

Estudo de Harmônicas de Corrente Geradas na Partida Suave de Motores de Indução Trifásicos

S. C. L. de Freitas, *Student Member, IEEE*, O. C. N. Souto, W. G. da Silva e L. C. O. de Oliveira

Resumo—O objetivo deste artigo é apresentar os resultados computacionais relativos ao comportamento de uma rede elétrica submetida à injeção de correntes harmônicas oriundas da operação de um *soft-starter* durante a partida de um motor de indução trifásico (MIT). Durante a partida a tensão de alimentação do motor é regulada como vistas a controlar a corrente, evitando, desta forma, os valores elevados desta grandeza e, conseqüentemente, os efeitos decorrentes. As formas de onda de tensão e corrente de alimentação são analisadas, durante o período transitório buscando-se avaliar os níveis de distorção harmônica. A norma internacional EN 50160 é utilizada como referência para a análise das distorções. Para simulação digital do sistema e a análise do conteúdo harmônico em questão, utilizou-se o software MATLAB/Simulink®.

Palavras-Chave—distorções harmônicas, motor de indução trifásico, qualidade da energia elétrica, *soft-starter*.

I. INTRODUÇÃO

HOJE, frente ao acelerado desenvolvimento da eletrônica de potência, surgem a cada dia novos equipamentos, destinados a modernizar as técnicas convencionais de acionamento de motores de indução trifásicos.

A crescente necessidade de sistemas confiáveis ampliou a utilização de *soft-starters*, também conhecidos como partida suave. *Soft-starters* são utilizados basicamente para partidas de motores de indução de corrente alternada tipo gaiola, em substituição aos métodos estrela-triângulo, chave compensadora ou partida direta [1]. São usualmente aplicados como sistema auxiliar de partida em equipamentos do tipo: ar-condicionados, sistemas de refrigeração industrial, compressores, escadas rolantes, esteiras, entre outros. Em redes com baixo nível de curto-circuito empregam-se tais dispositivos para o controle da corrente de partida evitando, desta forma, os efeitos na tensão do barramento.

O processo de partida suave se dá através de um comando microprocessado que controla tiristores, conectados em anti-

paralelo [2]. Através do controle do ângulo de disparo desses tiristores, ajusta-se a tensão enviada ao estator do motor, limitando a corrente de partida, evitando picos de corrente, incorporando parada suave, proteções e uma conseqüente economia de energia [1], [3].

Apesar da vasta aplicação e dos diversos benefícios notados no processo de partida suave de motores de indução trifásicos, ainda permanecem muitas dúvidas referentes aos impactos reais causados na rede elétrica por este método de acionamento [3]. Em função da não-linearidade dos tiristores que compõe o *soft-starter*, correntes harmônicas são geradas causando distorções na tensão da rede. Estas distorções muitas vezes resultam em perdas bilaterais, ou seja, tanto para companhias fornecedoras quanto para usuários finais de energia elétrica. Além do mais, comprometem a qualidade da energia, causando avarias e o funcionamento anormal de diversas outras cargas elétricas conectadas ao mesmo ramal de alimentação.

Frente aos problemas apresentados, foram estabelecidas algumas normas que servem como referência para a análise da qualidade da tensão e corrente elétrica. No Brasil a referência atualmente utilizada para medir a qualidade da energia elétrica é o Módulo 8 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST), que estabelece limites para as distorções harmônicas apenas da tensão de alimentação [4]. No âmbito internacional, foram criadas normas como EN 50160 e IEEE 519 que, de um modo mais completo, estabelecem limites para as distorções harmônicas individuais e totais de correntes e tensões injetadas na rede elétrica [5], [6].

É neste contexto que se insere este artigo, onde através de simulações computacionais, utilizando o reconhecido software MATLAB/Simulink®, são analisados, usando como referência a norma EN 50160, os impactos da partida de um MIT acionado pelo sistema *soft-starter*. Os resultados obtidos revelam as diferentes intensidades das distorções harmônicas medidas na rede elétrica sob diferentes ângulos de disparo dos tiristores que compõe o módulo de partida suave e, propõe soluções que minimizem os impactos vistos.

II. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Durante a partida do MIT uma grande quantidade de energia é requerida, necessitando elevados níveis de corrente que o desgastam e comprometem a qualidade da energia fornecida a outras cargas conectadas nas imediações do mesmo ramal de alimentação.

Vários métodos são utilizados para o controle da corrente drenada pelo motor durante a partida e seus efeitos na tensão

Agradecimentos ao CNPq pelo apoio financeiro.

S. C. L. Freitas é doutoranda do programa de Pós-Graduação da FEIS-UNESP – Ilha Solteira, SP – Brasil (e-mail: stefani.clf@ieee.org).

O. C. N. Souto é docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Itumbiara-GO (e-mail: olivio.souto@gmail.com).

W. G. da Silva é docente da Universidade Federal de Goiás (UFG) – Goiânia, GO – Brasil. (e-mail: wander@eeec.ufg.br).

L. C. O. Oliveira é docente da Universidade Estadual Paulista (UNESP)– Ilha Solteira, SP – Brasil. (e-mail: origa@dee.feis.unesp.br).

de alimentação, entre eles cita-se: chave estrela-triângulo e chave compensadora [1]. Esses métodos atuam no sentido de reduzir a tensão de alimentação no momento da partida e, consequentemente, a redução da corrente de partida. Com o avanço da eletrônica de potência e a redução dos custos associados a ela, surgem os dispositivos eletrônicos de acionamento e partida, a exemplo, os equipamentos de partida suave ou *Soft-Starter*. A Fig. 1 demonstra um comparativo entre os métodos partida suave, partida direta e partida estrela-triângulo.

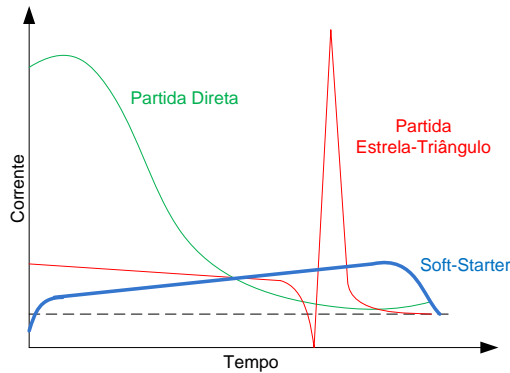


Fig. 1 – Gráfico comparativo entre os principais métodos de partida.

A análise da Fig. 1 mostra que na partida direta a corrente de partida é extremamente elevada. O uso da partida estrela-triângulo apresenta o inconveniente de que na comutação de estrela para triângulo ocorre um transitório na corrente de suprimento.

As chaves de partida estática do *soft-starter* são projetadas para acelerar, desacelerar e proteger motores de indução trifásicos, evitando altos conjugados de aceleração [7]. Através do ajuste do ângulo de disparo de tiristores, a tensão aplicada ao motor é controlada, reduzindo assim os picos de correntes gerados pela inércia do motor [1]. O torque e a corrente são ajustados levando em consideração a necessidade da carga, ou seja, a corrente exigida na partida será a mínima exigida para acelerar a carga, sem variação de frequência. O esquema genérico de um *soft-starter* é ilustrado na Fig. 2.

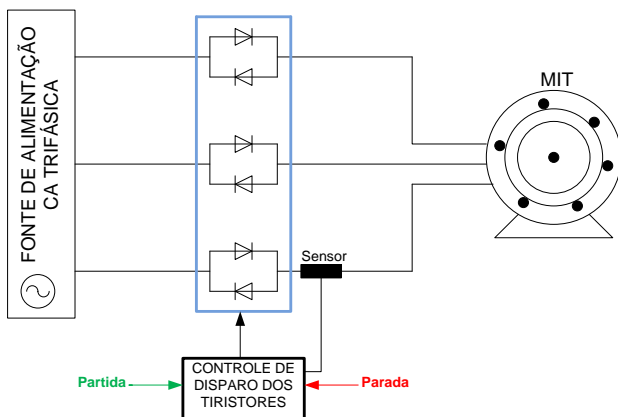


Fig. 2 – *Soft-Starter* para acionamento de um MIT.

De uma forma geral, as seguintes características dos *soft-starters* podem ser observadas:

- Ajuste da tensão de partida;
- Redução rápida de tensão a um nível ajustável, (redução de choques hidráulicos em sistemas de bombeamento);
- Proteção contra falta de fase, sobre corrente e subcorrente, etc.

O *soft-starter* controla a potência do motor sem alterar sua frequência de velocidade de rotação. Para que isso seja possível, o controle de disparo dos tiristores atua em dois pontos: controle por tensão zero e controle de corrente zero [1], [7]. O circuito de controle deve temporizar os pulsos a partir do último valor de zero da forma de onda, tanto da tensão quanto na corrente.

Para que a partida do motor ocorra de modo suave, o usuário deve estabelecer uma tensão inicial com o menor valor possível, suficiente para iniciar o movimento da carga. A partir deste ponto, a tensão subirá linearmente até atingir o valor nominal.

É importante notar que, em situações reais, a escolha do ângulo de disparo dos tiristores é realizada levando em consideração dois importantes critérios, sendo eles: as necessidades do MIT acionado e o menor nível de poluição harmônica gerada em durante a partida.

III. VALORES DE REFERÊNCIA PARA NÍVEIS DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS

A distorção harmônica total de corrente foi definida como necessidade de quantificar numericamente as harmônicas presentes na rede elétrica. De acordo com a definição dada pela norma IEEE 519 [6], este parâmetro representa a razão entre o valor eficaz de harmônicas e o valor eficaz da componente fundamental, para a corrente tem-se:

$$DHT_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n_{max}} I_n^2}}{I_1} \times 100(\%) \quad (1)$$

Onde:

DHT_i - é a distorção harmônica total de corrente;

I_1 - é o valor rms da corrente fundamental;

I_n - é o valor rms da componente harmônica de ordem n ;

Com base nos cálculos de distorção harmônica total (DHT) de corrente e tensão, deduz-se que quando não existe poluição harmônica a DHT é nula. Portanto, quanto mais baixa for a DHT menor será o grau de deformação da onda amostrada.

Com relação às normas que tratam da qualidade da energia elétrica, pode-se citar a europeia EUROPEAN STANDART EN50160, adotada por vários países do continente [5]. Já nos EUA, muitas concessionárias têm usado a norma IEEE SA 519-1992 [6] apenas como referência e raramente incluem cláusulas sobre este tema nos contratos com clientes. No

âmbito nacional a referência atualmente utilizada para medir a qualidade da energia é o Módulo 8 do PRODIST.

A norma EN50160 é utilizada como referencial neste trabalho por apresentar, de maneira completa, os indicadores necessários para as análises de distorções harmônicas de tensão e corrente de linha. E, segundo a norma, os valores de referência para as distorções harmônicas totais de corrente (DHT_i) e tensão (DHT_v) seguem os padrões apresentados nas Tabelas I e II, respectivamente:

TABELA I
VALORES DE REFERÊNCIA PARA DHT_i

$DHT_i \leq 10\%$	Considerado como normal.
$10\% < DHT_i \leq 50\%$	Revela uma poluição harmônica significativa. Para esta faixa de valores, existe o risco de aquecimento, o que implica no sobredimensionamento dos cabos e das fontes.

TABELA II
VALORES DE REFERÊNCIA PARA DHT_v

$DHT_v \leq 5\%$	Considerado como normal.
$5\% < DHT_v < 8\%$	Revela uma poluição harmônica significativa, porém aceitável.
$DHT_v \geq 8\%$	Revela uma poluição harmônica considerável, sendo necessária uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação.

IV. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA SIMULADO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Apesar das substanciais melhorias observadas sob o acionamento de motores de indução trifásico via *soft-starters*, existem ainda algumas desvantagens em decorrência da não-linearidade dos tiristores que o compõe, caracterizando, portanto, o módulo de partida suave como gerador de distúrbios na tensão da rede elétrica. O objetivo do trabalho é, portanto, apresentar a simulação de quatro casos que demonstrem as distorções causadas pelo sistema de partida suave.

Os dados do sistema simulado e do MIT são apresentados na Tabela III. A Tabela IV sintetiza as diferenças entre os casos simulados no que se refere ao ângulo de disparo dos tiristores, pré-fixados.

TABELA III
DADOS DO SISTEMA SIMULADO

Tensão de alimentação	460Vrms
Frequência da rede	60Hz
Impedância da linha	$R=1\Omega$; $L=10mH$
Tipo do rotor do MIT	Gaiola de esquilo
Potência do MIT	10 HP
Rotação do MIT	1760rpm
Impedância do rotor	$R=0,6837\Omega$; $L=4,2mH$
Impedância do estator	$R=0,451\Omega$; $L=4,2mH$
Ângulos de disparo dos tiristores	$1^\circ/60^\circ/120^\circ/160^\circ$

TABELA IV
SÍNTESE DOS CASOS SIMULADOS

Casos	Ângulo de disparo dos tiristores
1	1°
2	60°
3	120°
4	160°

A Fig. 3 ilustra o diagrama do sistema montado e simulado no *Simulink*®. O sistema é composto pela fonte de alimentação, impedância do sistema, *soft-starter*, o MIT e uma carga. A arquitetura do módulo de partida suave é ressaltada.

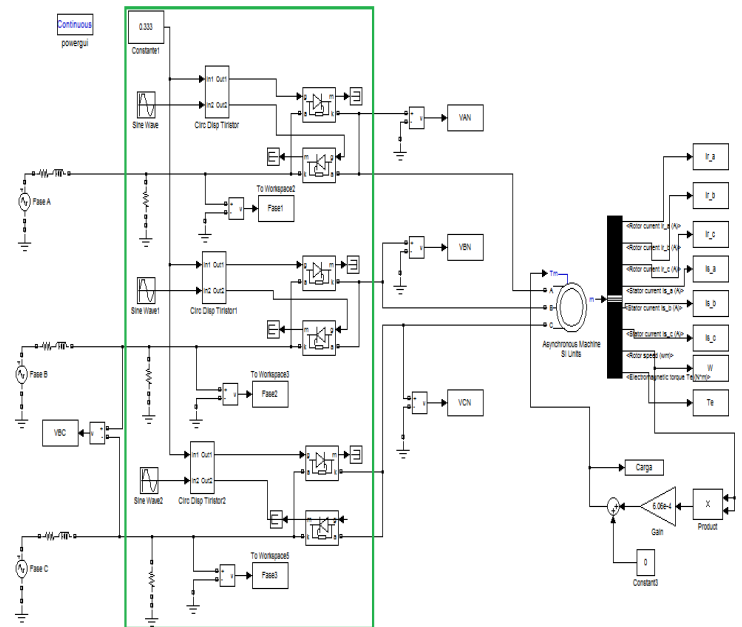


Fig. 3 – Sistema simulado montado no *Simulink*®.

Após a montagem do diagrama ilustrado na Fig. 3, foi necessário escolher a ferramenta matemática que melhor se adequasse para a realização da análise dos sinais amostrados, quantificando em termos percentuais as deformações na forma de onda de tensão e corrente nos instantes iniciais da partida do MIT. A ferramenta matemática escolhida para os estudos aqui realizados foi a Transformada de Fourier, que tem como base a decomposição de componentes senóides e cossenóides (senos e co-senos), com diferentes amplitudes e frequências (função aperiódica) [8]. Entende-se que esta ferramenta atende as necessidades deste estudo, visto que as formas de onda medidas nos instantes iniciais da partida do MIT caracterizam um período transitório.

O cálculo da DHT de tensão e corrente foi realizado para doze ciclos iniciais da partida, onde foram estabelecidos os limites da integração da Transformada de Fourier. Os gráficos demonstram os níveis de distorção harmônica total na corrente (DHT_i) e tensão (DHT_v) de alimentação do MIT. As componentes harmônicas mais expressivas e consideradas nesta análise são as de 3ª, 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordem.

A. Caso 1 – Ângulo de disparo dos tiristores fixados em 1°

A Fig. 4 apresenta os resultados obtidos para o ângulo de disparo dos tiristores fixados em 1° .

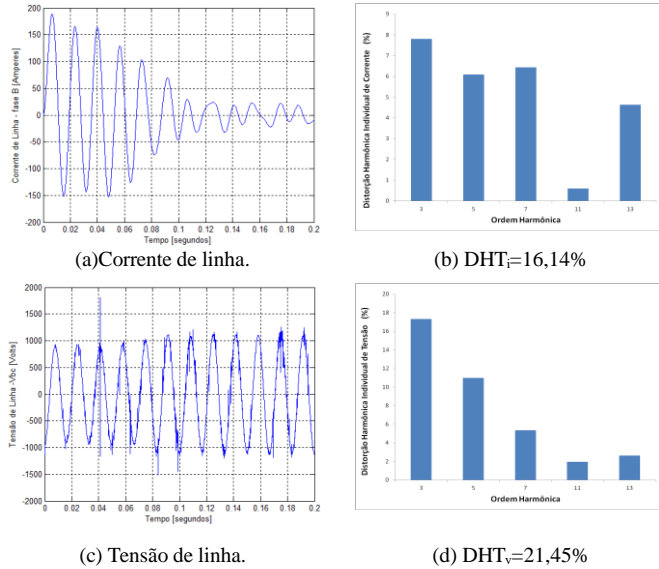


Fig. 4 – Forma de onda e espectro harmônico da corrente e tensão de linha na fase A para ângulo de disparo dos tiristores igual a 1° .

A amplitude da corrente de linha, Fig. 4(a), decresce muito nos primeiros ciclos da partida do MIT. Pois, devido ao ângulo de disparo dos tiristores ser de aproximadamente zero grau, a partida se comporta praticamente como em um acionamento simples, apresentando corrente da ordem de até oito vezes superior ao valor da corrente nominal. A DHT_i, Fig. 4(b), apresenta uma poluição harmônica significativa, devido ao efeito do chaveamento dos tiristores. A distorção harmônica individual da corrente de linha mostra que o 3º harmônico é o mais acentuado.

A forma de onda da tensão de linha, Fig. 4(c) apresenta distorções acentuadas, onde ocorre um *spike* em torno de 0,04 segundos, que pode ser atribuído ao chaveamento dos tiristores do *soft-starter*, que geram transientes. Isso ocorre por que neste instante o indutor do MIT se opõe à variação de corrente elétrica. A amplitude da tensão aumenta nos primeiros ciclos da partida e atinge seu valor nominal de 1127 Volts em torno de 0,13 segundos e, apresenta um movimento contrário ao da corrente de linha. A DHT_v, Fig. 4(d), apresenta uma poluição harmônica considerável. A DHT_v mostra que o 3º, 5º e 7º harmônicos são os mais significativos. Isto se justifica em função da amplitude da corrente nos instantes iniciais da partida do MIT, associado à comutação dos tiristores.

B. Caso 2 – Ângulo de disparo dos tiristores fixados em 60°

A Fig. 5 apresenta os resultados obtidos para o ângulo de disparo dos tiristores fixados em 60° .

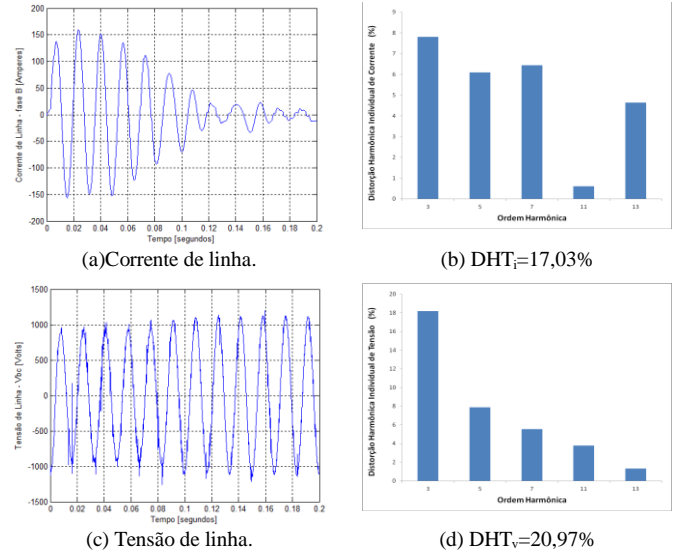


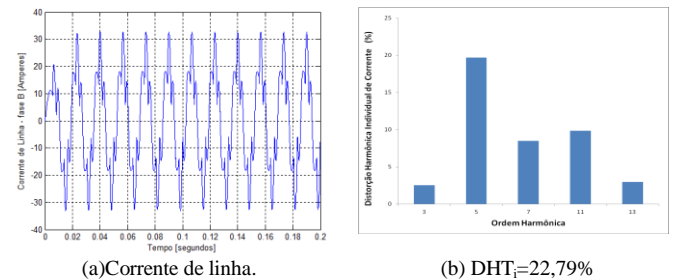
Fig. 5 – Forma de onda e espectro harmônico da corrente e tensão de linha na fase A para ângulo de disparo dos tiristores igual a 60° .

A amplitude da corrente de linha, Fig. 5(a), apresenta variações acentuadas e decresce significativamente nos primeiros ciclos da partida. A DHT_i, Fig. 5(b), apresenta um conteúdo harmônico significativo, sendo que a 3ª harmônica apresenta a maior contribuição na distorção total.

A forma de onda da tensão de linha, Fig. 5(c), apresenta distorções em praticamente todos os ciclos amostrados. Durante o chaveamento dos tiristores, a energia armazenada sob a forma de campo magnético força a passagem de corrente em sentido inverso ao original, resultando em um pulso rápido de alta tensão, denominado *spike*, que pode ser observado em torno de 0,02 segundos. A amplitude da tensão varia com um comportamento inverso à amplitude da corrente, Fig. 5(a), e chega ao valor nominal de operação em torno de 0,11 segundos. A DHT_v ilustrada na Fig. 5 (d) apresenta um valor considerável, revelando que as componentes harmônicas de 3ª, 5ª, 7ª são as mais significativas.

C. Caso 3 – Ângulo de disparo dos tiristores fixados em 120°

A Fig. 6 apresenta os resultados obtidos para o ângulo de disparo dos tiristores fixados em 120° .



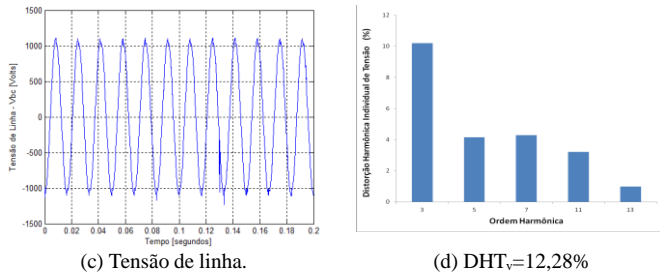


Fig. 6 – Forma de onda e espectro harmônico da corrente e tensão de linha na fase A para ângulo de disparo dos tiristores igual a 120°.

A amplitude da corrente de linha, Fig. 6(a), aumenta nos primeiros ciclos e apresenta distorções ao longo de toda a partida do MIT. No entanto, apesar das distorções na forma de onda, a amplitude da corrente de partida é bem inferior as apresentadas nos casos 1 e 2. A DHT_i, Fig. 6(b), apresenta uma poluição harmônica significativa, sendo a 5ª harmônica, a componente que apresenta maior distorção individual.

A forma de onda da tensão de linha, Fig. 6(c), apresenta distorções leves com variações de amplitude quase imperceptíveis na amplitude. As menores variações na amplitude da tensão se devem a menor amplitude da corrente de linha, Fig. 6(a). A DHT_v, Fig. 6(d), apresenta uma poluição harmônica considerável, mas com valores menores se comparados a DHT_v com ângulo de disparo dos tiristores igual a 1 e 60 graus. As análises relacionadas à distorção harmônica individual de tensão mostram que a 3ª harmônica é a mais expressiva.

D. Caso 4 – Ângulo de disparo dos tiristores fixados em 160°

A Fig. 7 apresenta os resultados obtidos para o ângulo de disparo dos tiristores fixados em 160°.

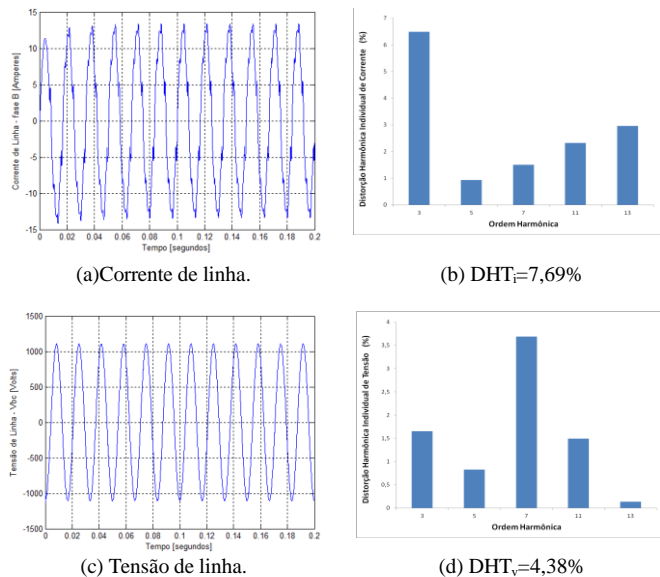


Fig. 7 – Forma de onda e espectro harmônico da corrente e tensão de linha na fase A para ângulo de disparo dos tiristores igual a 160°.

A amplitude da corrente de linha, Fig. 7(a), aumenta nos primeiros ciclos e apresenta deformações mais suaves que as

contempladas nos casos anteriores. Além disso, a amplitude da corrente é menor se comparada à partida com ângulo de disparo dos tiristores igual a 1°, 60° e 120°. A DHT_i, Fig. 7(b), apresenta uma poluição harmônica relativamente pequena, sendo a 3ª harmônica a componente que apresenta contribuição mais expressiva na distorção total.

A forma de onda da tensão de linha, Fig. 7(c), apresenta distorções praticamente imperceptíveis. A DHT_v, Fig. 7(d), apresenta uma poluição harmônica bem inferior as colhidas nos casos anteriores, atribuindo-se a 7ª harmônica a maior responsabilidade pelas distorções residuais.

A Tabela V apresenta uma comparação entre as DHT_i e DHT_v para os quatro casos simulados.

TABELA V
RESULTADOS PARA OS CASOS SIMULADOS

Casos/ângulo de disparo do tiristor	DHT _i	DHT _v
Caso 1 – 1°	16,14%	21,45%
Caso 2 – 60°	17,03%	20,97%
Caso 3- 120°	22,79%	12,28%
Caso 4 – 160°	7,69%	4,38%

As DHT_i dos casos 1, 2 e 3 apresentam valores expressivos. A DHT_v decresce a medida que o ângulo de disparo dos tiristores é ajustado para valores maiores. A minimização das distorções de tensão se justifica em decorrência do decaimento da amplitude das correntes à medida que o ângulo de disparo dos tiristores aumenta.

O resultado mais satisfatório das simulações está no caso 4, onde a tensão de linha já é iniciada em seu valor nominal de operação e, segundo a norma tomada como referência neste trabalho, as DHT_i e DHT_v estão em níveis satisfatórios, não representando perigo à cargas vizinhas e nem depreciando a tensão de alimentação da rede elétrica.

V. CONCLUSÕES

As análises das formas de onda de tensões e correntes confirmam que o motor de indução, acionado por sistemas de partida suave representa uma carga não-linear para a rede de alimentação.

Os espectros de frequências revelam os níveis de distorções harmônicas e conclui-se que à medida que se aumenta o ângulo de disparo dos tiristores, menores são as distorções harmônicas na tensão de alimentação.

Do caso 1 ao caso 3 os níveis de distorção de tensão, superiores a 8%, revelam uma poluição harmônica considerável, sendo necessária uma análise aprofundada que possibilite a colocação de dispositivos que minimizem os efeitos negativos provocados pela partida suave do MIT.

O caso 4 é o que apresenta os melhores resultados relativos à DHT_v, inferior a 5%. Embora, ainda apresente uma distorção harmônica residual, as distorções harmônicas totais e individuais permanecem em um nível considerado aceitável levando em consideração a norma EN 50160.

Como solução proposta para a atenuação dos variados problemas causados por distorções harmônicas resultantes da partida suave do MIT, recomenda-se a alocação de dispositivos de atenuação como, por exemplo, filtros ressonantes de harmônicas. Estes filtros são atrativos sob o ponto de vista técnico-econômico e otimizam o funcionamento do sistema de partida suave, permitindo que o mesmo funcione em níveis toleráveis para os outras cargas no mesmo ramal de alimentação e equilibram a rede como um todo.

VI. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro junto ao programa de Pós-Graduação da FEIS – UNESP.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] A. Rosa, “Simulação de um Soft-Start para motores de indução,” Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Elétrica, UFG, Goiânia-GO, 2003.
- [2] M. F. Medeiros, A. L. A Araújo, G. D. Sousa, A. O. Salazar, J. T. Oliveira, “Simulação da partida de motores através de soft-starter utilizando o ATPDraw”, VII Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica 2007, Santos-SP, 2007.
- [3] S. E. Nagai, N. O. Júnior, J. P. G. Abreu, “A Influência de Soft Starter na Qualidade da Energia Elétrica,” II Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica 1997, São Lourenço-MG, 1997.
- [4] Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica. Brasil: ANEEL, 2008. 53p.
- [5] Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE 519. Recommended Practices and Requirements for Harmonic, 1992.
- [6] BS EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1995.
- [7] M. H. Rashid, “Eletrônica de Potência – Circuitos, Dispositivos e Aplicações,” São Paulo: Makron Books, 3ª edição, 2003.
- [8] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, *Discrete-Time Signal Processing*, New Jersey: Prentice-Hall, 1975, p. 693.

VIII. BIOGRAFIAS



Stefani C. L. Freitas nasceu em Ituiutaba – MG, Brasil. Concluiu seu bacharelado em engenharia elétrica no ano de 2008 pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). É membro do IEEE desde 2009. Recebeu seu título de Mestre em 2011 pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) e atualmente vem desenvolvendo seu programa de doutoramento nesta mesma universidade. É docente na Fundação Educacional de Ituiutaba, unidade associada à UEMG. Suas pesquisas estão concentradas em áreas relacionadas à implementação de supressores de distorções harmônicas.



Olívio C. N. Souto concluiu sua graduação em engenharia elétrica em 1986 na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Nesta mesma universidade, recebeu título de Mestre (1997) e Doutor (2001). Tem experiência em engenharia elétrica com foco em transmissão e distribuição, especialmente em temas relacionados à qualidade da energia, distorção harmônica e análise térmica de motores.



Wander G. da Silva concluiu seu bacharelado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado de Minas Gerais (1986). Recebeu o título de Mestre pela Universidade Federal de Santa Catarina (1989) e Doutor pela *University of Newcastle Upon Tyne* (1999). Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Goiás. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: eletrônica de potência, acionamentos elétricos, lógica *fuzzy* e perturbações de carga.

Luis C. O. Oliveira nasceu em Mirassol – SP, Brasil. Concluiu seu bacharelado em engenharia elétrica na Universidade de Lins. Recebeu título de Mestre pela Universidade Federal de Itajubá e o título de Dr. pela Universidade de Campinas (UNICAMP). Atualmente é professor pesquisador na faculdade de engenharia Elétrica da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Têm publicado uma variedade de artigos relacionados à qualidade da energia elétrica.