação 1000/5 A. Se o relé está ajustado no tap 8A e dispositivo de tempo DT=4, qual o tempo de atuação do relé sobre o respectivo disjuntor?



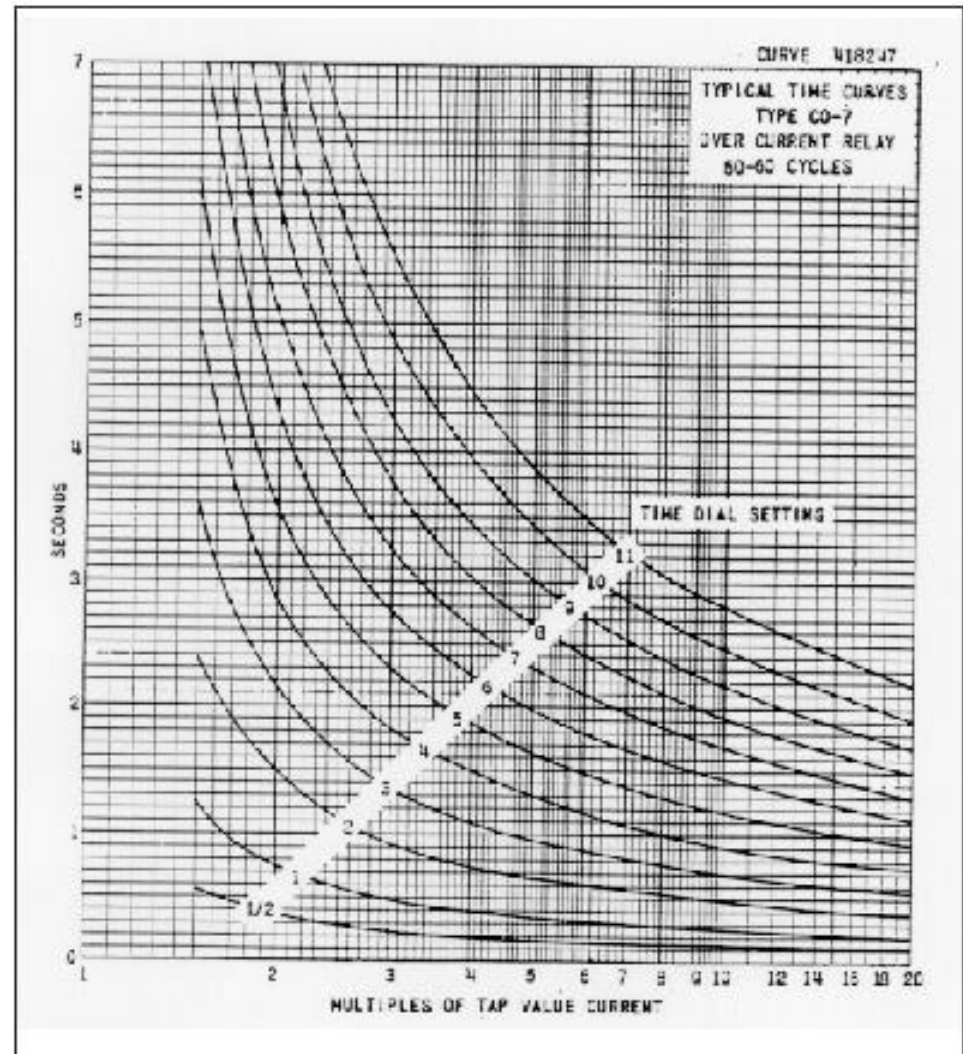


# Ajuste do Relé:

Curva de tempo-inverso típica de um relé de sobre-corrente comercial.

Um defeito de 6000 A é detectado por um relé de sobrecorrente, com característica de operação mostrada ao lado, através de um TC de relação 1000/5 A. Se o relé está ajustado no tap 8A e dispositivo de tempo DT=4, qual o tempo de atuação do relé sobre o respectivo disjuntor?

$$1000/5 \longrightarrow 30/8 = 3.75 \longrightarrow 1.7 \text{ s}$$



# Ajuste do Relé para o Sistema Radial:

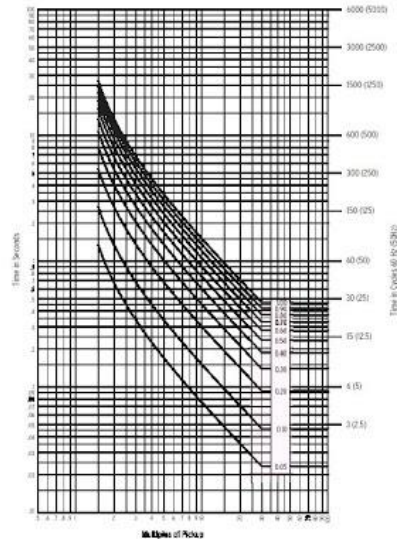
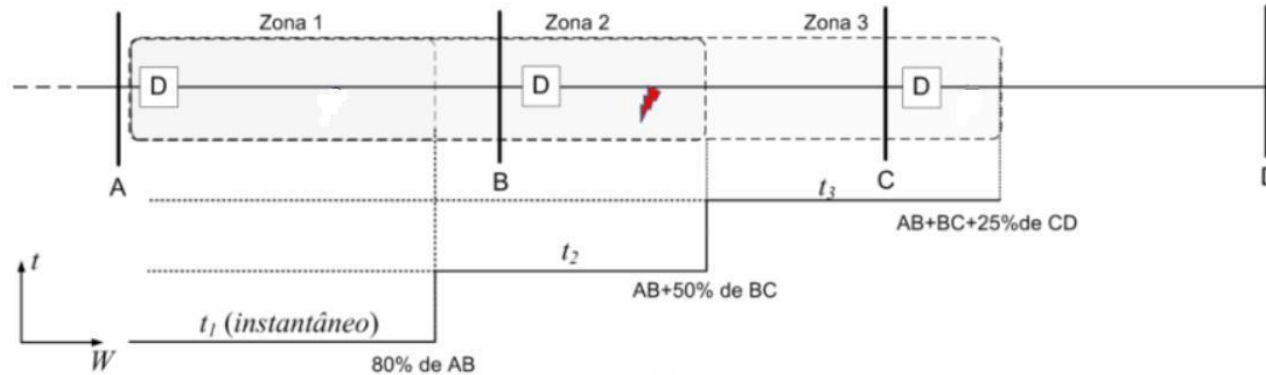


Figure 1.47 IEC Very Inverse-C2.

# Relé de Sobrecorrente

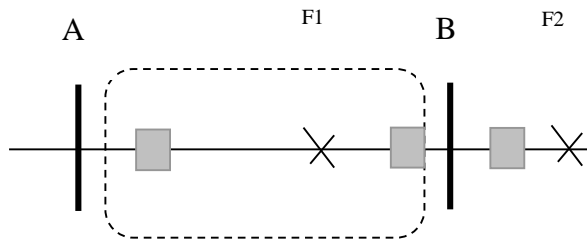


A proteção contra sobrecorrente SIPROTEC 7SJ86 foi projetada especificamente para a proteção de alimentadores e linhas em sistemas de média (até 35 kV) e alta tensão (138-765 kV). Foi projetada especificamente como proteção de *backup* ou de emergência para os dispositivos de proteção de linha.

**SIEMENS**

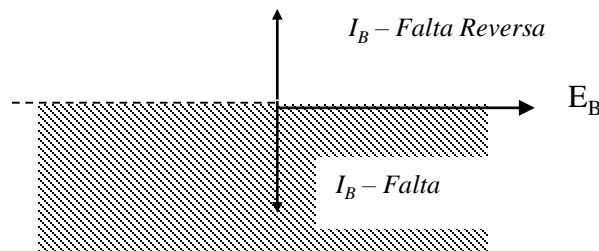
# Relés direcionais

Quando o sistema é **não radial**, o relé de sobrecorrente pode não prover uma proteção adequada.



Sistema loop → há fonte geradora em ambos os lados

Descrição funcional: 
$$\begin{cases} -\pi \leq \Theta \leq 0 & \text{opera} \\ 0 \geq \Theta \geq \pi & \text{bloqueia} \end{cases}$$



✓ Dependendo da fonte, a corrente fluindo para a falha F1 (vista pelo relé B) pode ser menor em módulo do que a fluindo para a falha F2.

✓ No entanto, para faltas em F1, o sentido da corrente de falta vista por B inverte.

✓ O relé direcional dará melhor proteção que o de sobrecorrente.

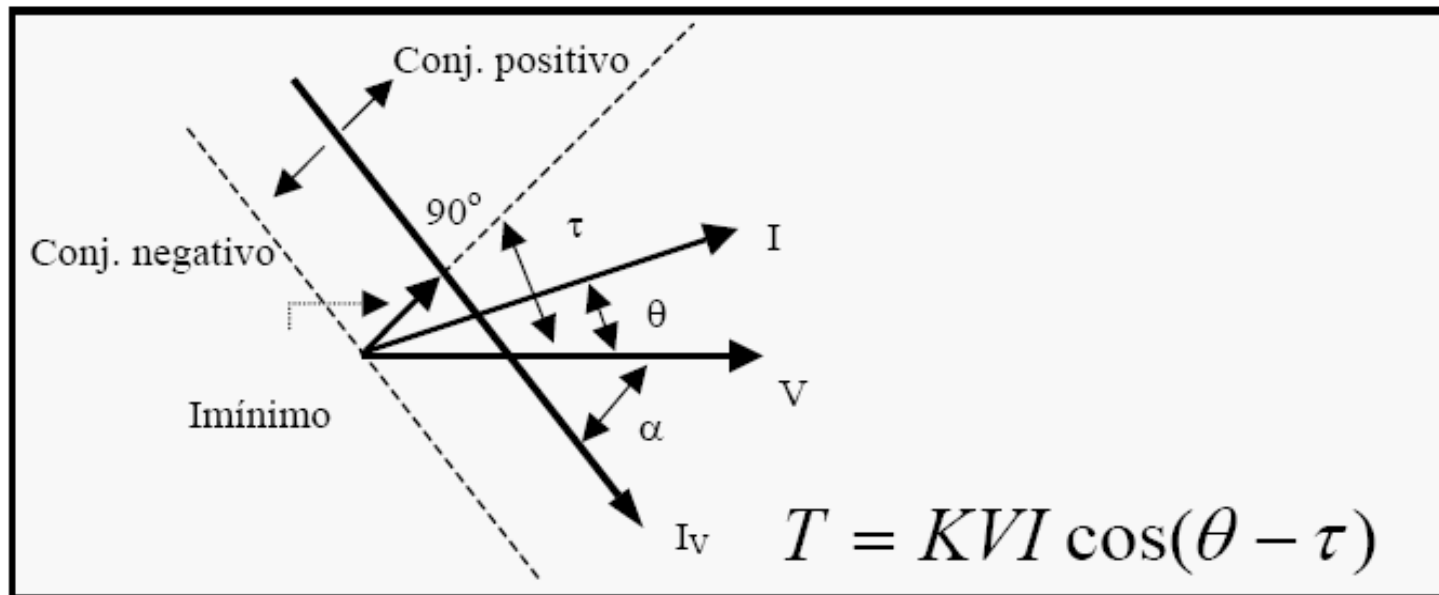
onde:  $\Theta$  é o ângulo entre a corrente de falta e a referência (tensão)

Na realidade, tomando-se a natureza indutiva das linhas:

✓  $\pi/2$  para falha em F2 ou condição normal

✓  $-\pi/2$  para falha em F1.

# Relés direcionais

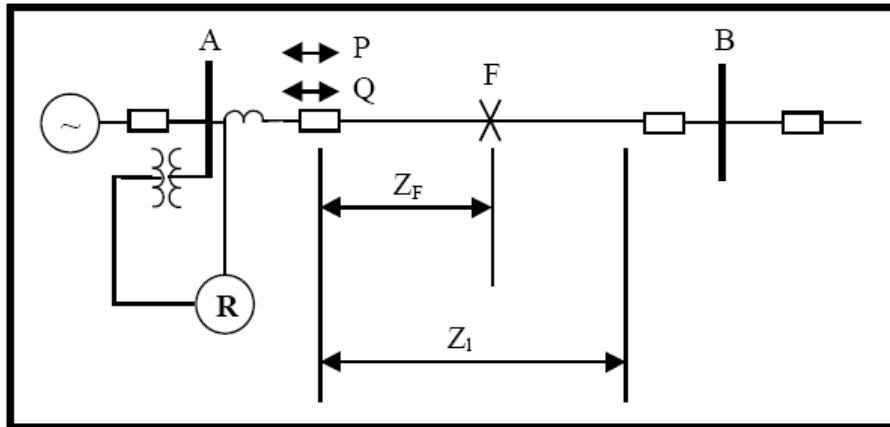


# Relés de distância

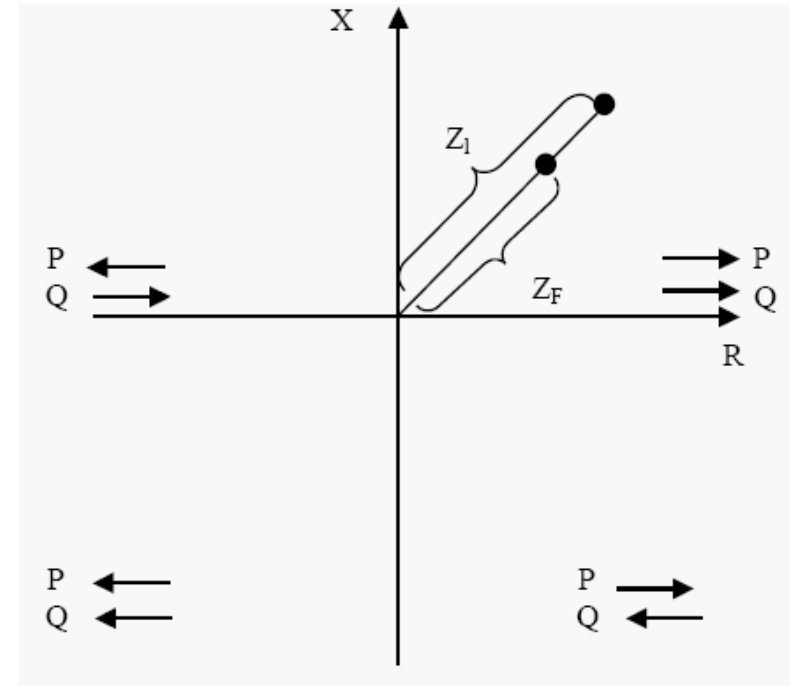
Diagrama Unifilar

e

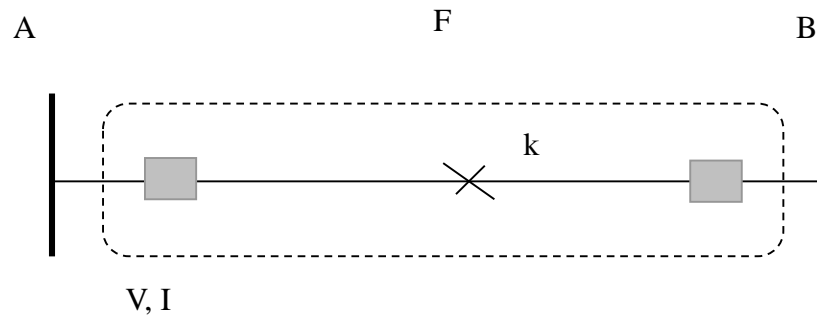
Diagrama R-X



$$Z_{ap} = V/I$$



# Relés de distância



$k$  – distância fracional com relação ao relé.

Considere  $x, y = a, b, c$  (fases).  
Se houver uma falta fase-fase-terra entre as fases  $x$  e  $y$  ( $x \neq y$ ),  
pode ser mostrado que:

$$\frac{E_x - E_y}{I_x - I_y} = kZ_1$$

$Z_1 \rightarrow$  impedância de sequência + da linha  
toda

Similarmente, para uma falta fase-terra,  
na fase  $x$ :

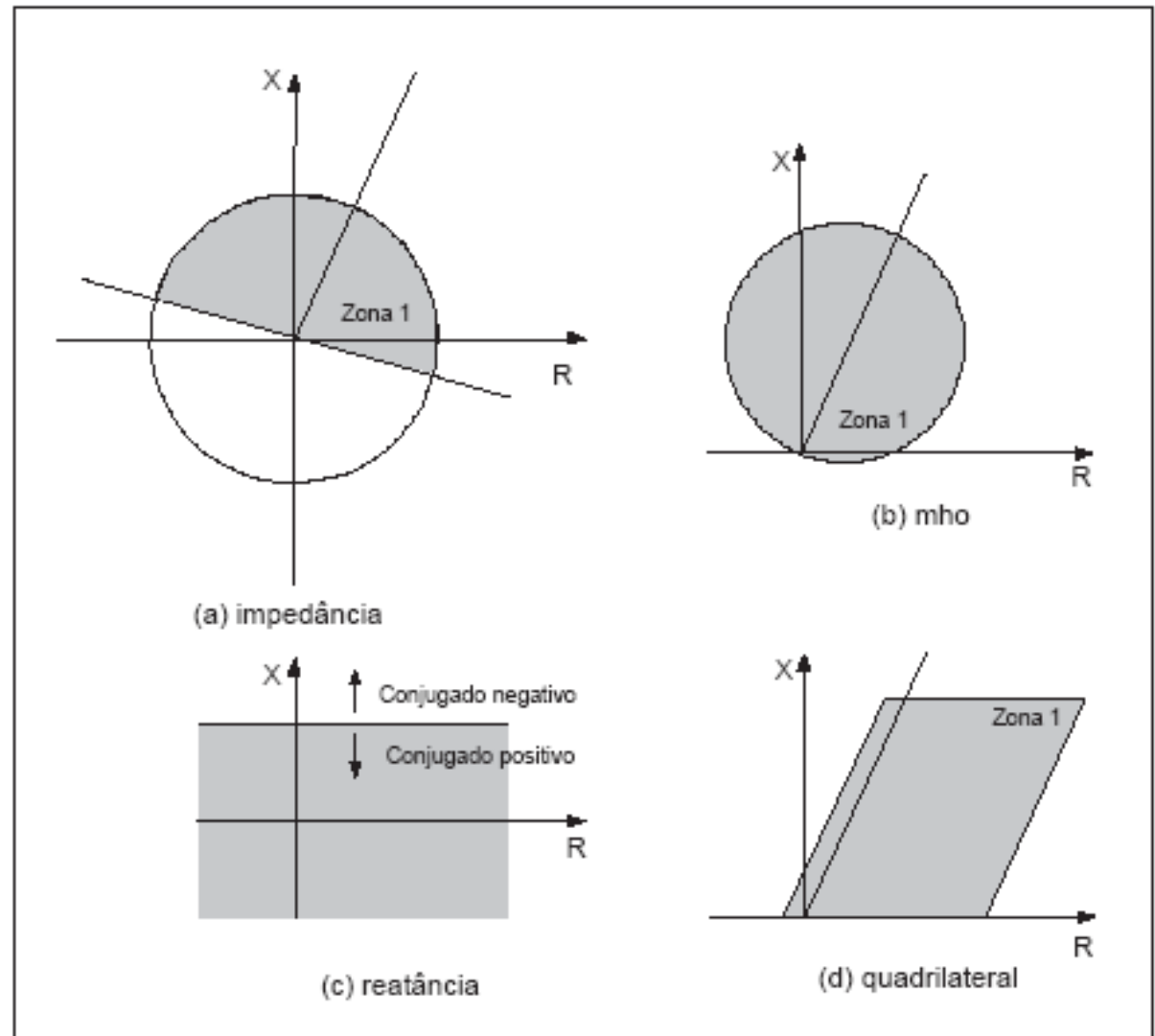
$$\frac{E_x}{I_x + mI_0} = kZ_1$$

Onde:  $m = (Z_0 - Z_1)/Z_0$

$Z_0 =$  impedância de sequência 0

$I_0 =$  corrente de sequência 0

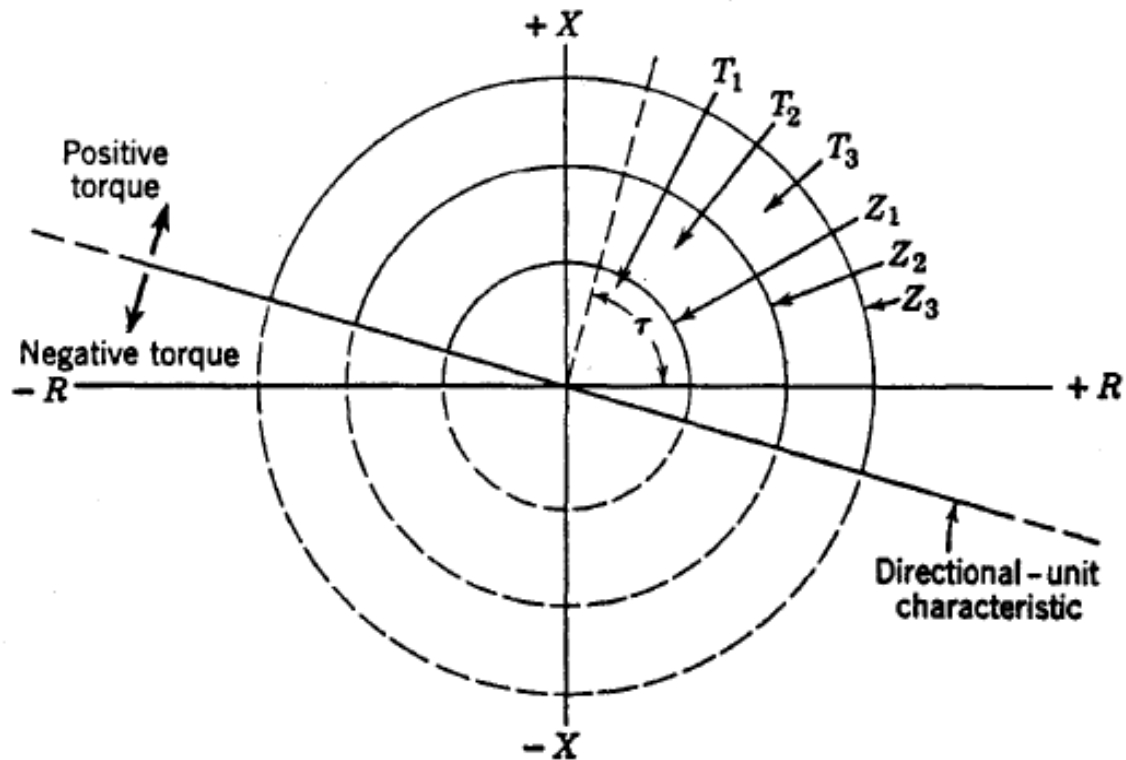
# Relés de distância



Tipos de características de relés de distância.

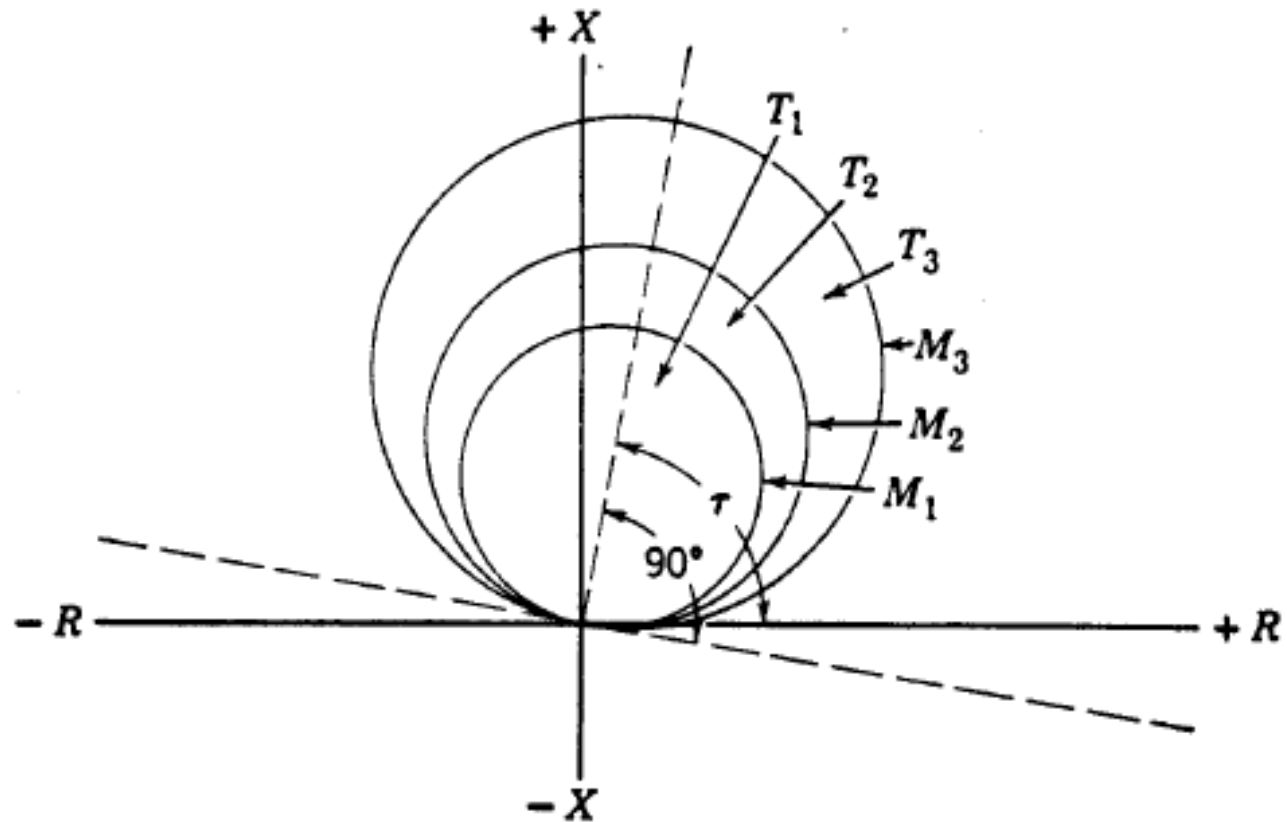


# Relés de distância



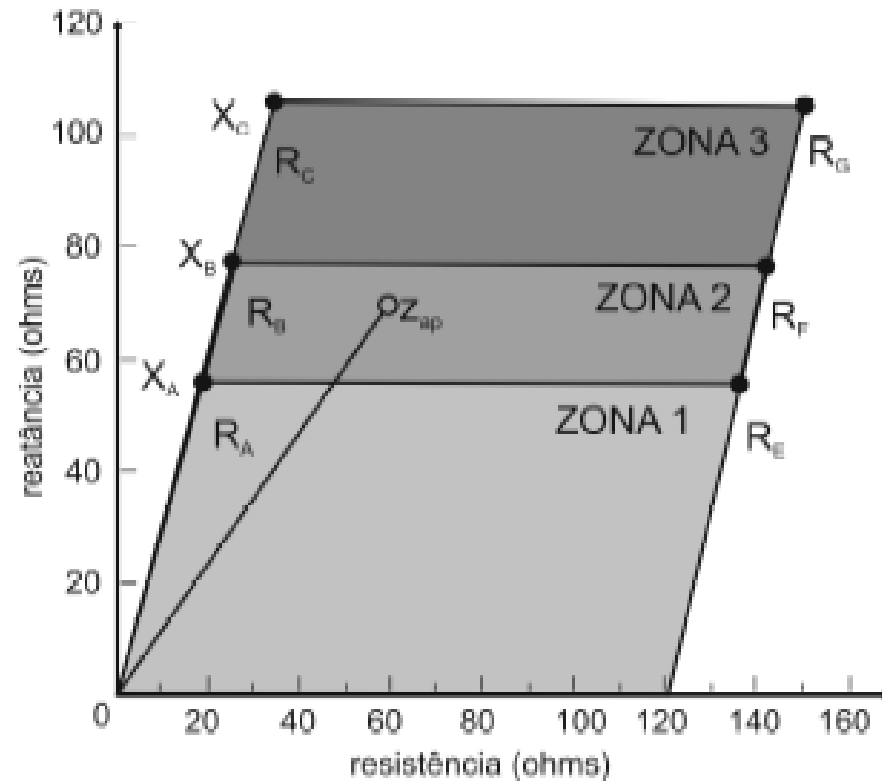
Característica Operacional de um Relé de Distância tipo impedância

# Relés de distância



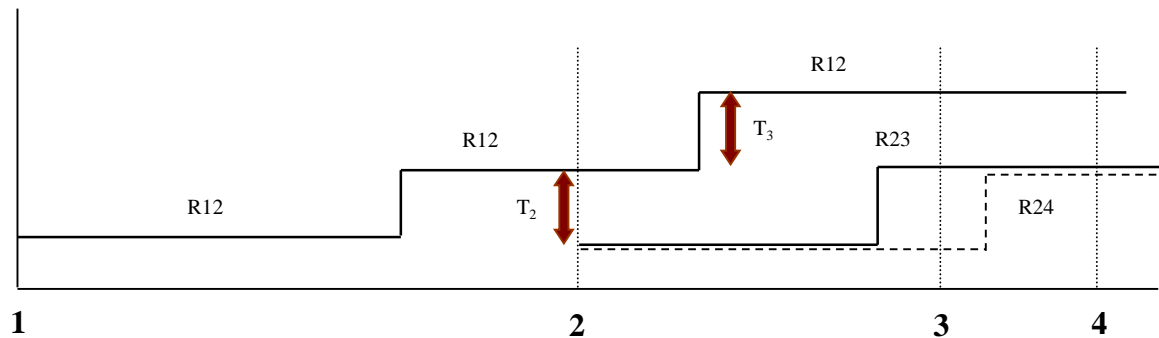
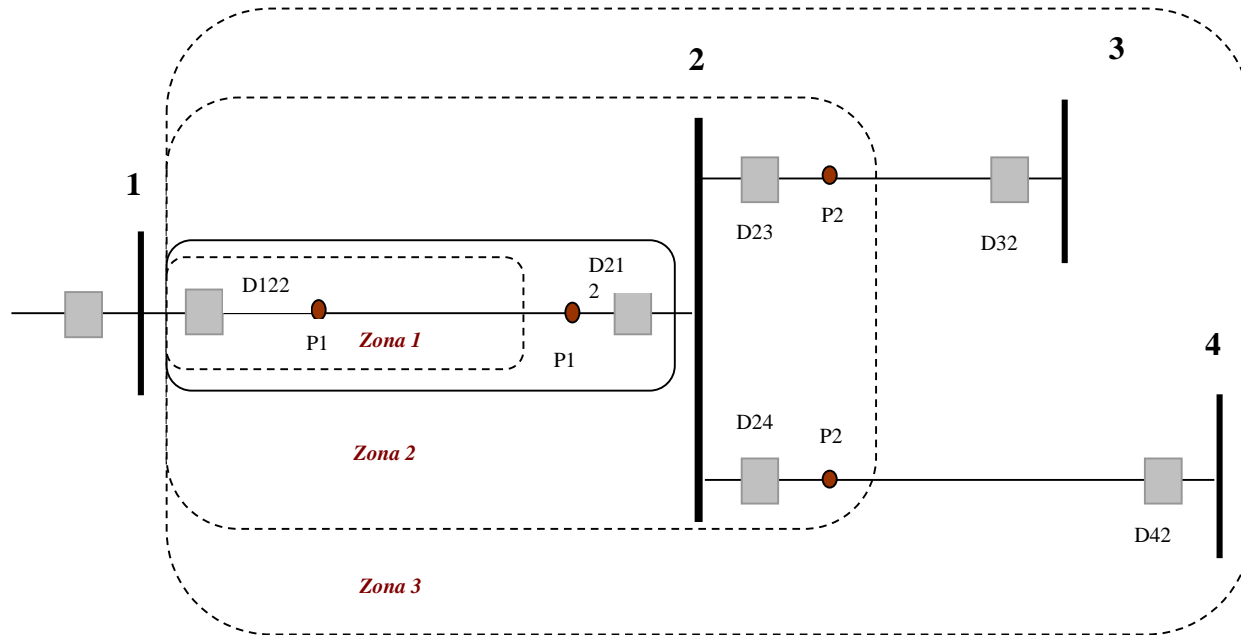
Característica Operacional de um Relé de Distância tipo Mho

# Relés de distância

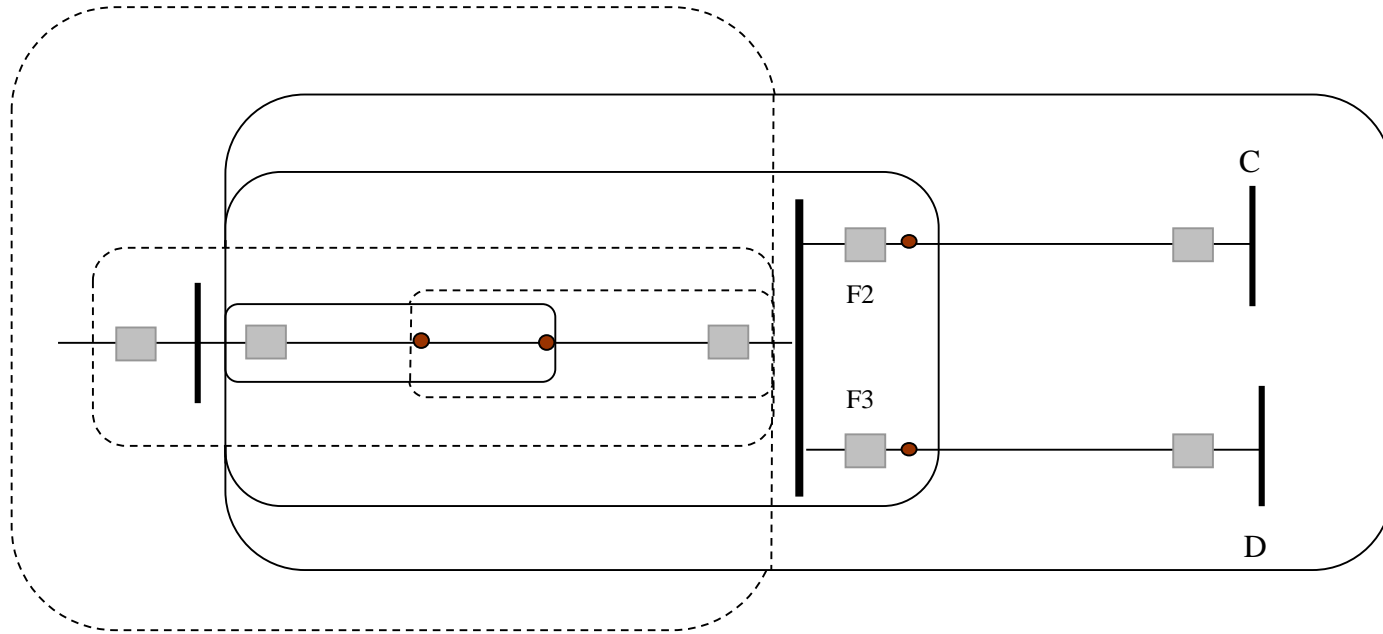


Característica Operacional de um Relé de Distância tipo Quadrilateral

# Zonas de Proteção 1, 2 e 3



# Relés de distância



✓ Como os limites do relé não são bem delineados, temos que usar relés de múltiplas zonas para cobrir a linha toda.

Zona 1: opera instantaneamente

Zona 2: opera temporizado

# Relés de distância

---

- ✓ Linha XY = operação instantânea de ambos os relés.
- ✓ Fora dela, um relé opera instantaneamente e, o outro, de forma temporizada (F2 e F3.)
- ✓ Zonas adicionais 2 e 3 são criadas para a proteção de retaguarda.
- ✓ Uma zona 4 também pode ser adicionada- olhando para trás.
- ✓ Uso da **Teleproteção**
- ✓ Utilização de técnicas **adaptativas para o relé.**

# Relés de distância



Os relés de proteção de linha de transmissão da SEL fornecem proteção diferencial de corrente de linha e **proteção de distância** multizonas, conferindo uma solução segura, confiável e de alta velocidade. Seus recursos de localização de faltas permitem que você envie suas equipes de linha com eficiência para isolar os problemas de transmissão e restaurar rapidamente o serviço.



## Relés de distância – Aplicação - Exercício 2

---

(a) Em um diagrama R-X, trace o vetor representativo de uma linha com impedância de  $(2.4 + j 4.5) \Omega$ . No mesmo diagrama pede-se mostrar as características dos relés de impedância, de reatância e mho convencionais ajustados para operar com um defeito sem arco no extremo da linha (admitir  $\theta = \tau$  para o relé mho).

(b) Considere depois que uma falta com resistência de arco voltaico de  $(2.0 + j 0.0) \Omega$  possa ocorrer em qualquer parte de linha. Pede-se calcular para cada um dos relés anteriores, a máxima percentagem de linha efetivamente protegida. Comentar o resultado.

(c) Considerando uma falta com resistência de arco voltaico genérico dado por  $R_f$ , qual seria uma característica ideal que um relé de distância deveria ter no plano R-X? Comentar.



## 2.4 Proteção de transformadores

---

✓ Transformadores maiores (2,5 MVA ou mais) são geralmente protegidos por relés diferenciais percentuais (corrente).

✓ Relés Diferenciais: Opera quando o vetor da diferença de duas ou mais grandezas elétricas excede uma quantidade pré estabelecida.

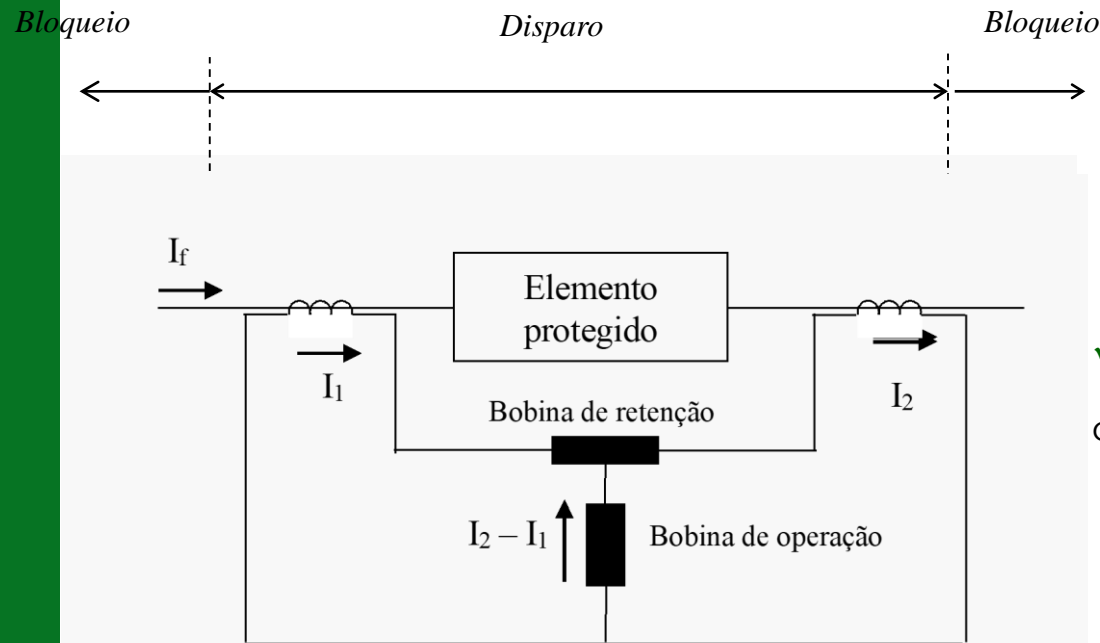
✓ Dois tipos:

Diferenciais Amperimétricos e

Diferenciais Percentuais

## 2.4 Proteção de transformadores

Representação esquemática:



Corrente efetiva na bobina retenção:

$$(I_1 + I_2)/2$$

Corrente efetiva na bobina operação:

$$|(I_2 - I_1)|$$

✓ Para uma **falta externa** (ou corrente de carga):

Op:  $(I_2 - I_1) = 0 \rightarrow$  plena retenção

Ret.:  $(I_1 + I_2)/2 = I_1 = I_2$

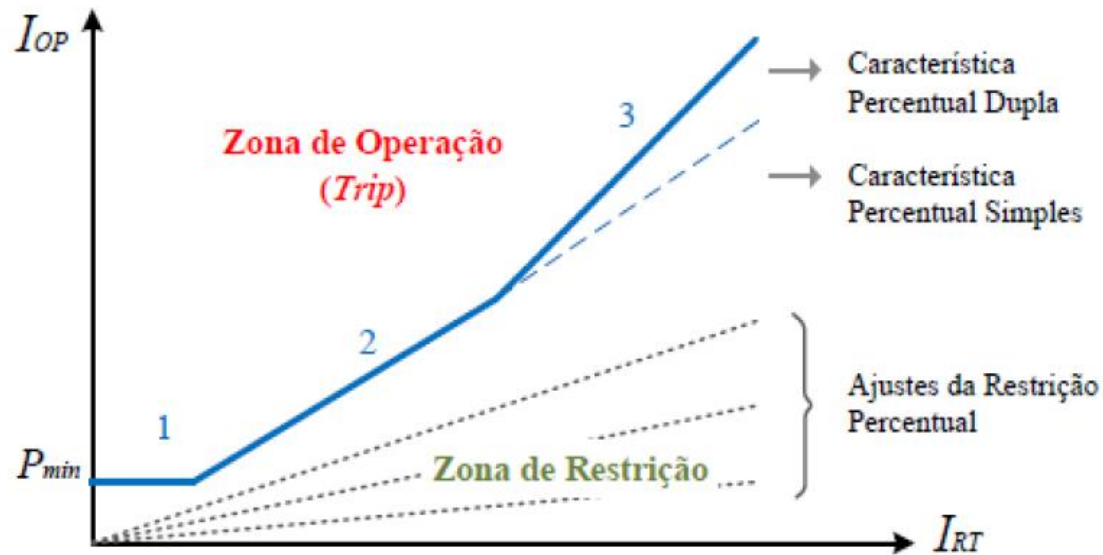
✓ Para uma **falta interna** : ( $I_2$  torna-se negativo)

Op:  $|(-I_2 - I_1)| \rightarrow$  fortalecido

Ret.:  $(I_1 - I_2)/2 \rightarrow$  enfraquecido



# Característica do relé diferencial percentual

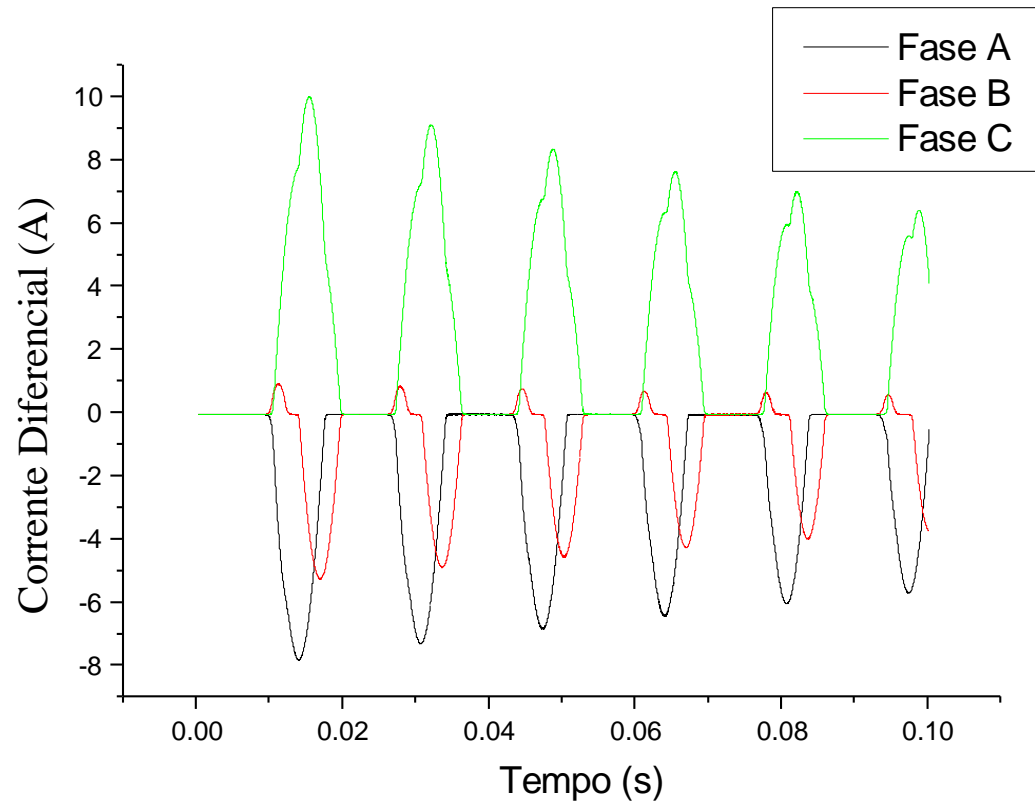


# Característica do relé diferencial percentual

---

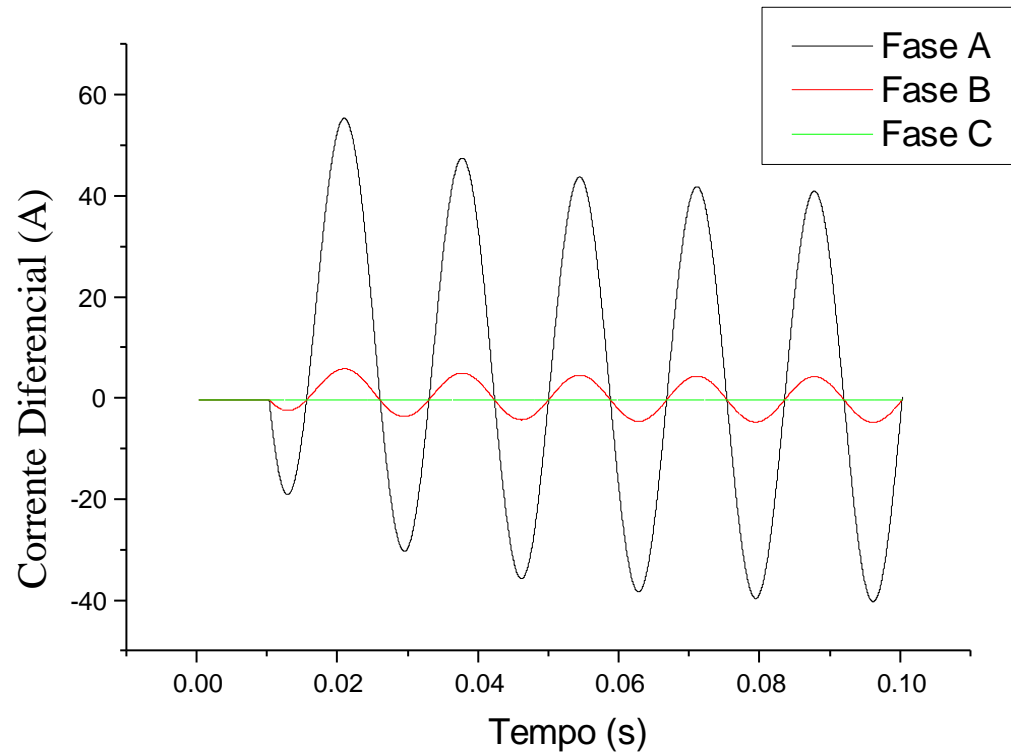
- ✓ Durante a energização, correntes anormais podem fluir no enrolamento.
- ✓ **Corrente de magnetização**: causada pela saturação do núcleo do trafo (processo aleatório) – **altas correntes**. É necessário distinguir entre faltas e correntes de magnetização.
- ✓ Uma técnica usada para impedir a atuação sob condições de **magnetização** é detectar a **segunda harmônica**. A corrente de falta é quase puramente de frequência fundamental.
- ✓ Isso pode ser feito através de **filtros analógicos** ou por meio de **filtros digitais** (corrente harmônica é usada para fortalecer  $I_{ret.}$ ).
- ✓ Outra situação a ser observada é quando o trafo está **sobre-excitado**. Neste caso, a corrente de magnetização apresenta um componente de **quinto harmônico** significativo (fortalecer o  $I_{ret.}$ ).

# Relé diferencial percentual



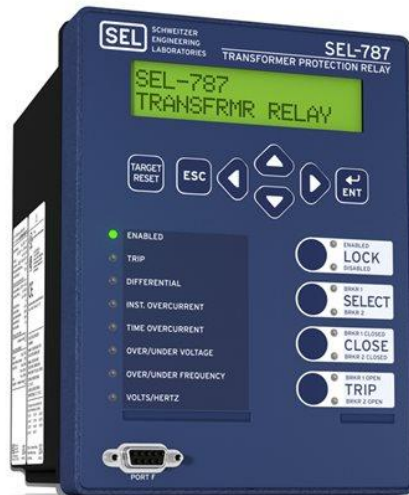
Corrente de magnetização durante a energização de um transformador.

# Relé diferencial percentual



Corrente de falta interna em um transformador.

# Relé diferencial percentual - Trafo



## SEL-787

Relé de proteção de transformadores

A SEL recomenda a utilização do [Relé de Proteção do Transformador SEL-787-2/-3/-4](#). O SEL-787-2/-3/-4 oferece opções adicionais de proteção e comunicação, como proteção para transformadores de dois, três e quatro enrolamentos e EtherNet/IP. Ele também está disponível com uma tela colorida *touchscreen*.





## 2.5 Proteção de reatores e geradores

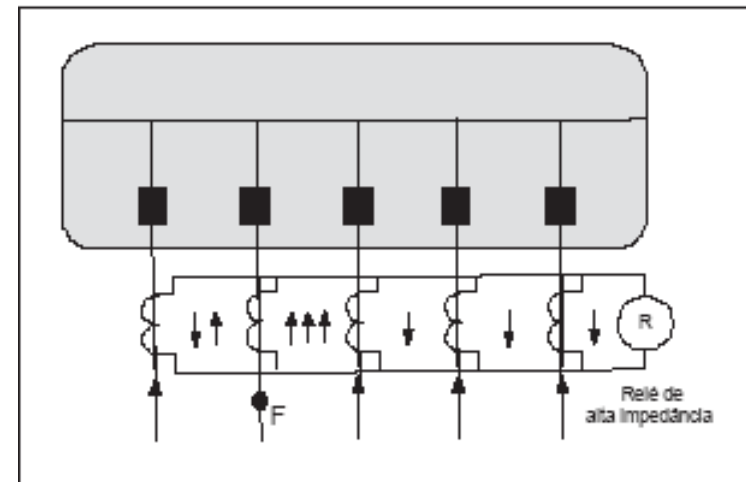
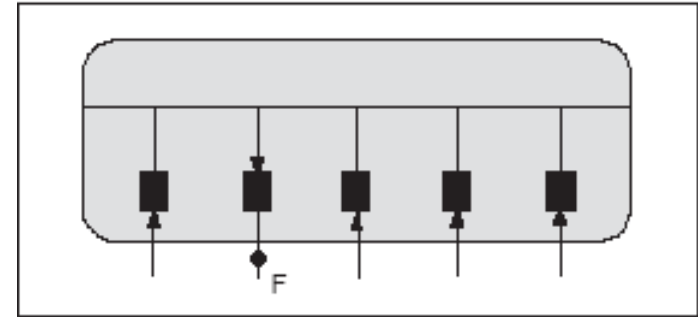
- ✓ A proteção principal para um **reator** e ou um **gerador** é similar a proteção diferencial de transformadores.
- ✓ Os transformadores de corrente empregados nos dois terminais de um enrolamento de um **gerador** são especialmente “casados”.
- Não é necessário nenhum artifício para considerar os **erros causados pelas mudanças dos taps**.
- ✓ Não é preciso de preocupar com a **corrente de magnetização**. Proteções adicionais estarão presentes e serão abordadas em capítulo futuro.
- ✓ Proteção sobreaquecimento: usualmente é relacionada ao aquecimento do rotor causado pela **corrente de sequência negativa nos enrolamentos do estator** (correntes desbalanceadas do estator).
- ✓ A corrente de sequência negativa do relé é testada para a quantidade:
 
$$\begin{aligned} |i_2^2| &> K, \text{ abertura ou alarme} \\ &< K, \text{ não operação} \end{aligned}$$

## 2.5 Proteção de geradores

Função ANSI	Descrição da função	Tipo de relé
87G	Proteção contra faltas no estator	Proteção diferencial
87U	Proteção diferencial contra faltas no conjunto gerador-transformador	Proteção diferencial
40	Proteção contra perda de excitação	Relé de admitância
46	Proteção contra correntes desequilibradas	Relé de sobrecorrente temporizado
32	Proteção contra motorização do gerador	Relé de potência inversa
24	Proteção contra sobreexcitação V/Hz	Relé Voltz/Hertz
59	Proteção contra sobretensões	Relé de sobretensão
60	Supervisão de queima de fusíveis de TPs	Relé de balanço de tensão
81	Proteção contra subfreqüência e sobrefreqüência	Relé de frequência
51V	Proteção de retaguarda contra defeitos no sistema	Relé de sobrecorrente com restrição de tensão ou com supervisão de tensão
21	Proteção de retaguarda contra defeitos no sistema	Relé de distância
78	Proteção contra perda de sincronismo	Combinação do relé de admitância e direcionais
61	Proteção contra defeitos entre espiras dos enrolamentos do estator	Relé de balanço de corrente
64E	Proteção contra faltas a terra nos enrolamentos do estator	Relé de sobretensão residual e subtensão de terceira harmônica no neutro
64R	Proteção contra faltas a terra nos enrolamentos do rotor	Relé de falta à terra sensitiva
49	Proteção contra sobreaquecimento nos enrolamentos do estator	Relé térmico

## 2.6 Proteção de barramento

- ✓ Por não ser fisicamente longo, o relé diferencial é usado para sua proteção.
- ✓ Quando não há falta no barramento: soma algébrica de todas as correntes deve ser zero (considerando TCs idênticos).
- ✓ Problema a ser considerado: saturação do TC para uma falta externa.
- ✓ Exemplo: corrente no ramo faltoso é alta, o TC corre o risco de se tornar saturado. TC saturado não produz corrente de secundário
- ✓ Solução: relés de alta impedância ( a impedância mais baixa do secundário do TC saturado *bypassa* a corrente diferencial do relé).



## 2.7 Transformadores de corrente e de potencial

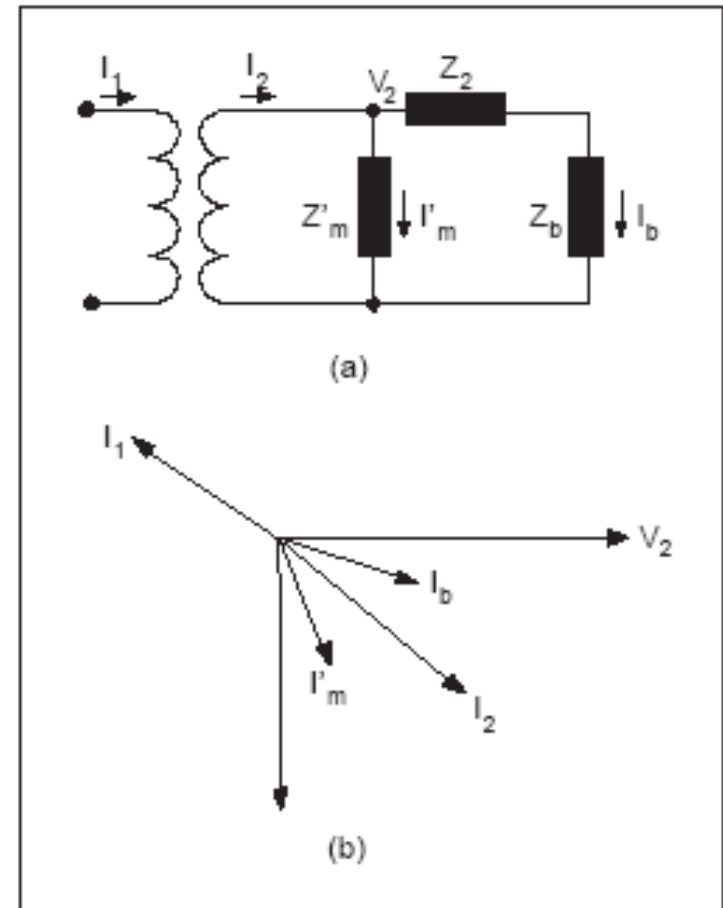
### Transformadores de corrente – TCs

- ✓ Existe um erro na corrente secundária causado pela **saturação** do núcleo do TC.
- ✓ Mesmo quando o núcleo do TC não está saturado, a corrente secundária apresenta um erro devido a **corrente de magnetização** (fluxo no núcleo). Erro definido pelo fabricante (10C400)

#### 10P20

A letra “P” **significa** que o TC é para fins de proteção  
10 erro corrente de até  $20 \times I_n$ .

20 é o ALF (*Accuracy Limit Factor*), que **significa** que  
o TC consegue entregar os VAs nominais para “burden” nominal e  
corrente de até  $20 \times I_n$ .



Uma aproximação usual do TC e o diagrama fasorial das grandezas envolvidas.

## 2.7 Transformadores de corrente e de potencial

### Efeito da Saturação

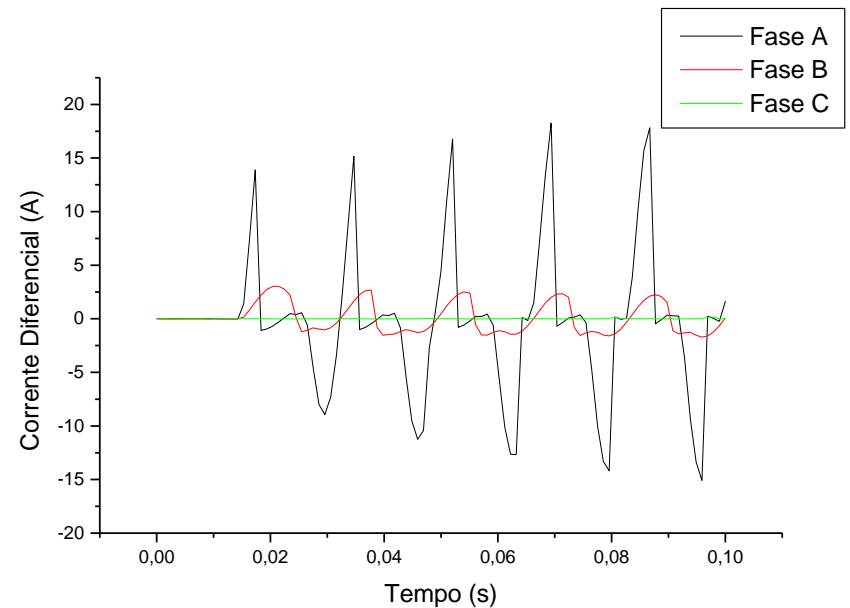
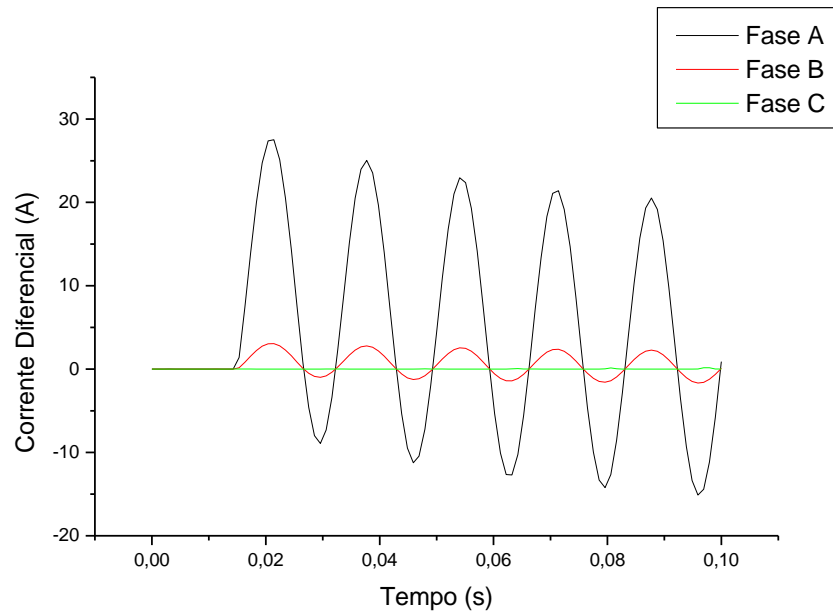


Ilustração da onda original com e sem o efeito da saturação

## 2.7 Transformadores de corrente e de potencial

---

### Transformadores de corrente – TCs

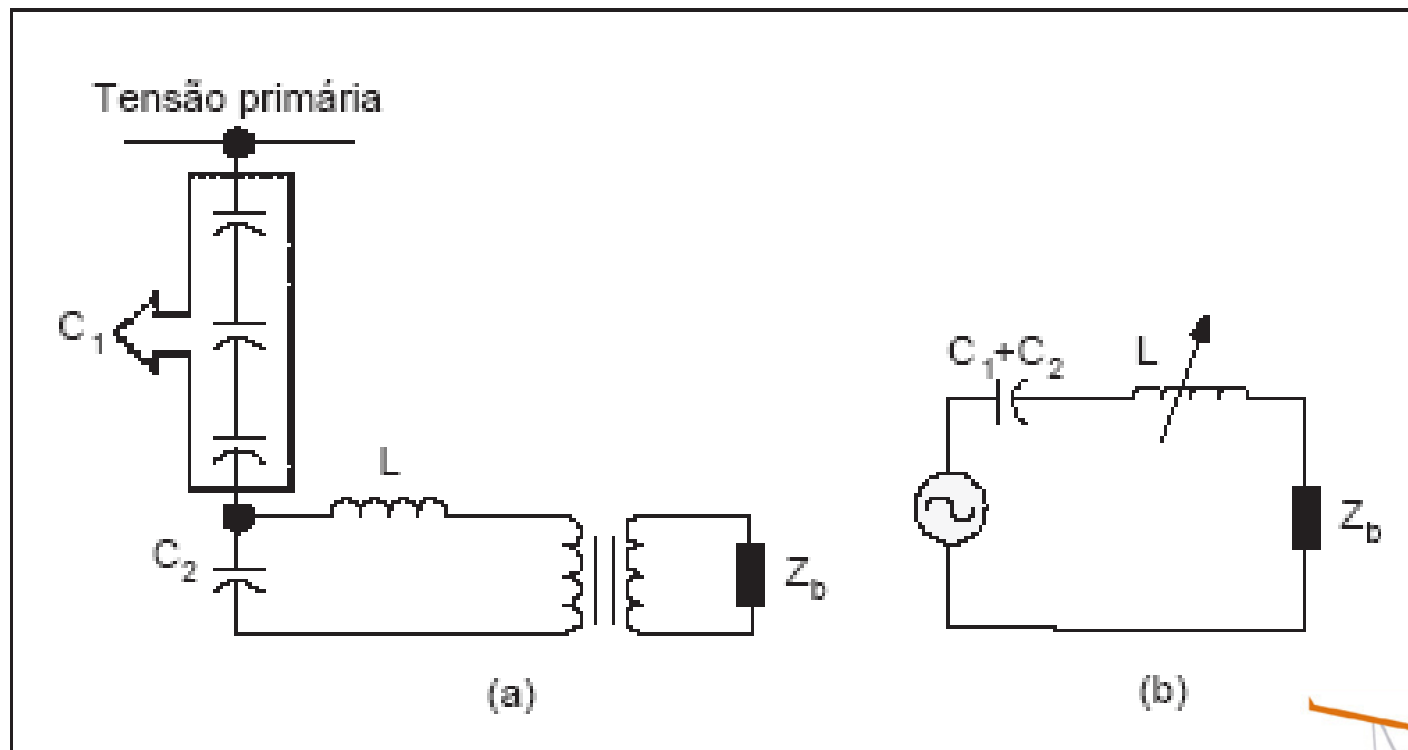
Os **transformadores de corrente (TC)** foram desenhados para reduzir a corrente para valores tratáveis e proporcionais à corrente primária original. Separam os instrumentos de medida, contadores, relés, etc. do circuito de alta tensão.



## 2.7 Transformadores de corrente e de potencial

### Transformadores de potencial – TPs

- ✓ TPs em baixa tensão são muito precisos e, em geral, seus erros de transformação podem ser ignorados. Usa um **divisor de tensão capacitivo** + transformador com núcleo magnético.



# Transformadores de potencial – TPs

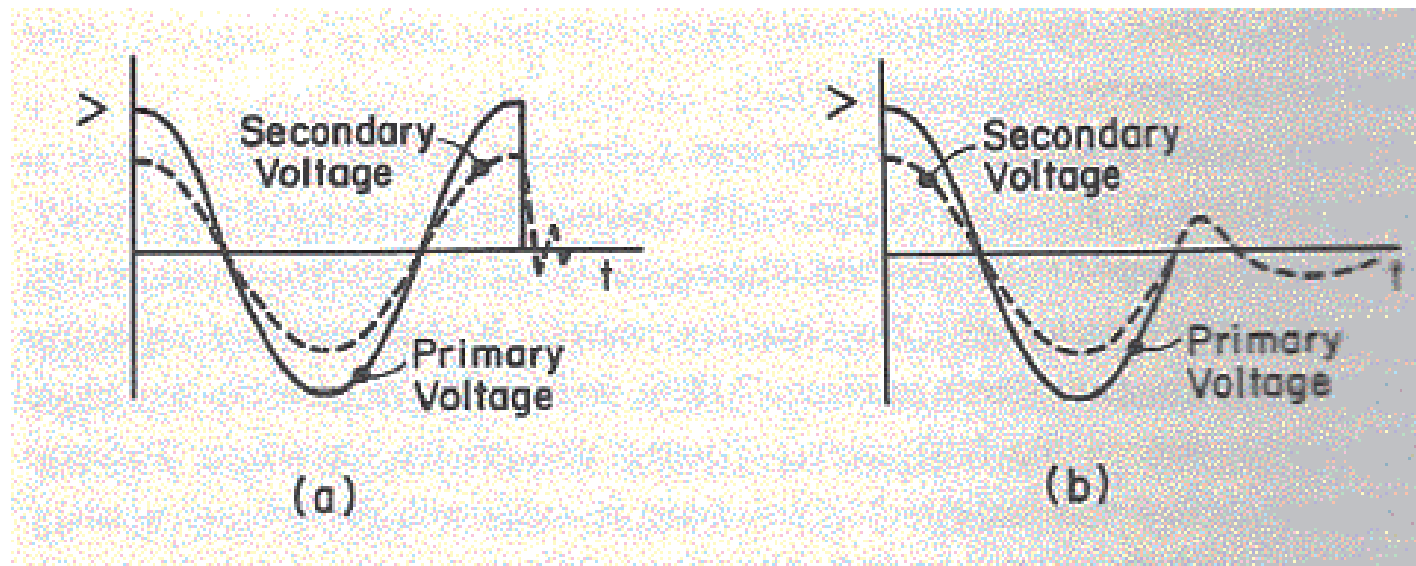
---

- ✓  $1/2\pi f (C1 + C2) = 2\pi f L$ : defasamento entre fase de  $(C1 + C2)$  é cancelado pelo atraso de fase da  $L$  para todas as correntes de carga e, a tensão secundária estará, em fase com a tensão primária.
- ✓ O erro em **regime permanente** do TPC é desprezível.
- ✓ Motivo de preocupação: **resposta transitória**.
- ✓ A tensão primária passa rapidamente do seu estado de pré-falta para valores de pós-falta, a tensão de saída experimentará um transitório atenuado antes de atingir o seu valor final de regime permanente.



# Transformadores de potencial – TPs

✓ Este transitório atenuado depende dos parâmetros do TPC, impedância da carga e fator de potência, bem como do ângulo de incidência da falta primária. A **resposta transitória do TPC** causa dificuldade nas tarefas de proteção que requerem entradas de tensão (criam imagens falsas da tensão nos terminais de entrada do relé).



# Transformadores de potencial – TPs

---

Esse tipo de equipamento é composto por capacitores em série acoplados no interior de uma cuba e alojado a um transformador indutivo entre outros elementos importantes.



## Exercício 3:

A figura a seguir mostra um relé diferencial percentual aplicado a proteção do enrolamento do estator de um gerador. O relé tem um valor de *picape* mínimo (corrente de atuação) de 0.1 A e está regulado para uma declividade de 10%.

Uma falta a terra, como mostra a figura, ocorreu no enrolamento do gerador, próxima ao extremo correspondente ao neutro aterrado solidamente, quando o gerador alimentava uma certa carga. Em consequência, as correntes fluindo a cada extremo do enrolamento do gerador são mostradas na figura, em magnitude (ampères) e direção.

Admitindo-se que os transformadores de corrente tem relação 400/5 A e nenhuma imprecisão, pergunta-se:

- (a) O relé operará energizando o disjuntor do gerador nas condições dadas?
- (b) Poderia o relé operar sob o dado valor de corrente de defeito se o gerador não estivesse fornecendo corrente a carga (correspondente ao disjuntor aberto)?
- (c) Construir o diagrama de característica de operação do relé com os pontos que representam as correntes de operação e restrição no relé, nas duas condições acima.
- (d) Considerar que o referido relé seja amperimétrico para as duas condições dadas acima. O relé operaria para as condições (a) e (b)? Para o exemplo em questão, qual dos dois tipos de relés é mais sensível? Fazer comentários.

