

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

HARMÔNICAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO: CAUSAS E EFEITOS DOS ALTOS ÍNDICES DE DISTORÇÕES DE TENSÃO E CORRENTE¹

Guilherme De Souza Atkinson², Eduardo Da Silva Pereira³, Mauro Fonseca Rodrigues⁴.

¹ Pesquisa bibliográfica base para os trabalhos de conclusão de curso de Engenharia Elétrica dos autores

² Estudante de Engenharia Elétrica da Unijui

³ Estudante de Engenharia Elétrica da Unijui

⁴ Prof. Me do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias

Introdução

Com a alta produção de energia elétrica nacional por meio de usinas hidroelétricas, eólicas, e até mesmo a produção própria de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, as concessionárias de energia estão se voltando cada vez mais para a qualidade da energia gerada e distribuída em todo o território nacional. Atualmente a entidade que regulamenta a qualidade de energia elétrica em âmbito mundial é a IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) que regulamenta a norma IEEE 519-1992 que estabelece as bases para a aplicação de limites para harmônicos tanto para a concessionária de energia elétrica quanto para o consumidor.

As harmônicas são frequências de múltiplos valores, por exemplo, a frequência chamada de harmônica fundamental é ordenada como primeira ordem, e o ideal é que esta frequência permaneça inalterada no sistema. Caso a fundamental se altere, ou seja, deixe de ser 60Hz, significa que alguns equipamentos não lineares instalados no sistema estão fornecendo outras frequências a instalação. Estas outras frequências, são chamadas de harmônicas e podem ser classificadas em ordens e sequências.

De acordo com Lopez (2013) a simples presença de harmônicas numa instalação não representa um problema. O problema é a sua interação com o sistema de distribuição causando distorções e perdas de tensão.

Segundo o mesmo, alguns tipos de problemas são evidenciados quando há presença de componentes harmônicas, como por exemplo, o aquecimento devido à presença de correntes harmônicas em condutores, se comparados com o aquecimento provocado pelo seu funcionamento normal. Este sobreaquecimento é prejudicial ao condutor, pois trabalhando acima de sua temperatura nominal e dependendo da condução de corrente do mesmo, pode ocasionar a redução da vida útil e até problemas com perdas e falhas no sistema (PIRES, 2006). Podem ocorrer também vibrações de motores, aquecimento e ruídos excessivos em transformadores, erros de frequência, nível de tensão elevado entre neutro e terra, campos magnéticos significativos na vizinhança de transformadores e disjuntores, alteração no fator de potência da instalação, lâmpadas incandescentes podem ter redução em sua vida útil e equipamentos eletrônicos podem entrar em falha quando em funcionamento em ambiente com a presença de harmônicos. Por estes motivos, faz-se tão importante o estudo das harmônicas e seus efeitos quando presentes em uma instalação seja ela residencial ou industrial.

Metodologia

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

Realizou-se pesquisa bibliográfica sobre índices de distorções harmônicas em sistemas elétricos de baixa potência com o intuito de embasar os trabalhos de conclusão de curso de engenharia elétrica dos autores. A pesquisa englobou desde as causas das distorções harmônicas como as suas consequências, quando presentes em instalações elétricas de baixa tensão.

Num segundo momento o estudo seguirá com o enfoque em distorções harmônicas em instalações residências e instalações industriais.

Resultados e Discussão

Conceitua-se a qualidade de energia elétrica como sendo qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou frequência que resultará em falha ou operação inadequada em equipamento de consumidores (PIRES, 2006).

De forma semelhante, (LUMIERE, 2003 apud TADEU, MARCIO e ERICK, 2011, p. 1), definem que a qualidade de energia está relacionada às alterações causadas no sistema elétrico pela alteração da tensão, corrente e frequência, que resulte na falha ou alteração do funcionamento dos equipamentos. Esses problemas vêm se agravando pelo aumento do número de cargas não lineares no sistema e a grande sensibilidade dos equipamentos a distúrbios na qualidade de energia.

As perturbações de frequência são variações em torno do valor nominal, e, na maioria das vezes, por falhas no fornecimento de energia elétrica. Em um mundo ideal, se só existisse uma forma de onda, ou seja, um sinal de frequência, seria de ordem 1, 60Hz.

As harmônicas são divididas em ordens, todas partindo da fundamental, e são discriminadas em ímpares e pares. As harmônicas de ordem ímpar são encontradas em instalações em geral e as pares somente em caso de assimetria, caso haja a presença de componente contínua (COBRE, 2001). Quando a distorção de tensão atinge um nível elevado podem ocorrer diferentes tipos de problemas nos equipamentos eletrônicos. Segundo o Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE, 2001), uma tensão ou corrente harmônica pode ser definida como um sinal senoidal cuja frequência é múltiplo inteiro da frequência fundamental do sinal de alimentação.

Exemplificando, pode-se considerar T, mostrado na figura 1 o sinal resultante da soma do sinal da onda fundamental representada por 1, com o sinal da componente harmônica representada por 5, dessa forma, podemos dizer que o sinal T contém harmônicos quando ele é deformado em relação ao sinal senoidal (PROCOBRE, 2001).

Segundo Procobre (2001), referente à sequência das harmônicas, que podem ser classificadas, como positiva, negativa ou nula (zero). As harmônicas de sequência positiva produziram em um motor assíncrono, um sentido de giro no mesmo sentido da fundamental, sobrepondo uma sobrecorrente nos enrolamentos do motor, resultando em um sobre aquecimento no mesmo.

As harmônicas de sequência negativa provocariam no motor um sentido de giro oposto ao sendo de giro da fundamental, isso tenderia a travar o eixo do motor causando também um aquecimento indesejado. Já as harmônicas de sequência zero, não interferem no eixo do motor, mas supondo uma ligação em estrela ($3F + N$) as correntes de harmônicas de ordem “x” se somariam algebricamente no condutor neutro, causando também um aquecimento indesejado no condutor (PROCOBRE, 2001).

Na tabela 1 são mostrados respectivamente, ordem frequência e sequência das harmônicas, para melhor entendimento.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

Em indústrias, o grande responsável pela geração de harmônicas é o inversor de frequência, que trouxe para a indústria, uma alta eficiência e possibilitou em conjunto à automatização de diversos processos. Por possuir uma alta tecnologia embarcada, consegue-se fazer diversos tipos de controle, além de reduzir o pico de corrente na partida do motor, e evitar afundamentos de tensão na rede, devido à partida de grandes motores. Com a capacidade de transformar a tensão da rede, de amplitude e frequência constantes, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis, os inversores de frequência conseguem fazer controle de velocidade. Variando-se a frequência da tensão de alimentação do motor, varia-se também a velocidade do campo girante, por consequência a velocidade de rotação do motor (WEG, 2016).

Este controle de velocidade gerado pelos inversores é amplamente utilizado na indústria, como por exemplo: bombas (variação de vazão de líquidos); Ventiladores (variação de vazão de ar); sistemas de transporte (variação de velocidade) e tornos (variação da velocidade de corte).

Apesar de todas estas vantagens na aplicação do inversor de frequência, o sistema composto por inversor e motor, é visto pela rede como uma carga não linear, cuja corrente possui harmônicas. De forma geral, considera-se que o retificador do inversor produz harmônicas de ordem $h=np\pm 1$ no lado da rede (p é o número de pulsos do inversor e $n=1,2,3$). Portanto, no caso de um retificador a seis pulsos, as harmônicas mais consideráveis seriam a 5ª e 7ª harmônicas (WEG, 2016). A tabela 3 mostra as características harmônicas de retificadores a seis pulsos.

Conclusões

As análises apontam no sentido da importância do estudo das harmônicas em instalações elétricas, tendo em vista que a busca por uma maior eficiência energética, vem trazendo diversas transformações nas instalações elétricas, por exemplo, em residências onde a maioria da demanda era provida de cargas lineares como lâmpadas incandescentes e chuveiro elétrico, hoje se tem uma nova tecnologia com equipamentos mais eficientes, como chuveiro eletrônico e lâmpadas fluorescentes compactas, onde ambos são compostos por sistemas não lineares que produzem uma determinada taxa de distorção harmônica. Da mesma forma a indústria possui como maior demanda cargas motrizes, no qual a forma mais eficiente e tecnológica de fazer o acionamento destas é a utilização de inversores de frequência. Este método de acionamento é composto por componentes de eletrônica de potência, deixando assim o sistema não linear e causando também distorções na forma de onda de corrente e tensão.

Com esse aumento gradativo da introdução de novas tecnologias utilizando eletrônica de potência em componentes elétricos, surge também a necessidade de encontrar uma forma sustentável de mitigar esses harmônicos gerados no sistema elétrico, para que isso não venha ser um problema em nossas instalações, causando perdas por efeito Joule nos pontos de conexão e energia consumida não faturada ou faturada que não gera trabalho, apenas desperdício.

Palavras-Chave: Harmônicos, THD, IEEE 519-1992.

Referências Bibliográficas

LOPEZ, R. A. Qualidade na Energia Elétrica: Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções. São Paulo: Artliber, 2013

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

PIRES, I. A. Caracterização de harmônicos causados por equipamentos eletro-eletrônicos residenciais e comerciais no sistema de distribuição de energia elétrica. [S.l.]: PPGEE – UFMG, 2006.

SOCIETY, I. I. A. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. New York: IEEE, 1992.

COBRE, P. -I. B. D. Harmônicas nas Instalações Elétricas. 1º Edição. ed. São Paulo: [s.n.], 2001.

TADEU LIMA DOS SANTOS, M. Z. F. E. E. S. Avaliação dos Espectros Harmônicos em Sistemas de Iluminação disponíveis no Mercado. Rio de Janeiro: [s.n.], 2011.

WEG. Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM – Guia Técnico. 35 p. Jaraguá do Sul: 2016. Acesso em 16 mai 2016. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-50029351-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>.

TEIXEIRA, Douglas Ângelo. Análise das distorções harmônicas – estudo de caso de um sistema industrial. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pós-Graduação de Engenharia Elétrica da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

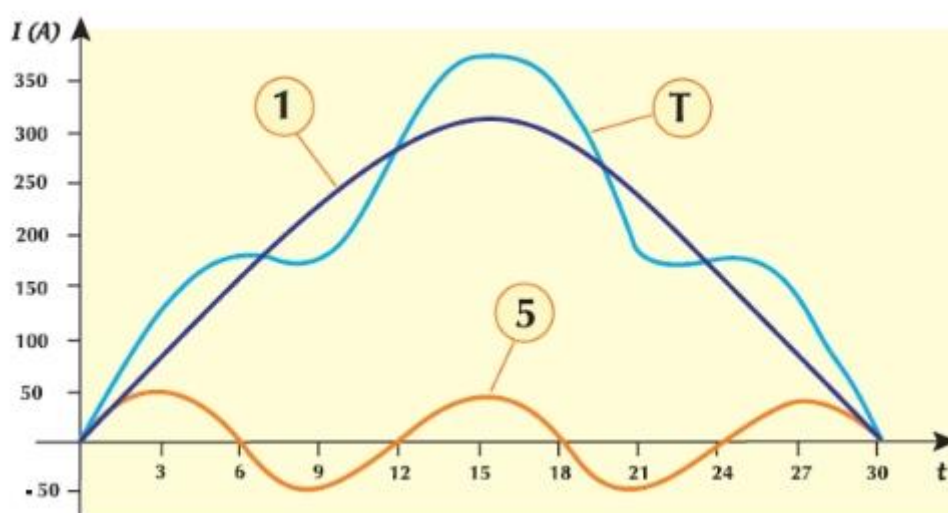


Figura 1- Onda deformada e suas componentes harmônicas. Fonte : Procobre (2001, p. 11).

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

Ordem	Frequência (Hz)	Sequência
1	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
n	n * 60	—

Tabela 1- Ordem, sequência e frequência das harmônicas. Fonte : Procobre (2001, p. 12).

Harm.	Fase A*		Fase B		Fase C		Neutro	
	$I_{rms} = 0$		$I_{rms} = 2,749$		$I_{rms} = 2,303$		$I_{rms} = 2,202$	
	$THD_i = -$		$THD_i = 30,86$		$THD_i = 47,47$		$THD_i = 83,32$	
	F. crista = -		F. crista = 1,80		F. crista = 2,05		F. crista = 1,72	
	Mod. (%)	Ang. (graus)	Mod. (%)	Ang. (graus)	Mod. (%)	Ang. (graus)	Mod. (%)	Ang. (graus)
1	-	-	100,00	-122,96	100,00	96,03	100,00	-171,50
3	-	-	23,43	114,59	39,21	20,76	58,29	62,74
5	-	-	16,98	-70,43	20,54	-99,39	49,98	-79,28
7	-	-	8,63	110,83	4,73	93,79	19,09	113,03
9	-	-	4,21	-56,03	9,52	-84,05	17,64	-64,63
11	-	-	1,66	-145,88	9,83	167,81	13,86	-173,19
13	-	-	2,74	106,81	4,60	74,43	9,47	101,80
15	-	-	1,65	-40,86	2,05	95,60	1,88	40,30
17	-	-	0,43	-44,19	4,59	22,93	5,80	34,38
19	-	-	1,31	166,93	4,00	-64,15	3,89	-69,11
21	-	-	1,00	-37,57	2,28	-121,40	3,23	-72,46
23	-	-	1,43	118,95	2,36	-167,97	4,01	-175,84
25	-	-	1,00	-46,00	2,21	116,29	1,32	121,93
27	-	-	0,31	-46,01	1,10	46,65	1,35	54,53
29	-	-	1,12	172,88	0,89	28,17	1,03	166,40
31	-	-	0,61	16,61	0,99	-38,13	1,83	18,28

Tabela 2- Distorção harmônica residência alto consumo 21 horas. Fonte: Pires (2006, p. 71).



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

Arranjo	expressão	K	Ordem Harmônica	Frequência	Corrente harmônica % da fundamental
	$6K \pm 1$	0	Fundamental	60	-
		1	5º Harmônico	300	20
			7º Harmônico	420	14,2
		2	11º Harmônico	660	9,09
			13º Harmônico	780	7,69
		3	17º Harmônico	1020	5,88
			19º Harmônico	1140	5,26
		4	23º Harmônico	1380	4,35
			25º Harmônico	1500	4
		x	$(6x-1)^{\circ}$	$60(6x-1)$	$100/(6x-1)$
			$(6x+1)^{\circ}$	$60(6x+1)$	$100/(6x+1)$

Tabela 3- Características dos Retificadores a 6 Pulsos. Fonte: Teixeira (2009, p. 23).