

# **DISPOSITIVOS DE PROTECÇÃO**

**Relés de protecção, contactores,  
seccionadores, disjuntores e fusíveis**

1

# **DISPOSITIVOS DE PROTECÇÃO**

**Relés de protecção, contactores, seccionadores, disjuntores e  
fusíveis**

## **Tópicos**

- Introdução as sistemas de protecção
- Princípios dos relés de protecção
- Relé diferencial
  - ✓ Protecção do transformador de potência

2

## **INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO**

### **Protecção de um sistema eléctrico de potência**

- A tensão eléctrica que normalmente sai das unidades geradoras é geralmente menor podendo variar entre 6.6 kV a 34 kV.
- Devido à dificuldade de transmitir essa energia à aquela tensão é preciso aumentar a tensão.
- Em função disso, próximos às centrais geradoras existem subestações elevadoras, que elevam a tensão para valores de: 11 kV, 13.8 kV, 22 kV, 33 kV, 66kV, 110 kV, 138 kV, 220 kV, 275 kV, 400 kV, 750 kV.

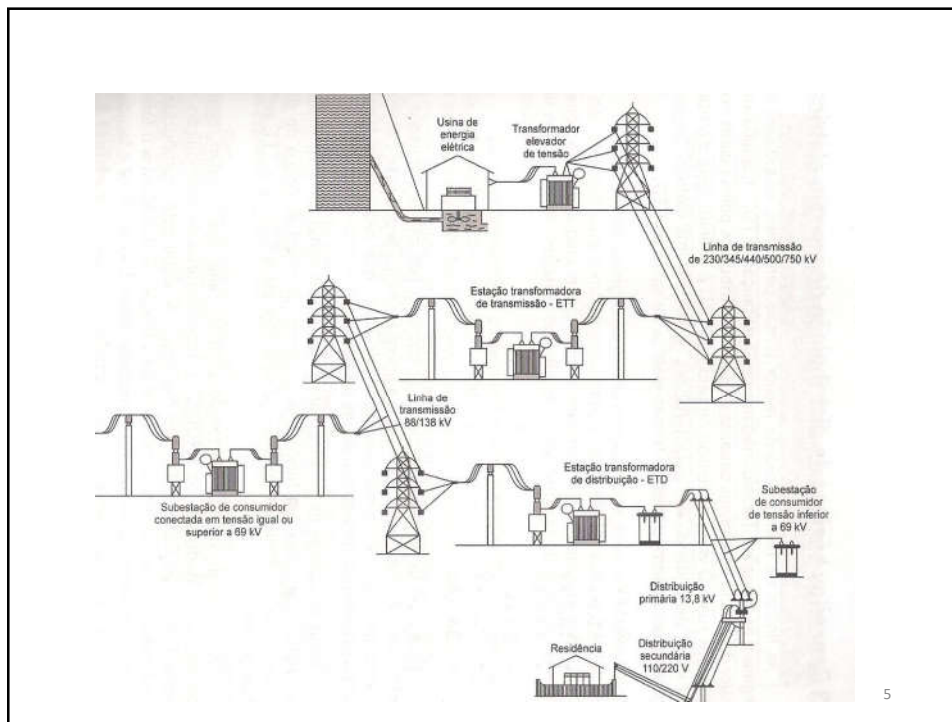
3

## **INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO**

### **Protecção de um sistema eléctrico de potência**

- Quando a energia eléctrica chega pelas linhas de transmissão próximo aos centros consumidores, ela precisa iniciar o processo de redução do nível de tensão. Essa tarefa é realizada pelas subestações Transformadoras de Transmissão.
- É nas subestações onde, também, inicia o processo de distribuição de energia eléctrica aos diferentes consumidores.

4



## INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO

### Protecção de um sistema eléctrico de potência

- ❑ Equipamentos e condutores, componentes de um sistema eléctrico são, frequentemente solicitados por tensões e correntes, diferentes dos valores nominais.
- ❑ Estas solicitações aparecem normalmente como sobrecarga, curto-circuito, sobretensões e subtensões.
- ❑ As condições anormais de operação podem danificar as instalações, equipamentos e causar acidentes envolvendo indivíduos presentes na instalação.

## **INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO**

### **Protecção de um sistema eléctrico de potência**

- As condições anormais de operação devem ser limitadas no tempo de duração e na amplitude.
- Os dispositivos de protecção nas instalações eléctricas devem desligar o circuito nas condições adversas.
- Os principais dispositivos de protecção são os fusíveis, os disjuntores e os diferentes tipos de relés.

7

## **INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO**

### **Protecção de um sistema eléctrico de potência**

- A protecção em um sistema eléctrico envolve várias etapas:
  - ✓ Definição da estratégia de protecção
  - ✓ Seleção dos dispositivos de actuação
  - ✓ Determinação dos valores de calibração dos dispositivos.
  - ✓ Etc.

8

## **INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO**

### **Protecção de um sistema eléctrico de potência**

#### **Função do Sistema de Protecção**

- Vigiar o funcionamento da rede eléctrica
- Detectar a ocorrência de situações anormais de funcionamento
- Limitar o impacto das ocorrências
- Garantir uma exploração segura e eficaz
- Promover a qualidade e continuidade de serviços

9

## **INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE PROTECÇÃO**

### **Protecção de um sistema eléctrico de potência**

#### **Requisitos de um sistema de Protecção**

- Sensibilidade
- Selectividade
- Rapidez
- Fiabilidade
- Robustez
- Vida útil
- Baixo custo

10

## PRINCÍPIOS DOS RELÉS DE PROTECÇÃO

### Relé de protecção

É um dispositivo por meio do qual um equipamento eléctrico é operado quando se produzem variações nas condições deste equipamento (ou no circuito ou equipamento a ele associado).

Outras definições de relé:

Dispositivo cuja a função é detectar nas linhas ou aparelhos faltosos, perigosas ou indesejáveis condições do sistema, e iniciar convenientes manobras de chaveamento ou dar aviso adequado.

Existem variedades de relés, atendendo as diversas aplicações, porém, eles podem ser reduzidos a um pequeno número de tipos principais.

11

## PRINCÍPIOS DOS RELÉS DE PROTECÇÃO

### Relé de protecção

- A protecção dos sistemas eléctricos de potência é feita por esquemas de protecção, que por sua vez, são basicamente comandados por relés.
- A função primordial dos relés é identificar os defeitos, localizá-los de maneira mais exacta possível e alertar aquém opera o sistema, promovendo o disparo de alarmes, sinalizações e também, dependendo do caso, promovendo a abertura dos disjuntores de modo a isolar o defeito.

12

## **PRINCÍPIOS DOS RELÉS DE PROTECÇÃO**

### **Relé de protecção**

- Como os níveis de tensões e de correntes de um sistema eléctrico são grandes, os relés operam com maior segurança quando energizados por transformadores de corrente e de tensão.
  
- Os transformadores de tensão e de corrente são transformadores destinados apenas a alimentar os equipamentos de medição, controlo e protecção.

13

## **CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS**

- Quanto às grandezas físicas de actuação: mecânicas, térmicas, ópticas, etc.
  
- Quanto à natureza da grandeza a que respondem: corrente, tensão, potência, frequência, pressão, temperatura, etc.
  
- Quanto ao tipo construtivo: electromecânicos (indução), mecânicos, electrónicos, estáticos, etc.

14

## CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

- Quanto à função: sobre e subcorrente, tensão, potência, direcional de corrente ou potência, diferencial, distância.

Os relés são classificados segundo uma numeração que se normalizou (ANSI – American National Standards Institute) para simbolizar as funções particulares dos relés, conforme a listagem a seguir:

21	Relé de distância (distance relay).
27	Relé de subtensão (under voltage relay).
30	Relé anunciador (annunciator relay).
32	Relé direcional de potência (directional power device).

15

## CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

- Quanto à função: sobre e subcorrente, tensão, potência, direcional de corrente ou potência, diferencial, distância.

37	Relé de subcorrente ou subpotência (under current or under power relay)
40	Relé de campo (field relay).
44	Relé de sequência de partida das unidades (unit sequence starting relay).
46	Relé de reversão ou balanceamento corrente de fase (reverse phase or phase-balance, current relay)
47	Relé de sequência de fase de tensão (phase-sequence voltage relay).
49	Relé térmico para máquina ou transformador (machine, or transformer, thermal relay).

16

## CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

- ☐ Quanto à função: sobre e subcorrente, tensão, potência, direcional de corrente ou potência, diferencial, distância.

50	Relé de sobrecorrente instantâneo (instantaneous over current relay).
51	Relé de sobrecorrente-tempo CA (AC time over current relay).
53	Relé para excitatriz ou gerador CC (exciter or DC generator relay).
55	Relé de factor de potência (power factor relay).
58	Relé de falha de rectificação (power rectifier misfire relay).
59	Relé de sobretensão (over voltage relay).
60	Relé de balanço de tensão (voltage balance relay).
61	Relé de balanço de corrente (current balance relay).
62	Relé de interrupção ou abertura temporizada (time-delay stopping or opening, relay).

17

## CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

- ☐ Quanto à função: sobre e subcorrente, tensão, potência, direcional de corrente ou potência, diferencial, distância.

63	Relé de pressão de nível ou de fluxo, de líquido ou gás (liquid or gaz pressure, level, or flow relay).
64	Relé de protecção de terra (ground protective relay).
67	Relé direcional de sobrecorrente CA (AC directional over current delay).
74	Relé de alarme (alarm relay).
76	Relé de sobrecorrente CC (DC overcurrent relay).
78	Relé de medição de ângulo de fase, ou de protecção contra falta de sincronismo (phase angle measuring or out-of-step protective relay).
79	Relé de religamento CA (AC reclosing relay).

18

## CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

- Quanto à função: sobre e subcorrente, tensão, potência, direcional de corrente ou potência, diferencial, distância.

80	Relé de subtensão CC.
81	Relé de religamento (frequency relay).
82	Relé de religamento CC (DC reclosing relay).
83	Relé de selecção de controlo ou de transferência automática (automatic selective control, or transfer relay).
87	Relé de protecção diferencial (differential protective relay).
91	Relé direcional de tensão (voltage directional relay).
92	Relé direcional de tensão e potência (voltage and power directional relay).

19

## CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

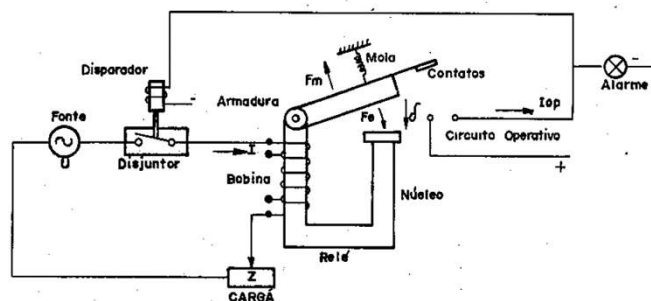
- Quanto à forma de conexão do elemento sensor: directo no circuito primário ou através de redutores de medida (TP e TC).
- Quanto ao tipo de fonte para actuação do elemento de controlo: CA ou CC.
- Quanto ao posicionamento dos contactos (quando desenergizado): normalmente aberto ou fechado.
- Quanto à aplicação: em geradores, transformadores, linhas de transmissão, aparelhos em geral.
- Quanto à temporização.
  - ✓ Instantâneo
  - ✓ Temporizado.

20

## RELÉ ELEMENTAR

A força electromagnética desenvolvida do entreferro pelo fluxo no núcleo, é provocada pela corrente na bobina do relé, segundo a formula de Picou.

$$F \cong KI^2$$



21

## RELÉ ELEMENTAR

Há num relé os seguintes elementos:

- Órgãos motores (bobina)
- Órgãos antagonistas (mola, gravidade)
- Órgãos auxiliares (contactos)

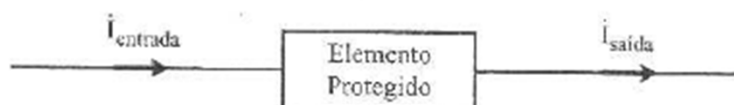
Há ainda num relé:

- a) Elemento sensor – ou detetor – as vezes chamado elemento de medida que corresponde as variações da grandeza actuante (I)
- b) Elemento comparador – entre a grandeza actuante (Fe) e um comportamento pré-definido (Fm)
- c) Elemento de controlo – efectuando uma brusca mudança na grandeza de controlo, por exemplo, fechando os contactos do circuito da bobina de disparo do disjuntor.

22

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

O relé diferencial é um dispositivo de protecção de um equipamento que se baseia no princípio da comparação da corrente eléctrica de entrada e de saída, podendo haver várias possibilidades de conexões, sendo simbolicamente representado pela figura:



O seu funcionamento baseia-se na 1ª Lei de Kirchhoff, aplicada ao equipamento, isto é:

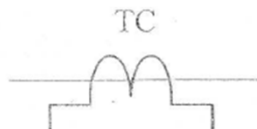
$$I_{entrada} = I_{saida} + I_{rele} \quad \text{ou} \quad I_{rele} = I_{entrada} - I_{saida}$$

23

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

Para a medição das grandezas de controlo (corrente) utilizam-se **transformadores de corrente** (TC), também conhecidos como **transformadores de intensidade** (TI)

Um transformadores de corrente (TC), é um transformador destinado a reproduzir proporcionalmente um seu circuito secundário a corrente do seu circuito primário com a sua posição fasorial mantida, conhecida e adequada para uso em instrumentos de medição, controlo e protecção.



24

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Transformador de corrente

O transformador de corrente deve reproduzir, no seu secundário, uma corrente que é uma réplica em, escala reduzida da corrente do primário do sistema.

O transformador de corrente tem basicamente três finalidades a saber:

- ✓ Isolar os equipamentos de medição, controlo e relés do circuito de alta tensão.
- ✓ Fornecer no seu secundário uma corrente proporcional a do primário.
- ✓ Fornecer no seu secundário uma corrente de dimensões adequadas para ser utilizada pelos medidores e pelos relés.

Por exemplo, o TC fornece no seu secundário uma corrente nominal de 5 A, com o objectivo de padronizar os equipamentos de medição e protecção (relés). Na Europa a corrente secundaria normalizada é de 1 A.

25

## TRANSFORMADOR DE CORRENTE

### Correntes primarias padronizadas

Pela ABNT, as correntes primarias do TC são de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000 e 8000.

Pela ANSI, as correntes primarias do TC são, 10, 15, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1200, 3000, 4000



26

## TRANSFORMADOR DE CORRENTE

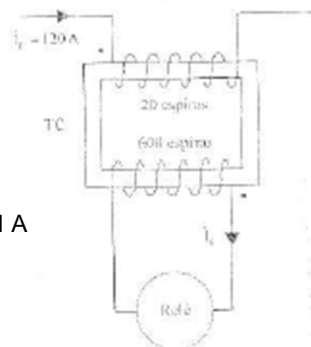
### Exemplo

Considere o TC da figura. Calcular  
A relação de transformação.  
A corrente secundária.

$$RTC = \frac{N_s}{N_p} = \frac{600}{20} = 30 \Rightarrow \frac{5}{5} = \frac{150}{5}$$

Cada 30 A no primário correspondem a 1 A no secundário.

$$RTC = \frac{I_p}{I_s} \Rightarrow I_s = \frac{I_p}{RTC} = \frac{120}{30} = 4 \text{ A}$$

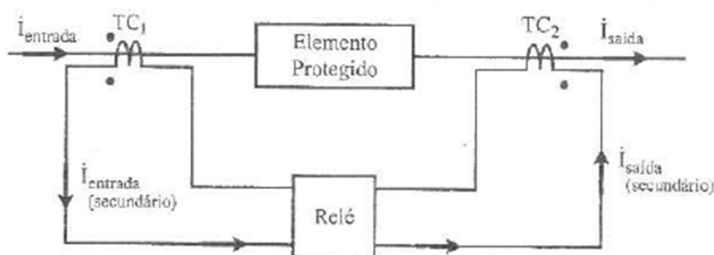


27

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

O dispositivo de protecção diferencial vai actuar do seguinte modo:

- Se  $I_{\text{entrada}} = I_{\text{saída}}$ , a corrente no relé diferencial  $I_{\text{relé}} = 0$ , e o relé não actua, isto é, o elemento protegido não apresenta defeito.
- Se  $I_{\text{entrada}} - I_{\text{saída}} \leq I_{\text{ajuste do relé}}$ , a protecção não actua porque a diferença de corrente é menor que a corrente de ajuste do relé.
- Se  $I_{\text{entrada}} - I_{\text{saída}} > I_{\text{ajuste do relé}}$ , a protecção actua porque a diferença de corrente é maior que a corrente de ajuste do relé. Neste caso há um defeito no elemento protegido.



28

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

A protecção diferencial é largamente utilizada na:

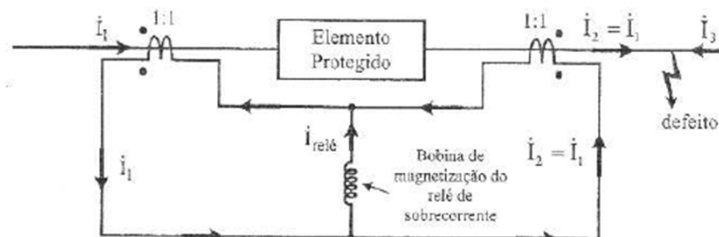
- Protecção de transformadores de potência
- Protecção de cabos subterrâneos
- Protecção de máquinas síncronas
- Protecção de barramentos
- Protecção de linhas de transmissão curtas

29

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial comum

É uma protecção em que se utiliza um relé de sobrecorrente 50 ou 51, fazendo a função 87.



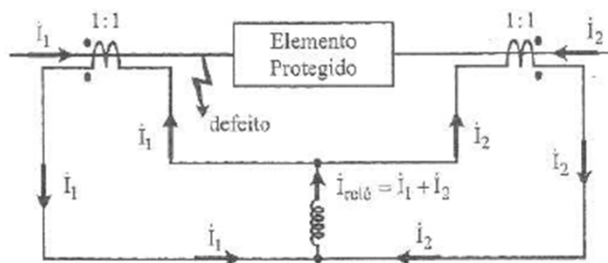
As correntes que suprem o curto-circuito vem dos dois lados em direcção ao ponto de defeito. Mas como o defeito ocorreu fora da zona protegida pelo diferencial, os dois TCs vêm a mesma corrente  $I_1$ , e o relé não opera.

30

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial comum

Se o defeito ocorre dentro da zona protegida pelo diferencial a corrente que passa pela bobina magnetizante será maior, isto é, igual a soma  $I_1 + I_2$  e a protecção actuará.



31

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

As duas ligações são bastante utilizadas, contudo, apresentam problemas na ocorrência de elevado curto-circuito fora da zona selectiva, mas muito próximo do TC. Isto se dá devido a:

- ✓ Não ser perfeito o casamento dos TCs
- ✓ Saturação dos TCs
- ✓ Carregamento nos secundários dos TCs, que causam saturação do núcleo.
- ✓ Etc.

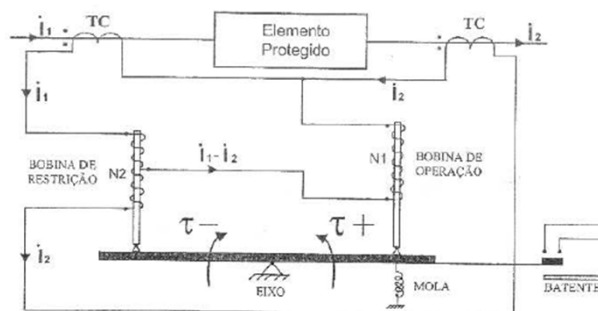
As situações acima produzem erros nos TCs, podendo provocar actuação indevida do relé de sobrecorrente que esta fazendo a função de protecção 87.

Para contornar esses problemas é melhor utilizar o relé diferencial percentual.

32

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual



Baseia-se na interação de duas bobinas, que são:

- ✓ Bobina de restrição, que tem uma derivação central. Produz um torque negativo.
- ✓ Bobina de operação que produz um torque positivo.

33

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

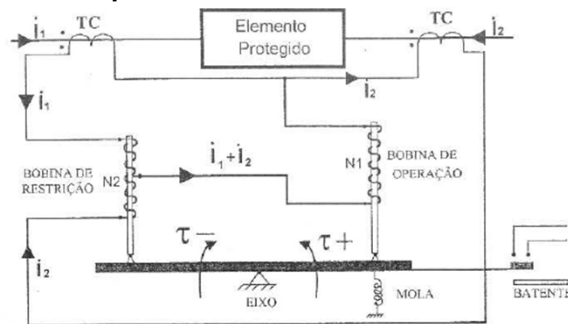
#### Operação normal ou defeito fora da zona protegida.

As correntes nos secundários dos TCs serão iguais. As correntes  $I_1$  e  $I_2$  iguais, geram um torque muito elevado no enrolamento de restrição exercendo um força maior de atracão sobre embolo. A corrente na bobina de operação será nula, o torque também o será. Não há actuação do relé 87.

34

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual



### Defeito interno entre os dois TCs

As correntes nos secundários dos TCs serão iguais e dirigem-se para a zona de defeito. O campo magnético de restrição será nulo. No entanto será alto o torque de operação atraindo o embolo, que por sua vez provocará a actuação do relé 87.

35

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

As vantagens deste relé traduzem-se em:

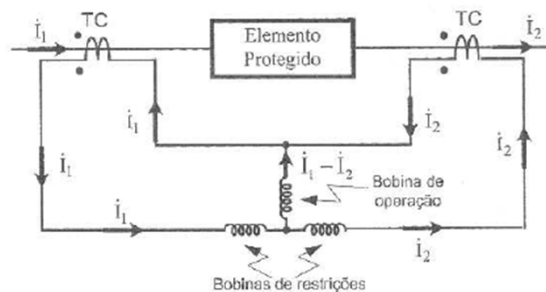
- Defeitos externos, o relé fortifica a restrição e enfraquece a operação, garantindo a não actuação do relé 87.
- Defeitos internos, o relé enfraquece a restrição e fortifica a operação, garantindo a actuação do relé.

O relé diferencial percentual (87) pode ser apresentado pelo esquema abaixo onde aparece a bobina de operação e a bobina de restrição dividida em duas.

36

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

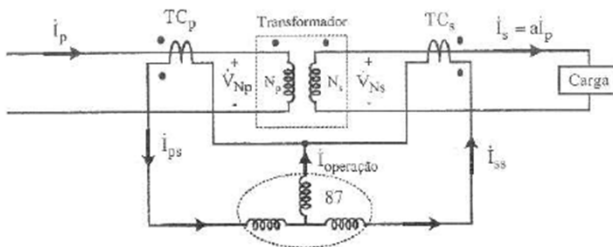


37

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

Aplicação na protecção do transformador de potência monofásico.



As ligações dos TCs devem seguir as mesmas sequencias das marcas de polaridade das bobinas primarias e secundarias do transformador. Para que as correntes secundarias estejam em fase.

Os terminais dos TCs com marcas de polaridade devem ser conectados as bobinas de restrições do relé 87.

38

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

Aplicação na protecção do transformador de potência monofásico.

Dimensionar os TCs de modo que as correntes secundárias que passam pelas bobinas de restrição sejam em modulo e ângulo iguais.

$$I_{ps} = I_{ss} \Rightarrow \frac{I_p}{RTC_p} = \frac{I_s}{RTC_s}$$

$$\frac{I_p}{RTC_p} = \frac{aI_p}{RTC_s} \Rightarrow RTC_s = aRTC_p$$

Onde:

$RTC_p$  e a relação de transformação do TC conectado ao secundário do transformador

$RTC_s$  e a relação de transformação do TC conectado ao secundário do transformador.

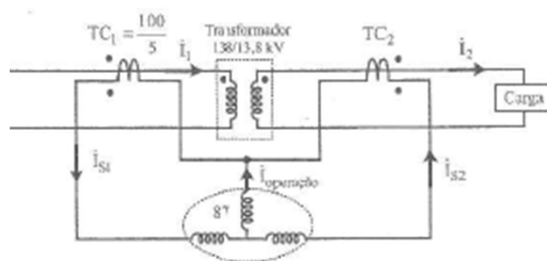
39

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

Exemplo

Considera um transformador monofásico de 10 MVA, 138/13.8 kV, que alimenta uma carga de 8280 kVA com factor de potência 0.8 atrasado.



40

### Relé diferencial percentual

Correntes de carga no transformador

$$I_2 = \frac{S}{V_2} = \frac{8280}{13.8} = 600 A$$

$$I_1 = \frac{S}{V_1} = \frac{8280}{138} = 60 A$$

$$RTC_2 = aRTC_1$$

$$\frac{I_{\text{primario do TC2}}}{5} = 10 \frac{I_{\text{primario do TC1}}}{5}$$

a=relação de transformação do transformador

$$RTC_2 = \frac{I_{\text{primario do TC}_2}}{5} = \frac{1000}{5}$$

$$I_{s1} = I_{\text{secundario do TC}_1} = \frac{I_1}{RTC_1} = \frac{60}{\frac{100}{5}} = 3A$$

$$I_{s2} = I_{\text{secundario do TC}_2} = \frac{I_2}{RTC_2} = \frac{600}{\frac{1000}{5}} = 3A$$

$$\Rightarrow I_{\text{operacao}} = I_{s1} - I_{s2} = 0$$

O relé não actua

41

### Relé diferencial percentual

O que acontece com o relé 87 que tem um ajuste de 2 A, na ocorrência de um defeito interno que causa a circulação de uma corrente de 200 A no transformador operando em vazio?

$$I_1 = 200 A \quad e \quad I_2 = 0$$

$$I_{s1} = \frac{200}{\frac{100}{5}} = 10 A \quad e \quad I_{s2} = 0$$

$$I_{\text{operacao}} = I_{s1} - I_{s2} = 10 A$$

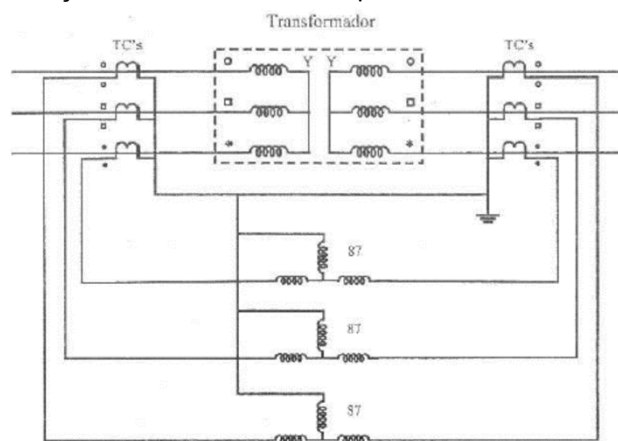
$$\Rightarrow \text{O relé actua} \quad I_{\text{operacao}} > I_{\text{ajuste do rele}}$$

42

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

Protecção do transformador de potência Y-Y



43

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

Protecção do transformador de potência  $\Delta$ -Y

- Quando o transformador estiver conectado em  $\Delta$ -Y, devido ao facto de as correntes de linha estarem adiantadas ou atrasadas em  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  e  $180^\circ$  em relação as corrente de linha no lado em Y, as correntes estão desfasadas. Estes desfasamentos produzem dois problemas:
  - ✓ Diferenças nas correntes do relé diferencial 87, que dependendo do seu ajuste pode operar para as condições de carga do transformador.
  - ✓ Desfasamento nas correntes das bobinas de restrição do relé diferencial 87, prejudicando a sua característica de desempenho.

Assim os TCs devem compensar:

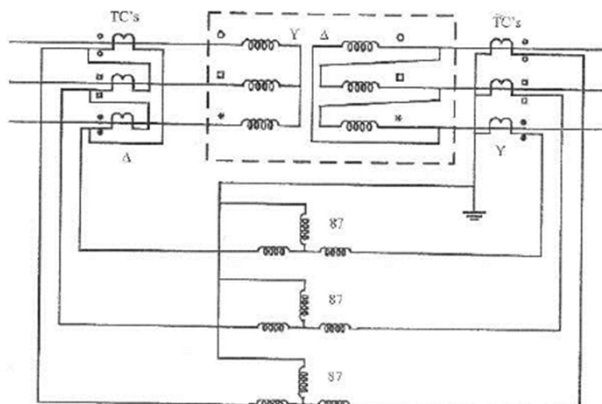
- ✓ A relação de transformação do transformador
- ✓ A rotação angular provocada pelo transformador  $\Delta$ -Y.

44

## RELÉ DIFERENCIAL 87 ASA

### Relé diferencial percentual

Protecção do transformador de potência  $\Delta$ -Y



45

# FIM

# MUITO OBRIGADO!

46