

PEN-5008

Introdução à Qualidade e ao Uso Racional da Energia

Prof. Alexandre Piantini – piantini@iee.usp.br

Objetivos

Apresentar os aspectos fundamentais relacionados à qualidade e ao uso racional de energia. Introduzir os conceitos básicos pertinentes aos diferentes fenômenos que afetam a QE e apresentar os respectivos termos, definições e indicadores, bem como os impactos econômicos.

Apresentar os princípios de funcionamento de eqüips. e dispositivos elétricos, o modo como os mesmos são afetados por desvios de tensão e como tais dispositivos podem gerar distúrbios na rede elétrica.

Abordar os principais aspectos relativos à conservação de energia.

PROGRAMA

PEN 5008

1) Visão geral sobre Qualidade de Energia Elétrica

- distúrbios associados à QE (fenômenos: causas e consequências)
- efeitos sobre eqüips.
- impactos econômicos

2) Interrupções

- termos, definições e indicadores
- interrupções de curta e de longa duração: causas, origem (MT e BT), custos

3) Circuitos trifásicos

- conceitos básicos, ligações, potência em sistemas trifásicos

PROGRAMA (cont.)

PEN 5008

4) Equipamentos e dispositivos

- transformadores, geradores e motores
- sists. iluminação, lâmpadas e acessórios

5) Uso racional de energia

- considerações gerais
- eficiência energética em motores de indução trifásicos (conceitos, motores de alto rendimento)

6) Impactos da utilização de cargas eletrônicas nas redes elétricas

SEMINÁRIOS (13/09 e 20/09)

PEN 5008

SEMINÁRIO (20' + 10'):

- 1) Procedimentos de Distrib. Energia Elétrica (EE) no Sist. Elétrico Nacional (PRODIST, ANEEL) - Módulo 8 – Qualidade da EE: Qual. Produto
- 2) PRODIST, ANEEL, Módulo 8 – Qualidade da EE: Qual. Serviço
- 3) Eficiência energética em edificações
- 4) Eficiência energética em equipamentos de uso final
- 5) Custos associados a problemas de qualidade de energia
- ...

BIBLIOGRAFIA

PEN 5008

- [1] Dugan, R. C.; McGranaghan, M. F.; Santoso, S.; Beaty, H. W., *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, Second Edition, 2004.
- [2] Bollen, M. H. J., *Understanding Power Quality Problems – Voltage sags and interruptions*, IEEE Press series on power engineering, 2000.
- [3] Arrillaga, J.; Watson, N. R.; Chen, S., *Power System Quality Assessment*, John Wiley and Sons Ltd., 2000.
- [4] Baltazar, A. C. dos Santos, *Qualidade da energia no contexto da reestruturação do setor elétrico brasileiro (orientador Célio Bermann)*, São Paulo, 2007, 137 p., *Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da USP*.
- [5] Piantini, A.; Janiszewski, J. M. *Tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas - modelagem e aplicação ao cálculo de interrupções*. São Paulo, *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, 1997. 20 p. (BT/PEE/9714).
- [6] Shiga, A. A., *Avaliação de custos decorrentes de descargas atmosféricas em sistemas de distribuição de energia (orientador Alexandre Piantini)*, São Paulo, 2007, 130 p., *Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da USP*.

BIBLIOGRAFIA (cont.)

PEN 5008

- [7] Orsini, L. Q., *Curso de Circuitos Elétricos*, v. 1 e v. 2, Ed. Edgard Blücher Ltda, 1991.
- [8] Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., Kusko, A. *Máquinas Elétricas*, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1978.
- [9] Moreira, V. A. *Iluminação Elétrica*, Ed. Edgard Blücher Ltda, 1999.
- [10] Mamede Filho, J. *Instalações Elétricas Industriais*, 6ª. edição, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1995.
- [11] D'Ajuz, A. e outros. *Equipamentos Elétricos*, FURNAS, Editora Universitária - Universidade Federal Fluminense, 1985.
- [12] Santos, A. H. M. e outros. *Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*, Editora de EFEI, Itajubá, 2001.
- [13] ANEEL / ANP, *Eficiência Energética – Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios*, ANEEL / ANP, Brasília, 1999.
- [14] Ramos, M. C. E. S., *Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos: estudos de caso*, São Paulo, 2005, 93 p., *Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo*.

INTRODUÇÃO

PEN 5008

Disponibilidade EE → ↑ qual. vida (conforto, emprego, produção ...)

Benefícios da EE passam a fazer parte do dia-a-dia → discussão quanto à QEE. A questão da QEE como um produto comercial, independente/ de interrupções, não é evidente e normal/ só é percebida de forma difusa, através de falhas funcionamento de equips.

A questão da QEE aparece quando os consums. constatarem interrupções. (+ sofisticados → outros fatores começam a ser considerados).

INTRODUÇÃO

PEN 5008

Até final da década de 70, 3 tipos de consums.: Res., Com., Ind.

Res.: salvo exceções, carga plena/ resistiva (grandes cargas: chuveiros elétricos e ferros de passar roupas). Equips eletrônicos: 1 TV.

Apesar de haver carga RL (motor do refrig.), a EE era consumida por uma carga basicamente resistiva.

Atualmente: consums., inclusive resid., têm diversas cargas comandadas eletrônica/. Cargas eletrônicas, cada vez mais presentes, são intrinsecamente não-lineares → distorções nas f.o. (U e I) → "poluem" a rede elétrica, gerando diversos tipos de distúrbios (mas também sofrem diretamente c/ má QEE).

INTRODUÇÃO

PEN 5008

QE: conceito amplo, abrange vários tipos de distúrbios em SEPs.

Questões não são necessariamente novas.

Atual/: abordagem sistêmica ao invés de problemas isolados.

- 1) Equip. c/ controles baseados em microprocessadores e disps. de eletrônica de potência
- 2) Ênfase crescente na eficiência dos SEPs → acionamentos veloc. variável p/ motores, capacitores p/ correção de FP (↓ perdas) → ↑ nível das harmônicas
- 3) Conscientização crescente dos consumidores sobre QE
- 4) Equip. em rede → processos integrados → falha de 1 comp. → sérias conseqs.

INTRODUÇÃO

PEN 5008

Busca (clientes das concessionárias) pelo ↑ produtividade

Fabricantes: máquinas + rápidas, produtivas e eficientes.

Concessionárias apóiam o esforço, pois podem postergar invest. em SE's / geração.

Equip. p/ ↑ produtividade: geral/ são os que + sofrem com distúrbios na rede elétrica. Frequente/ fontes de problemas de QE.

Processos automatizados: operação eficiente das máquinas e controles é + dependente da QE.

QEE - CONCEITO

PEN 5008

Definições diferentes, dependendo do pto. vista.

Ex. 1 – Concessionária pode definir QE como confiabilidade e apresentar dados estats. demonstrando que o sist. é 99,98% confiável.

Ex. 2 - Fabricante de equps. pode definir QE como as caracts. da rede elétrica que possibilitam o equip. funcionar adequada/. Tais caracts. podem divergir bastante de acordo com os diferentes critérios.

QEE - CONCEITO

PEN 5008

Disponibilidade de energia elétrica com tensões de suprimento equilibradas, senoidais, com amplitude e frequência constantes.

Souto, O. C. N. *et al.*, "Efeitos da Qualidade da Energia sobre a Operação de Motores Trifásicos", II SBQEE, 1997.

Problema de QE:

Qualquer problema de energia manifestado na tensão, corrente ou desvios de freq. que resulte na falha ou operação incorreta dos equps. do consumidor.

SITUAÇÃO IDEAL

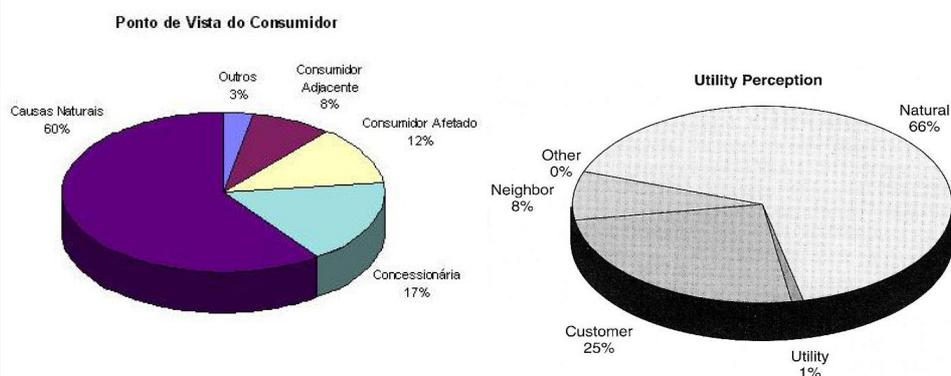
PEN 5008

- Tensões e correntes senoidais ($THD_v = 0$ e $THD_i = 0$)
- Freq. constante ($\Delta f = 0$)
- Tensão constante em seu valor nominal ($\Delta V = 0$)
- Continuidade de serviço (DEC, FEC = 0)
- Sem fenômenos transitórios

QEE – PERCEPÇÕES DOS PROBLEMAS

PEN 5008

As percepções das concessionárias e dos consumidores são geral/ bem diferentes.



Estudo realizado pela Georgia Power Company – causas de problemas de QE

QEE – PERCEPÇÕES DOS PROBLEMAS PEN 5008

Muitos eventos que causam problemas aos usuários finais nunca aparecem nas estatísticas.

Ex: equip. consumidor industrial desligado 30 vezes no período de 9 meses. Dados da concessionária: 5 operações do disjuntor da SE.

- chaveamento de capacitores → sobretensões de manobra

- falta → sag em outra parte do sist.

→ falha em equip. e interrup. processo industrial
(s/ que a concessionária perceba)

Componentes eletrônicos podem se degradar devido a transitórios repetidos e falhar devido a um evento de amplitude relativa/ baixa.

→ Às vezes pode ser difícil associar uma falha a uma causa específica.

QEE – PERCEPÇÕES DOS PROBLEMAS PEN 5008

Nem sempre a melhor opção é eliminar o problema do lado da concessionária.

Muitas vezes: ↓ sensibilidade do equip. a variações de QE.

Nível de QE requerido: aquele que resulta na operação adequada do equip. no local onde está instalado.

É difícil quantificar a QE. Existem normas e parâmetros que podem ser medidos, mas a QE é determinada pelo desempenho e produtividade do equip. do consumidor final.

Se a energia é inadequada às necessidades → falta “qualidade”.

“Blinking clock”: display de relógios digitais – uma das primeiras formas de monitorar QE (relógios + antigos, com motores, simplesmente atrasavam alguns segundos).

QE – QUESTÃO ECONÔMICA

PEN 5008

- Problemas de QE causam impactos econômicos nas concessionárias, consumidores e fornecedores de eqüips.:
 - concessionárias não querem perder seus clientes;
 - consumidores industriais utilizam eqüips. c/ controles eletrônicos (→ + sensíveis). Não rara/ uma op. comum disjuntor da concessionária → prejuízo de US\$10,000 p/ indústria que tem a sua linha de produção interrompida e leva 4 h p/ reiniciar;
 - fornecedores não têm incentivo para construir eqüips. que suportem distúrbios comuns (mercado competitivo, consumidores compram pelo < preço);
 - consumidores residenciais (custos intangíveis ...).

QE – QUESTÃO ECONÔMICA

PEN 5008

A sensibilidade dos eqüips. aos distúrbios de QE (DQE) tem ↑ devido à prolif. eqüips. digitais. Os custos de mitigação também.

Consequências dos DQEs:

- perda de dados e de produção
- desperdício de E devido a sobreaquecimento
- ↓ eficiência e vida útil de eqüips. (funcion. fora das especifics.)
- danos permanentes (“queima” de eqüips.)
- perda de conforto e conveniência

Estima-se que cerca de € 10 bilhões / ano são perdidos na UE devido a DQEs. Menos de 5 % desse valor são investidos em medidas preventivas.

(Chapman, 2001)

QE – QUESTÃO ECONÔMICA

PEN 5008

Quanto custa a má qualidade de energia?



US\$50 bilhões por ano foram gastos nos EUA como resultado de interrupções por qualidade de energia

Fonte: Bank of America Report

Uma empresa fabricante perdeu mais de US\$ 3 milhões num único dia no vale do Silício (Califórnia, EUA)

Fonte: New York Times, January, 2000

“Um afundamento de tensão em indústria de papel pode levar à perda de um dia inteiro de produção — US\$250.000”

Fonte: Busines Week, June 17, 1996

Metade dos problemas com computadores e um terço de todas as perdas de dados têm como fonte a rede de alimentação.

Fonte: Contingency Planning Research, LAN Times

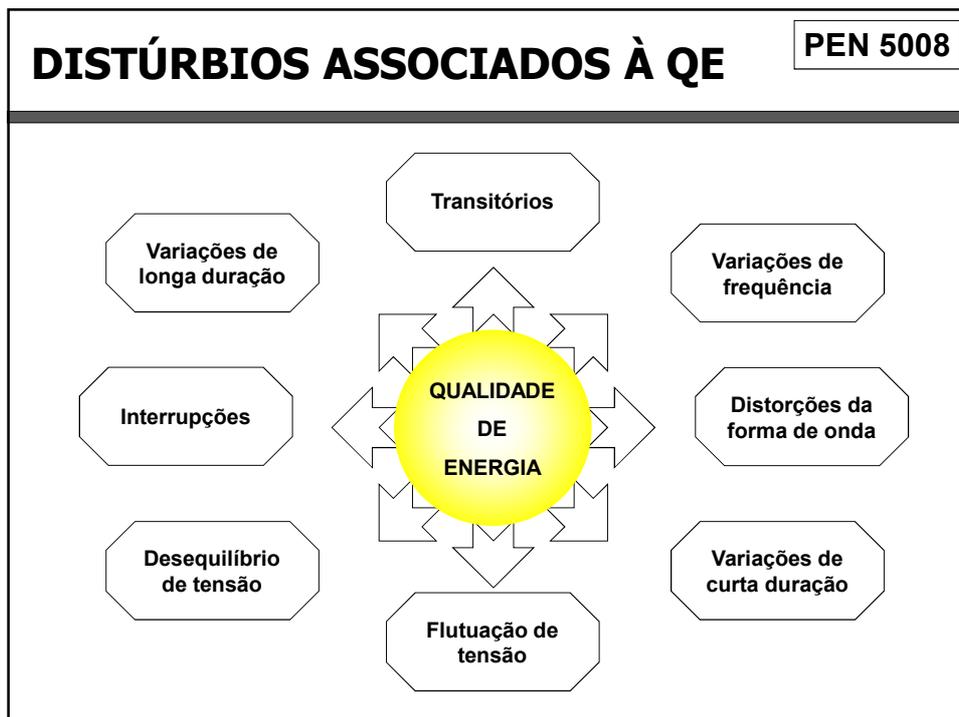
FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

PEN 5008

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5-ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1-s rise	50 ns–1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1-ms rise	>1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	<5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 s	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 s	0–4 pu
2.0 Short-duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Interruption		0.5–30 cycles	<0.1 pu
2.1.2 Sag (dip)		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.3 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		30 cycles–3 s	<0.1 pu
2.2.2 Sag (dip)		30 cycles–3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles–3 s	1.1–1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s–1 min	<0.1 pu
2.3.2 Sag (dip)		3 s–1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s–1 min	1.1–1.2 pu
3.0 Long-duration variations			
3.1 Interruption, sustained		>1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		>1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		>1 min	1.1–1.2 pu
4.0 Voltage unbalance		Steady state	0.5–2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		Steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–100th harmonic	Steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–6 kHz	Steady state	0–2%
5.4 Notching		Steady state	
5.5 Noise Broadband		Steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	<25 Hz	Intermittent	0.1–7% 0.2–2 Pst
7.0 Power frequency variations		<10 s	

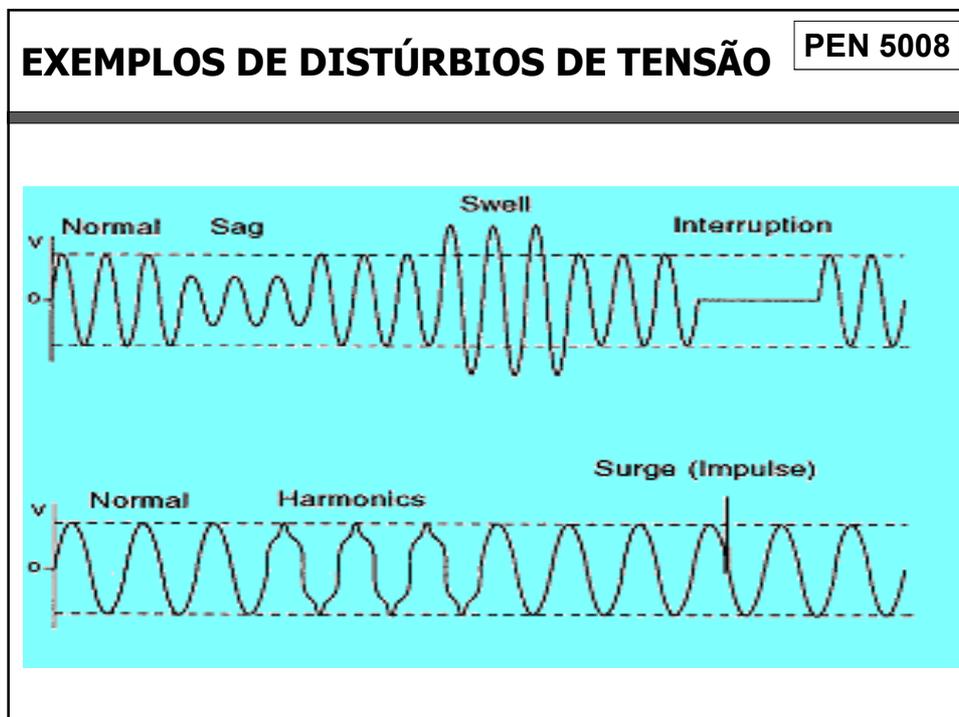
DISTÚRBIOS ASSOCIADOS À QE

PEN 5008



EXEMPLOS DE DISTÚRBIOS DE TENSÃO

PEN 5008



AVALIAÇÃO DE PROBLEMAS DE QE

PEN 5008

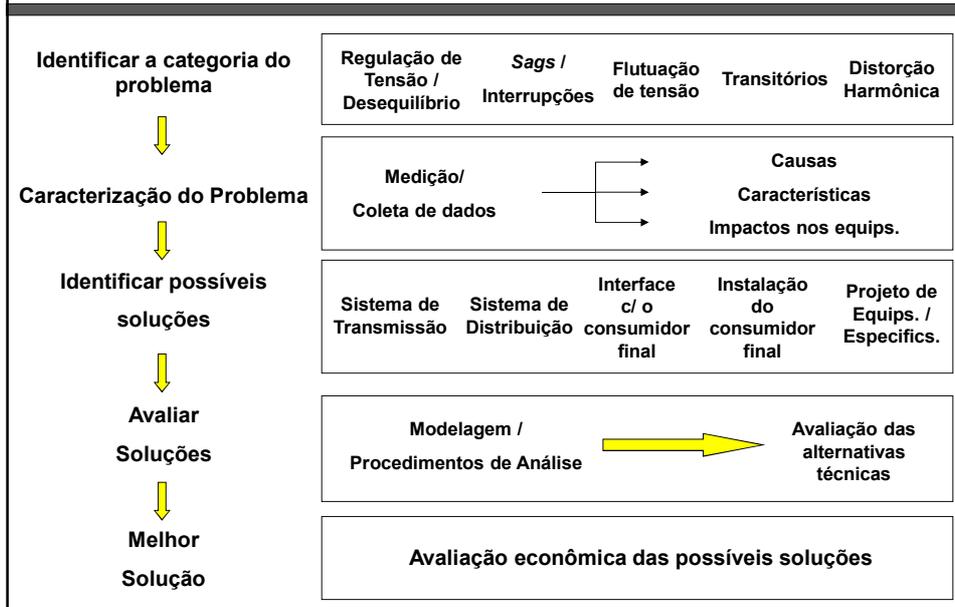
O proced. geral deve considerar se o problema já existe ou se poderia resultar de novo projeto ou de alterações no sistema.

Medições: básicas (método primário) p/ caracterização do problema ou do sistema sob análise.

Durante as medições é importante registrar simultanea/ os impactos das variações QE, de modo que os problemas possam ser correlacionados c/ possíveis causas.

AVALIAÇÃO DE PROBLEMAS DE QE

PEN 5008



Variações de Tensão de Longa Duração

PEN 5008

Desvios do valor eficaz (freq. industrial), c/ duração > 1 min

(ANEEL: **3 min**)

- **Sobretensão**
 - ↑ do valor eficaz (> 110 %) de freq. industrial
 - Causas: deslig. de grandes cargas, energização de bancos de capacitores
- **Subtensão**
 - ↓ do valor eficaz (< 90%) de freq. industrial
 - Causas: conexão de grandes cargas, desconexão de bancos de capacitores, circuitos sobrecarregados
- **Interrupções Sustentadas**
 - tensão ≈ 0 V
 - são em geral permanentes e requerem intervenção humana

Variações de Tensão de Curta Duração

PEN 5008

Desvios signific. no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo (< 1 min)

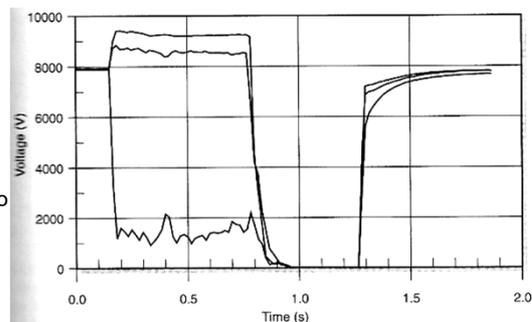
(interrupções, afundamentos (*sags*) e elevações (*swells*) de tensão)

Classificação: instantâneas, momentâneas ou temporárias

ANEEL: momentâneas (1 ciclo $\leq t \leq 3$ s) ou temporárias (3 s < t < **3 min**)

⊙ Interrupções

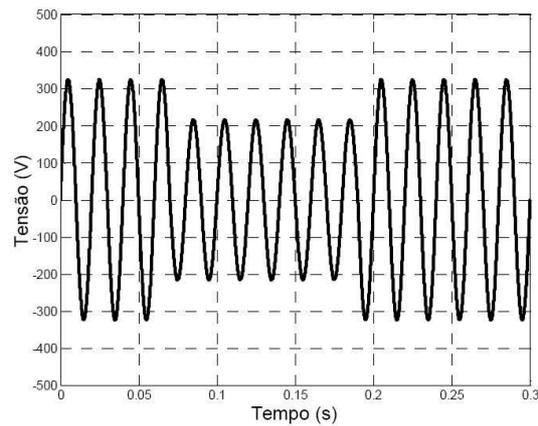
- Tensão $\leq 0,1$ p.u.
- Principais causas:
 - faltas no sist. elétrico
 - falhas de eqüips.
- Duração determinada pelo tempo de operação do equip. proteção
- Faltas no sist. podem causar interrupç. precedidas por *sags*



Interrupção momentânea

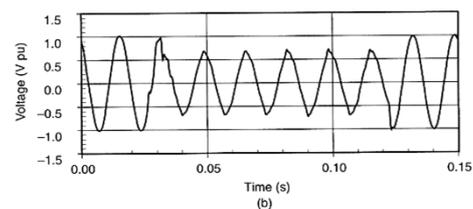
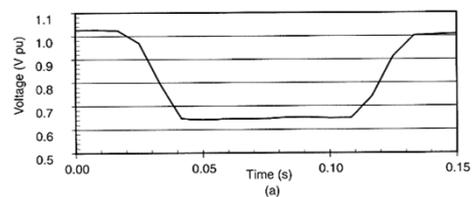
SAGS (DIPS) – AFUNDAMENTOS DE TENSÃO**PEN 5008**

Afundamentos de tensão com amplitudes variando entre 0,1 p.u. e 0,9 p.u. e c/ duração entre 0,5 (1) ciclo e 1 (3) minuto(s).

**SAGS****PEN 5008****Causas:**

- faltas no sist. elétrico (+ comum)
- energização de grandes cargas
- partida de grandes motores

Ex.: sag causado por falta fase-terra em outro alimentador de uma mesma SE

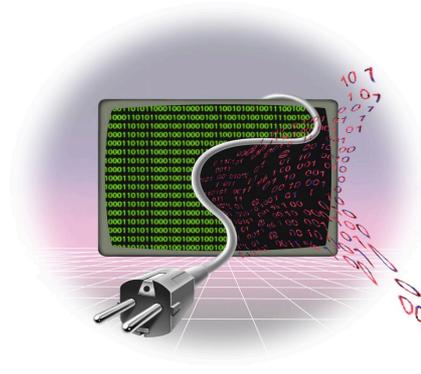


SAGS - EFEITOS EM EQUIPS.

PEN 5008

- Perdas de dados
- erros de processamento
- falhas em acionamentos de veloc. variável
- ↓ vida útil de motores
- deslig. de eqips.

Reset em eqips. eletrônicos como cd-players, videocassetes, computs., alarmes, fornos de microondas etc.

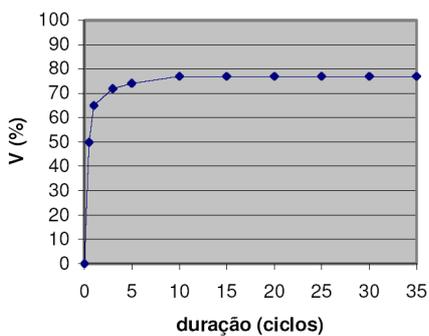
**SAGS - EFEITOS EM EQUIPS.**

PEN 5008

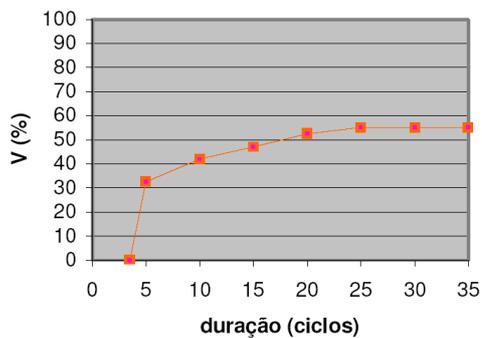
- **contatores e relés eletromecânicos: desarmam com tensões entre 50 % e 70 % de V_N ;**
- **controladores lógicos programáveis: em geral desligam c/ 90 % V_N ;**
- **lâmpadas de descarga de alta intensidade e alta pressão: c/ valores de tensão $\approx 80 \% V_N$ a descarga se extingue → tempo p/ resfriamento e retorno ao funcionamento.**

SAGS - EFEITOS EM EQUIPS.

PEN 5008

Curvas de suportabilidade

Lâmpada de Vapor de Mercúrio 80 W

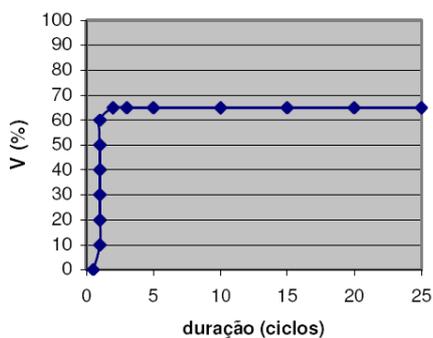


Lâmpada de Vapor de Sódio 100 W

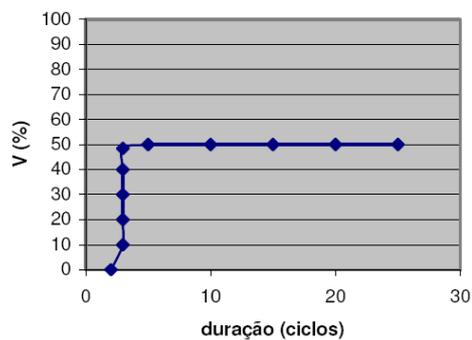
Fonte: Lourenço (2008)

SAGS - EFEITOS EM EQUIPS.

PEN 5008

Curvas de suportabilidade

Contator 1



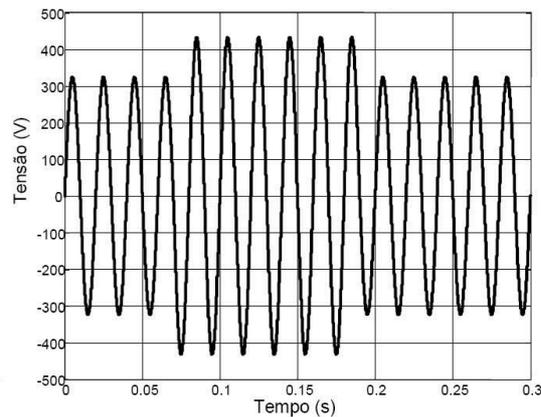
Contator 2

Fonte: Lourenço (2008)

SWELLS – ELEVAÇÃO DE TENSÃO

PEN 5008

Elevações de tensão com amplitudes superiores a 1,1 p.u. e c/
duração entre 0,5 (1) ciclo e 1 (3) minuto(s).



SWELLS

PEN 5008

- **Causas:**
 - faltas no sist. elétrico (+ comum)
 - deslig. de grandes blocos de carga
 - energização de bancos de capacitores
 - atuação de reguladores de tensão
- Ex.: elevação de tensão nas fases sãs devido a falta fase-terra (a severidade depende da localiz. da falta e da impedância do sist. aterramento).

SWELLS - EFEITOS EM EQUIPS.

PEN 5008

- Operação inadequada de relés
- ↓ vida útil de cabos, transformadores, disps. de chaveamento e máquinas rotativas
- perda de dados em disps. de armazenamento
- dependendo da freq. e da amplitude, podem inutilizar permanente/ componentes eletrônicos

FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

PEN 5008

Variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão.

Cargas que provocam, continuamente, variações rápidas da amplitude da corrente (grandes cargas industriais como fornos a arco – causa mais comum -, uso de eqüips. como britadeiras, escavadeiras).

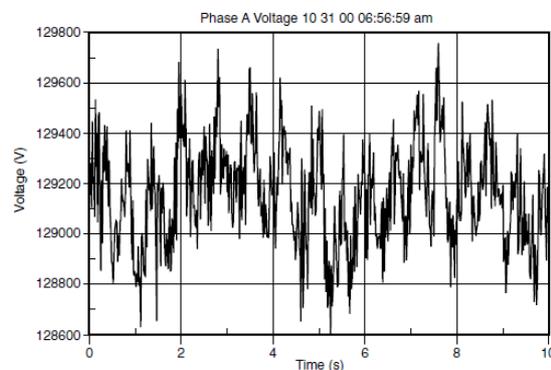


Figure 2.12 Example of voltage fluctuations caused by arc furnace operation.

Electrical Power Systems Quality, 2nd Edition, McGraw Hill, 2004

FLUTUAÇÕES DE TENSÃO – (*FLICKER*)

PEN 5008

O fenômeno designado cintilação luminosa (*flicker*) se refere à percepção, pelo olho humano, das variações luminosas provocadas pela flutuação da tensão de alimentação.

- ***Flicker***: fenômeno visual definido pela magnitude do valor eficaz (do sinal de *flicker*) expresso em % da fundamental
- Intensidade de 0,5% pode ser perceptível ao olho humano se a freq. estiver na faixa de 6 Hz a 8 Hz

Flicker (ambiente doméstico): condicionadores de ar, impressoras a laser...

DISTORÇÕES NA FORMA DE ONDA

PEN 5008

Desvios da onda (freq. industrial) em rel. à ideal.

- Nível DC (*DC offset*)
- Harmônicas
- Inter-harmônicas
- Cortes na tensão ("*Notching*")
- Ruído

DISTORÇÕES NA FORMA DE ONDA

PEN 5008

- **DC offset**

- tensão ou corrente DC em sist. AC
- conseq. de um distúrbio geomagnético ou assimetria de conversores de potência eletrônicos
- transfs.: pode causar saturação → aquecimento e ↓ vida útil
- corrente DC → corrosão eletrolítica em eletrodos de aterramento

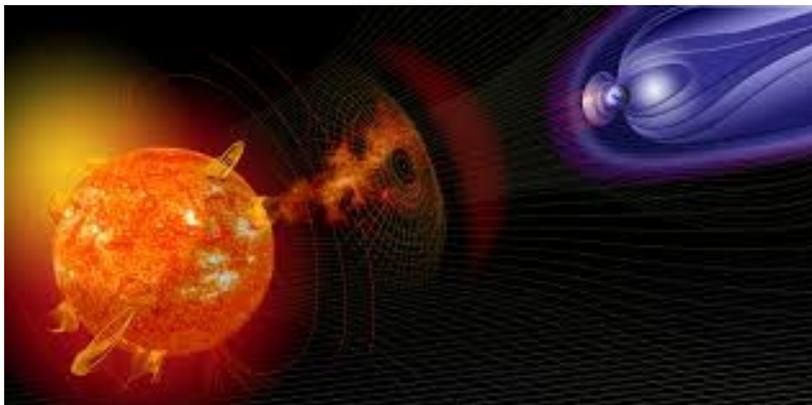
- **Harmônicas**

- tensões ou correntes senoidais com freqs. múltiplas inteiras da freq. operação do sist.
- causas: caracts. não-lineares das cargas e eqüips. do sist.

ANEEL: distorções harmônicas são fenômenos associados c/ deformações nas f.o. das tensões e correntes em relação à onda senoidal da freq. fundamental.

Distúrbios Geomagnéticos

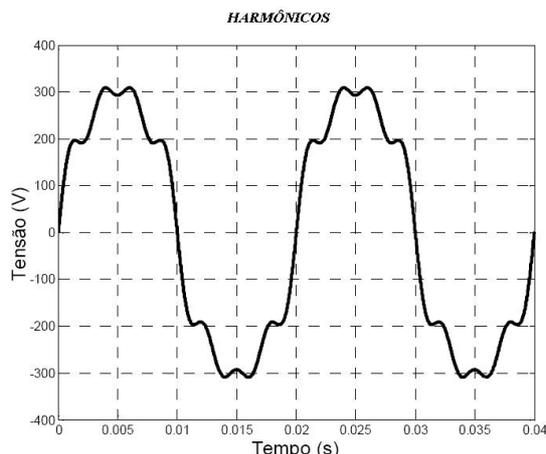
PEN 5008



HARMÔNICAS

PEN 5008

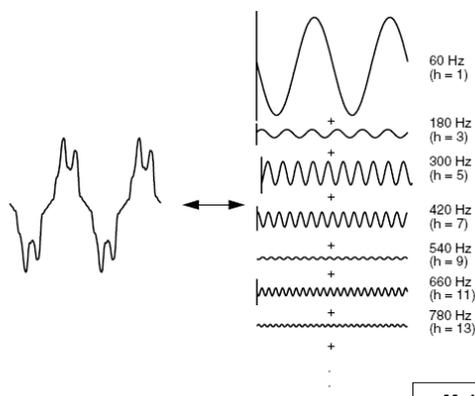
Distorção da forma de onda em regime permanente devido à presença de freqs. múltiplas da fundamental.



HARMÔNICAS

PEN 5008

Formas de onda distorcidas podem ser decompostas em uma somatória da freq. fundamental e harmônicas.



- THD (DTT - distorção harmônica total): expressa como % da I (ou V) de freq. fundamental

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1}$$

- Total demand distortion (TDD): expressa como % da I_N da carga

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_L}$$

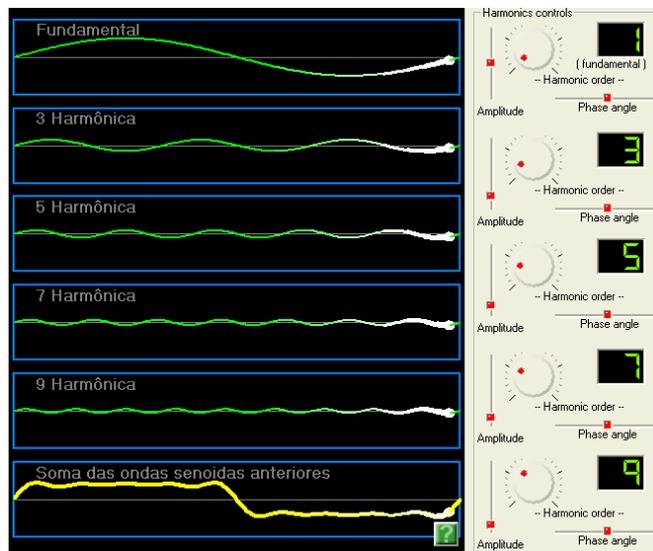
Onda de corrente distorcida devido à presença de harmônicas

Electrical Power Systems Quality, 2nd Edition, McGraw Hill, 2004

Muitos acionamentos veloc. variável apresentam THD elevada p/ I quando operam c/ cargas muito leves (não necessaria/ um problema, pois I é baixa).

HARMÔNICAS

PEN 5008



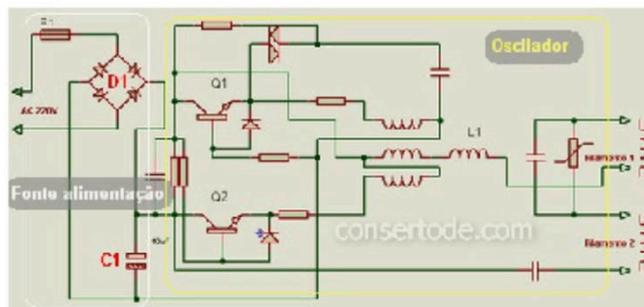
Fonte: Power Standards Lab.

HARMÔNICAS

PEN 5008

- CAUSAS:**
- lâmpadas fluorescentes - reatores eletrônicos
 - acionamentos de veloc. variável de motores
 - retificadores, fornos a arco, transformadores
 - outros eqüips. ou cargas não lineares

Reator eletrônico
de lâmpada
fluorescente
(circuito
simplificado)



www.consertode.com

HARMÔNICAS

PEN 5008

PRINCIPAIS EFEITOS:

- sobreaquecimento de cabos e equips.
- aquecimento, vibrações e ↓ eficiência de motores
- perdas no Fe (transfs.) e veloc. rot. (motores): prop. à freq.
- operação indevida de relés, disjuntores e fusíveis

INTER-HARMÔNICAS

PEN 5008

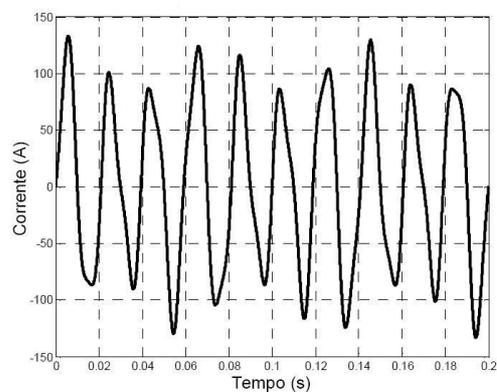
Tensões ou correntes senoidais com freqs. não múltiplas inteiras da freq. operação do sistema.

Causas:

Cargas que, além de serem não-lineares, também variam ao longo do tempo (→ produzindo distorções variáveis no tempo)

Exemplos:

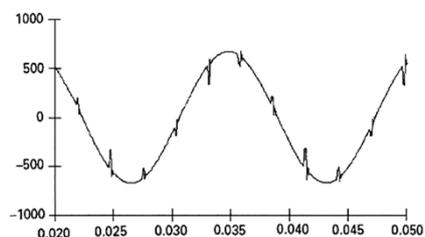
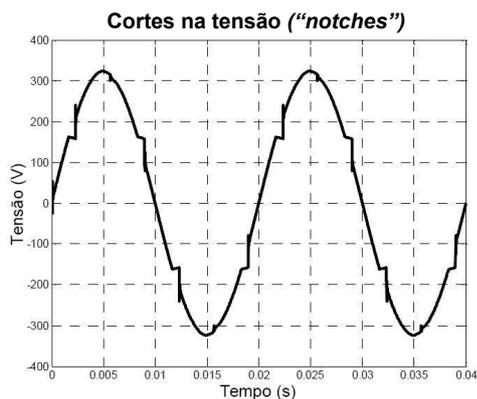
- conversores (inversores) de freq. estáticos
- ciclo conversores
- fornos de indução
- dispositivos a arco



Cortes na Tensão (“Notching”)

PEN 5008

Distúrbios periódicos de tensão causados pela operação normal de disps. de elet. potência quando a corrente é comutada de uma fase para outra.



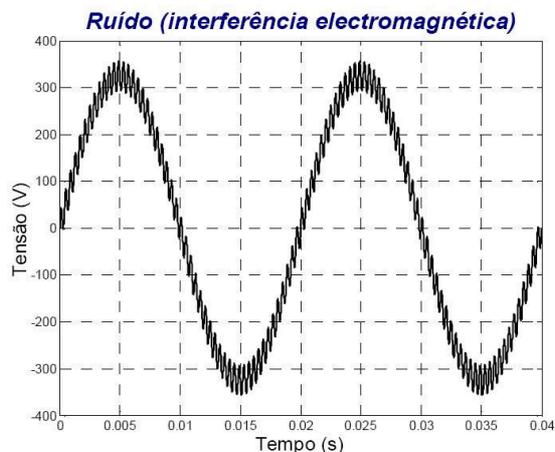
Voltage notching. Causa: retificador trifásico

Electrical Power Systems Quality, 2nd Edition, McGraw Hill, 2004

RUÍDO

PEN 5008

Sinal elétrico indesejado com conteúdo espectral inferior a 200 kHz que se sobrepõe a tensões e correntes.



RUÍDO

PEN 5008

Qualquer distorção no sinal que não possa ser classificada como distorção harmônica ou transitória.

Causas:

- eqs. de eletrônica de potência
- circuitos de controle
- eqs. a arco
- cargas com retificadores de estado sólido
- fontes chaveadas

Afeta dispositivos eletrônicos (microcomputadores, controladores programáveis, ...)

Mitigação: filtros, transf. isolamento

TRANSITÓRIOS

PEN 5008

Distúrbios que resultam em aumento rápido e agudo de tensão.

Classificação:

- Impulsivos
- Oscilatórios
 - baixa freq.
 - média freq.
 - alta freq.

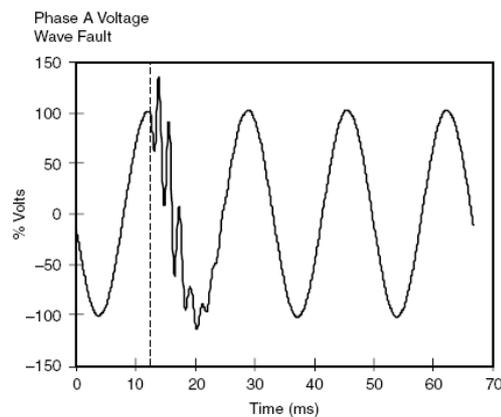


Figure 4.2 Typical utility capacitor-switching transient reaching 134 percent voltage, observed upline from the capacitor.

Electrical Power Systems Quality, 2nd Edition, McGraw Hill, 2004

TRANSITÓRIOS

PEN 5008

PRINCIPAIS CAUSAS:

- descargas atmosféricas
- energização e religamento de linhas
- manobras de grandes cargas e bancos de capacitores

PRINCIPAIS EFEITOS:

- travamento, perda de memória e erros de processamento
- queima de placas eletrônicas, falhas e danos em equips.

TRANSITÓRIOS OSCILATÓRIOS

PEN 5008

- Não provocam mudanças na freq. do sinal
- Polaridade positiva e negativa

Baixa Freq.
(< 5 kHz - 0,3 a 50 ms)

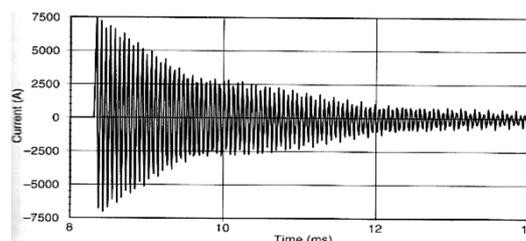
- Sists. distrib. e subtransmissão
- energização de bancos caps., ferrorressonância

Média Freq.
(5 a 500 kHz - dezenas μ s)

- resultado da resposta do sist. a transit. impulsivo
- chaveamento de caps.

Alta Freq.
(> 500 kHz - μ s)

- muitas vezes são o resultado da resposta do sist. a transit. impulsivo



Chaveamento de banco de capacitores

Electrical Power Systems Quality, 2nd Edition, McGraw Hill, 2004

TRANSITÓRIOS IMPULSIVOS (SURTOS)

PEN 5008

- Principal causa: descargas atmosféricas
 - não provocam mudanças na freq. do sinal
 - unidirecionais
 - caracterizados pelos tempos de subida e descida
- Podem ser conduzidos pela rede
- Podem produzir transitórios oscilats.

EFEITOS

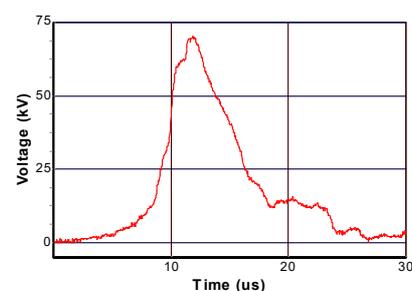
- queima de placas de computadores e de rede, HD, fontes de alimentação, *hubs*, fiação de rede, telefones, *modems* etc.

TRANSITÓRIOS IMPULSIVOS (SURTOS)

PEN 5008

17/03/2002, 16h47'

d = 61 m



DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

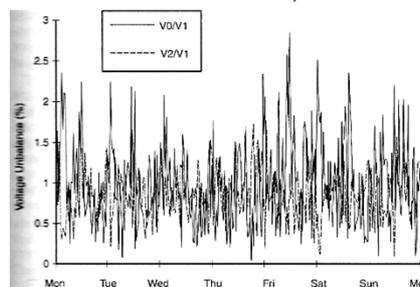
PEN 5008

Máximo desvio da média da tensão ou corrente trifásica dividido pela média da tensão ou corrente trifásica (expresso em %).

ANEEL: fenômeno associado a alterações dos padrões trifásicos do sist. distribuição.

- Definição mais rigorosa (em normas) utiliza componentes simétricas: (V_{-} / V_{+})
- Desequilíbrios < 2% são causados principal/ por cargas 1F não distribuídas igual/ em circuitos 3F ou por grandes cargas 1F (+ comum)
- Podem ser causados por queima do fusível de 1 fase de um banco caps. 3F
- Deseqs. severos (> 5 %) podem resultar da perda de 1F. Problema p/ motor ind. 3F
- Causam ↑ corrente nos enrolamentos motores → aquecimento e ↓ vida útil

Alimentador residencial, 1 semana



VARIAÇÕES NA FREQUÊNCIA

PEN 5008

- Desvios da freq. fundamental (50 ou 60 Hz)**
- f é relacionada direta/ com a veloc. rotação dos geradores do sist.
- Pequenas variações ocorrem quando muda o equilíbrio dinâmico entre a carga e a geração
- O grau de variação da freq. (e a duração) depende das caracts. da carga e da resposta do sist. controle da geração às variações da carga
- Variações severas são devidas a faltas no sist. transmissão, deslig. de grande bloco de carga ou deslig. de grande gerador
- Ex.: variação da freq. em barramento de 13 kV de SE típica em período de 24 h

Sists. interligados x isolados

