

SUMÁRIO

Capítulo I - SISTEMAS ELÉTRICOS	3
Capítulo II - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	5
Capítulo III - SUBESTAÇÕES	8
Capítulo IV - CABOS DE POTÊNCIA PARA MÉDIA E ALTA TENSÕES	10
Capítulo V - MUFLA TERMINAL PRIMÁRIA OU TERMINAÇÃO	14
Capítulo VI - CHAVE SECCIONADORA PRIMÁRIA	15
Capítulo VII - PÁRA-RAIOS À RESISTÊNCIA NÃO-LINEAR	16
Capítulo VIII - DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO	18
Capítulo IX - ISOLADORES	20
Capítulo X - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP)	22
Capítulo XI - TRANSFORMADOR DE CORRENTE (TC)	25
Capítulo XII - RELÉS	29
Capítulo XIII - NORMAS TÉCNICAS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

CAPÍTULO I

1 - SISTEMAS ELÉTRICOS

1.1 - DEFINIÇÃO

É o conjunto de equipamentos e materiais necessários para transportar energia elétrica desde a fonte até os pontos de utilização.

1.2 - ETAPAS DE UM SISTEMA ELÉTRICO

1.2.1 - GERAÇÃO

Etapa desenvolvida nas usinas geradoras que produzem energia elétrica por transformação a partir das fontes primárias.

1.2.2 - TRANSMISSÃO

Etapa de transporte da energia elétrica gerada até os centros consumidores.

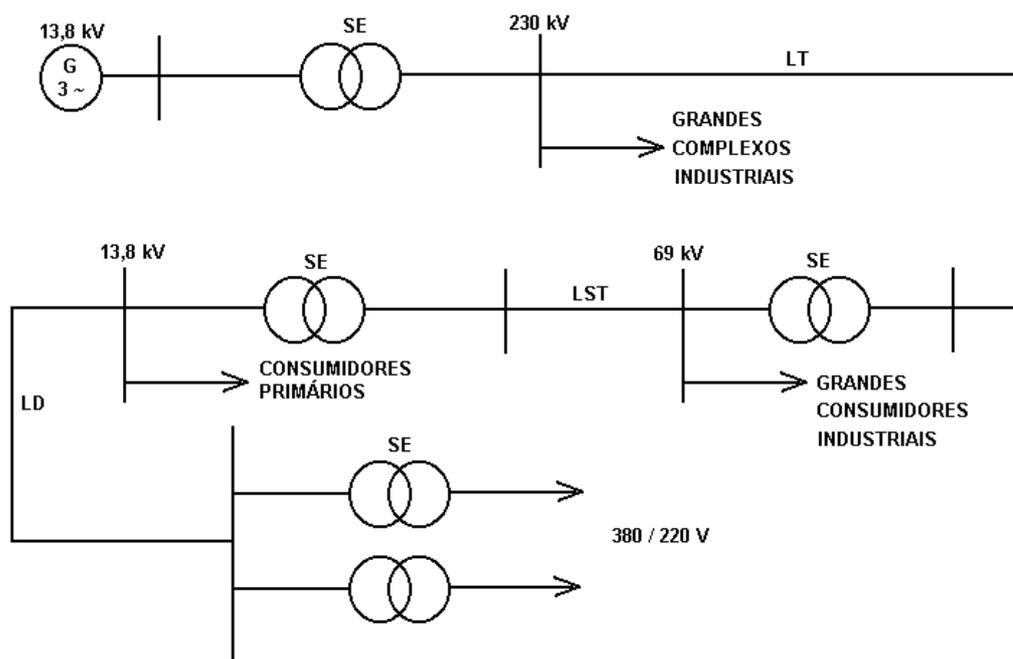
1.2.3 - DISTRIBUIÇÃO

É a etapa do sistema elétrico já dentro dos centros de utilização (cidades, indústrias).

1.2.4 - UTILIZAÇÃO

Etapa onde a energia elétrica é convertida em outra forma de energia.

1.3 - DIAGRAMA UNIFILAR DE UM SISTEMA ELÉTRICO



1.4 - CLASSES DE TENSÃO

CLASSIFICAÇÃO	FAIXA DE TENSÃO	TENSÕES DE SERVIÇO PADRONIZADAS (V)
EXTRA-BAIXA TENSÃO (EBT)	ATÉ 50 V - (120 V em CC)	<u>12, 24, 48</u>
BAIXA TENSÃO (BT)	ACIMA DE 50 V ATÉ 1.000 V - (1.500 V em CC)	<u>110, 115, 120, 127, 133, 208, 220, 230, 240, 254, 280, 380, 400, 440, 460, 480, 500, 525, 600, 660</u>
MÉDIA TENSÃO (MT)	ACIMA DE 1.000 V ATÉ 72.500 V	3.000, 3.150, <u>3.800</u> , 4.160, 6.000, 6.300, <u>6.600</u> , 7.200, 7.620, 10.000, 10.500, 11.500, 12.470, 13.200, <u>13.800</u> , 14.400, 15.750, <u>18.000</u> , 19.920, <u>23.000</u> , 24.940, <u>34.500</u> , 35.000, 38.500, <u>69.000</u>
ALTA TENSÃO (AT)	ACIMA DE 72.500 V ATÉ 242.000 V	<u>88.000</u> , 110.000, 115.000, 121.000, <u>138.000</u> , 154.000, 161.000, 220.000, <u>230.000</u> , 242.000
EXTRA -ALTA TENSÃO (EAT)	ACIMA DE 242.000 V ATÉ 800.000 V	330.000, 345.000, 350.000, 420.000, <u>500.000</u> , 600.000 , <u>750.000</u>
ULTRA-ALTA TENSÃO (UAT)	ACIMA DE 800.000 V ATÉ 1.500.000 V	1.150.000

OBS.: 1) Os valores sublinhados são utilizados no Brasil.
2) Os valores em negrito são em corrente contínua.

1.5 - NÍVEIS DE ISOLAMENTO NORMALIZADOS

TENSÃO MÁXIMA DO EQUIPAMENTO (kV)	TENSÃO SUPORTÁVEL NOMINAL À FREQUÊNCIA INDUSTRIAL DURANTE 1 MINUTO (kV)	TENSÃO SUPORTÁVEL NOMINAL DE IMPULSO ATMOSFÉRICO (kV)
15	34	95
		110
72,5	140	350
		750
242	260 325 395	850
		950
		1.050
550	1.300 1.425 1.550 1.675	1.175
		1300

CAPÍTULO II

2 - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

2.1 - DEFINIÇÃO

São o conjunto de componentes elétricos associados e com características coordenadas entre si, constituído para uma finalidade determinada.

2.2 - CONCEITOS

2.2.1 - DEMANDA

É o valor médio da potência ativa (P) em um intervalo de tempo Δt especificado (normalmente $\Delta t = 1/4$ h).

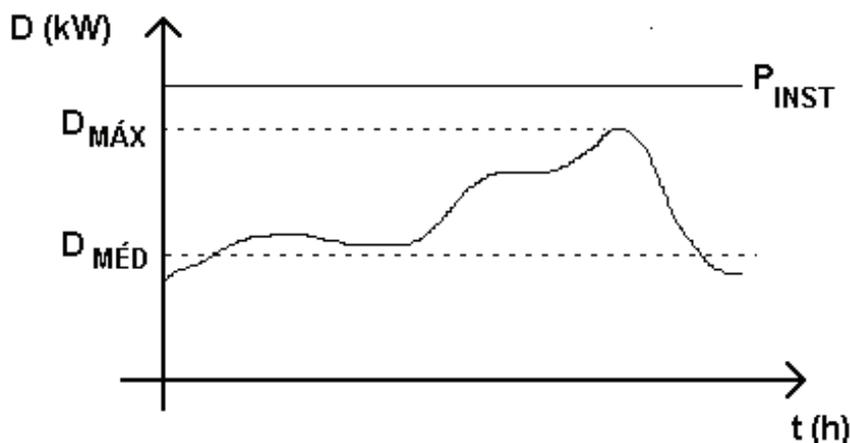
2.2.2 - DEMANDA MÉDIA

É a demanda constante que a instalação deveria apresentar para, no período considerado, consumir uma energia igual a consumida com funcionamento normal.

$$D_m = \frac{E_T}{T}$$

2.2.3 - CURVA DE CARGA

É a curva que dá a demanda em função do tempo.



2.2.4 - POTÊNCIA DE ALIMENTAÇÃO

É a demanda máxima de uma instalação ou de um setor de uma instalação.

2.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

2.3.1 - QUANTO A TENSÃO NOMINAL

a) **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO** - Regidas pela NBR 5410

b) **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE MÉDIA TENSÃO** - Regidas pela NBR 14039

2.3.2 - QUANTO A FINALIDADE

a) RESIDENCIAIS

- Baixa tensão
- Iluminação como carga predominante

b) COMERCIAIS

- Subestações
- Cabine de medição
- Aterramento
- Iluminação eficiente
- Centros de medição
- Cargas especiais (bombas, compressores, aparelhos de Raios-X etc)
- Grupos geradores
- Barramentos blindados
- Dutos de piso
- Sistema de ar condicionado
- Sistemas de detecção e alarme de incêndio e roubo
- Sistemas telefônicos
- S.P.D.A. (Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas)
- Supervisão predial
- Sonorização
- CFTV (Circuito Fechado de Televisão)
- Rádio / TV
- Elevadores
- Escadas rolantes
- Portas automáticas

c) INDUSTRIAIS

- Redes de alta tensão
- Redes de baixa tensão
- Subestações
- Cabine de medição
- Grupos geradores
- Aterramento
- Iluminação eficiente
- Grande quantidade de motores (CCM's)
- Cargas especiais (bombas, compressores, fornos etc)
- Máquinas ferramentas
- Sistema de ar condicionado
- Sistemas de detecção e alarme de incêndio e roubo
- Sistemas telefônicos
- Sistema de aquecimento
- S.P.D.A. (Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas)
- Supervisão predial
- Ventilação mecânica
- Barramentos blindados

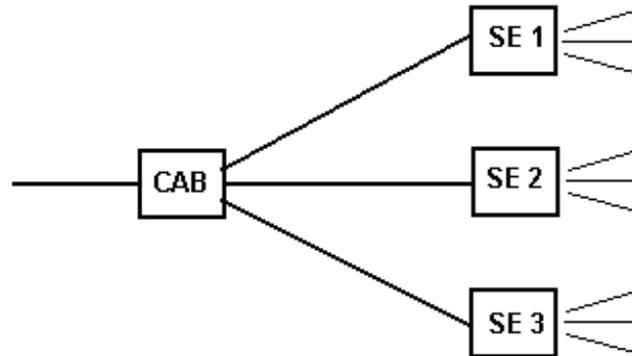
- Áreas classificadas

2.4 - SISTEMA ELÉTRICO INDUSTRIAL

Os sistemas elétricos de uma indústria (primário e secundário) podem ter as seguintes configurações:

2.4.1 - SISTEMA RADIAL SIMPLES

É aquele em que a energia elétrica tem um sentido único, da fonte para a carga.

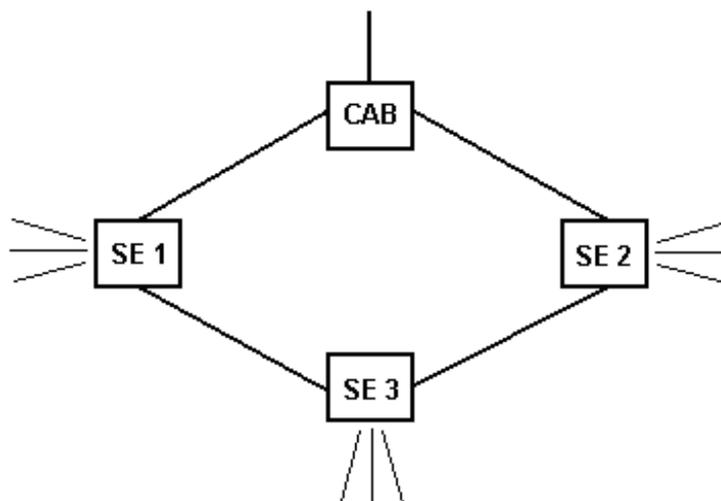


CARACTERÍSTICAS:

- Mais simples
- Mais utilizado
- Custo reduzido
- Baixa confiabilidade

2.4.2 - SISTEMA COM RECURSO (REDE EM ANEL)

Nesse sistema o fluxo de energia pode variar de acordo com as condições de carga do sistema.



CARACTERÍSTICAS:

- Mais complexo
- Custo elevado
- Maior confiabilidade

CAPÍTULO III

3 - SUBESTAÇÕES

3.1 - INTRODUÇÃO

Subestações são instalações que tem como finalidade transformar a energia elétrica recebida sob certas características e entregá-la de forma conveniente aos consumidores. Compreende equipamentos de manobra, transformação, proteção, conversão (modificação de tensão, corrente e frequência) e de estrutura.

3.2 - CLASSIFICAÇÃO DAS SUBESTAÇÕES

3.2.1 - QUANTO A FUNÇÃO A DESEMPENHAR

- a) **Subestação Central de Transmissão:** Construída ao lado das usinas produtoras de energia elétrica. Sua finalidade é modificar os níveis de tensão dos geradores, para transmitir a energia gerada aos grandes centros consumidores.
- b) **Subestação Receptora de Transmissão:** Construída próxima aos grandes blocos de carga. Conecta-se através da linha de transmissão à subestação central de transmissão.
- c) **Subestação de Subtransmissão:** Construída em geral no centro de um grande bloco de carga e alimentada pela subestação receptora. É dela que se originam os alimentadores de distribuição primária.
- d) **Subestação de Consumidor:** Construída em propriedade particular, é suprida através de alimentadores de distribuição primária. Alimentam os pontos finais de consumo.

3.2.2 - QUANTO AO TIPO DE INSTALAÇÃO

- a) **Subestação a céu aberto ou ao tempo:** São construídas em praças amplas ao ar livre e requerem o emprego de equipamentos próprios para funcionamento em condições atmosféricas adversas.
- b) **Subestações Abrigadas:** Os equipamentos são instalados no interior de construções e não estão sujeitos às intempéries.
- c) **Subestações blindadas:** São compactas e todos os equipamentos (barramentos, disjuntores, chaves, TP's, TC's etc) estão instalados em cilindros contendo SF₆ (hexafluoreto de enxofre) sob pressão. Necessitam de estações para bombeamento, pressurização e controle do SF₆.

3.3 - SUBESTAÇÃO DE CONSUMIDOR

3.3.1 - TIPOS

- a) **Subestação ao tempo:** Pode ser instalada em poste (transformador até 150 kVA) e em plataforma (transformador até 225 kVA).
- b) **Subestação abrigada**

3.3.2 - COMPARTIMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO ABRIGADA

- a) **Cubículo de medição primária:** Destina-se à instalação dos equipamentos auxiliares de medição, tais como TP's e TC's. É de uso exclusivo da concessionária, sendo seu acesso devidamente lacrado de modo a não permitir a entrada de pessoas estranhas à concessionária.
- b) **Cubículo de proteção primária:** Destina-se à instalação de chave seccionadora, fusíveis ou disjuntores, responsáveis pela proteção geral e seccionamento da instalação.
- c) **Cubículo de transformação:** Destina-se à instalação de chave seccionadora e transformador de força.

Obs.: Os cubículos de medição e proteção poderão estar isolados ou dentro da subestação. É justificável sua instalação isoladamente quando a potência instalada ultrapassar 225 kVA e ocorrer um dos seguintes casos:

- O centro de carga esteja distante do ponto de entrega, tornando inviável a transmissão de energia em baixa tensão;
- Existam cubículos de transformação em locais diversos, dentro dos limites da propriedade do consumidor.

3.4 - ENTRADA DE SERVIÇO

Compreende o trecho de circuito entre o ponto de derivação da rede de distribuição pública e os terminais da medição.

3.4.1 - COMPONENTES DA ENTRADA DE SERVIÇO

- a) **Ramal de ligação:** É o trecho de circuito aéreo compreendido entre o ponto de ligação e o ponto de entrega.
- b) **Ponto de ligação:** Ponto de derivação da rede pública.
- c) **Ponto de entrega:** Ponto até o qual a concessionária se obriga a fornecer energia elétrica, participando dos investimentos necessários e responsabilizando-se pela execução dos serviços, operação e manutenção.
- d) **Ramal de entrada:** É o conjunto de condutores, com os respectivos materiais necessários à sua fixação e a interligação do ponto de entrega aos terminais da medição. Pode ser:
 - Aéreo: Constituído de condutores nus suspensos em estruturas;
 - Subterrâneo: Constituído de condutores isolados instalados dentro de um conduto ou diretamente enterrados no solo.

CAPÍTULO IV

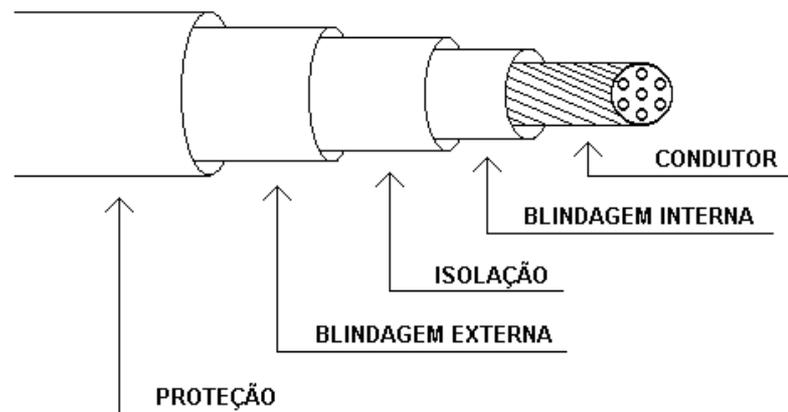
4 - CABOS DE POTÊNCIA PARA MÉDIA E ALTA TENSÕES

4.1 - INTRODUÇÃO

Cabo elétrico: Conjunto, isolado ou não, de fios metálicos encordoados (dispostos helicoidalmente), não isolados entre si. Os cabos são mais flexíveis do que os fios.

4.2 - CABOS ISOLADOS

A figura abaixo apresenta a estrutura de um cabo isolado:



Os cabos podem diferir do ponto de vista construtivo:

- a) Pelas características dos condutores (material, número de fios elementares, forma, seção etc), que condicionam em grande parte a capacidade de condução;
- b) Pela qualidade e espessura do isolante, que com o tipo de isolante, definem as características de isolamento do cabo e, portanto, a sua capacidade de funcionamento em uma rede de determinadas características (tensão, frequência etc);
- c) Pelo tipo de blindagem e
- d) Pelo tipo de proteção.

4.3 - TIPOS DE CONDUTORES

O cobre e o alumínio são os dois metais mais usados na fabricação dos condutores elétricos. Ao longo dos anos o cobre tem sido o mais utilizado, sobretudo em condutores isolados, devido principalmente às suas propriedades elétricas e mecânicas. O cobre para condutores elétricos é o cobre eletrolítico com 99,99% de pureza, sendo o cobre recozido o mais utilizado.

4.4 - ISOLAÇÃO

A isolação tem como finalidade isolar o condutor eletricamente de outros condutores e a terra.

Os materiais usados para isolação dos cabos de potência podem ser do tipo:

- Estratificados: Papel impregnado
- Sólidos: - Termoplásticos
- Termofixos

4.4.1 - MATERIAIS ESTRATIFICADOS

O cabo isolado com papel impregnado foi uma das primeiras soluções adotadas para o transporte de energia com condutores enterrados.

O papel impregnado é utilizado nas seguintes configurações:

- Cabo com massa não-escoante;
- Cabo com óleo fluido (OF) sob pressão;
- Cabo à pressão de gás.

O papel impregnado com massa não-escoante é tradicionalmente utilizado em cabos de potência para baixa e média tensões. Trata-se de material utilizado há muitas décadas, comprovando uma vida útil excepcionalmente longa. A contínua evolução tecnológica do papel impregnado tem melhorado ainda mais as suas características, produzindo novas gerações de cabos de excelente qualidade e alta confiabilidade.

O papel impregnado com óleo fluido sob pressão é o único isolante atualmente disponível para ser usado com plena confiabilidade em tensões até 500 kV.

Nos cabos à pressão de gás (nitrogênio ou SF₆) os vazios existentes nas camadas de papel são preenchidos com gás, aumentando bastante seu limite de ionização.

4.4.2 - MATERIAIS SÓLIDOS

É o tipo de isolação mais utilizada atualmente, tanto em cabos de baixa como nos de média e alta tensões. Possuem diversas características comuns, porém cada tipo possui propriedades específicas cujo conhecimento é determinante na escolha do material. Como características comuns pode-se citar:

- Homogeneidade da isolação e boa resistência ao envelhecimento em serviço;
- Ausência de escoamento;
- Reduzida sensibilidade à umidade;
- Insensibilidade às vibrações;
- Bom comportamento ao fogo.

Os isolantes sólidos dividem-se em dois grandes grupos:

- Termoplásticos
- Termofixos

a) ISOLANTES TERMOPLÁSTICOS

Sofrem amolecimento com o aumento de temperatura. Os mais empregados são o polietileno comum (**PET**) e o cloreto de polivinila (**PVC**).

POLIETILENO COMUM (PET): Apresenta excelentes qualidades isolantes, limitação no que diz respeito às características físicas (fica praticamente fluido a 110 °C) e na baixa resistência à ionização.

CLORETO DE POLIVINILA (PVC): É o isolante seco mais usado até 15 kV, apesar de suas características elétricas apenas regulares. É o mais econômico, com excelente durabilidade, apresentando ótima resistência à ionização.

b) ISOLANTES TERMOFIXOS

Ao contrário dos termoplásticos os compostos termofixos apresentam excelente estabilidade para uma ampla faixa de temperatura, mantendo em alta percentagem suas características mecânicas. Esta propriedade permite aumentar a capacidade de condução dos condutores, sem reduzir sua margem de segurança. Os mais empregados são o polietileno reticulado (**XLPE**) e a borracha etileno-propileno (**EPR**).

POLIETILENO RETICULADO (XLPE): Possui uma boa resistência à compressão e deformação para uma ampla faixa de temperatura. Suas características elétricas são excelentes, tem uma alta resistência ao ozônio e excelente estabilidade térmica. Sua principal desvantagem é a extrema dureza, o que o torna um material de difícil manuseio. É usado até 15 kV com plena garantia de confiabilidade.

BORRACHA ETILENO-PROPILENO (EPR): É o isolante de desenvolvimento mais recente, sendo também o de melhor qualidade. Apresenta alta temperatura admissível, resistência à ionização muito maior que a do XLPE e excelente flexibilidade. É utilizado em tensões até 69 kV.

A tabela abaixo apresenta as características dos isolantes aqui apresentados:

ISOLAÇÃO	MÁXIMA CLASSE DE TENSÃO (kV)	MÁX. TEMP. EM REGIME CONTÍNUO (°C)	MÁX. TEMP. DE SOBRECARGA (°C)	MÁX. TEMP. DE CURTO-CIRCUITO (°C)
PAPEL IMPREG.	49	80	100	200
POLIETILENO	35	75	90	150
PVC	15	70	100	160
XLPE	35	90	130	250
EPR	69	90	130	250

4.5 - BLINDAGEM

A blindagem de um cabo de potência consiste na aplicação de camadas condutoras ou semicondutoras ao condutor e a isolação, com finalidades essencialmente eletrostáticas.

4.5.1 - BLINDAGEM DO CONDUTOR (INTERNA)

Consiste numa camada semicondutora interposta entre o condutor e a isolação, devendo estar em contato íntimo com a superfície interna da isolação. Sua finalidade é uniformizar a distribuição do campo elétrico.

4.5.2 - BLINDAGEM DA ISOLAÇÃO (EXTERNA)

Consiste numa camada de material semicondutor e, geralmente, também de uma camada de material condutor, aplicadas sobre a superfície da isolação. Sua principal finalidade é confinar o campo elétrico dentro do cabo isolado. A blindagem semicondutora proporciona uma distribuição uniforme e radial do campo elétrico na isolação, além de evitar espaços ionizáveis. A camada metálica traz as seguintes vantagens:

- Sob condição de curto-circuito é um caminho de baixa impedância para retorno da corrente;
- Desde que convenientemente aterrada, proporciona maior segurança, eliminando os riscos de choques elétricos em caso de contato direto ou com a cobertura do cabo.

4.6 - PROTEÇÃO

Sua função básica é proteger o núcleo do cabo, tanto do ponto de vista mecânico, bem como sob o aspecto da resistência aos agentes ambientais (químicos, intemperismo etc). Pode ser não metálica (cobertura) e metálica (armação). O PVC é o tipo de cobertura mais utilizado.

CAPÍTULO V

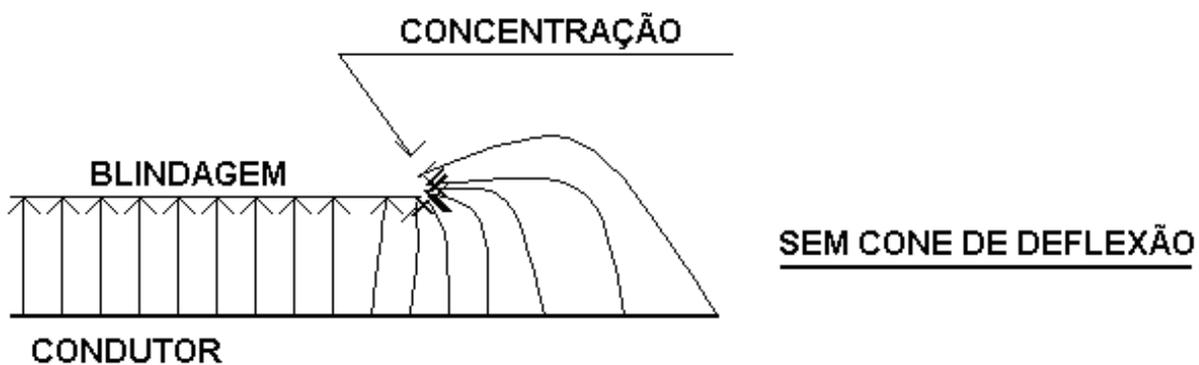
5 - MUFLA TERMINAL PRIMÁRIA OU TERMINAÇÃO

5.1 - INTRODUÇÃO

Dispositivo destinado a restabelecer as condições de isolamento da extremidade de um condutor isolado quando este é conectado a um conector nú.

Tem a finalidade de reduzir o gradiente de potencial que surge em torno da área seccionada do cabo.

As figuras abaixo apresentam cabos elétricos com e sem mufla e os aspectos dos seus campos elétricos.



CAPÍTULO VI

6 - CHAVE SECCIONADORA PRIMÁRIA

6.1 - INTRODUÇÃO

Aparelho de comando capaz de interromper de modo visível a continuidade elétrica de um circuito. É comandável sob tensão, mas sem corrente, pois não possui poder de interrupção.

É utilizada em subestações para isolar transformadores, disjuntores etc. Também é utilizada em redes aéreas de distribuição urbana e rural com a finalidade de seccionar alimentadores.

Pode ser unipolar ou tripolar, para uso interno ou externo, operada manualmente ou por telecomando.

6.2 - TIPOS DE CHAVES SECCIONADORAS

- **Uso interno:**
 - Simples
 - Bucha passante
 - Fusíveis
 - Interruptores
 - Reversíveis

- **Uso externo:**
 - Abertura lateral singela (ALS)
 - Dupla abertura lateral (DAL)
 - Abertura vertical (AV)
 - Pantográficas

CAPÍTULO VII

7 - PÁRA-RAIOS À RESISTÊNCIA NÃO-LINEAR

7.1 - INTRODUÇÃO

Equipamento destinado a proteção de sistemas elétricos contra sobretensões originadas por descargas atmosféricas (origem externa) ou por manobras de chaves seccionadoras e disjuntores (origem interna).

7.2 - TIPOS DE PÁRA-RAIOS

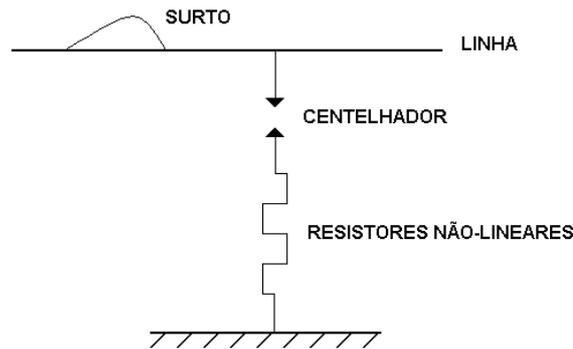
- Carboneto de silício (SiC)
- Óxido de zinco (ZnO)

7.3 - PARTES COMPONENTES DE UM PÁRA-RAIOS

- Corpo de porcelana:** Constituído de porcelana vitrificada de alta resistência mecânica e dielétrica.
- Resistores não-lineares:** Blocos cerâmicos feitos a partir do SiC ou do ZnO. Possuem elevada capacidade de condução da corrente de surto com baixas tensões residuais, ao mesmo tempo que oferece alta resistência à corrente subsequente, fornecida pelo sistema.
- Centelhador série:** Constituído de um ou mais espaçadores entre eletrodos, dispostos em série com os resistores não-lineares. É opcional para os pára-raios de ZnO.
- Desligador automático:** Constituído de um elemento resistivo colocado em série com uma cápsula explosiva protegida por um corpo de baquelite. Serve como indicador visual de defeito no pára-raios. É opcional no ZnO.
- Protetor contra sobrepessão:** Dispositivo destinado a aliviar a pressão interna devido a falhas ocasionais do pára-raios e cuja ação permite o escape dos gases antes que haja o rompimento da porcelana.

7.4 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A figura a seguir mostra esquematicamente um pára-raios instalado numa linha submetida a uma sobretensão.



Em condições normais de funcionamento a linha está isolada da terra pelo centelhador. Ocorrendo uma sobretensão, o pára-raios conduz instantaneamente ($\cong 0,01$ s).

7.5 - ESCOLHA DA TENSÃO NOMINAL DO PÁRA-RAIOS

É determinada em função da máxima tensão entre fases admissível no sistema e depende do fator de aterramento desse sistema:

$$V_N = V_{MÁX.FF} \cdot F_{AT}$$

Para sistemas com neutro solidamente aterrado esse fator vale 0,8 e para sistemas com neutro isolado ou aterrado através de impedância vale 1,0.

Exemplo:

Considere uma descarga atmosférica cuja corrente do raio seja de 15 kA, irrompendo num ponto do solo distante 90 m de uma L.T. de 69 kV, cuja altura dos condutores ao solo seja de 11 m. Calcular a tensão de surto resultante.

$$R_V = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4,5 \times 10^5}{I_R}}} = 0,00577$$

$$V_{SU} = \frac{Z_a \times I_R \times H}{D_{RL}} \times \left[1 + \frac{R_V}{\sqrt{2 - R_V^2}} \right] = 55,22 kV$$

Este valor é bem inferior à tensão suportável de impulso (TSI) da L.T. que é de 350 kV.

7.6 - CONSIDERAÇÕES SOBRE RAIOS

- 90% das descargas atmosféricas seguem da nuvem para a terra.
- Descarga direta de raios:
 - 0,1% \geq 200 kA
 - 0,7% \geq 100 kA
 - 5% \geq 60 kA
 - 50% \geq 15 kA

CAPÍTULO VIII

8 - DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO

8.1 - INTRODUÇÃO

São equipamentos destinados à manobra e à proteção de circuitos, capazes de interromper grandes potências de curto-circuito. Estão sempre associados a relés.

8.2 - MEIOS DE INTERRUPÇÃO DO ARCO

8.2.1 - Disjuntores a óleo

- Custo reduzido
- Robustez construtiva
- Simplicidade operativa
- Simplicidade de manutenção

Podem ser a grande volume de óleo (GVO) e a pequeno volume de óleo (PVO).

8.2.2 - Disjuntores a sopro magnético

Muito usados em sistemas de corrente contínua.

8.2.3 - Disjuntores a vácuo

Especialmente utilizados onde a frequência de manobras é intensa, como nos circuitos de transformadores de fornos a arco.

8.2.4 - Disjuntores a SF₆

Usados em extra-alta tensão.

8.2.5 - Disjuntores a ar comprimido

Utilizados em S/E's com tensões iguais ou superiores a 230 kV. Necessitam de uma central de ar comprimido.

8.3 - SISTEMAS DE ACIONAMENTO

8.3.1 - Sistema de mola

Mais comum, maior simplicidade de operação e custo reduzido. É empregado basicamente em todos os disjuntores de média tensão e na maioria até 230 kV. Seu acionamento pode ser manual ou motorizado.

8.3.2 - Sistema de solenóide

Tem utilização limitada.

8.3.3 - Sistema de ar comprimido

É mais empregado nos disjuntores que utilizam o ar comprimido como meio de extinção do arco.

8.3.4 - Sistema hidráulico

Constituído por bomba, óleo, nitrogênio e válvulas.

CAPÍTULO IX

9 - ISOLADORES

9.1 - INTRODUÇÃO

São elementos sólidos cuja função é isolar os condutores em relação a estrutura suporte ou de outro condutor, além de poderem suportar os esforços produzidos pelos condutores.

9.2 - CLASSIFICAÇÃO

9.2.1 - Isoladores de apoio

São aqueles nos quais se apóiam os condutores.

9.2.2 - Isoladores de suspensão

São aqueles que, quando fixados à estrutura, permitem o livre deslocamento em relação à vertical.

9.3 - MATERIAIS

Os materiais mais empregados são a cerâmica, o vidro e a fibra de vidro.

9.4 - TIPOS

9.4.1 - Isolador de pino

Utilizados em redes de distribuição e subtransmissão até 72 kV.

9.4.2 - Isolador de suspensão (de disco)

Usados em redes de distribuição e linhas de transmissão.

9.4.3 - Isolador de apoio multicorpo

Aplicado em média e extra-alta tensões em zonas altamente poluídas e em sistemas de corrente contínua (HVDC).

9.4.4 - Isolador pedestal

Para suportar condutores e equipamentos em subestações.

9.4.5 - Isolador suporte maciço

Para suportar equipamentos elétricos, barramentos de S/E's, chaves seccionadoras etc.

9.4.6 - Isoladores compostos

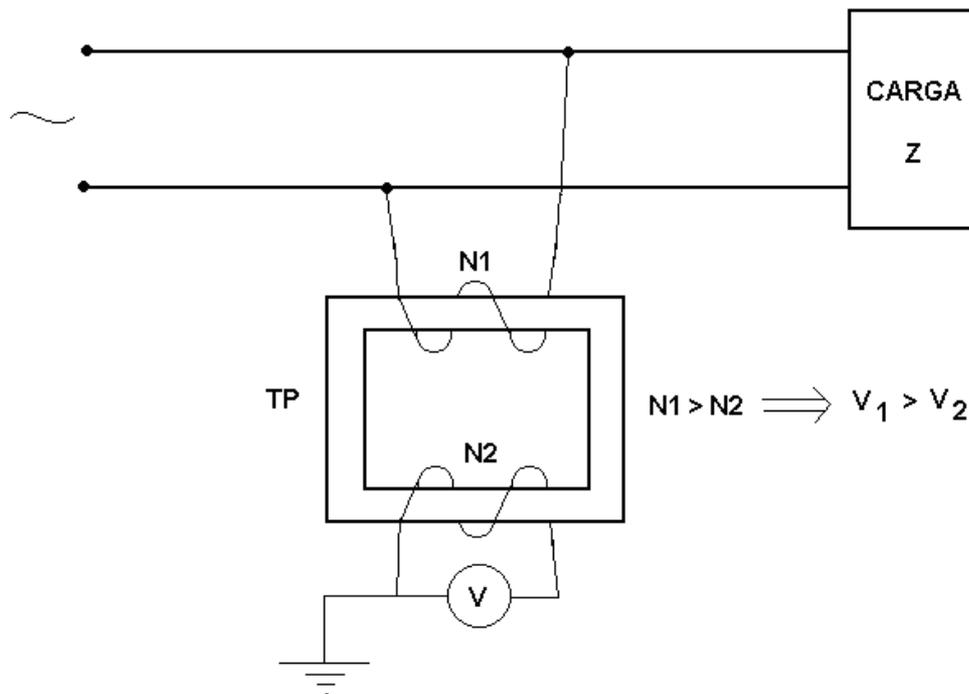
São constituídos de fibra de vidro impregnada com resina sintética. Entre as vantagens ressalta-se o peso reduzido e resistência ao impacto. Disponível como isolador de apoio e de suspensão. Pesam cerca de 20% do peso de uma cadeia equivalente em isoladores de vidro.

CAPÍTULO X

10 - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP)

10.1 - INTRODUÇÃO

Equipamento utilizado para reduzir a tensão do circuito a níveis compatíveis com a máxima suportável pelos aparelhos de medição.



Os TP's são construídos para serem ligados entre fases ou entre fase e neutro de um sistema. Devem suportar uma sobretensão de até 10% em regime permanente, sem que nenhum dano lhes ocorra.

São próprios para alimentarem instrumentos de alta impedância (voltímetro, bobinas de potencial de medidores de energia etc).

10.2 - CARACTERÍSTICAS DE UM TP

10.2.1 - Tensão primária nominal

Depende da tensão do sistema ao qual está ligado.

10.2.2 - Tensão secundária nominal

Padronizada por norma em 115 V.

10.2.3 - Classe de exatidão

Valor máximo do erro (percentual) que o TP introduz na indicação do medidor em condições especificadas.

CLASSE DE EXATIDÃO	APLICAÇÃO
Melhor do que 0,3	<ul style="list-style-type: none"> • TP padrão • Medições em laboratório • Medições especiais
0,3	<ul style="list-style-type: none"> • Medição de energia elétrica para faturamento a consumidor
0,6 ou 1,2	<ul style="list-style-type: none"> • Medição de energia elétrica sem finalidade de faturamento • Alimentação de relés • Alimentação de instrumentos de controle: <ul style="list-style-type: none"> - Voltímetro - Wattímetro - Varímetro - Fasímetro - Frequencímetro etc

10.2.4 - Carga nominal

É a carga admitida no secundário do TP sem que o erro percentual ultrapasse os valores estipulados para sua classe de exatidão.

P12,5 – P25 – P75 – P200 – P400

10.2.5 - Potência térmica

Maior potência aparente que o TP pode fornecer em regime contínuo sem que sejam excedidos os limites de temperatura especificados.

10.2.6 - Nível de isolamento

Tensão máxima suportável pela isolação dentro dos limites especificados.

10.3 - EXEMPLO (TP PARA MEDIÇÃO)

Especificar um TP para medição de energia elétrica para faturamento a um consumidor energizado em 69 kV, no qual serão utilizados os seguintes instrumentos:

- Medidor de kWh com indicador de demanda máxima;
- Medidor de kVARh sem indicador de demanda máxima.

SOLUÇÃO:

a) Classe de exatidão: 0,3

b) Potência do TP: **Quadro de perdas dos instrumentos em 115 V, 60 Hz:**

INSTRUMENTOS	WATT	VAR
Medidor de kWh (bobina de potencial)	1,2	7,8
Motor do conjunto de demanda máxima	2,8	7,5
Medidor de kVARh (bobina de potencial)	2,0	7,5
TOTAL	6,0	19,3

$$S = \sqrt{(6,0)^2 + (19,3)^2} = 20,21VA$$

Escolhe-se carga nominal P25.

c) Logo a especificação será:

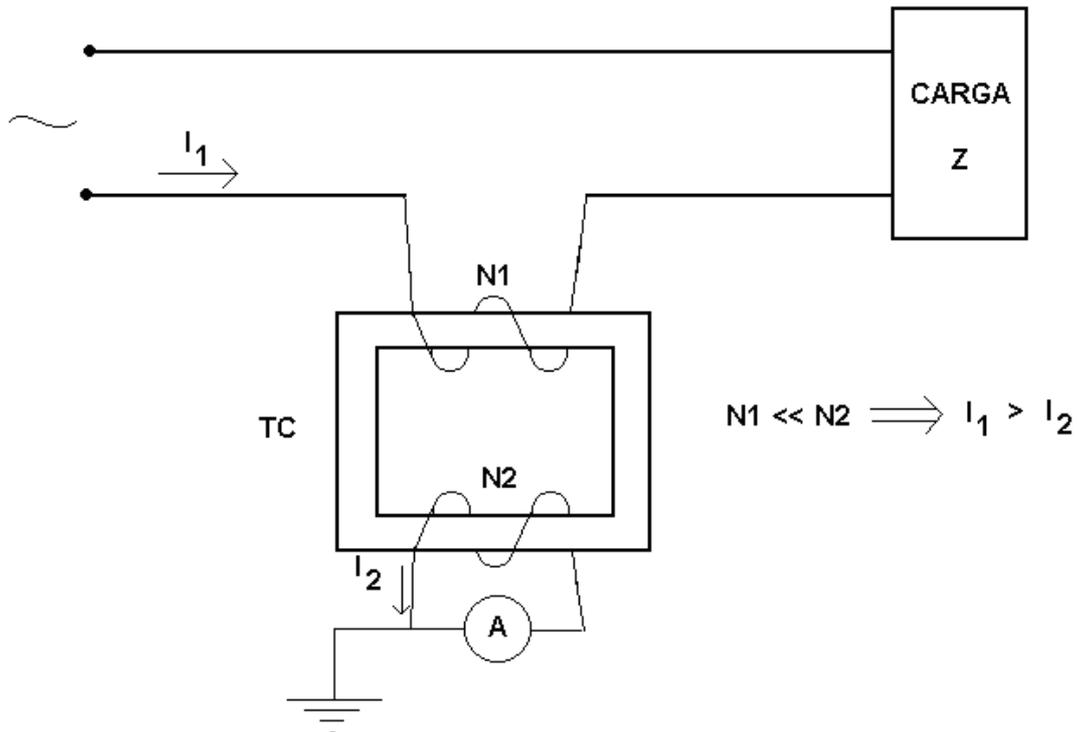
TP com tensão primária nominal 69 kV, relação nominal 600:1, 60 Hz, carga nominal ABNT P25, classe de exatidão ABNT 0,3 – P25, potência térmica 1.000 VA, uso exterior (ou interior), nível de isolamento: tensão máxima de operação: 72,5 kV, tensão suportável nominal à frequência industrial: 140 kV e tensão suportável nominal de impulso atmosférico: 350 kV.

CAPÍTULO XI

11 - TRANSFORMADOR DE CORRENTE (TC)

11.1 - INTRODUÇÃO

Equipamento utilizado para reduzir a corrente que circula no seu primário a um valor no secundário compatível com os instrumentos de medição.



Os TC's devem alimentar instrumentos de baixa impedância (amperímetros, bobinas de corrente de Wattímetros, bobinas de corrente de medidores de energia elétrica, relés de corrente etc).

11.2 - O SECUNDÁRIO DO TC NUNCA DEVE FICAR ABERTO

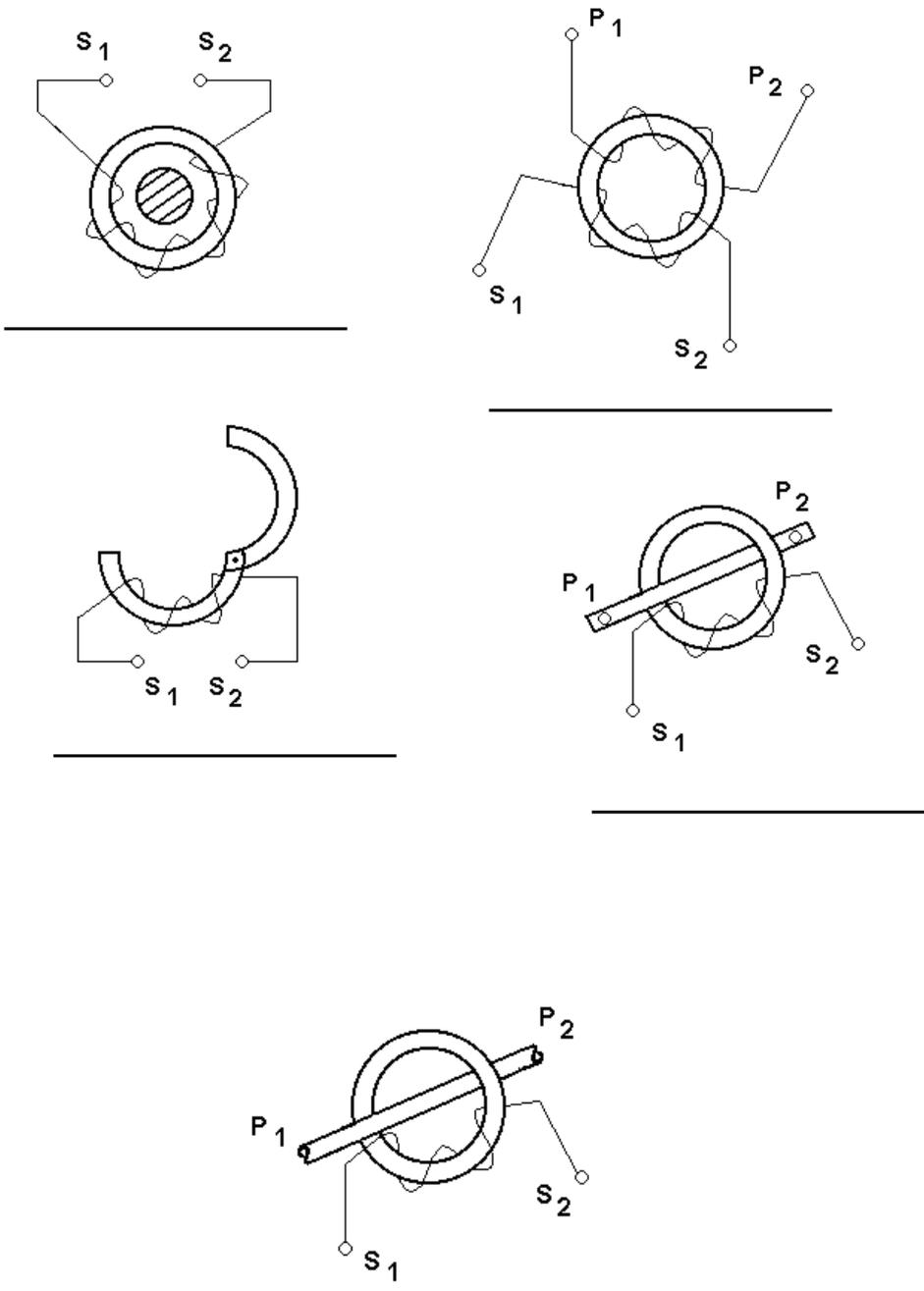
A corrente I_1 é fixada pela carga ligada ao circuito externo, com o qual o TC está em série. I_2 é consequência de I_1 , independentemente do instrumento que estiver no secundário. Se $I_2 = 0$ (secundário aberto), não haverá efeito desmagnetizante dessa corrente, e a corrente de excitação I_0 passará a ser a própria corrente I_1 , daí originando um fluxo ϕ muito elevado no núcleo.

CONSEQUÊNCIAS:

- Aquecimento excessivo causando a destruição do isolamento, podendo provocar contato do circuito primário com o secundário e a terra;
- F.E.M. induzida E_2 elevada, com iminente perigo para o operador;
- Ao fluxo elevado corresponderá uma magnetização forte no núcleo que alterará suas características de funcionamento e precisão.

11.3 - TIPOS DE TC's

- a) **TC tipo enrolado:** O primário é constituído de uma ou mais espiras, envolvendo o núcleo.
- b) **TC tipo barra:** O primário é formado por uma barra, montada permanentemente através do núcleo do transformador.
- c) **TC tipo janela:** TC sem primário próprio, construído com uma abertura através do núcleo, por onde passa o condutor do circuito primário.
- d) **TC tipo bucha:** Variação do tipo janela, projetado para ser instalado sobre uma bucha de um equipamento elétrico, fazendo parte integrante deste.
- e) **TC de núcleo dividido:** Variação do tipo janela, em que o núcleo pode ser separado para permitir envolver o condutor que funciona como enrolamento primário. Ex.: amperímetro tipo alicate.



11.4 - CARACTERÍSTICAS DE UM TC

- a) **Corrente secundária nominal:** Normalmente é de 5 A.
- b) **Corrente primária nominal:** Valor nominal de I_1 suportável pelo TC.
- c) **Classe de exatidão:** Valor percentual máximo do erro que poderá ser introduzido pelo TC na indicação de um instrumento. Pode ter os valores 0,3; 0,6 e 1,2.
- d) **Carga nominal:** Carga na qual se baseiam os requisitos de exatidão do TC.
- e) **Fator térmico:** Fator pelo qual se deve multiplicar a corrente primária nominal para se obter a corrente primária máxima que um TC é capaz de conduzir em regime permanente, sob frequência nominal, sem exceder os limites de elevação de temperatura especificados e sem sair de sua classe de exatidão. Valores:

1,0 – 1,2 – 1,3 – 1,5 – 2,0

- f) **Corrente térmica nominal:** Maior corrente primária que um TC é capaz de suportar durante 1 segundo, com o enrolamento secundário curto-circuitado, sem exceder, em qualquer enrolamento, uma temperatura máxima especificada.
- g) **Nível de isolamento:** Tensão máxima suportável pela isolação dentro dos limites especificados.

11.5 - EXEMPLO (TC DE MEDIÇÃO)

Especificar um TC para medição de energia elétrica e controle, sem finalidade de faturamento, sabendo-se que a tensão entre fases é de 13,8 kV e a corrente de linha máxima é de 80 A. Os instrumentos ficarão ligados a 25 m do TC através de fio de seção nominal igual a 2,5 mm². Os instrumentos são:

- Medidor de kWh com indicador de demanda máxima
- Medidor de kVARh
- Wattímetro
- Varímetro
- Amperímetro
- Fasímetro

SOLUÇÃO:

- a) Classe de exatidão: 0,6 ou 1,2
- b) Carga nominal do TC: **Quadro de perdas dos instrumentos em 5 A, 60 Hz:**

INSTRUMENTOS	WATT	VAR
Medidor de kWh (bobina de corrente)	1,4	0,8
Medidor de kVARh (bobina de corrente)	1,4	0,8
Wattímetro	0,7	2,0
Varímetro	0,7	2,0
Amperímetro	1,5	0,7
Fasímetro	2,5	2,0

SUBTOTAL	8,2	8,3
Perdas com 5 A nos 50 m de condutor 2,5 mm ² (5,3 Ω / km)	6,6	0
TOTAL	14,8	8,3

$$S = \sqrt{(14,8)^2 + (8,3)^2} = 16,971VA$$

Escolhe-se carga nominal 25 VA

c) A especificação será:

Tc para medição, corrente primária nominal de 100 A., relação nominal 20:1, 60 Hz, carga nominal ABNT C25, classe de exatidão ABNT 0,6 – C25, fator térmico 1,5, uso exterior (ou interior), nível de isolamento: tensão nominal de operação: 13,8 kV, tensão máxima de operação: 15 kV, tensão suportável nominal à frequência industrial: 36 kV e tensão suportável nominal de impulso atmosférico: 110 kV.

CAPÍTULO XII

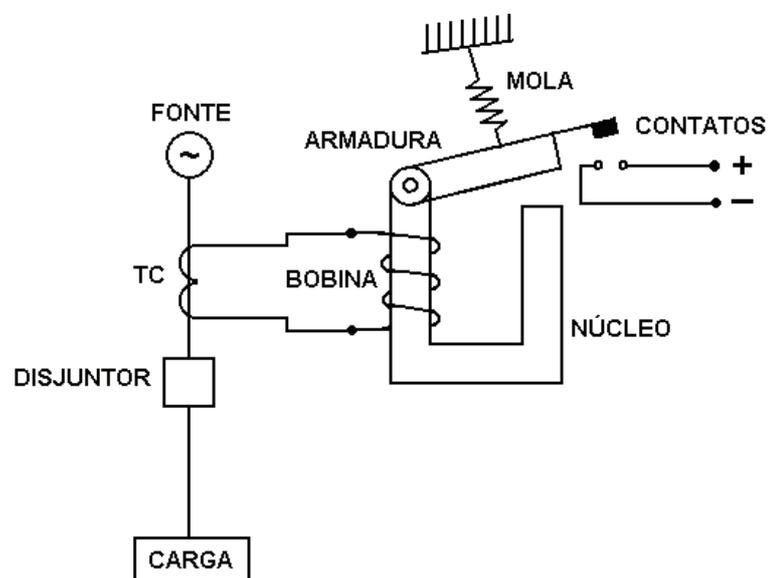
12 - RELÉS

12.1 - INTRODUÇÃO

Um relé é um dispositivo através do qual os contatos de um circuito são operados pela mudança nas condições do mesmo circuito ou em um ou mais circuitos associados.

Os relés devem visualizar o aparecimento de uma falta ou distúrbio nas condições normais de operação em qualquer trecho do sistema elétrico e atuar automaticamente na abertura dos equipamentos ou em dispositivos de alarme.

A figura a seguir apresenta um relé elementar:



12.2 - ELEMENTOS BÁSICOS DE UM RELÉ

- ELEMENTO SENSOR**: Responde às variações da grandeza atuante.
- ELEMENTO COMPARADOR**: Compara a ação da grandeza atuante no relé com o valor pré-ajustado.
- ELEMENTO DE CONTROLE**: Efetua uma mudança brusca na grandeza controlada.

12.3 - CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

Os relés tem seu tipo de atuação baseado nas seguintes grandezas físicas:

- Elétricas
- Mecânicas
- Térmicas
- Ópticas etc

OS RELÉS QUE ATUAM EM FUNÇÃO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS SÃO CLASSIFICADOS COMO SEGUE:

a) **QUANTO AO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO**

- Eletromagnético
- Bobina móvel
- Indução
- Eletrodinâmico
- Polarizados
- Eletrônicos
- Fluidodinâmicos
- Térmicos

b) **QUANTO A NATUREZA DA GRANDEZA ELÉTRICA À QUAL SÃO SENSÍVEIS**

- Corrente
- Tensão
- Potência
- Reatância
- Impedância
- Frequência etc

Os relés em função das grandezas acima, se classificam como:

- Relés de sobre . . .
- Relés de sub . . .
- Relés direcionais etc.

c) **QUANTO A FORMA DE LIGAÇÃO DO ELEMENTO SENSOR**

- Relés primários
- Relés secundários

d) **QUANTO A FORMA DE ATUAÇÃO DO ELEMENTO DE CONTROLE**

- Relés de ação direta
- Relés de ação indireta

e) **QUANTO AO GRAU DE IMPORTÂNCIA**

- Relés principais: respondem diretamente em função das grandezas elétricas atuantes (corrente, tensão etc)
- Relés suplementares: servem para multiplicar o número de contatos, criar retardos, sinalizar a operação dos equipamentos de proteção (relés auxiliares, relés de tempo, relés de sinalização etc)

f) **QUANTO AO TEMPO DE AÇÃO**

- Relés sem retardo (instantâneos)
- Relés com retardo (temporizados), dividindo-se em :

- relés temporizados com retardo dependente
- relés temporizados com retardo independente

g) **QUANTO AO TIPO DOS CONTATOS**

- Relés com contatos normalmente abertos (N.A.)
- Relés com contatos normalmente fechados (N.F.)

12.4 - **RELÉS MAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS ELÉTRICOS**

A seguir estão listados os relés mais utilizados em sistemas elétricos, juntamente com as suas nomenclaturas definidas pela **ASA** (American Standard Association):

- Relé de sobrecorrente (instantâneo - 50 , temporizado - 51)
- Relé diferencial (87)
- Relé direcional de sobrecorrente (67)
- Relé de distância (21)
- Relé de sobretensão (59)
- Relé de subtensão (27)
- Relé de sequência de fase para tensão (47)
- Relé de réplica térmica para máquinas (temperatura dos enrolamentos) (49)
- Relé de pressão de líquido ou de gás (63)
- Relé de religamento CA (79)
- Relé de bloqueio (86)
- Aparelho térmico (detector de temperatura do óleo) (26)

12.5 - **RELÉS DE SOBRECORRENTE (50 - 51)**

Os relés de sobrecorrente são projetados para responder a um aumento de corrente no circuito protegido. São os relés mais utilizados, já que os curto-circuitos são as principais faltas em circuitos elétricos.

Os relés de sobrecorrente podem ser empregados para acionamento direto ou indireto do disjuntor.

12.5.1 - **RELÉS DE SOBRECORRENTE DE AÇÃO DIRETA**

Existem dois tipos mais empregados, os relés fluidodinâmicos e os relés eletromagnéticos, existindo também os estáticos (eletrônicos).

a) **RELÉS FLUIDODINÂMICOS**

Utilizam um líquido, normalmente o óleo de vaselina, como elemento temporizador. São construídos para ligação direta com a rede e montados nos pólos de alimentação do disjuntor de proteção.

São os relés mais utilizados em pequenas e até médias instalações industriais. São empregados, em geral, na proteção de subestações de até 1.000 kVA.

b) **RELÉS ELETROMAGNÉTICOS**

São constituídos basicamente de uma bobina envolvendo o núcleo magnético. Sua bobina é ligada diretamente ao circuito primário, em série com este.

c) RELÉS ESTÁTICOS (ELETRÔNICOS)

São dispositivos fabricados com componentes estáticos. Dispensam alimentação auxiliar, podendo ser aplicados em subestações industriais e comerciais de pequeno e médio portes, em tensão inferior a 38 kV.

12.5.2 - RELÉS DE SOBRECORRENTE DE AÇÃO INDIRETA

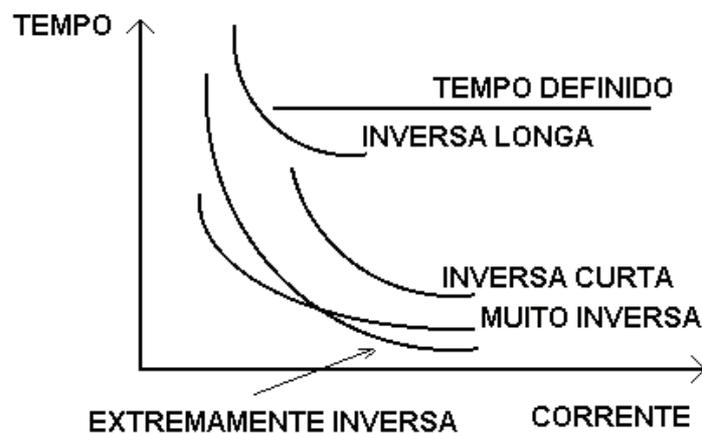
São fabricados em unidades monofásicas e alimentados por transformadores de corrente ligados ao circuito a ser protegido. São utilizados na proteção de subestações industriais de médio e grande portes, na proteção de motores e geradores de potência elevada, banco de capacitores e principalmente na proteção de subestações das concessionárias de energia elétrica.

Quanto à construção podem ser classificados em: de indução, estáticos e microprocessados.

a) RELÉS DE SOBRECORRENTE DE INDUÇÃO

Seu princípio de funcionamento é baseado na construção de dois magnetos, um superior e outro inferior, entre os quais está fixado um disco de indução. Operam com elevada precisão, são extremamente sensíveis, não necessitam de manutenção frequente e sua manutenção pode ser realizada sem a necessidade de desligar o disjuntor do circuito a proteger.

Uma das características mais importantes dos relés de indução são as curvas de temporização. São várias as curvas e os tempos estabelecidos para cada unidade de relé, conforme a figura abaixo:



b) RELÉS DE SOBRECORRENTE ESTÁTICOS (ELETRÔNICOS)

Como características principais desses relés podemos citar: facilidade de instalação, praticamente nenhuma manutenção e possibilidade de testes mesmo em funcionamento.

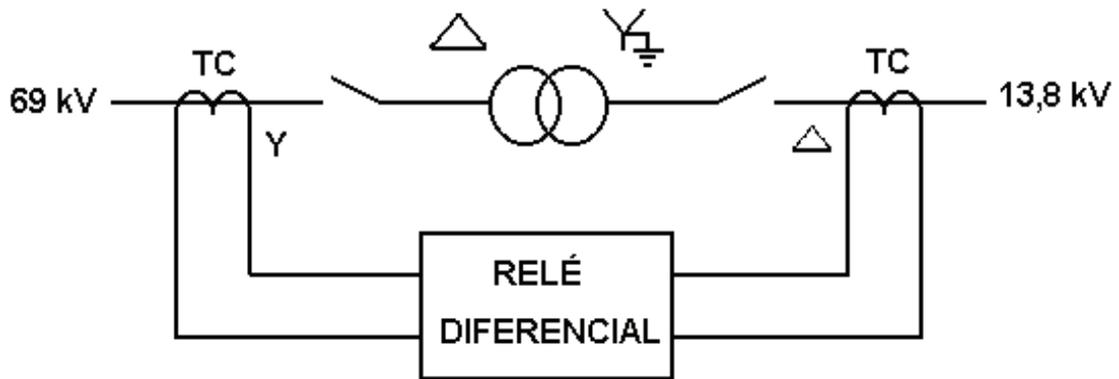
c) RELÉS DE SOBRECORRENTE MICROPROCESSADOS

São relés de última geração, no qual todas as suas funções são microprocessadas.

12.6 - RELÉ DIFERENCIAL DE CORRENTE (87)

São utilizados quando se deseja proteger um transformador contra curto-circuito entre espiras ou defeito entre a parte ativa e a terra. São usados também na proteção de autotransformadores, barramentos de subestação etc.

A proteção diferencial tem seu emprego justificado economicamente na proteção de transformadores com potência superior a 10 MVA, em tensão igual ou superior a 69 kV.



12.7 - RELÉ DE GÁS OU RELÉ BUCHHOLZ (63)

Sua principal função é a proteção de transformadores quando ocorre um defeito entre espiras, entre partes vivas, entre partes vivas e a terra, queima do núcleo, vazamento de óleo no tanque ou no sistema de resfriamento. Somente é aplicado em transformadores de potência equipados com conservadores de óleo.

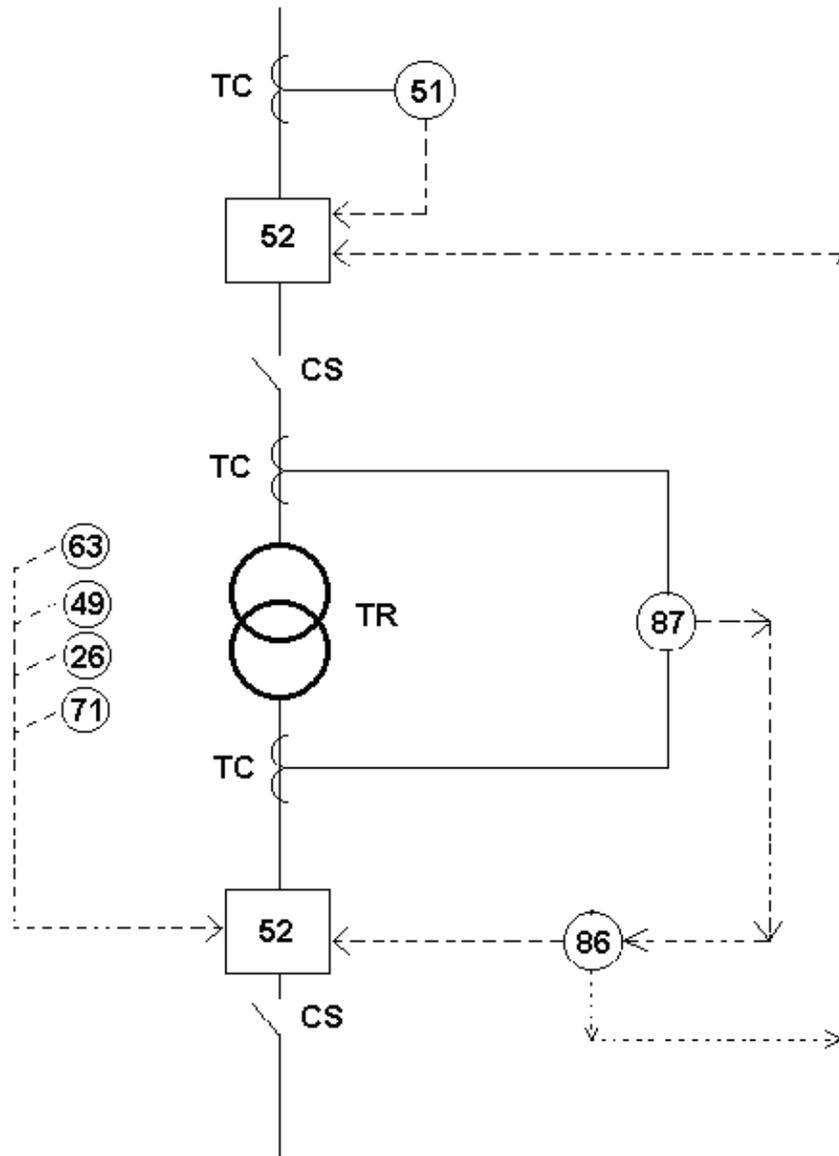
12.8 - RELÉ AUXILIAR DE BLOQUEIO (86)

O relé de bloqueio é utilizado para disparar e bloquear imediatamente um ou mais disjuntores de uma instalação. O relé de bloqueio recebe um impulso de outro relé para em seguida atuar na abertura do disjuntor.

Em geral, numa subestação, os relés que emitem impulso para o relé de bloqueio são os seguintes:

- Relé de sobrecorrente de fase e de neutro (50/51 - 50/51 N)
- Relé diferencial do transformador (87)
- Relé Buchholz (63)
- Relé de sobretemperatura do óleo do transformador (26)
- Relé de sobretemperatura do enrolamento do transformador (49)
- Relé de sobrecorrente de terra (50/51 G)

A seguir apresentamos um diagrama unifilar no qual estão representados os relés acima descritos:



CAPÍTULO XIII

13 - NORMAS TÉCNICAS

13.1 - INTRODUÇÃO

Apresentamos a seguir algumas normas da **ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)** relacionadas às instalações elétricas:

- **NBR 14039 / 1998** - Instalações Elétricas de Alta Tensão de 1 a 36,2 kV
- **NBR IEC 50 (826)** - Vocabulário Eletrotécnico Internacional - Capítulo 826: Instalações Elétricas em Edificações
- **NBR 5282 / 1977** - Capacitores de potência - Especificação
- **NBR 5410 / 1997** - Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Procedimento
- **NBR 5419 / 2001** - Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas - Procedimento
- **NBR 5456** - Eletricidade Geral - Terminologia
- **NBR 5459 / 1987** - Manobra e Proteção de Circuitos - Terminologia
- **NBR 5460 / 1992** - Sistemas Elétricos de Potência - Terminologia
- **NBR 5469 / 1986** - Capacitores - Terminologia
- **NBR 5471 / 1986** - Condutores Elétricos - Terminologia
- **NBR 6509 / 1986** - Instrumentos Elétricos e Eletrônicos de Medição - Terminologia

13.2 - ENTIDADE INTERNACIONAL DA ÁREA DE ELETRICIDADE

- **IEC** (International Electrotechnical Commission)

13.3 - PRINCIPAIS ENTIDADES ESTRANGEIRAS DA ÁREA DE ELETRICIDADE

- **IEEE** (Institute of Electrical and Electronic Engineers)
- **NFPA** (National Fire Protection Association)
 - **NEC** - National Electrical Code
- **ANSI** (American National Standard Institute)
- **ASTM** (American Society for Testing Materials)
- **BS** (British Standards Institution)

- **CSA** (Canadian Standards Association)
- **DIN** (Deutsches Institut für Normung)
- **IEE** (Institution of Electrical Engineers)
- **ISO** (International Standard Organization)
- **NEMA** (National Electrical Manufacturers Association)
- **VDE** (Verband Deutscher Elektrotechniker)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSSI, Antônio & SESTO, Ezio . **Instalações Elétricas** . Hemus Editora
- CAMINHA, A. C. **Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos** . Edgar Blucher
- FYODOROV, A. **Industrial Power Supply** . Higher School Publishing
- GIGUER, Sérgio . **Proteção de Sistemas de Distribuição** . Sagra
- KNOWLTON, Archer E. et alli. **Standard Handbook for Electrical Engineers** . McGraw-Hill / Kogakusha
- MAMEDE FILHO, João . **Instalações Elétricas Industriais** . LTC
- MAMEDE FILHO, João . **Manual de Equipamentos Elétricos**. 2 v . LTC
- MEDEIROS FILHO, Solon de . **Medição de Energia Elétrica**. Guanabara
- SEIP, Gunter G . **Instalações Elétricas** . Nobel / Siemens
- TITARENKO, M. & NOSKOV-DUKELSKY, I. **Protective Relaying in Electric Power Systems** . Foreign Languages Publishing House
- Normas da **Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**
- Apostilas do Prof. Augusto César Fialho Wanderley, nas disciplinas **Instalações Elétricas Industriais** e **Sistemas Elétricos de Potência** do CEFET/RN
- Manuais e catálogos de materiais e equipamentos elétricos de diversos fabricantes