



# SISTEMAS DE PROTECÇÃO

---

José Rui Ferreira



# Programa

---

- Objectivos dos sistemas de protecção e controlo.
- Princípios dos Sistemas de Protecção. Componentes
- Tipos de Relés. Relés electromecânicos.
- Curvas características dos relés.
- Coordenação dos Sistemas de Protecção.
- Protecção de sobreintensidade.



# Programa

---

- Protecção de linhas - Relés de distância.
- Protecção de linhas - Fios piloto...
- Protecção de sobretensão.
- Protecção de barramentos.
- Protecção de alternadores, máquinas de corrente alternada, baterias de condensadores e reactâncias
- Protecção de transformadores e conjunto gerador/transformador



# Programa

---

- Sistemas de manutenção, diagnóstico e teste de sistemas de protecção.
- Monitorização da posição eléctrica dos disjuntores.
- Sistemas de comunicação entre centrais/subestações e centros de controlo.
- Protecções digitais - Princípios



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

**Objectivo de um SEE** - alimentar as cargas considerando factores de ordem económica, ambiental e de qualidade de serviço.

Melhoria da qualidade de serviço:

- projectando o sistema de forma adequada;
- planeando adequadamente a sua operação;
- dispor de circuitos alternativos para alimentação das cargas;
- utilizando isolamentos adequados e devidamente coordenados;
- utilizando componentes possuindo resistência mecânica adequada;
- projectando componentes expostos ao ar de forma a minimizar a ocorrência de defeitos devidos à humidade, poluição, ...
- realizando acções de manutenção;



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

O aumento da fiabilidade e a melhoria da qualidade de serviço não devem ser, no entanto, objectivos perseguidos sem atender aos investimentos associados.

Progressos nos campos das protecções e controlo são pré-requisitos importantíssimos para a eficiente operação e contínuo desenvolvimento dos sistemas de energia.

Sem um SP complexo seria impossível conduzir um sistema de energia moderno.

A função do equipamento de protecção **não** é a de prevenir a ocorrência de um defeito. O equipamento entra em acção só após a ocorrência do defeito.

*Excepção: relé Buchholz.*



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

**Defeitos** - situações associadas a mudanças repentinas e, por vezes, violentas das condições de operação do sistema.

**Tipos** - trifásico com ou sem contacto à terra  
fase-fase  
fase-terra  
fase-fase-terra

**Podem originar** - intensidade de corrente elevadas;  
- perdas de grande quantidade de energia;  
- danos em diversos equipamentos devido a esforços dinâmicos ou térmicos;  
- perda de sincronismo e ilhamento do sistema



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

**Causa-**do sistema (falha de isolamento, humidade, quebra de isoladores,...)  
erros humanos (teste, manutenção, ajustes incorrectos,...)

***Torna-se necessário:***

**Retirar de serviço de forma rápida o elemento causador do defeito.**

Perigos caso o defeito não seja isolado:

- perda de sincronismo dos geradores de um ou vários centros produtores;
- risco de deterioração do material;
- risco da saída do resto do sistema;
- risco para os consumidores industriais, devido aos motores síncronos, perda de produtividade.





# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

Como evitar ou limitar os danos?

*Instalação de um sistema discriminativo de protecção, projectado de acordo com as características e requisitos do sistema de energia, que monitorize o funcionamento do sistema e, face a condições anormais, actue sobre a aparelhagem de corte de modo a isolar o defeito.*



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### *Estatística de defeitos*

É muito importante para a administração dos sistemas de protecção.

### Dados a considerar:

- Operações correctas
- Operações incorrectas

A performance de um Sp pode ser medida e comparada com base em 2 importantes índices

Índice de defeitos =  $100(A-F)/A$  %

A- n° total de defeitos ano estudo

F- n° total de defeitos incorr. isolados

Índice de erro (não defeitos) =  $100(C-E)/C$  %

C- n° total de aparel. corte no sistema

E- n° total de não defeitos cortados



# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

---

	Ano				
	1	2	3	4	5
Nº total de defeitos	672	678	505	429	295
Índice de defeitos (%)	94,2	96,6	95,6	95,9	92,2
Nº total de aparelhos de corte	10514	9784	9737	9252	9252
Índice de erro (%)	98,3	97,8	97,6	98,6	98,6

---

---

Equipamento	Ano				
	1	2	3	4	5
Linhas aéreas e cabos	435	460	293	269	174
Transformadores e baterias	91	100	102	49	32
Geradores e geradores/transfor.	89	75	66	65	51
Barramentos	50	32	31	33	27
Diversos	7	11	13	13	11

---



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### Tipos de defeitos:

*linhas:* 85% fase-terra; 15% fase-fase  
desc. atmosf., poluição, gelo, ...

*cabos:* 50% no cabo  
50% nas caixas de junção, derivação

*transformadores:* 10% dentro cuba  
15% contorn. isoladores  
65% reg. tom.

*barramentos:* ( $\approx$  1 defeito 15 em 15 anos)  
25% falhas isolamento  
25% contornamentos  
30% erros humanos  
10% diversos



# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

Causas de defeito ou erro de manobra	Ano				
	1	2	3	4	5
defeito ou erro de manobra que podia ser evitado por manutenção	20	36	16	12	25
teste	12	10	13	20	6
instalação incorrecta	23	25	12	10	7
Interferência física	17	23	23	14	13
Interferência eléctrica	15	11	12	10	15
choque mecânico ou vibração	14	4	4	3	2
concepção do componente ou defeito do componente	19	21	14	10	16
ajuste incorrecto	9	12	11	15	3
falha mecânica	6	6	7	2	6
sistema	11	2	7	6	2
outras	40	41	36	28	21
<i>Total</i>	<i>186</i>	<i>191</i>	<i>155</i>	<i>130</i>	<i>116</i>



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### Características de um SP

Um sistema de protecção deverá ser sensível a diversas situações de perturbação:

- defeitos, por exemplo, de isolamento originando diversos tipos de curto-circuito. As sobretensões poderão provocar, também, danos nos isolamentos;
- condições anormais de operação associadas a:
  - sobrecargas de longa duração;
  - ligação ou corte simultâneo de cargas de valor elevado;
  - sobretensões de manobra associadas, por exemplo, à abertura de linhas longas.



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### *Características funcionais*

- Selectividade
- Rapidez de operação
- Sensibilidade
- Fiabilidade e segurança
- Economia
- Reclosing
- Relés primários e secundários
- Zonas de protecção

# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### *Características funcionais*

**Selectividade** - propriedade que um SP deverá possuir de modo a isolar apenas o equipamento defeituoso quando da ocorrência de um defeito;

**Rapidez de operação** - o SP deverá actuar tão rapidamente quanto possível de modo:

- reduzir os danos nos equipamentos
- aumentar eficiência no reengate automático
- reduzir o intervalo de tempo em que a tensão assume valores diferentes do nominal
- manter a estabilidade do sistema

Reclosing

00.3sFO15sFO

### Tempos típicos de eliminação de defeitos

Un	tp
300-500 kV	100-120 ms
110-220 kV	150-300 ms
6-15 kV	1.5-3.0 s

Os tempos de eliminação de defeitos têm vindo a decrescer



# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### Tempos típicos de eliminação de defeitos

Un	tp
300-500 kV	100-120 ms
110-220 kV	150-300 ms
6-15 kV	1.5-3.0 s

**NOTA:**

$$T_{\text{total}} = t_p + t_d$$

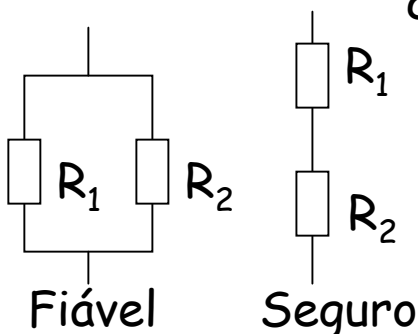
Tempo de actuação dos disjuntores

Tempos decrescentes com o aumento do nível de tensão.

Os tempos de eliminação de defeitos têm vindo a decrescer.

**Fiabilidade** - o sistema deve operar no caso de ocorrência de um defeito na sua zona de protecção

**Segurança** - o SP não deve operar sob condições em que não esteja previsto que actue



**Operação incorrecta:**

- ✓ Desing desadequado
- ✓ Instalação incorrecta
- ✓ Deterioração do equipamento

# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

**Sensibilidade** - propriedade associada à menor intensidade de corrente (por exemplo) suficiente para fazer actuar o SP.

As protecções deverão ser suficientemente sensíveis para:

- ❖ Operarem nas condições de defeito associadas às menores intensidades de corrente de curto-circuito
- ❖ Não actuarem nas condições de carga que originam as máximas intensidades de corrente
- ❖ Actuarem para defeitos que ocorram na sua zona de protecção

*Coordenação selectividade*

**Economia** - é difícil contabilizar os benefícios decorrentes da instalação de um SP. Trata-se de um seguro associado à operação do sistema.

O custo de um SP de uma instalação é uma percentagem diminuta do custo total (<3%). Grandes alterações no custo do SP têm pouca influência no custo total.



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

**Reclosing** - o objectivo a atingir com as acções de reclosing é aumentar a segurança do sistema diminuindo a diferença entre **Fiabilidade e Segurança**

Pode ser:

- *manual* - no próprio equipamento, num painel de controlo ou no SCADA
- *automática* - obtida através de religadores ligados aos relés

Ciclo de reengate rápido

O 0.3s FO 15s FO
------------------



# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

*A selectividade é obtida definindo zonas de protecção*

### Zonas de Protecção

- conjunto bem definido de equipamentos que, por projecto, um equipamento de protecção deverá proteger;
- um defeito que ocorra dentro de uma zona - e apenas esse defeito - deverá originar a actuação da protecção dessa zona
- 2 funções:
  - capacidade para detectar defeitos que ocorram dentro dessa zona
  - capacidade para desligar apenas os equipamentos colocados no interior dessa zona
- As zonas de protecção podem ser:
  - i. Abertas, não restritas* - quando não é definida de forma completa pelos TI, isto é, quando pode variar de acordo com o valor das correntes de defeito ou com a configuração do sistema
  - ii. Diferenciais, fechadas* - neste caso todos os inputs são monitorizados obtendo-se uma zona absolutamente selectiva

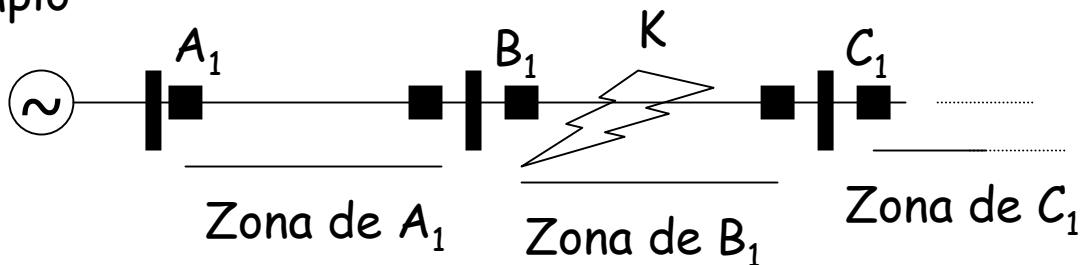
# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### Relés primários e secundários

Cada protecção deverá actuar caso ocorram defeitos em equipamentos localizados na sua zona de protecção

#### Exemplo



#### Defeito em K

- deverá actuar a protecção B<sub>1</sub>
- se esta não actuar, deverá actuar A<sub>1</sub>
- para haver selectividade as protecções A<sub>1</sub> e B<sub>1</sub> devem estar coordenadas

$$tp_{A_1}(\text{def } K) > tp_{B_1}(\text{def } K)$$

**Para um defeito em K, B<sub>1</sub> é a protecção primária e A<sub>1</sub> é a protecção secundária ou de reserva**



# Introdução

---

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### Protecção secundária

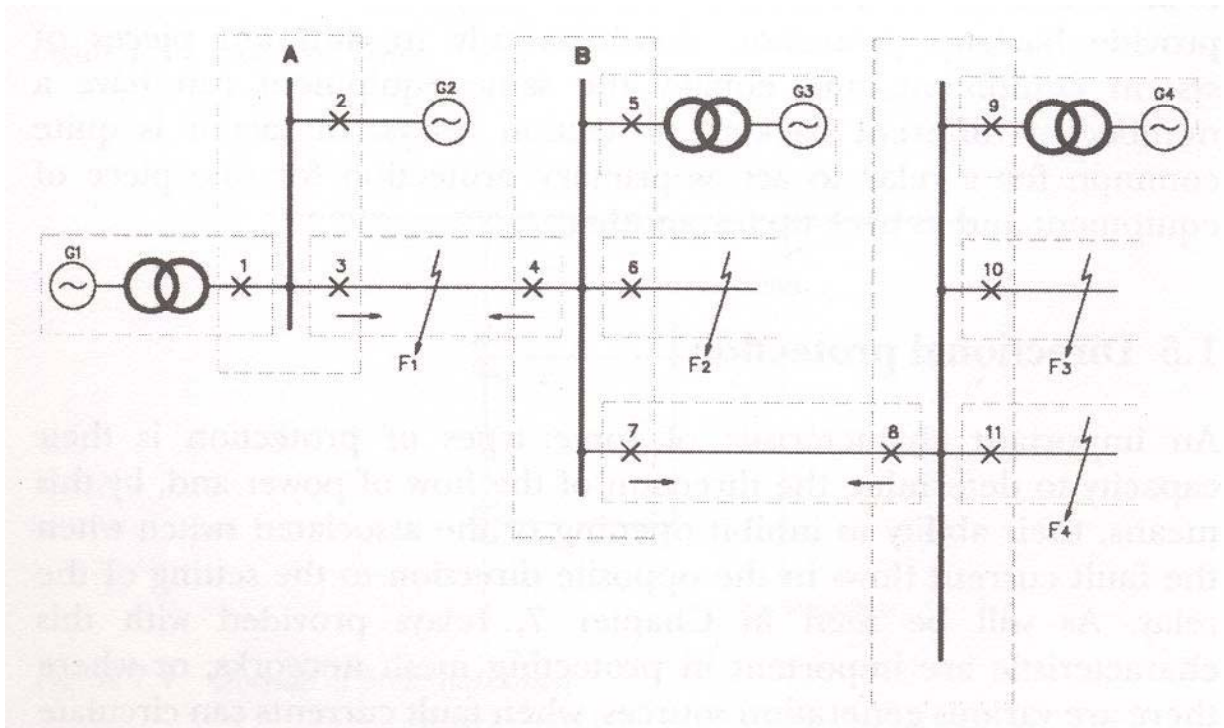
*Protecções locais* - instalada no mesmo local que a protecção primária mas operando de forma mais lenta. Actuam sobre os mesmos disjuntores

*Protecções remotas* - instaladas noutra local. Os tempos de operação deverão ser coordenados e actuam sobre disjuntores diferentes. Retiram, em geral, um maior número de equipamentos de serviço

# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### Exemplos

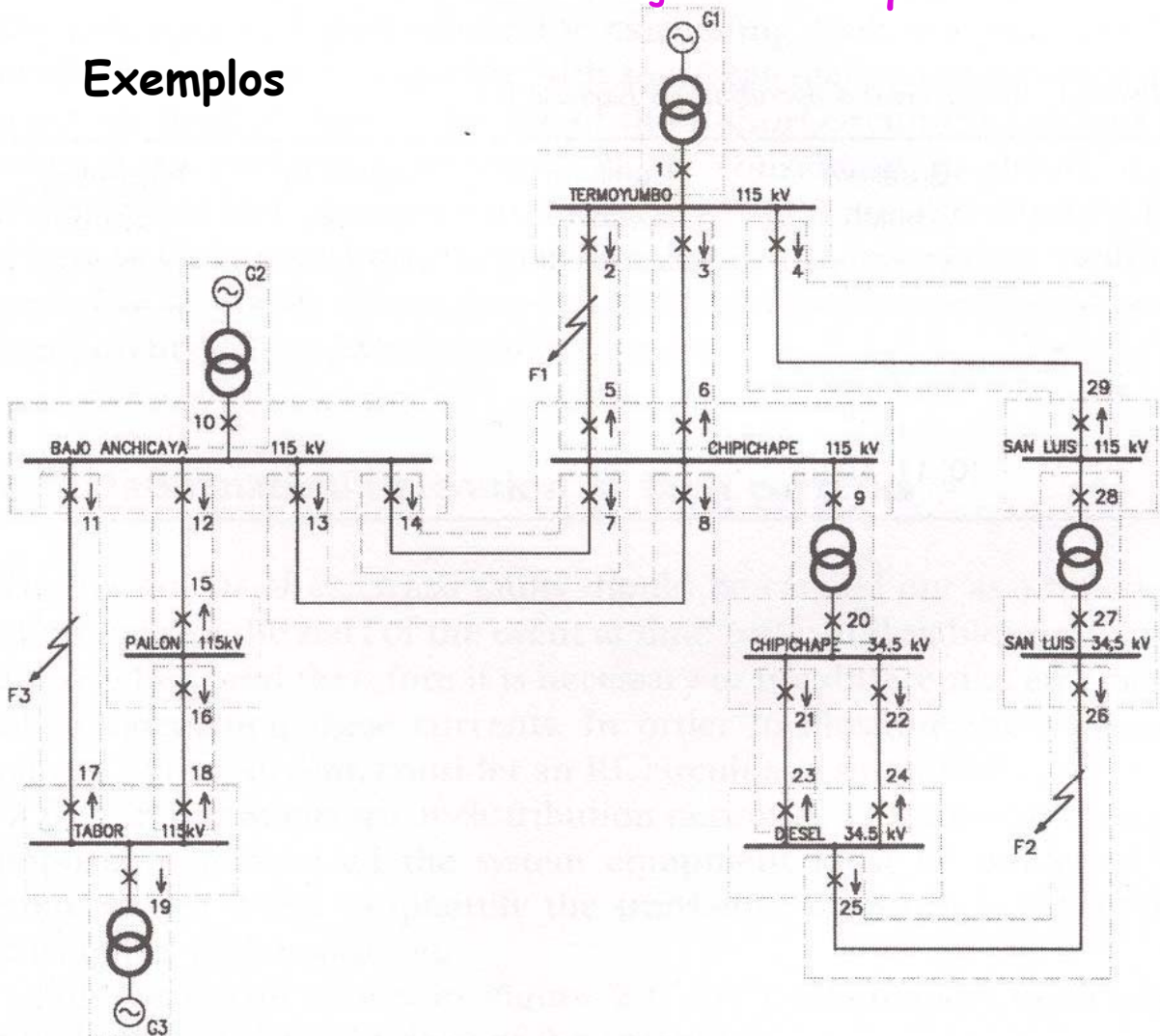


Case	Breakers which operated	Breakers which maloperated	Tripped by primary protection	Tripped by back-up protection
F <sub>1</sub>	1, 2, 4	3	4	1, 2
F <sub>2</sub>	3, 5, 8	6	—	3, 5, 8
F <sub>3</sub>	10	—	10	—
F <sub>4</sub>	8, 11	8	11	—

# Introdução

## Sistemas de Protecção: Porquê?

### Exemplos



Case	Breakers which operated	Breakers which maloperated	Tripped by primary protection	Tripped by back-up protection
F <sub>1</sub>	2, 3, 4, 5		2, 5	
F <sub>2</sub>	21, 22, 23, 24, 27			
F <sub>3</sub>	10, 11, 17, 19			





# Princípios e componentes

---

O isolamento de um defeito num sistema de energia, minimizando o corte de carga e a deterioração dos componentes do sistema, obedece a dois princípios fundamentais:

- i. O sistema deve ter um número suficiente de aparelhos de corte correctamente localizados de modo a desligar os componentes em situação de defeito
- ii. Cada um destes aparelhos deverá reconhecer o defeito e actuar só quando for necessário

## *Métodos de identificação do defeito*

Um relé precisa de:

- informação para actuar
- distinguir entre defeitos na sua zona de actuação e em outras zonas
- distinguir entre defeitos e condições extremas de funcionamento do sistema

# Princípios e componentes

*Como pode o relé obter a informação de que necessita?*



A informação é obtida a partir dos valores da corrente, da tensão e do ângulo de esfasamento entre elas no momento do defeito.

*Será que a informação de que os relés necessitam é a "mesma" para todos?*



Não. Há relés que apenas precisam de ver os dados relativos à zona que protegem outros vêm mais longe, recebem dados de pontos mais distantes. Nos primeiros são usados normalmente elementos de atraso para ser possível haver uma certa selectividade com zonas adjacentes.

Nos segundos é feita a comparação entre os valores do local e do remoto

# Princípios e componentes

## *Metodologias usadas para obter selectividade*

### i. Tempo

adicionar aos relés, sistemas de atraso de modo que o relé que estiver mais perto do defeito seja o primeiro a dar ordem de abertura ao aparelho de corte

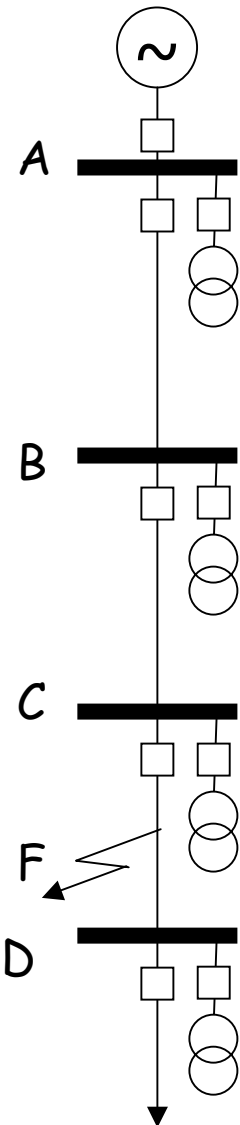
D - sem atraso

C - 0,4 s

B - 0,8 s

A - 1,2 s

*Inconveniente:* quanto mais perto da fonte, mais severo é o defeito e mais tempo demora a ser cortado

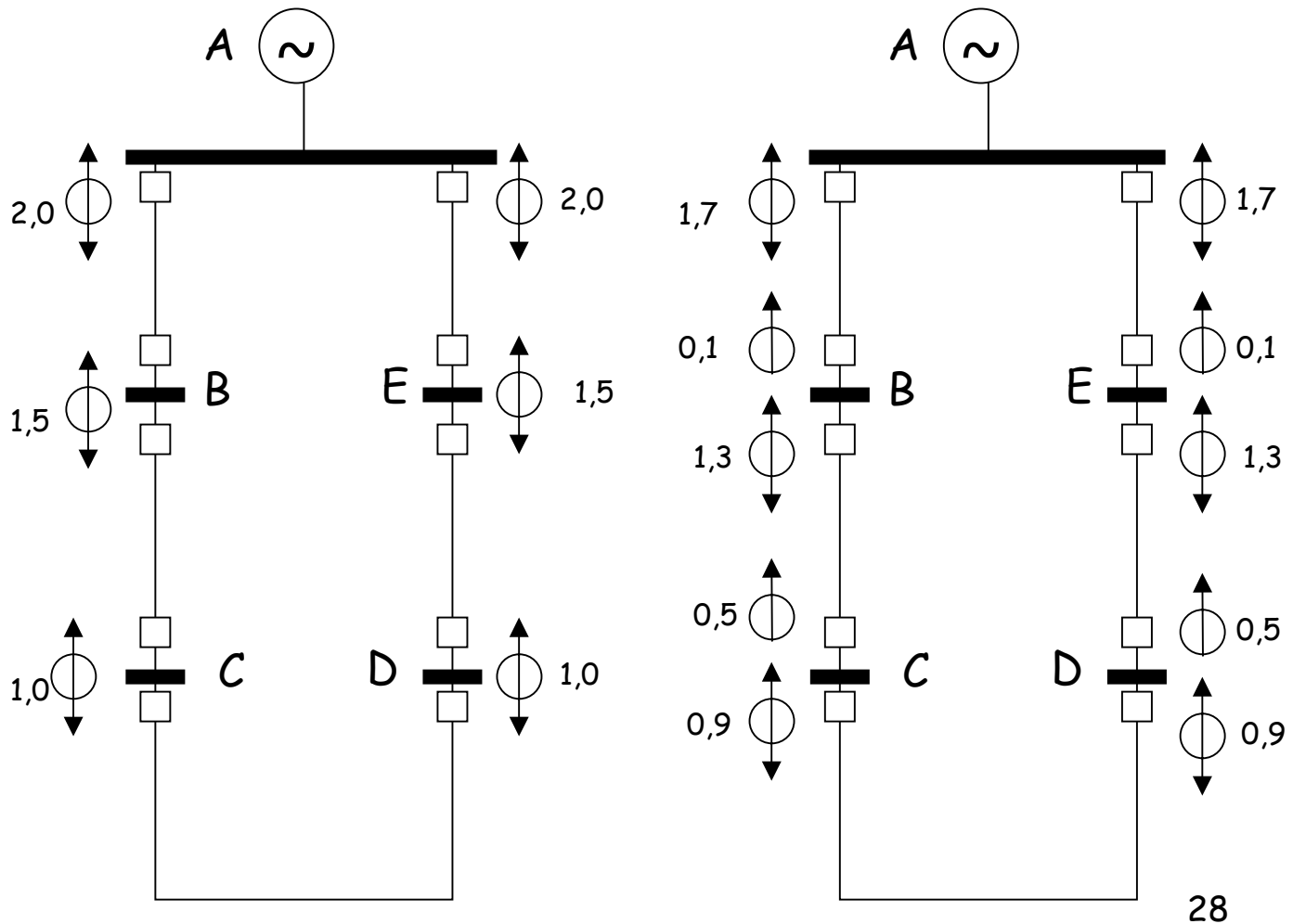


# Princípios e componentes

## ii. Intensidade de corrente

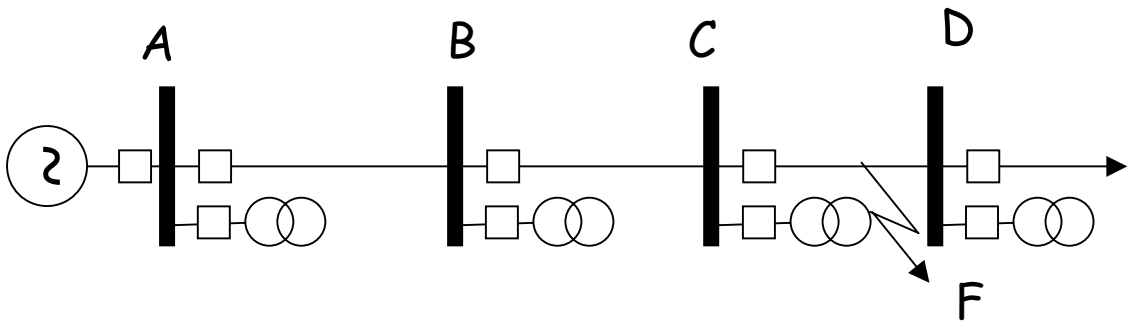
Para defeitos em diferentes pontos do sistema resultam diferentes valores de corrente como resultado de diferentes valores de impedância

## iii. Tempo e direcção

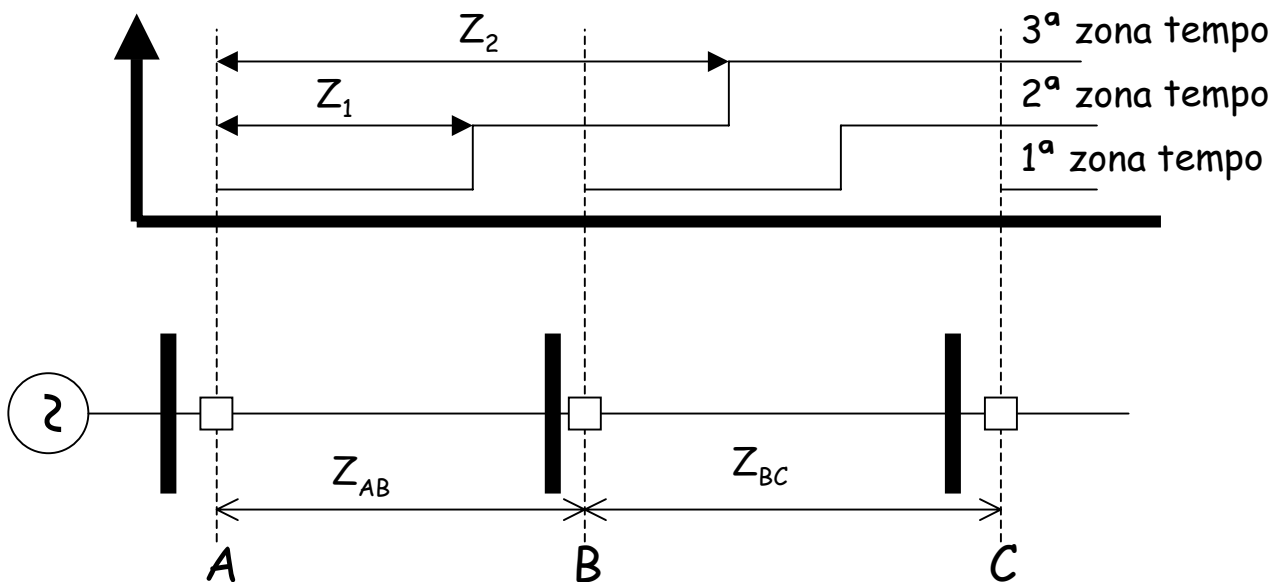


# Princípios e componentes

## iv. Distância

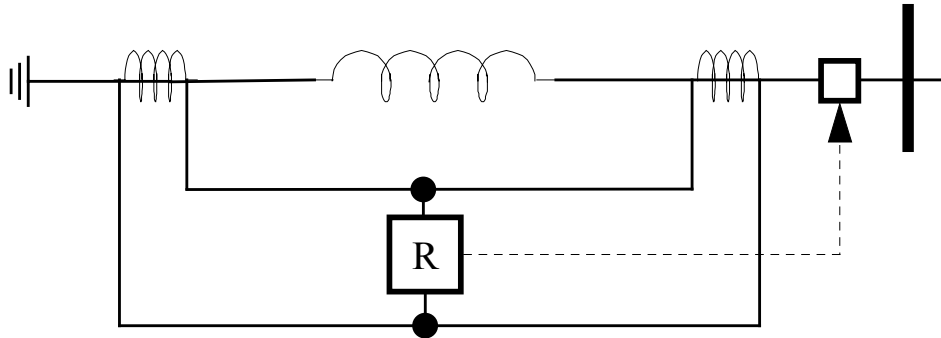


## v. Tempo + (corrente V distância)



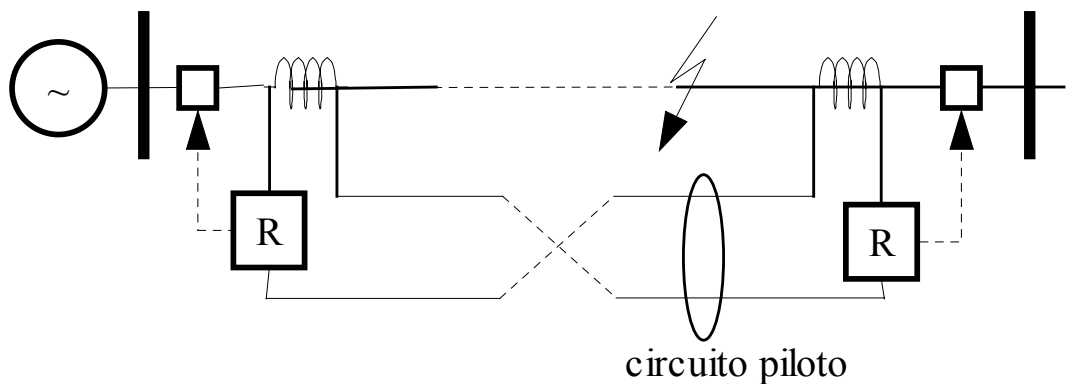
# Princípios e componentes

## vi. Equilíbrio de correntes



Usado para barramentos ou outros componentes em que os transformadores de corrente estão dentro da mesma subestação

## vii. Tensões opostas (opposed voltage)





# Princípios e componentes

---

## viii. Comparação de fase

Quando não é possível haver a transmissão do módulo da corrente entre os extremos pode-se optar por transmitir o valor do ângulo da corrente.

A protecção actua consoante o esfasamento entre a corrente na entrada e saída.

## ix. Distância com sinal

Evitar o atraso na detecção do defeito quando ocorre nos últimos 20% do comprimento do feeder.



# Princípios e componentes

---

## Componentes de um sistema de protecção

### *Relés*

Os relés associados com os SP podem ser divididos em 2 grupos:

- Comparadores
- Tudo ou nada

### *Transformadores de corrente*

Corrente no secundário - 1A ou 5A  
Corrente no secundário deverá ser uma réplica da corrente no primário

### *Transformadores de tensão*

### *Divisores capacitivos*





# Princípios e componentes

---

## Componentes de um sistema de protecção

*H.F. Condensadores de acoplamento*

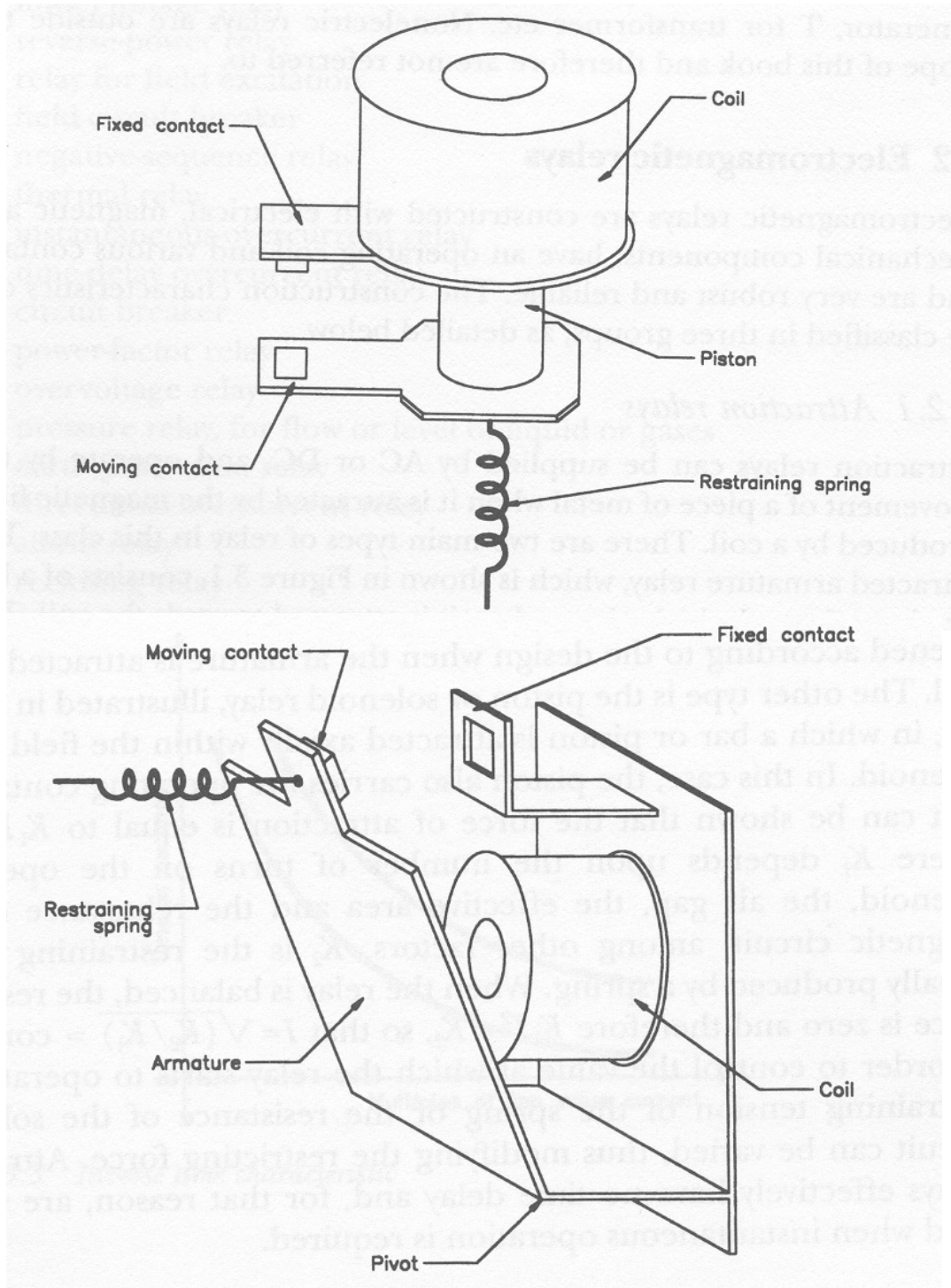
*Aparelhos de corte*

*Fontes de alimentação auxiliar*

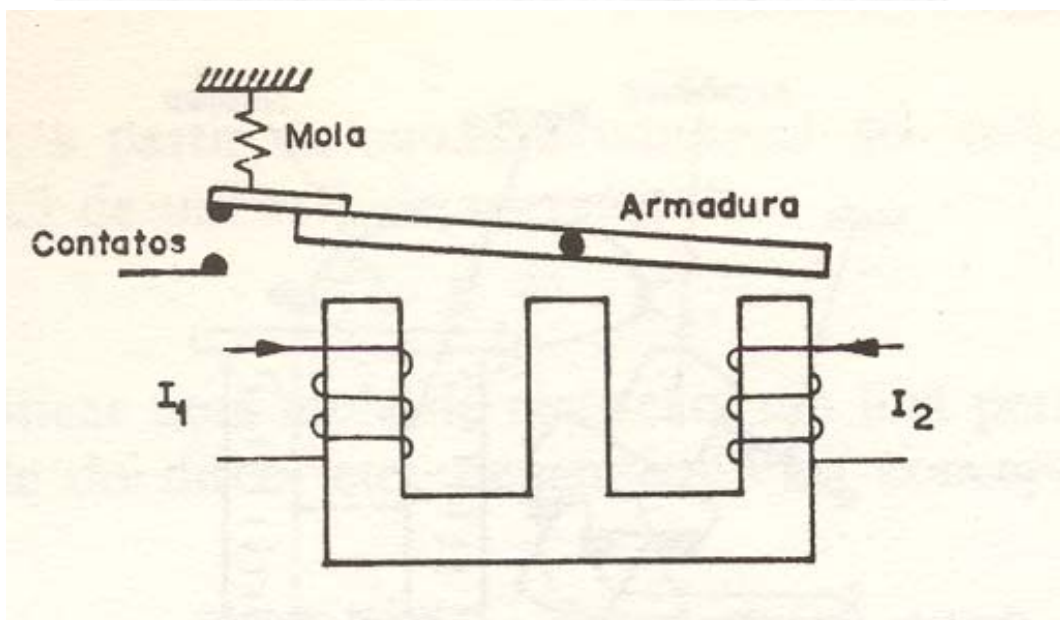
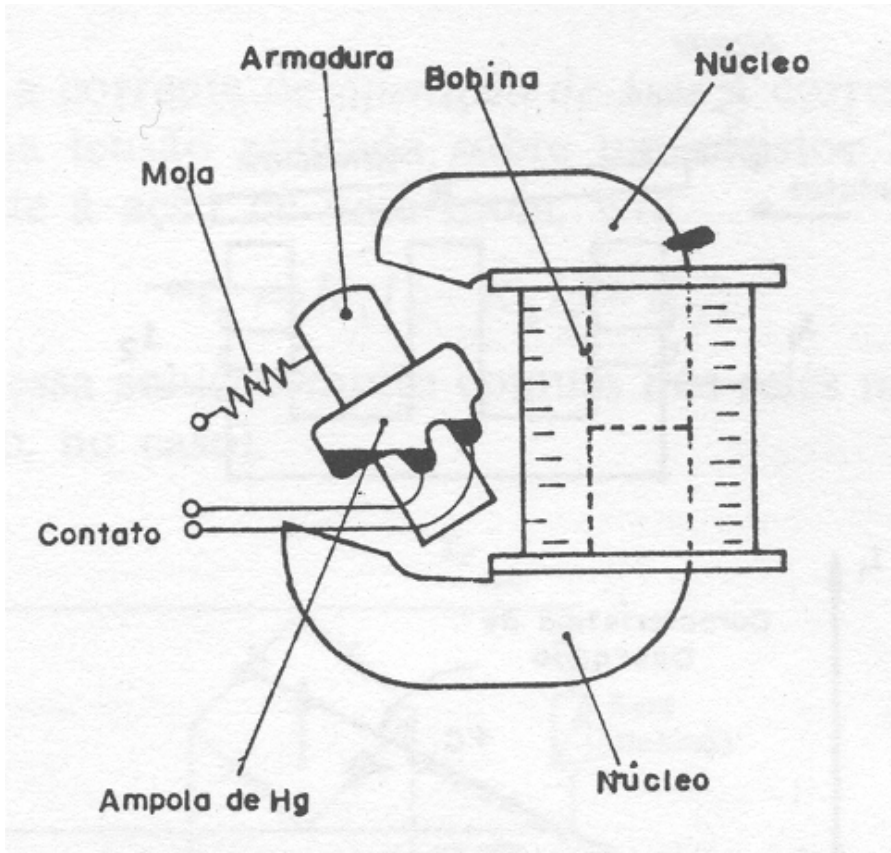
*Equipamento diverso* - fusíveis, fios de ligação, terminais, terminais de teste

*Fios piloto (circuito)*

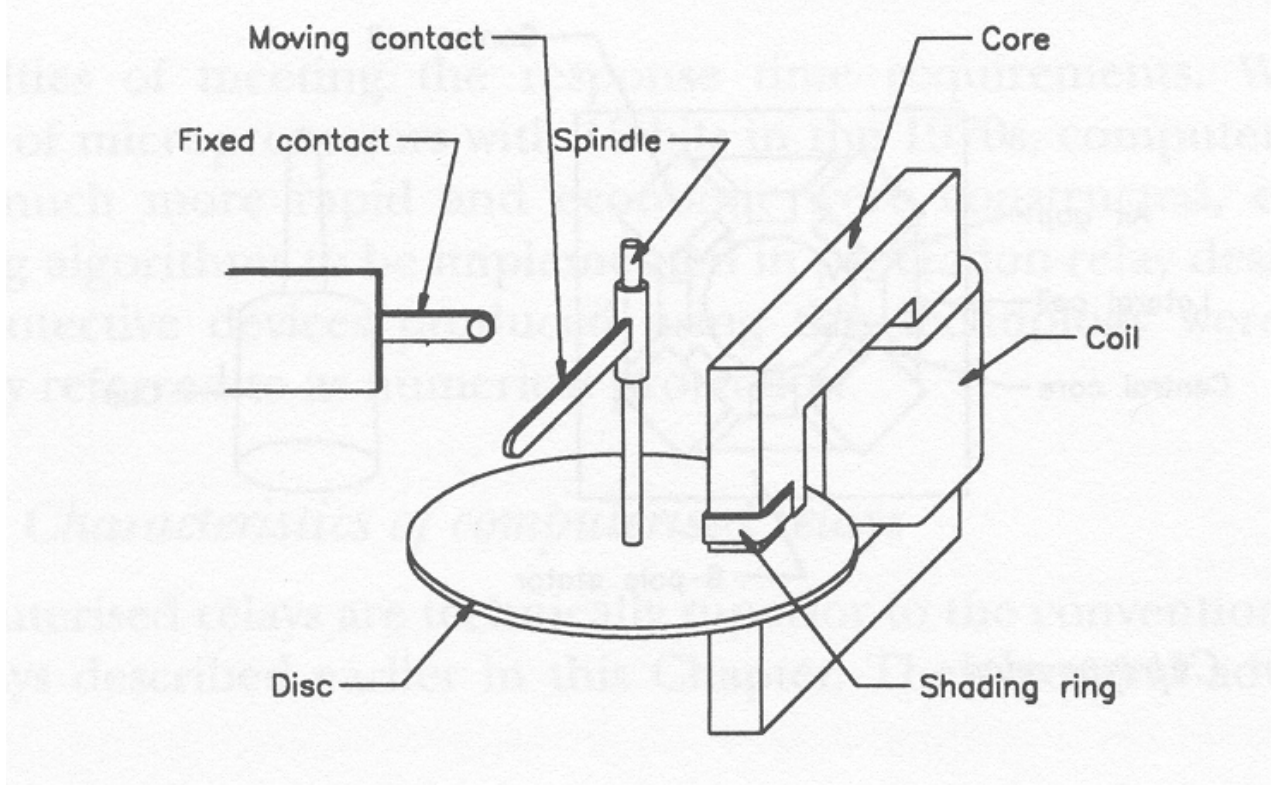
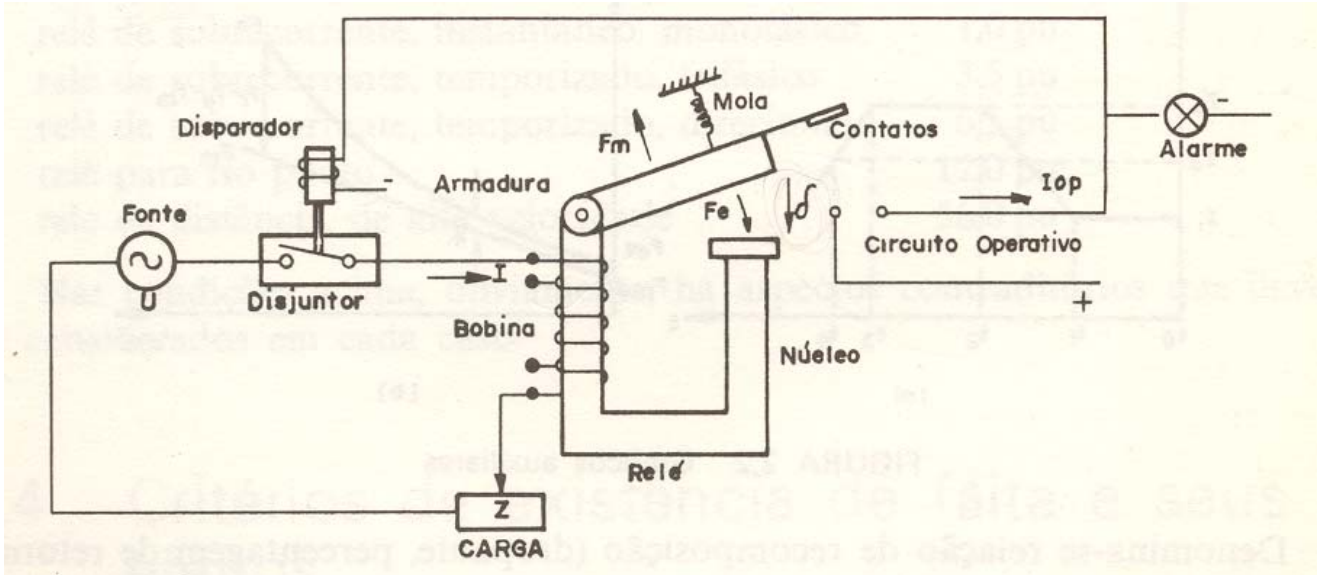
# Relés - tipos construtivos



# Relés - tipos constructivos



# Relés - tipos construtivos



# Relés - tipos construtivos

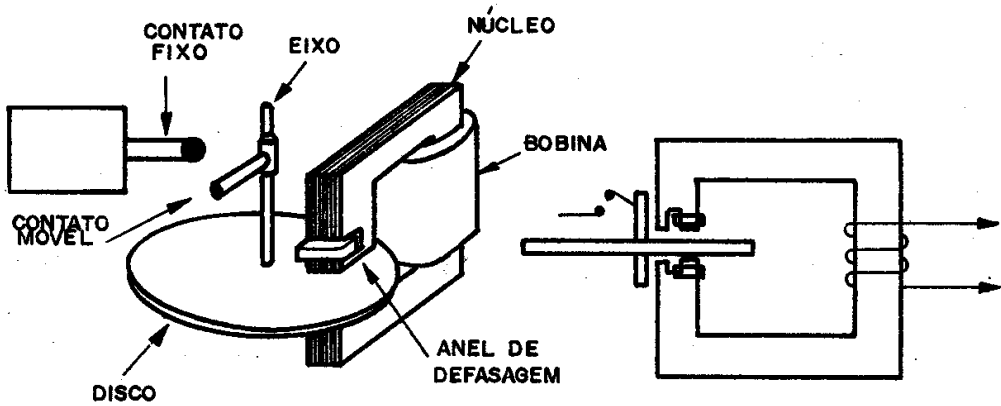
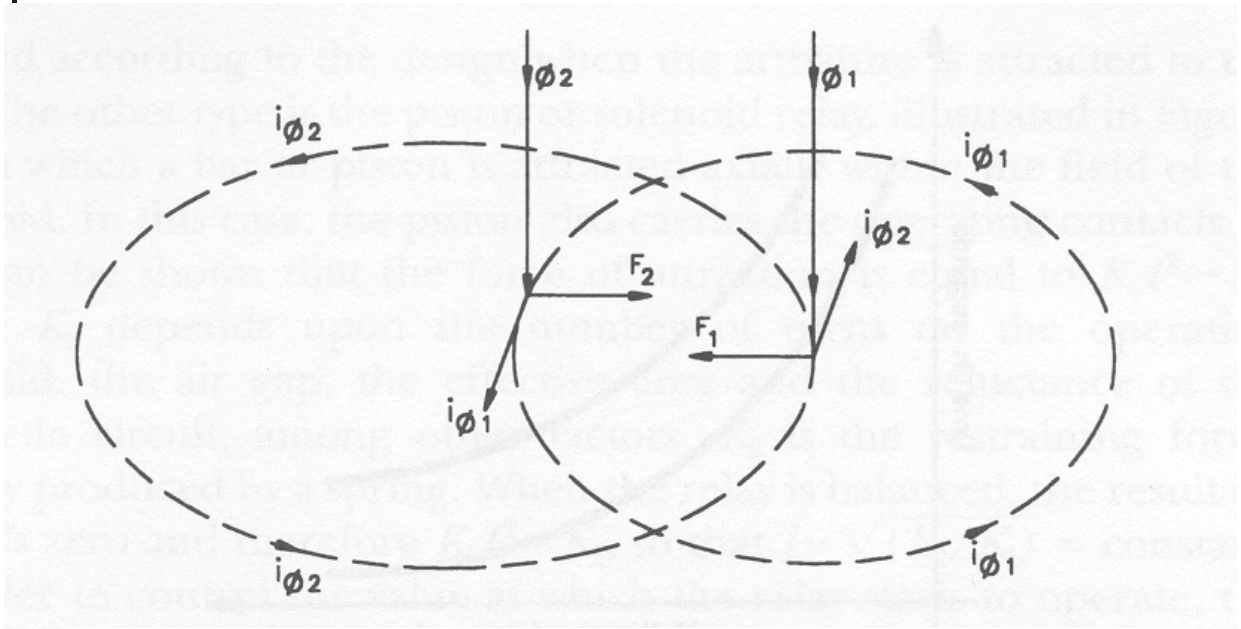
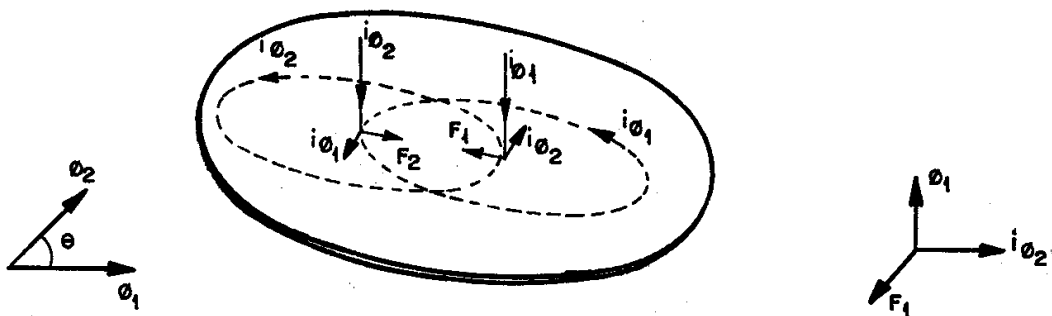
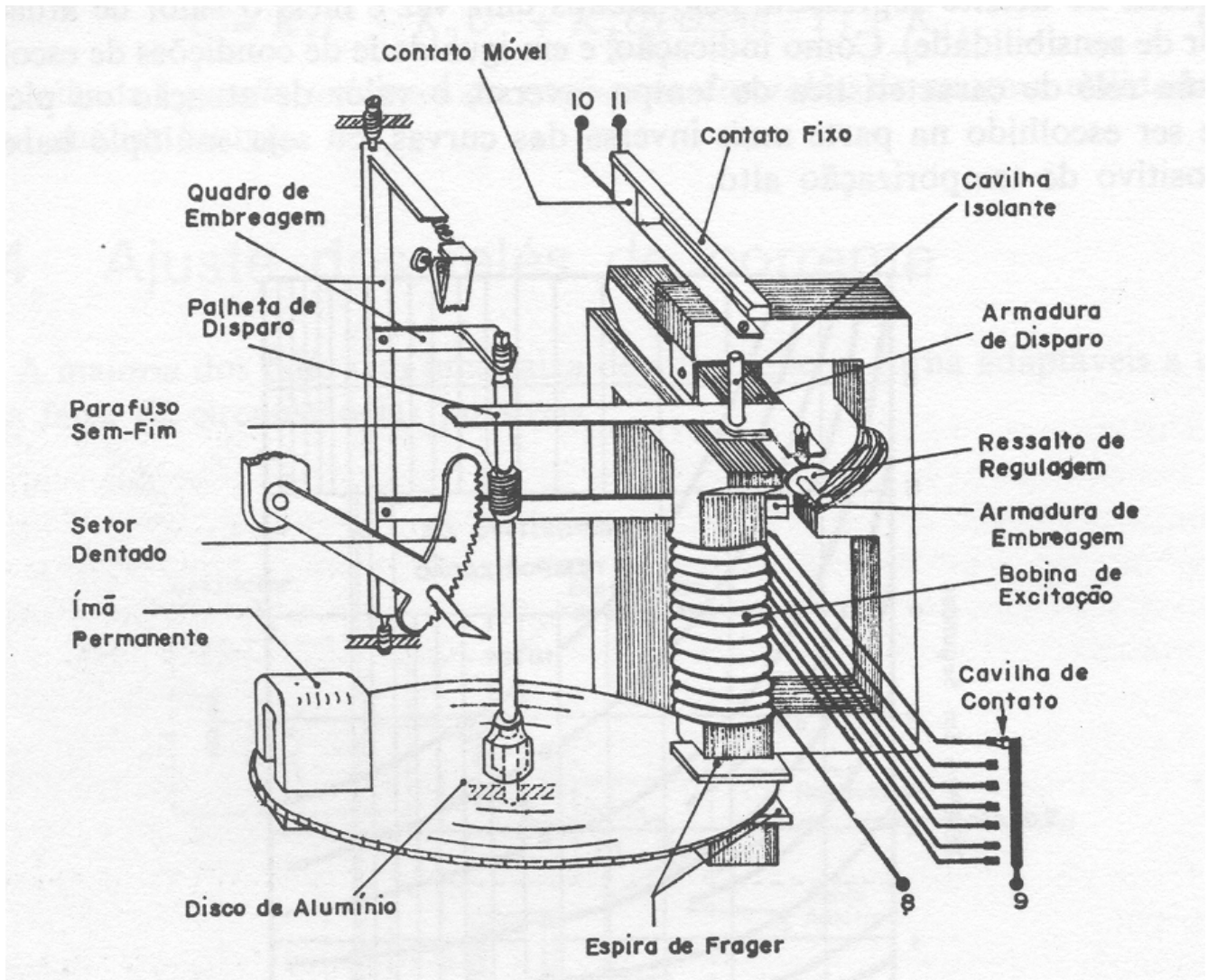


FIGURA 3.1 Relé de indução tipo disco



# Relés - tipos construtivos





# Instalação, Teste e Manutenção de Sistemas de Protecção

## Instalação

- Seguir as instruções dos fabricantes, que acompanham o equipamento (manual de instruções); (fornece toda a informação, não só do aparelho, mas também da medida dos orifícios para parafusos, sistema de encaixe, terminais de ligação, ...)
- Localização dos relés: painéis de controlo. Instalação em zonas de pouco pó, sem vibrações, protegidos do calor, ...)
- Ligação eléctrica: fios flexíveis, terminais desenhados para um correcto aperto mecânico.  
Ter especial atenção ao secundário dos TI para que não fique em circuito aberto.
- Antes de se iniciarem os testes retirar todas as peças de bloqueio que o fabricante possa ter usado.



# Instalação, Teste e Manutenção de Sistemas de Protecção

## Testes

A bateria de testes pode ser dividida em três grandes grupos:

- Testes de fábrica
- Testes de recepção
- Testes periódicos de manutenção

### *Testes de fábrica:*

- ✓ É da responsabilidade do fabricante efectuar todos os testes antes do equipamento ser entregue ao cliente e colocado em serviço;
- ✓ Garantir o funcionamento do equipamento em todas as situações para que foi previsto;
- ✓ Assegurar que nada de anormal acontecerá ao relé com o transporte e instalação;

Dois grupos de testes:

- em condições normais
- em condições anormais





# Instalação, Teste e Manutenção de Sistemas de Protecção

---

## *Testes de recepção e colocação em serviço:*

- ❖ Análise do circuito eléctrico para confirmar a polaridade das ligações, sequência, ...
- ❖ Inspecção geral ao equipamento, verificação mecânica de todas as ligações do relé e do painel;
- ❖ Medida da resistência de isolamento do equipamento de protecção;
- ❖ Inspecção e teste com injeção secundária;
- ❖ Testes aos TIs;
- ❖ Verificação da operação da protecção e dos circuitos de alarme.



# Instalação, Teste e Manutenção de Sistemas de Protecção

---

## *Medida da resistência de isolamento*

Medição efectuada com o auxílio de um 1000V Megger. O valor da resistência pode variar em função das condições climatéricas e do local.

## *Injecção secundária*

Estes testes têm como objectivo a reprodução das condições de operação do relé. De forma a realizar este teste o relé deve ser isolado electricamente usando os parafusos de teste ou deve ser retirado da sua caixa.

Alguns dos testes mais importantes :

- verificação da posição de zero do disco (relés de indução);
- Valores mínimos (I, V, P, F) para que o relé actue
- Característica temporal
- Outros testes dependentes do tipo de relé

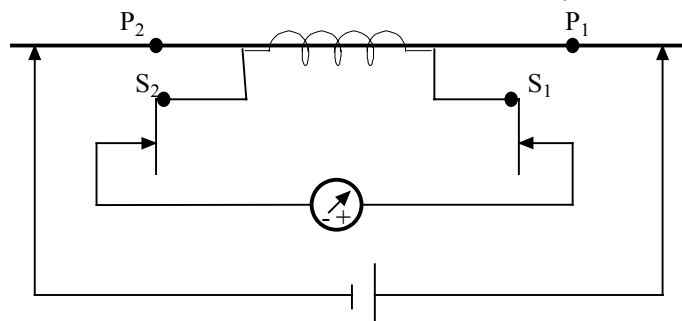
# Instalação, Teste e Manutenção de Sistemas de Protecção

## *Injecção secundária (cont)*

- Importante guardar todos os resultados obtidos, inclusive o responsável pelos testes e os elementos da equipa
- Verificar a reacção a fenómenos transitórios

## *Testes aos TIs*

- "Sobreposição" de TIs - verificar visualmente ou com medidor de continuidade se cada relé está ligado ao respectivo TI.
- Correcta ligação dos TIs
- Polaridade - Verificação da polaridade





# Instalação, Teste e Manutenção de Sistemas de Protecção

---

## *Manutenção periódica*

- Elaborar cuidadosos programas de manutenção
- A manutenção deverá proporcionar a detecção de qualquer anomalia e não ser a causadora de problemas.
- Manutenção preventiva
- Manutenção correctiva

A manutenção poderá ser realizada de duas formas:

- Online
- Offline