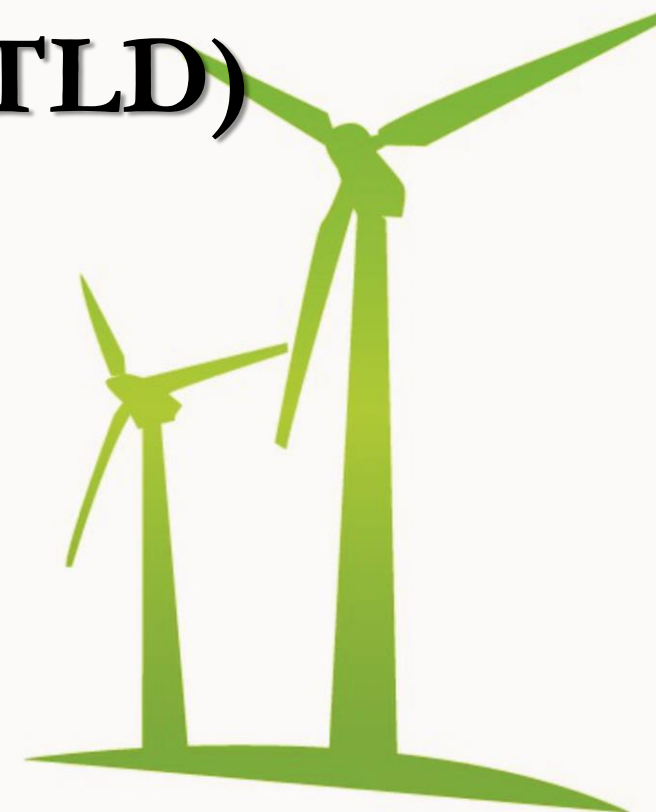
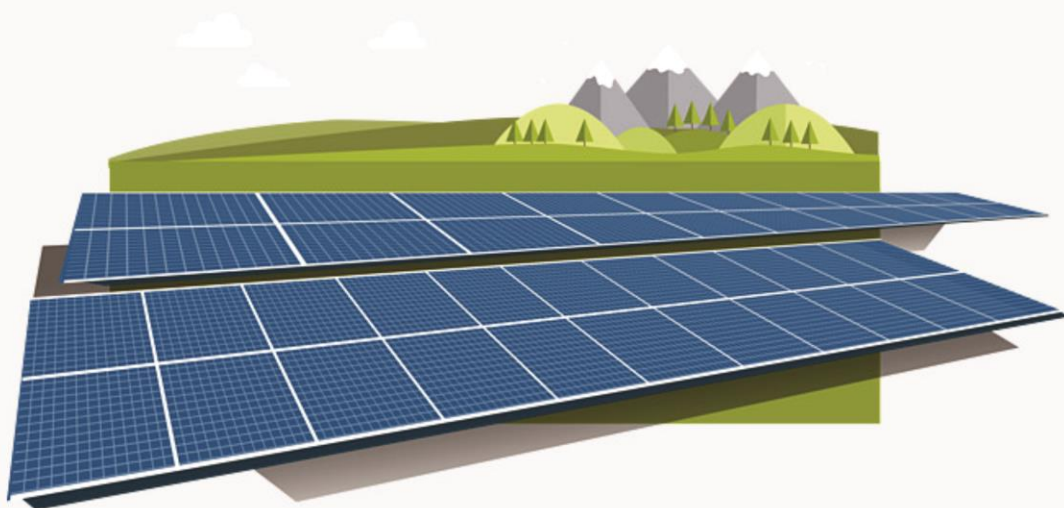


Qualidade de Energia – ELT 448

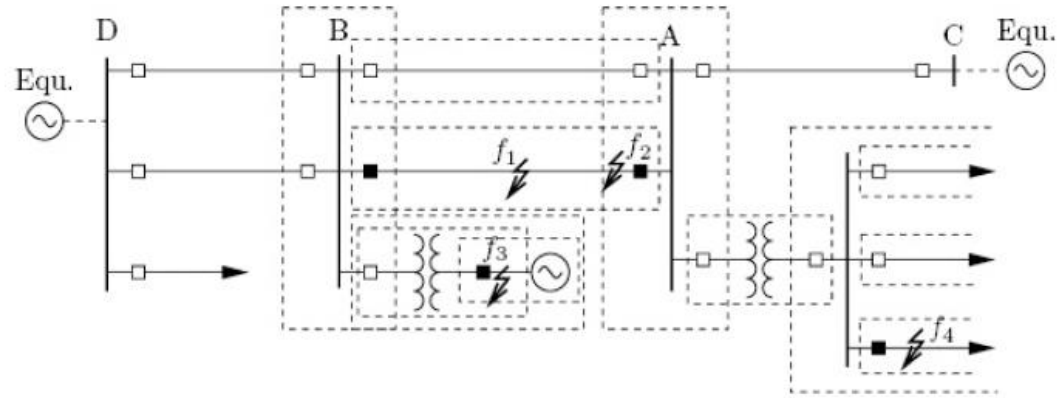
Aula 5 – Transitórios e Variações de Tensão de Longa Duração (VTLD)

Victor Dardengo



Revisão da aula passada

- IEC, ANEEL;
- Normas internacionais;
- Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD);
- Causas de distúrbios;
- Impactos



F

Distúrbio	Descrição	Causas	Efeitos	Soluções
Interrupções	Interrupção total da alimentação elétrica	Curto-circuitos, descargas atmosféricas, e outros acidentes que exijam manobras precisas de fusíveis, disjuntores, etc.	Queda do sistema Danificação de componentes Perda de produção	UPS Geradores de emergência (interrupções de longa duração)
Transientes	Distúrbio na curva senoidal, resultando em rápido e agudo aumento de tensão	Descargas atmosféricas Manobras da concessionária Manobras de grandes cargas e bancos de capacitores	Travamento, perda de memória e erros de processamento Queima de placas eletrônicas, danificação de materiais de isolamento e de equipamentos	Supressores de transientes UPS com supressores de transientes Transformadores de isolamento
Sag / Swell	Subtensões (sags) ou sobretensões (swells) curtas (meio ciclo até 3 segundos) Sags respondem por cerca de 87% de todos os distúrbios elétricos	Queda/Partida de grandes equipamentos Curto-circuitos Falha em equipamentos ou manobras da concessionária	Perda de dados e erros de processamento Desligamento de equipamentos Oscilações em motores com redução de vida útil	UPS Reguladores de tensão
Ruídos	Sinal indesejado de alta frequência que altera o padrão normal de tensão (onda senoidal)	Interferência de estações de rádio e TV Operação de equipamentos eletrônicos	Travamentos, perda de dados e erros de processamento Recepções distorcidas (áudio e vídeo)	UPS Transformadores de isolamento Filtros de linha
Harmônicos	Alteração do padrão normal de tensão (onda senoidal), causada por frequências múltiplas da fundamental (50-60Hz)	UPS, Reatores eletrônicos, inversores de frequência, retificadores e outras cargas não-lineares.	Sobreaquecimento de cabos e equipamentos Diminuição da performance de motores Operação errônea de disjuntores, relés e fusíveis	Filtros de harmônicas Reatores de linha Melhorias na fiação e no aterramento Transformadores de isolamento
Variações de Tensão de Longa Duração	Variações de tensão com duração acima de 1 minuto	Equipamentos e fiação sobrecarregados Utilização imprópria de transformadores Fiação subdimensionada ou conexões mal feitas	Desligamento de equipamentos Sobreaquecimento de motores e lâmpadas Redução de vida útil ou de eficiência dos equipamentos	UPS Verificar conexões e fiações elétricas Transferência de equipamentos para outros circuitos

ada

Transitórios

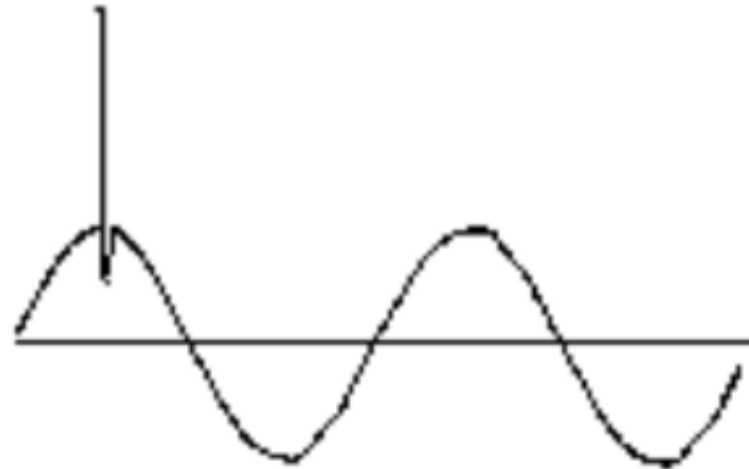
- O termo transitório tem sido aplicado à análise das variações do sistema de energia para denotar um evento que é **indesejável, mas momentâneo**, em sua natureza.
- São perturbações de tensão e/ou corrente de duração muito curta (até alguns milisegundos), mas magnitude alta e com um tempo de subida muito rápido.

Transitórios

- Geralmente, a duração de um transitório é muito pequena, mas de grande importância, uma vez que os equipamentos presentes nos sistemas elétricos estarão submetidos a grandes solicitações de tensão e/ou corrente.
- Variam desde oscilações eletromecânicas (baixas frequências) até rápidas variações de tensões e correntes causadas por chaveamentos ou mudanças bruscas de estado.

Transitórios

- Um repentino distúrbio devido a uma rápida mudança nas condições da tensão.



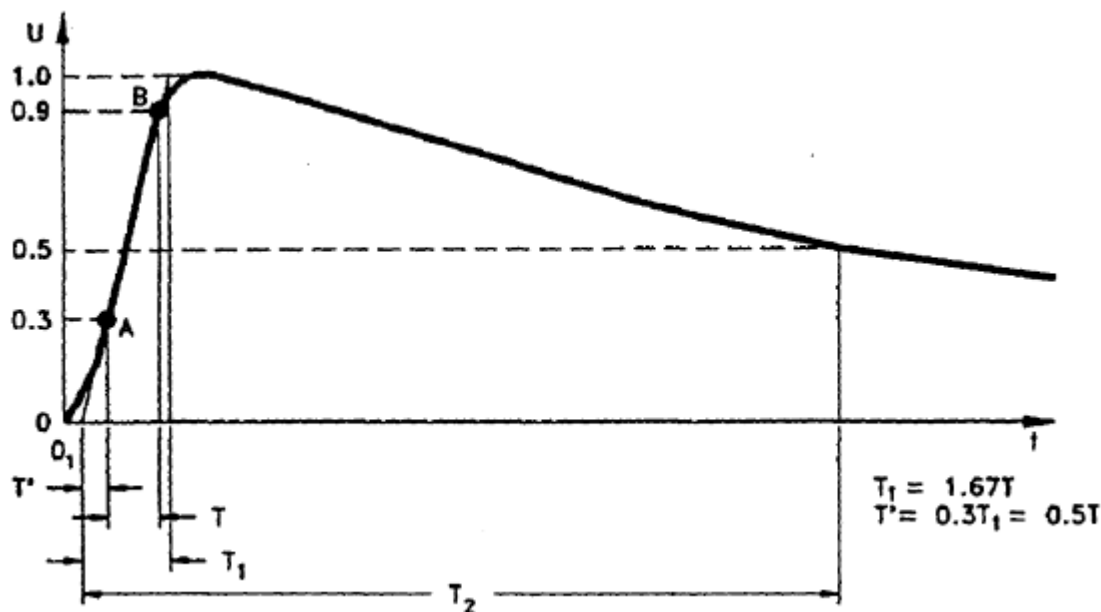
Transitórios

- São classificados geralmente em dois grupos:
 - transitórios impulsivos, causados por descargas atmosféricas,
 - transitórios oscilatórios, causados por chaveamentos



Transitório Impulsivo

- É uma súbita alteração não desejável no sistema, que se encontra em condição de regime permanente, refletido nas formas de ondas da tensão e corrente. São normalmente caracterizadas pelos seus tempos de aumento e decaimento.

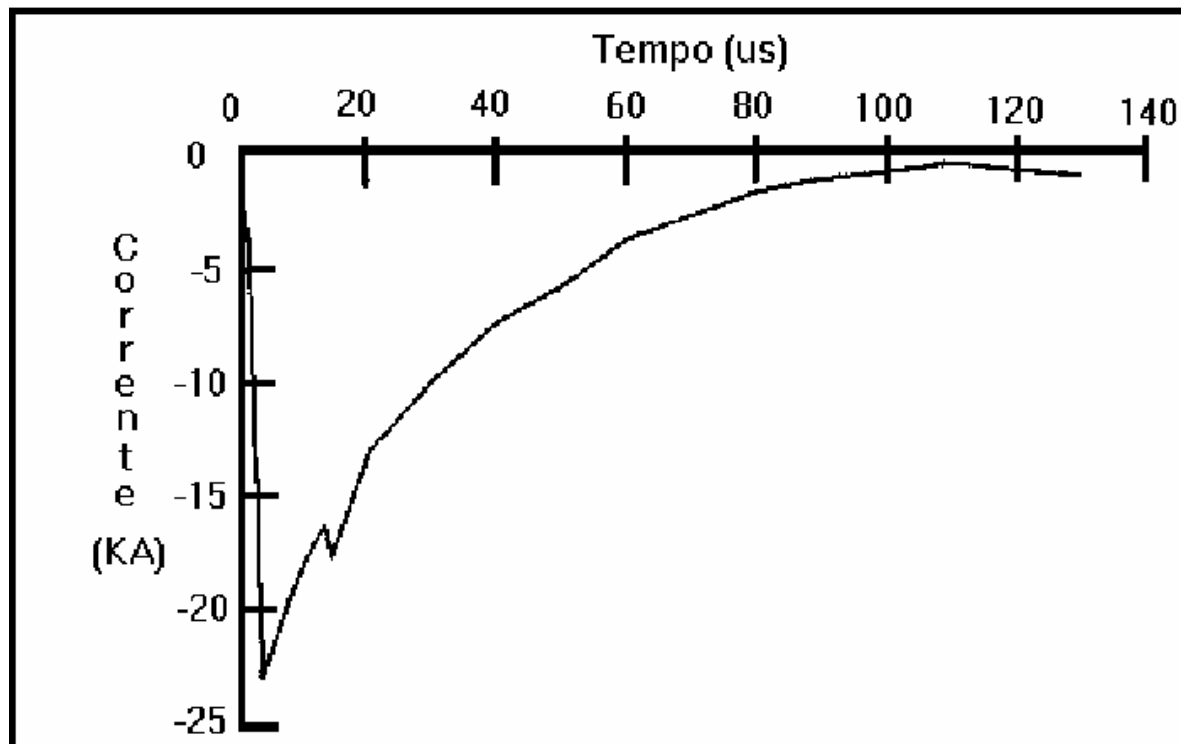


Transitório Impulsivo

Fenômeno	Conteúdo Espectral Típico	Duração Típica	Amplitude de Tensão Típica
Transitórios			
- Impulsivos			
ns	5 ns	< 50 ns	
µs	1 µs	50 ns - 1 ms	
ms	0,1 ms	> 1 ms	
- Oscilatórios			
Baixa Frequência	< 5 kHz	3 - 50 ms	0,4 p.u.
Média Frequência	5 - 500 kHz	20 µs	0,4 p.u.
Alta Frequência	0,5 - 5 MHz	5 µs	0,4 p.u.
Variações de Curta Duração			

Transitório Impulsivo

- Normalmente é causado por descargas atmosféricas com frequências bastante diferentes daquela da rede elétrica.



Transitório Impulsivo

- Devido a alta frequência do sinal resultante, a forma dos transitórios impulsivos pode ser alterada rapidamente pelos componentes do circuito e apresentar características significantes quando observadas de diferentes partes do sistema de energia.
- Em razão da alta frequência, os transitórios impulsivos são amortecidos rapidamente devido à resistência dos componentes do sistema.
- Geralmente, não são conduzidos para muito longe do ponto onde foram gerados. Estes transitórios podem excitar ressonâncias naturais do sistema elétrico e provocar outros tipos de transitórios, como os transitórios oscilatórios.

Transitório Impulsivo

- Aplicação de uma descarga atmosférica (transitório impulsivo), ocasionando um transitório oscilatório.

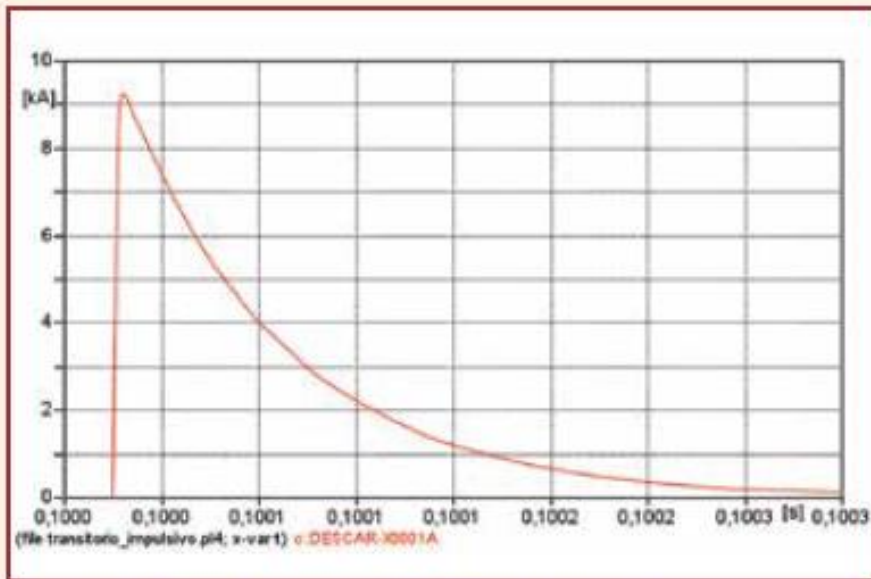


Figura 2 – Corrente proveniente da descarga atmosférica.

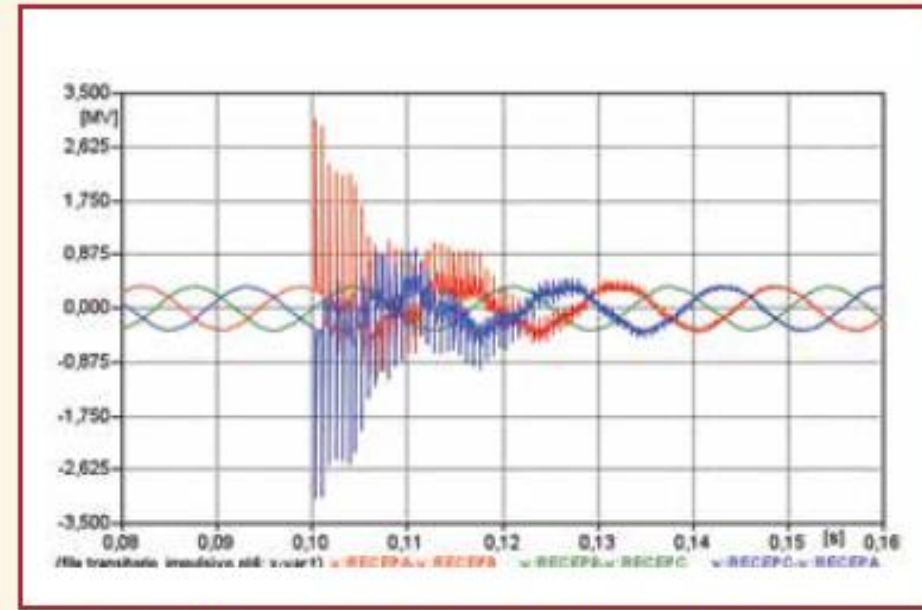


Figura 3 – Tensão fase-fase no receptor do sistema analisado.

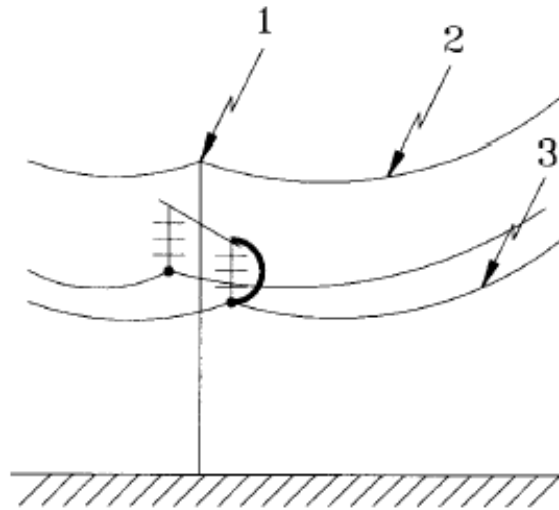
Transitório Impulsivo

- Por se tratarem de transitórios causados por descargas atmosféricas, é de fundamental importância se observar qual o nível da tensão no ponto de ocorrência da descarga.
- Em sistemas de distribuição o caminho mais provável para as descargas atmosféricas é através de um condutor fase, no primário ou no secundário, causando altas sobretensões no sistema.
- Uma descarga diretamente na fase geralmente causa arco elétrico na linha próxima ao ponto de incidência e pode gerar não somente um transitório impulsivo, mas também uma falta acompanhada de afundamentos de curta duração e interrupções.
- Altas sobretensões transitórias podem também ser geradas por descargas que fluem ao longo do condutor terra

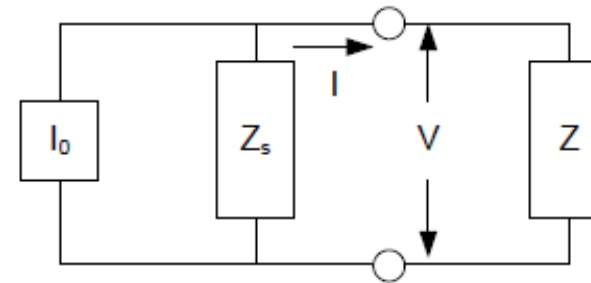
Transitório Impulsivo

- Os principais problemas de qualidade da energia causados por estas correntes no sistema de aterramento são os seguintes:
- Elevação do potencial do terra local, em relação a outras terras, em vários kV. Equipamentos eletrônicos sensíveis que são conectados entre duas referências de terra, tal como um computador conectado ao telefone através de um “modem”, podem falhar quando submetidos aos altos níveis de tensão.
- Indução de altas tensões nos condutores fase, quando as correntes passam pelos cabos a caminho do terra.

Transitório Impulsivo



- Descargas diretas: 1- descarga direta na estrutura, 2 – descarga direta no cabo guarda, 3 – descarga direta no cabo energizado.

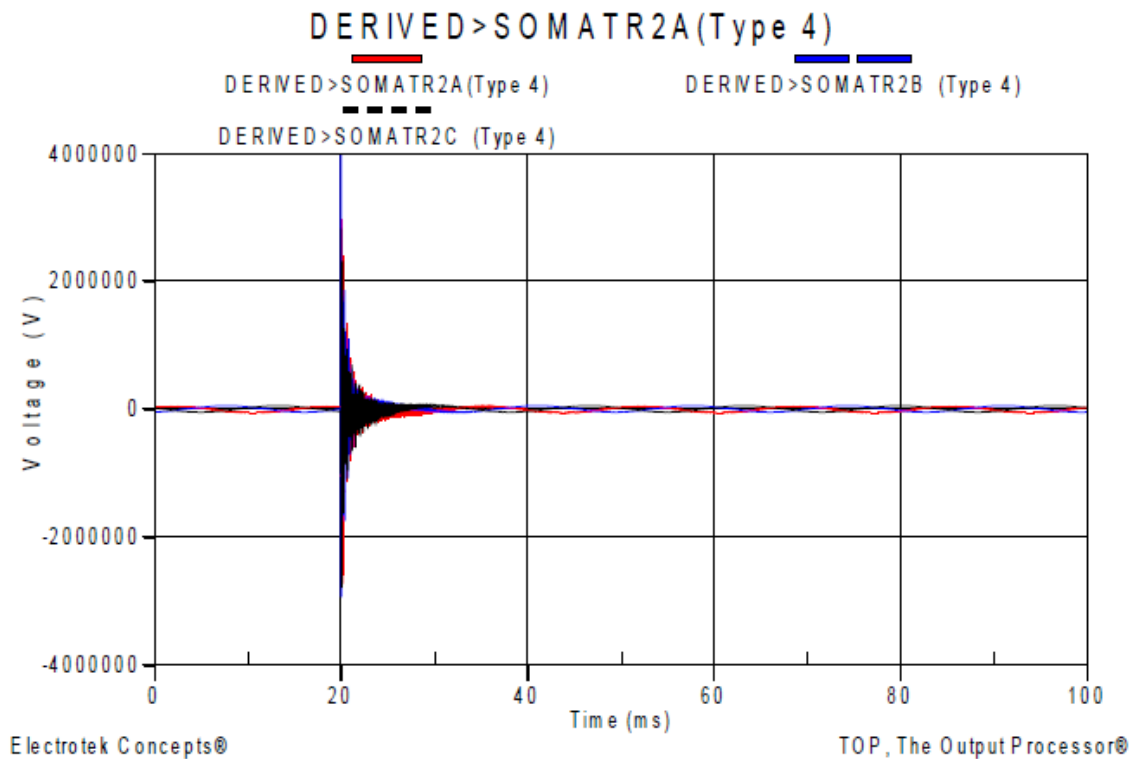


- Equivalente de Thèvenin para caracterizar descargas atmosféricas.

Onde I_0 é a corrente de descarga, Z_s é a impedância variável entre 1.000 e 3.000 Ω e Z representa a impedância equivalente do circuito.

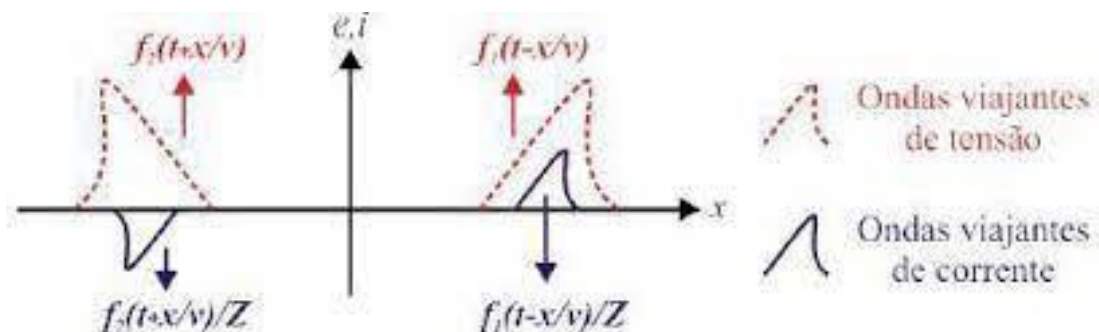
Transitório Impulsivo

- Sobretensões observadas próximo à Usina Salto Grande devido à aplicação de uma situação de descarga atmosférica



Transitório Impulsivo

- Em se tratando de descargas em pontos de extra alta tensão, o surto se propaga ao longo da linha em direção aos seus terminais podendo atingir os equipamentos instalados em subestações de manobra ou abaixadoras.
- Entretanto, a onda de tensão ao percorrer a linha, desde o ponto de incidência até as subestações abaixadoras para a tensão de distribuição, tem o seu valor de máximo consideravelmente atenuado, e assim, consumidores ligados na baixa tensão não sentirão os efeitos advindos de descargas atmosféricas ocorridas a nível de transmissão.



Transitório Impulsivo

- Contudo, os consumidores atendidos em tensão de transmissão e supostamente localizados nas proximidades do ponto de descarga, estarão sujeitos a tais efeitos, podendo ocorrer a danificação de alguns equipamentos de suas respectivas instalações.



Transitório Oscilatório

- É uma súbita alteração não desejável da condição de regime permanente da tensão, corrente ou ambas, onde as mesmas incluem valores de polaridade positivos ou negativos.
- São decorrentes da energização de linhas, corte de corrente indutiva, eliminação de faltas, chaveamento de bancos de capacitores e transformadores, etc.

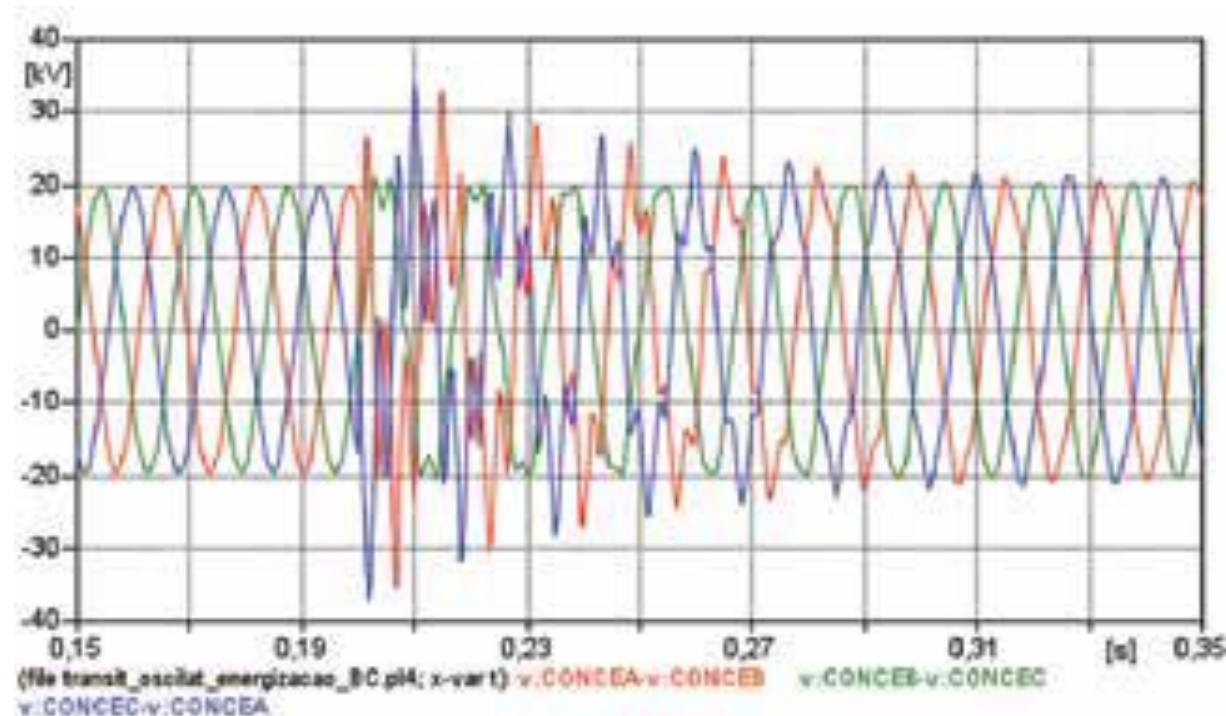
Fenômeno	Conteúdo Espectral Típico	Duração Típica	Amplitude de Tensão Típica
Transitórios			
- Impulsivos			
ns	5 ns	< 50 ns	
µs	1 µs	50 ns - 1 ms	
ms	0,1 ms	> 1 ms	
- Oscilatórios			
Baixa Freqüência	< 5 kHz	3 - 50 ms	0,4 p.u.
Média Freqüência	5 - 500 kHz	20 µs	0,4 p.u.
Alta Freqüência	0,5 - 5 MHz	5 µs	0,4 p.u.

Transitório Oscilatório de Baixa Frequência

- Transitório oscilatório de baixa frequência: componente de frequência menor do que 5 kHz, com uma duração de 0,3 a 50 ms.
- São freqüentemente encontrados nos sistemas de subtransmissão e de distribuição das concessionárias e são causados por vários tipos de eventos;
- O mais comum provem da energização de uma banco de capacitores, que tipicamente resulta em uma tensão transitória oscilatória com uma frequência primária entre 300 e 900 Hz. O pico da magnitude pode alcançar 2,0 p.u., mas é tipicamente 1,3 a 1,5 p.u. com uma duração entre 0,5 e 3 ciclos dependendo do amortecimento do sistema.

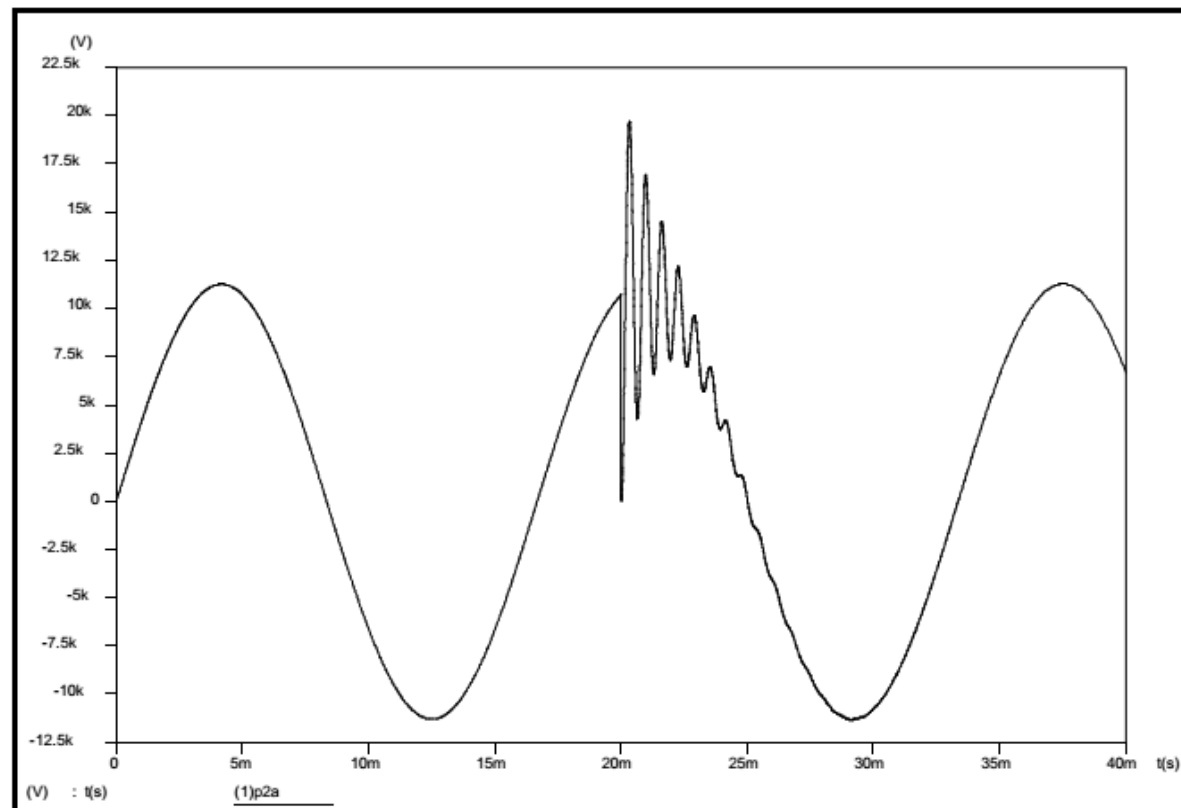
Transitório Oscilatório de Baixa Frequência

- Tensão fase-fase no barramento do de conexão do banco de capacitores.



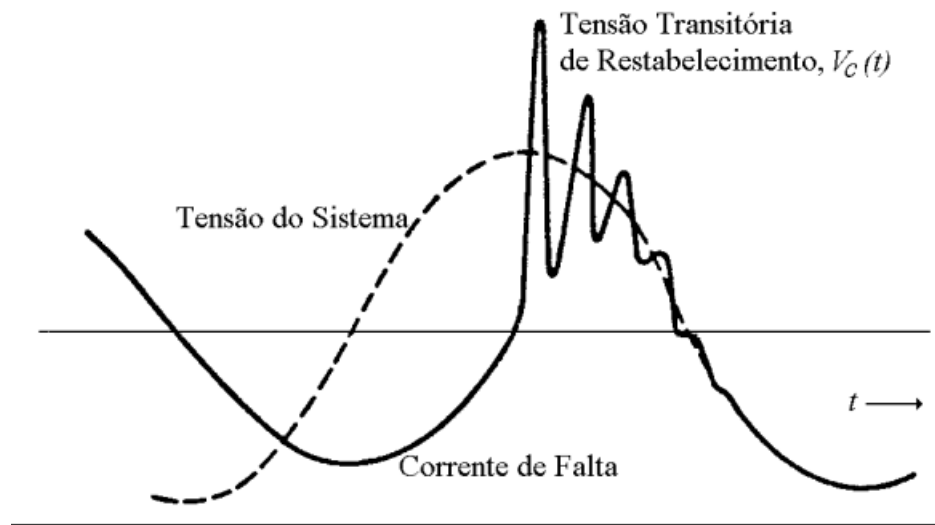
Transitório Oscilatório de Baixa Frequência

- Energização de um banco de 600 kVAr na tensão de 13,8 kV.



Transitório Oscilatório de Média Frequência

- Transitório oscilatório de média frequência: componentes de frequência entre 5 e 500 kHz, com uma duração medida em microssegundos (ou vários ciclos da frequência fundamental).
- Podem ser causados pelo chaveamento de disjuntores para a eliminação de faltas e podem também ser o resultado de uma resposta do sistema a um transitório impulsivo.



Transitório Oscilatório de Alta Frequência

- Transitório oscilatório de alta frequência: componente de frequência maior do que 500 kHz e com uma duração típica medida em microssegundos (ou vários ciclos da frequência fundamental).
- São frequentemente resultados de uma resposta local do sistema a um transitório impulsivo. Podem ser causados por descargas atmosféricas ou por chaveamento de circuitos indutivos.
- A desenergização de cargas indutivas pode gerar impulsos de alta frequência. Apesar de serem de curta duração, estes transitórios podem interferir na operação de cargas eletrônicas. Filtros de alta-frequência e transformadores isoladores podem ser usados para proteger as cargas contra este tipo de transitório.

Transitório Oscilatório de Alta Frequência

- Considerando o crescente emprego de capacitores pelas concessionárias para a manutenção dos níveis de tensão, e pelas indústrias com vistas à correção do fator de potência, tem-se tido uma preocupação especial no que se refere à possibilidade de ocorrer uma amplificação das tensões transitórias, podendo atingir níveis de 3 a 4 pu.
- Uma indutância em série com o capacitor reduzirá a tensão transitória na barra do consumidor a níveis aceitáveis.

Variações de Tensão de Longa Duração (VTLD)

- Período superior a 1 min.
- Podem ser caracterizadas como desvios que ocorrem no valor eficaz da tensão
- Estas variações podem estar associadas a sobre ou subtensões e, geralmente, não resultam em falhas do sistema, mas são causadas por:
 - variações na carga e/ou
 - operações de chaveamento.

Recapitulando, termos e Definições segundo IEC

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Categorias	Conteúdo Espectral Típico	Duração	Magnitude da tensão
2.0 Variações de curta duração			
2.1 Instantânea			
2.1.1 Interrupção		0.5 – 30 ciclos	<0.1 pu
2.1.2 sag		0.5 – 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.3 swell		0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 pu
2.2 momentânea			
2.2.1 Interrupção		30 ciclos – 3s	<0.1 pu
2.2.2 sag		30 ciclos – 3s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 swell		30 ciclos – 3s	1.1 – 1.4 pu
2.3 Temporária			
2.3.1 Interrupção		3s – 1min	<0.1 pu
2.3.2 sag		3s – 1min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 swell		3s – 1min	1.1 – 1.2 pu

3.0 Variações de longa duração			
3.1 Interrupção sustentada		> 1 min	0.0 pu
3.2 Subtensão		> 1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Sobretensão		> 1 min	1.1-1.2 pu

Sobretensão

- Um aumento no valor eficaz da tensão CA, maior do que 110%;
- Usualmente resultam do:
 - desligamento de grandes cargas;
 - ou energização de um banco de capacitores;
 - Taps dos transformadores incorretamente conectados também podem resultar em sobretensões no sistema.
- Geralmente, são instalados nas indústrias bancos de capacitores, normalmente fixos, para correção do fator de potência ou mesmo para elevação da tensão nos circuitos internos da instalação;

Sobretensão

- Consequências das sobretensões de longa duração:
 - Os dispositivos eletrônicos podem sofrer danos durante condições de sobretensões, embora transformadores, cabos, disjuntores, TCs, TPs e máquinas rotativas, geralmente, não apresentam falhas imediatas (mas tem sua vida útil diminuída).
 - Relés de proteção também poderão apresentar falhas de operação durante as sobretensões.
- Para a solução de tais problemas, destaca-se a troca de bancos de capacitores fixos por bancos automáticos, possibilitando um maior controle do nível da tensão. Transformadores com tap reguláveis.

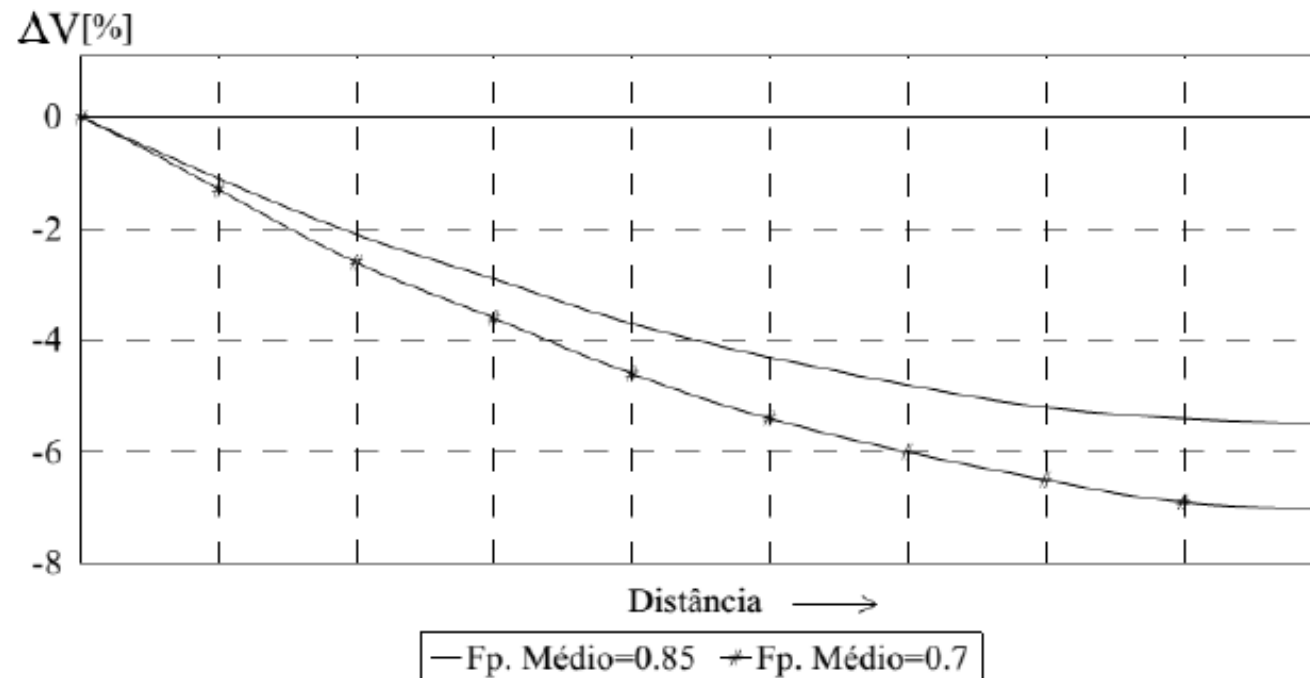
Subtensão

- Decréscimo no valor eficaz da tensão AC para menos de 90% com uma duração superior a 1 min. São decorrentes:
 - principalmente, do carregamento excessivo de circuitos alimentadores, que interagem com a impedância da rede;
 - do desligamento de bancos de capacitores, que limita a capacidade do sistema no fornecimento de potência ativa e ao mesmo tempo eleva a queda de tensão.

Subtensão

- A queda de tensão por fase é função da corrente de carga, do fator de potência e dos parâmetros R e X da rede:

$$\Delta V = I(R\cos\phi + X\sin\phi)$$



Subtensão

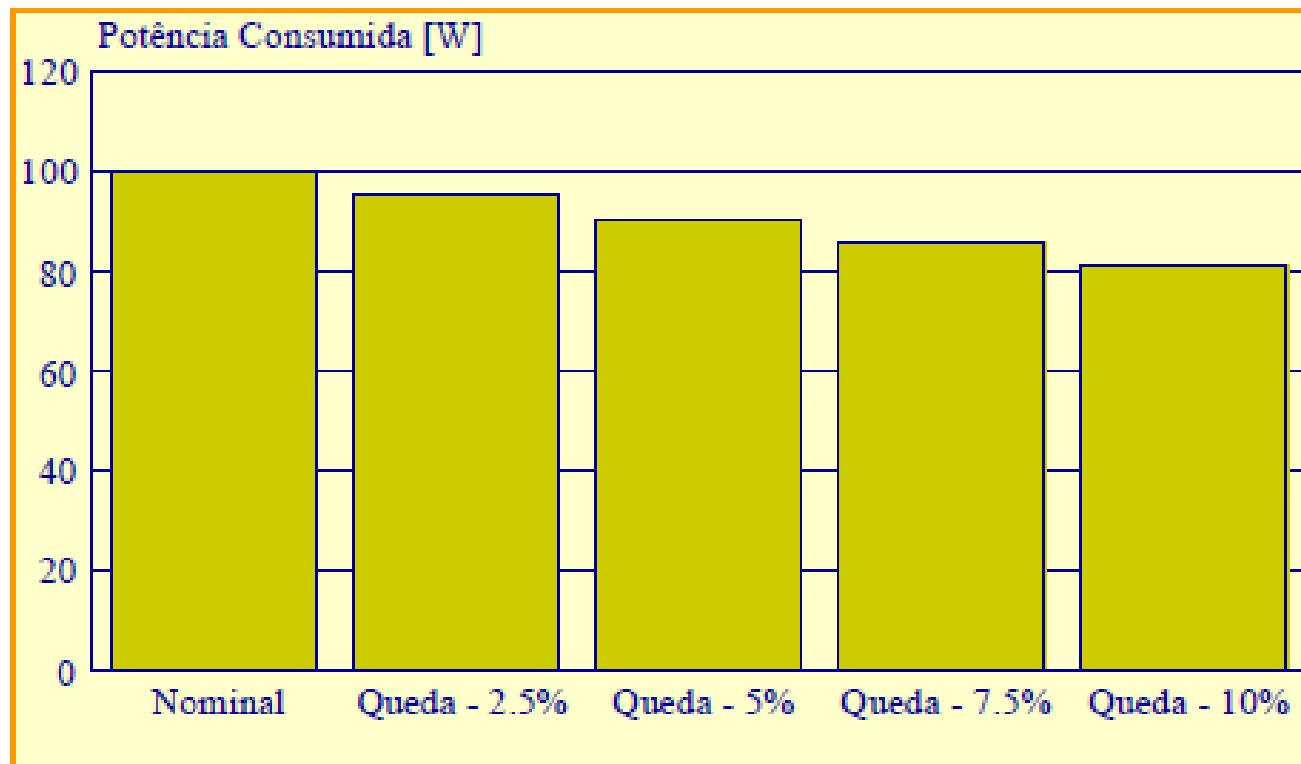
- Consumidores mais distantes da subestação estarão submetidos a menores níveis de tensão.
- Quanto menor o fator de potência, maiores serão as perdas reativas na distribuição.

Subtensão

- Dentre os problemas causados por subtensões de longa duração, destacam-se:
 - Redução da potência reativa fornecida capacitores ao sistema;
 - Possível interrupção da operação de equipamentos eletrônicos;
 - redução do índice de iluminação para os circuitos de iluminação incandescente;
 - Elevação do tempo de partida das máquinas de indução, o que contribui para a elevação de temperatura dos enrolamentos; e
 - sobreaquecimento de máquinas.

Subtensão

- Potência consumida por uma lâmpada incandescente de 100 W para diferentes tensões.

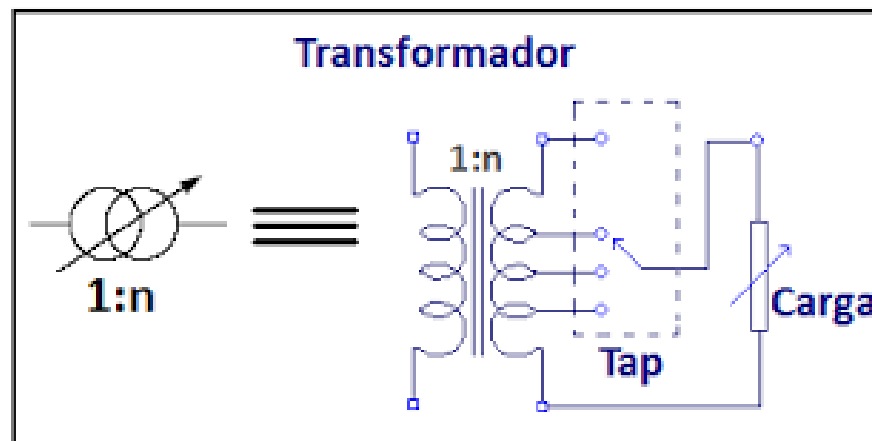


Subtensão

- As opções para o melhoramento da regulação de tensão são:
 - instalar reguladores de tensão para elevar o nível da tensão;
 - instalar capacitores “shunt” para reduzir a corrente do circuito;
 - instalar capacitores série para cancelar a queda de tensão indutiva (IX);
 - instalar cabos com bitolas maiores para reduzir a impedância;

Subtensão

- Dispositivos usados para regulação de tensão:
 - Transformadores de tap variável: podem ser com acionamento mecânico ou eletrônico. Os do tipo mecânico são para cargas que variam lentamente, enquanto que os eletrônicos podem responder rapidamente às mudanças de tensão.



Subtensão

- **Dispositivos usados para regulação de tensão:**
- **Dispositivos de isolamento com reguladores de tensão independentes:** incluem sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply), transformadores ferroressonantes (tensão constante, etc). Estes são equipamentos que isolam a carga da fonte de suprimento através de algum método de conversão de energia. Assim, a saída do dispositivo pode ser separadamente regulada e manter constante a tensão, desprezando as variações provenientes da fonte principal.

Subtensão

- **Dispositivos usados para regulação de tensão:**
- Dispositivos de compensação de impedância: Capacitores “shunt” ou série ajudam a manter a tensão pela redução da corrente de linha ou através da compensação de circuitos indutivos;
- podem ser fixos ou chaveados;
- Capacitores em série são relativamente raros, mas são muito úteis em algumas cargas impulsivas como britadeiras, etc. Estes capacitores compensam grande parte da indutância dos sistemas

Interrupção Sustentada

- Ocorre quando o fornecimento de tensão permanece em zero por um período de tempo que excede 1 min;
- são geralmente permanentes e requerem intervenção humana para reparar e retornar o sistema à operação normal no fornecimento de energia;
- Podem ocorrer de forma **inesperada** ou de forma **planejada**.

Interrupção Sustentada

- A maioria delas ocorre inesperadamente e as principais causas são falhas nos disjuntores, queima de fusíveis, falha de componentes de circuito alimentador, etc.



Interrupção Sustentada

- Interrupções planejadas são feitas geralmente para **executar manutenção na rede**, ou seja, serviço como troca de cabos e postes, mudança do tap do transformador, alteração dos ajustes de equipamentos de proteção, etc



Interrupção Sustentada

- Seja a interrupção de natureza inesperada e ou sustentada, o sistema elétrico deve ser projetado e operado de forma a garantir que:
 - o número de interrupções seja mínimo;
 - uma interrupção dure o mínimo possível; e
 - o número de consumidores afetados seja pequeno.
- Ao ocorrer uma falta de caráter permanente, o dispositivo de proteção do alimentador principal executa 3 ou 4 operações na tentativa de se restabelecer o sistema, até que o bloqueio definitivo seja efetuado.

Interrupção Sustentada

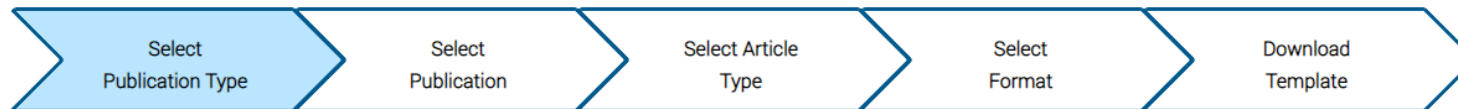
- Em redes aéreas, a localização do defeito não demora muito tempo, ao passo que em redes subterrâneas necessita-se de um tempo considerável;
- Entretanto, a probabilidade de ocorrer uma falta em redes subterrâneas é muito menor do que em redes aéreas;
- A consequência de uma interrupção sustentada é o desligamento dos equipamentos, e consequente perda na produção;



Trabalho 1

- Grupo com 4 componentes.
- Entrega: 01/07/2022.
- Estudo de caso: o caso escolhido pode ser baseado em dados reais ou simulados.
- Máximo de 10 páginas.
- Pontuação: 30 pontos.

Trabalho 1



Find the right IEEE article template for your target publication.
Please select your publication type below.

Transactions, Journals and Letters

Magazines

Conferences

Trabalho 1

Conference Paper Title*

*Note: Sub-titles are not captured in Xplore and should not be used

1 st Given Name Surname <i>dept. name of organization (of Aff.)</i> <i>name of organization (of Aff.)</i> City, Country email address or ORCID	2 nd Given Name Surname <i>dept. name of organization (of Aff.)</i> <i>name of organization (of Aff.)</i> City, Country email address or ORCID	3 rd Given Name Surname <i>dept. name of organization (of Aff.)</i> <i>name of organization (of Aff.)</i> City, Country email address or ORCID
4 th Given Name Surname <i>dept. name of organization (of Aff.)</i> <i>name of organization (of Aff.)</i> City, Country email address or ORCID	5 th Given Name Surname <i>dept. name of organization (of Aff.)</i> <i>name of organization (of Aff.)</i> City, Country email address or ORCID	6 th Given Name Surname <i>dept. name of organization (of Aff.)</i> <i>name of organization (of Aff.)</i> City, Country email address or ORCID

Abstract—This document is a model and instructions for L^AT_EX. This and the IEEEtran.cls file define the components of your paper [title, text, heads, etc.]. *CRITICAL: Do Not Use Symbols, Special Characters, Footnotes, or Math in Paper Title or Abstract.

Index Terms—component, formatting, style, styling, insert

I. INTRODUCTION

This document is a model and instructions for L^AT_EX. Please observe the conference page limits.

II. EASE OF USE

A. Maintaining the Integrity of the Specifications

The IEEEtran class file is used to format your paper and style the text. All margins, column widths, line spaces, and text fonts are prescribed; please do not alter them. You may note peculiarities. For example, the head margin measures proportionately more than is customary. This measurement and others are deliberate, using specifications that anticipate your paper as one part of the entire proceedings, and not as an independent document. Please do not revise any of the current designations.

III. PREPARE YOUR PAPER BEFORE STYLING

Before you begin to format your paper, first write and save the content as a separate text file. Complete all content and organizational editing before formatting. Please note sections III-A–III-E below for more information on proofreading, spelling and grammar.

Keep your text and graphic files separate until after the text has been formatted and styled. Do not number text heads—L^AT_EX will do that for you.

Identify applicable funding agency here. If none, delete this.

A. Abbreviations and Acronyms

Define abbreviations and acronyms the first time they are used in the text, even after they have been defined in the abstract. Abbreviations such as IEEE, SI, MKS, CGS, ac, dc, and rms do not have to be defined. Do not use abbreviations in the title or heads unless they are unavoidable.

B. Units

- Use either SI (MKS) or CGS as primary units. (SI units are encouraged.) English units may be used as secondary units (in parentheses). An exception would be the use of English units as identifiers in trade, such as “3.5-inch disk drive”.
- Avoid combining SI and CGS units, such as current in amperes and magnetic field in oersteds. This often leads to confusion because equations do not balance dimensionally. If you must use mixed units, clearly state the units for each quantity that you use in an equation.
- Do not mix complete spellings and abbreviations of units: “Wb/m²” or “webers per square meter”, not “webers/m²”. Spell out units when they appear in text: “. . . a few henries”, not “. . . a few H”.
- Use a zero before decimal points: “0.25”, not “.25”. Use “cm³”, not “cc”.)

C. Equations

Number equations consecutively. To make your equations more compact, you may use the solidus (/), the exp function, or appropriate exponents. Italicize Roman symbols for quantities and variables, but not Greek symbols. Use a long dash rather than a hyphen for a minus sign. Punctuate equations with commas or periods when they are part of a sentence, as in:

$$a + b = \gamma \quad (1)$$

Be sure that the symbols in your equation have been defined before or immediately following the equation. Use “(1)”, not



Dúvidas?!

Obrigado!

Victor Dardengo

GESEP - Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência

E-mail: victor.dardengo@ufv.br