

Proteção e Automação de Sistemas Elétricos de Potência I

Proteção eletromecânica

Giovanni Manassero Junior

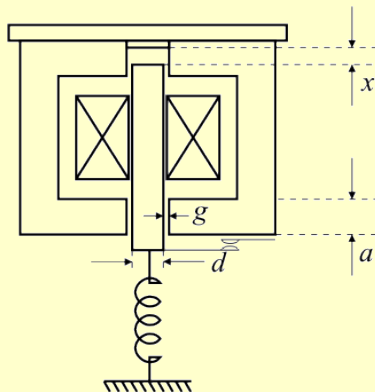
Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
Escola Politécnica da USP

11 de setembro de 2017

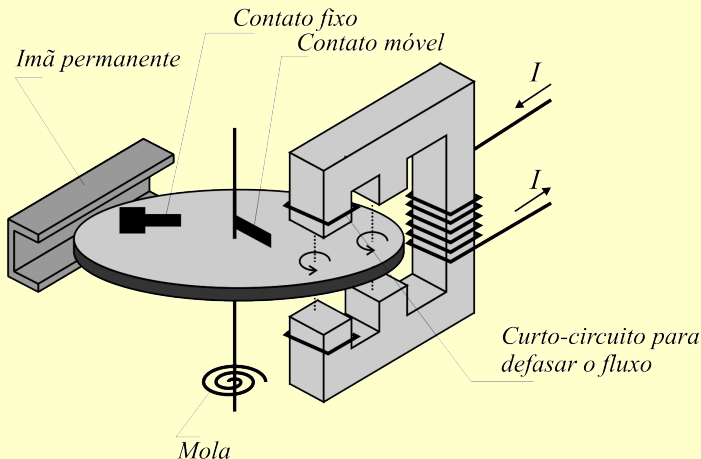
Introdução

- Os relés de proteção eletromecânicos podem ser divididos conforme os seguintes tipos:
 - Relés de Atração Eletromagnética – *Plunger*: os relés de atração eletromagnética são baseados no Princípio da mínima relutância;
 - Relés de Indução (Disco de Indução ou Copo): os relés de indução são baseados no princípio de interação de fluxos magnéticos para produção de força e conjugado mecânico. É o mesmo princípio dos motores elétricos de indução.
 - Disco de indução: temporizado;
 - Copo: instantâneo.

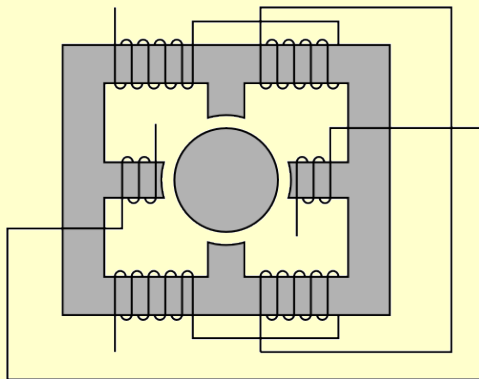
Relés de Atração Eletromagnética – *Plunger*



Relés de Indução – Disco de Indução



Relés de Indução – Copo



Princípio de funcionamento do Relé de Indução

- Quando a bobina de operação é energizada aparece torque no disco/copo, que o acelera até atingir rapidamente a velocidade de regime;
- A velocidade de regime é função do torque motor produzido pela grandeza de atuação, do torque resistente da mola e do torque resistente produzido pelo freio magnético;
- A estrutura do Relé de Indução é bastante versátil, portanto, pode ser utilizado em relés de uma única grandeza (sobre e sub) ou duas grandezas (direcionais de corrente, potência, distância, diferencial, etc.).

Princípio de funcionamento do Relé de Indução

- Relés de uma única grandeza (p. ex. sobrecorrente):

$$T = K_1 K_2 I^2 - T_{mola} - T_{freio}$$

- Relés de duas grandezas:

- Relés corrente x corrente:

$$T = K I_1 I_2 \cos(\theta - \tau) - T_{mola} - T_{freio}$$

- Relés corrente x tensão:

$$T = K I V \cos(\theta - \tau) - T_{mola} - T_{freio}$$

Princípio de funcionamento do Relé de Indução

- Os relés de duas grandezas podem ser constituídos de forma que incluam qualquer combinação dos dois tipos de relés (1 ou 2 grandezas). Desta forma, resulta a seguinte equação universal:

$$T = K_1 I^2 + K_2 V^2 + K_3 IV \cos(\theta - \tau) - T_{mola} - T_{freio}$$

Onde:

$$T_{mola} + T_{freio} = K_4$$

Portanto:

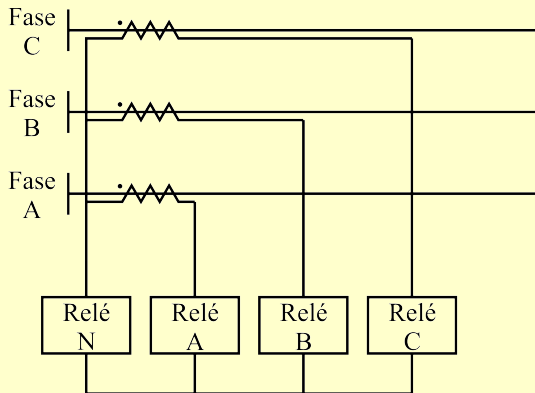
$$T = K_1 I^2 + K_2 V^2 + K_3 IV \cos(\theta - \tau) - K_4$$

- Para um relé em particular, basta fazer um ou mais K_i iguais a zero.

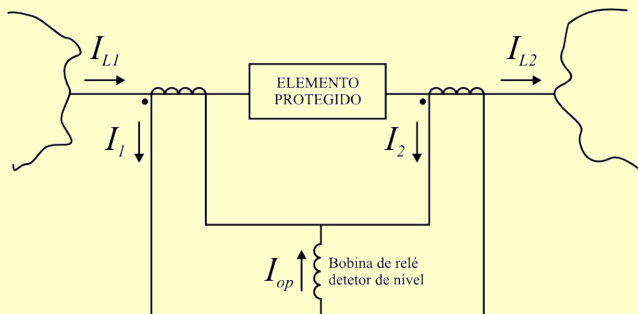
Funções de proteção

- Os relés eletromecânicos podem utilizados para implementar as seguintes funções:
 - Detetores de nível (p. ex. sobrecorrente);
 - Proteção diferencial (amperimétrica e percentual);
 - Comparação de ângulo de fase (Direcional);
 - Proteção de distância.

Detetores de nível – Proteção de sobrecorrente



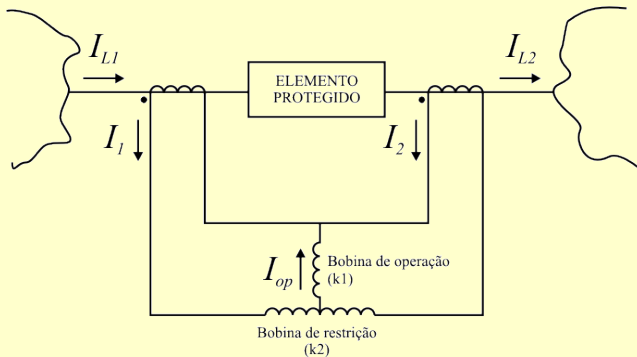
Proteção diferencial



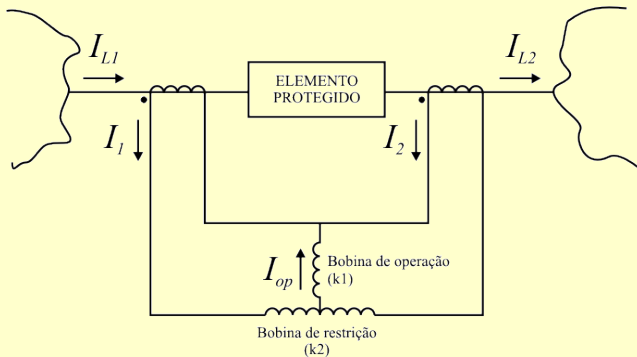
Proteção diferencial

- Este tipo de relé diferencial é denominado *Relé Diferencial Amperimétrico*. Entretanto, erros sistemáticos na proteção diferencial inviabilizam a utilização deste tipo de relé:
 - Casamento imperfeito dos TC's;
 - Existência de componente contínua da corrente de curto-circuito, não nula em pelo menos duas fases;
 - Erro próprio dos TC's;
- Desta forma, para tornar a proteção diferencial mais segura podem ser utilizados dois enrolamentos de restrição em série com ambos os TC's.

Proteção diferencial percentual



Proteção diferencial percentual



Comparação de ângulo de fase (Direcional)

- Os relés direcionais eletromecânicos são relés de duas grandezas. A grandeza de operação geralmente é uma corrente e a grandeza de polarização pode ser uma tensão ou uma corrente;
- Os relés direcionais são utilizados na Proteção Direcional de Potência ou na Proteção de Sobrecorrente Direcional (de fase e de neutro);
- No caso da Proteção Direcional de Potência são escolhidas características no relé, tal que o conjugado máximo ocorra para cargas com fator de potência unitário;
- No caso da Proteção de Sobrecorrente Direcional são escolhidas características no relé, tal que o conjugado máximo ocorra para correntes de falta atrasadas em relação à tensão.

Comparação de ângulo de fase (Direcional)

- Com relação ao conjugado máximo, existem alguns tipos de configurações típicas, denominadas unidades:
 - Unidade 0° – Conjugado máximo quando $\tau = 0^\circ$;
 - Unidade 30° – Conjugado máximo quando $\tau = 30^\circ$;
 - Unidade 45° – Conjugado máximo quando $\tau = 45^\circ$;
 - Unidade 60° – Conjugado máximo quando $\tau = -60^\circ$;
- Apesar de existir um grande número de conexões, na prática existem apenas algumas conexões usuais entre as grandezas de polarização e operação. Estas conexões são conhecidas como:
 - Quadratura (90°);
 - Adjacente (30°);
 - 60° na ligação estrela e na ligação triângulo.

Comparação de ângulo de fase - Proteção de Sobrecorrente Direcional

Tipo de Conexão	Tipo de Unidade	Fase A		Fase B		Fase C		Máximo torque ¹
90°	30°	V_{BC}	I_A	V_{CA}	I_B	V_{AB}	I_C	Atrasadas de 60°
90°	45°	V_{BC}	I_A	V_{CA}	I_B	V_{AB}	I_C	Atrasadas de 45°
30°	0°	V_{AC}	I_A	V_{BA}	I_B	V_{CB}	I_C	Atrasadas de 30°
60°-Y	0°	$-V_{CN}$	I_A	$-V_{AN}$	I_B	$-V_{BN}$	I_C	Atrasadas de 60°
60°-Δ	0°	V_{AC}	$I_A - I_B$	V_{BA}	$I_B - I_C$	V_{CB}	$I_C - I_A$	Atrasadas de 60°

¹ Posição das grandezas de operação em relação às de polarização

Comparação de ângulo de fase - Proteção de Sobrecorrente Direcional de Terra

- Polarização por tensão com unidade 60° :
 - Grandeza de operação: $3I_0$;
 - Grandeza de polarização: $-V_0$.
- Polarização por corrente com unidade 0° :
 - Grandeza de operação: $3I_0$;
 - Grandeza de polarização: I_N .

Comparação de ângulo de fase - Proteção Direcional de Potência Reativa

- Potência Ativa - Unidade 0° :
 - Grandeza de operação: I_A ou I_{AB} (se não houver o neutro);
 - Grandeza de polarização: V_{AN} ou V_{AB} (se não houver o neutro).
- Potência Ativa - Unidade 30° :
 - Grandeza de operação: I_A ;
 - Grandeza de polarização: V_{AC} .

Comparação de ângulo de fase - Proteção Direcional de Potência Ativa

- Potência Reativa - Unidade 0° :
 - Grandeza de operação: I_A ;
 - Grandeza de polarização: V_{BC} .
- Potência Reativa - Unidade 30° :
 - Grandeza de operação: I_A ;
 - Grandeza de polarização: V_{BN} .

Relé de distância

- A partir da equação universal dos relés eletromecânicos, pode-se obter a família dos relés de distância:

- Relé Mho – Tipo admitância:

$$T = K_1 VI \cos(\theta - \tau) - K_2 V^2 - K_3$$

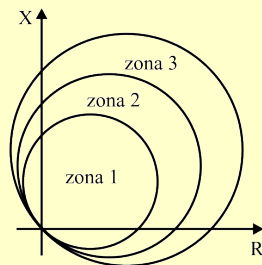
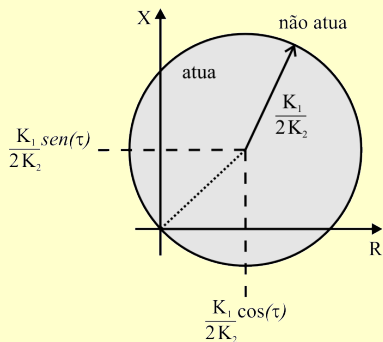
- Relé de distancia – Tipo impedância:

$$T = K_1 I^2 - K_2 V^2 - K_3$$

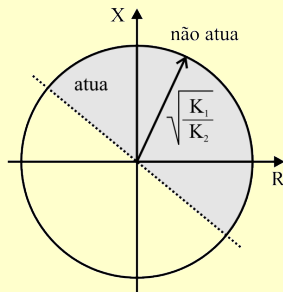
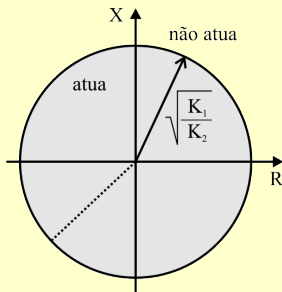
- Relé de distancia – Tipo reatância:

$$T = K_1 I^2 - K_2 VI \cos(\theta - \tau) - K_3$$

Relé de distância tipo Mho



Relé de distância tipo Impedância



Relé de distância tipo Reatância

