Guia de Aplicação de Qualidade de Energia

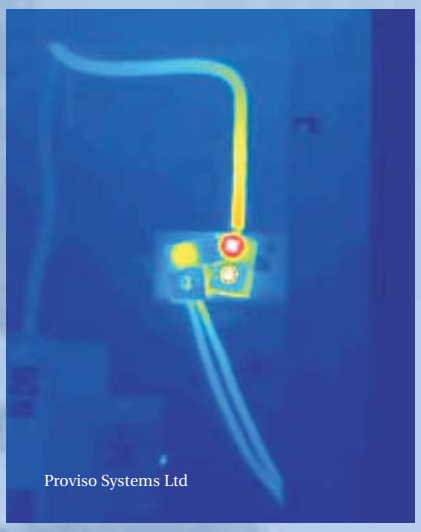
Education and Culture

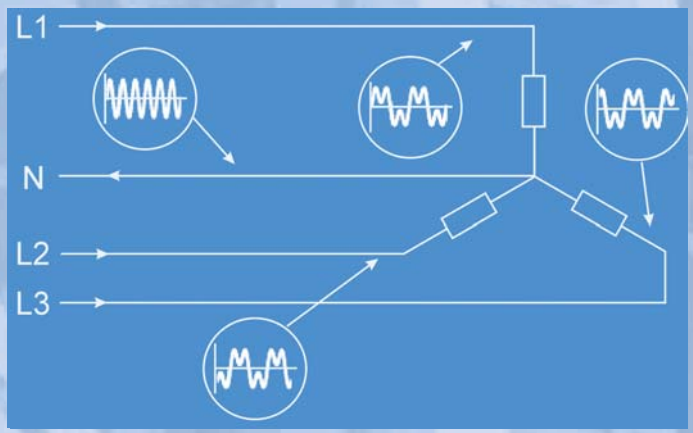
Leonardo da Vinci

Harmônicas

Dimensionamento do Neutro em Instalações com Harmônicas

3.5.1





PROCOBRE Connects Life.™

european COPPER institute

Harmônicas

Harmônicas

Dimensionamento do Neutro em Instalações com Harmônicas

Prof. Jan Desmet, Hogeschool Oeste-Vlaanderen &
Prof. Angelo Baggini, di de Università Bergamo
Junho de 2003

Este Guia foi produzido como parte do Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), um programa de educação e treinamento europeu apoiado pela Comissão Européia (sob o Programa Leonardo da Vinci) e pelo International Copper Association (ICA). Para informação adicional sobre o LPQI visite www.lpqi.org.

European Copper Institute (ECI)

O European Copper Institute (ECI) (Instituto de Cobre Europeu) é uma joint venture entre o ICA (International Copper Association) e os fabricantes europeus. O ECI representa os maiores produtores de cobre do mundo e os fabricantes europeus mais importantes para promover o cobre na Europa. Criado em janeiro de1996, o ECI é apoiado por uma rede de onze Associações de Desenvolvimento do Cobre ('CDAs') em Benelux, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Polônia, Rússia, Escandinávia, Espanha e Reino Unido.

Instituto Brasileiro do Cobre - PROCOBRE

É uma instituição sem fins lucrativos, constituída por empresas produtoras e transformadoras de cobre no Brasil com a missão de estimular o uso técnico e econômico do metal, promovendo sua utilização correta e eficiente. Desenvolve projetos nas várias áreas de aplicação do metal, divulgando as vantagens da utilização do cobre na energia elétrica, nas instalações hidráulicas e de gás, na arquitetura, no design e decoração de interiores, na saúde e muitas outras.

Aviso de Isenção de Responsabilidades

O conteúdo deste documento não necessariamente reflete a posição da Comunidade Européia, nem implica nenhuma responsabilidade por parte da Comunidade Européia. O European Copper Institute, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko e Copper Development Association negam qualquer responsabilidade por qualquer dano direto, indireto, conseqüente ou incidental que possa resultar pelo uso da informação, ou pela impossibilidade do uso da informação ou dos dados contidos nesta publicação.

Copyright© European Copper Institute, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko and Copper Development Association.

Reprodução autorizada desde que o material esteja completo e a fonte mencionada.

Dimensionamento do Neutro em Instalações com Harmônicas

Introdução

Este artigo discute o dimensionamento de condutores neutros na presença de problemas de qualidade de energia tais como aqueles onde há correntes elétricas com uma ordem harmônica que é múltipla de três. Este assunto é particularmente importante em sistemas de baixa tensão onde a poluição harmônica por cargas monofásicas é um problema crescentemente sério. Correntes harmônicas com freqüências múltiplas de três se somam aritmeticamente no condutor neutro ao invés de se cancelarem como acontece com a corrente fundamental e outras harmônicas equilibradas. O resultado é a presença de correntes no condutor neutro que são freqüentemente muito altas, tipicamente até 170% das correntes de fase.

O dimensionamento dos condutores é realizado pela IEC 60364, Parte 5-52: *Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems*. Esta norma inclui regras e recomendações para o dimensionamento dos condutores de acordo com a corrente de carga, o tipo de isolação do cabo e o método e condições de instalação. Algumas regras normativas são indicadas para dimensionar o neutro na presença de harmônicas, juntamente com um guia informativo no Anexo D. Algumas normas nacionais seguem a IEC 60364, mas há um significativo atraso, pois a maioria das normas nacionais ainda não trata do assunto de dimensionamento do neutro de um modo abrangente. Uma vez que poucos instaladores e projetistas têm acesso fácil às normas IEC e só dispõem de suas normas nacionais, eles têm que depender do próprio conhecimento e experiência quando dimensionam os condutores neutros. Este trabalho pretende esclarecer os assuntos envolvidos e apresentar as prescrições da IEC.

Revisão Teórica

Em um sistema trifásico ligado em estrela, a corrente no condutor neutro é a soma vetorial das três correntes de linha. Em um sistema equilibrado trifásico senoidal, a soma das correntes é zero em qualquer momento e a corrente no neutro é conseqüentemente zero (Figura 1).

Em um sistema trifásico de potência que alimenta cargas monofásicas lineares, a corrente no condutor neutro raramente é zero, porque a carga em cada fase é diferente. Tipicamente, a diferença é pequena e, geralmente, é muito menor do que as correntes de linha (Figura 2).

Quando cargas não lineares são alimentadas, mesmo quando a carga é bem equilibrada entre as fases, haverá uma corrente significativa no condutor neutro. Com correntes não senoidais, a soma das três correntes de linha, mesmo que tenham o mesmo valor rms, pode ser diferente de zero. Por exemplo, correntes com o mesmo valor rms e forma de onda quadrada resultarão numa corrente de neutro significativa (Figura 3).

De fato, as componentes de terceiras harmônicas (e todas as outras harmônicas onde a ordem é um múltiplo de três - a sexta, nona, etc.) das correntes de linha estão todas em fase entre si (isto é, elas são componentes homopolares), e assim eles se somam aritmeticamente ao invés de se cancelarem vetorialmente (veja Figura 4).

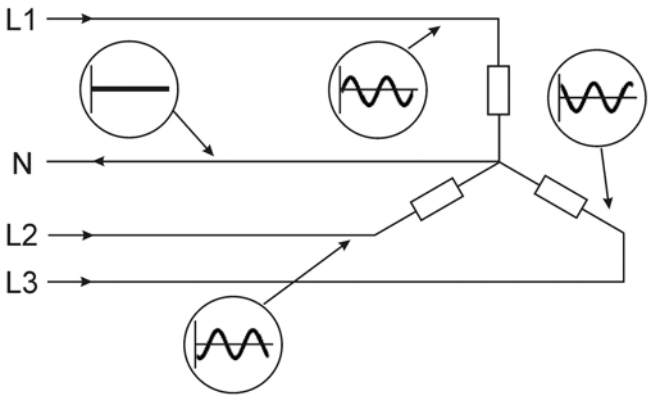


Figura 1 - Com uma carga trifásica equilibrada, a corrente no neutro é zero.

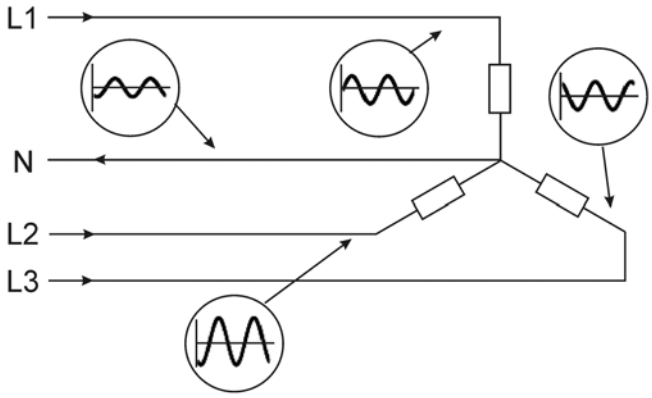


Figura 2 - Com uma carga trifásica desequilibrada, a corrente no neutro não é zero, mas é menor que a corrente de fase.

A intensidade da corrente no neutro pode exceder a corrente de fase em intensidade na freqüência de alimentação devido à terceira harmônica.

Os requisitos da norma

Os requisitos da norma IEC 60364-5-52:2001, "Electrical Installations in Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems", referem-se à instalação segura de circuitos sob o ponto de vista de técnicas de instalação e dimensionamento de condutores. O método de instalação freqüentemente afeta as condições térmicas nas quais o cabo opera e, assim, afeta a capacidade de condução de corrente do condutor ou do circuito.

Quando cabos de vários circuitos são instalados no mesmo eletroduto, canaleta ou espaço, a capacidade de corrente de cada cabo é reduzida por causa do efeito de aquecimento mútuo. Em outras palavras, a capacidade de corrente de um cabo é determinada pela quantidade de calor gerada pela corrente que flui e a quantidade de calor que pode ser perdida pelo cabo por convecção. Juntos, estes fatores determinam a temperatura de operação do cabo que, obviamente, não deve exceder aquela que é apropriada para o tipo de material de isolação - 70°C para isolação termoplástica (tal como PVC) ou 90°C para isolação termofixa (como EPR e XLPE).

Os valores e fatores de correção indicados na norma são obtidos a partir de ensaios práticos e cálculos teóricos baseados em condições típicas e precisam ser modificados de acordo com condições de instalação conhecidas. Uma vez que a presença de harmônicas com freqüências múltiplas de três no condutor neutro resulta em maior geração de calor, a seleção da seção do cabo tem que levar isso em consideração.

Referências para o dimensionamento do condutor neutro no caso de correntes não senoidais pode ser encontrada na IEC 60364-5-524. A parte 524.2 indica que o condutor neutro terá pelo menos a mesma seção que os condutores de fase:

- em circuitos monofásicos de dois condutores e para tidas as seções nominais;
- em circuitos polifásicos e em circuitos monofásicos a três condutores quando a seção nominal dos condutores de fase são iguais ou menores que 16 mm^2 para cobre ou 25 mm^2 para alumínio.

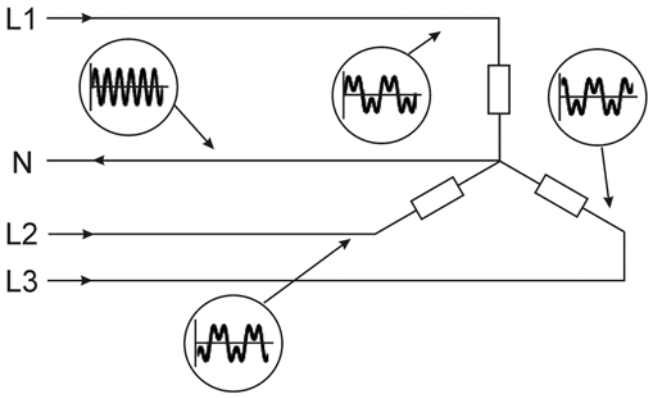


Figura 3 - Com uma carga trifásica não linear, a corrente no neutro não é zero e pode até ser maior que a corrente de fase por causa das harmônicas homopolares.

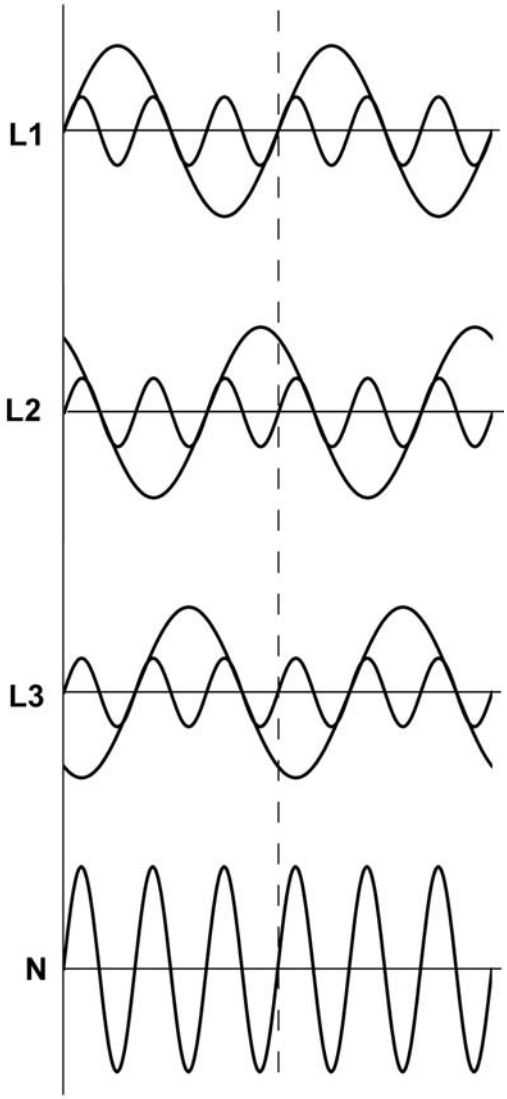


Figura 4 - Correntes harmônicas de terceira ordem no condutor neutro.

A parte 524.3 estabelece que, para outros circuitos polifásicos, o condutor neutro pode ter uma seção nominal reduzida, se todas as condições seguintes são atendidas:

- a máxima corrente prevista no neutro, incluindo harmônicas, durante o serviço normal não é maior que a capacidade de condução de corrente da seção nominal reduzida do neutro;
- o condutor neutro é protegido contra sobrecorrentes;
- a seção nominal do neutro é pelo menos 16mm^2 em cobre ou 25mm^2 em alumínio.

Estes requisitos são normativos, ou seja, são regras que devem ser seguidas de modo a atender a norma. Porém, atender a estes requisitos requer conhecimento do tipo e número de cargas que estarão em uso após a instalação ser colocada em operação e, infelizmente, esta informação raramente está disponível. A norma também inclui um anexo informativo (sem valor normativo), na forma de um guia e recomendações, que fornece uma metodologia para dimensionar os cabos corretamente.

Este trabalho apresenta este guia com a adição de exemplos e observações relativas ao fator de redução dos valores nominais em condutos compartilhados e os efeitos de queda de tensão.

Guia da Norma

O funcionamento de um componente elétrico ou condutor pode ser influenciado significativamente por perturbações no sistema, pelo suprimento de energia, ou pela carga. De todas as perturbações eletromagnéticas que afetam os cabos de potência, a presença de correntes harmônicas é uma das mais importantes. Os efeitos deste fenômeno podem resultar em sobrecargas tanto nos condutores de fase quanto o neutro. Aqui, a atenção é focada no dimensionamento do condutor neutro.

Deve-se notar que as tabelas de capacidade de corrente da norma são baseadas em muitas suposições e é responsabilidade do projetista reconhecer quando estas suposições não são válidas e fazer as correções apropriadas. A suposição mais importante é que, em um cabo multipolar com quatro ou cinco condutores, somente três condutores estão carregados; em outras palavras, é assumido que a carga é equilibrada e linear. Na situação onde a carga é desequilibrada, mas linear, uma corrente de desequilíbrio circula pelo neutro, mas é compensada pelo fato de que pelo menos um condutor de fase está conduzindo menos carga. Assumindo que nenhum condutor de fase está sobrecarregado, a perda Joule total no cabo não é excessiva. Quando a carga é não linear, há uma corrente no neutro que contribui com a perda térmica, assim como o efeito total das três correntes de linha.

Sob as condições de distorção de corrente descritas no parágrafo 1.2, a dissipação de calor no condutor devida ao efeito Joule é maior comparada às condições de carga linear ideal, e a capacidade de condução de corrente da linha é então reduzida. Além disso, os condutores neutros, freqüentemente sub-dimensionados em relação aos condutores de fase em edifícios existentes (parágrafo 1.3), podem ser sobrecarregados até mesmo sem a corrente de neutro exceder a corrente nominal de fase.

É impossível determinar a corrente de neutro em condições absolutas a menos que as formas de onda reais ou teóricas das correntes de carga sejam conhecidas. Porém, como uma primeira aproximação, a corrente no neutro pode ser 1,61 vez a corrente de fase no caso de cargas como computadores, mas pode alcançar o valor de 1,73 vez a corrente de fase nas piores condições com retificadores controlados em ângulos de controle muito altos, ou seja, em baixas tensões em CC ($a \geq 60°$).

O modo mais simples para resolver o problema é aplicar fatores de correção apropriados para a capacidade de condução de corrente do cabo. O Anexo D da norma IEC 60364-5-52 indica uma metodologia para determinar o fator de correção apropriado. Por simplificação, a abordagem assume que:

- o sistema é trifásico e equilibrado;
- a única harmônica significativa não cancelada no neutro é a terceira (isto é, as outras harmônicas múltiplas de três têm intensidades relativamente pequenas e outras harmônicas estão aproximadamente equilibradas e somam zero) e;
- o cabo é multipolar, com 4 ou 5 condutores, com o condutor neutro do mesmo material e mesma seção nominal dos condutores de fase.

Porcentagem de 3ª harmônica na corrente de fase (%)	Fatores de correção	
	Valor selecionado com base na corrente de fase	Valor selecionado com base na corrente de neutro
0-15	1,00	—
15-33	0,86	—
33-45	—	0,86
> 45	—	0,86

Tabela 1 - Fatores de correção para cabos conduzindo correntes harmônicas múltipla de três.

A rigor, o cálculo dos efeitos das correntes harmônicas deveria levar também em conta o "efeito pelicular", que reduz a capacidade de corrente em função da seção do condutor, mas, como uma primeira aproximação, pode ser desprezado.

A Tabela 1 mostra os fatores de correção recomendados.

Para calcular a capacidade de corrente de um cabo com quatro ou cinco condutores, onde a corrente no condutor neutro é devida às harmônicas, deve-se multiplicar a capacidade de corrente do cabo indicada nas tabelas usuais pelo fator de correção.

Para correntes de fase que contêm 15% ou menos de harmônicas com freqüências múltiplas de três, a norma não sugere nenhum aumento na seção nominal do condutor neutro. Nesta condição, a corrente no neutro pode ser até 45% da corrente de fase, e pode haver um aumento de cerca de 6% em geração de calor comparado à situação normal do cabo. Este excesso normalmente é tolerável, exceto nas situações onde o cabo está instalado em áreas com ventilação reduzida ou onde há outras fontes de calor próximas. Uma margem de segurança adicional pode ser desejável, por exemplo, em espaços limitados.

Para correntes de fase que contêm entre 15% e 33% de harmônicas com freqüências múltiplas de três, pode ser esperado que a corrente de neutro seja próxima à corrente de fase e o cabo deve ter sua capacidade reduzida por um fator 0,86. Em outras palavras, para uma corrente de 20 A, seria escolhido um cabo capaz de conduzir 24 A.

Nos casos em que as componentes harmônicas com freqüências múltiplas de três nas correntes de fase excedem 33%, a capacidade de corrente do cabo deveria ser determinada com base na corrente de neutro. Para correntes de fase que contêm de 33% até 45% de harmônicas com freqüências múltiplas de três, a seção do cabo é determinada pela corrente de neutro, mas utilizando-se um fator de correção de 0,86. Com 45% de correntes harmônicas com freqüências múltiplas de três, o cabo é dimensionado pela corrente de neutro, ou seja, 135% da corrente de fase multiplicada pelo fator 0,86. Para componentes ainda maiores de correntes harmônicas com freqüências múltiplas de três, por exemplo, o pior caso típico de 57%, o dimensionamento do cabo é determinado somente pela corrente do neutro. Não há necessidade de um fator de correção porque os condutores de fase são agora sobredimensionados.

Como os dados para os fatores de correção foram calculados com base no valor da corrente de terceira harmônica, as harmônicas com freqüências múltiplas de três com intensidades maiores do que 10% reduziriam mais ainda a capacidade de corrente dos cabos. A situação descrita pode ser particularmente crítica quando o neutro é comum a vários circuitos (onde isto é permitido pelos regulamentos locais).

As Tabelas 2 a 5 mostram como as capacidades de corrente variam com e sem as correntes de terceira harmônica. As capacidades de corrente são calculadas de acordo com a norma IEC 60364-5-523. As capacidades listadas são para cabos multipolares de quatro condutores, 0.6/1kV, com isolação termofixa (90°C). Quando utilizar cabos unipolares, a escolha dos condutores neutro e de fase se torna independente. Por outro lado, a interação térmica mútua é mais difícil de se modelar analiticamente por causa das posições relativas variadas. O modo mais direto para proceder é o dimensionamento independente do condutor neutro, sempre tendo em mente que o desempenho térmico e a reatância do circuito dependem das posições relativas dos condutores. Fatores adicionais que deveriam ser levados em consideração incluem:

- quando o cabo é agrupado com outros cabos, a maior corrente que circula por ele (ou seja, a corrente harmônica no neutro) produz mais calor e então há um efeito sobre os outros cabos. Isto deve ser considerado pela aplicação de fatores de agrupamento mais restritivos;

Seção nominal (mm²)	Ar (30°C)			Solo (20°C)		
	Ar livre	Eletroduto	Eletroduto p=1	Eletroduto p=1,5	Diretamente p=1	Diretamente p=1,5
1,5	23	19,5	20	19	30	26
2,5	32	26	26	25	40	36
4	42	35	33	32	51	45
6	54	44	43	41	65	56
10	75	60	59	55	88	78
16	100	80	76	72	114	101
25	127	105	100	93	148	130
35	158	128	122	114	178	157
50	192	154	152	141	211	185
70	246	194	189	174	259	227
95	298	233	226	206	311	274
120	346	268	260	238	355	311
150	399	300	299	272	394	345

Tabela 2 - Capacidade de condução de corrente (A) com 3ª harmônicas até 15% (cabo tetrapolar 0,6/1 kV, 90°C).

Seção nominal (mm²)	Ar (30°C)			Solo (20°C)		
	Ar livre	Eletroduto	Eletroduto p=1	Eletroduto p=1,5	Diretamente p=1	Diretamente p=1,5
1,5	20	17	17	16	26	22
2,5	28	22	22	22	34	31
4	36	30	28	28	44	39
6	46	38	37	35	56	48
10	65	52	51	47	76	67
16	86	69	65	62	98	87
25	109	90	86	80	127	112
35	136	110	105	98	153	135
50	165	132	131	121	181	159
70	212	167	163	150	223	195
95	256	200	194	177	267	236
120	298	230	224	205	305	267
150	343	258	257	234	339	297

Tabela 3 - Capacidade de condução de corrente (A) com 3ª harmônicas até 33% (cabo tetrapolar 0,6/1 kV, 90°C).

Seção nominal (mm²)	Ar (30°C)			Solo (20°C)		
	Ar livre	Eletroduto	Eletroduto p=1	Eletroduto p=1,5	Diretamente p=1	Diretamente p=1,5
1,5	15	12	13	12	19	17
2,5	20	17	17	16	25	23
4	27	22	21	20	32	29
6	34	28	27	26	41	36
10	48	38	38	35	56	50
16	64	51	48	46	73	64
25	81	67	64	59	94	83
35	101	82	78	73	113	100
50	122	98	97	90	134	118
70	157	124	120	111	165	145
95	190	148	144	131	198	175
120	220	171	166	152	226	198
150	254	191	190	173	251	220

Tabela 4 - Capacidade de condução de corrente (A) com 45% de 3ª harmônicas (cabo tetrapolar 0,6/1 kV, 90°C).

Seção nominal (mm²)	Ar (30°C)			Solo (20°C)		
	Ar livre	Eletroduto	Eletroduto p=1	Eletroduto p=1,5	Diretamente p=1	Diretamente p=1,5
1,5	13	11	11	11	17	14
2,5	18	14	14	14	22	20
4	23	19	18	18	28	25
6	30	24	24	23	36	31
10	42	33	33	31	49	43
16	56	44	42	40	63	56
25	71	58	56	52	82	72
35	88	71	68	63	99	87
50	107	86	84	78	117	103
70	137	108	105	97	144	126
95	166	129	126	114	173	152
120	192	149	144	132	197	173
150	222	167	166	151	219	192

Tabela 5 - Capacidade de condução de corrente (A) com 60% de 3ª harmônicas (cabo tetrapolar 0,6/1 kV, 90°C).

- a queda de tensão no neutro causada por todas as harmônicas com freqüências múltiplas de três se torna uma distorção de tensão harmônica em todas as fases da alimentação. Isto pode requerer um aumento adicional na seção nominal do condutor neutro em longos comprimentos de cabos.

Uma atenção particular tem que ser dada a cabos armados ou com blindagem metálica. A contribuição das harmônicas para as correntes parasitas na blindagem ou armadura pode ser considerável. Então, sempre que uma distorção na corrente de carga é esperada, o condutor neutro nunca deveria ter uma seção nominal menor do que a dos condutores de fase correspondentes. O mesmo se aplica a todos os acessórios do circuito neutro.

Quando as dimensões do condutor neutro aumentam além das dimensões dos condutores de fase correspondentes, o que pode acontecer mesmo em sistemas elétricos usuais, é difícil, se não impossível, encontrar componentes comerciais adequados, capazes de se integrarem corretamente no sistema. A única alternativa satisfatória nestes casos é limitar a carga ou dimensionar todos os componentes pela maior seção nominal. A proteção deveria ser, obviamente, dimensionada corretamente para a menor seção nominal do condutor de fase.

Para circuitos terminais, devem ser previstos neutros separados para cada linha e circuitos separados para cada carga não linear. Isto também assegura a melhor independência eletromagnética possível entre todos os elementos não lineares e sensíveis. O melhor equilíbrio possível entre as cargas evita contribuições adicionais para a corrente de neutro devido a desequilíbrios. As considerações mencionadas são igualmente importantes e aplicáveis a cabos de grandes e pequenas seções nominais. Elas também podem ser aplicadas, com boa aproximação, para barramentos.

Exemplo numérico

Considere o seguinte exemplo: um circuito trifásico com corrente de carga de 39 A, utilizando um cabo tetrapolar isolado em PVC (70°C), instalado diretamente sobre a parede. Na ausência de harmônicas, seria dimensionado um cabo de condutor de cobre com seção nominal de 6 mm², com uma capacidade de corrente de 41 A. Com 20% de terceira harmônica, aplicando um fator de redução de 0,86, a corrente de carga equivalente é:

39 / 0,86 = 45 A

para a qual seria necessário um cabo de seção nominal 10 mm².

Com uma terceira harmônica igual a 40%, a seção do cabo deveria ser escolhida de acordo com a corrente de neutro igual a:

39 x 0,4 x 3 = 46,8 A

e aplicando-se um fator de redução de 0,86:

46,8 / 0,86 = 54,4 A

e assim um cabo com uma seção nominal de 10 mm² também é satisfatório para esta carga.

Com 50% de terceira harmônica, a seção do cabo ainda depende da corrente de neutro:

39 x 0,5 x 3 = 58,5 A

requerendo um cabo de 16 mm². (Neste caso o fator de redução é igual a 1).

Conclusões

A discussão neste artigo destacou como as soluções usuais de projeto válidas sem problemas de qualidade de energia ficam sem sentido quando as hipóteses teóricas nas quais elas são baseadas não são atendidas. Nestas circunstâncias, a suposição de que tensões e correntes têm formas de onda ideais não é válida.

No caso do dimensionamento do condutor neutro, a antiga prática aconselharia a escolha de uma seção nominal menor ou igual à dos condutores de fase correspondentes e o uso de um esquema com o neutro compartilhado entre vários circuitos. Por outro lado, uma correta consideração sobre os efeitos eletromagnéticos que ocorrem com cargas não lineares requer a seleção de um condutor neutro com uma seção nominal maior ou igual à dos condutores de fase correspondentes e baseada na corrente que realmente circula pelo circuito. O uso de um condutor neutro separado para cada circuito (obrigatório em alguns países) também é requerido. Os exemplo numéricos mostram que o problema pode surgir tanto em áreas importantes de uma indústria quanto nos circuitos terminais de qualquer sistema elétrico.

Referências

[1] P Chizzolini, P L Noferi: Ottimizzazione degli interventi sulla rete di distribuzione mirati al miglioramento della continuita' del servizio elettrico. LXXXVII Riunione AEI, Firenze 1986.

[2] N Korponay, R Minkner: Analysis of the new IEC drafts for 185 (44-1) and 186 (44-2) instruments transformers in relation to the requirements of modern protection systems - Journée d' études: Les transformateurs de mesure E2-20 SEE novembre 1989.

[3] T M Gruzs: "A survey of neutral currents in three-phase computer power systems", IEEE Transaction on industry applications, vol. 26, n° 4 July/August 1990.

[4] IEC 364-5-52 - Electrical Installations in Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.

Referências & Membros Fundadores

European Copper Institute* (ECI) *www.eurocopper.org*	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid *www.etsii.upm.es*	LEM Instruments *www.lem.com*
Akademia Gorniczo-Hutnicza (AGH) *www.agh.edu.pl*	Fluke Europe *www.fluke.com*	MGE UPS Systems *www.mgeups.com*
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) *www-citcea.upc.es*	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) *www.htw-saarland.de*	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg *www.uni-magdeburg.de*
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) *www.ceiuni.it*	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH *www.pih.be*	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) *www.miedz.org.pl*
Copper Benelux* *www.copperbenelux.org*	International Union for Electricity Applications (UIE) *www.uie.org*	Università di Bergamo* *www.unibg.it*
Copper Development Association* (CDA UK) *www.cda.org.uk*	ISR - Universidade de Coimbra *www.isr.uc.pt*	University of Bath *www.bath.ac.uk*
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) *www.kupferinstitut.de*	Istituto Italiano del Rame* (IIR) *www.iir.it*	The University of Manchester *www.manchester.ac.uk*
Engineering Consulting & Design* (ECD) *www.ecd.it*	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) *www.kuleuven.ac.be*	Wroclaw University of Technology* *www.pwr.wroc.pl*
EPRI Solutions Inc *www.epri.com/eprisolutions*	Laborelec *www.laborelec.com*	

Conselho Editorial

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof. Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr. Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof. Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr. Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof. Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof. Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr. ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr. Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof. Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	LEM Instruments	sho@lem.com
Dr. Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Kees Kokee	Fluke Europe BV	kees.kokee@fluke.nl
Prof. Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof. Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI Solutions	mmcgranaghan@eprisolutions.com
Dr. Jovica Milanovic	The University of Manchester	jovica.milanovic@manchester.ac.uk
Dr. Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr. ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof. Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA-UPC	sumper@citcea.upc.edu
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl

Prof. Angelo Baggini

Università di Bergamo
Via Marconi 5
I-24044 Dalmine
Italy

Tel: 00 39 035 2052353
Fax: 00 39 027 00508311
Email: angelo.baggini@unibg.it
Web: www.unibg.it

Prof. Jan Desmet

Hogeschool West-Vlaanderen
Graaf Karel de Goedelaan 5
8500 Kortrijk
Belgium

Tel: 00 32 56 24 12 39
Fax: 00 32 56 24 12 34
Email: jan.desmet@howest.be
Web: www.pih.be

PROCOBRE Connects Life.™

Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128-cj.203
Cep 01451-903
São Paulo - SP
Brasil

Tel./Fax: 55 11 3816-6383
e-mail: procobrebrasil@copper.org
Internet: www.procobre.org

european COPPER institute

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
e-mail: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org