Boletim da Engenharia

18

Qualidade de Energia e Harmônicas nos Sistemas Elétricos 05/04

1 – Descrições Gerais

1.1 Qualidade da Energia

Entende-se como problemas com Qualidade de Energia, qualquer distúrbio ou manifestação nas formas de onda de tensão ou corrente, ou níveis de tensão, que possam provocar insuficiência, falhas de funcionamento, ou perda de propriedades nos equipamentos do sistema elétrico.

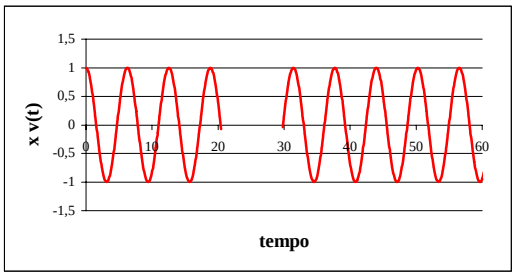
De forma geral, qualquer distúrbio em algum dos parâmetros citados considera-se um problema com Qualidade de Energia.

1.1.2 Qualidade da Energia

Define-se qualidade de energia elétrica a disponibilidade de energia elétrica com forma de onda senoidal pura, sem qualquer tipo de alteração em sua amplitude ou forma, fluindo de uma fonte de potência ilimitada.

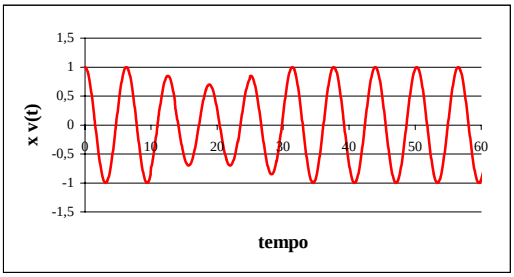
A seguir seguem algumas definições de fenômenos que influenciam negativamente na Qualidade de Energia:

- **Interrupções Transitórias:** Este tipo de interrupção é definido como sendo a perda de potência durante 0,5 ciclos ou mais;

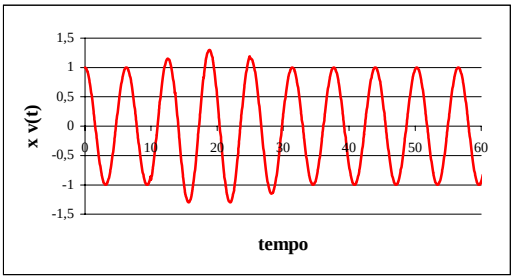


- **Variações na Tensão:** Qualquer observação na variação na forma de onda da tensão senoidal e na freqüência, com duração maior que 0,5 ciclos.

- **Variações de tensão de curta duração:** São variações que ocorrem na tensão eficaz tanto na forma de sobre-tensão como sub-tensão com durações de 0,5 a 1minuto.
- **Queda de tensão:** São variações na tensão em forma de sub-tensão que varia entre 10% a 90% com durabilidade de 0,5 a 1 minuto. Pode ocorrer por exemplo na partida de grandes motores..



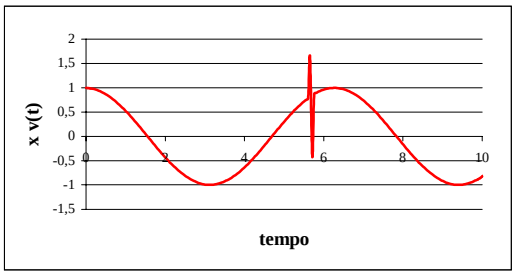
- **Elevação da tensão:** É uma variação que ocorre na tensão eficaz em forma de sobre-tensão, com duração entre 0,5 ciclo a 1 minuto. Pode ocorrer por exemplo no momento do desligamento de grandes cargas.



- **Variações de tensão de longa duração:** Elas ocorrem no valor eficaz da tensão numa duração maior que 1 minuto, normalmente são corrigidos pela utilização de estabilizadores. Podem ser causadas por exemplo pela operação de banco de capacitores super-dimensionados.

- **Variações de tensão de curta duração:** Elas ocorrem no valor eficaz de tensão num intervalo entre 0,5 a 1 minuto, e podem ser tanto em forma de sobre-tensão como em forma de sub-tensão.

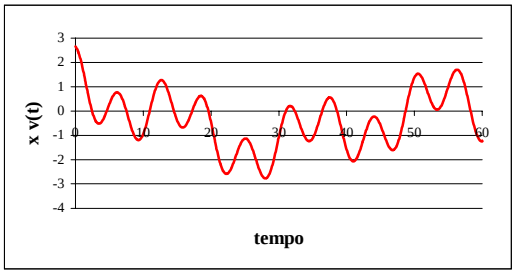
- **Surtos:** São fenômenos de origem atmosférica (descargas elétricas como por exemplo os raios de uma tempestade). São caracterizados pela sua freqüência superior a 5KHz e de duração menor que 200 microssegundos.



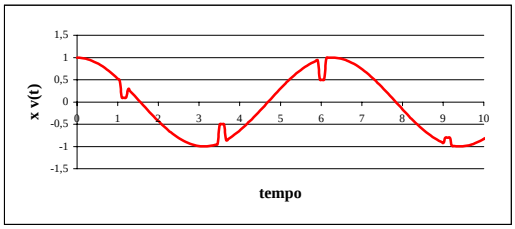
- **Distúrbios oscilatórios:** Caracterizam-se pela duração menor que 30 ciclos e pela alta freqüência de até 5KHz e baixa freqüência menor que 300Hz.

- **Distúrbios periódicos:** São os distúrbios que se manifestam periodicamente ao longo do tempo.

- **Distorções Harmônicas:** Estas distorções harmônicas caracterizam-se por serem periódicas, ocorrendo quando há a combinação de sua componente fundamental com seus múltiplos inteiros de amplitudes peculiares. Resultam da instalação de cargas não-lineares como lâmpadas de descarga, retificadores, controladores de velocidade, etc.

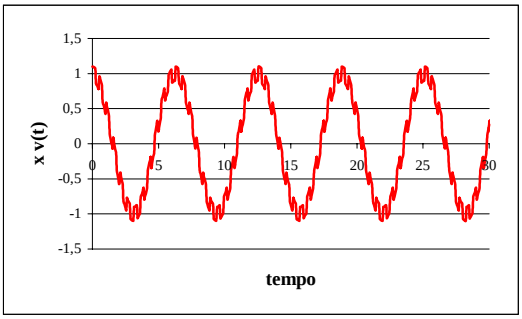


- **Corte:** São normalmente provocados por pequenos curtos-circuitos que ocorrem durante a operação de cargas não lineares e chaveamentos estáticos.



- **Cintilação:** É a visual que temos das variações luminosas das lâmpadas (principalmente as incandescentes), quando ocorrem flutuações de tensão, ou seja, quando o valor eficaz da tensão de suprimento do sistema elétrico sofre variações em torno de seu valor nominal.

- **Ruído:** É o resultado da superposição da forma de onda de tensão fundamental e uma forma de onda aleatória geralmente compreendida num intervalo de 0 a 2MHz. Normalmente esse tipo de interferência é resultado de problemas com dimensionamento, distribuição de circuitos, conexões, etc., normalmente conhecidas como problemas de fiação; problemas com a presença de arco elétrico, em geral.



- **Rádio-Interferência:** São interferências intermitentes de alta freqüência variando de 0,5 a 100MHz. A rádio-freqüência propaga-se pela atmosfera que é captada por algum componente do circuito, atingindo o consumidor em algum ponto. Pode ser causado por estações de rádio-amadores, telefonia celular, etc.

1.1.3 Fator de Potência Real

O fator de potência real considera os ângulos de fase de cada componente harmônica e a potência reativa necessária para produzi-las. É o valor que deve ser corrigido nas instalações elétricas. Deve ser calculado conforme a expressão abaixo:

$$FP = \frac{I_1 \times \cos\varphi}{\sqrt{I_1^2 + \sum_{i=2}^{n} I_i^2}}$$

Onde:
I_1 = corrente fundamental (valor eficaz – RMS)
In = corrente da harmônica “n”

Nota: Para maiores informações sobre os fenômenos relacionados a Fator de Potência consulte o Boletim da Engenharia Nº 17.

2- Harmônicas no sistema elétrico

2.1 Conceitos de Harmônicas

- **Harmônica:** Trata-se de uma componente senoidal da tensão ou corrente alternada, com uma freqüência igual a um múltiplo da freqüência fundamental. Estas quando injetadas no sistema elétrico causam diversos fenômenos que afetam o fornecimento de energia, tanto na qualidade da energia como na operação da concessionária e do próprio consumidor (principalmente as componentes da ordem de 50º harmônica).

- **Distorção harmônica total (DHT):** É a avaliação da deformação da forma de onda senoidal de tensão ou corrente que pode ser expressa por:

$$\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmáx} V_h^2}}{V_1} \times 100$$

Onde:
V1 – Tensão fundamental, expressa em Volt;
Vh - Tensão harmônica individual de ordem h, expressa em Volt;
h - Ordem harmônica considerada;
hmáx - Máxima ordem harmônica considerada;

- **Ordem da Harmônica (h):** É a razão da freqüência fundamental pela componente harmônica:

$$h = fh / f0$$

Onde:
h - Ordem harmônica considerada;
fh – Freqüência múltipla da fundamental;
f0 – freqüência fundamental.

- **Ponto de Acoplamento Comum (PAC):** Ponto onde se considera a interferência harmônica.

- **Limite de distorção harmônica:** É o máximo que cada consumidor pode inserir na rede elétrica.

- **Níveis de compatibilidade:** Valores de tensão e correntes harmônicas totais que asseguram o bom funcionamento dos equipamentos existentes na rede elétrica.

- **Limites Globais:** São os valores máximos estabelecidos para distorção harmônica total gerada pela operação global de todos os consumidores da concessionária. Garante-se com este limite a qualidade da tensão entregue.

2.2 Equipamentos elétricos produtores de Harmônicos

produzidas por vários equipamentos

Equipamento	Produz	Origem	Pertubação
Conversores trifásicos	Harmônicas	Provocado pelo chaveamento de tiristores utilizados em conversores.	Aquecimentos e perdas no rendimento de motores, capacitores e transformadores. Interferências em circuítos de telefonia, comunicação, etc.
Laminadores	Geração de harmônicas- Flutuação de tensão	Utilização de Conversores	Distorções na forma de onda de tensão e de corrente devido a não-linearidade da carga.
Ferrovias Eletrificadas	Flutuação de Tensão. Harmônicas. Desequilíbrio de tensão.	Utilização de conversores, inversores, chaveamentos estáticos	Interferências nas telecomunicações sobre-tensão ou sobre-corrente nos capacitores. Perdas de energia por efeito juole, aquecimento nos motores e geradores
Compensador Estático	Harmônicas	Devido à utilização de reatores controlados a tiristores e capacitor chaveado a tiristores.	São inumeros os efeitos indesejados provocados por este tipo de equipamento.

2.3 Efeitos provocados por distorções Harmônicas

Resumo dos efeitos provocados por harmônicas	
Equipamento	Dano causado por Harmônicas
Máquinas Síncronas	Maior nível de perdas no rendimento,e aquecimento nos enrolamentos e amortecedores.
Transformadores	Maior nível de perdas; risco de saturação na presença de harmônicas pares.
Máquinas Assíncronas	Maior nível de aquecimento, particularmente nas gaiolas duplas ou nas ranhuras profundas; torques pulsantes.
Cabos	Maior perdas ohmicas ou dielétricas, aquecimentos, fuga, etc.
Computadores	Problemas como por ex. torques pulsantes nos acionamentos das unidades de memória.
Pontes Retificadoras	Distorção da forma de onda.
relés de telecomando a 175Hz	Desarme imprevistos
Medidores de energia a indução	Precizão não confiável
Capacitores de Potência	Maior nível de aquecimento; perda de vida útil.

2.4 Limites de tensão

A seguir são demonstrados os limites globais para distorções harmônicas individuais e distorções harmônicas totais (DHT). Eles demonstram os níveis de compatibilidade e não devem ser excedidos em nenhum ponto do circuito.

U < 69KV				U > 69KV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	Valor	Ordem	Valor	Ordem	Valor	Ordem	Valor
3,5,7	5%	2,4,6	2%	3,5,7	2%	2,4,6	1%
9,11,13	3%	>6	1%	9,11,13	1,50%	>6	0,50%
15 a 25	2%			15 a 25	1%		
>25	1%			>25	0,50%		

A seguir é apresentada a tabela com níveis de distorção para cada consumidor, sendo estes níveis considerados como condições para a execução da conexão.

U < 69KV				U > 69KV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	Valor	Ordem	Valor	Ordem	Valor	Ordem	Valor
3 a 25	1,5%	todos	0,6%	3 a 25	0,6%	todos	0,3%
>25	0,7%			>25	0,4%		

2.5 Necessidade do estudo de Harmônicas

Seguem abaixo as situações que requerem uma maior atenção para o estudo de harmônicas no sistema elétrico:

- ✓ Crescimento de instalações que acrescentem uma quantidade significativa de equipamentos produtores de harmônicas em conjunto com bancos de capacitores.
- ✓ Redes onde há históricos de problemas relacionados com harmônicas, inclusive queimas excessivas dos fusíveis dos capacitores;
- ✓ Limites impostos pela concessionária que limitam a injeção de harmônicas no sistema elétrico;
- ✓ Aplicação de bancos de capacitores para sistemas em que 20% ou mais da carga total é compreendida por equipamentos produtores de harmônicas;
- ✓ Durante o projeto de uma instalação industrial composta por bancos de capacitores e equipamentos produtores de harmônicos;