

IT 308 D – TOPICOS EM TECNICAS DE ALTA TENSÃO II.

PARTE 1

Pissolato Março 2020

INTRODUÇÃO

Introdução a técnicas de ensaios em Alta Tensão;

Noções de estatística aplicada aos ensaios elétricos de Alta Tensão;

Sobretensões, classificação dos isolamentos, efeitos das sobretensões sobre os isolamentos e princípios básicos de coordenação do isolamento aplicados aos equipamentos elétricos;

Definições gerais;

Fatores de correção atmosféricos utilizados em ensaios de Alta Tensão;

INTRODUÇÃO

Ensaio de tensões suportáveis e disruptivas em frequência industrial (teoria e prática);

Ensaio de tensões e de corrente de impulso (teoria e prática);

Noções dos requerimentos para sistemas de medição

INTRODUÇÃO – TÉCNICAS DE ENSAIOS EM ALTA TENSÃO

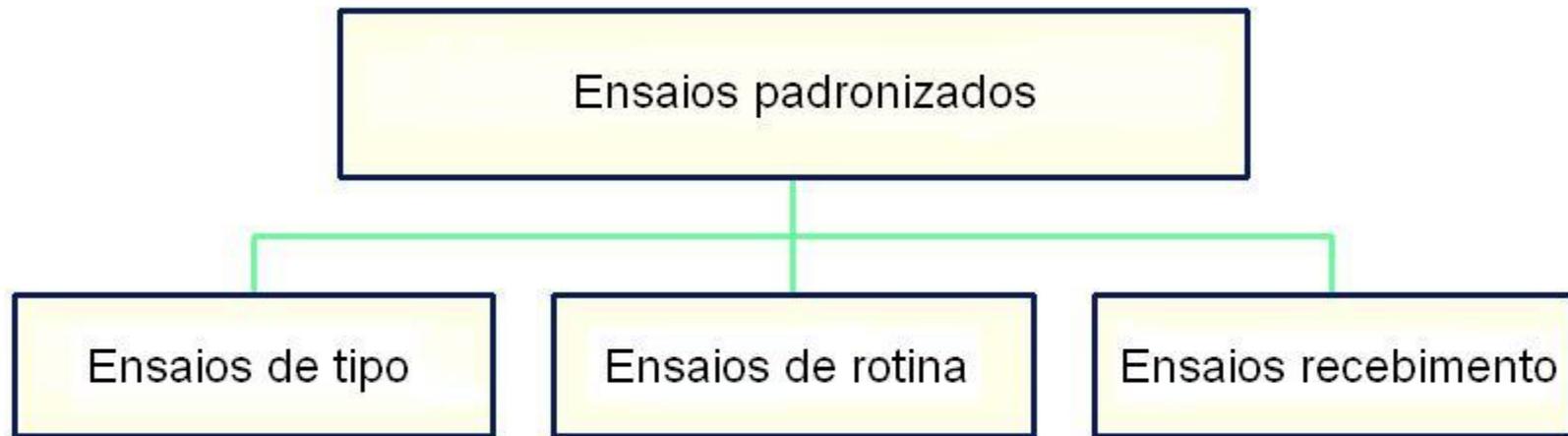
Por quê realizar ensaios dielétricos?



Por quê realizar ensaios dielétricos?

- A confiabilidade dos equipamentos elétricos está diretamente relacionada com a qualidade da isolação desses equipamentos;
- Ensaios elétricos de Alta Tensão: para verificar a capacidade da isolação dos componentes / equipamentos em atender aos requerimentos de projeto;
- Ensaios destrutivos & não destrutivos;
- Para medir a suportabilidade dielétrica da isolação do equipamento / seus componentes;
- Para assegurar que a qualidade da isolação seja adequada para as condições de serviço requeridas.

Classificação dos ensaios



Principais normas aplicáveis a técnicas de ensaios em Alta Tensão

[NBR 6936: Técnicas de ensaios elétricos de alta-tensão](#) (NBR 6937/6938)

IEC 60060: High Voltage test techniques – Parts 1, 2, 3

ANSI IEEE Std. 4: Techniques for High voltage testing (1995 / 2001)

Normas e ET's específicas dos equipamentos elétricos

Classificação dos ensaios

Ensaio de tipo:

Conjunto de ensaios realizados em corpos-de-prova, específicos para cada ensaio, montados com componentes normais de fabricação, que tem por objetivo verificar as características de projeto dos equipamentos e a conformidade desses com as normas técnicas aplicadas.

Salvo acordo entre fabricante e o comprador, enquanto não houver alteração no projeto, nos materiais ou no processo de fabricação, estes ensaios não precisam ser repetidos.

Classificação dos ensaios

Ensaio de rotina:

Consiste em um conjunto de ensaios realizados em cada equipamento produzido ou em seus componentes, com o objetivo de verificar as características mínimas de qualidade e uniformidade de produção em conformidade com o projeto.

Classificação dos ensaios

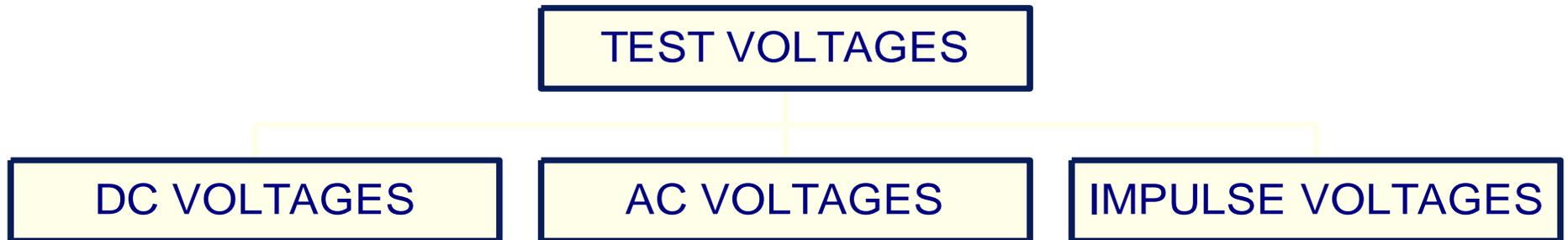
Ensaio de recebimento:

Consiste em um conjunto de ensaios realizados nos equipamentos ou em seus componentes, na presença do comprador ou seu representante, com o objetivo de verificar a conformidade dos resultados obtidos com os valores garantidos pelo fabricante.

Procedimentos associados a realização de ensaios elétricos

- Definição da amostra / amostragem;
- Preparação das amostras para ensaio;
- Especificação das condições nas quais os ensaios deverão ser realizados e procedimentos de correção;
- Programação detalhada para execução dos ensaios;
- Coleta de dados;
- Resultados e avaliação dos ensaios;
- Elaboração dos relatórios de ensaios.

Classificação das tensões de ensaio



Ensaio de Alta Tensão

- # Tensões suportáveis e disruptivas de frequência industrial de curta duração a seco e sob chuva;
- # Tensão suportável induzida;
- # Tensões suportáveis de impulso atmosférico com ondas plenas e cortadas;
- # Medição da capacitância e $\text{Tan}\delta$.
- # Ensaio de elevação de temperatura;
- # Ensaio eletromecânicos;
- # Ensaio eletroquímicos;
- # Ensaio mecânicos;
- # Ensaio de ruptura e trilhamento;
- # Ensaio de porosidade;
- # Ensaio de poluição;
- # Ensaio de Corona & RIV.

ENSAIOS ELÉTRICOS EM ALTA TENSÃO

Introdução a técnicas de ensaios em Alta Tensão;

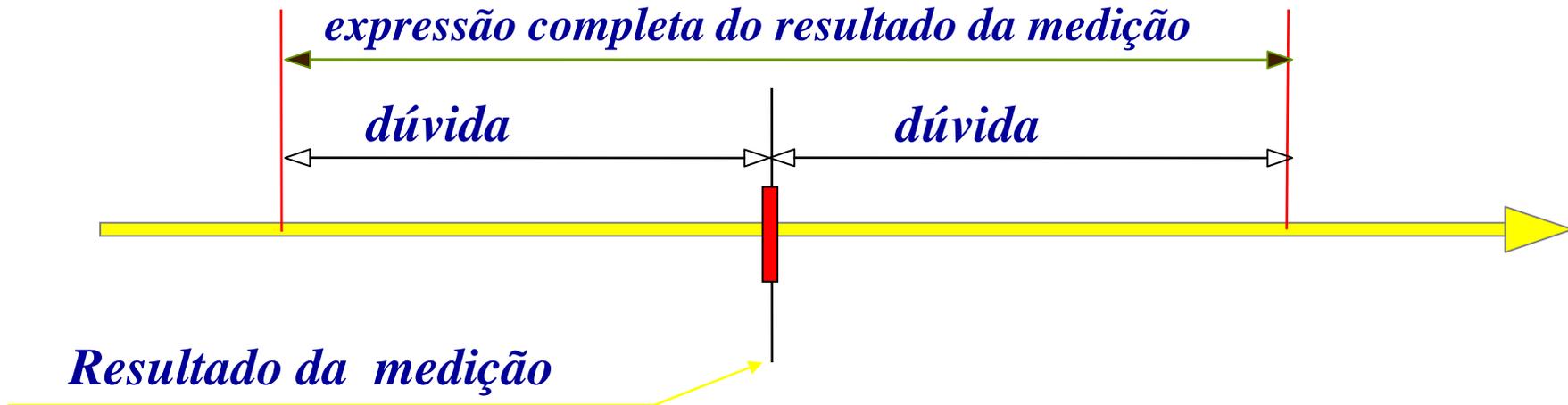
Noções de estatística aplicada aos ensaios elétricos de Alta Tensão;

Incerteza de medição

“Todas as medidas são afetadas por um certo grau de inexatidão.

“ Não existe um sistema de medição perfeito, por melhor que seja, sempre o resultado estará afetado por uma incerteza” .

Incerteza de medição



“O resultado de uma medição nunca é um ponto e sim um intervalo”

Incerteza de medição

Ao realizarmos uma de medição qualquer ou uma série de medições com n experimentos, estaremos sujeitos aos diferentes tipos de erros existentes, afetando a incerteza da medição: erros grosseiros ou enganos; erros sistemáticos ou constantes; e erros aleatórios.

Entende-se por erro de uma medida a diferença entre o valor verdadeiro da grandeza que se deseja medir e o valor obtido na medição.

Erro é um conceito idealizado, o que significa que não pode ser conhecido exatamente.

Erros sistemáticos

- São erros que decorrem das deficiências do instrumento e/ou equipamento de medida utilizado e da própria apreciação do operador;
- São inerentes ao método escolhido, ao processo de medida ou ao próprio instrumento;
- O erro ocorre geralmente no mesmo sentido, não podendo ser evitado pela repetição das medidas através do mesmo método, do mesmo instrumento de medição ou do mesmo operador.

Precisão e exatidão

➤ Exatidão:

“Característica de um instrumento de medição que exprime o afastamento entre a medida nele efetuada e o valor de referência aceito como verdadeiro.

O valor da exatidão de um instrumento de medição ou de um acessório é definido pelos limites do erro intrínseco e pelos limites na variação da indicação.

A exatidão de um instrumento é considerada em relação a um padrão, e a verificação de uma maior ou menor exatidão de um instrumento em relação a outro pode ser constatada através dos erros sistemáticos.

Precisão e exatidão

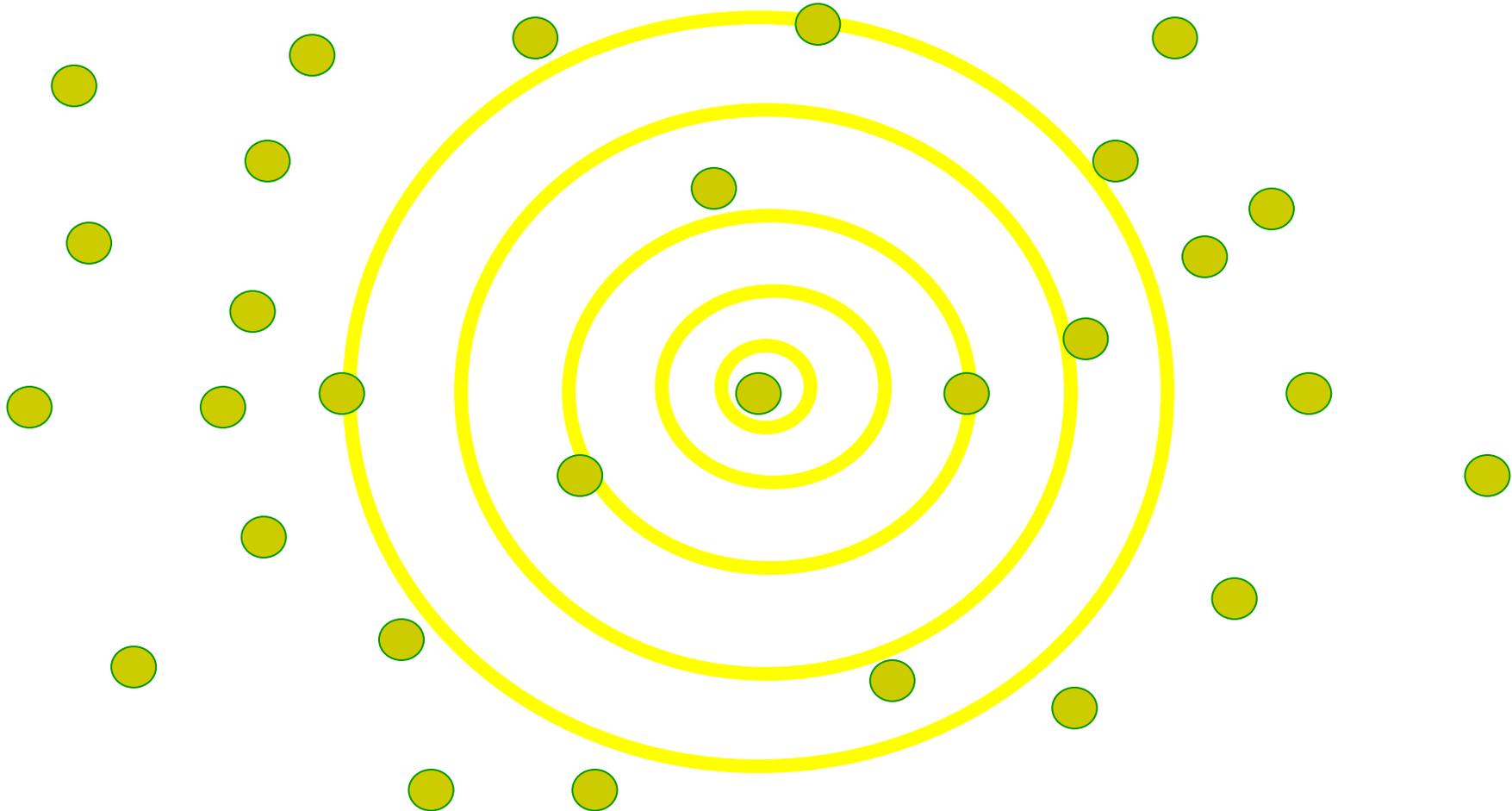
➤ **Precisão:**

“Característica de um instrumento de medição, determinada através de um processo estatístico de medições, que exprime o afastamento mútuo entre as diversas medidas obtidas de uma grandeza dada, em relação a média aritmética dessas medidas.

Um instrumento preciso não é necessariamente exato. A precisão é um pré-requisito da exatidão. No entanto, a precisão não garante a exatidão. As medidas efetuadas poderão ser tão mais precisas quanto mais exato for o instrumento utilizado.

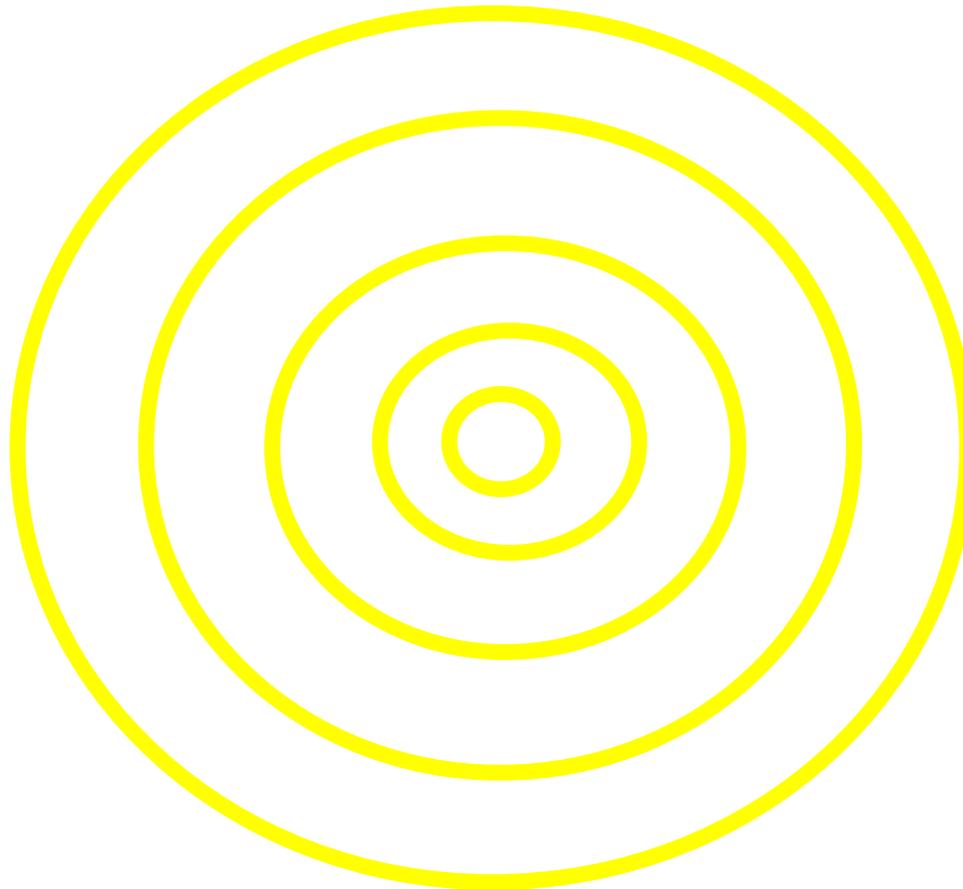
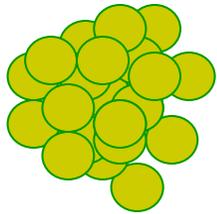
Precisão e exatidão

Pouco preciso e pouco exato



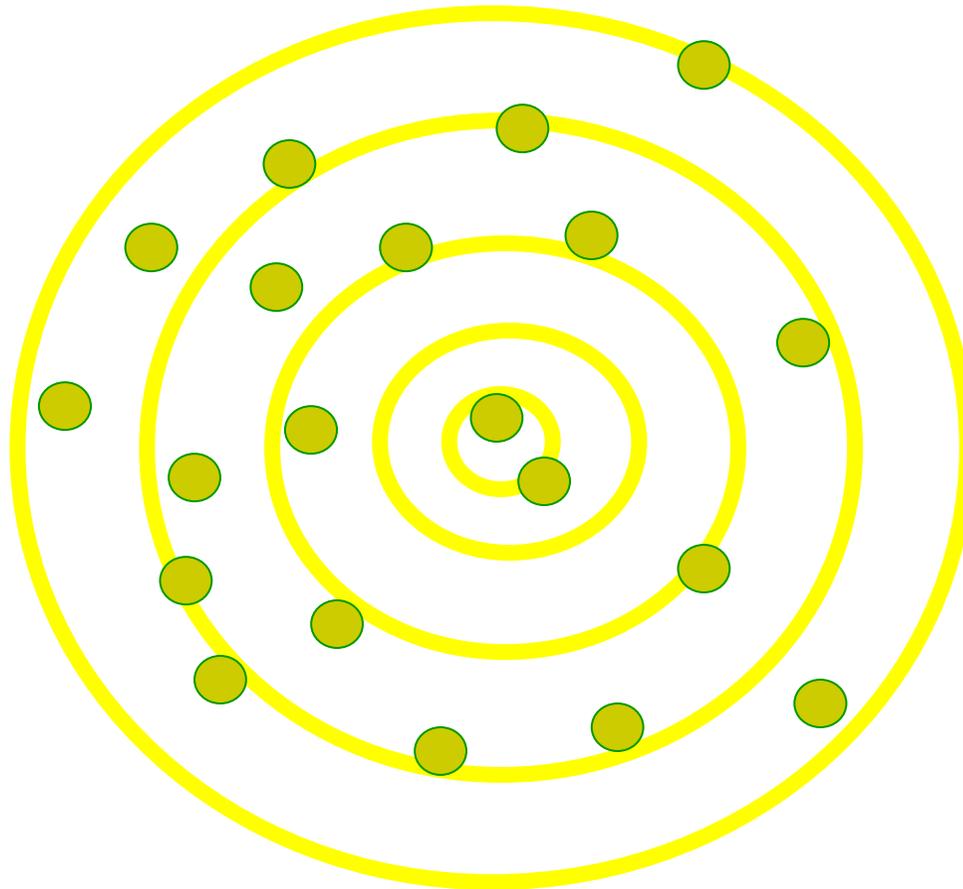
Precisão e exatidão

Muito preciso mas não exato



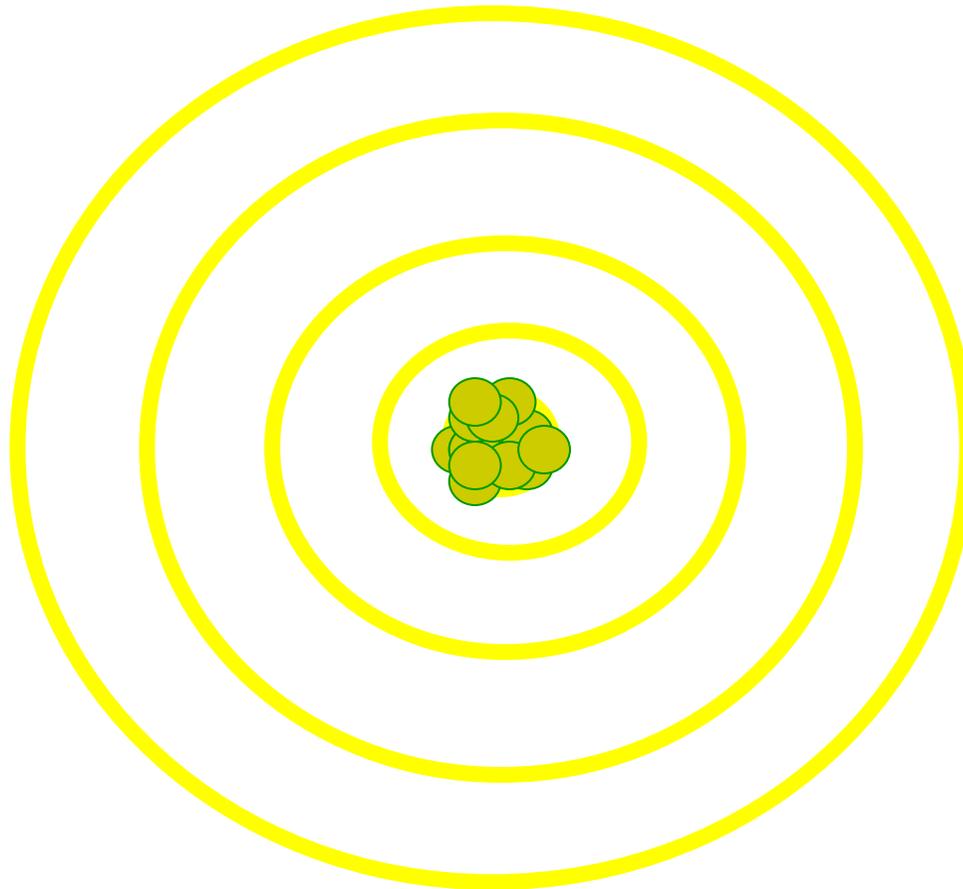
Precisão e exatidão

Exato mas pouco preciso



Precisão e exatidão

Muito exato e muito preciso



Erros aleatórios

- São erros que decorrem de causas indeterminadas e afetam as medidas de forma imprevisível, ocorrendo independente do observador, do instrumento ou do método utilizado. A divergência entre esses resultados deve-se a existência de um fator incontrolável;
- Podem ter diversas causas, geralmente ele tem uma incidência desordenada, influenciando os resultados ora num sentido ora noutro.

Erros aleatórios

- Este tipo de erro é inevitável, podem no entanto ser detectado a partir do aumento do número de experiências efetuadas, ou seja, diminuindo a probabilidade de ocorrência de um “mesmo acidente”.
- São normalmente tratados por distribuição de frequência.

Incerteza de medição

Desta forma, ao repetirmos a medição de uma dada grandeza n vezes poderemos obter resultados diferentes entre as n medidas, mesmo considerando medidas de igual confiança, ou seja, àquelas obtidas por operadores equivalentes utilizando os mesmos instrumentos e métodos de medição.

É possível, no entanto, admitir que o valor exato existe e embora ele não seja conhecido, podemos estimar os limites do intervalo em que ele se encontra.

O cálculo de incerteza associado a medição permite avaliar o grau de confiança nos resultados obtidos.

Incerteza de medição

“A incerteza de medição é uma indicação quantitativa da qualidade do resultado”

O modelo matemático do cálculo de incerteza de medição é construído através de **cálculo de probabilidade e estatística.**

Análise estatística aplicada para a avaliação de ensaios dielétricos

As tensões de descarga nos arranjos experimentais mostram desvios estatísticos que são causados por influências aleatórias, como por exemplo:

a tensão de ruptura de um gás com o crescimento da amplitude, a qual depende inicialmente da distribuição espacial aleatória dos elétrons;

o processo de ruptura dos sólidos é causado pela existência de falhas na estrutura ou de cavidades, distribuídas aleatoriamente no volume do isolante.

Análise estatística aplicada para a avaliação de ensaios dielétricos

O comportamento de suportabilidade de uma isolação frente às sobretensões apresenta, em geral, uma natureza aleatória. Uma isolação submetida a uma solicitação dielétrica devido a uma sobretensão, poderá apresentar descarga. Portanto, é possível associar o comportamento do material isolante à probabilidade de falha da isolação.

Ao se considerar sobretensões de mesma forma de onda, porém com diferentes amplitudes, é possível associar para cada amplitude U_i uma probabilidade de falha da isolação $P(U_i)$.

Análise estatística aplicada para a avaliação de um experimento

Valor médio (valor mais provável);

Medidas de dispersão:

Amplitude

Desvio absoluto

Desvio absoluto médio

Desvio relativo

Variância

Desvio-padrão

Coefficiente de correlação

Valor médio

Corresponde ao valor mais provável de um experimento ou de uma medição realizada considerando uma série de n aplicações independentes.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

x_i Valor independente de cada medição;

n Número de medições.

MEDIDAS DE DISPERSÃO

A informação fornecida pelo valor médio necessita em geral ser complementada pelas medidas de dispersão, as quais servem para indicar o quanto os dados medidos se apresentam dispersos em torno da região central (valor esperado). Essas dispersões representam a diferença algébrica entre o valor medido de uma dada grandeza e o seu valor verdadeiro, ou aceito como verdadeiro

Essas medidas caracterizam, portanto, o grau de variação existente no conjunto de valores obtidos. As medidas de dispersão de maior interesse para aplicação em ensaios de alta tensão são: a amplitude; o desvio absoluto; a variância; o desvio-padrão; e o coeficiente de variação.

Análise estatística aplicada para a avaliação de ensaios dielétricos

⇒ Valor médio (valor mais provável);

⇒ Medidas de dispersão:

Amplitude

Desvio absoluto

Desvio absoluto médio

Desvio relativo

Variância

Desvio-padrão

Coefficiente de correlação

Simbologia

	Universo ou População	Amostra Finita
Média	μ	\bar{x}
Desvio Padrão	σ	s
Variâncias	σ^2	s^2

Amplitude

A amplitude é definida pela diferença entre o maior e o menor valor obtidos de uma série de n aplicações, independentes, sendo a sua utilização mais importante para análise das aplicações do controle de qualidade.

$$R = X_{máx} - X_{mín}$$

Desvio absoluto

É definido, para cada medida de uma série de n experimentos, como sendo a diferença entre o resultado obtido na medição e o valor mais provável obtido para a série de n medições.

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

Esse valor nos dá uma idéia do afastamento da medida em relação a média.

Desvio absoluto médio

É definido como sendo a média aritmética dos valores absolutos dos desvios absolutos.

$$d_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

Desvio relativo

É definido como sendo a relação entre o desvio absoluto e o valor mais provável da medida, sendo em geral expresso em porcentagem. O desvio relativo de uma medida consiste em um indicador de precisão da medida, ou seja, quando menor for o desvio relativo obtido maior será a precisão da medida realizada.

$$d_{ri} = \frac{d_i}{x}$$

Variância

A variância de um conjunto de dados é, por definição, a média dos quadrados das diferenças dos valores medidos em relação ao seu valor mais provável, ou seja:

$$V = \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

O termo (n-1) é usado quando se representa uma amostra e não toda a população.

Desvio-padrão

É definido como a raiz quadrada positiva da variância. Esse parâmetro se expressa na mesma unidade da variável, sendo por isso de maior interesse do que a variância nas aplicações práticas.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Coeficiente de variação

É definido como a relação entre o desvio-padrão e a média, sendo freqüentemente expresso em porcentagem e matematicamente pode ser definido por:

$$CV = \frac{\sigma}{x}$$

Exemplo

Considere cinco medidas de tensão disruptiva de igual confiança efetuadas em um equipamento elétrico, sendo obtidos os seguintes valores:

78,5 kV; 79,3 kV; 77,2 kV; 76,5 kV; 79,6 kV

Determinar o valor mais provável da grandeza e as medidas de dispersão consideradas.

Exemplo

Valor médio:

$$\bar{U} = \frac{78,5 + 79,3 + 77,2 + 76,5 + 79,6}{5} = 78,2kV$$

Amplitude:

$$R = U_{m\acute{a}x} - U_{m\acute{i}n} = 79,6 - 76,5 = 3,1kV$$

Exemplo

Desvio absoluto:

$$d_1 = 78,5 - 78,2 = 0,3kV$$

$$d_2 = 79,3 - 78,2 = 1,1kV$$

$$d_3 = 77,2 - 78,2 = -1,0kV$$

$$d_4 = 76,5 - 78,2 = -1,7kV$$

$$d_5 = 79,6 - 78,2 = 1,4kV$$

Desvio absoluto médio:

$$d_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = \frac{0,3 + 1,1 + 1,0 + 1,7 + 1,4}{5} = 1,1kV$$

Exemplo

Desvio relativo:

$$d_{ri} = \frac{d_i}{x}$$

$$d_{r1} = \frac{0,3}{78,2} = 0,0038 = 0,38\%$$

$$d_{r2} = \frac{1,1}{78,2} = 0,014 = 1,40\%$$

$$d_{r3} = \frac{1,0}{78,2} = 0,0128 = 1,28\%$$

$$d_{r4} = \frac{1,7}{78,2} = 0,022 = 2,20\%$$

$$d_{r5} = \frac{1,4}{78,2} = 0,018 = 1,80\%$$

Exemplo

Variância:

$$V = \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$V = \frac{1}{4} \cdot (0,3)^2 + (1,1)^2 + (-1,0)^2 + (1,7)^2 + (1,4)^2 = 1,79$$

Exemplo

Desvio-padrão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(0,3)^2 + (1,1)^2 + (-1,0)^2 + (-1,7)^2 + (1,4)^2}{4}} = 1,34kV$$

Exemplo

Coeficiente de variação:

$$CV = \frac{\sigma}{U} = \frac{1,34}{78,2} = 0,0171 = 1,71\%$$

Parâmetros a serem verificados nos ensaios

O parâmetro a ser medido depende do tipo de ensaio a ser realizado:

- No ensaio de tensão disruptiva a freqüência industrial a variável é o valor máximo da tensão de ensaio aplicado no corpo-de-prova imediatamente antes da disrupção.
- Em ensaios de tensão de impulso, quando se deseja determinar a probabilidade de descarga para uma determinada amplitude de tensão, essa permanece constante para um determinado número de aplicações. Neste caso, a variável é a freqüência relativa de descargas e não a amplitude de tensão.

Sobretensões

SOBRETENSÕES - CONCEITO

Uma sobretensão pode ser definida como qualquer tensão entre fase e terra, ou entre fases, cujo **valor de crista excede o valor de crista deduzido da tensão máxima do equipamento** ($U_m \cdot \sqrt{2} / \sqrt{3}$ ou $U_m \cdot \sqrt{2}$, respectivamente).

Entende-se por tensão máxima de um equipamento, a máxima tensão de linha eficaz que pode ser mantida em condições normais de operação, em qualquer instante.

Classificação das sobretensões

As sobretensões podem ser classificadas de acordo com a forma da sobretensão, sua duração, seu efeito sobre a isolação ou sobre o dispositivo de proteção em:

- Sobretensões temporárias;
- Sobretensões transitórias:
 - Sobretensões de frente lenta
 - Sobretensões de frente rápida
 - Sobretensões de frente muito rápida
- Sobretensões combinadas.

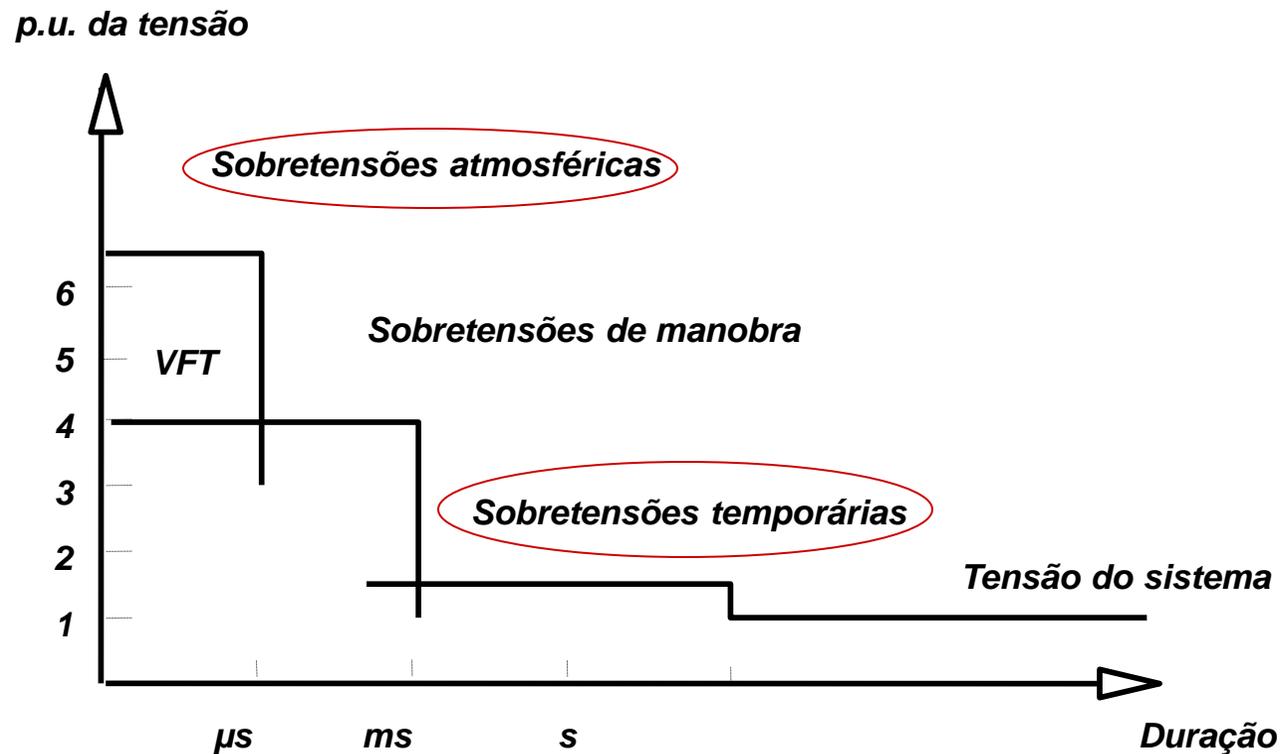
Classificação das sobretensões

As sobretensões podem ser classificadas de acordo com a forma da sobretensão, sua duração, seu efeito sobre a isolação ou sobre o dispositivo de proteção em:

- **Sobretensões temporárias;**
- **Sobretensões transitórias:**
 - Sobretensões de frente lenta**
 - Sobretensões de frente rápida**
 - Sobretensões de frente muito rápida**
- **Sobretensões combinadas.**

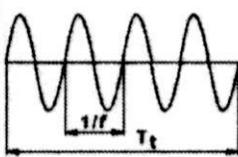
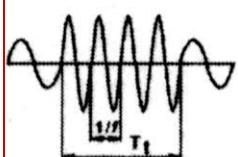
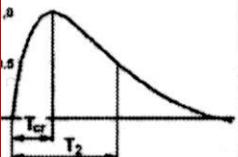
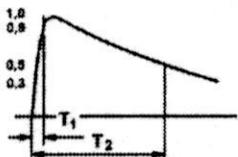
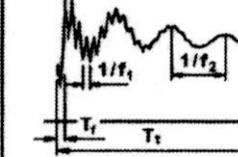
SOBRETENSÕES - CLASSIFICAÇÃO

Representação esquemática dos diferentes tipos de sobretensões em um sistema de transmissão



SOBRETENSÕES - CLASSIFICAÇÃO

Representação das classes e formas de solicitação de tensão

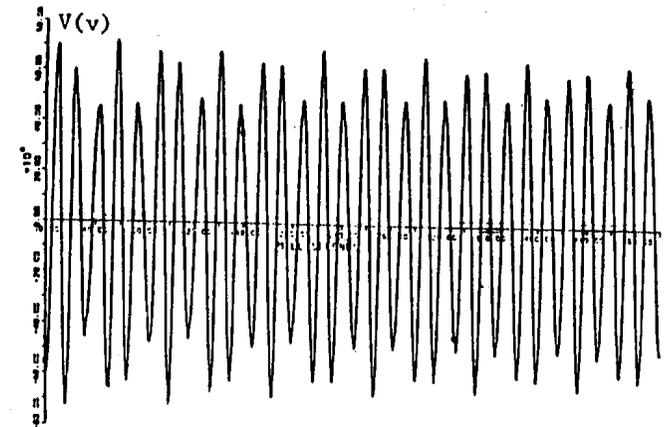
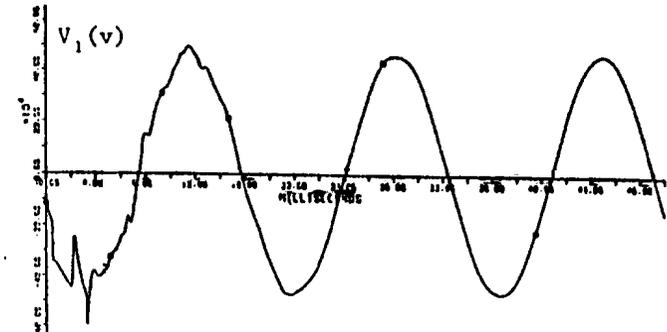
Classe	Baixa frequência		Transitório		
	Contínua	Temporária	Frente lenta	Frente rápida	Frente muito rápida
Forma da tensão					
Faixas de formas de tensão	$f = 50 \text{ Hz ou } 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $3600 \text{ s} \geq T_t \geq 0,03 \text{ s}$	$5000 \mu\text{s} \geq T_{cr} > 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$20 \mu\text{s} \geq T_1 > 0,1 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$100 \text{ ns} \geq T_f > 3 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$ $T_t \leq 3 \text{ ms}$
Forma normalizada da tensão	$f = 50 \text{ Hz ou } 60 \text{ Hz}$ T_t^*	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	$T_{cr} = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2500 \mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	*
Ensaio normalizado de tensão suportável	*	Ensaio de frequência fundamental de curta duração	Ensaio de impulso de manobra	Ensaio de impulso atmosférico	*
*) A ser especificado pela norma do respectivo equipamento.					

SOBRETENSÕES - CLASSIFICAÇÃO

Sobretensões temporárias:

Caracterizada por uma sobretensão de frequência fundamental de duração relativamente longa.

Pode originar-se de faltas, operações de chaveamento (como por exemplo rejeição de carga), condições de ressonância, não linearidades (ferro-ressonâncias) ou por uma combinação dessas.



Sobretensões temporárias

São geralmente causadas por:

- ⇒ **Faltas nos sistemas;**
- ⇒ Perda súbita de carga (rejeição de carga);
- ⇒ Efeito ferranti;
- ⇒ **Ressonância e Ferro-ressonância;**
- ⇒ Sobretensões longitudinais durante sincronização

Em sistemas com tensões máximas de operação até 245 kV, geralmente as faltas que ocorrem nos sistemas são responsáveis pelas máximas amplitudes das sobretensões temporárias. No entanto, as sobretensões devido a ferro-ressonância também devem ser consideradas.

Sobretensões temporárias Faltas no sistema

- ⇒ O tipo de falta mais comum que aparece em um sistema é o curto-circuito fase-terra.
- ⇒ A elevação de tensão nas fases sãs está diretamente relacionada com o tipo de falta e com o tipo de aterramento do neutro do sistema no ponto em consideração.
- ⇒ A duração da sobretensão corresponde a duração da falta.

SOBRETENSÕES - CLASSIFICAÇÃO

Sobretensões temporárias

Faltas no sistema

Fatores de aterramento – Valores típicos

Tipo de Sistema	Caracterização	Fator de aterramento K
A	Multi aterrado	$\leq 1,30$
B	Eficazmente aterrado	$\leq 1,40$
C	Não eficazmente aterrado	1,73
D	Isolado	$\geq 1,73 (1,90)$

No caso de um sistema eficazmente aterrado, onde a relação entre a reatância de seqüência zero e a reatância de seqüência positiva é inferior a 3 ($X_0/X_1 \leq 3$) e a relação entre a resistência de seqüência zero e a reatância de seqüência positiva é inferior a 1 ($R_0/X_1 \leq 1$), as

Classificação das sobretensões

Sobretensões transitórias:

Caracterizada por uma sobretensão de curta duração, de alguns milisegundos ou menos, oscilatória ou não oscilatória, usualmente fortemente amortecida.

Sobretensões de frente lenta

Sobretensões entre fase-terra ou entre fases, em um dado ponto do sistema, devido a operação de um equipamento de manobra, uma falta ou uma outra causa qualquer, cuja forma de onda apresenta tempos até a crista com durações entre algumas dezenas e alguns milhares de μs e tempos até o meio valor (tempos de cauda) com durações da mesma ordem de magnitude.

Essas sobretensões em geral são fortemente amortecidas.

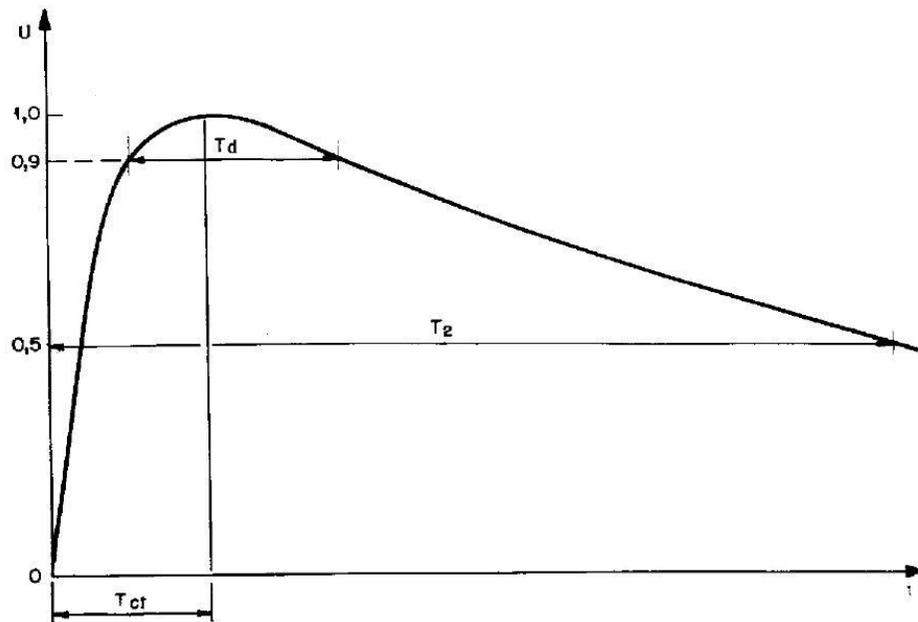
Sobretensões de frente lenta

As sobretensões de frente lenta normalmente se originam de:

- ⇒ Energização e religamento de linhas;
- ⇒ Aplicação e eliminação de faltas;
- ⇒ Rejeição de carga;
- ⇒ Energização de transformadores;
- ⇒ Chaveamento de correntes capacitivas e indutivas;
- ⇒ Descargas atmosféricas incidindo nos condutores fase distantes do ponto considerado.

Sobretensões de frente lenta

Para fins de estudos de coordenação do isolamento, a forma de onda da tensão representativa é o *impulso de manobra normalizado* utilizado nos ensaios, com um tempo até a **crista de 250 μs** , e tempo até o meio valor de **2500 μs** .



Sobretensões de frente rápida

Sobretensões entre fase-terra ou entre fases, em um dado ponto do sistema, devido a uma descarga atmosférica ou a outra causa qualquer, cuja forma de onda apresenta tempos até a crista com durações entre $0,1 \mu\text{s}$ a $20 \mu\text{s}$ e tempos até o meio valor (tempos de cauda) até $300 \mu\text{s}$.

Essas sobretensões em geral são fortemente amortecidas.

Sobretensões de frente rápida

As sobretensões de frente rápida normalmente se originam de:

Sobretensões devido às descargas atmosféricas incidindo diretamente nas linhas aéreas, em seus condutores fase, nos cabos pára-raios ou nas estruturas; ou por descargas à terra ou em estruturas próximas à linha considerada (sobretensões induzidas);

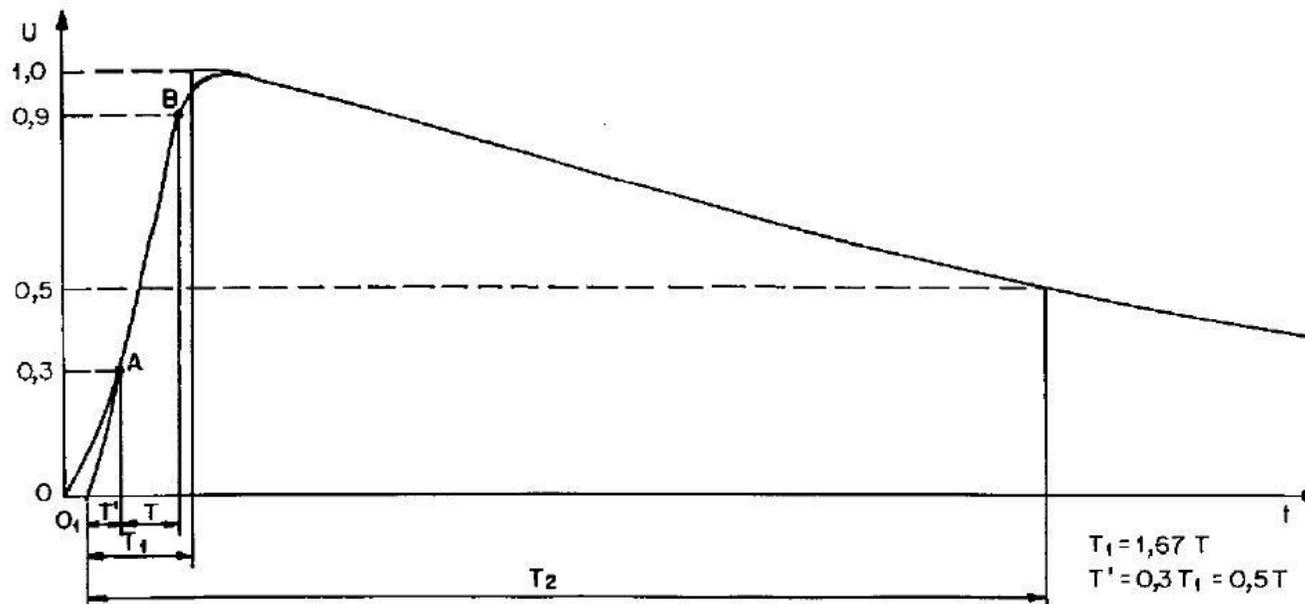
Sobretensões devido às descargas atmosféricas afetando as subestações;

Operações de manobra e faltas.

SOBRETENSÕES - CLASSIFICAÇÃO

Sobretensões de frente rápida

Para fins de estudos de coordenação do isolamento, a forma de onda da tensão representativa é o impulso atmosférico normalizado utilizado nos ensaios, apresentando tempo até a crista de $1,2 \mu\text{s}$, e tempo até meio valor de $50 \mu\text{s}$.



ENSAIOS ELÉTRICOS EM ALTA TENSÃO

⇒ Sobretensões;

⇒ Classificação dos isolamentos;

Classificação da isolação

Quanto ao tipo:

- Espaçamentos no ar;
- Isolamentos sólidos;
- Isolamentos imersos em líquidos isolantes;
- Isolamentos em gás

Quanto a utilização:

Externo - Distâncias no ar e superfícies em contato com o ar sujeitas às solicitações dielétricas e aos agentes externos (umidade, poluição, intempéries, etc ..)

Interno - Distâncias internas no isolamento protegidas contra os efeitos das condições atmosféricas e de agentes externos.

Classificação da isolação

Os materiais isolantes de equipamentos utilizados nos sistemas elétricos têm um comportamento que depende do tipo de solicitação elétrica aplicada, sendo o processo de disrupção do meio dielétrico influenciado por vários fatores:

- a amplitude, forma do impulso e a polaridade da tensão;
- a distribuição do campo elétrico na isolação: campo elétrico uniforme ou não uniforme, eletrodos adjacentes ao espaçamento considerado e seu potencial;
- o tipo de isolante utilizado: gasoso, líquido, sólido ou compósito;
- o conteúdo de impurezas e a presença de não-homogeneidades localizadas;
- o estado físico da isolação: temperatura, pressão e outras condições ambientais, solicitações mecânicas, etc.;
- a deformação da isolação sob solicitação, os efeitos químicos, os efeitos de superfície dos condutores, etc.

Isolação dos equipamentos

Necessidade de se diferenciar o efeito das sobretensões sobre o comportamento dos materiais isolantes, que depende das suas características de suportabilidade e de recuperação.

- ⇒ Isolação auto-recuperante
- ⇒ Isolação não auto-recuperante.

Isolação dos equipamentos

Isolação auto-recuperante:

Recuperam integralmente as suas propriedades isolantes após a ocorrência de uma descarga disruptiva provocada pela aplicação de uma tensão de ensaio.

Os isolamentos externos em ar, alguns isolamentos internos em gás e isolamentos líquidos apresentam propriedades auto-recuperantes.

Isolação dos equipamentos

Isolação auto-recuperante

- ⇒ Parte externa de todos os equipamentos;
- ⇒ Postes isoladores (isoladores de pedestal);
- ⇒ Superfícies externas de cadeias de isoladores;
- ⇒ Parte externa das buchas e transformadores;
- ⇒ Isolamentos em ar, correspondentes aos espaçamentos entre condutores, condutor-estrutura e barramento-estrutura.

Isolação dos equipamentos

Isolação não auto-recuperante:

Perdem parcialmente ou não recuperam integralmente as suas propriedades isolantes após a ocorrência de uma descarga disruptiva provocada pela aplicação de uma tensão de ensaio, ou seja, após uma descarga ocorre a danificação parcial ou total das suas propriedades dielétricas.

Os dielétricos sólidos apresentam propriedades não auto-recuperantes

Isolação dos equipamentos

Isolação não auto-recuperante

- ⇒ Parte interna das buchas;
- ⇒ Enrolamentos de transformadores, de reatores, de TC's e de TP's.
- ⇒ Parte sólida dos isoladores.

ENSAIOS ELÉTRICOS EM ALTA TENSÃO

- ⇒ Sobretensões;
- ⇒ Classificação dos isolamentos;
- ⇒ Efeitos das sobretensões sobre os isolamentos;