

Protecção de Transformadores

Introdução



Introdução (cont.)



Introdução (cont.)

- Existem 2 tipos de avarias:
 - Internas
 - Contacto à massa dos enrolamentos
 - Contacto entre dois enrolamentos
 - C.c. entre terminais
 - C.c. entre espiras
 - Externas
 - Sobrecargas
 - C.c. externos

Introdução (cont.)

- Abordagem às seguintes protecções:
 - Protecção de transformadores terra
 - Protecção do regulador
 - Protecção contra sobretensões
 - Protecção diferencial de transformador
 - Protecção contra sobreintensidades
 - Protecção de Buchholz
 - Imagem térmica
 - Protecção integrada

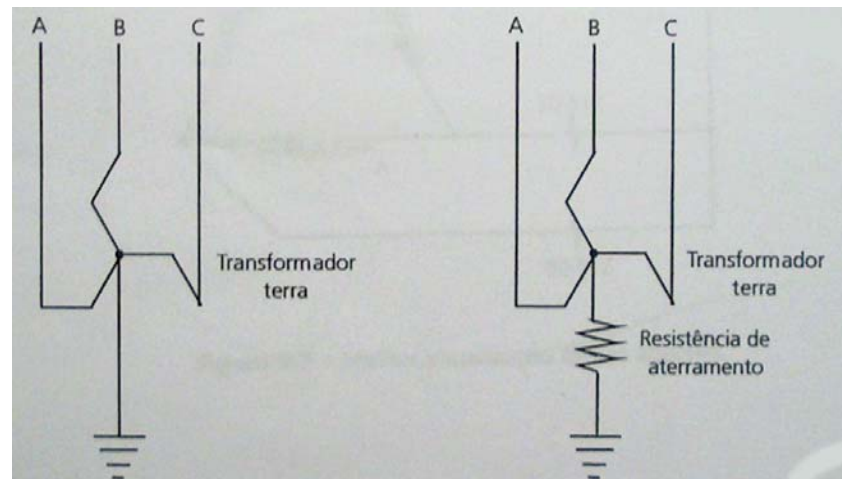
Transformadores

de

terra

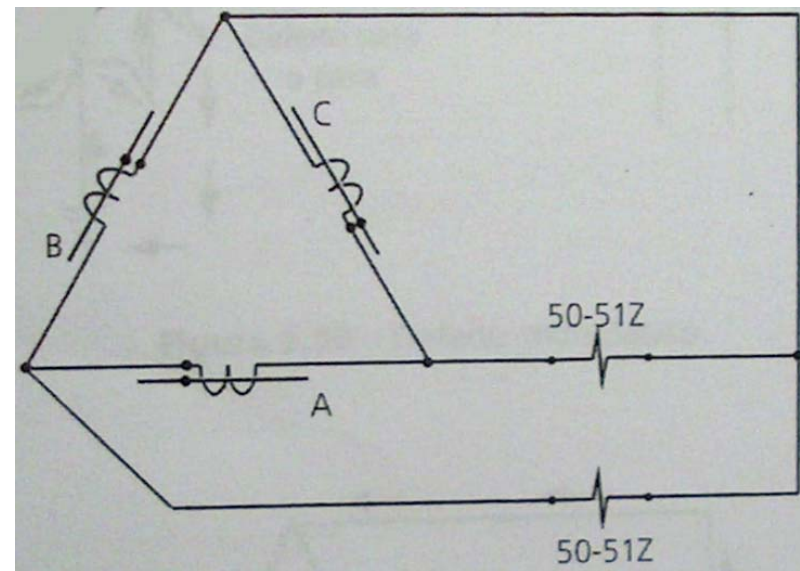
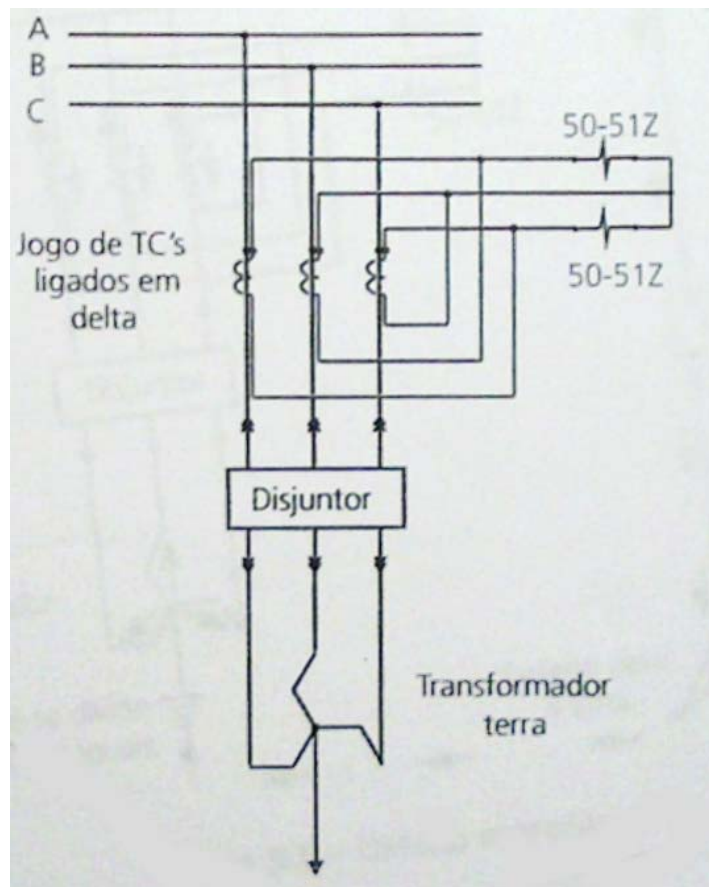
Protecção de Transformadores Terra

- O transformador de terra é utilizado para fornecer uma referência para a terra nos transformadores de potência



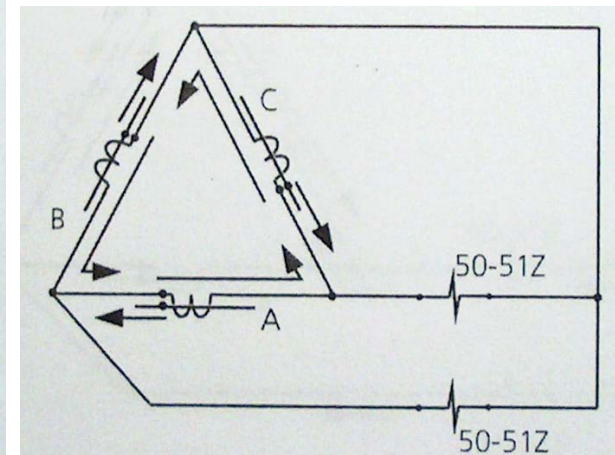
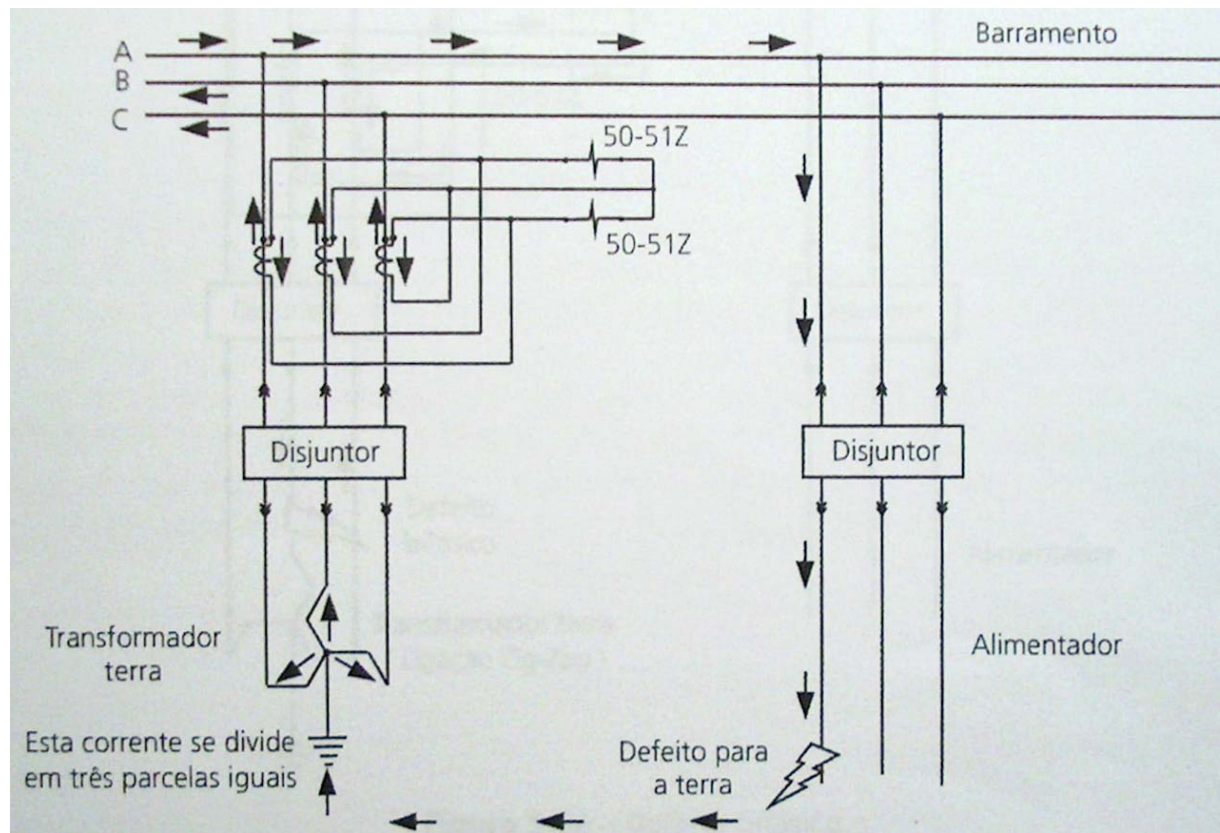
- O transformador de terra mais usado é o Zig- Zag, onde pode ou não existir uma resistência entre o neutro e a Terra

Protecção de Transformadores Terra (cont.)



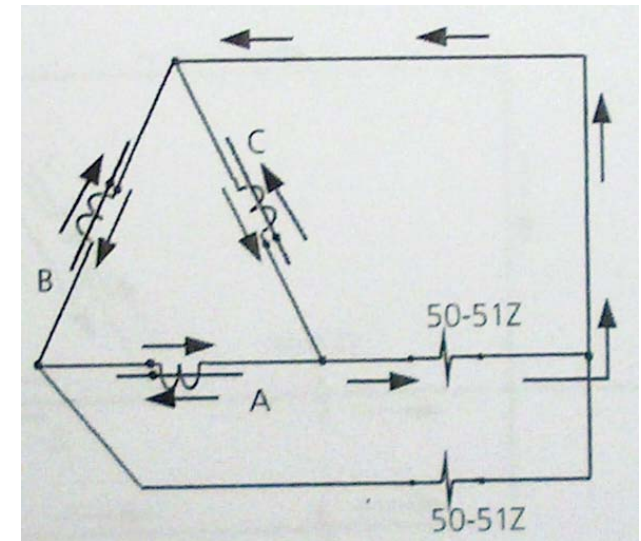
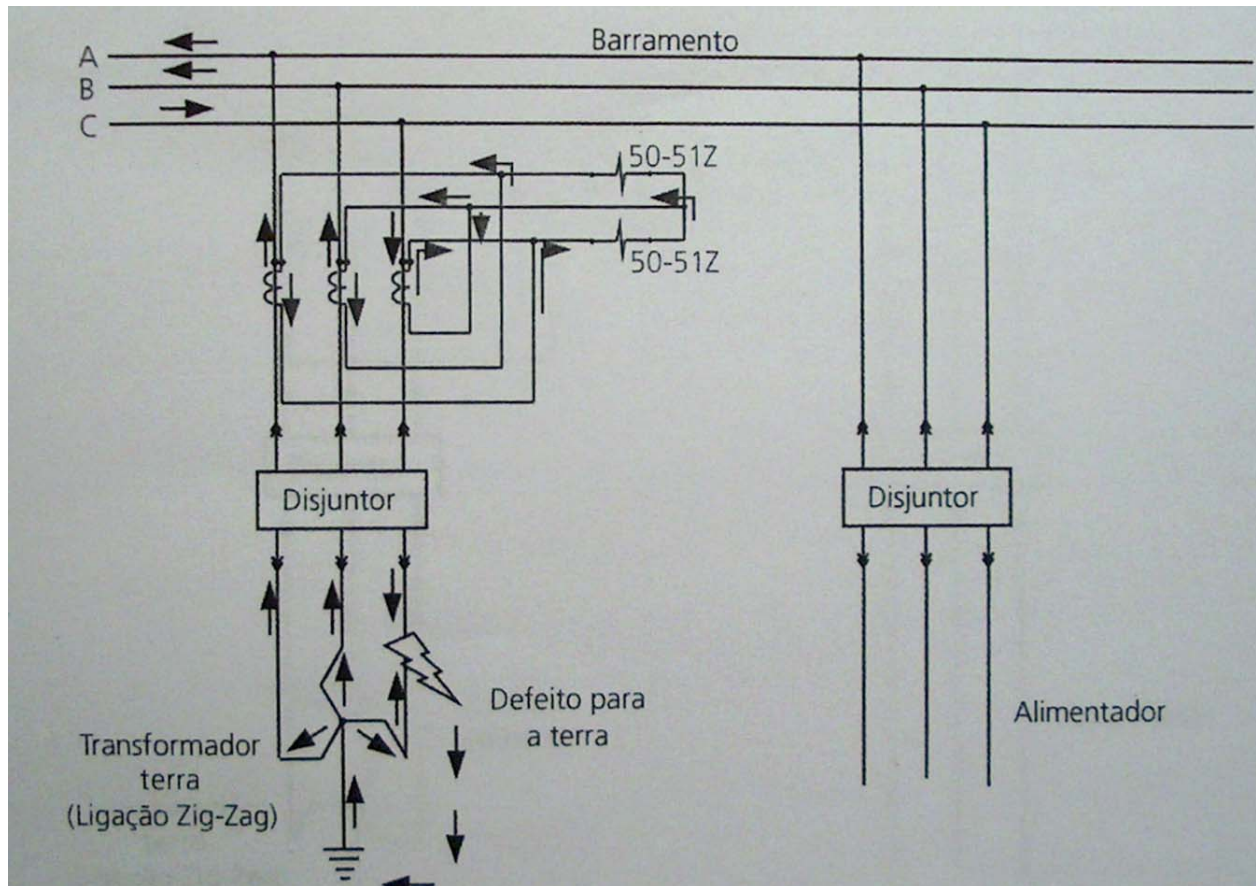
Protecção de Transformadores Terra (cont.)

- Defeito monofásico fase-terra



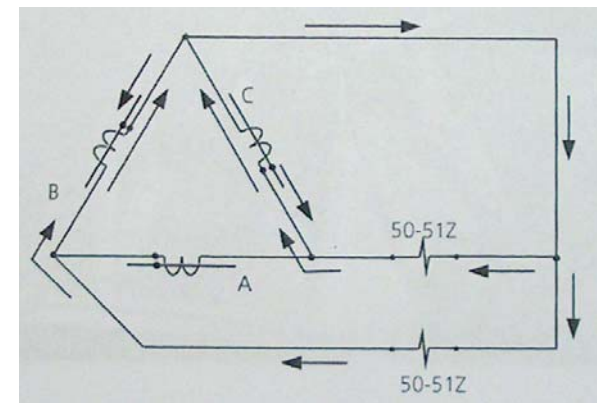
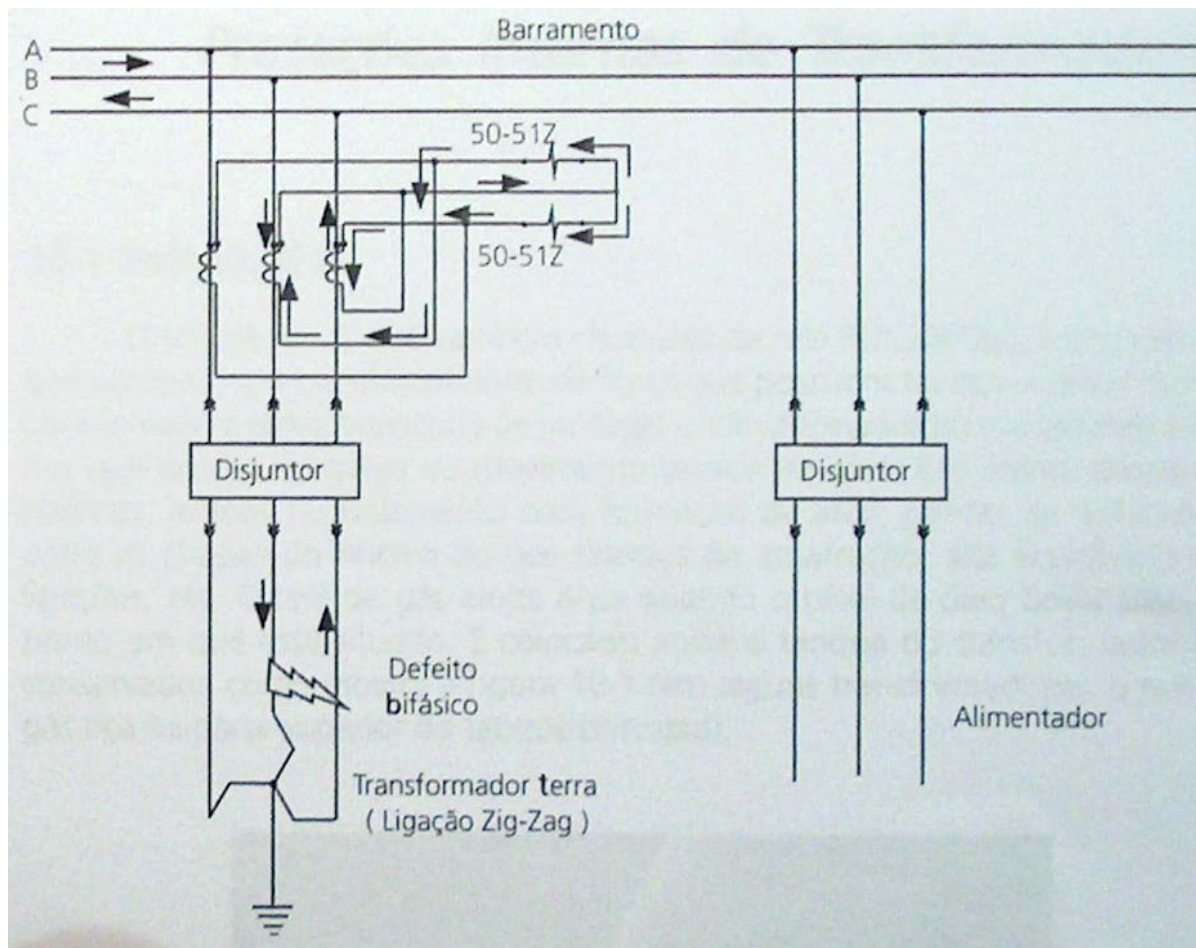
Protecção de Transformadores Terra (cont.)

- Defeito no cabo que interliga o transformador terra e o barramento



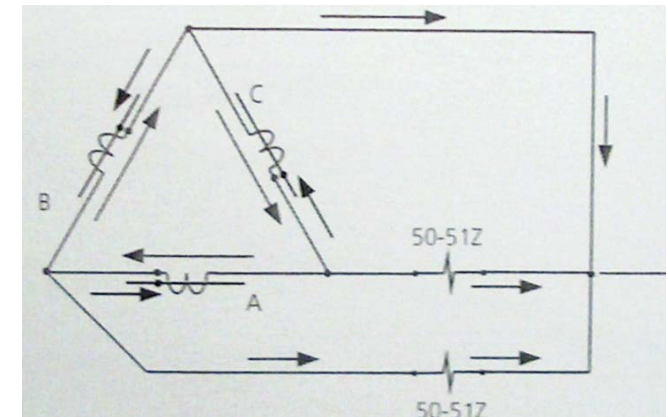
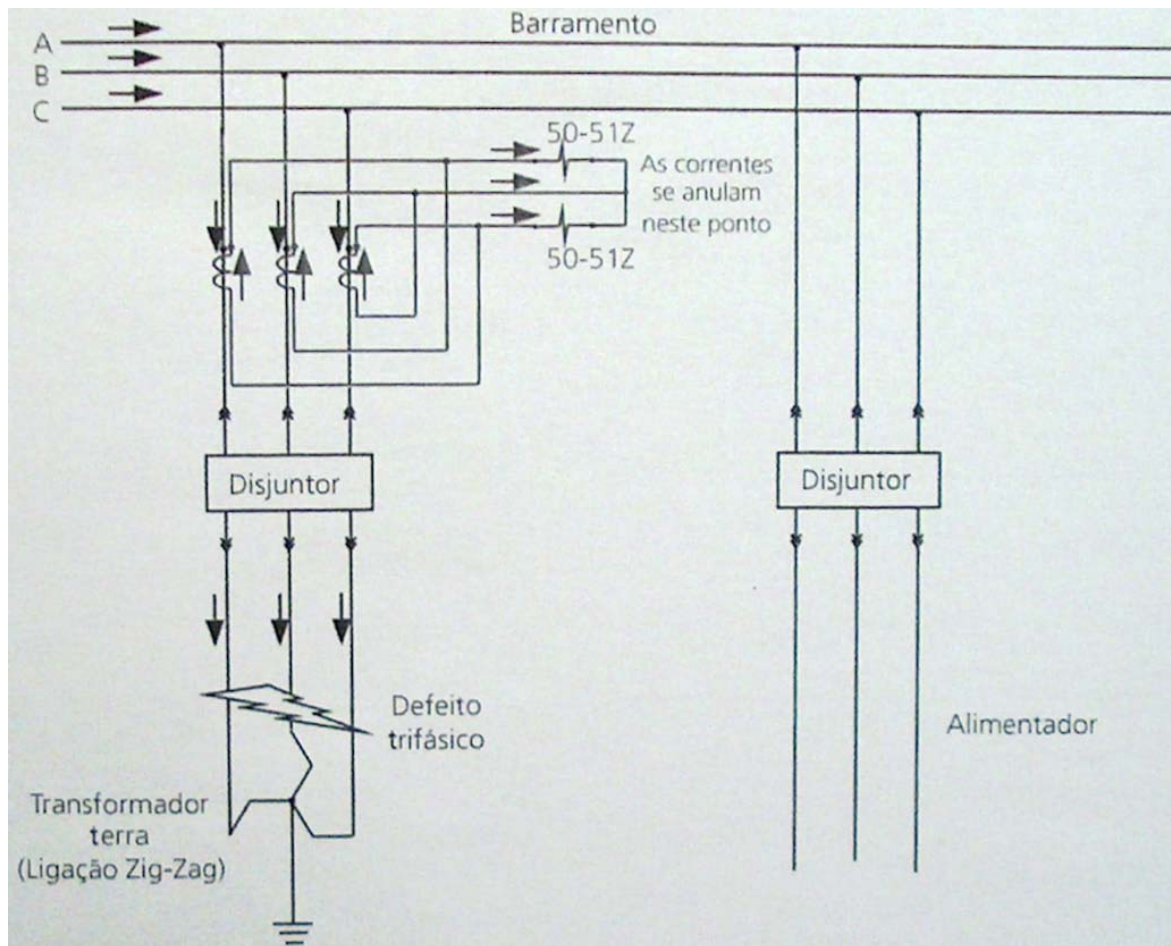
Protecção de Transformadores Terra (cont.)

- Defeito fase- fase



Protecção de Transformadores Terra (cont.)

- Defeito trifásico



Protecção do Regulador

- Objectivo:
 - Detectar perdas de isolamento no interior do ruptor do transformador
- Actua:
 - Sempre que se detectar um fluxo de óleo anormal no interior da cuba do ruptor

Protecção integrada

- Combina o relé de pressão, relé detector de gás com o relé térmico

Sobreintensidades

Curto-circuitos

Sobrecargas

Sobreintensidades

O que é uma sobreintensidade?

- Uma sobreintensidade é uma corrente de intensidade superior à nominal.

De que resultam?

- As sobreintensidades podem resultar de sobrecargas
- Devido a curto-circuito
- Defeitos

Como realizar a protecção?

- Através de aparelhos de protecção, este tipo de aparelho é destinado a impedir ou limitar os efeitos perigosos ou prejudiciais da passagem de uma corrente de intensidade superior à admissível nas canalizações ou aparelhos de utilização, aos quais possam estar sujeitas pessoas ou instalações.
- Protecção contra curtos-circuitos deverá ser efectuada de modo a garantir que a duração do curto-circuito seja limitada a um tempo suficientemente curto de forma a que as características das canalizações e dos aparelhos não sejam afectadas.

Sobreintensidades

Aparelhagem?

Protecção contra sobrecargas:

- Contactores-disjuntores equipados apenas de relés térmicos.

Protecção contra sobrecargas e contra curtos-circuitos:

- Disjuntores de máximo de corrente (associados, eventualmente, a corta-circuitos fusíveis da classe aM)
- Corta-circuitos fusíveis das classes gF ou gT

Sobreintensidades

Transformador

- Num transformador a protecção pode ser composta por três relés, um para cada fase, ou então com um único relé trifásico. O circuito da protecção inicia-se normalmente nos TI's.
- O relé associado a cada TI, vai carregar a bobine de um relé auxiliar de bloqueio após um tempo ajustado, retirando posteriormente o Transformador de Potência de serviço.

Origem de defeitos nos transformadores?

- Origem externa, tais como sobrecargas ou curto-circuitos, submeter o transformador a um sobreaquecimento e a esforços.
- Origem interna, tais como curto-circuitos entre espiras, entre enrolamentos ou entre um enrolamento e a cuba, de intensidade variável segundo a sua localização.

Sobreintensidades

Alta Tensão

- *Curto-circuito no lado da Alta Tensão:* intensidade de corrente será sempre superior para o caso do curto-circuito ser na Alta Tensão, pois o valor total da impedância de curto-circuito será menor

Baixa Tensão

- *Curto-circuitos no circuito Baixa Tensão:* Para o cálculo da corrente é necessário conhecer a impedância de curto-circuito equivalente da rede distribuidora (referida ao secundário) e também a impedância de curto-circuito do(s) transformador(es).

Transformadores de Intensidade

- São utilizados porque não é economicamente viável o uso de aparelhagem que meça directamente as tensões e correntes de linha.

Transformadores de Intensidade:

- Transformador de corrente
- Transformador de tensão

Seguem os seguintes objectivos:

- Alimentar o sistema de protecção e medição com tensão e corrente reduzida, mas proporcional às grandezas dos circuitos de mais alta tensão.
- Proporcionar isolamento entre o circuito de alta tensão e os instrumentos e, consequentemente, segurança do pessoal
- Padronizar a fabricação dos instrumentos

Transformadores de Intensidade

- Exemplos de Transformador de Tensão



Figura 1.11 – TP de Acoplamento.

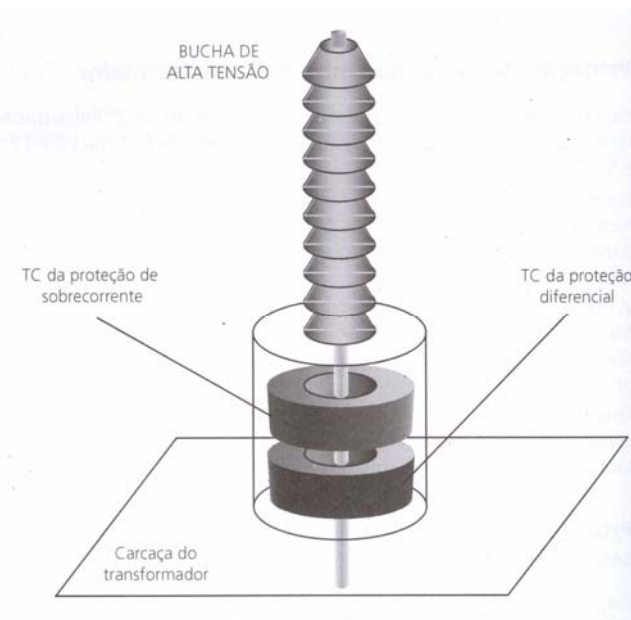
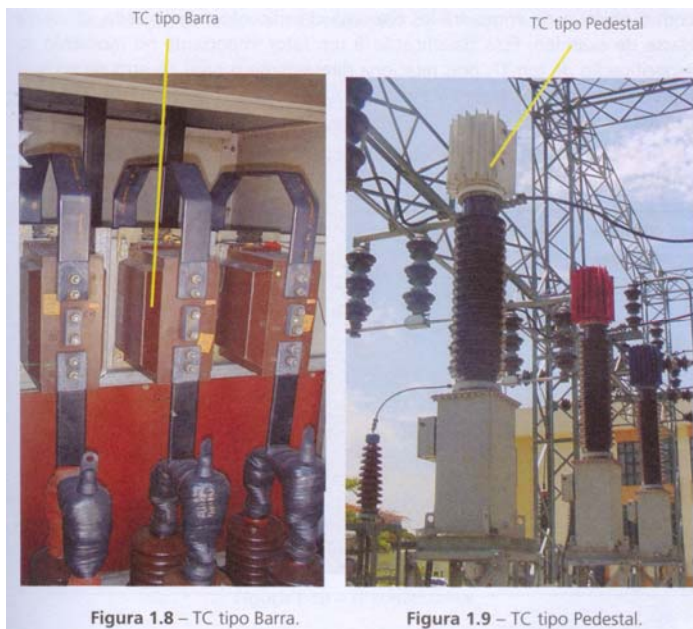


Figura 1.10 – TP convencional.

Transformadores de Intensidade

- Transformador de Corrente

Este tipo de TI's, pode ser de pedestal (externo), de barra ou localizados nas buchas do lado de alta tensão do transformador (interno).



Transformadores de Intensidade

- As protecções nos transformadores normalmente iniciam-se no transformadores de Intensidade.
- Para **sobrecargas**, como no caso de defeitos entre fases, o relé vai carregar uma bobine de um relé auxiliar de bloqueio, que após um tempo ajustado (selectividade), retira o transformador de operação.
- A protecção de **sobrecorrente** pode ser composta por 3 reles (um para cada fase) ou por um único relé trifásico. Este tipo de relé está normalmente ligado aos TC. Este ultimo está junto do TC do circuito de protecção diferencial do transformador como se pode observar na figura anterior.

Sobreintensidades

- As protecções são ligadas em estrela com o neutro á terra. Como se pode ver na de maneira simplificada, os secundários dos TCs estão conectados às bobines dos relés. Estes relés, são reles de sobrecorrente temporizados em circuito de corrente alternada que opera quando a corrente ultrapassa um valor prefixado.
- No caso de sobrecarga, as correntes que circulam nas bobines dos relés passam a ter valores acima do seu ajuste, provocando a sua operação. No ponto de fechamento da estrela, o somatório das correntes será igual a zero.

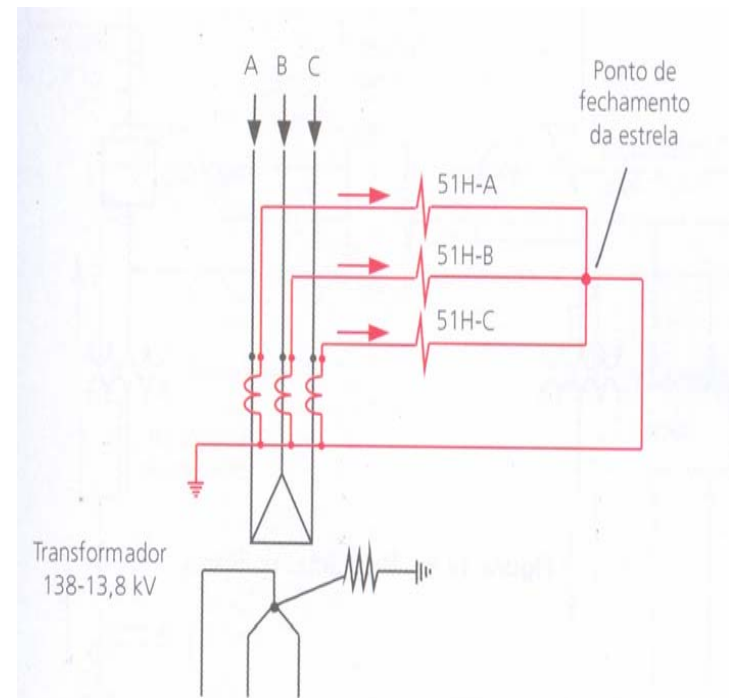
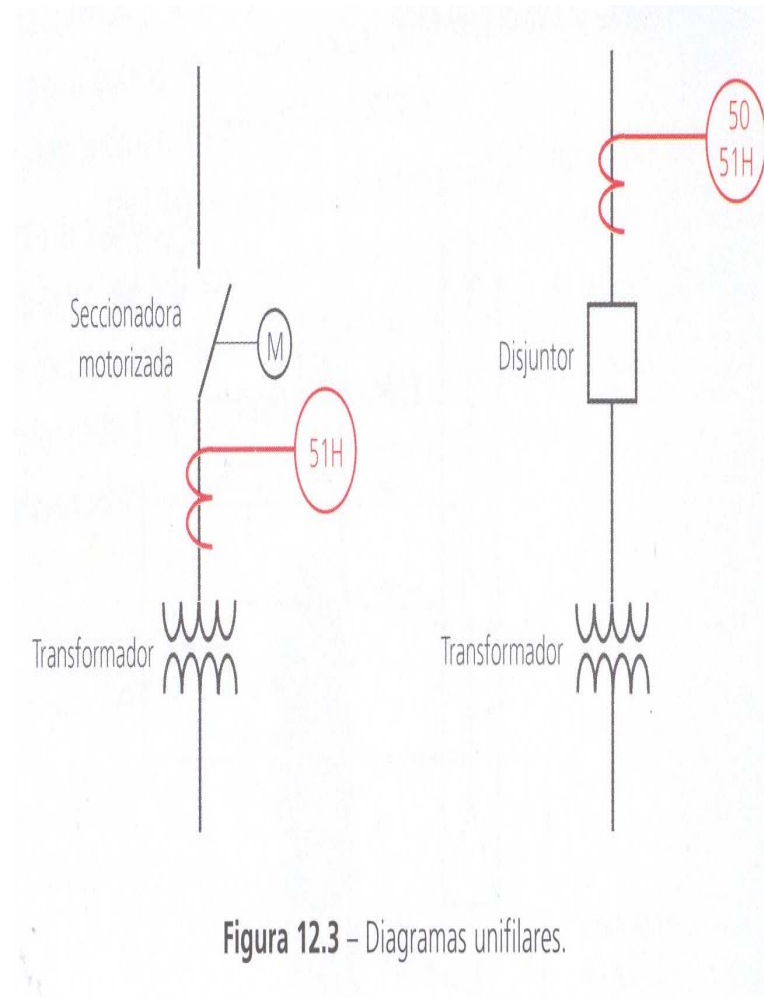


Figura 12.2 – Esquema de ligação dos TC's.

Sobreintensidades

- Para curto-circuito, entre fases no lado de baixa tensão do transformador, ocorrerá um desequilíbrio entre as correntes com elevação anormal dos seus valores, acarretando a operação do relé.
- A figura seguinte apresenta os esquemas simplificados dos dois casos anteriormente mencionados.



Sobreintensidades

Protecção contra curto-circuitos entre Fase e Terra no lado de baixa tensão de transformadores

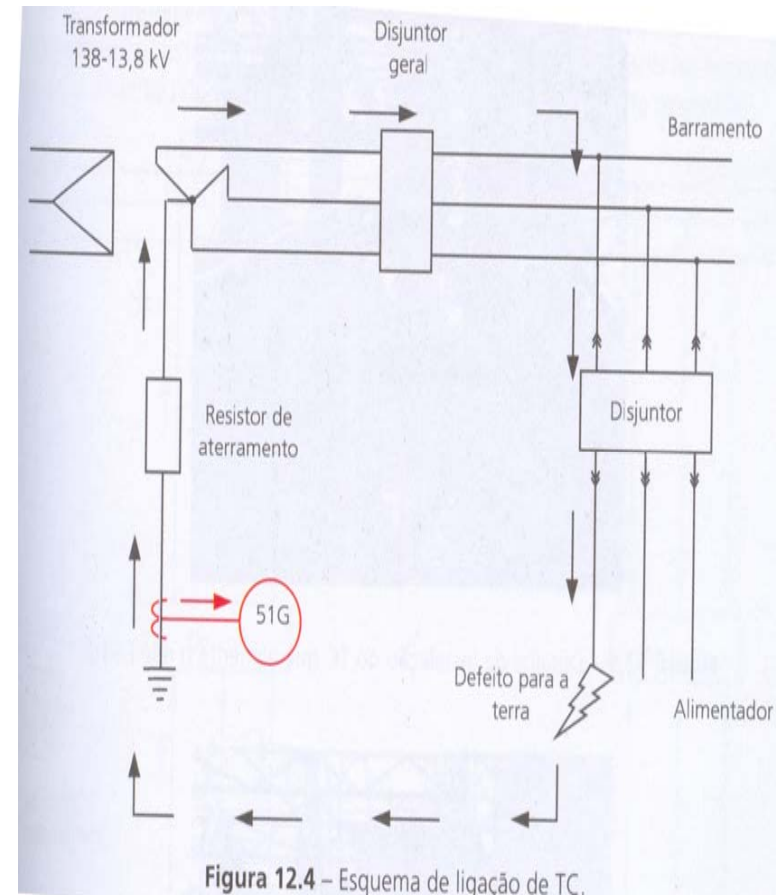
De modo geral:

- Existe um defeito fase-terra no lado de baixa tensão do transformador
- A protecção principal (primeira linha) falha
- Então os relés operam! Carregam uma bobine do relé auxiliar, retirando o transformador de operação.

Sobreintensidades

Transformadores ligados em **Triângulo – Estrela com ligação à terra**

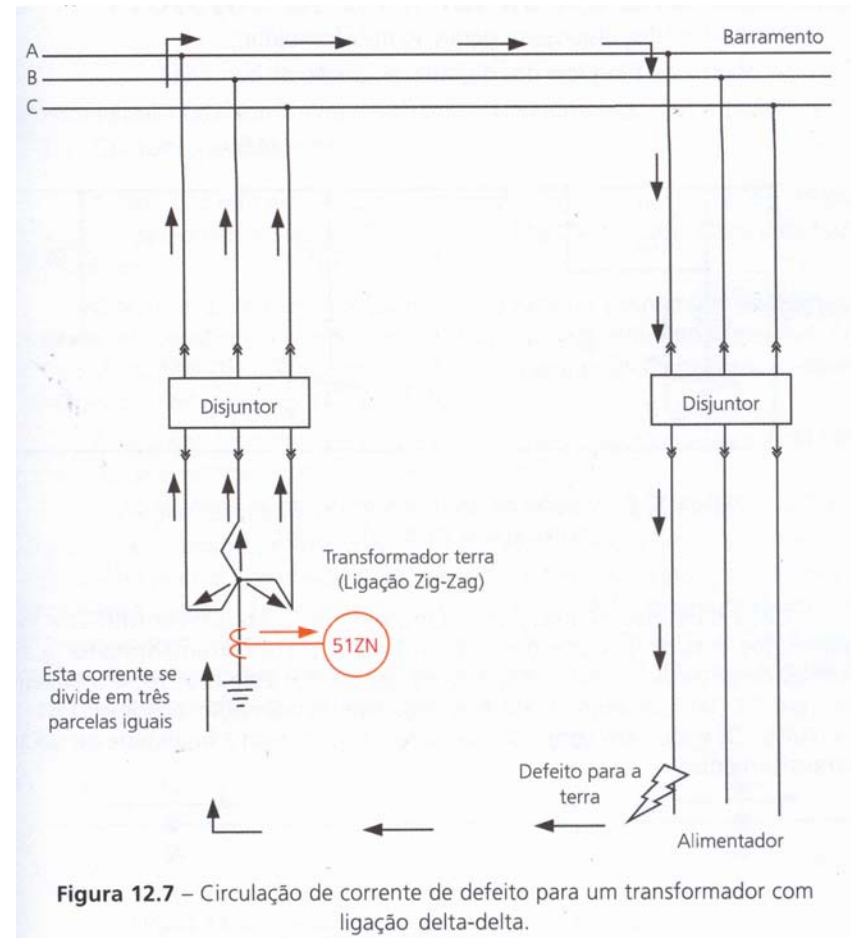
- O primário da protecção está ligado à malha de terra e ao neutro deste transformador.
- Quando ocorrer um defeito fase-terra, a corrente de curto-circuito circula pela neutro do transformador e a corrente secundaria referente sensibiliza o relé (ligado ao lado do secundário do TC), actuando de modo a retirar o transformador de operação. Para diminuir o valor desta corrente de defeito, é utilizado resistência de terra no neutro do transformador.



Sobreintensidades

Transformadores ligados em Triângulo – Triângulo

- Existe a necessidade da instalação de um transformador terra ligado em zig-zag, com o objectivo de fornecer referencial para a terra ao transformador de força. O primário do TC desta protecção fica ligado ao neutro do transformador. Portanto, quando ocorre um defeito fase-terra, a corrente de curto circuito procura o neutro deste equipamento. Esta corrente sensibiliza o relé (conectado ao secundário de TC), actuando de modo a retirar o transformador de operação.



Sobreintensidades

Transformador de corrente

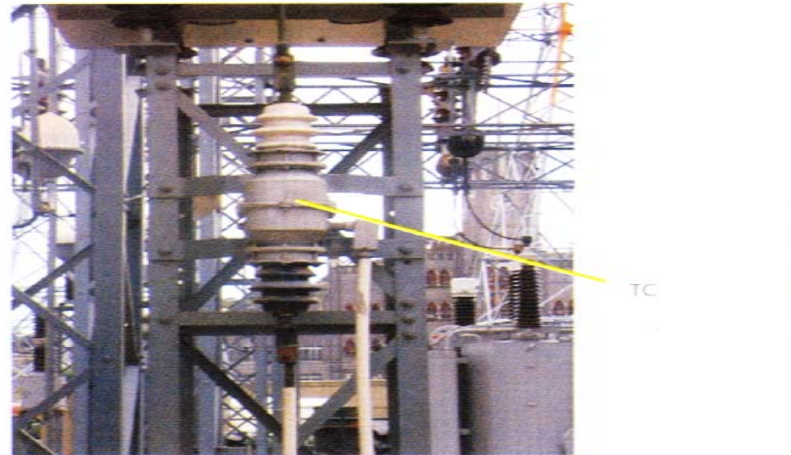


Figura 12.5 – Detalhe da instalação do TC que alimenta o relé F.51G.

TC+Resistência terra

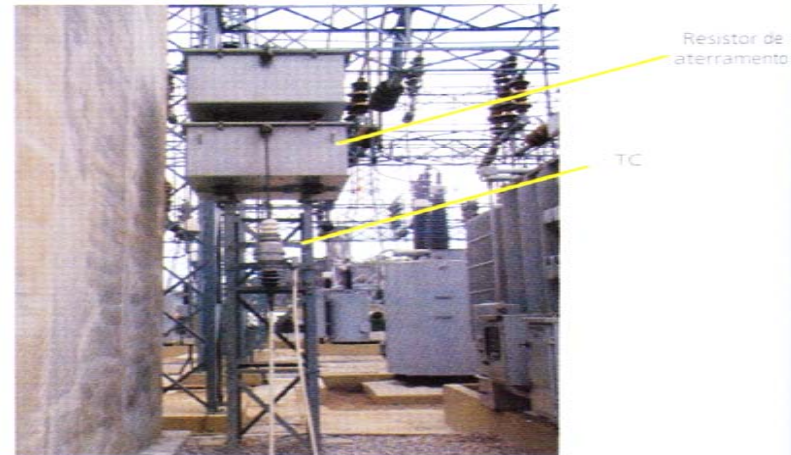


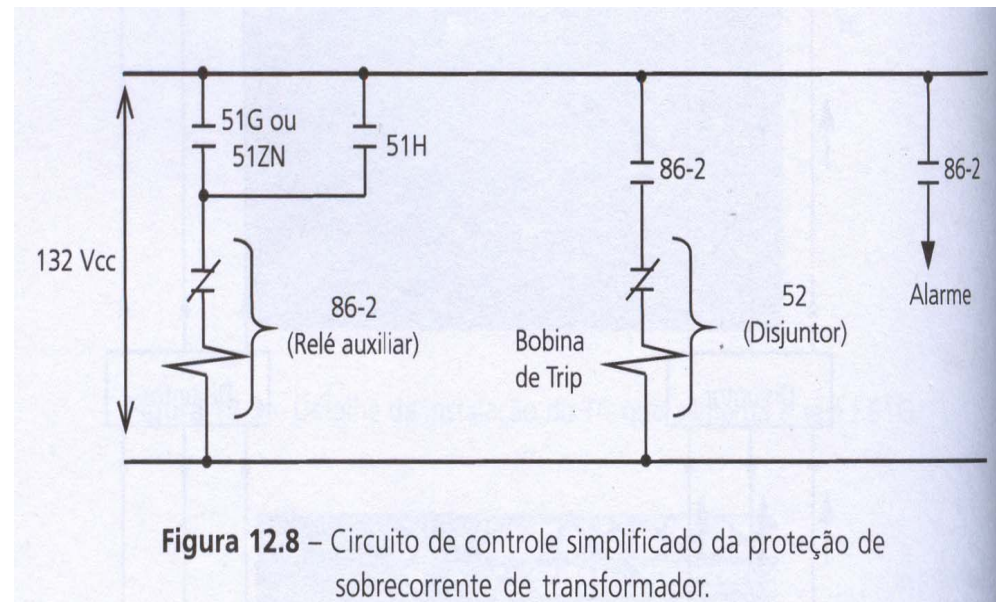
Figura 12.6 – Resistor de aterramento do transformador e TC.

Sobreintensidades

- O relé é ajustado de modo a actuar quando o transformador estiver com cerca de 43% de sobrecarga, e outro é ajustado para actuar com a passagem de uma corrente muito baixa (menor tap do relé), sendo que estes ajustes possuem tempos de actuação superiores aos das protecções principais (1ª linha) dos transformadores (selectividade).

Quando os reles operam, os seus contactos fecham fazendo com que se carregue da bobine do relé auxiliar. Este relé possui múltiplos contactos, sendo responsável pela execução de funções específicas, tais como:

- **Alarme**
- **Abertura dos disjuntores gerais do transformador**
- **Abertura e bloqueio dos disjuntores junção de barra, etc.**



Sobreintensidades

- Caso o defeito não seja eliminado pela actuação do rele auxiliar anterior, conclui-se que o defeito (curto-circuito), ocorre na parte entre o transformador e as buchas de entrada dos seus disjuntores gerais. Por este motivo é utilizado um outro relé (temporizador), que é carregado na operação dos relés principais e actua em conjunto com o auxiliar, com a finalidade de isolar o transformador.

Protecção contra Incêndios



Protecção contra Incêndios

Neste tema os **transformadores em banho de óleo** tem uma importância relevante:

Intenção:

- Limitar as consequências
- Evitar a propagação

Protecção contra Incêndios

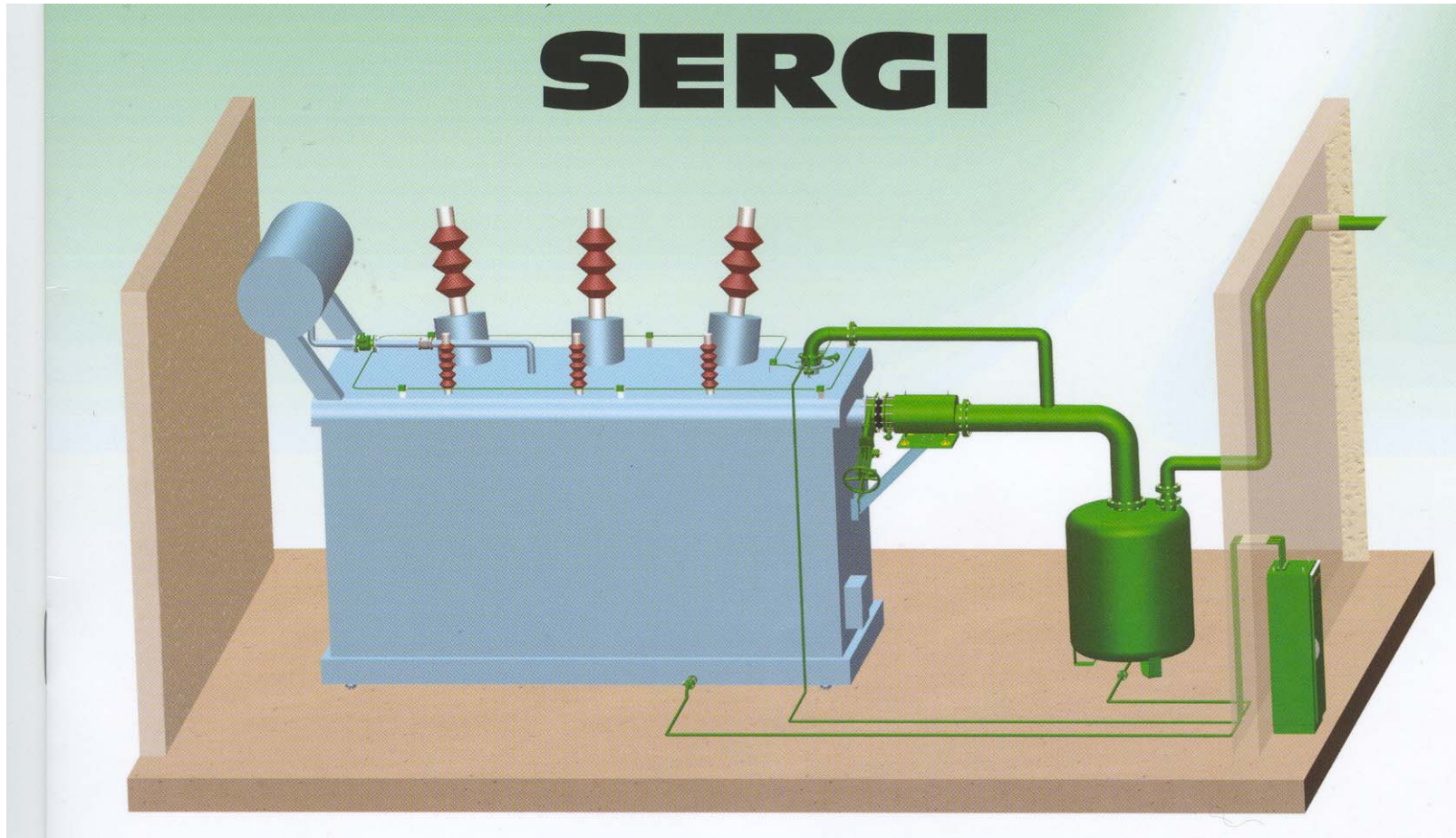
Medidas regulamentares:

- Interdição do emprego de matérias combustíveis nas instalações interiores
- Fossa com brita (> 200Kg de óleo)
- Temperatura do óleo (relés para o controlo)
- Extintores
- Ou mesmo a existência de um sistema complexo de protecção (instalações importantes)
- Portas corta-fogo

Protecção contra Incêndios

- Para entendermos, um transformador consta de umas bobinas submergidas numa cuba de óleo, que actua como refrigerador e isolante. A cuba tem a possibilidade de se dilatar, de modo a absorver a expansão do óleo. Para as subidas de temperatura deve-se regular as protecções de modo a que a primeira actue aproximadamente aos 70°, aqui deve existir o disparo de uma forte buzina; a segunda actua aos 90° aproximadamente, e deve inevitavelmente cortar a energia que o alimenta, evitando assim a sua avaria.

Transformador Protector



Transformador Protector

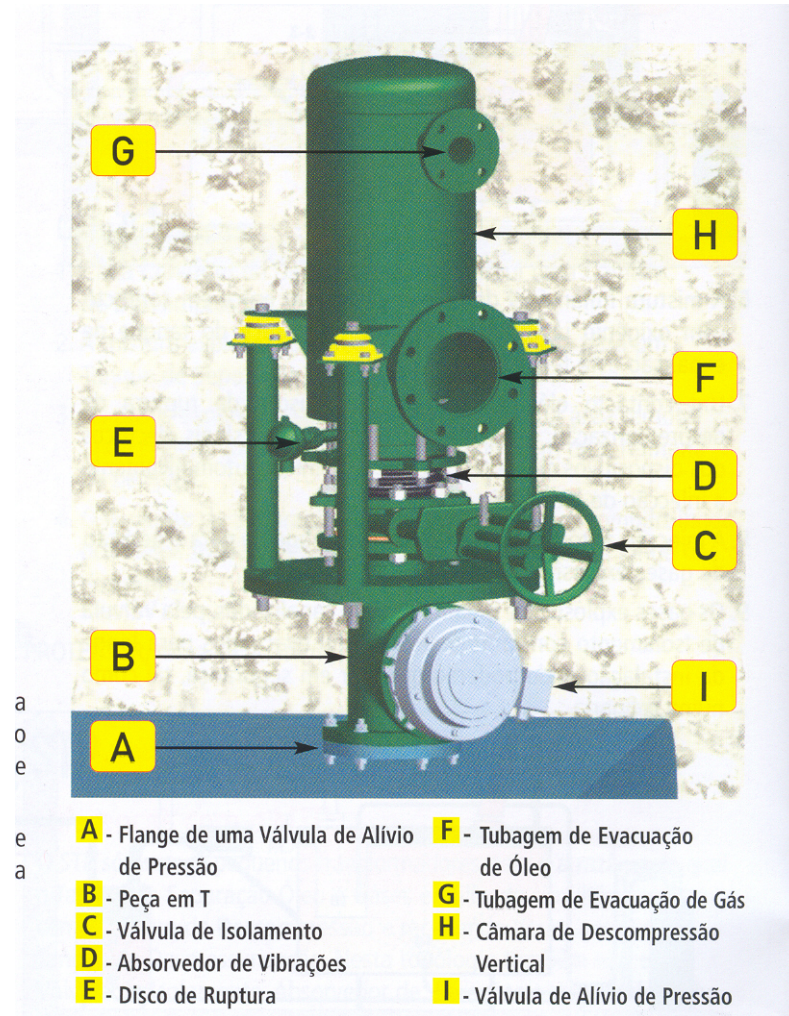
- **Inadequação das válvulas de alívio de pressão** (gradientes de pressão desenvolvidos durante falhas de baixa impedância, ocorrem muito rápido nos equipamentos do tipo)
- **Ineficiência do relé de Buchholz e relé de detecção rápida de pressão** (os dispositivos de protecção do tipo eléctrico não são projectados para reagirem a gradientes de pressão acentuados), quando comparados em testes o relé de buchholz falhou sempre na detecção de qualquer gás, e o respectivo sinal de detecção de pressão actuou sempre 20 e 30 ms depois da ocorrência do curto circuito.
- **Aparelhagem de Corte Eléctrico** (actualmente os melhores aparelhos eléctrico tem uma resposta de actuação de 50 milisegundos, o que é demasiado para a prevenção de explosão de transformadores, pois, esta ocorre entre 10 e 50 milisegundos após a falha de baixa impedância. Além disso, o aumento da pressão dentro do tanque do transformador continua mesmo depois da actuação do dispositivo de corte eléctrico).

Transformador Protector

Princípios:

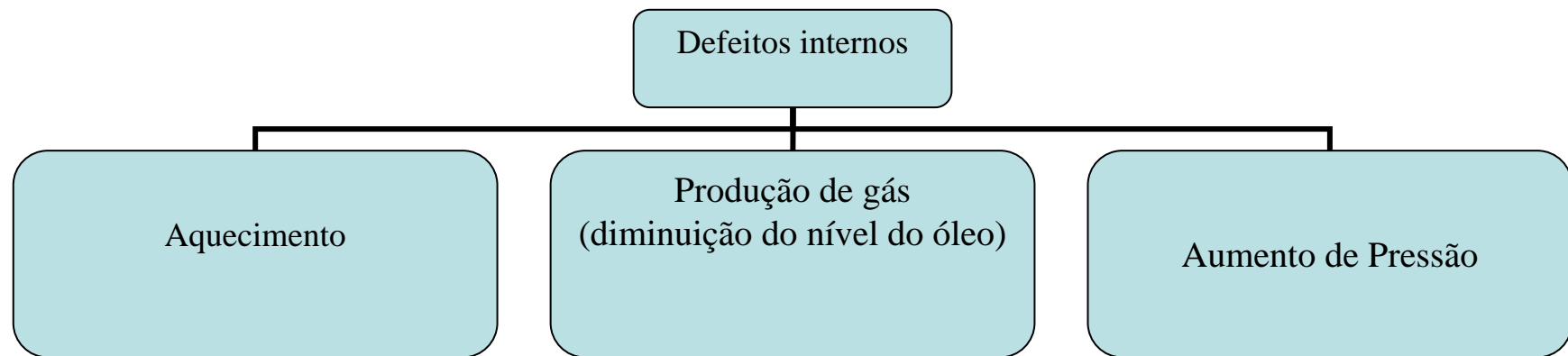
- Despressurizar tanques em alguns milisegundos
- Evitar o contacto entre o ar (oxigénio) e os gases explosivos evacuados
- Separar os gases do óleo
- Canalizar os gases para uma área remota, longe das imediações do transformador, para onde podem queimar em segurança (exemplo: refinaria)
- Eliminar a geração de gases explosivos mediante a injeção de nitrogénio.

Transformador Protector



Relés de Pressão/Gás (Relé de Bucholz)

Defeitos internos



Defeitos internos

-Curto-circuitos

são causados por:

- avarias de isolamento com formação de arco eléctrico;
- rupturas de isolamento entre chapas do núcleo;
- descargas internas;

-Nível de óleo baixo;

Relé de Pressão

- Utilizado para responder rapidamente a um aumento da pressão de óleo do transformador;
- Insensível às variações lentas de pressão;
- Forte aliado dos relés diferenciais ou de sobrecorrente para os defeitos que ocorrem no interior do tanque do transformador;

Relé de detecção de Gás

- Utilizado em transformadores com depósito de óleo;
- Actua quando ocorre um defeito interno;
- Quando é detectado Gás é accionado um alarme para evitar uma maior deterioração do isolamento,
- A análise do Gás fornece dados qualitativos (tipo de defeito):

ex.: defeito eléctrico;

- Análise do Gás fornece dados quantitativos (quantidade de gás)

ex: dependendo da quantidade de gás libertado pode se necessário colocar o transformador fora de serviço;

Relé de Bucholz

- É uma combinação do relé de Pressão e do de detecção de Gás;
- É utilizado nos transformadores a óleo;
- Tem como função proteger o transformador contra defeitos internos,

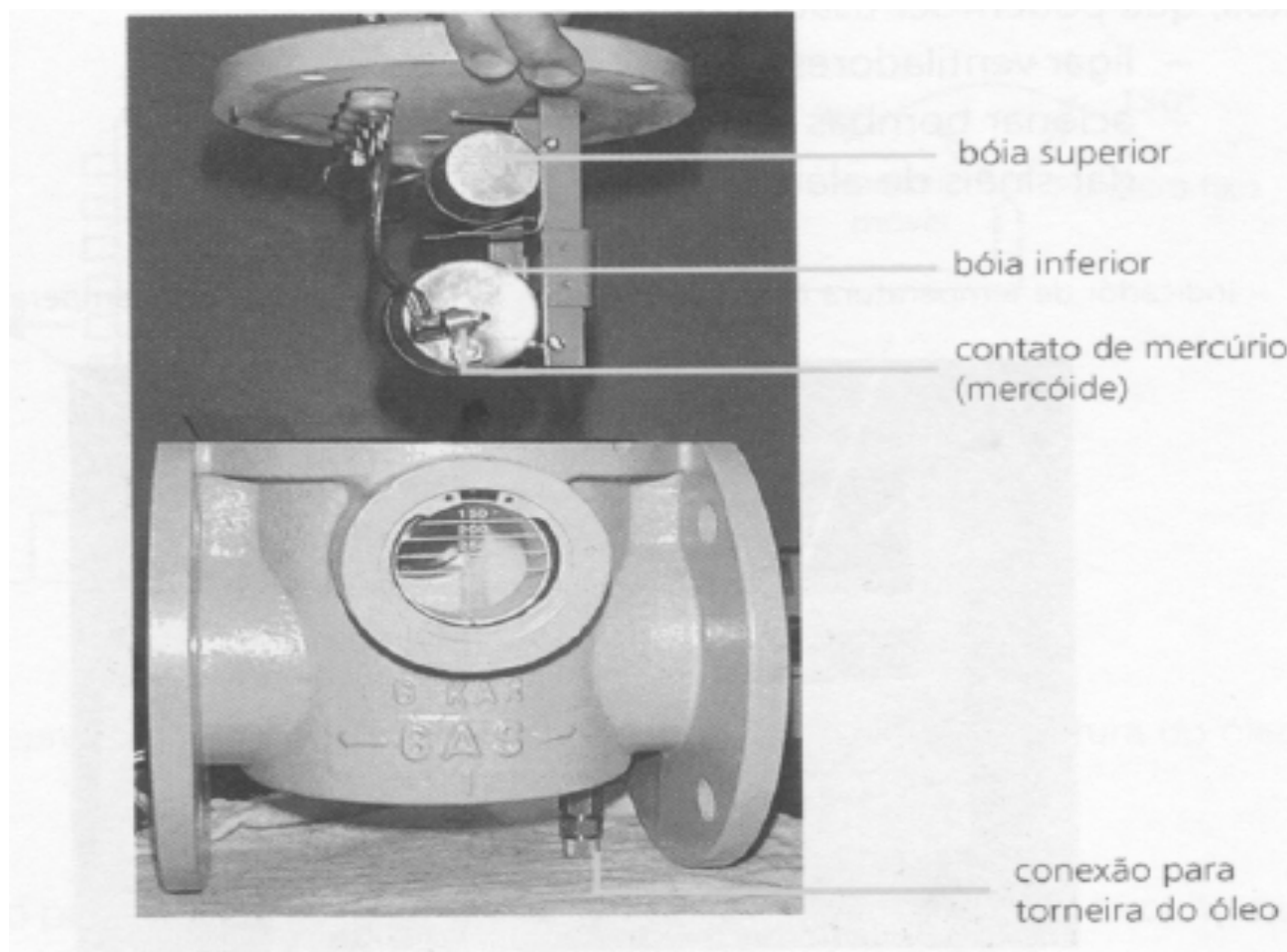
Relé de Bucholz

(funcionamento/constituição)

- Possui duas bóias (com contactos de mercúrio) que estão montadas no interior da câmara colectora de gás;
- Bóia superior :
 - actua quando há produção lenta de Gás (ex: falhas de isolamento);
 - activa um alarme
 - verificação do estado do gás
 - inflamável - defeito interno;
 - não inflamável –ar ou humidade;
- Bóia inferior :
 - actua quando há grandes bolhas de Gás (ex: curto-circuito entre espiras ou rotura de espira formando arco eléctrico);
 - faz disparar uma protecção (disjuntor);

Relé de Bucholz

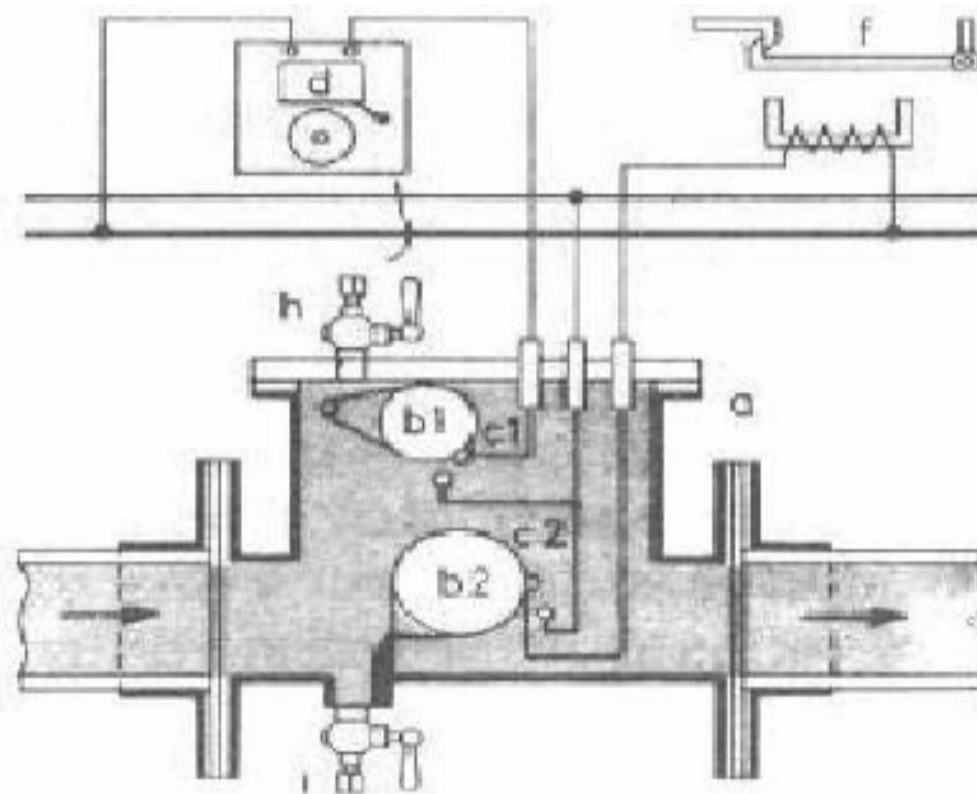
(funcionamento/constituição)



Relé de Bucholz

(funcionamento/constituição)

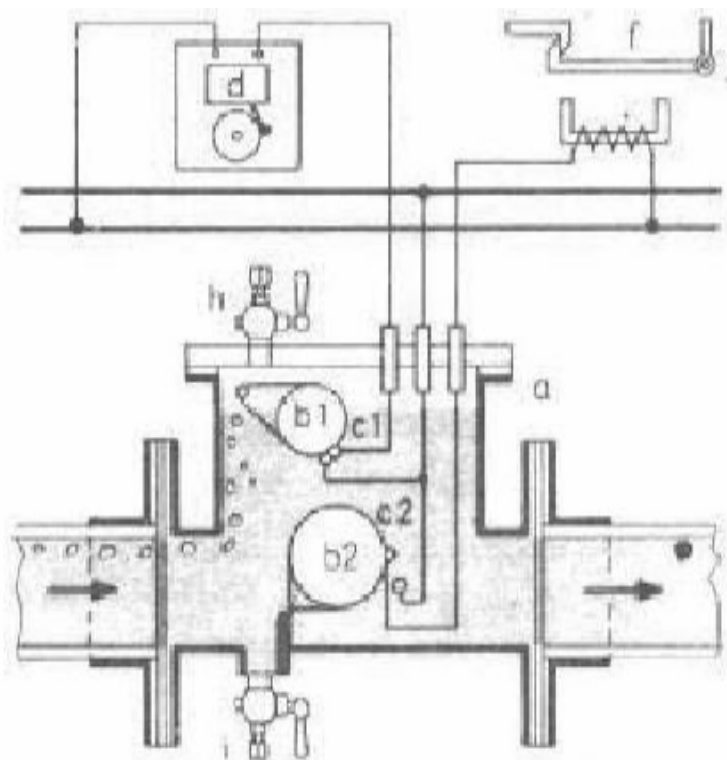
Sem qualquer tipo de defeito



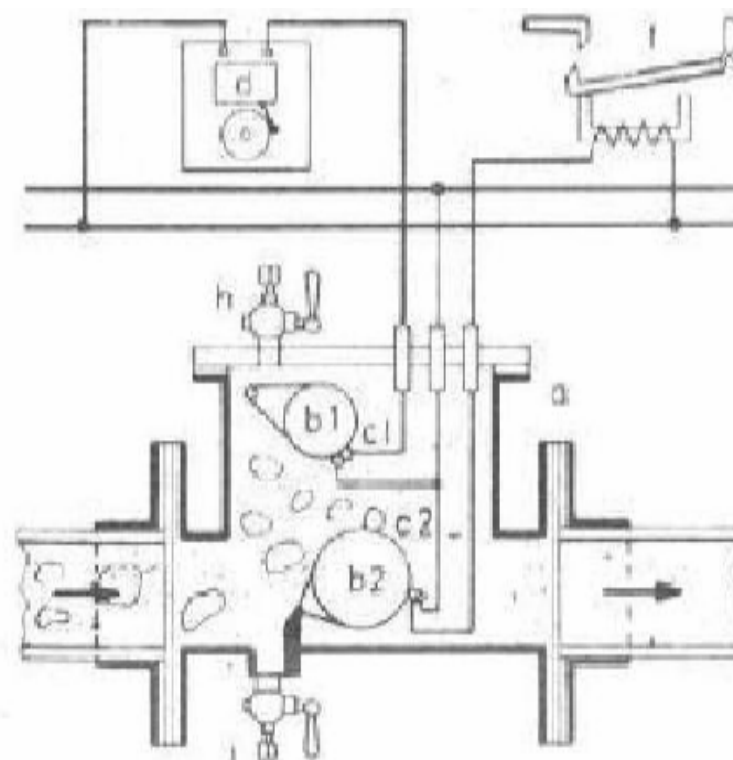
Relé de Bucholz

(funcionamento/constituição)

Pequeno defeito no isolamento



Curto-circuito entre espiras - arco eléctrico

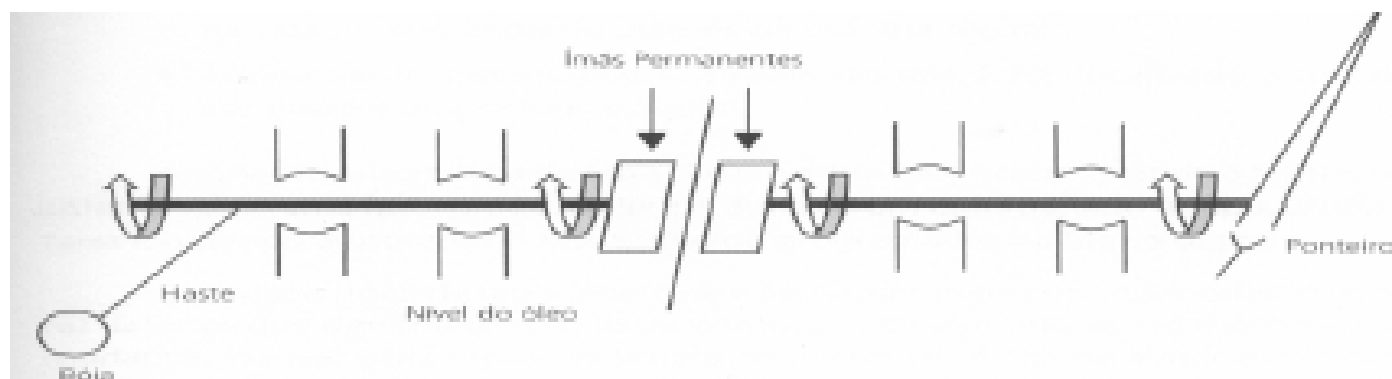


Relé de Bucholz

(funcionamento/constituição)

Indicador Magnético

- Pode substituir as bóias superior e inferior;
- consiste numa bóia presa a uma haste, no interior do depósito, e um mostrador no exterior;



Protecção contra sobrecargas

(Imagem térmica nos grandes transformadores)

Protecção contra sobrecargas

(Imagem térmica nos grandes transformadores)

- Protecção do isolante dos enrolamentos contra estragos causados pelo aquecimento inadmissível provocado por sobrecargas prolongadas;
- normalmente existe um termómetro nos transformadores no topo do óleo que através de um tubo capilar pode accionar os seguintes contactos:
 - contacto que faz actuar o alarme;
 - contacto para ligar os ventiladores;
 - contacto para ligar as bombas de circulação de óleo;

Protecção contra sobrecargas

(Imagem térmica nos grandes transformadores)

- Quando o transformador tem um detector de temperatura ,tipo resistência, alimentado por um T.I , trata-se de uma **Imagem térmica** colocada no interior do óleo ;

-Imagem térmica:

- indica a temperatura do ponto mais quente no enrolamento;
- o aumento da temperatura provoca a expansão de um bolbo de mercúrio que leva ao accionamento de uma mola que move um ponteiro, quando a temperatura atinge um limite máximo os contactos fecham-se e caso a temperatura seja muito elevada pode ser necessário retirar o transformador de serviço.

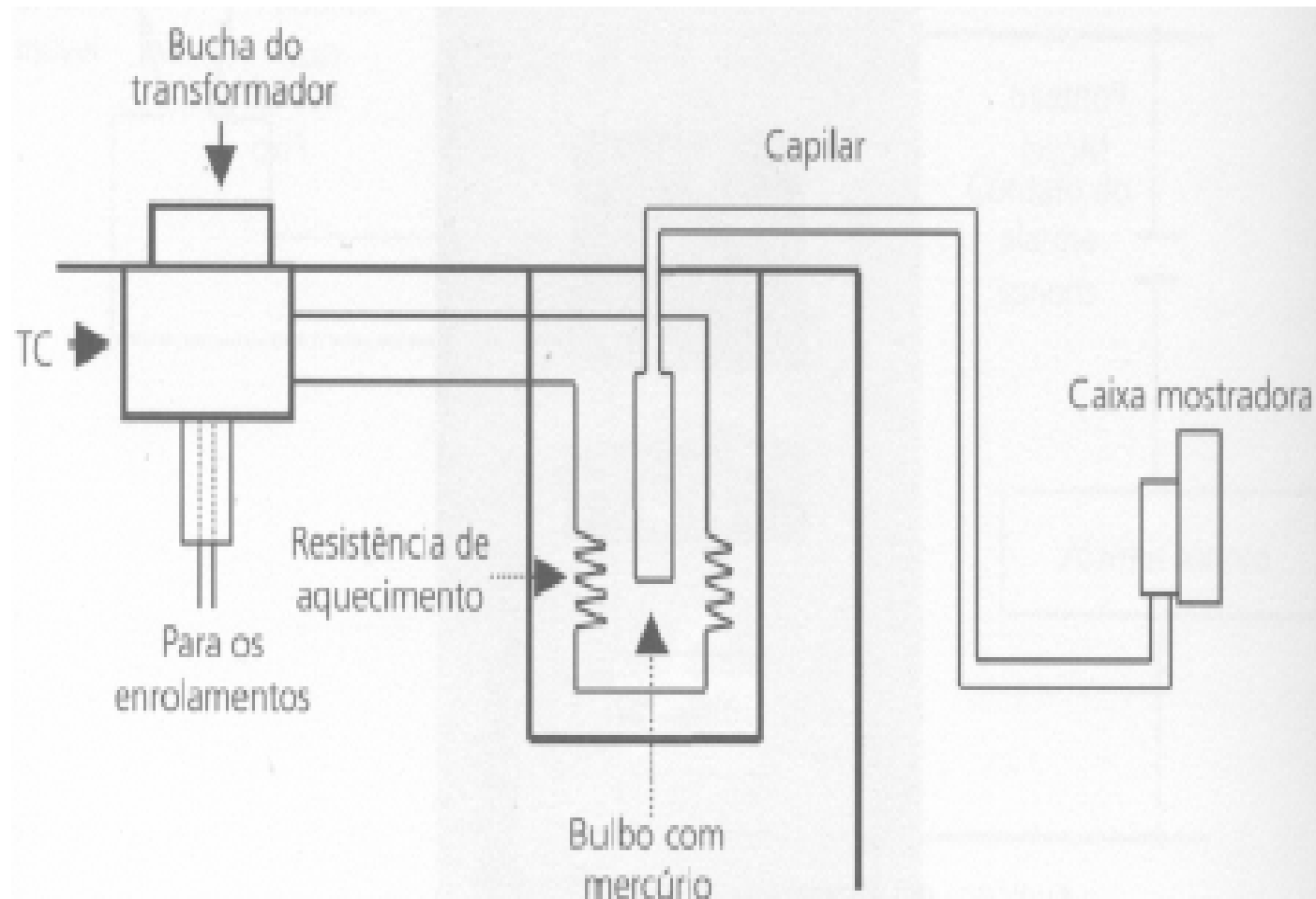
Protecção contra sobrecargas

(Imagem térmica nos grandes transformadores)

- O bolbo de mercúrio está situado entre duas resistências ,num compartimento fechado e isolado com óleo (carcaça do transformador),que aquecem dependendo da corrente fornecida por um T.I ligado a uma saída do transformador

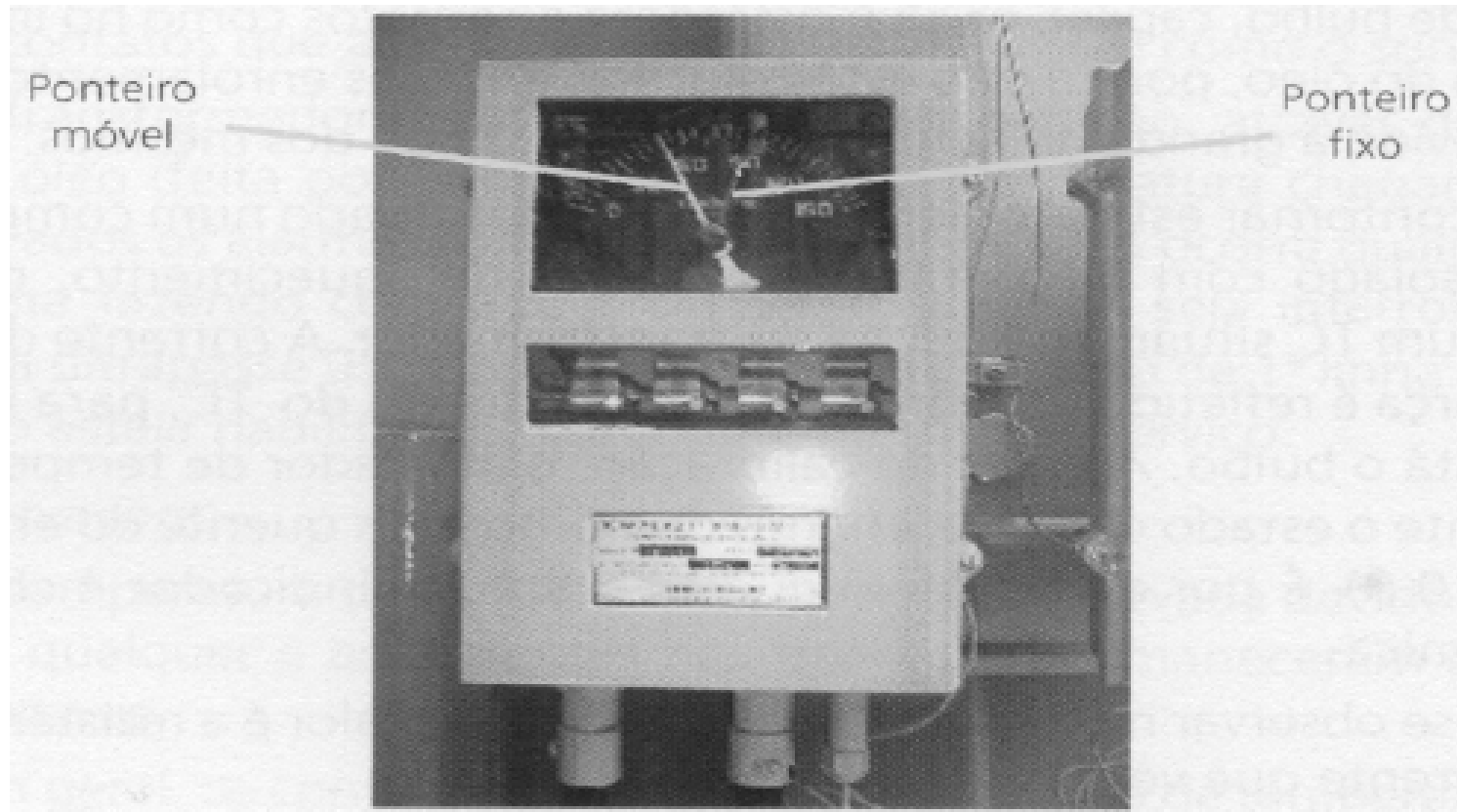
Protecção contra sobrecargas

(Imagem térmica nos grandes transformadores)



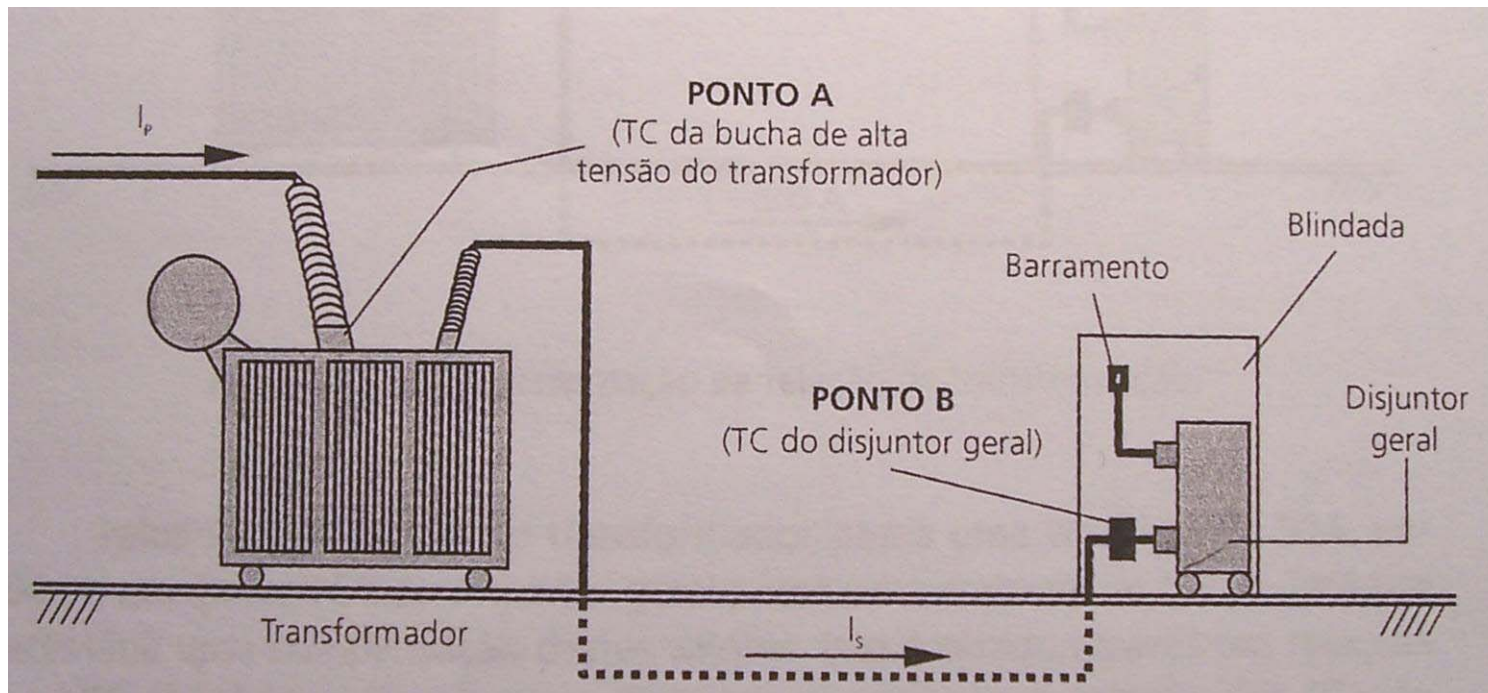
Protecção contra sobrecargas

(Imagem térmica nos grandes transformadores)



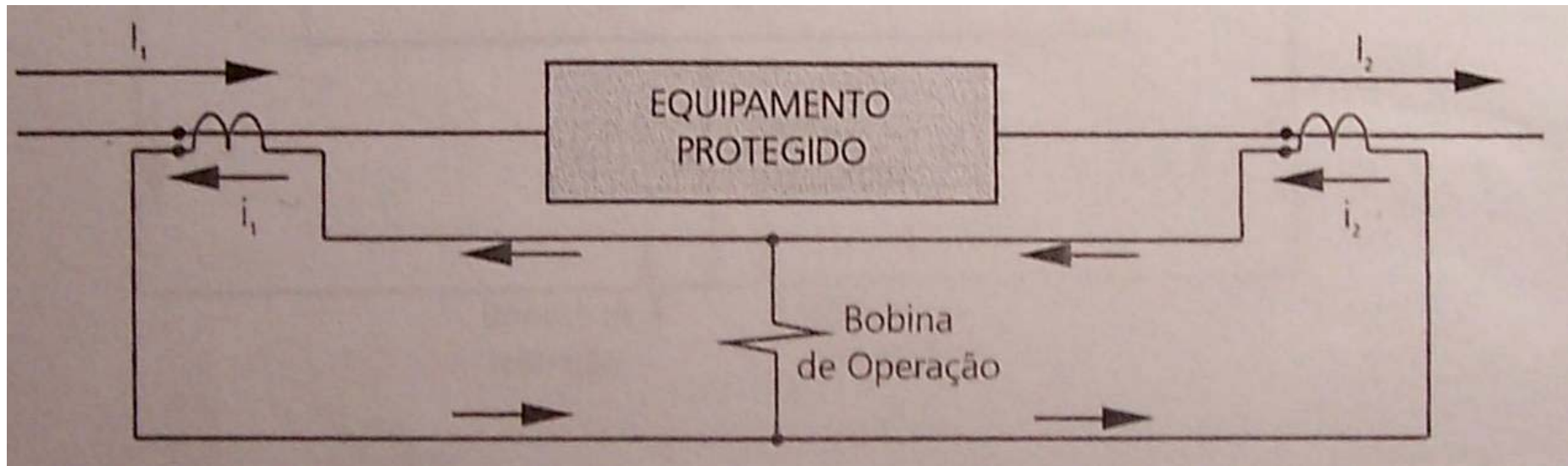
Protecção diferencial de Transformadores

Princípio de funcionamento



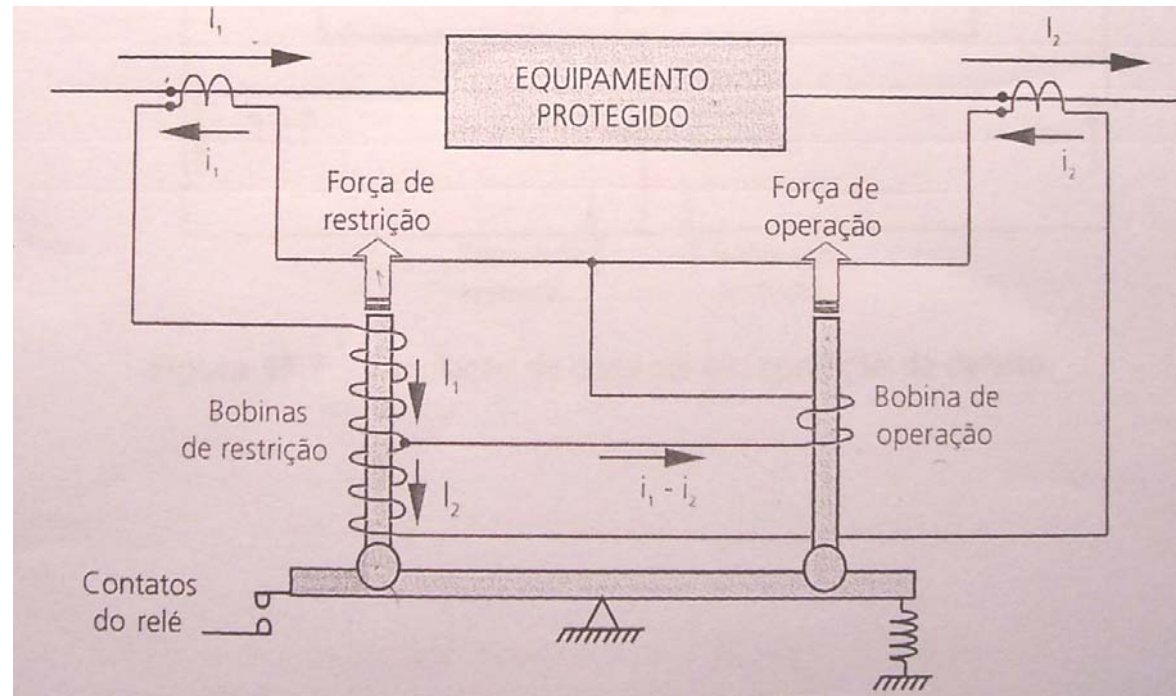
- Embora os transformadores sejam dos equipamentos mais difíceis de proteger com este tipo de relés, são recomendáveis para transformadores trifásicos acima de 1000 kVA e tornam-se economicamente viáveis acima dos 5000kVA.
- Como esta protecção apenas verifica se a corrente de entrada é igual à corrente na saída, esta é insensível a defeitos fora desta zona. Tipicamente também não actua para situações de sobrecarga.

Relé diferencial amperimétrico



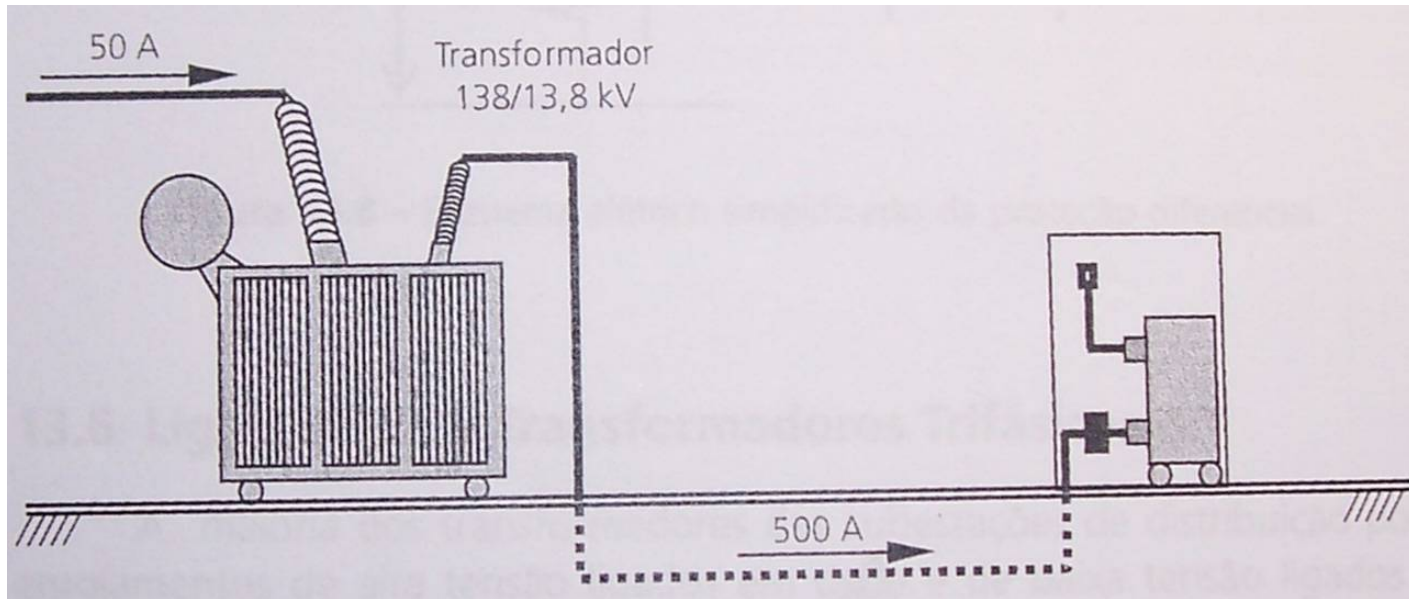
- É um relé que actua instantaneamente, quando a corrente que o atravessa for superior a um valor ajustável.
- Ainda é bastante utilizado mas existem erros sistemáticos inerentes ao seu funcionamento:
 - diferença entre TI's;
 - erro de medida dos próprios TI's;
 - no caso da protecção de transformadores temos que ter em conta a corrente de magnetização inicial assim como a existência de transformadores com tomadas de regulação em carga.

Relé diferencial percentual



- Este relé foi projectado especialmente para transformadores de forma a melhorar o seu desempenho.
- Uma das evoluções efectuadas consistiu na introdução de uma bobine de restrição ou retenção, com a finalidade de impedir que os erros de medição dos TI's, principalmente devido a curto-circuitos externos, façam o relé actuar.
- Assim verifica-se que na ocorrência de um defeito externo à zona de protecção a corrente na bobine de restrição $[(I_1+I_2)/2]$ é superior à da bobine de operação (I_1-I_2) , fazendo com que a sua actuação seja mais difícil. No caso de uma falha dentro da zona de protecção, a relação (I_1-I_2) sobrepõe-se a $[(I_1+I_2)/2]$, devido à inversão de I_2 e assim o relé actua.

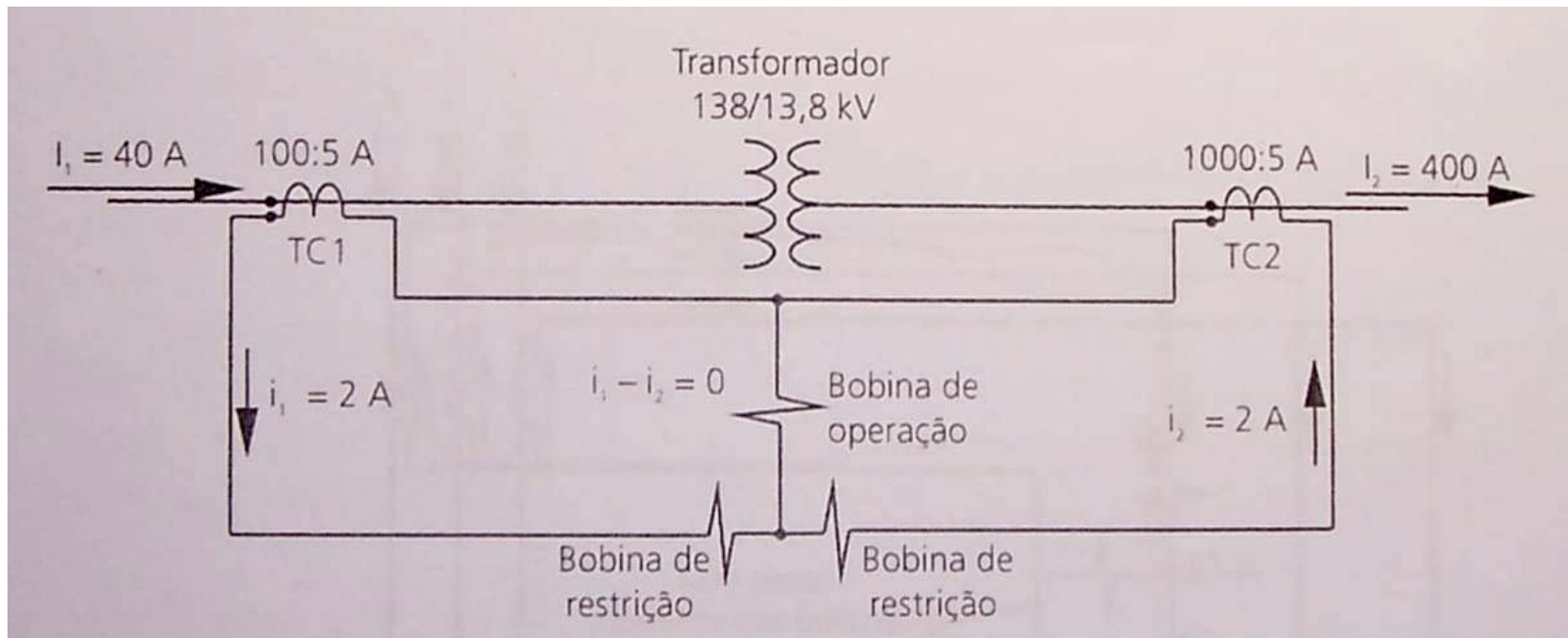
Compensação da razão de transformação do transformador principal



-Considerando que, através dos TI's à entrada do transformador passa uma corrente de 50A e que passam 500A pelos TI's do disjuntor principal, verifica-se que neste tipo de protecção teremos de compensar esta diferença de leituras.

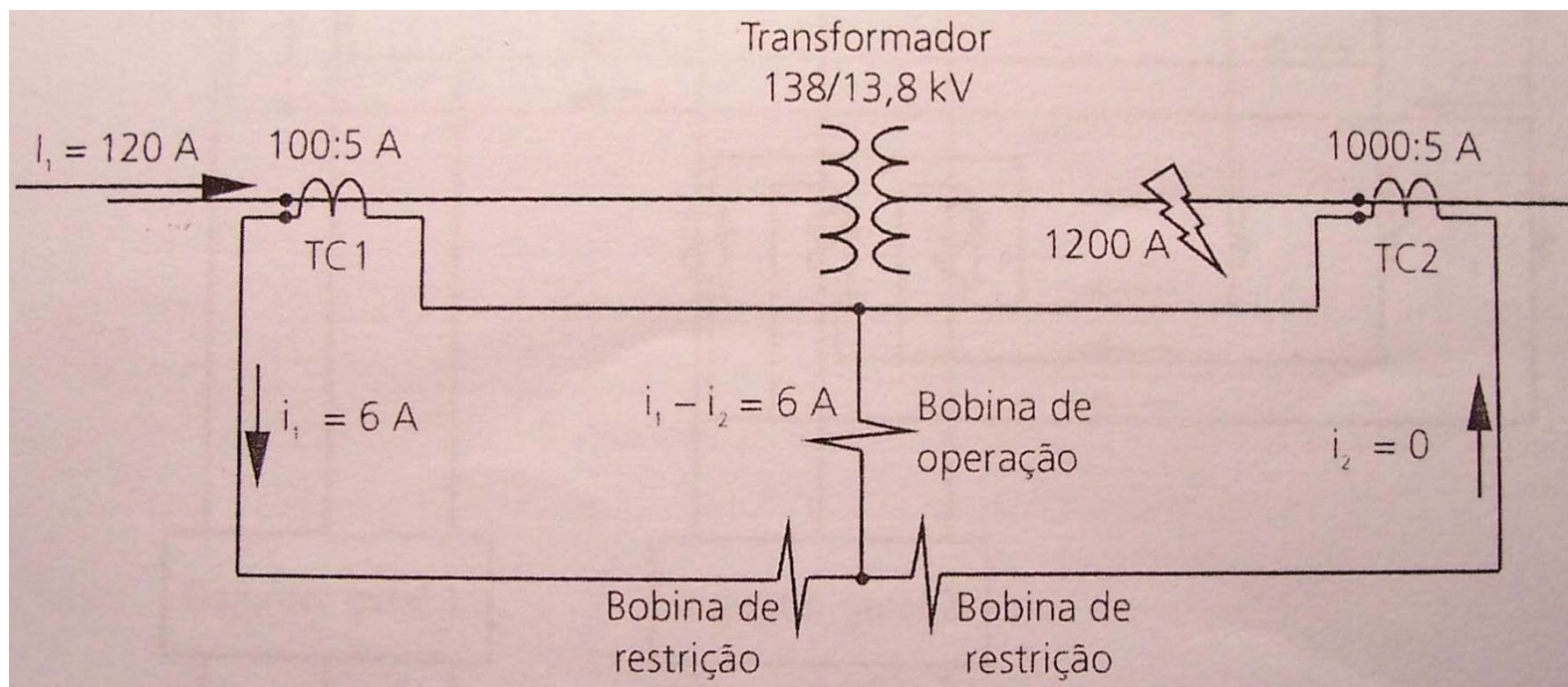
- Assim utilizam-se TI's com diferentes razões de transformação. Neste caso a relação é de 10x. Então, teríamos que aplicar do lado da AT um TI com uma razão de transformação, por exemplo de 2000:5. Nos outros TI's teremos de utilizar uma razão de 200:5. Só assim será possível comparar as correntes envolvidas.

Esquema de ligação a um transformador monofásico

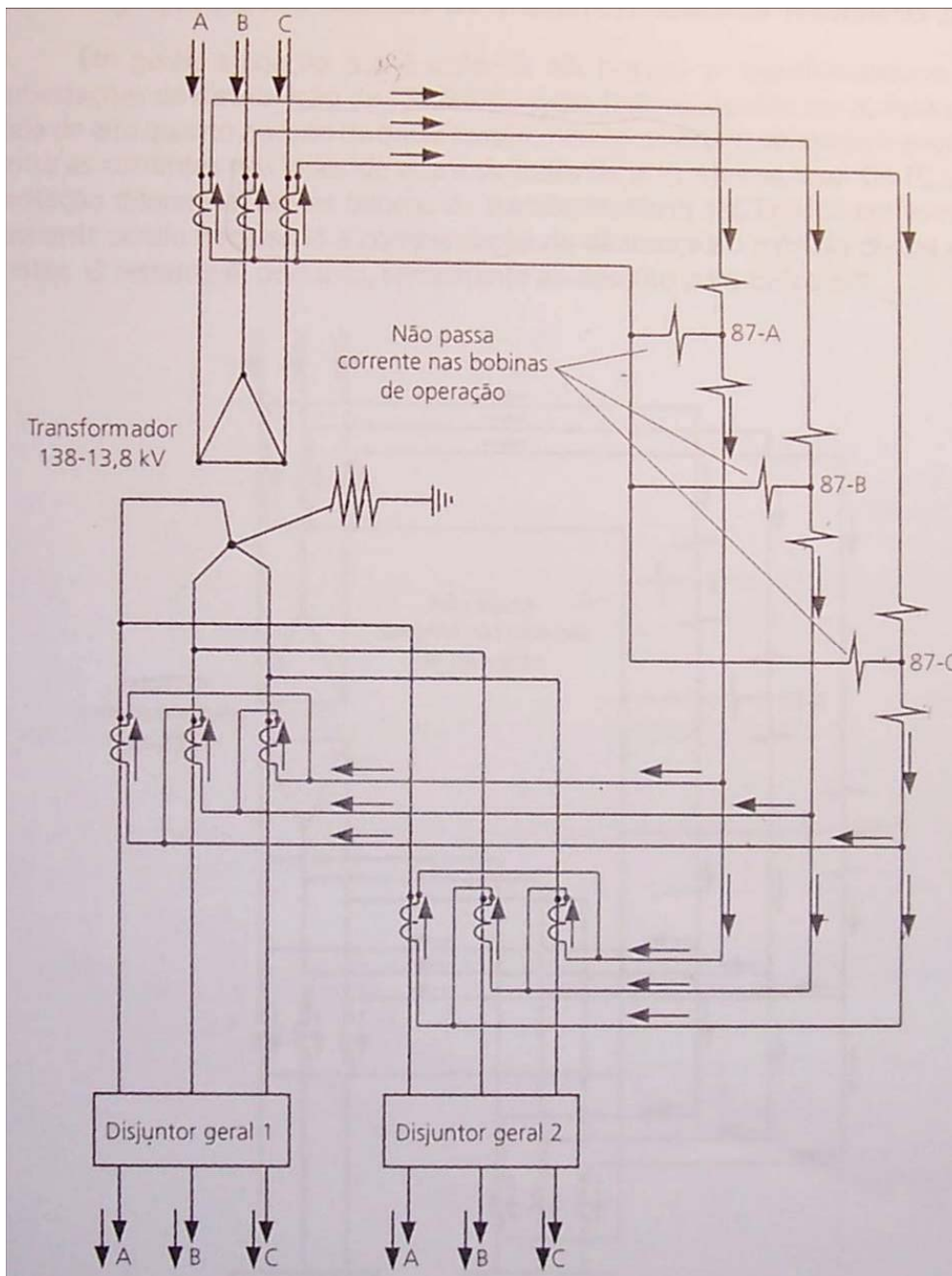


- De acordo com esta figura, é possível verificar que os TI's fornecem ao circuito de protecção uma corrente de 2A. Como esta corrente fornecida pelos TI's é a mesma, a corrente diferencial é nula. Logo não há corrente a atravessar a bobine do relé não provocando a sua actuação.

Simulação do comportamento do relé para um defeito Fase-Terra

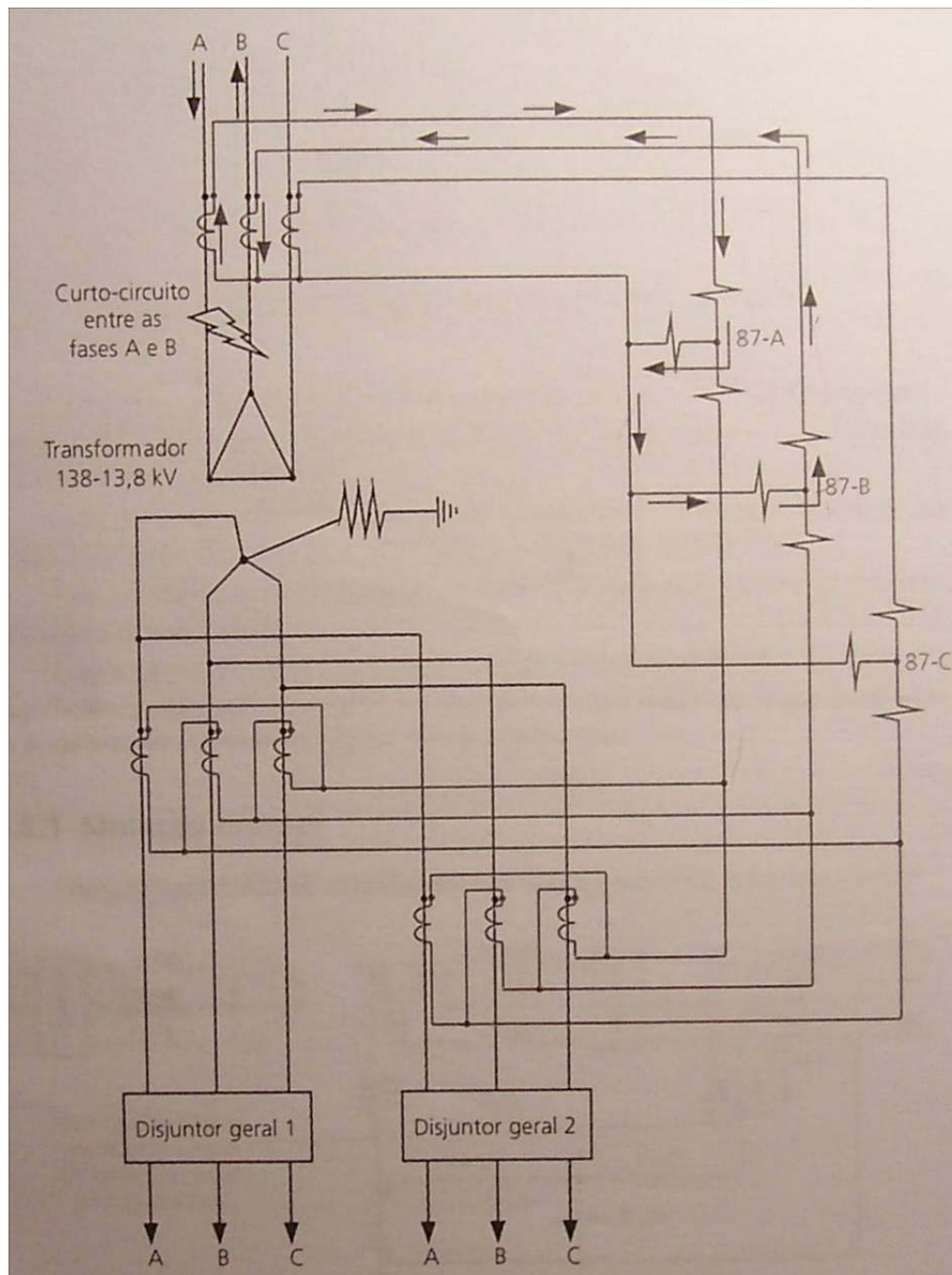


- Nesta situação, é simulado um curto-circuito do lado da BT. Agora, temos o TI da AT/MT a ler uma corrente de 120A e o TI da baixa tensão não lê nada, pois a energia está toda a ser consumida no curto-circuito. Assim estamos a colocar na bobina de operação do relé, uma corrente diferencial 6A. Perante uma corrente destas, é provocada a actuação imediata do relé, protegendo assim o transformador.

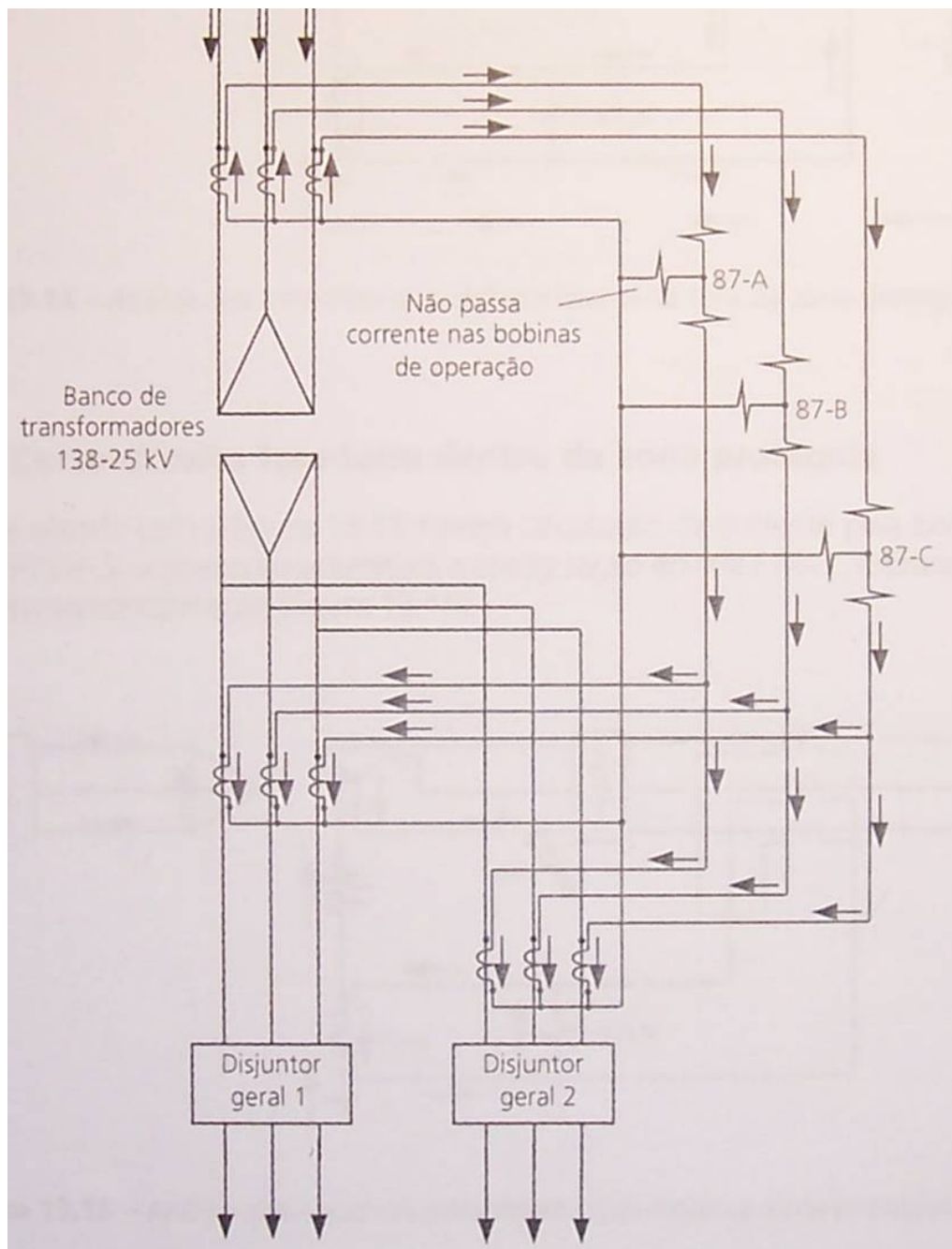


Esquema de ligação para transformadores trifásicos (Δ :Y)

- Grande parte dos transformadores das subestações de distribuição possui os enrolamentos da alta tensão ligados em triângulo (Δ), e os da baixa tensão ligados em estrela (Y) com neutro à terra. Neste tipo de ligações existe naturalmente um desfaseamento angular entre os lados da alta e da baixa tensão. Para podermos compensar esta diferença, do lado da alta tensão ligamos os TI's em estrela (Y) e do lado da baixa tensão, as ligações dos TI's são feitas em triângulo (Δ).
- Na figura acima descrita, temos representado as ligações do circuito diferencial numa situação normal de funcionamento.



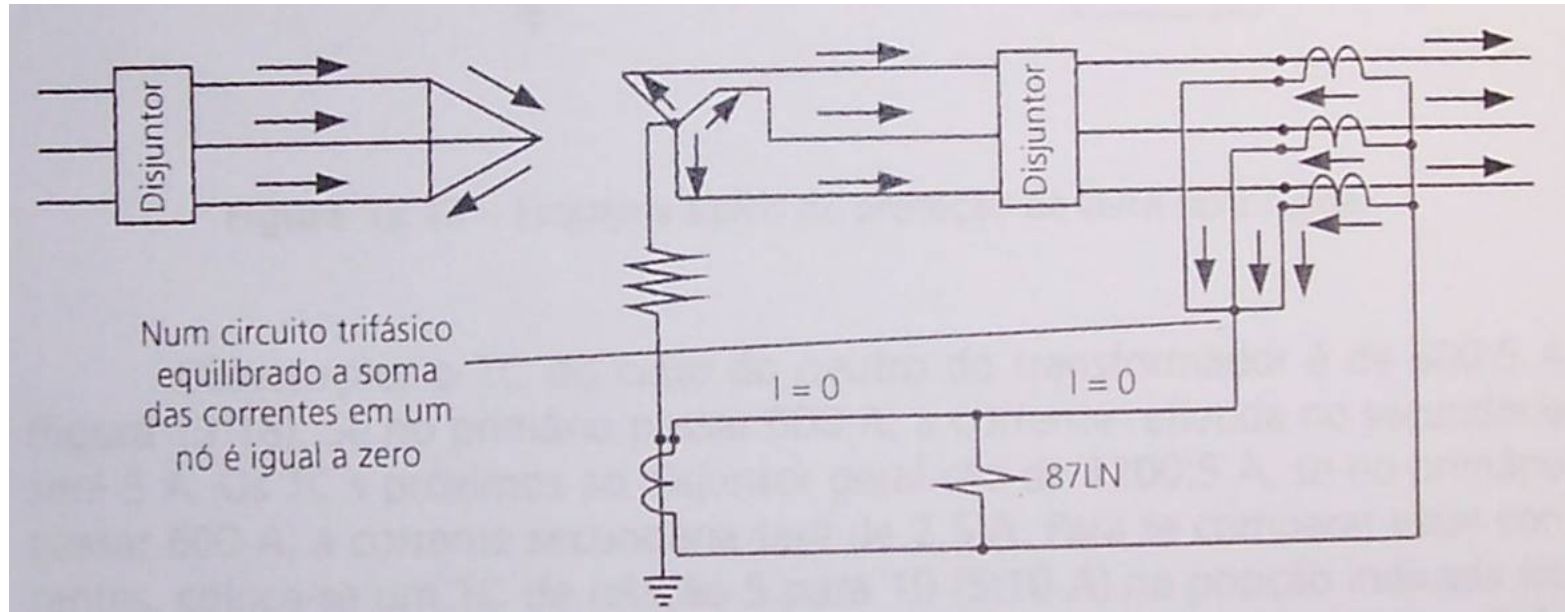
**Comportamento do
sistema de protecção
para um CC bifásico**



Esquema de ligação para transformadores trifásicos (Δ:Δ)

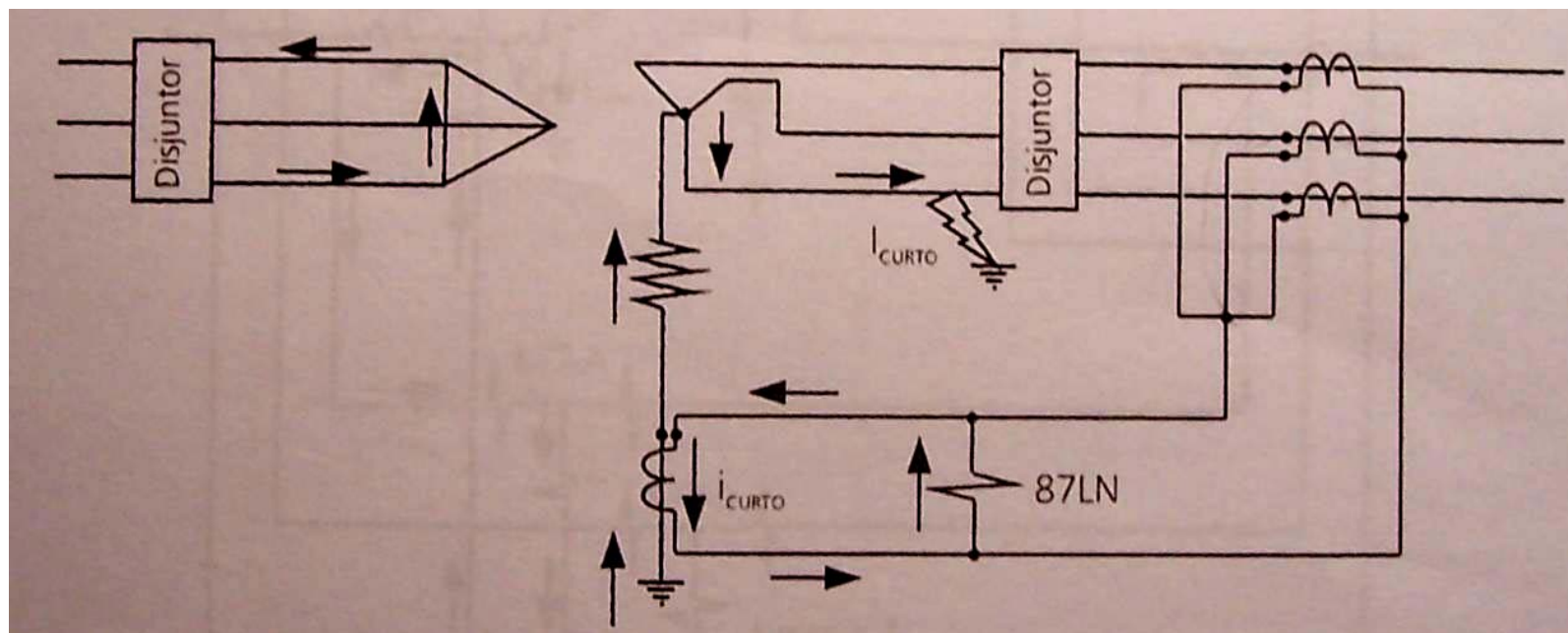
- Em geral, a ligação (Δ:Δ) é utilizada em bancos de transformadores de subestações de distribuição. Estes bancos não apresentam desfasamento entre as correntes da alta e baixa tensão. No entanto temos uma diferença nos seus módulos, sendo por isso necessário compensá-la com uma inversão nos terminais de ligação do lado do secundário.

Protecção de terra restringida

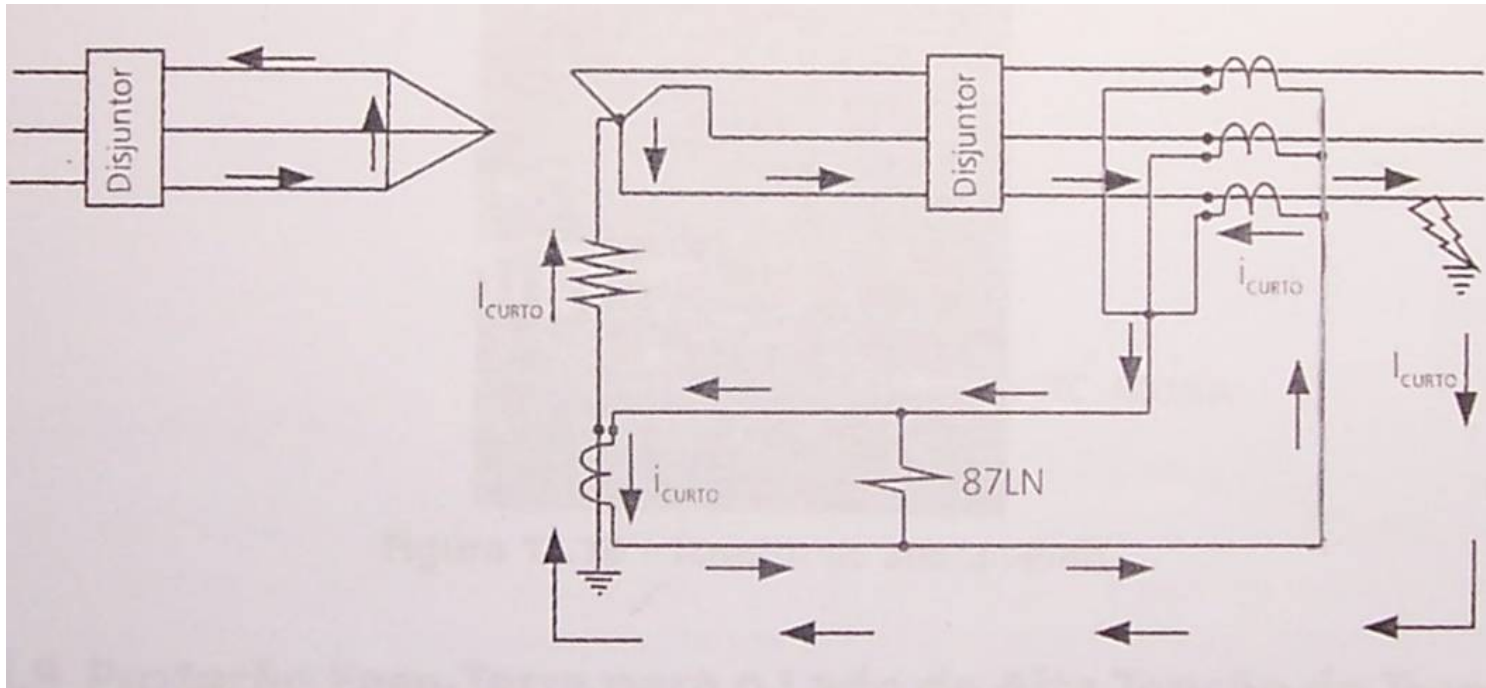


- Na distribuição e considerando o tipo de transformadores representados na figura, normalmente existe uma resistência na ligação do neutro à terra. Esta tem a finalidade de reduzir a corrente de defeito à terra. Nesta situação, como serão mais baixas as correntes de defeito à terra, teremos uma diminuição da sensibilidade do relé diferencial a este tipo de defeitos.

Simulação de defeito à terra, dentro da zona de protecção



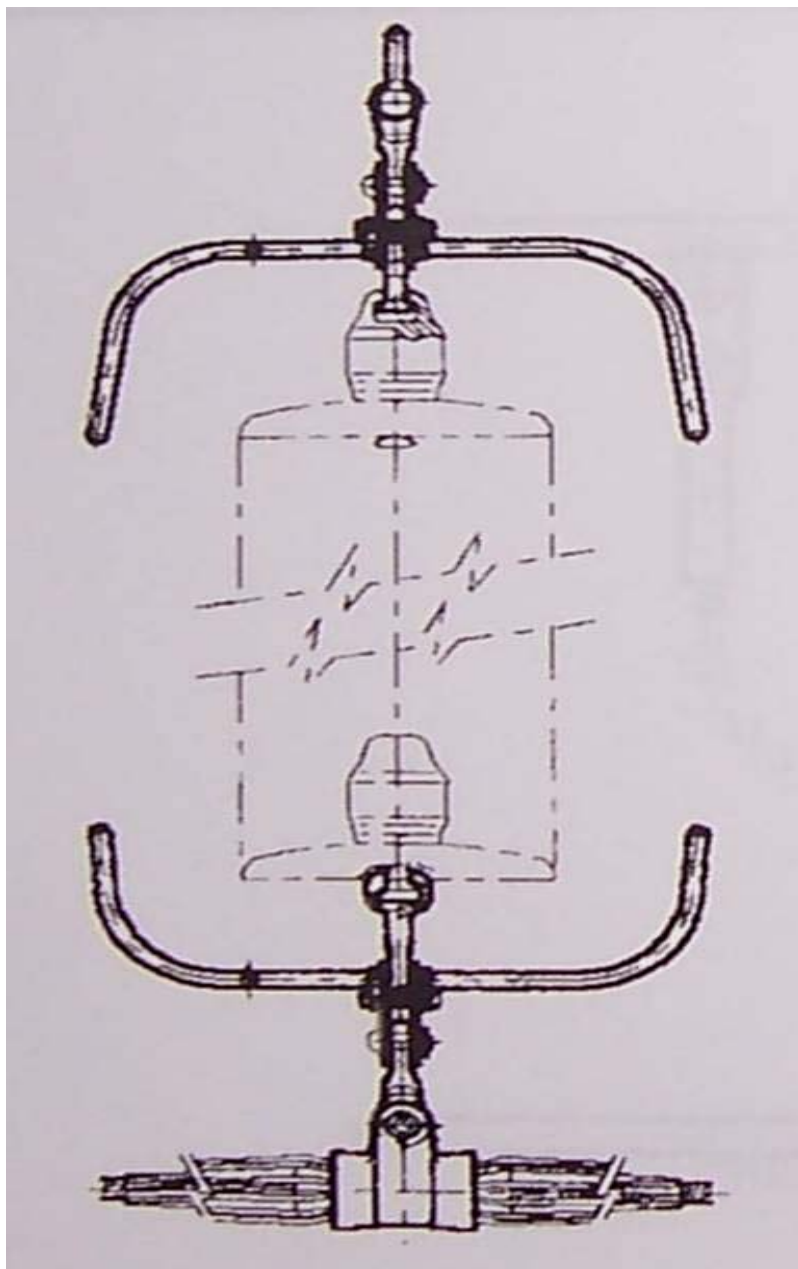
Defeito à terra, fora da zona de Protecção



Protecção contra sobretensões

Protecção dos transformadores contra sobretensões

- Durante todo o período de operação dos transformadores, estes são sujeitos a sobretensões, que podem ter origem em descargas atmosféricas ou em manobras da rede (por ex. a comutação de uma bateria de condensadores, etc.).
- Assim sendo, e de acordo com o Regulamento de Segurança de Postos de Transformação e de Seccionamento (RSPTS) as instalações deverão ser protegidas contra as sobretensões perigosas, sempre que se justifique, quer pela importância destas mesmas instalações, quer pelo valor e frequência com que ocorrem.

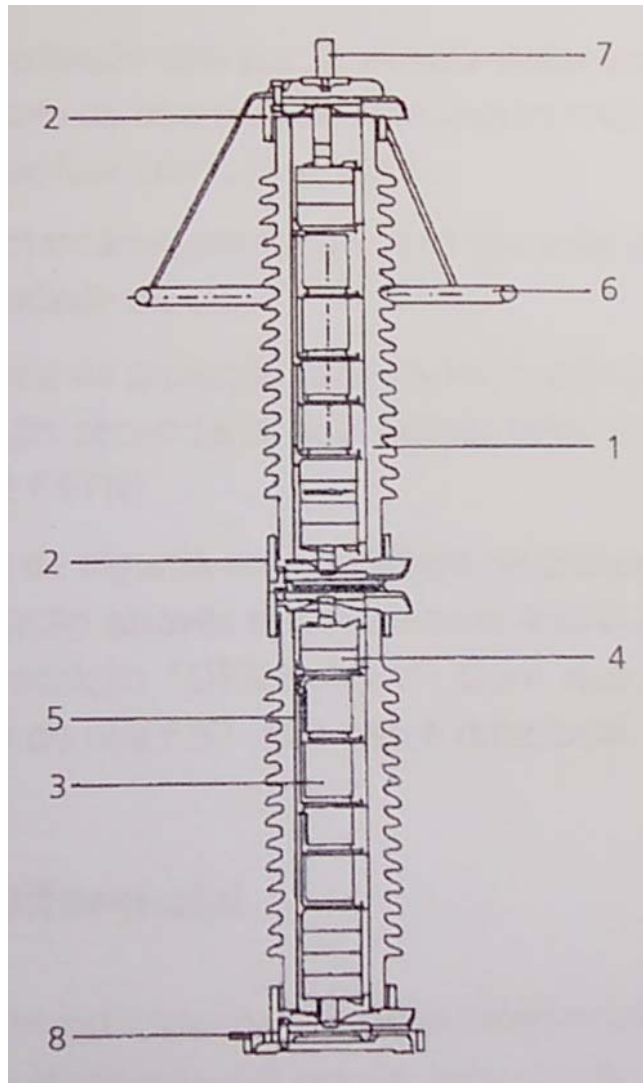


-Hastes de Descarga – Constituem pontos fracos na rede, criados de propósito com o objectivo de termos locais onde seja mais fácil ionizar o ar assim que a tensão entre as hastes colocadas nas extremidades dos isoladores for superior a um determinado valor. Assim será escoada a energia acumulada e, que esteve na origem da sobretensão; para a terra, afim de impedir que estas tensões danifiquem os isolamentos dos aparelhos e neste caso dos transformadores.

-No entanto apresenta grandes desvantagens que estão relacionadas com a variação das características dieléctricas do ar. Assim, a tensão para a qual é ionizado não é a mesma. Teremos uma maior dificuldade no dimensionamento da distância entre as hastes e em garantir funcionamento correcto da protecção perante uma situação de defeito. Por outro lado, devido às elevadas correntes de descarga, teremos esforços electrodinâmicos adicionais na rede e nas próprias hastes implicando uma maior manutenção.

-Do ponto de vista das vantagens, temos o preço. É uma solução mais barata, quando comparada com a solução abaixo apresentada.

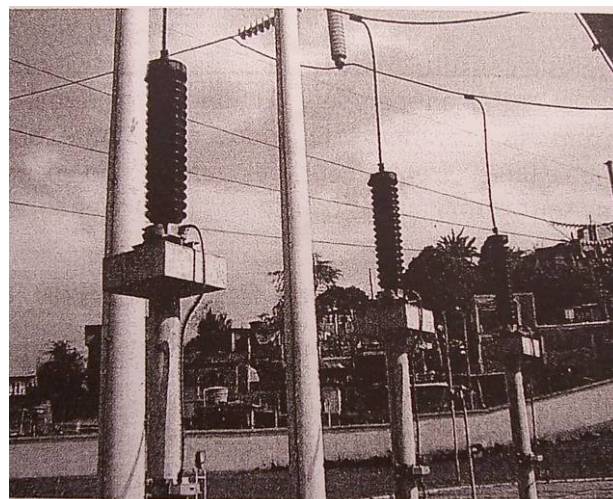
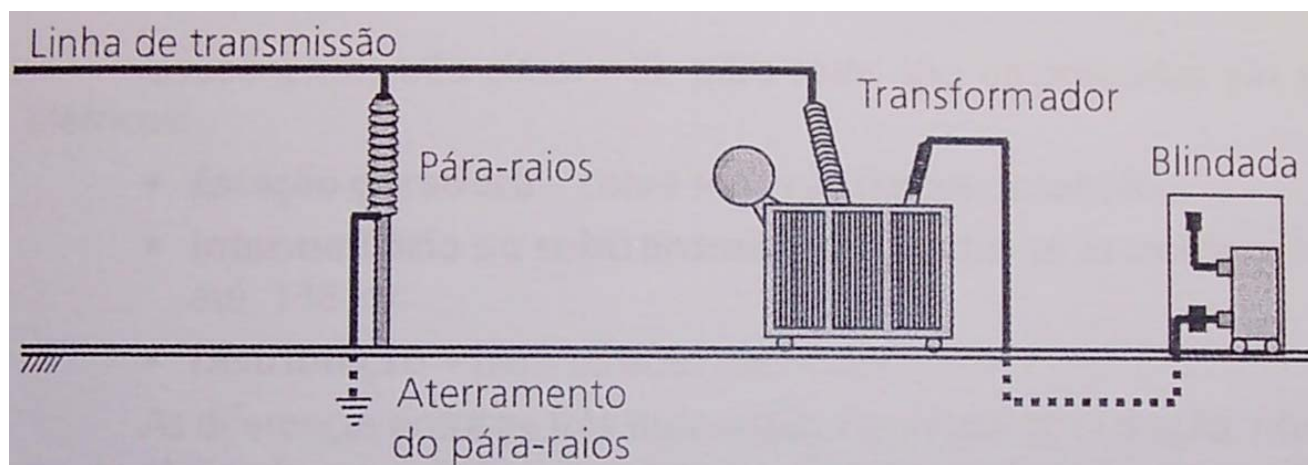
Descarregadores de sobretensões



- 1- Porcelana, resina ou borracha sintética
- 2- Dispositivo de alívio de pressão
- 3- Câmaras de descarga
- 4- Resistência não-linear
- 5- Resistência equipotencial
- 6- Anel equipotencial
- 7- Terminais de alta tensão
- 8- Terminais de ligação à terra



Localização da protecção contra sobretensões



Fim