

Uma contribuição à análise das componentes inter-harmônicas nos sistemas de energia elétrica – Parte II

José Rubens Macedo Jr, *Senior Member IEEE*

Domingos Sávio L. Simonetti, *D.Sc. (UFES)*

Resumo – O presente trabalho tem por objetivo apresentar as principais cargas geradoras de componentes inter-harmônicas de tensão e corrente, assim como os impactos decorrentes da presença dessas componentes nos sistemas de energia elétrica. Nesse sentido, todos os efeitos associados ao fenômeno serão detalhados através de simulações computacionais, realizadas em ambiente Matlab-Simulink®. O assunto relacionado às inter-harmônicas e seus efeitos nos sistemas de energia elétrica, apesar de não se tratar de um tema inédito, é muito pouco explorado no país, sendo raríssimas as referências nacionais sobre o assunto. Nesse sentido, o trabalho aqui apresentado busca apenas a disseminação do tema através da apresentação dos fundamentos teóricos en-volvidos.

Palavras-chave – Inter-harmônicas, cargas geradoras.

I. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar as principais cargas geradoras de inter-harmônicas, os conceitos elétricos envolvidos, assim como os impactos decorrentes da presença destas frequências associados aos sistemas de energia elétrica de uma forma geral. Conforme será visto mais adiante, as inter-harmônicas de corrente e/ou tensão podem aparecer nos sistemas de energia elétrica de duas formas distintas, as quais conferem características muito distintas ao fenômeno. O estudo da presença de componentes de frequências inter-harmônicas nas redes elétricas é de grande importância nos dias atuais.

II. ORIGEM DAS COMPONENTES DE TENSÃO E CORRENTE COM FREQUENCIAS INTER-HARMÔNICAS

De uma forma geral, as componentes de frequências inter-harmônicas, de tensão e corrente, são geradas nos sistemas elétricos através da operação de cargas que possuem, basicamente, as seguintes características:

- Variação ou flutuação da amplitude da componente fundamental e/ou de componentes harmônicas ao longo do tempo, como, por exemplo, verificado nos fornos a arco elétrico, máquinas de solda, etc;
- Frequência de chaveamento estático, através de elementos de eletrônica de potência, de forma não sincronizada com a frequência fundamental do sistema, como, por exemplo, verificado nos cicloconversores e nas lâmpadas fluorescentes compactas, assim como nos demais equipamentos de dupla conversão (CA-CC-CA);

No primeiro caso, relacionado à flutuação de um determinado sinal elétrico, pode-se considerar duas interpretações distintas para o fenômeno, a saber:

- A flutuação do sinal ocorre em função da variação no valor eficaz (ou de pico) da tensão ou corrente, resultante de uma modulação em amplitude deste mesmo sinal na frequência fundamental;
- A flutuação sinal ocorre em função da superposição de um determinado conteúdo espectral ao sinal na frequência fundamental.

A seguir, será demonstrado que uma determinada amplitude de flutuação para um sinal elétrico específico pode ser obtida tanto pela modulação em amplitude do valor eficaz (ou de pico) deste sinal, como pela superposição de frequências inter-harmônicas a este mesmo sinal. Em outras palavras, será mostrado que frequências inter-harmônicas podem ser geradas por cargas com características de operação as quais compreendem uma modulação do sinal resultante de tensão e/ou corrente, assim como será demonstrado que a presença de componentes inter-harmônicas em um determinado sinal provocam uma modulação neste mesmo sinal. Matematicamente, a modulação de um sinal elétrico pode ser representada pela equação (1), conforme mostrado a seguir.

$$x(t) = X_p \cdot \cos(\omega_p t) \times [k + m \cdot \cos(\omega_m t)] \quad (1)$$

Onde:

- X_p é a amplitude da onda portadora;
- ω_p é a frequência angular da onda portadora;
- k é uma constante;
- m é a amplitude da onda moduladora;
- ω_m é a frequência angular da onda moduladora.

Para efeito de análise, será gerado um sinal hipotético conforme função indicada em (1), para o qual se tem: $X_p = 10,0 pu$, $\omega_p = 60 Hz$, $k = 9$, $m = 1,0 pu$ e $\omega_m = 8 Hz$. O diagrama de blocos utilizado neste exemplo, e desenvolvido em ambiente *Matlab-Simulink*, é mostrado na figura 1, a seguir.

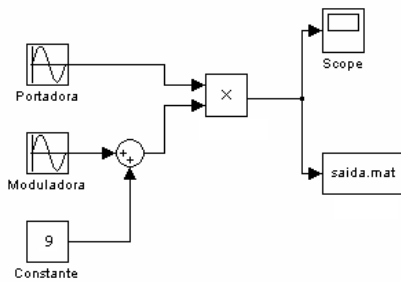


Figura 1 – Diagrama de blocos da rotina de geração de um sinal com modulação.

A figura 2 ilustra a forma de onda obtida após o processamento de cada um dos blocos mostrados na figura anterior. Assim, tem-se inicialmente um sinal representativo da onda moduladora ou, em outros termos, da onda segundo a qual a frequência de modulação será imposta à componente fundamental, ou portadora. Ao sinal da onda moduladora é então adicionada uma constante de valor igual a 9 (nove), no caso do exemplo utilizado. Como resultado desta primeira operação, tem-se um sinal modulante senoidal, com frequência igual à da onda moduladora (8 Hz), amplitude de 10 pu e uma componente de corrente contínua igual a 9 pu. Finalmente este sinal é então multiplicado pelo sinal representativo da onda portadora, em 60 Hz, resultando finalmente um sinal senoidal de frequência igual a 60 Hz, modulado a uma frequência de 8 Hz.

Aplicando-se a Transformada Discreta de Fourier ao sinal resultante indicado na figura 2, tem-se como resultado o espectro de frequência mostrado na figura 3, segundo a qual observa-se ainda que a amplitude das componentes de frequências 52 Hz e 68 Hz são idênticas e iguais a 5,55%.

De uma maneira generalizada, tem-se que a forma de onda de tensão e/ou corrente, resultante da operação de cargas que produzam flutuações de amplitude em função da variação do valor eficaz (ou de pico) possui em seu espectro de frequências componentes iguais a $(\omega \pm \omega_m)$, $(\omega \pm 2\omega_m)$, $(\omega \pm 3\omega_m)$, ..., $(\omega \pm n\omega_m)$, sendo ω_m igual a frequência da onda moduladora.

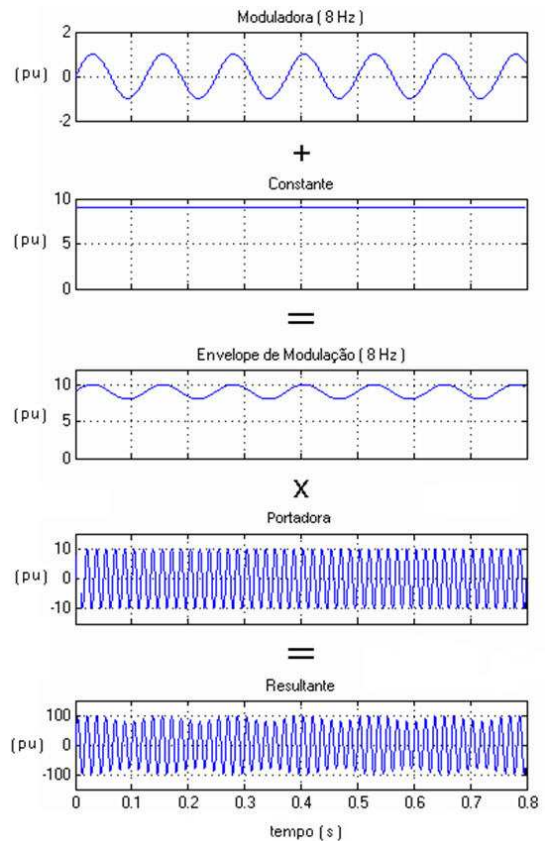


Figura 2 – Etapas de composição do sinal resultante.

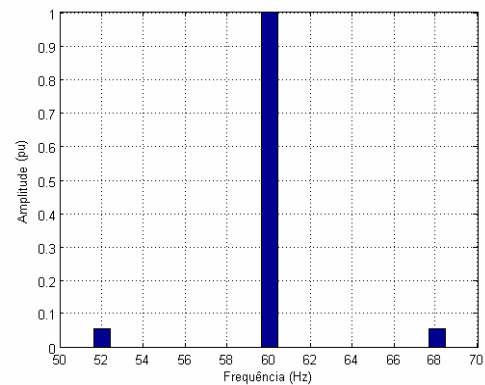


Figura 3 - Espectro de frequência do sinal resultante.

Desta forma, se um determinado sinal é modulado a uma frequência de 8 Hz, como mostrado na figura 2, tem-se que seu espectro de frequências, após a aplicação da TDF, indicará a presença de componentes de frequências iguais a (60 ± 8) , (60 ± 16) , (60 ± 24) e assim por diante.

Como pode ser verificado, portanto, ocorreu a geração de componentes inter-harmônicas através da operação de cargas que promovam uma modulação dos sinais de tensão e/ou corrente, como os fornos a arco. Pode-se também facilmente

verificar que a superposição de frequências inter-harmônicas aos sinais de tensão ou corrente podem provocar uma modulação no referido sinal.

O mesmo sinal modulante obtido conforme mostrado na figura 2, pode ser também obtido pela sobreposição de componentes inter-harmônicas cujas frequências sejam exatamente aquelas encontradas no espectro do sinal resultante indicado na figura 3, ou seja, 52 e 68 Hz, com amplitudes iguais a 5,55%. Assim, através da utilização da estrutura de diagrama de blocos mostrada na figura 4, também desenvolvida em ambiente *Matlab-Simulink*, tem-se como resultado um sinal idêntico àquele obtido por modulação, conforme mostrado anteriormente.

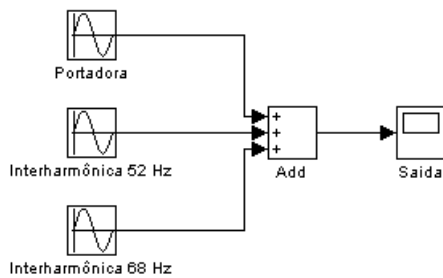


Figura 4 – Diagrama de blocos da rotina de geração de um sinal modulante pela superposição de frequências inter-harmônicas.

O esquema mostrado na figura 4 é bastante simples e compreende tão somente a soma algébrica de três sinais analógicos, a componente fundamental em 60 Hz e duas componentes com frequências inter-harmônicas com amplitudes de 52 e 68 Hz, respectivamente.

A figura 5 ilustra a forma de onda obtida após o processamento de cada um dos blocos mostrados na figura anterior. A forma de onda resultante, observada na referida figura, em muito se assemelha à forma de onda de corrente resultante da operação de um forno a arco elétrico, o qual consiste basicamente em um equipamento destinado à produção de aço através da fusão de sucata metálica. A energia necessária para o processo advém do calor promovido por arcos elétricos resultantes de contínuos, e aleatórios, curtos-circuitos de alta magnitude originados pela imersão de eletrodos de grafite em meio à sucata sólida.

Para o caso específico das cargas que apresentam como característica básica de operação a flutuação da amplitude da componente fundamental de corrente e/ou tensão, verificou-se que existem duas formas distintas de aparecimento de tal flutuação, a saber: pela variação no valor eficaz (ou de pico) da tensão ou corrente elétrica, assim como pela sobreposição de componentes de frequências inter-harmônicas ao sinal original.

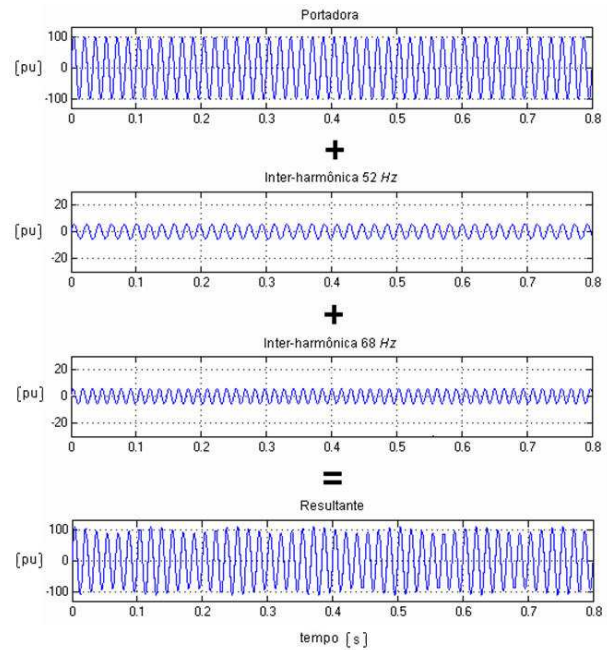


Figura 5 – Etapas de composição do sinal resultante através da superposição de frequências inter-harmônicas.

III. IMPACTOS ASSOCIADOS À PRESENÇA DE COMPONENTES INTER-HARMÔNICAS DE CORRENTE E TENSÃO NOS SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Até o presente momento, poucos trabalhos foram publicados sobre os impactos e efeitos da presença de componentes de frequência inter-harmônicas, de tensão e corrente, nos sistemas de energia elétrica, havendo ainda um vasto campo de análises e pesquisas a serem exploradas em relação ao assunto. Dentre os principais efeitos citados na escassa literatura existente sobre o tema, podem ser identificados os seguintes:

- Oscilações de baixa frequência em sistemas mecânicos;
- Falhas de sensores e equipamentos de comando elétrico que operam através da identificação da passagem por zero ou de pico dos valores instantâneos da tensão e/ou corrente elétrica;
- Sobrecarga e perda de vida útil em filtros harmônicos passivos;
- Aquecimento adicional em máquinas e condutores devido ao incremento de parcelas de perdas joulicas;
- Saturação de transformadores de corrente;
- Interferência em sistemas de telecomunicação;
- Incremento de ruídos audíveis em núcleos indutivos;
- Flutuação de tensão com grande probabilidade de geração do fenômeno de cintilação luminosa ou *flicker*;
- Erros de medição em equipamentos destinados à monitoração de *flicker*.

Na tentativa de ilustrar os aspectos físicos associados a alguns dos efeitos acima mencionados, os próximos tópicos apresentarão, de forma bastante sucinta, maiores detalhes sobre estas questões.

A. Oscilações de baixa frequência em sistemas mecânicos

As oscilações de baixa frequência em sistemas mecânicos são originadas fundamentalmente pela propriedade das componentes de frequências inter-harmônicas em provocar uma modulação nos valores eficazes (ou de pico) nas tensões e correntes elétricas que alimentam tais sistemas, conforme já demonstrado no tópico anterior (ver figura 5). Neste aspecto, tem-se que algumas componentes inter-harmônicas, com frequências muito específicas, podem estimular oscilações mecânicas em sistemas de máquinas rotativas devido a uma potencial excitação de ressonâncias mecânicas. Em algumas indústrias como, por exemplo, as indústrias de produção de fios, onde a precisão dos acionamentos é um aspecto fundamental para a qualidade do produto final, a presença de componentes inter-harmônicas pode ocasionar vários problemas, incluindo-se perdas de produção.

B. Falhas de sensores e equipamentos de comando elétrico

As falhas de sensores e equipamentos de proteção e comando elétrico, que operam através da identificação da passagem por zero dos valores instantâneos da tensão e/ou corrente elétrica, são mais bem explicadas através da figura 6, a seguir, a qual ilustra o efeito da sobreposição de uma componente de frequência inter-harmônica de 30 Hz, com 25% de amplitude em relação ao sinal fundamental em 60 Hz.

Uma outra possibilidade de falha em equipamento de proteção está relacionada com a alteração do valor de pico das tensões ou correntes instantâneas, quando da presença de componentes inter-harmônicas nestes sinais. A figura 7 ilustra esta característica das frequências inter-harmônicas.

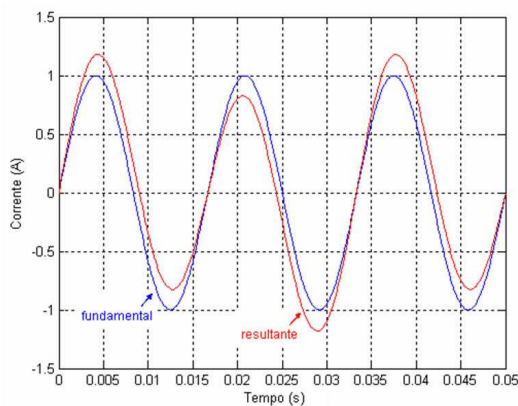


Figura 6 – Janela de três ciclos do sinal original na frequência fundamental e do sinal resultante.

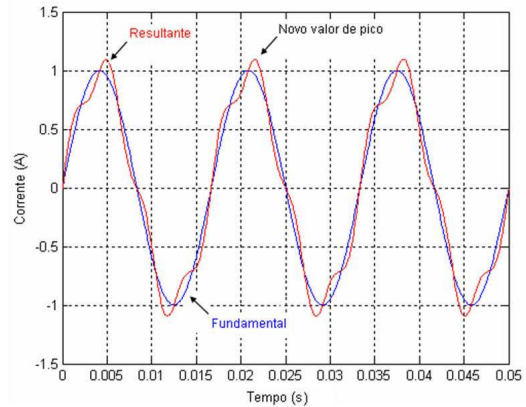


Figura 7 – Alteração do valor de pico de um sinal de corrente em função da presença de uma componente inter-harmônica com frequência de 249 Hz e amplitude de 15%.

Como pode ser observado nas figura 6 e 7, o efeito da sobreposição de uma componente de frequência inter-harmônica ao sinal fundamental original foi o de deslocar o ponto de passagem por zero deste sinal para a direita ou, em outras palavras, houve um atraso no ponto de passagem por zero. Em termos práticos, tem-se que equipamentos de controle e proteção que operam com base no instante de passagem por zero dos sinais de tensão e/ou corrente, podem operar tardiamente quando da presença de correntes ou tensões inter-harmônicas no sistema de energia elétrica.

C. Sobrecarga e perda de vida útil em filtros harmônicos passivos

Os efeitos de sobrecarga, e conseqüente perda de vida útil de filtros harmônicos passivos, ocorrem em função do fato de que a magnitude das frequências inter-harmônicas não é, em geral, prevista no dimensionamento desses equipamentos. Para ilustrar este efeito considera-se um esquema simplificado de uma instalação contendo uma carga não-linear geradora de correntes harmônicas e inter-harmônicas, conforme mostrado na figura 8.

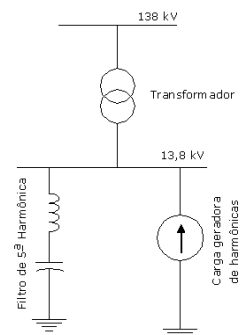


Figura 8 – Diagrama unifilar simplificado do sistema com filtro harmônico passivo sintonizado de quinta ordem.

Basicamente, o projeto de um filtro passivo sintonizado consiste na conexão de um ramo LC paralelo conectado à barra para a qual se deseja minimizar a distorção harmônica de tensão. Neste ramo, o capacitor e o reator estão sintonizados e conectados em série, promovendo uma impedância série muito reduzida na frequência de sintonia, no caso 300 Hz (5ª harmônica). A figura 9 ilustra a resposta em frequência do filtro em análise.

Como pode ser observado pela análise da figura 9, o filtro LC apresenta uma impedância muito baixa, e igual à parcela resistiva do ramo paralelo, para a frequência de 300 Hz (5.0 pu). Ou seja, qualquer corrente circulante com esta frequência seria retida pelo filtro. Em termos práticos, o ramo LC sintonizado em 300 Hz implica em um curto-circuito para correntes com esta mesma frequência, maximizando a corrente no ramo e minimizando a tensão de 300 Hz na barra de conexão do mesmo.

Contudo, e como já mostrado nos tópicos anteriores, os espectros de frequência de tensão e correntes nos sistemas elétricos podem apresentar frequências inter-harmônicas. Assim, para o presente caso, caso existam correntes com estas frequências circulantes no circuito da figura 8, imediatamente adjacentes à frequência harmônica de 300 Hz, as mesmas também serão, em todo ou parcialmente, filtradas pelo ramo LC, sobrecarregando o mesmo para além de seus valores de projeto. Como exemplo, considera-se o espectro de frequência das correntes associadas à operação de um forno a arco elétrico, conforme mostrado na figura 10, onde pode ser verificado que além da componente harmônica de 300 Hz, estão presentes no circuito várias outras componentes com frequências imediatamente adjacentes. Estas frequências, dependendo de sua magnitude, podem inclusive retirar automaticamente o filtro de operação em função da atuação da proteção contra sobrecarga, caso a mesma exista.

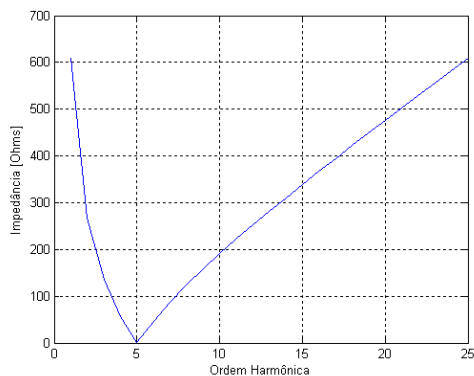


Figura 9 – Resposta em frequência do ramo do filtro (LC).

Um outro efeito associado à presença de inter-harmônicas em circuitos com filtros harmônicos passivos sintonizados diz respeito à exposição do equipamento a uma maior probabilidade de ocorrência de ressonância paralela, podendo esta danificar tanto o filtro quanto os demais equipamentos da instalação.

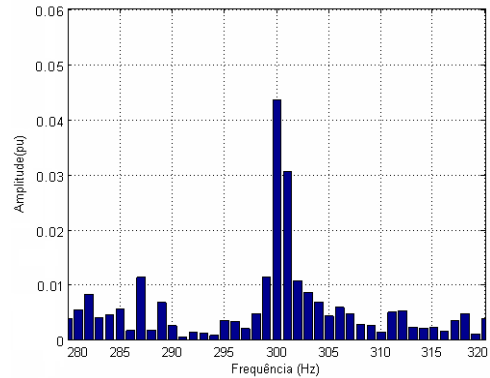


Figura 10 – Espectro de frequência das correntes associadas à operação de um forno a arco elétrico.

Considerando-se, para este efeito, a resposta em frequência da impedância própria equivalente do sistema elétrico, vista da barra de 13,8 kV, conforme mostrado na figura 11, tem-se que uma condição de ressonância paralela é aquela na qual o valor desta impedância equivalente torna-se infinitamente elevada. Assim, qualquer corrente com a mesma frequência de ressonância paralela, por menor que seja sua amplitude, produzirá sobretensões desastrosas para as instalações. A figura 11 ilustra a resposta em frequência da impedância própria do sistema em estudo, vista da barra de conexão do filtro em 13,8 kV.

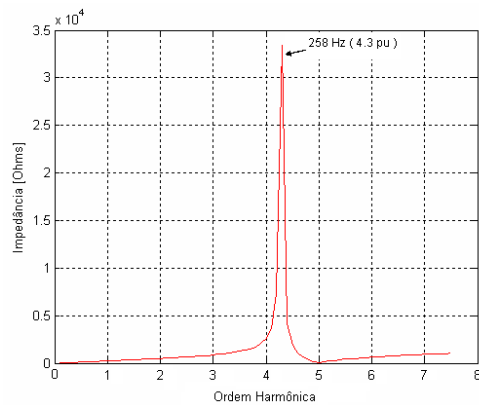


Figura 11 – Resposta em frequência da impedância própria da barra do filtro (13,8 kV).

A frequência de ressonância paralela é sempre inferior à frequência de sintonia do filtro. No caso do presente exemplo, esta frequência é de 258 Hz. Assim, qualquer corrente com esta frequência provocará sérios danos ao filtro e aos demais equipamentos da instalação. Em geral, na grande maioria das vezes, a frequência de ressonância paralela resultante da conexão de filtros harmônicos passivos aos sistemas elétricos será uma frequência inter-harmônica.

D. Aquecimento adicional em máquinas e condutores devido ao incremento de parcelas de perdas joulicas

As perdas adicionais verificadas em máquinas e condutores devido ao aumento de parcelas de perdas joulicas, em função da existência de correntes com frequências inter-harmônicas nas redes de energia elétrica, são proporcionais ao quadrado da corrente eficaz que circula pelos condutores de um determinado circuito elétrico. Basicamente, a análise associada ao aumento de perdas elétricas decorrentes da presença de correntes e tensões inter-harmônicas baseia-se nos mesmos fundamentos válidos para as frequências harmônicas, amplamente difundidas na literatura nacional e internacional.

No caso de transformadores, tem-se também um aumento nas perdas devido a presença de componentes inter-harmônicas. Neste sentido, tem-se que inter-harmônicas de tensão aumentam as perdas no ferro, enquanto que as inter-harmônicas de corrente elevam as perdas no cobre. A elevação das perdas no cobre deve-se principalmente ao efeito pelicular, ou *Efeito Skin*, o qual implica numa redução da área efetivamente condutora à medida que a frequência aumenta.

Para as máquinas rotativas, tem-se que o aumento das perdas no ferro e no cobre promove uma elevação no aquecimento da máquina, comprometendo sua eficiência, diminuindo o torque disponível e, principalmente, reduzindo sua vida útil. Também pode ser verificada uma elevação dos ruídos audíveis decorrentes da operação destas máquinas, quando da presença de componentes inter-harmônicas.

E. Saturação de transformadores de corrente

Os relés e medidores de grandezas elétricas são geralmente conectados ao sistema de potência através de transformadores de corrente (TC) e/ou de potencial (TP). Para o caso particular dos transformadores de corrente, embora todos tenham o mesmo princípio de funcionamento, existem diferenças significativas entre os TC's de medição e aqueles destinados à proteção dos sistemas de energia elétrica. A primeira diferença relaciona-se com a classe de exatidão destes equipamentos que para os TC's de medição são inferiores a 1,2% e para os TC's de proteção são iguais a 10,0%.

Para efeito de análise do impacto das componentes de corrente com frequências inter-harmônicas, no entanto, a principal característica física do TC's a ser considerada relaciona-se com a permeabilidade magnética do núcleo. Para os TC's de medição tem-se uma elevada permeabilidade magnética conferindo ao equipamento uma pequena corrente de magnetização, perdas reduzidas e, conseqüentemente, pequenos erros de correlação entre as correntes primárias e secundárias. Por outro lado, os mesmos entram em saturação rapidamente quando uma corrente no enrolamento primário atinge um valor próximo a 4 (quatro) vezes a corrente nominal primária. Para os TC's de proteção, em contra-partida, a permeabilidade magnética do núcleo não é tão elevada, fazendo com que a saturação ocorra apenas para correntes primárias muito elevadas em relação ao seu valor nominal, da

ordem de 20 (vinte) vezes. Este tipo de saturação, ocasionada pelo aumento da amplitude da corrente primária é denominada saturação por corrente alternada e nada tem haver com a presença de componentes inter-harmônicas nos sinais de corrente.

Neste sentido, um outro tipo de saturação pode ocorrer quando da presença de componentes contínuas nos sinais de corrente primários. Trata-se da saturação por corrente DC. Uma das características associadas à presença de inter-harmônicas nas redes elétricas é proporcionar um nível DC aleatório no tempo e com amplitude variável, podendo ocasionar a saturação momentânea dos transformadores de corrente, resultando erros superiores à classe de exatidão destes equipamentos, assim como distorção da forma de onda da corrente secundária.

A figura 12 ilustra o comportamento da componente de nível DC para um sinal resultante da sobreposição de uma corrente com frequência fundamental (60 Hz) e uma outra componente com frequência de 5 Hz e amplitude igual a 15% da onda fundamental.

Conforme pode ser observado no sinal hipotético representado na figura 12, tem-se o aparecimento de uma componente de nível DC variável no tempo. Para os casos reais esta variação é aleatória, podendo haver maior predominância desta componente no sentido positivo ou negativo do fluxo da corrente.

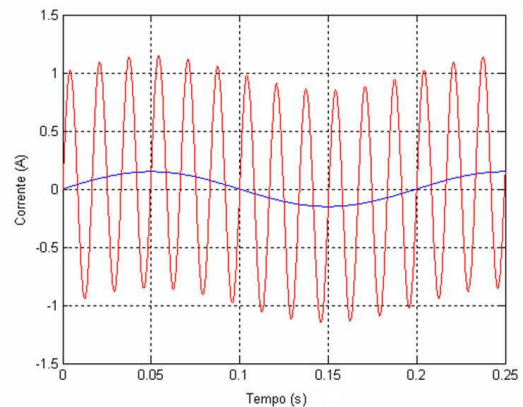


Figura 12 – Aparecimento de componente DC nos sinais resultantes em função da presença de inter-harmônicas.

F. Outros impactos decorrentes da presença de componentes inter-harmônicas nas redes elétricas

Em geral, todos os impactos decorrentes da presença de componentes harmônicas nos sistemas de energia elétrica podem ser estendidos às frequências inter-harmônicas, como interferência em sistemas de comunicação e aparecimento de ruídos audíveis em núcleos indutivos. Contudo, existe uma característica intrínseca apenas às componentes inter-harmônicas, sendo a mesma relacionada ao surgimento de flutuações de tensão com grande probabilidade de ocorrência

do fenômeno da cintilação luminosa, ou *flicker*. Adicionalmente, e em decorrência deste fenômeno, observa-se também o surgimento de erros de medição nos equipamentos destinados à monitoração de *flicker* constituídos a partir do protocolo internacional apresentado pela Norma IEC 61000-4-15.

IV. CONCLUSÕES

No presente trabalho foram apresentadas as principais cargas geradoras de correntes inter-harmônicas, com especial atenção aos fornos a arco elétrico. Verificou-se que as componentes de frequências inter-harmônicas podem surgir nas redes de energia elétrica através de duas formas distintas: através da variação ou flutuação na amplitude da componente fundamental da tensão e/ou corrente ao longo do tempo ou, ainda, através da operação de cargas com chavamento estático, associado a elementos de eletrônica de potência, de forma não sincronizada com a frequência fundamental do sistema elétrico local.

Por fim, foram também apresentados e analisados os diversos efeitos associados à presença de correntes e tensões inter-harmônicas nos sistemas de potência, onde destacam-se as oscilações de baixa frequência em sistemas mecânicos, falhas de sensores e equipamentos de comando, sobrecarga e perda de vida útil de equipamentos elétricos, assim como o aparecimento de flutuações de tensão nas redes elétricas.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TAYJASANANT, Thavatchai; XU, Wilsun; LI, Chun, "Interharmonics: basic concepts and techniques for their detection and measurement", Electric Power Systems Research, Volume 66, Issue 1, July 2003, Pages 39-48.
- [2] CHANG, Young-Nong; CHIOU, Gwo-Jen; CHAN, Shun-Yu; LEOU, Rong-Ceng; "The estimation of interharmonics by group frequencies"; TENCON 2004. IEEE Region 10 Conference, Volume C, 21-24 Nov. 2004 Page(s):224 - 227 Vol. 3.
- [3] COPPER Development Association (2004), "Power Quality Application Guide – Interharmonics", Copper Development Association, IEE Endorsed Provider, July 2004.
- [4] IEC 61000-4-15: 2003, Edition 1.1, "Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and Measurement techniques – Functional and design specifications".
- [5] TESTA, A.; Akram, M.F.; Burch, R.; Carpinelli, G.; Chang, G.; Dinavahi, V.; Hatziaioniu, C.; Grady, W.M.; Gunther, E.; Halpin, M.; Lehn, P.; Liu, Y.; Langella, R.; Lowenstein, M.; Medina, A.; Ortmeyer, T.; Ranade, S.; Ribeiro, P.; Watson, N.; Wikston, J.; Xu, W.; "Interharmonics: Theory and Modeling"; Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 22, Issue 4, Oct. 2007; Page(s):2335 – 2348.
- [6] YONG, Jing; Tayjasant, T.; Xu Wilsun; Caixin Sun; "Characterizing Voltage Fluctuations Caused by a Pair of Interharmonics"; Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 23, Issue 1, Jan. 2008; Page(s):319 – 327.
- [7] KIM, Taekhyun; Rylander, Matthew; Powers, Edward J.; Grady, W. Mack; Arapostathis, Ari; "LED Lamp Flicker Caused by Interharmonics"; Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2008. IMTC 2008. IEEE 12-15; May 2008; Page(s):1920 – 1925.
- [8] HALPIN, S. M.; Singhvi, V.; "Limits for Interharmonics in the 1–100-Hz Range Based on Lamp Flicker Considerations"; Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 22, Issue 1, Jan. 2007 Page(s):270 – 276.
- [9] DRAPELA, J.; Toman, P.; "Interharmonic - Flicker Curves of Lamps and Compatibility Lever for Interharmonic Voltages"; Power Tech, 2007 IEEE Lausanne; 1-5 July 2007; Page(s):1552 – 1557.
- [10] KUSHARE, B. E.; Ghatol, A. A.; Aphale, M. S.; "Survey of interharmonics in Indian power system network"; Power Engineering Conference, 2007. IPEC 2007. International 3-6; Dec. 2007; Page(s):1230 – 1235.
- [11] UIE, "Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations – Part V – Flicker and Voltage Fluctuations", 1999.
- [12] IEC 61000-4-7: 2000, "Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and Measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation".