

Aula 11 – Harmônicos: regulamentos e normas



Prof. Heverton Augusto Pereira

Prof. Mauro de Oliveira Prates

Universidade Federal de Viçosa - UFV

Departamento de Engenharia Elétrica - DEL

Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência – Gesep

heverton.pereira@ufv.br

www.gesep.ufv.br

TEL: +55 (31) 3899-3266

Introdução

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Regulamento Técnico diz respeito a documento aprovado por órgãos governamentais, com inclusão das disposições administrativas aplicáveis e cuja observância é obrigatória

PRODIST

por: SRD - publicado: 12/01/2016 13:58, última modificação: 10/01/2017 15:35

Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

Introdução

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Normas Técnicas são documentos que contém especificações técnicas desenvolvidas para serem utilizadas consistentemente como regra, diretriz limites ou definição. Comitês de fabricantes, organizações de pesquisa, departamentos governamentais e consumidores trabalham em conjunto para criar as normas. Usadas em complemento à regulamentação. Ex. de instituições: IEC, IEEE, ABNT, etc.

**NORMA
BRASILEIRA**

**ABNT NBR
14519**

Segunda edição
25.11.2011

Válida a partir de
25.12.2011

**Medidores eletrônicos de energia elétrica —
Especificação**

Electronic meters of electric energy — Specification

Introdução

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- ✓ A avaliação da conformidade da QEE compreende todo procedimento utilizado para determinar que se cumpram as prescrições pertinentes dos regulamentos técnicos ou das normas.
- ✓ Para aferir a QEE, padrões de referência são definidos por diferentes organizações para diferentes tipos de fenômenos elétricos.

Principais organizações

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Grupos americanos de normas e procedimentos:

- IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*): neste as normas de QEE são desenvolvidas por Grupos de Trabalho ou Forças-Tarefas, sob o subcomitê SCC-22 *Standards Coordinating Committee on Power Quality*.
- NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*): é uma associação comercial de fabricantes de produtos de toda cadeia do setor elétrico, desde a geração ao usuário final. Tem mais de 500 normas publicadas, *white papers* (minutas) e artigos técnicos.

Principais organizações

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- NEC (*National Electrical Code*): norma voltada à segurança de instalações elétricas;
- ANSI (*American National Standards Institute*): a aprovação de uma norma americana (EUA) requer verificação e aprovação deste instituto

Principais organizações

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Grupos europeus de normas:

- IEC (*International Electrotechnical Commission*): Normas de QEE são desenvolvidas pelo comitê de estudo SC77A.
- Cigré (*Congres Internationale des Grand Réseaux Électriques a Haute Tension*): o comitê SC C4 é responsável pelo estudo da QEE.
- EM (*European Normalization*): normas técnicas, reconhecidas pela União Europeia, desenvolvidas por diferentes organizações, sem fins lucrativos, como:
 - CEN (Comitê Europeu de Normatização) :
 - CENELEC (Comitê Europeu de Normatização

Eletrotécnica)

Principais organizações

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Organizações Nacionais:

- ABNT

- ANEEL

Níveis crescentes de harmônicas são esperados nos SEP, até que limites sejam impostos às fontes emissoras de harmônicas (IEC 61000-2-2, 2002)

São divididas em:

- *Guides*, orientações caracterizadas através de:

- Um exemplo de projeto típico ou prática de operação;

- Apresentação de parâmetros típicos e soluções representativas de problemas comumente encontrados.

- Ex.: Guia para aplicação de Limites de Harmônicas em SEP
(*Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems*)

São divididas em:

-*Recommended practices*:

-Reconhece que há várias soluções aos problemas de QEE, mas a solução indicada é recomendável sobre as outras;

- Ex.: IEEE, 519, 1992, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*

-*Standards*: são códigos acordados coletivamente entre várias partes interessadas e têm força de lei quando adotados.

A recomendação IEEE que trata de harmônicas é proposta no documento **IEEE, 519, 1992**, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*:

IEEE STANDARDS ASSOCIATION



IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems

Fonte: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7047985>

Em 2014 foi lançada uma nova edição!

- apresenta uma abordagem conjunta entre concessionária e clientes para limitar o impacto de cargas não lineares, definindo níveis aceitáveis de harmônicas de tensão e corrente para o ponto de entrega de energia pela concessionária (PCC ou PAC).

- Limitar DH de corrente para consumidores individuais de modo que não causem distorção inaceitável na tensão;

- Limitar a DH da tensão do sistema suprido pela concessionária.

Limites de distorção de corrente no PCC (IEEE)

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

PCC ou PAC: ponto mais próximo do consumidor, no lado da concessionária, onde está ligado ou é possível a ligação de outros consumidores.

Os limites são classificados tanto em relação à tensão nominal dos circuitos quanto às ordens harmônicas individuais.

São definidos em função da relação I_{CC}/I_1 .

I_{CC} = corrente máxima de curto circuito no PCC;

I_1 = média da corrente de demanda máxima de carga no PCC.

Limites de distorção de corrente no PCC (IEEE)

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Distorção de corrente harmônica (I_h/I_1) em % para carga não linear conectada no PCC da concessionária a uma tensão de 120 V a 69.000 V.

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Limites de distorção de corrente no PCC (IEEE)

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Exemplo - considere um SEP com os seguintes dados:

- Capacidade de curto circuito: 108 MVA (4518 A – 13.8kV);

- Carga do consumidor: 1,50 MVA

Relação de curto-circuito: $I_{CC}/I_1 = 108/1,5 = 72$.

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Limites de distorção Individual de Corrente

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 25^c$	1.0	0.5	0.38	0.15	0.1	1.5
$25 < 50$	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

(New)

Limites de distorção de tensão no PCC

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
<u>$V \leq 1.0 \text{ kV}$</u>	5.0	8.0
<u>$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$</u> and below	3.0	5.0
69 kV through <u>$< V \leq 161 \text{ kV}$</u>	1.5	2.5
161 kV and above <u>$\leq V$</u>	1.0	1.5 ^a

A concessionária deve ser capaz de fornecer a tensão especificada em contrato, desde que as correntes harmônicas injetadas pelos consumidores sejam limitadas de acordo com a IEEE 519.

A IEEE 519 está em constante revisão e atualização por força tarefa.

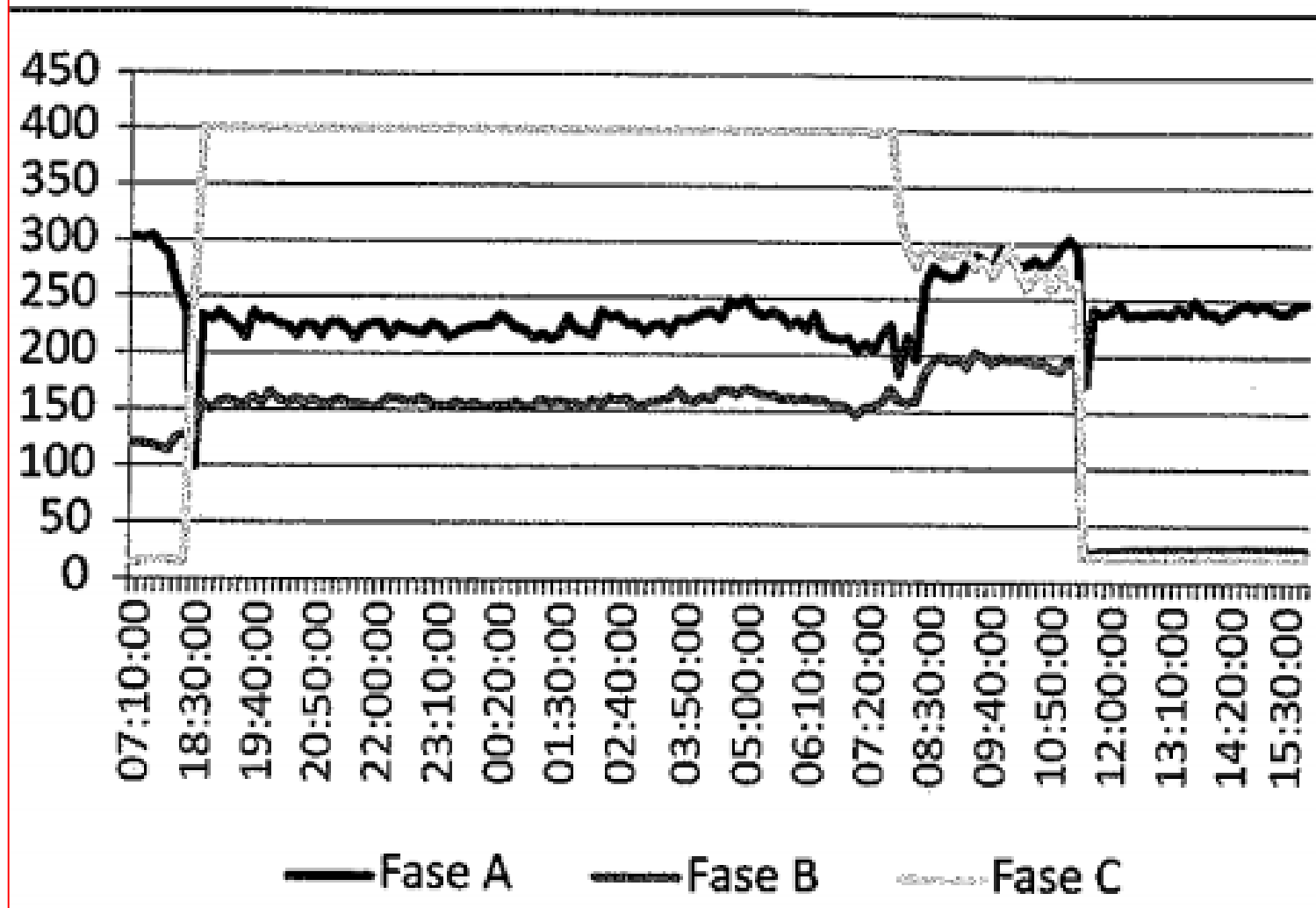
Exemplo

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Uma unidade consumidora é suprida através de um transformador trifásico de 75kVA, 60Hz, 13,8kV/0,38kV e impedância igual a $j0,035$ pu. O gráfico mostra medições na BT, da DHT-I. Calcule I_{CC}/I_L para avaliar o TDD.

Exemplo

Figura 5.2 – Distorção harmônica total de corrente.



Exemplo

Uma unidade consumidora é suprida através de um transformador trifásico de 75kVA, 60Hz, 13,8kV/0,38kV e impedância igual a $j0,035$ pu. O gráfico mostra medições na BT, da DHT-I. **Calcule I_{CC}/I_L para avaliar o TDD.**

a) Cálculo aproximado de I_L :
$$|I_L| = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{75 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 113,95 \text{ A}$$

b) Z_{base} do lado de BT:
$$Z_b = \frac{V_L^2}{S_{3\phi}} = \frac{380^2}{75 \times 10^3} = 1,93 \text{ } \Omega$$

c) Z (ohms):
$$\begin{aligned} Z_{tr,BT} &= (jX_{pu}) \times Z_b = (j0,035) \times 1,93 \\ &= j0,06755 = 0,06755 \angle 90^\circ \text{ } \Omega \end{aligned}$$

Exemplo

Uma unidade consumidora é suprida através de um transformador trifásico de 75kVA, 60Hz, 13,8kV/0,38kV e impedância igual a $j0,035$ pu. O gráfico mostra medições na BT, da DHT-I. **Calcule I_{cc}/I_L para avaliar o TDD.**

d) S de curto circuito:
$$|S_{cc}| = \frac{V_L^2}{|Z_{tr}|} = \frac{380^2}{0,068} = 2123,53 \text{ kVA}$$

e) I_{cc} :
$$|I_{cc}| = \frac{|S_{cc}|}{\sqrt{3}V_L} = \frac{2123,53 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 3,226 \text{ kA}$$

f) I_{cc}/I_L :
$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{3,226 \times 10^3}{113,95} = 28,31$$

Exemplo

d) I_{CC}/I_L : $\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{3,226 \times 10^3}{113,95} = 28,31$

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Exemplo

Uma unidade consumidora é suprida através de um transformador trifásico de 75kVA, 60Hz, 13,8kV/0,38kV e impedância igual a $j0,035$ pu. O gráfico mostra medições na BT, da DHT-I. **Calcule I_{CC}/I_L para avaliar o TDD.**

- Para avaliar o TDD medido por meio do THDI medido:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{b=2}^N I_b^2}}{I_1} \cdot \frac{I_1}{I_L}$$

$$TDD = \frac{DHT_I \times I_1}{I_L}$$

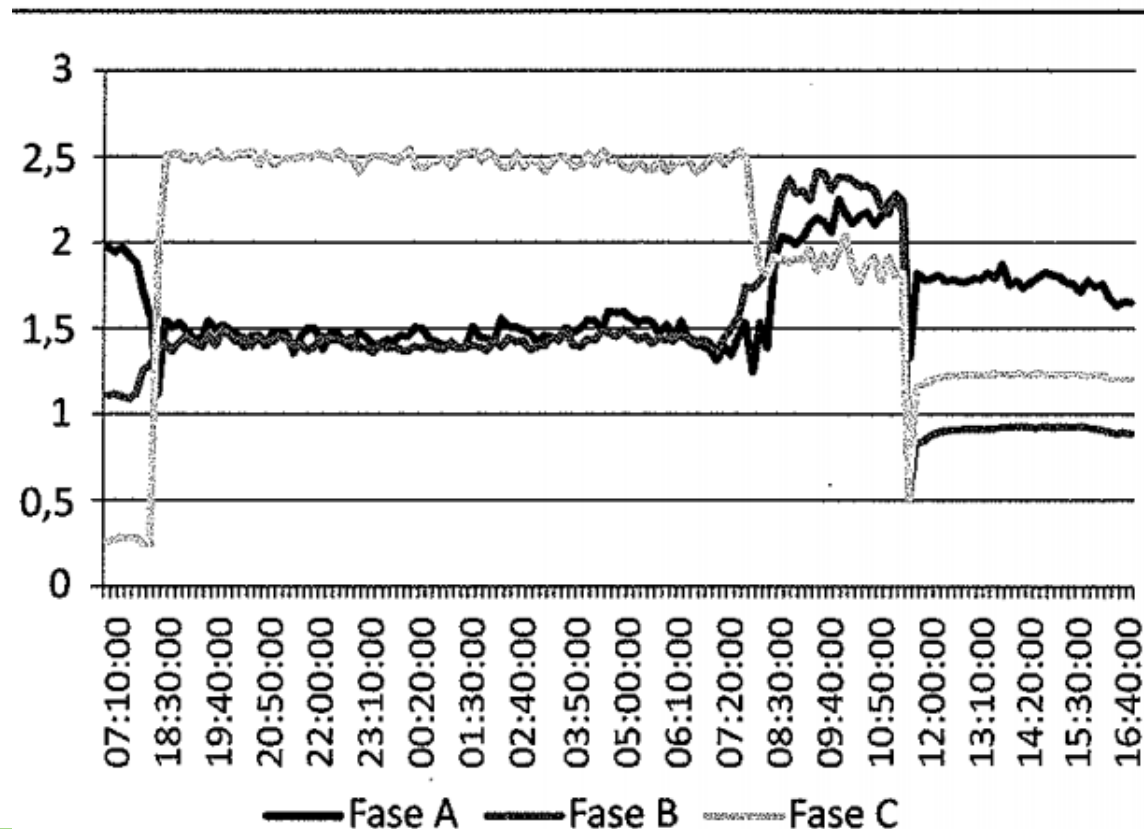
Exemplo

Uma unidade consumidora é suprida através de um transformador trifásico de 75kVA, 60Hz, 13,8kV/0,38kV e impedância igual a $j0,035$ pu. O gráfico mostra medições na BT, da DHT-I. Calcule I_{cc}/I_n para avaliar o TDD.

Figura 5.3 – Taxa de distorção de demanda da corrente.

TDD < 8%

Ok!



Normas ANSI para Limites de Emissão Harmônica para Equipamentos de Iluminação

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Limites em função do DHT e FP, para lâmpadas residenciais, comerciais e industriais.

Tabela 5.6 – Lâmpadas compactas residenciais com reator integrado e lâmpadas compactas comerciais de uso interno e externo.

Potência de entrada (P)	Mínimo FP	Máxima DHT ₁ de linha
$P \leq 35 \text{ W}$	0,5	100%
$35\text{W} < P \leq 60\text{W}$	0,8	80%
$60\text{W} < P \leq 100\text{W}$	0,9	50%
$P > 100\text{W}$	0,9	20%

Fonte: ANSI C82.77 (2002).

Normas ANSI para Limites de Emissão Harmônica para Equipamentos de Iluminação

ELF403 – QUALIDADE DE ENERGIA

Tabela 5.7 – Luminárias residenciais de ambiente interior e portáteis de uso interior.

Potência de entrada (P)	Mínimo FP	Máxima DHT_1 de linha
$P \leq 120 \text{ W}$	0,5	200%
$120\text{W} < P \leq 150\text{W}$	0,9	32%
$P > 150\text{W}$	0,9	20%

Tabela 5.8 – Reatores ou luminárias comerciais de uso interior, luminárias e reatores de fluorescentes para uso interior e externo industrial, para quadras esportivas e centros de convenções.

Potência de entrada (P)	Mínimo FP	Máxima DHT_1 de linha
Toda	0,9	32% Fundamental 100% 2ª harmônica 5% 3ª harmônica 30% $I_h > 11^a$ 7% Triplas ímpares 30%

São estruturadas em partes, por funções:

-Parte 1: Geral

- Definições, terminologia;

- Abrange aspectos de aplicação e interpretação de compatibilidade eletromagnética.

- Parte 2: Ambiente

- Descrição e classificação de ambiente eletromagnético;

- Níveis de compatibilidade eletromagnética para diferentes ambientes.

-Parte 3: Limites

-De emissão e de imunidade.

-Parte 4: Técnicas de teste e medição: testar medição e imunidade de equipamentos.

- Parte 5: Procedimentos de instalação e mitigação.

- Parte 6: Normas genéricas. Padrões de emissão para ambientes residencial, comercial, industrial e subestações.

Normas IEC relacionadas às harmônicas:

-IEC 61000-2-2 *Eletromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment Compatibility levels for low frequency conducted disturbances and signaling in public low-voltage power supply systems. 2002*

- IEC 61000-3-2 Ed. 3.2 (2009-04) *Eletromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current < 16A per phase). 2009*

Normas IEC relacionadas às harmônicas:

- IEC/TS 61000-3-4 Ed 1.0 (1998-10) *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-4: Limits – Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.*
- IEC 61000-3-12 Ed 2.0 (2011-15) *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current $> 16 A$ and $\leq 75 A$ per phase.*
- IEC/TR 61000-3-6 Ed. 2.0 (2008-02) *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems.*

Normas IEC relacionadas às harmônicas:

- IEC 61000-4-7 Ed 2.1 (2009-10) *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto.*
- IEC 61000-4-13 Ed 1.1 (2009-07) *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-13: Testing and measurement techniques – Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests.*
- IEC 61000-4-30 Ed 2.0 (2008-10) *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods.*

IEC 61000-2-2

Trata de distúrbios na faixa de 0 a 9 kHz, em baixa tensão (< 420V monofásico ou 690V trifásico de tensão nominal). Inclui portanto os harmônicos até 50ª ordem. $DHT_V = 8\%$.

Tabela 5.10 – Níveis de compatibilidade para tensões harmônicas individuais em rede de baixa tensão (os valores *rms* são percentuais em relação à componente fundamental) – componentes ímpares.

Harmônicas ímpares não múltiplas de 3		Harmônicas ímpares não múltiplas de três	
Ordem h	Harmônica de tensão %	Ordem h	Harmônica de tensão %
5	6	3	5
7	5	9	1,5
11	3,5	15	0,4
13	3	21	0,3
$17 \leq h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$21 < h \leq 45$	0,2

Nota: os níveis dados para as harmônicas ímpares que são múltiplas de três aplicam-se às harmônicas de sequência zero. Em uma rede trifásica sem condutor neutro ou sem carga conectada entre linha e terra, os valores das harmônicas de 3ª e 9ª ordem podem ser bem menores do que os níveis de compatibilidade, dependendo do desequilíbrio do sistema.

IEC 61000-3-2

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Avalia e define limites para componentes harmônicas de corrente para equipamentos com corrente nominal igual ou menor que 16A por fase.

Referem-se a sistemas de distribuição em BT de 220/380V, 230/400V e 240/415V, em 50 ou 60Hz.

Os equipamentos são classificados em 4 classes, para o propósito de limitação de correntes harmônicas.

IEC 61000-3-2

Tabela 5.12 – Classificação de equipamentos.

Classe A	<ul style="list-style-type: none">– Equipamentos trifásicos equilibrados– Aparelhos domésticos, exceto aqueles identificados como Classe D– Ferramentas, com exceção das portáteis– <i>Dimmers</i> para lâmpadas incandescentes– Equipamento de áudio– Todo equipamento não classificado como B, C e D
Classe B	<ul style="list-style-type: none">– Ferramentas portáteis– Equipamento de solda a arco que não seja profissional
Classe C	<ul style="list-style-type: none">– Equipamentos de iluminação
Classe D	<ul style="list-style-type: none">– Computadores pessoais e monitores de PC– Aparelhos de televisão <p>Nota: Potência de entrada $P \leq 600$ W. Não há limites para $P < 75$ W.</p>

IEC 61000-3-2

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Tabela 5.13 – Limites de harmônicas de corrente.

Ordem h	Classe A (A)	Classe B (A)	Classe C (% da fund.) $P > 25 W$	Classe C (mA/W) $P \leq 25 W$	Classe D (mA/W)	Classe D (A)
Harmônicas ímpares						
3	2,30	3,45	$30 \times \lambda^*$	3,40	3,40	2,30
5	1,14	1,71	10	1,90	1,90	1,14
7	0,77	1,16	7	1,00	1,00	0,77
9	0,40	0,60	5	0,50	0,50	0,40
11	0,33	0,50	3	0,35	0,35	0,33
13	0,21	0,312	3	3,85/h	3,85/h	Ver Classe A
$15 \leq h \leq 39$	$0,15 \times 15/h$	$0,23 \times 15/h$	3	3,85/h	3,85/h	Ver Classe A
Harmônicas pares						
2	1,08	1,62	2	–	–	–
4	0,43	0,65	–	–	–	–
6	0,30	0,45	–	–	–	–
$8 \leq h \leq 40$	$0,23 \times 8/h$	$0,35 \times 8/h$	–	–	–	–

IEC 61000-3-12

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Avalia e define limites para componentes harmônicas de corrente para equipamentos com corrente nominal maior que 16A por fase, e menor que 75A. Para redes < 1kV.

Os limites definidos por essa norma dependem da relação entre potência de curto-circuito e potência aparente do equipamento, da corrente de referência I_{ref} e de fatores a seguir definidos como valor rms total da corrente harmônica (CHT) e distorção harmônica parcial ponderada (DHPP) para a corrente.

potência de curto-circuito:

$$S_{cc} = \frac{V_n^2}{|Z_{eq}|}$$

V_n = tensão nominal de linha;

I_n = corrente nominal rms;

Z_{eq} = impedância equivalente na frequência industrial vista do PCC.

potência aparente nominal

- Monofásico: $S_n = |V_{n,F}| \cdot |I_n|$

- Entre fases: $S_n = |V_{n,L}| \cdot |I_n|$

- Trifásico equilibrado: $S_n = \sqrt{3} \cdot |V_{n,L}| \cdot |I_n|$

- e desequilibrado:

Relação de curto-circuito (Rcc):

$$S_n = 3 \cdot |V_{n,F}| \cdot |I_{max}|$$

- Monofásico: $R_{cce} = S_{sc} / (3S_n)$

- Entre fases: $R_{cce} = S_{sc} / (2S_n)$

- Trifásico: $R_{cce} = S_{sc} / S_n$

Distorção Harmônica Parcial Ponderada (DHPP): considera um peso h para cada componente harmônica. Quanto maior a ordem, menor sua magnitude, no entanto, maior a chance de perturbar o meio e, por conseguinte, maior o peso.

$$DHPP = \sqrt{\sum_{h=14}^{40} h \cdot \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2}$$

I_{ref} = é o valor rms da corrente de entrada do equipamento

CHT (rms total da corrente harmônica):

$$CHT = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}$$

A observância da norma IEC implica o atendimento dos limites definidos na norma IEEE.

IEC 61000-3-12

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Tabela 5.17 – Limites de emissão de corrente para equipamento trifásico desequilibrado

Mínimo R_{cce}	Corrente harmônica individual admissível I_h/I_{ref}^* %						Parâmetros harmônicos admissíveis	
	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	CHT/I_{ref}	$DHPP/I_{ref}$
33	21,6	10,5	7,2	3,8	3,1	2	23	23
66	24	13	8	5	4	3	26	26
120	27	15	10	6	5	4	30	30
250	35	20	13	9	8	6	40	40
≥ 350	41	24	15	12	10	8	47	47

Os valores relativos às harmônicas pares até a ordem 12 não devem exceder 16/h%. Harmônicas pares acima da ordem 12 são consideradas em *CHT* e *DHPP* da mesma maneira como harmônicos de ordem ímpar.

É permitida a interpolação linear entre valores sucessivos de R_{cce} .

I_h = corrente harmônica de ordem h I_{ref} = corrente de referência

Fonte: IEC 61000-3-12 (2011). **Existe também tabela para sistemas equilibrados.**

A norma IEC 61000-3-12 ($I > 16A$ e $I \leq 75A$), substituirá a IEC 61000-3-4 para correntes $I > 16A$.

IEC 61000-3-6

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Especifica percentual de distorção harmônica para redes de média (1kV < V ≤ 35kV), alta (35kV < V ≤ 230kV), e extra-alta-tensão (V > 230kV).

* Harmônicos Ímpares					
Não Triplas			Triplas		
Ordem h	Harm. Tensão (%)		Ordem h	Harm. Tensão (%)	
	MV	AT-EAT		MV	AT-EAT
5	5	2	3	4	2
7	4	2	9	1,2	1
11	3	1,5	15	0,3	0,3
13	2,5	1,5	21	0,2	0,2
17 ≤ h ≤ 49	1,9(17/h)-0,2	1,2(17/h)	21 < h ≤ 45	0,2	0,2

DHT_V = 6,5% (MT)

DHT_V = 3% (AT)

95% do valor semanal de

V_h medido em período de

10 min não deve exceder os níveis tabelados acima.

Harmônicos Pares		
Ordem h	Harm. Tensão (%)	
	MV	AT-EAT
2	1,8	1,4
4	1	0,8
6	0,5	0,4
8	0,5	0,4
10 ≤ h ≤ 50	0,25(10/h) + 0,22	0,19(10/h) + 0,16

Regulamentação ANEEL

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

A ANEEL define um conjunto de regulamentos para o sistema de distribuição por meio do:

-Prodist (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional);

- ProRede (Procedimentos de Rede para o Sistema Interligado Nacional – SIN)

Prodist (ANEEL)

Módulo 8 sobre QEE

Tabela 2 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT _{95%}	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _{p95%}	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _{i95%}	7,5%	6,0%	4,0%
DTT _{395%}	6,5%	5,0%	3,0%

Tabela 1 – Terminologia.

Identificação da Grandeza	Símbolo
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	DIT _h %
Distorção harmônica total de tensão	DTT%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	DTT _p %
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	DTT _i %
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	DTT ₃ %

Prodist (ANEEL)

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Tabela 4 - Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão (em porcentagem da tensão fundamental)

Ordem Harmônica	Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]				
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n \leq 13,8 \text{ kV}$	$13,8 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$	
Ímpares não múltiplas de 3	5	7,5	6	4,5	2,5
	7	6,5	5	4	2
	11	4,5	3,5	3	1,5
	13	4	3	2,5	1,5
	17	2,5	2	1,5	1
	19	2	1,5	1,5	1
	23	2	1,5	1,5	1
	25	2	1,5	1,5	1
	>25	1,5	1	1	0,5
Ímpares múltiplas de 3	3	6,5	5	4	2
	9	2	1,5	1,5	1
	15	1	0,5	0,5	0,5
	21	1	0,5	0,5	0,5
	>21	1	0,5	0,5	0,5
Pares	2	2,5	2	1,5	1
	4	1,5	1	1	0,5
	6	1	0,5	0,5	0,5
	8	1	0,5	0,5	0,5
	10	1	0,5	0,5	0,5
	12	1	0,5	0,5	0,5
	>12	1	0,5	0,5	0,5

Submódulo 2.8 – Gerenciamento dos Indicadores de Desempenho da Rede Básica.

- São definidos limites de desempenho global inferior e superior e de desempenho individual.
- Determina-se o maior DHT_V e DHI_V , superado em 5% dos registros obtidos em 24h, em intervalos de 10 minutos, por 7 dias consecutivos.
- O valor do indicador corresponde ao maior dos 7 obtidos.

<http://ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%202%2FSubm%C3%B3dulo%202.8%2FSubm%C3%B3dulo%202.8.pdf>

ProRede (ANEEL)

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Tabela 6 – Limites globais inferiores para os indicadores DTHI e DTHTS95%

V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
DTHI, h ímpar		DTHI, h par		DTHI, h ímpar		DTHI, h par	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3, 5, 7	5%			3, 5, 7	2%		
		2, 4, 6	2%			2, 4, 6	1%
9, 11, 13	3%			9, 11, 13	1,5%		
		≥8	1%			≥8	0,5%
15 a 25	2%			15 a 25	1%		
≥27	1%			≥27	0,5%		
DTHTS95% = 6%				DTHTS95% = 3%			

Tabela 7 – Limites individuais para os indicadores DTHI e DTHTS95%

13,8 kV ≤ V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
DTHI, h ímpar		DTHI, h par		DTHI, h ímpar		DTHI, h par	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3 a 25	1,5%			3 a 25	0,6%		
		todos	0,6%			todos	0,3%
≥27	0,7%			≥27	0,4%		
DTHTS95% = 3%				DTHTS95% = 1,5%			

ProRede (ANEEL)

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Quando os valores medidos forem:

- menores ou iguais aos limites globais inferiores, a condição harmônica é considerada **adequada** (não há nada a fazer);
- maiores que os limites inferiores e menores ou iguais aos limites superiores, e se houver reclamações dos clientes, devem-se buscar soluções;
- maiores que os limites superiores, ações mitigadoras devem ser aplicadas.