



*Universidade de São Paulo - USP
Escola de Engenharia de São Carlos – EESC
Departamento de Engenharia Elétrica
Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica - LSEE*

- Docente

- ✓ Prof. Titular Denis Vinicius Coury (016 3373-8133, coury@sc.usp.br)

- Colaboradores

- ✓ Thiago Souza Menezes (thiagosm@usp.br)

São Carlos, 2019.

TÓPICOS

A proteção de sistemas elétricos

- 2.1 Introdução.
- 2.2 Filosofias básicas da proteção.
- 2.3 Proteção das linhas de transmissão
- 2.4 Proteção de transformadores
- 2.5 Proteção de reatores e geradores
- 2.6 Proteção de barramentos.
- 2.7 Transformadores de potencial e de corrente.

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.

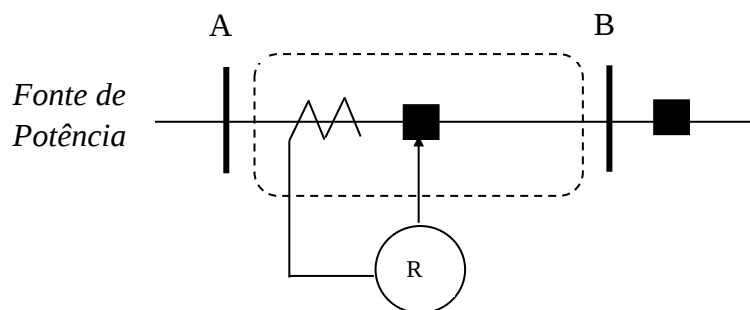
Exemplo: Transformadores.

- ✓ **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:

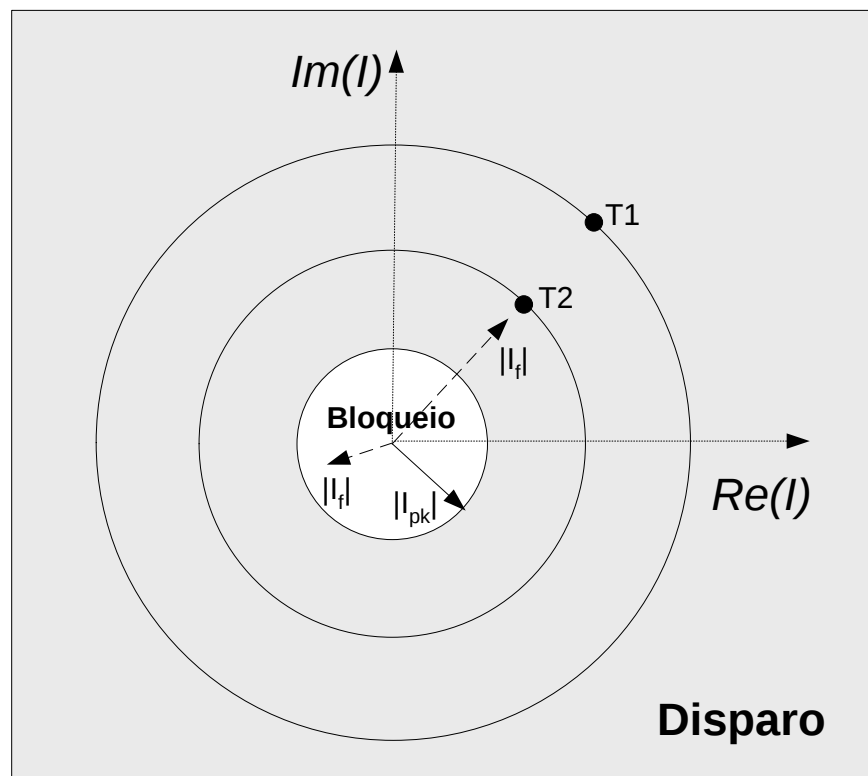
$$|I_f| > |I_p| \quad \text{disparo}$$

Onde:

$$|I_f| < |I_p| \quad \text{bloqueio}$$

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

I_f – corrente da falta



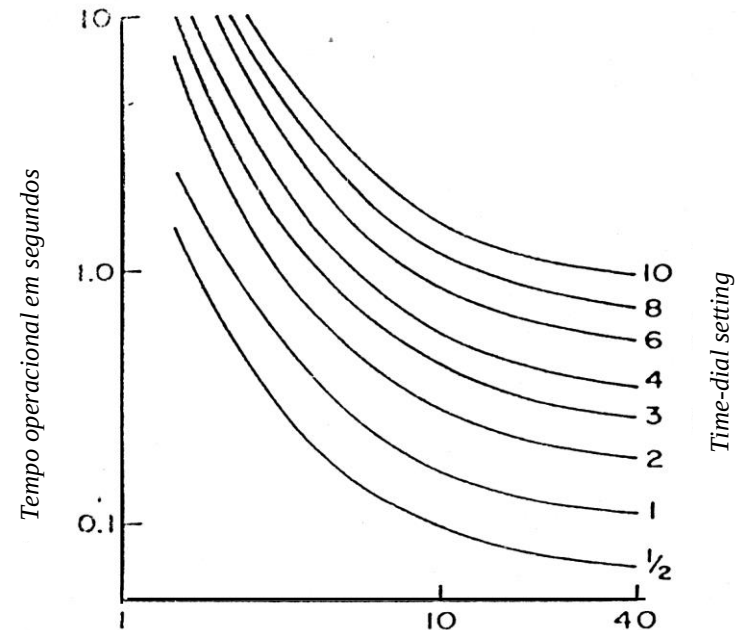
Ajuste do relé

Há normalmente dois tipos de ajustes:

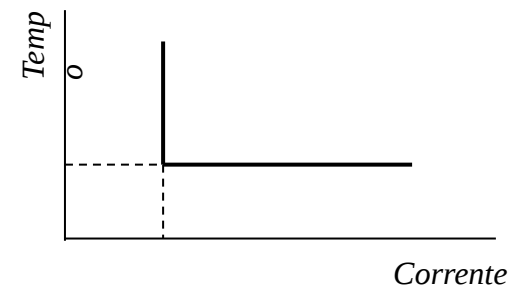
- a. Ajuste de corrente: $|I_p|$ através de *tapes* do enrolamento de atuação.
- b. Ajuste de tempo: característica no tempo pode ser deslocada ($\frac{1}{2}$ atuação + rápida, 10 + lenta).

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

✓ A escolha da característica vai



a. Temporizado: característica de tempo inversa

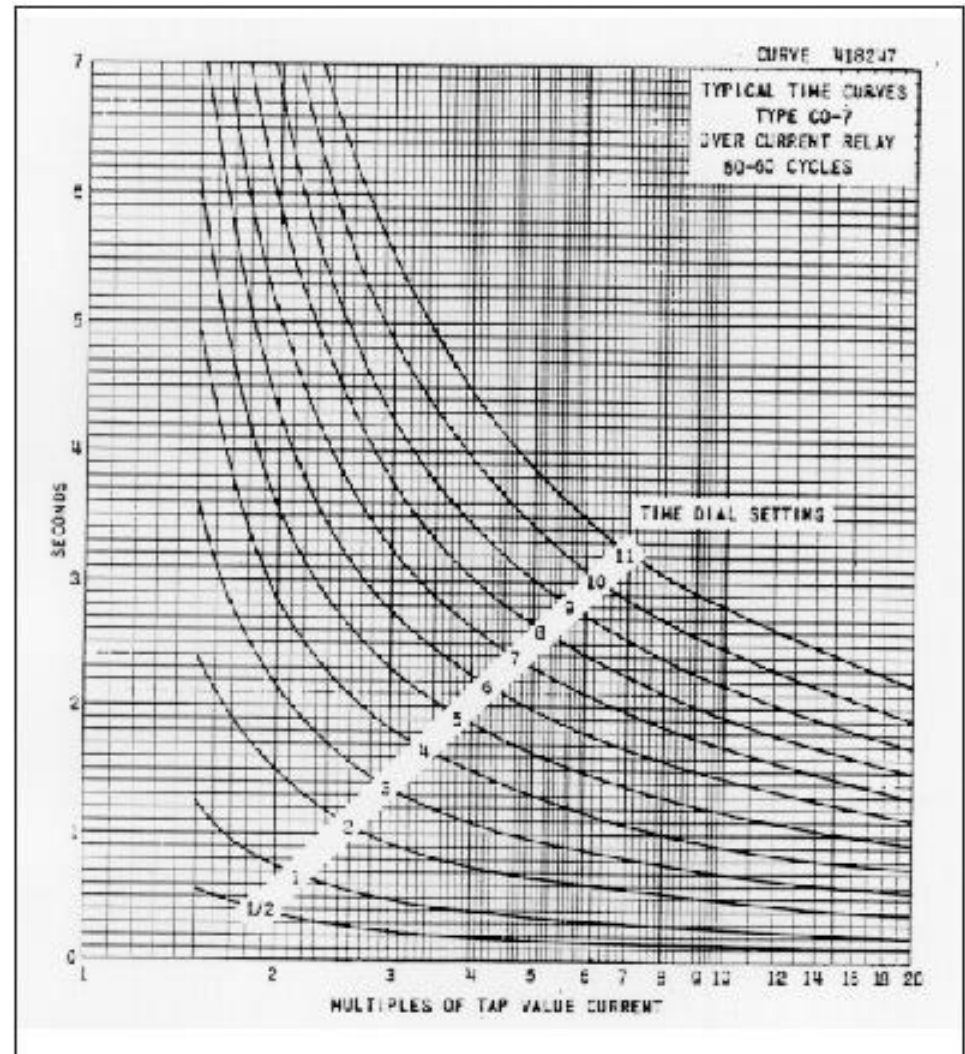


b. Instantâneo

Ajuste do Relé:

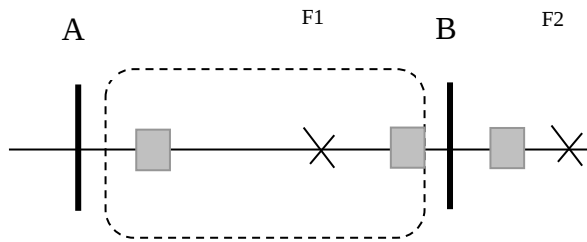
Curva de tempo-inverso típica de um relé de sobre-corrente comercial.

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 tape 8A e dispositivo de tempo DT=4, qual o tempo de atuação do relé sobre o respectivo disjuntor?



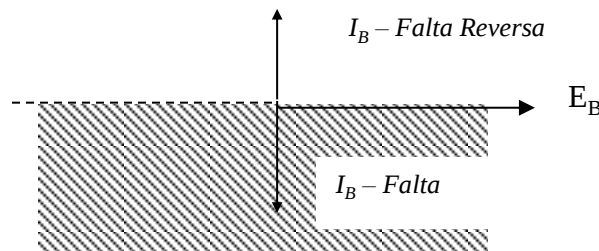
Relés direcionais

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.

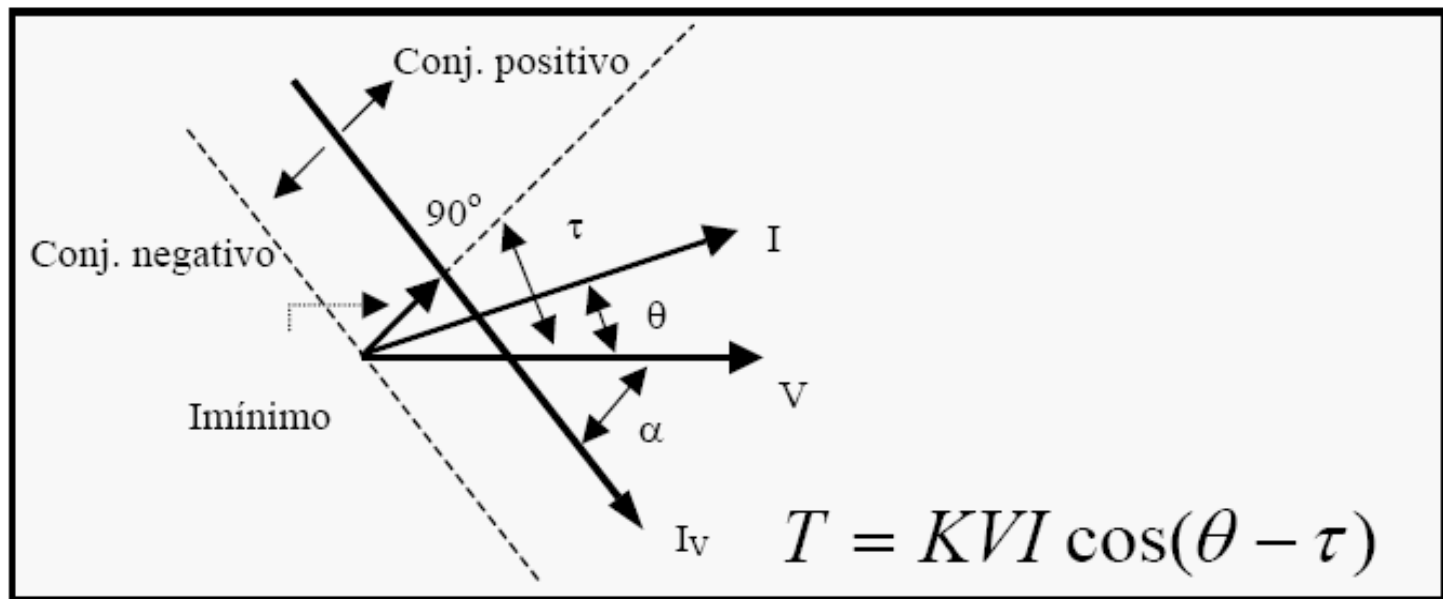
onde: Θ é o ângulo entre a corrente de falta e a referência (tensão)

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

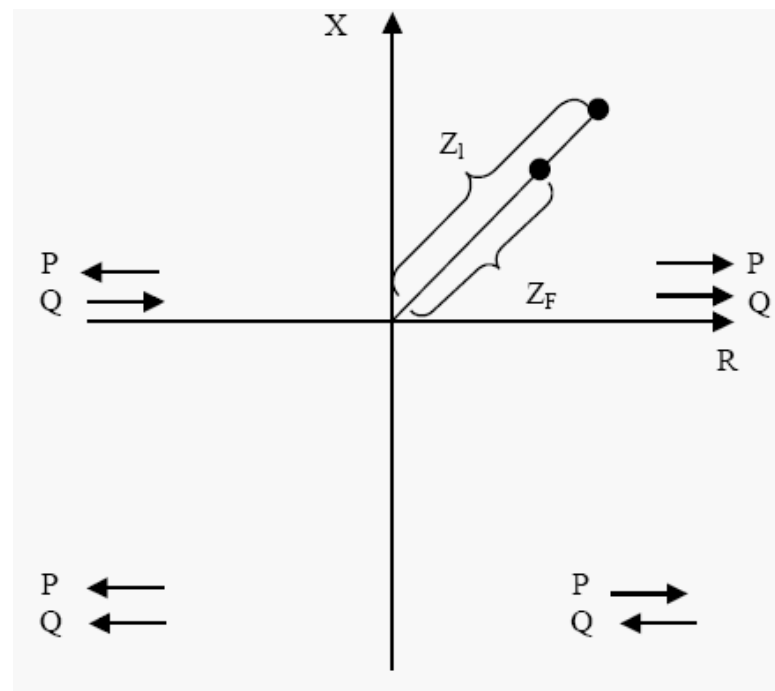
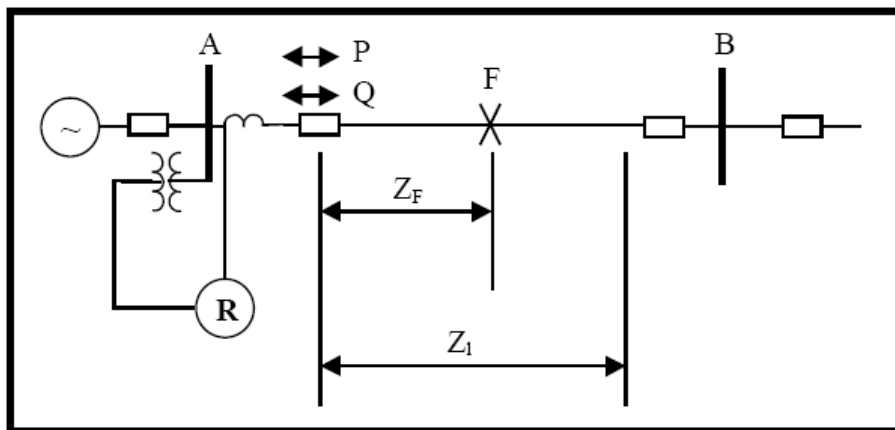


Relés de distância

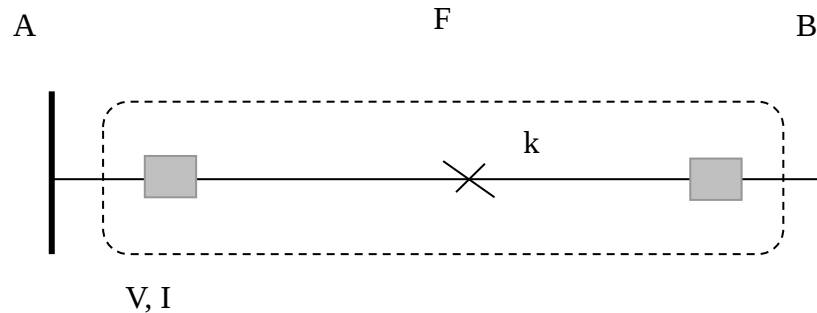
Diagrama Unifilar

e

Diagrama R-X



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 seqüência + da linha toda

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

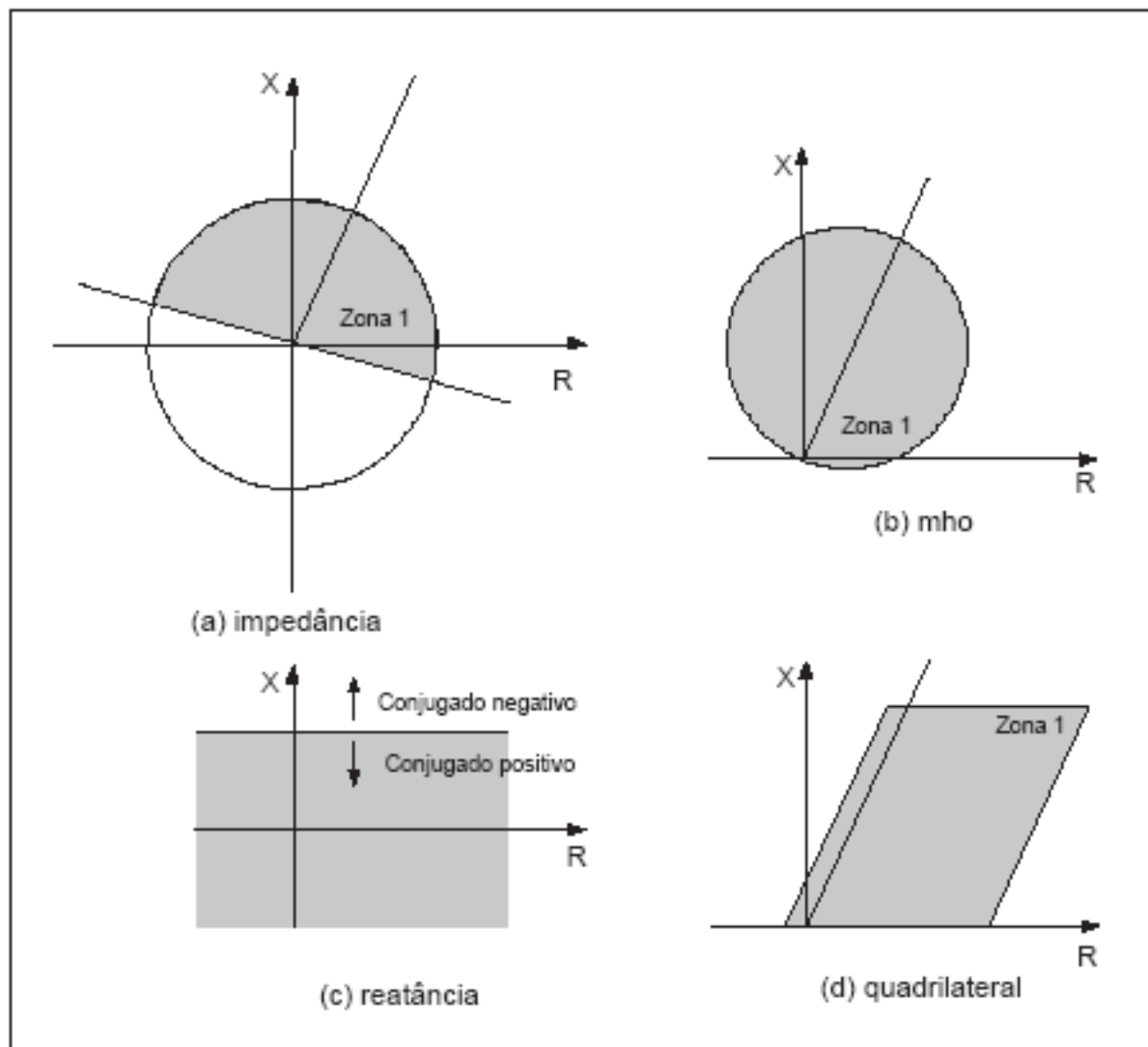
$$\frac{E_x}{I_x + mI_0} = kZ_1$$

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

$Z_0 =$ impedância de seqüência 0

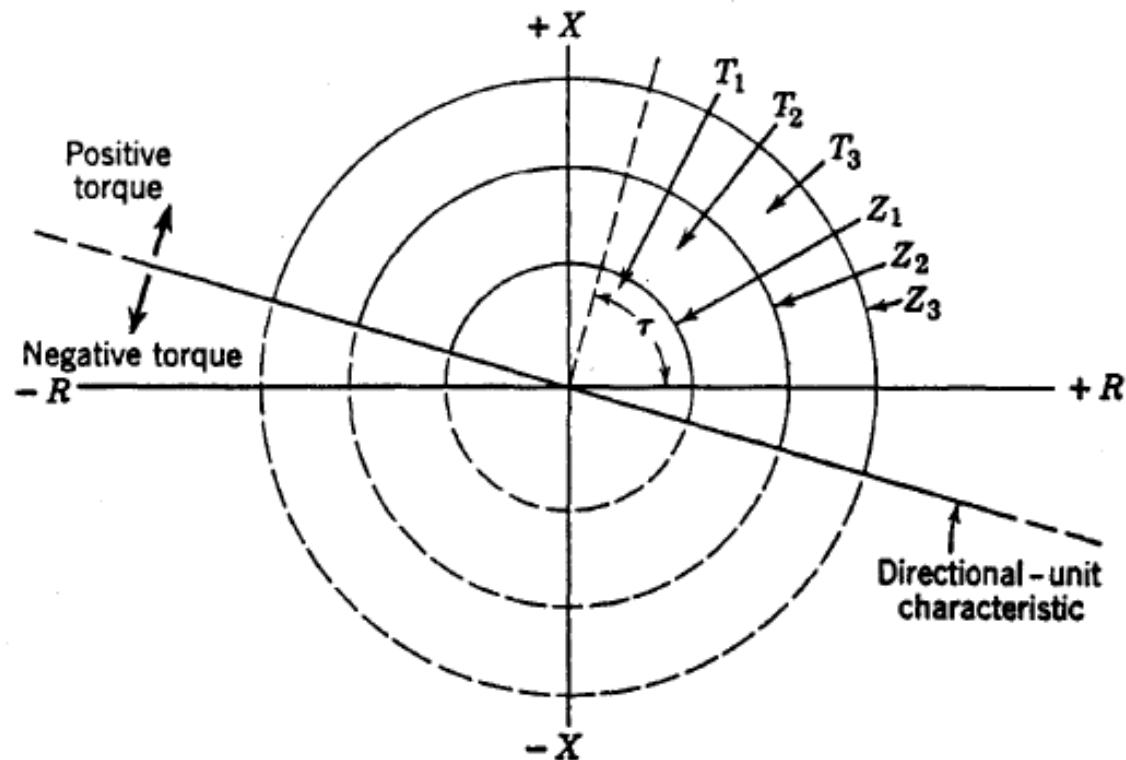
$I_0 =$ corrente de seqüência 0

Relés de distância



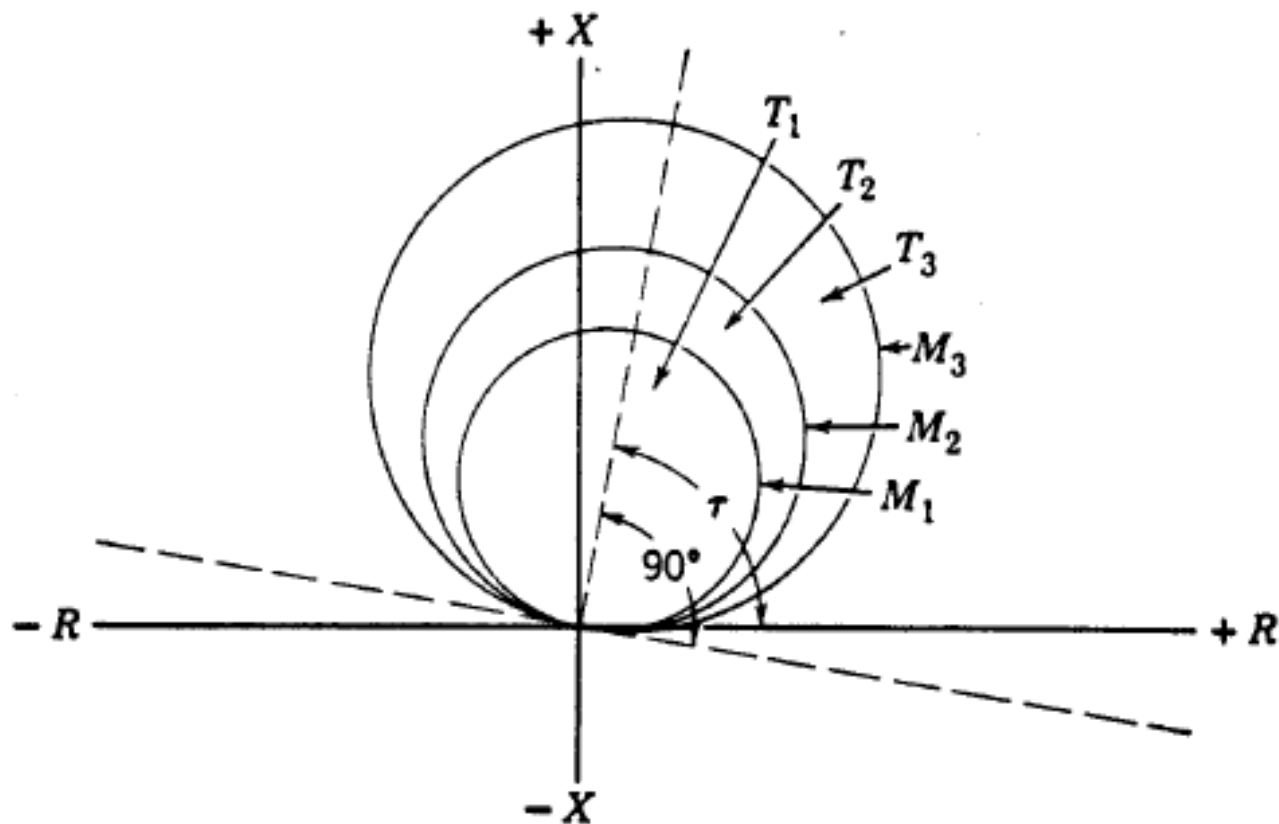
Tipos de características de relés de distância.

Relés de distância



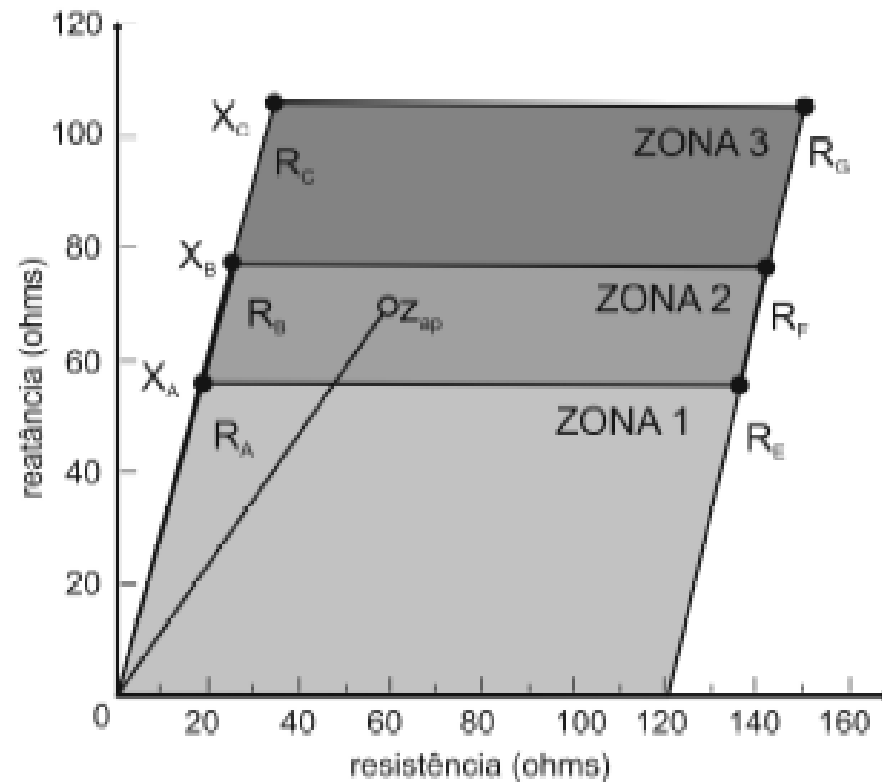
Característica Operacional de um Relé de Distância tipo impedância

Relés de distância



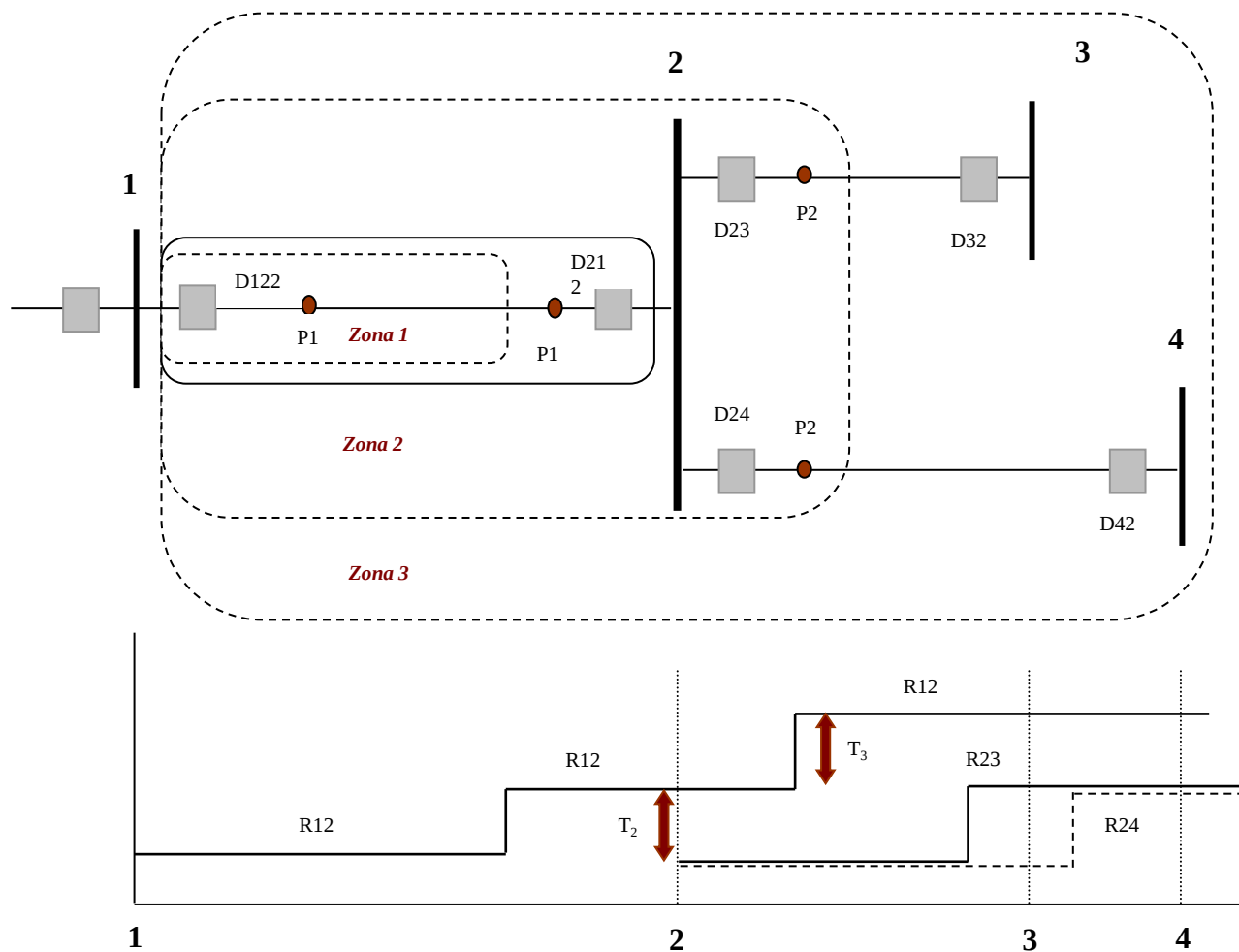
Característica Operacional de um Relé de Distância tipo Mho

Relés de distância

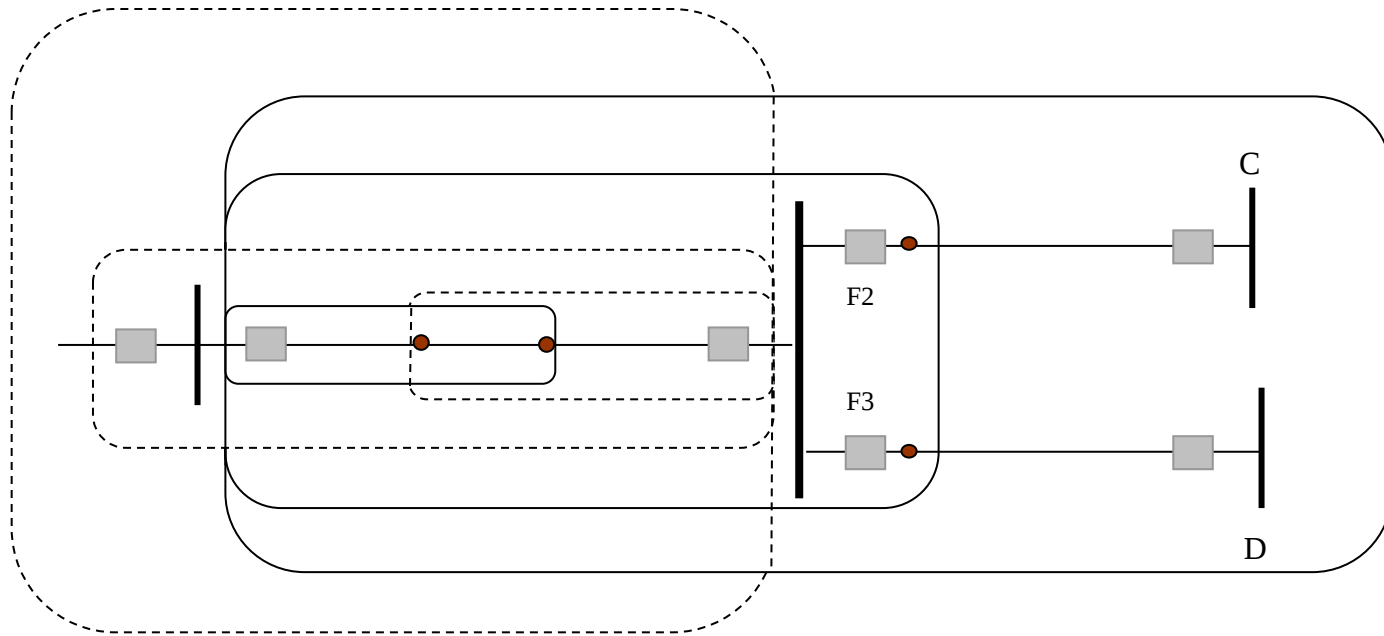


Característica Operacional de um Relé de Distância tipo Quadrilateral

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.)
- ✓ Uma zona adicional 3 é criada 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 - Aplicação

(a) Em um diagrama R-X, trace o vetor representativo de uma linha com impedância de $(2.8 + j 5.0) \Omega$. 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 $(1.5 + j 0.0) \Omega$ 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.