

# Proteção e Automação de Sistemas Elétricos de Potência I

## Introdução

Giovanni Manassero Junior

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
Escola Politécnica da USP

11 de agosto de 2017

## Objetivo principal

- O objetivo do Sistema de Proteção é isolar o equipamento defeituoso:
  - De forma rápida;
  - Confiável;
  - Minimizando o trecho de rede desconectada do sistema;
  - De forma simples; e
  - Econômica.
- Desta forma, os princípios para qualquer Sistema de Proteção são:
  - Velocidade de atuação;
  - Confiabilidade; e
  - Seletividade/coordenação.

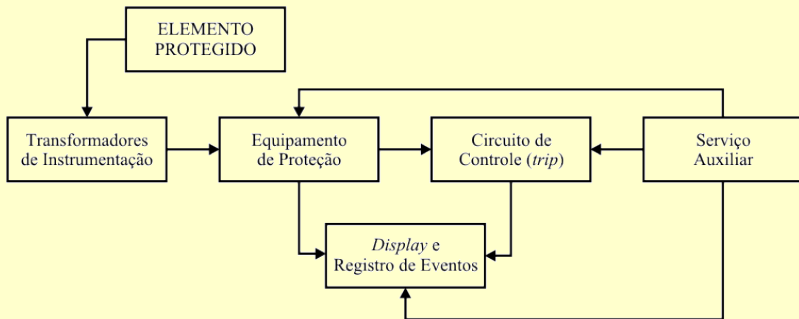
## Descrição

- Transformadores de Instrumentação: transformadores de corrente e potencial;
- Equipamento de Proteção: pode variar desde um único relé com uma única função de proteção, um IED (*Intelligent Electronic Device*) com algumas funções de proteção até um sistema com diversas funções de proteção;
- Circuito de Controle (*Trip*): é o circuito responsável pelo comando de abertura do disjuntor (este circuito pode ser do tipo *Série*, *Paralelo* ou *Paralelo com Selo*);

## Descrição

- Serviço Auxiliar de Alimentação C.C.: é o sistema de fornecimento de energia para o Circuito de Controle/*Trip*, normalmente constituído por um conjunto de baterias;
- *Display* e Registro de Eventos: são os equipamentos responsáveis pelo registro de eventos, oscilografia, histórico, etc.

# Descrição



# Princípios para o Sistema de Proteção

- **Confiabilidade:** o princípio da confiabilidade está relacionado com a taxa de falhas do Sistema de Proteção durante eventos no Sistema de Potência;
- **Seletividade ou Coordenação da proteção:** o princípio da Seletividade/Coordenação está relacionado com a capacidade do Sistema de Proteção de isolar a menor porção do Sistema de Potência;
- **Velocidade de atuação:** o princípio da Velocidade está relacionado com a capacidade do Sistema de Proteção de isolar a parte faltosa do Sistema de Potência no menor tempo possível, para que não haja riscos com relação à integridade do Sistema.

# Confiabilidade

- As falhas na proteção podem ser classificadas como:
  - Falha de Segurança (*Security*): o Sistema de Proteção atua sem que haja uma falha na rede ou no interior da zona de proteção sob sua responsabilidade - atuação indevida;
  - Falha de Operação (*Dependability*): o Sistema de Proteção não atua quando existe uma falha na rede ou no interior da zona de proteção sob sua responsabilidade - não atuação.

↑ *Security* ↔ *Dependability* ↓

↓ *Security* ↔ *Dependability* ↑

## Confiabilidade

- Uma Falha de Segurança pode implicar na diminuição da confiabilidade do Sistema de Potência como um todo (p. ex. a abertura desnecessária de uma linha de transmissão);
- Uma Falha de Operação pode implicar em um aumento da área isolada, como resultado da não atuação da proteção primária e a atuação das proteções de retaguarda;
- Quando o Sistema de Potência se encontra operando normalmente, os critérios de projeto dos Sistemas de Proteção tendem a impor uma redução das Falhas de Operação em detrimento das Falhas de Segurança (menor *Dependability* em detrimento da *Security*);



## Confiabilidade

- Caso contrário, é preciso restringir a área de atuação dos Sistemas de Proteção a apenas os trechos afetados e, portanto, os critérios de projeto procuram reduzir as Falhas de Segurança; (menor *Security* em detrimento da *Dependability*).

## Seletividade ou Coordenação da proteção

- É a habilidade do Sistema de Proteção de isolar somente o trecho defeituoso, minimizando a área desenergizada;
- Existem dois conceitos associados ao princípio da seletividade:
  - Proteção Primária: o conceito de Proteção Primária está associado ao conceito de *Security*. O Sistema de Proteção é dito seguro quando responde somente às faltas dentro da sua zona de proteção primária;
  - Proteção de Retaguarda (*Back-up*): uma vez que a Proteção Primária pode falhar, é necessário que haja algum sistema alternativo capaz de desenergizar a falta mesmo às custas da perda de uma parte maior do Sistema de Potência. Este conceito está associado ao conceito de *Dependability*.

# Seletividade ou Coordenação da proteção

- Proteção Primária:
  - Uma zona de Proteção Primária é estabelecida ao redor de cada equipamento da rede. Uma falta dentro dessa zona provoca a abertura de todos os disjuntores localizados no interior da zona, e só destes;
  - Falhas onde duas zonas de Proteção Primária se sobrepõem provocam a abertura dos disjuntores das duas zonas;
  - As zonas de Proteção Primária são definidas pelas posições dos TC's.

## Seletividade ou Coordenação da proteção

- Proteção de Retaguarda:
  - Uma zona de Proteção de Retaguarda é utilizada porque a Proteção Primária pode falhar. Desta forma é necessário que algum sistema alternativo atue desenergizando a falta mesmo às custas de perda de uma parte maior do sistema.
  - As alternativas são:
    - Proteção Primária Duplicada;
    - Proteção de Retaguarda Remota;
    - Proteção de Retaguarda Local em conjunto com Proteção de Falha de Disjuntor.

# Seletividade ou Coordenação da proteção

- Proteção Primária Duplicada:
  - Atua na mesma velocidade da Proteção Primária;
  - Podem ser utilizados os mesmos elementos do Sistema de Proteção, ou elementos distintos (para que não haja nenhum elemento de falha comum entre os Sistemas de Proteção);
  - Podem ser empregados relés de diferentes princípios de funcionamento;
  - É comum em sistemas de extra alta tensão - EHV (*Extra High Voltage*).

## Seletividade ou Coordenação da proteção

- Proteção de Retaguarda Remota:
  - Normalmente é desejável que não haja nenhum modo de falha comum entre a Proteção Primária e a Proteção de Retaguarda. Desta forma é interessante fazer o *back-up* em uma outra subestação;
  - Desvantagens:
    - Áreas maiores serão desenergizadas caso a Proteção Primária não atue;
    - Atua de forma mais lenta;
    - Nem sempre é possível ajustar a proteção para fornecer a retaguarda remota adequada.

# Seletividade ou Coordenação da proteção

- Proteção de Retaguarda Remota:
  - Vantagem:
    - Não existem falhas de modo comum entre a Proteção Primária e a Proteção de Retaguarda, uma vez que ambas se encontram em subestações distintas.

## Seletividade ou Coordenação da proteção

- Proteção de Retaguarda Local + Proteção de Falha de Disjuntor:
  - Neste caso, a Proteção de Retaguarda se encontra na mesma subestação da Proteção Primária, desta forma podem ocorrer falhas de modo comum;
  - Para solucionar o problema utiliza-se a Proteção de Falha de Disjuntor para verificar se o disjuntor efetivamente abriu isolando a parte defeituosa do sistema;



## Velocidade de atuação

- Instantâneo: não há nenhum atraso intencional ( $< 5$  ciclos);
- Temporizado: há algum atraso intencional; e
- Alta-velocidade: tempo de atuação menor do que 3 ciclos.

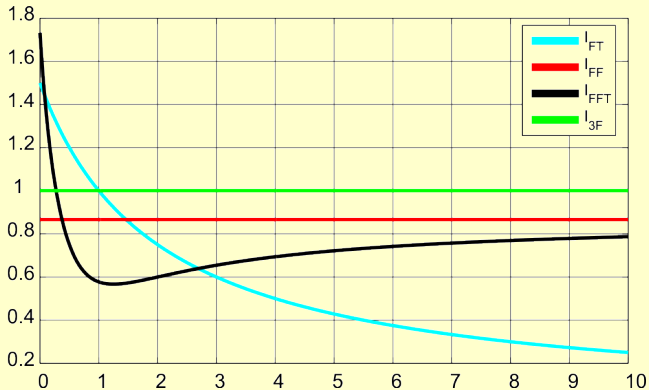
Obs.: Os disjuntores modernos levam de 1 a 3 ciclos para extinguir o arco elétrico, desta forma, o tempo total que o Sistema de Proteção leva para isolar a falta pode variar de 2 a 8 ciclos.

# Introdução

- Os relés de proteção podem ser divididos de acordo com seu princípio de funcionamento:
  - Detetores de nível;
  - Proteção diferencial;
  - Comparação de ângulo de fase (Direcional);
  - Proteção de distância;
  - Relés de freqüência; e
  - Outros.

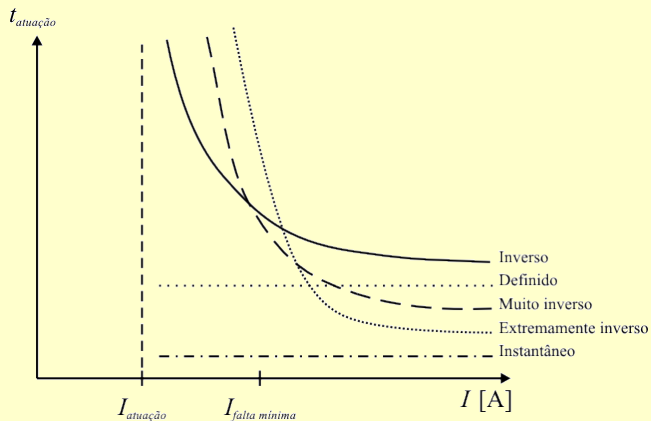
## Detectores de nível

- Os relés detectores de nível atuam quando a grandeza monitorada estiver acima (SOBRE) ou abaixo (SUB) de um valor pré-fixado. Por exemplo, o relé de sobrecorrente:



# Detectores de nível

- Relé de sobrecorrente:



## Detectores de nível

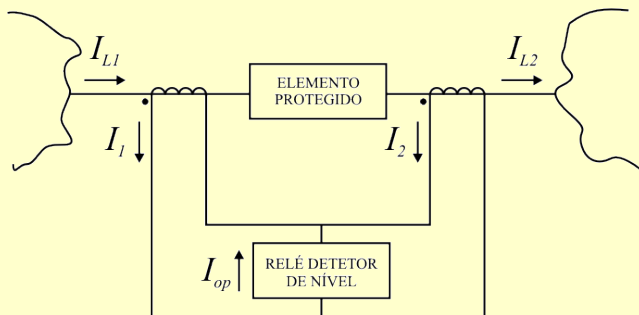
- Relé de sobrecorrente:
  - Principalmente para relés eletromecânicos, existe uma diferença entre a corrente que provoca a atuação do relé ( $I_{pickup}$ ) e a corrente em que o relé deixa de atuar ( $I_{dropout}$ );
  - A razão entre as duas correntes é definida como *Razão de Reset*:

$$\text{Razão de Reset} \longrightarrow r = \frac{I_{dropout}}{I_{pickup}}$$

- Os relés atuais ainda utilizam a filosofia dos relés eletromecânicos no que diz respeito à proteção de sobrecorrente;
- As curvas *Tempo x Corrente* são definidas em normas internacionais (IEC e ANSI, por exemplo).

## Proteção diferencial

- É uma das técnicas de proteção de equipamentos. Pode ser aplicada a geradores, transformadores, barramentos linhas de transmissão, bancos de capacitores, reatores, etc.

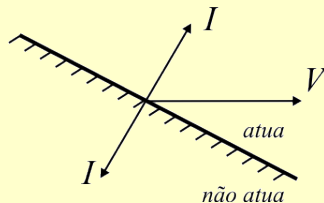


## Comparação de ângulo de fase ou Direcional

- Este tipo de proteção compara o ângulo de fase entre duas grandezas alternadas (p. ex., duas correntes, duas tensões ou uma tensão e uma corrente);
- Os relés direcionais podem ser utilizados em duas situações distintas:
  - Relés direcionais de potência: capazes de verificar se um gerador está fornecendo ou recebendo potência ativa;
  - Relés direcionais para proteção contra curto-circuito: capazes de determinar a direção da falta
- Os relés direcionais para proteção contra curto-circuitos normalmente estão associados a um relé de sobrecorrente ou distância, nas situações que estes não são capazes de atender ao critério de seletividade;

## Comparação de ângulo de fase ou Direcional

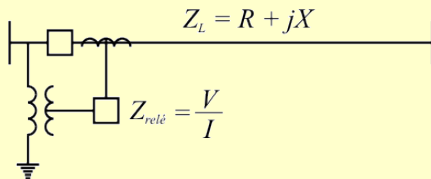
- Relés direcionais:





## Proteção de distância

- Os relés de distância baseiam-se na medição da impedância “vista” pelo relé, isto é, na relação entre uma tensão e uma corrente;



## Relés de freqüência e outros

- Os relés de freqüência são utilizados para monitorar a freqüência do sistema e efetuar a rejeição de carga adequada quando há redução na freqüência da rede;
- Outros relés:
  - Temperatura (geradores e transformadores);
  - Gás (transformadores);
  - Ondas trafegantes (proteção de linhas de transmissão.)

# Introdução

- Os relés de proteção podem ser divididos de acordo com a tecnologia utilizada:
  - Eletromecânicos: os relés de proteção eletromecânicos foram os primeiros a serem utilizados e, ainda hoje possuem lugar de destaque na proteção de sistemas elétricos;
  - Eletrônicos (Estáticos): os relés estáticos surgiram da necessidade de melhora no desempenho dos sistemas de proteção uma vez que os sistemas de potência têm crescido em termos de complexidade e tamanho;
  - Digitais (Numéricos): os relés digitais são ainda mais versáteis que os relés eletrônicos e, desta forma podem ser aplicados em sistemas de potência que estão em constante evolução.