



UFPR



TE 991
Tópicos Especiais em
Qualidade de
Energia

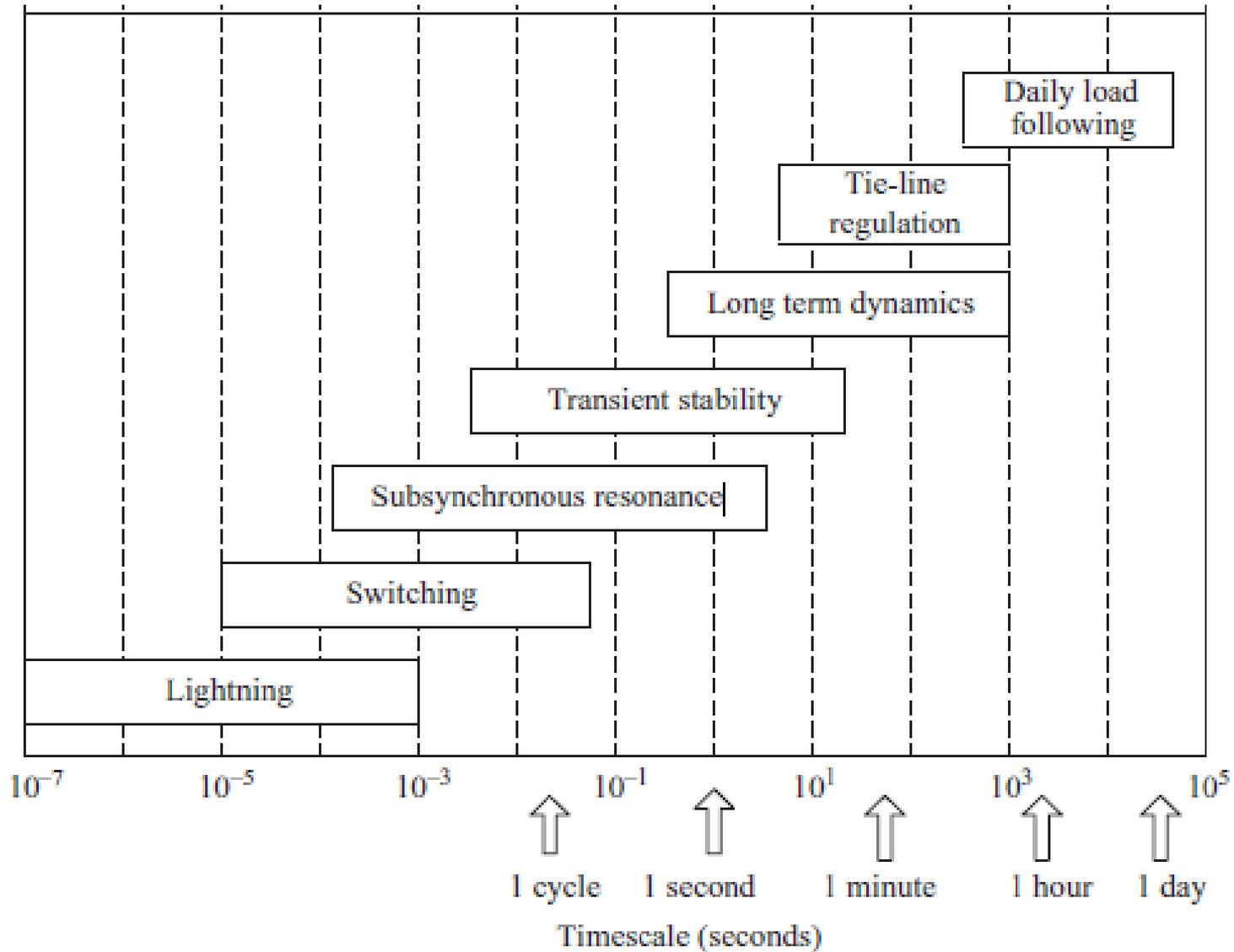
Cap. 2 – Transitórios
Eletromagnéticos

Prof. Mateus Duarte
Teixeira

1. Definição

“Transitórios eletromagnéticos são manifestações ou respostas elétricas locais ou adjacentes, oriundas de alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica”

Power system phenomena



2. Classificação

Podem ser Classificados em dois grupos

- Transitórios impulsivos, causados por descargas atmosféricas;
- Transitórios oscilatórios, causados por chaveamentos.

3. Transitórios Impulsivos

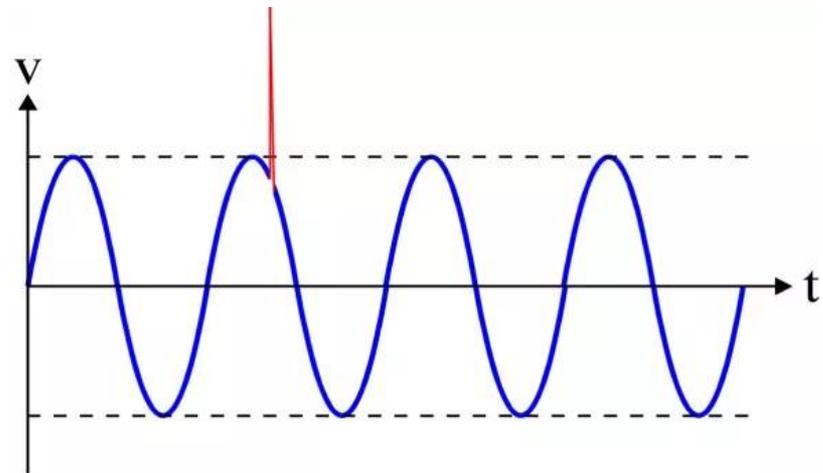
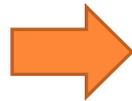
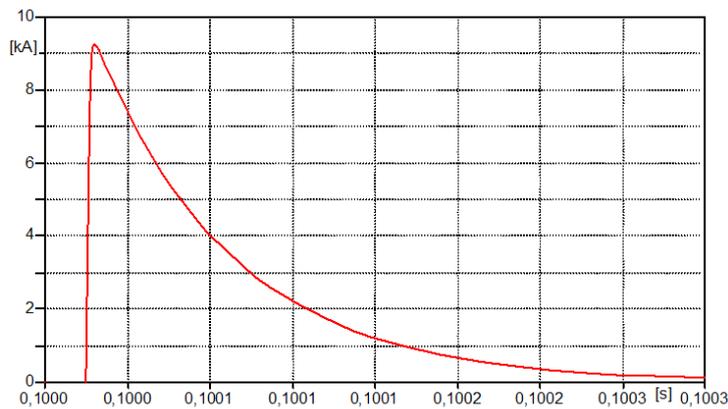
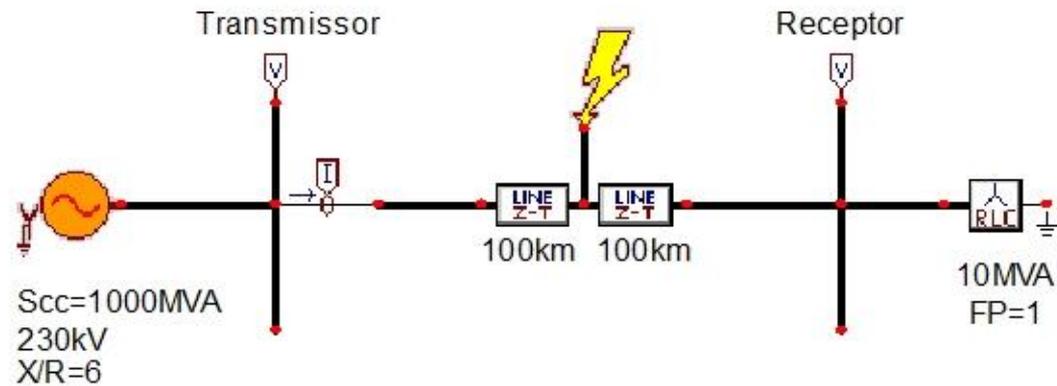
- É definido por uma súbita alteração, não desejável no sistema, que se encontra em condição de regime permanente, refletido nas formas de ondas da tensão e/ou corrente, sendo unidirecional na sua polaridade (primeiramente positivo ou negativo).
- Em razão da alta frequência, os transitórios impulsivos são amortecidos rapidamente devido à resistência dos componentes do sistema.
- Normalmente são causados por descargas atmosféricas com frequências bastante diferentes daquela da rede elétrica.

3. Transitórios Impulsivos



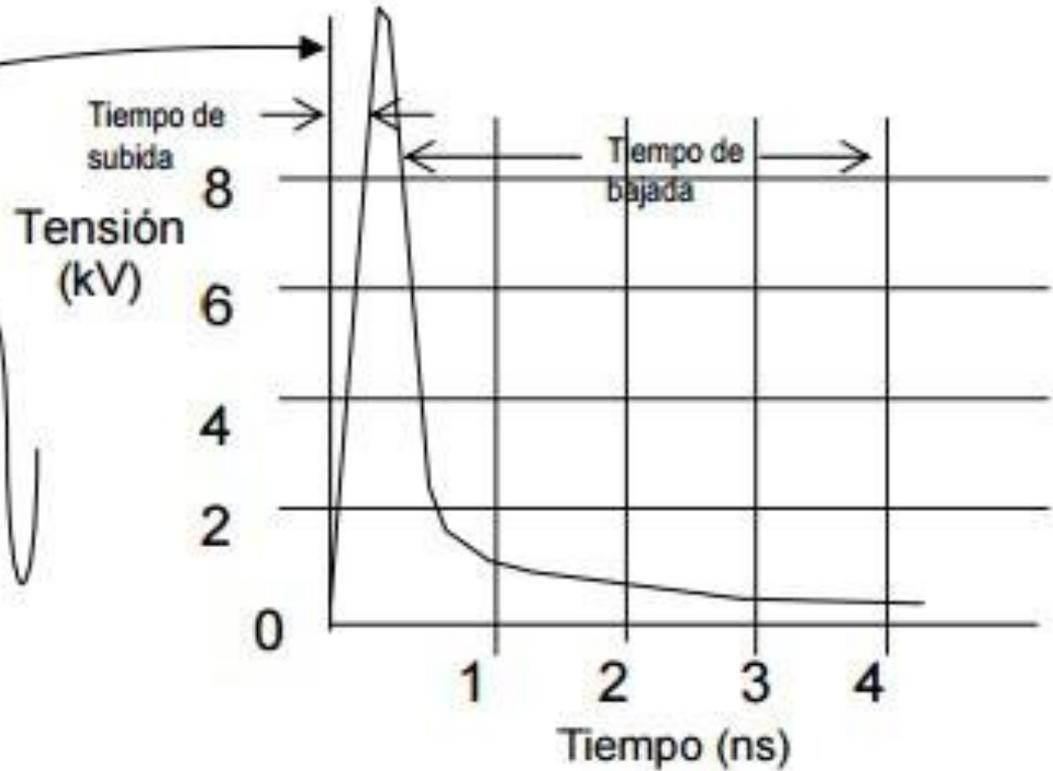
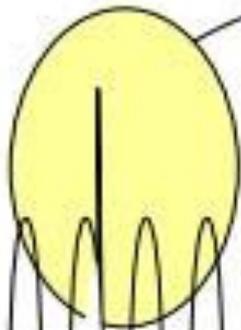
©1995 Niagara Mohawk Power Corporation

3. Transitórios Impulsivos



3. Transitorios Impulsivos

Transitorio impulsivo
(EDS)



3. Transitórios Impulsivos

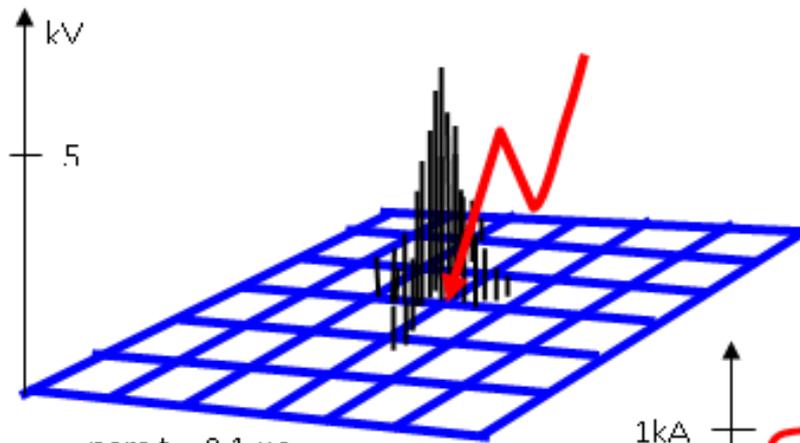
- Os transitórios impulsivos são normalmente caracterizados pelo seu tempo de aumento e decaimento, os quais podem ser revelados pelo conteúdo espectral do sinal em análise. (1,2 x 50 μ s);
- A causa mais comum de transitórios impulsivos são as descargas atmosféricas;
- Devido à alta frequência do sinal 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.

3. Transitórios Impulsivos

Os principais problemas de qualidade da energia causados por correntes impulsivas no sistema de aterramento são os seguintes:

- Elevação do potencial do terra local, em relação a outros 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.
- Como principais medidas para mitigar os efeitos desses transitórios destacam-se o uso de filtros, supressores de surtos (pára-raios) e transformadores isoladores.

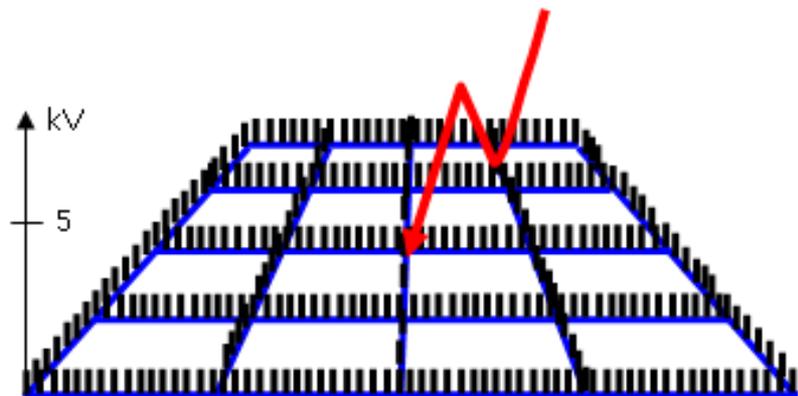
3. Transitórios Impulsivos



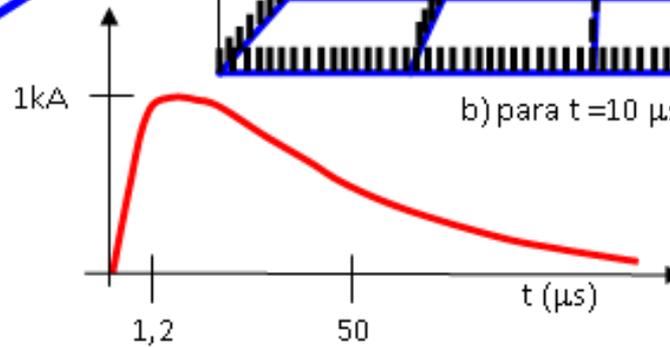
para $t = 0,1 \mu\text{s}$

$I \sim 80 \text{ A}$; $V \sim 5 \text{ kV}$

$Z \sim 62 \Omega$



b) para $t = 10 \mu\text{s}$



4. Transitórios Oscilatórios

- 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.
- O pico da magnitude pode alcançar 2,0 pu, mas são tipicamente 1,3 a 1,5 pu com uma duração entre 0,5 e 3 ciclos dependendo do amortecimento do sistema.

4. Transitórios Oscilatórios

Categorias	Conteúdo Espectral Típico	Duração	Magnitude da tensão
1.0 Transitórios			
1.1 Impulsivo			
1.1.1 Nanosegundo	5 ns	<50ns	
1.1.2 Microsegundo	1us	50ns – 1ms	
1.1.3 Milisegundo	0.1 ms	> 1ms	
1.2 Oscilatório			
1.2.1 Baixa freq.	< 5kHz	0.3 – 50 ms	0 – 4 pu
1.2.2 media freq.	5-500 kHz	20 us	0-8 pu
1.2.3 alta freq.	0.5-5 MHz	5 us	0-4 pu

4. Transitórios Oscilatórios

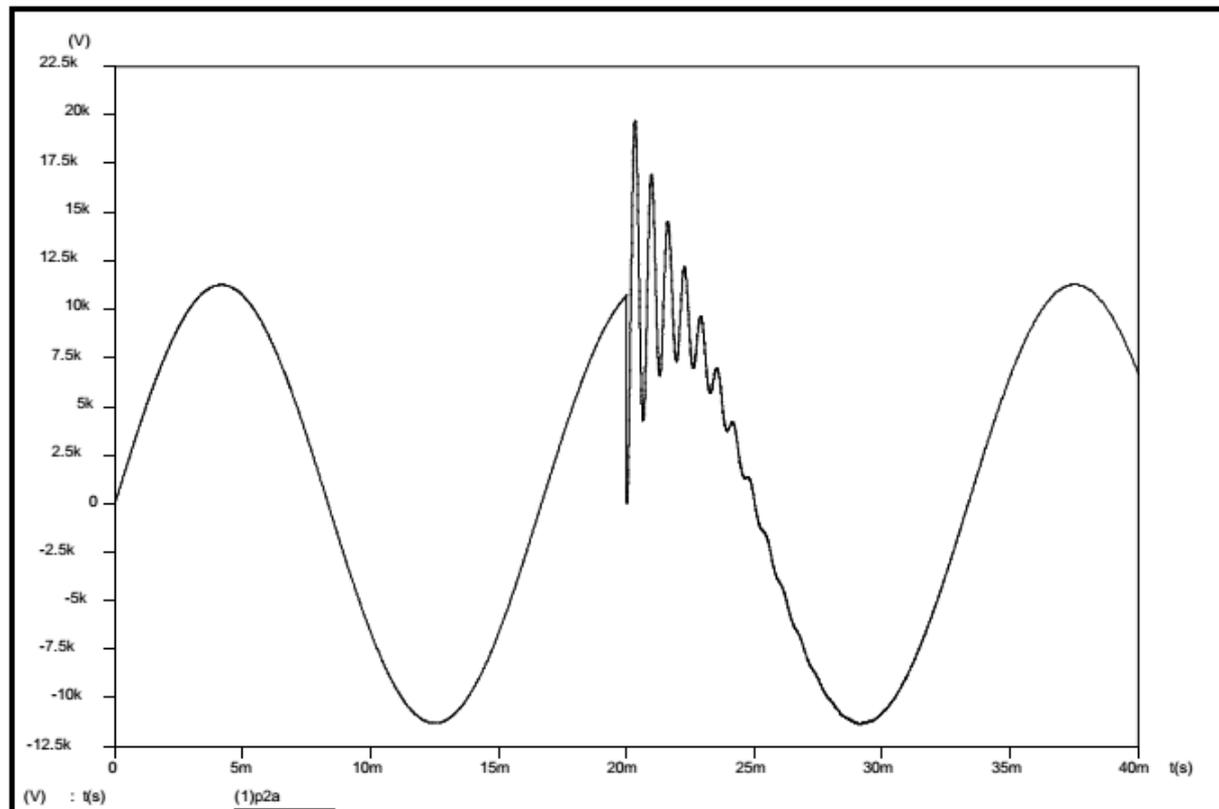
Transitório Oscilatório de Baixa Frequência

- São frequentemente 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.

4. Transitórios Oscilatórios

Transitório Oscilatório de Baixa Frequência

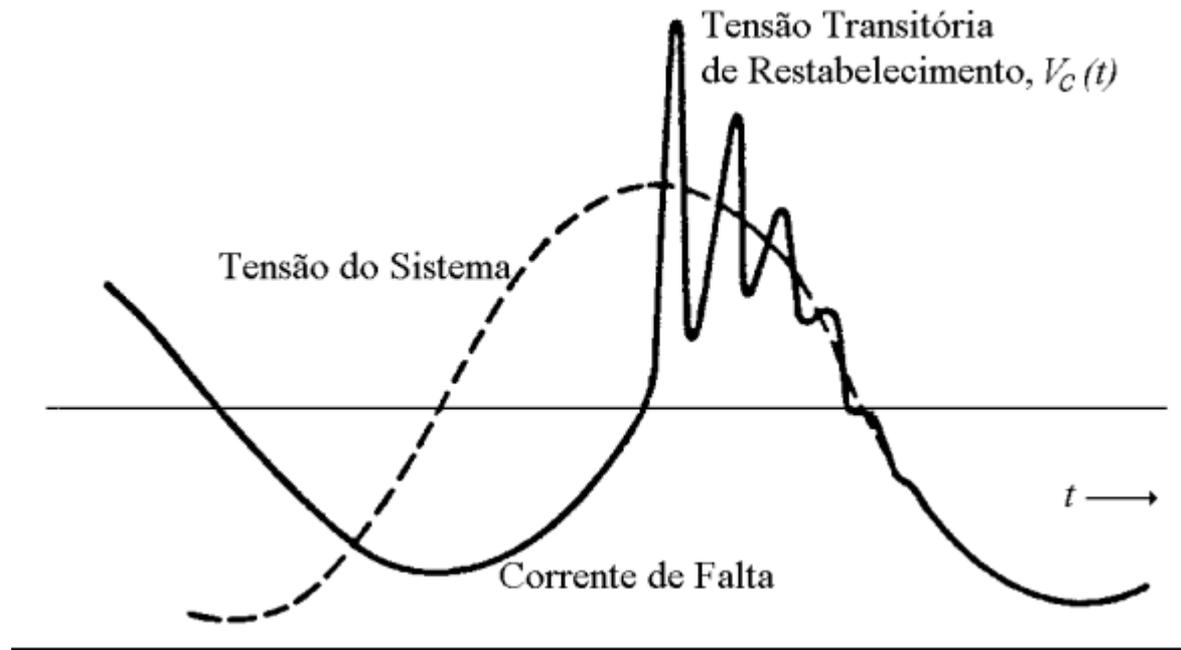
Energização de um banco de 600 kVAr na tensão de 13,8 kV



4. Transitórios Oscilatórios

Transitório Oscilatório de Média Frequência

- 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.



4. Transitórios Oscilatórios

Transitório Oscilatório de Alta Frequência

- 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.

4. Transitórios Oscilatórios

Transitório Oscilatório de Alta Frequência

- Correção do FP com o uso de banco de capacitores tem sido uma preocupação especial no que se refere à possibilidade de se estabelecer uma condição de ressonância, devido às oscilações de altas frequências, entre o sistema da concessionária e a indústria, e assim ocorrer uma amplificação das tensões transitórias, bem superiores às citadas anteriormente, podendo atingir níveis de 3 a 4 p.u.
- Uma indutância em série com o capacitor reduzirá a tensão transitória na barra do consumidor a níveis aceitáveis.

5 – Curva CBEMA

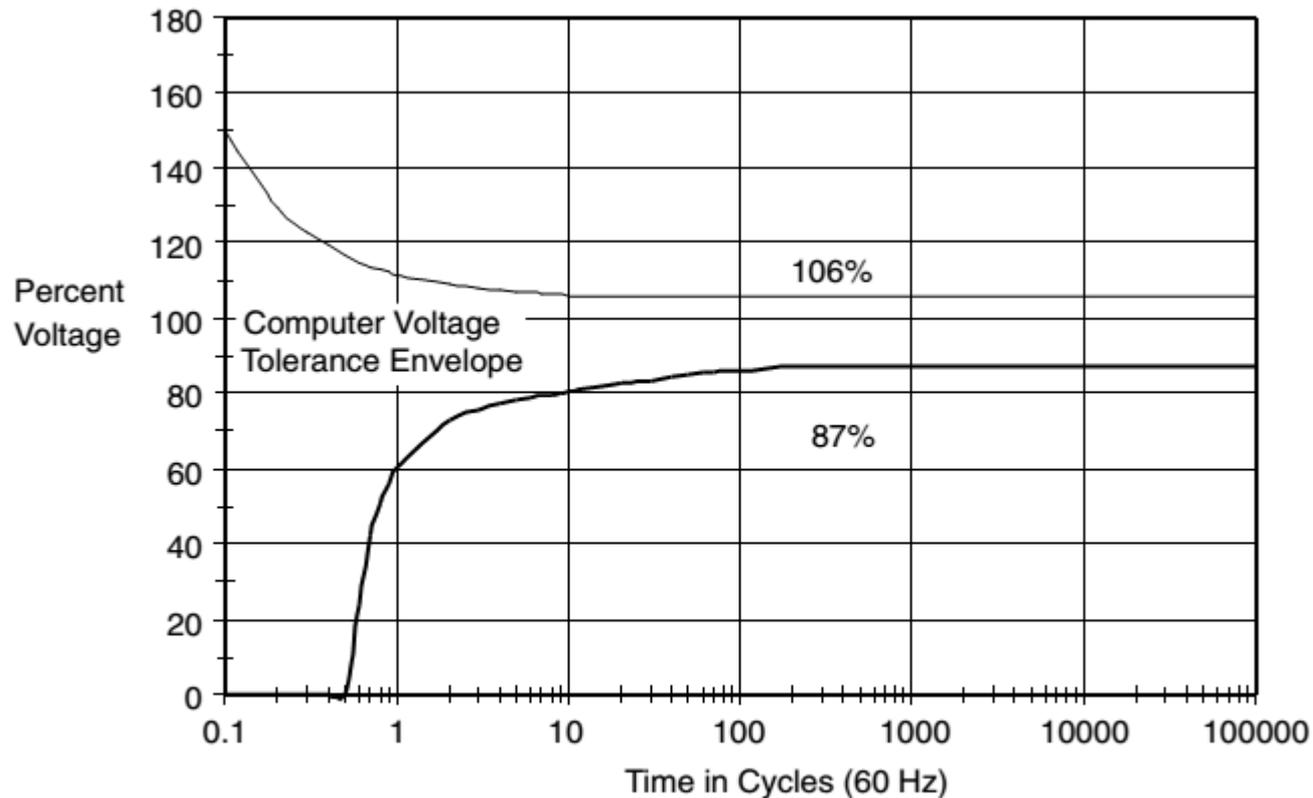


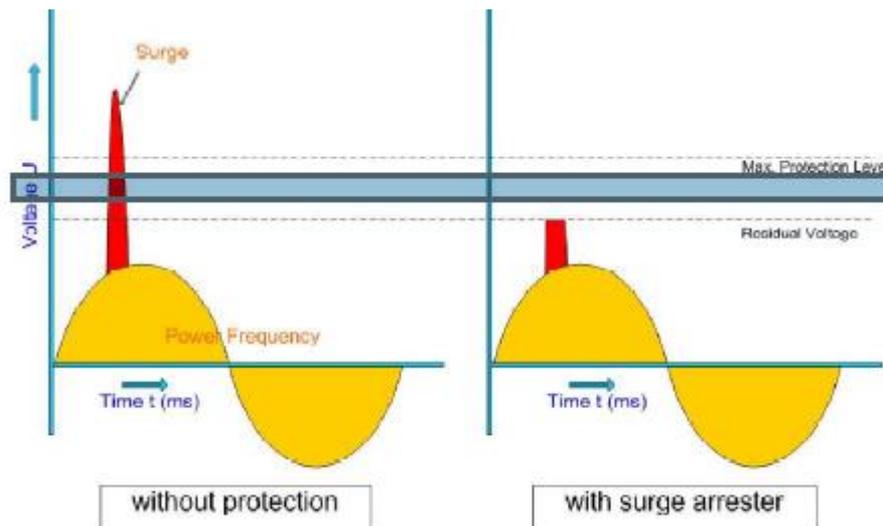
Figure 2.15 A portion of the CBEMA curve commonly used as a design target for equipment and a format for reporting power quality variation data.

6. Soluções

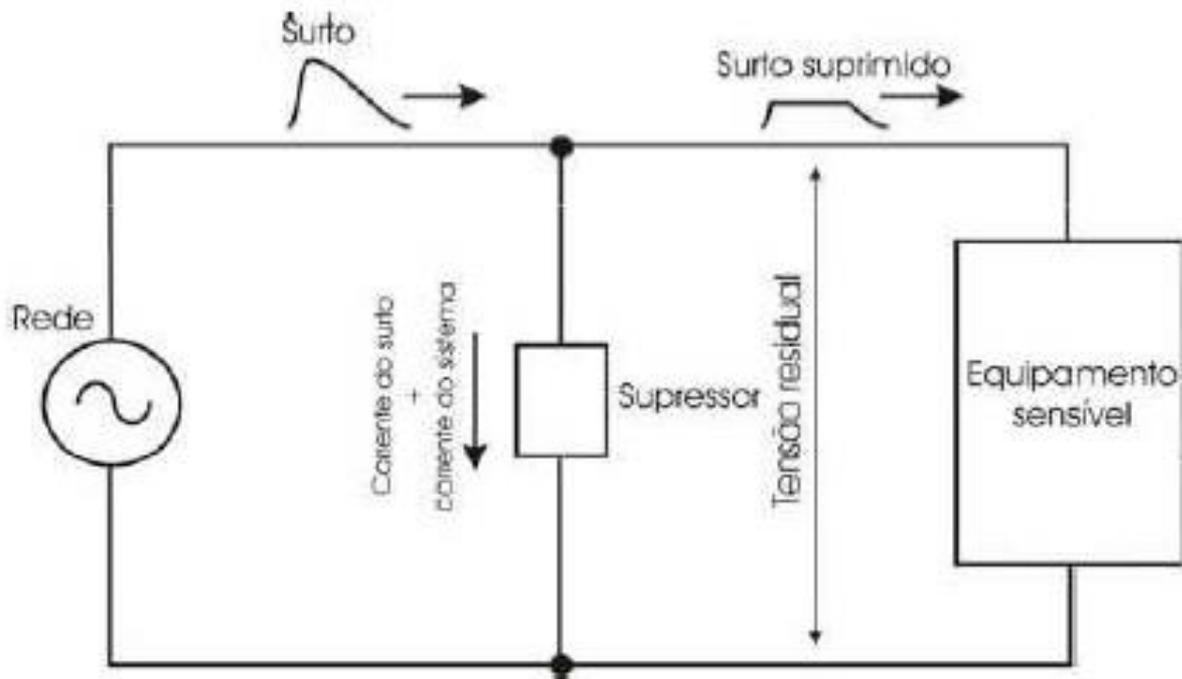
- Dentre os principais equipamentos de proteção contra sobretensões transitórias podemos citar:
 - Supressores de surto, como varistores, centelhadores, capacitores de surto, diodos tipo Zener, etc;
 - Transformadores isoladores;
 - Filtros passa baixa;
 - Para-raios (ZnO)

6. Soluções

- A proteção deve ser instalada na entrada de todos os condutores entrantes, inclusive linhas de comunicação.
- Os supressores são dispositivos de proteção que limitam as sobretensões nos equipamentos, desviando a energia para a terra e tendo a capacidade de se restabelecer ao seu estado original. É capaz de repetir essa função, conforme especificado.



6. Soluções



6. Soluções

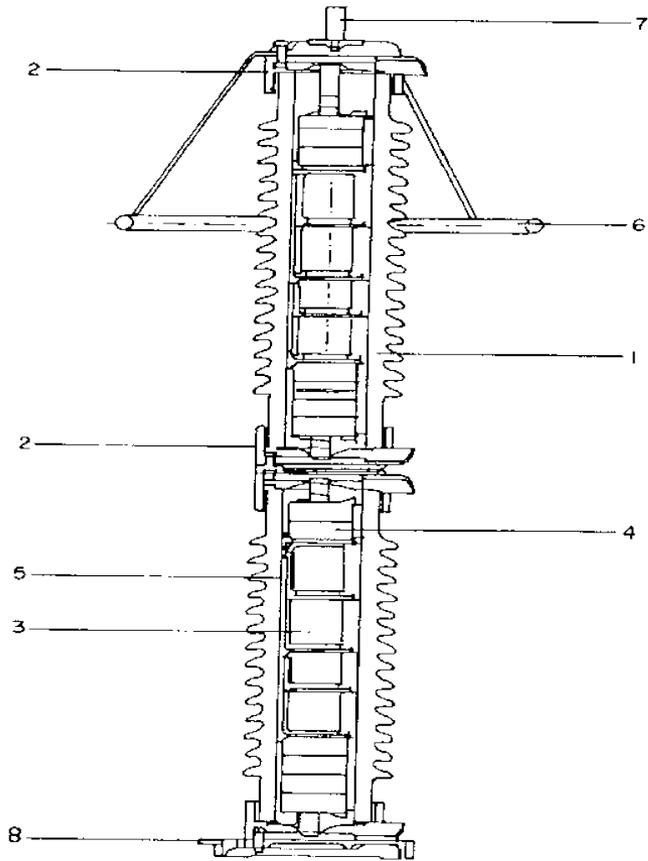


Figura 8. Seção Transversal de um Pára-Raios Convencional (BROWN BOVERI)

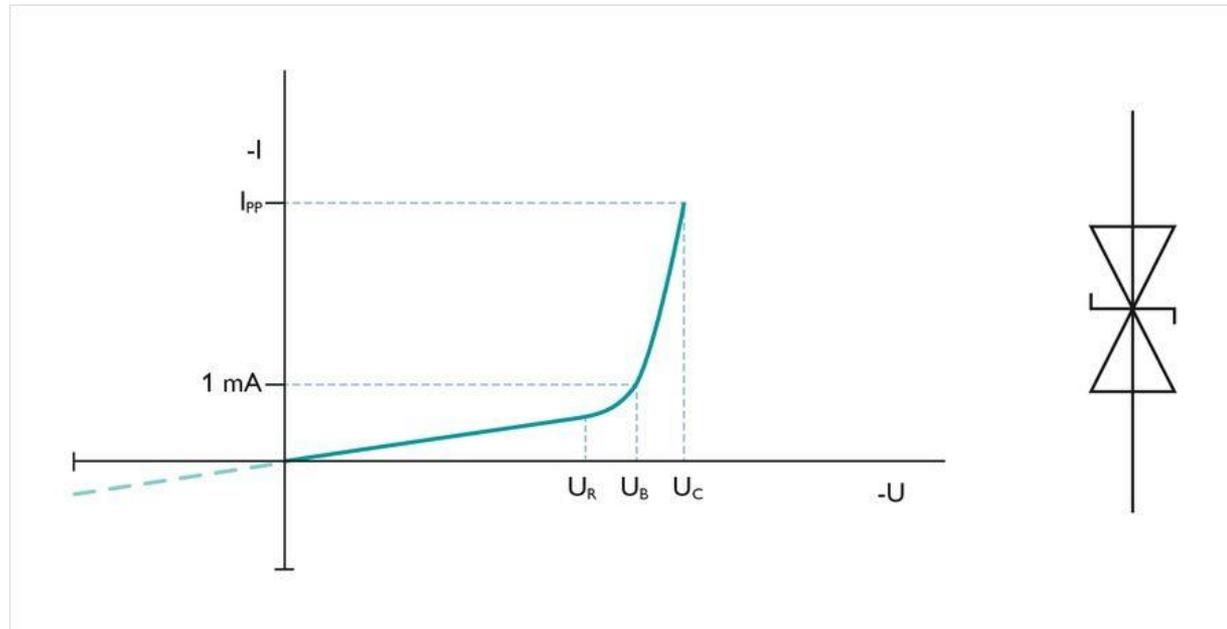


6. Soluções



6. Soluções

- Dispositivo de Proteção contra Surtos elétricos (DPS) que utiliza a tecnologia SAD (Silicon Avalanche Diode).
- Os SAD apresentam um tempo de resposta mais rápido (da ordem de picos segundos) quando comparados com outras tecnologias.



6. Soluções

- Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) do tipo varistor (limitador de tensão) e centelhador a gás (comutador de tensão) são largamente usados como componentes de proteção contra sobretensões geradas por descarga atmosférica em sistemas elétricos.
- O uso destes dispositivos exige um adequado dimensionamento e uma instalação apropriada e, mesmo assim, o risco de danos ao equipamento será diminuído, mas não eliminado.
- A indutância série do condutor que liga o DPS à terra exerce um importante papel devido à sobretensão indutiva produzida pela alta derivada da corrente de surto. Assim, esse fenômeno resulta em uma tensão sobre o DPS que pode exceder o limite suportado pelo equipamento a ser protegido causando dano ao isolamento do equipamento protegido.

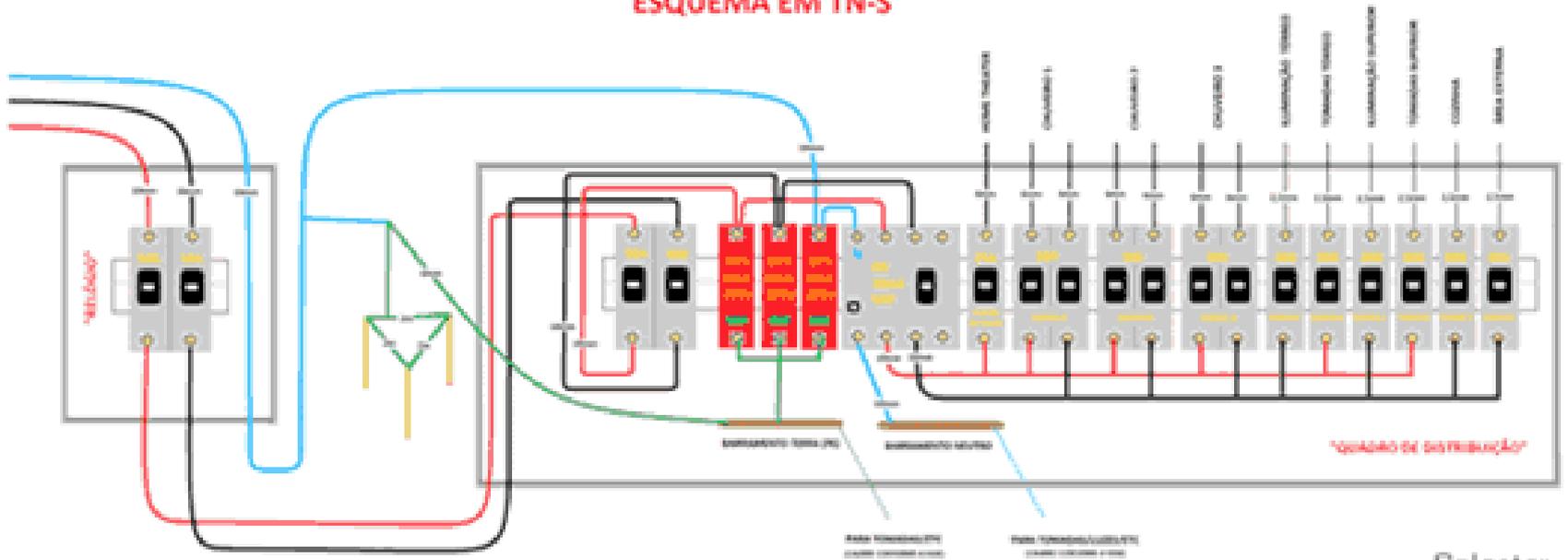
6. Soluções

- As diretrizes sobre o tema “Proteção contra sobretensões e perturbações eletromagnéticas” estão contidas no capítulo 5.4 da NBR 5410. A seção 5.4.1 trata das sobretensões temporárias e a seção 5.4.2 tratadas sobretensões transitórias.
- No parágrafo 5.4.2.1.1 são descritas as condições em que as instalações de DPS são necessárias e exigidas. São elas:
 - quando a instalação for alimentada por linha total ou parcialmente aérea, ou incluir ela própria linha aérea, e se situar em região sob condições de influências externas AQ2 (mais de 25 dias de trovoadas por ano)
 - quando a instalação se situar em região sob condições de influências externas AQ3

AQ3	Diretas	Riscos provenientes da exposição dos componentes da instalação	Partes da instalação situadas no exterior das edificações
-----	---------	--	---

6. Soluções

ESQUEMA EM TN-S



Solaster

