



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Aplicação de Capacitor Série como Solução para partida de Grandes Motores de Indução

Massayuki Suzuki	Dirceu J. Ferreira	Wilson M. Borges, M.Sc.
CPFL	CPFL	Expertec Engenharia
msuzuki@cpfl.com.br	diferreira@cpfl.com.br	wilson@expertise-eng.com.br

Josué de Camargo	Geraldo P. Caixeta, Ph.D.
Expertise Engenharia	Univ. São Francisco – USF
josue@expertise-eng.com.br	g.caixeta@ieee.org

PALAVRAS-CHAVE

Compensação série de reativos, motor de indução, qualidade de energia, regulação de tensão, Ressonância subsíncrona.

RESUMO

A partida de Motores de Indução Trifásicos - MIT, sempre se apresentaram como sério problema às concessionárias de energia. Essa questão fica ainda mais grave quando esses motores são de elevada potência, estão concentrados e em grande quantidade, como é o caso de um sistema da CPFL, onde numa rede longa, com mais de 30 km, de distribuição rural, existem 61 motores – totalizando 7,2 MVA – instalados e pouco mais de 40 conseguem entrar em operação. Devido aos inerentes problemas de regulação de tensão, a partida de motores adicionais provoca o desligamento de outros circuitos, principalmente os de comando e proteção. Soluções aplicando equipamentos tradicionais, não resolvem esse tipo de problema devido ao longo tempo de resposta. Buscando soluções para o problema, a CPFL decidiu desenvolver um projeto de P&D sobre o assunto. Tal projeto propõe a aplicação de compensação série de reativos de baixo custo, como um mecanismo de postergação de investimentos em novas linhas de distribuição, redimensionamento ou construção de subestação. Este trabalho apresenta os resultados de simulações em ATPDraw dos níveis de tensão e corrente do sistema, considerando a compensação série e alguns dos problemas e soluções encontradas ao longo de sua instalação em campo.

1. INTRODUÇÃO

Motores de indução trifásicos (MIT) de grande porte exigem elevados níveis de corrente na partida¹. Como conseqüência, o sistema sofre uma elevada queda de tensão, podendo provocar sérios distúrbios operacionais nos equipamentos de outras cargas, principalmente em circuitos de comando e proteção, podendo causar desligamentos indesejados. Além disso, tais motores apresentam nesse período, um baixo fator de potência causando flutuações de tensão, que dependendo das características da rede, poderá ser significativa. Fatos como estes são comumente encontrados em sistemas de distribuição

com baixo nível de curto circuito, como é o caso das longas linhas de distribuição rurais. Soluções normalmente utilizadas para resolver problemas de regulação de tensão, como os próprios reguladores de tensão, ou capacitores em derivação, não são suficientes devido ao tempo de resposta. Isso exige das empresas de distribuição investimentos em construção de novos alimentadores, redimensionamentos, ou novas subestações para atendimento a este tipo de carga². Um caso típico foi apontado pela CPFL numa rede longa de distribuição rural, a qual propôs a aplicação de resultados preliminares de um projeto de pesquisa intitulado “Novo Sistema de Compensação Reativa (PD96)³, como uma possível solução para o problema. Nessa rede existem 61 motores de indução trifásicos concentrados na extremidade da mesma, com cerca de 7,2 MVA de potência, e pouco mais de 40 conseguem entrar em operação. Esses motores são utilizados no bombeamento de água para sistemas de irrigação. No alimentador dessa rede existem ainda três bancos de reguladores de tensão, e quatro bancos de capacitores em derivação.

O PD96 teve como ponto de partida os parâmetros do banco de capacitores instalado no alimentador que atende a localidade de Sabino/SP⁴. Essa instalação foi realizada em 1989, utilizando um fator de compensação de 150%, e garantiu o atendimento a consumidores urbanos e rurais, dentro dos padrões de qualidade exigidos pela ANEEL, e ainda possibilitou o cancelamento de um investimento bastante significativo, que seria necessário na construção da SE de Sabino 34,5/11,9 kV. Entre os objetivos do atual projeto, está o desenvolvimento e testes de um padrão de banco de capacitor série (BCS) que opere num grau de compensação suficiente de maneira que possa ser seguro e confiável, já que existem casos conhecidos da ocorrência de ressonância subsíncrona (RSS), ferro-ressonância, dentre outros efeitos indesejados⁵⁻¹⁰.

A compensação de reativos aplicando capacitores em série com a linha de alimentação em circuitos de distribuição de energia elétrica é uma técnica simples e bem conhecida, que consiste basicamente em diminuir a reatância indutiva da linha⁵⁻⁸. Com isso, a potência reativa exigida na partida de motores, por exemplo, pode ser suprida instantaneamente pelo banco de capacitores, ao invés de se propagar pela linha desde a subestação. Esse efeito ocorre como se o comprimento do alimentador fosse encurtado.

Neste artigo serão mostrados os resultados de simulações e de algumas medições realizadas com o objetivo de encontrar a solução mais viável para o problema da partida dos motores de indução trifásicos comentado acima. As simulações foram realizadas em ATPDraw¹¹. Inicialmente foram criados modelos dos equipamentos – alimentador, transformadores e motores de indução – e realizadas simulações consecutivas da partida dos motores, de forma a reproduzir as ocorrências registradas inicialmente. Para diminuir o número de motores de indução simulados simultaneamente, foi aplicada a técnica de motores agregados¹³⁻¹⁷. A seção 2 apresenta as considerações a respeito desses modelos e a reprodução das ocorrências registradas inicialmente em campo. A seção 3 mostra os resultados de simulações obtidos, considerando o BCS já instalado. Mostra ainda a ocorrência de ressonância subsíncrona no instante próximo à partida do 20º e 21º motor, para em seguida, mostrar os caminhos em busca da mitigação dessa ressonância. Os resultados apresentados neste artigo indicam a viabilidade de aplicação do novo modelo de compensação série³.

2. MODELOS E RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

O diagrama unifilar das instalações elétricas do caso considerado está mostrado na Figura 1. Esse circuito, referente a uma instalação elétrica rural utilizada em sistema de irrigação, é alimentado em 13,8 kV, através de um transformador de 25 MVA, 138/13,8 kV – não mostrado na Figura – localizado numa subestação da CPFL. Esse circuito possui quatro bancos de capacitores em derivação instalados, além de três reguladores de tensão, e cinco barramentos com vários motores de indução trifásicos instalados em cada um deles – L1 ao L4 e L7. Esses motores são alimentados com

transformadores 13,8/0,38 kV, e possuem dispositivos de partida suave (soft-starters). Esse sistema possui um baixo nível de curto-circuito, conforme representação na Tabela 1.

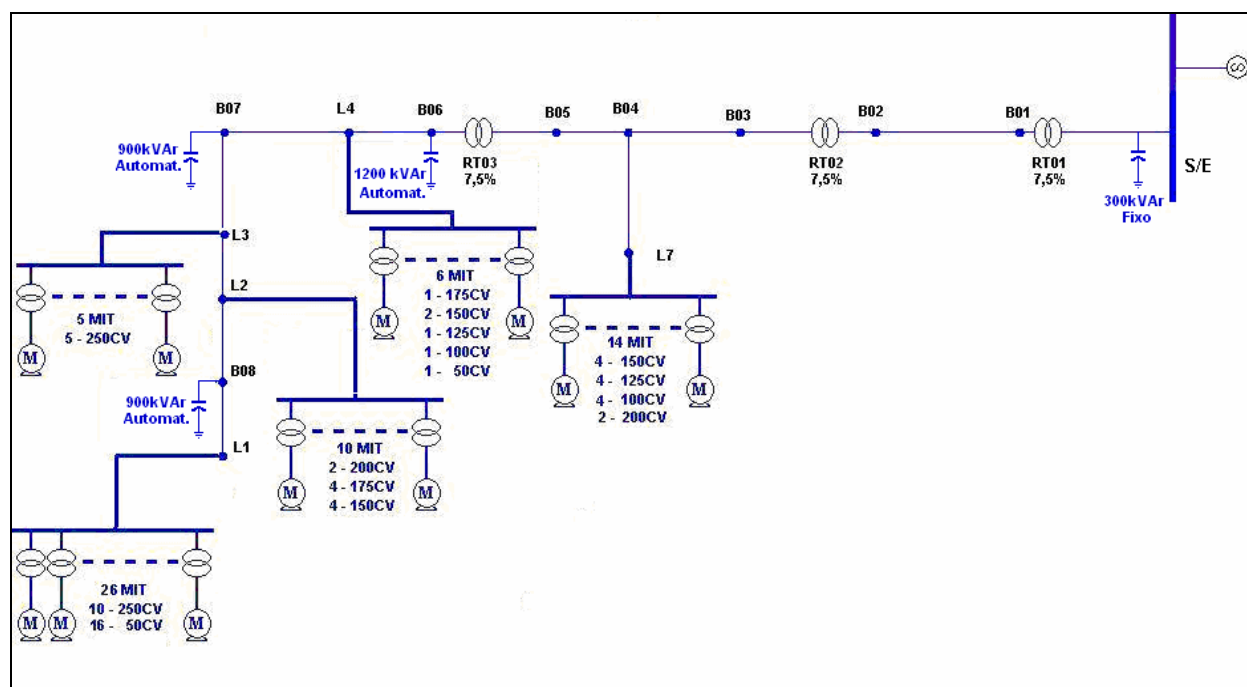


Figura 1 – Diagrama unifilar do sistema.

Tabela 1 – Nível de curto-circuito nos pontos de carga do alimentador.

Pontos de carga	L1	L2	L3	L4	L7
Icc (A)	645	671	681	724	850

O software ATPDraw foi aplicado nas simulações do sistema. O modelo do circuito foi dividido em quatro etapas: (1) rede primária; (2) transformadores; (3) motores de indução; (4) demais elementos do alimentador. Essas etapas estão descritas a seguir.

2.1. Modelo da rede primária

A rede primária do circuito é composta por um alimentador com cabos “A 477 MCM” ao longo de todos os trechos ilustrados na Figura 1. Foi considerado o modelo PI/simétrico trifásico na modelagem e simulação desse alimentador. Os efeitos das capacitâncias parasitas fase-terra e fase-fase foram desprezados. O ATPDraw possui esse modelo pronto – modelo “LINESY_3.SUP”, com dados de entrada as impedâncias de seqüência zero e positiva¹¹.

2.2. Modelo dos transformadores

Foi utilizado um modelo de transformador já existente na biblioteca de modelos do ATPDraw. O modelo utilizado foi o “GENTRAFO.sup”, sendo necessário como dados de entrada, os parâmetros obtidos através de ensaios a vazio e de curto-circuito nos respectivos transformadores¹².

2.3. Modelo dos motores de indução trifásico

Os motores de indução foram modelados a partir do “UM_3.sup” da biblioteca do ATPDraw. Esse modelo possui como dados de entrada, parâmetros como: (a) tipo de conexão (Δ / Y); (b) número de par de pólos; (c) parâmetros intrínsecos do motor (resistências e indutâncias série, indutância de magnetização); (d) se existe saturação, e os dados da saturação, conforme o caso; (d) escorregamento; (e) relação da corrente de partida com a nominal¹⁸.

Alternativamente, esses dados podem ser obtidos a partir dos dados de placa de cada motor, os quais são utilizados como dados de entrada de outro software, o “motdatpr.exe”. Ou seja, a partir dos

dados de placa do motor de indução trifásico, aplica-se o software “motdatpr.exe” para gerar os dados para entrada no modelo “UM_3.sup” empregado no ATPDraw.

No ATPDraw só é possível simular três motores de indução simultaneamente. Esse problema foi contornado pela aplicação da técnica de motores agregados, que consiste em representar vários motores – conectados a um mesmo barramento, nesse caso – em um único motor equivalente, cujos parâmetros devem ser previamente calculados a partir dos parâmetros de cada motor pertencente ao barramento¹³⁻¹⁷.

2.4. Modelo dos demais elementos do sistema

Outros elementos de circuitos pertencentes ao sistema, como banco de capacitor em derivação, reguladores de tensão, são comuns e encontrados facilmente nos softwares de simulação.

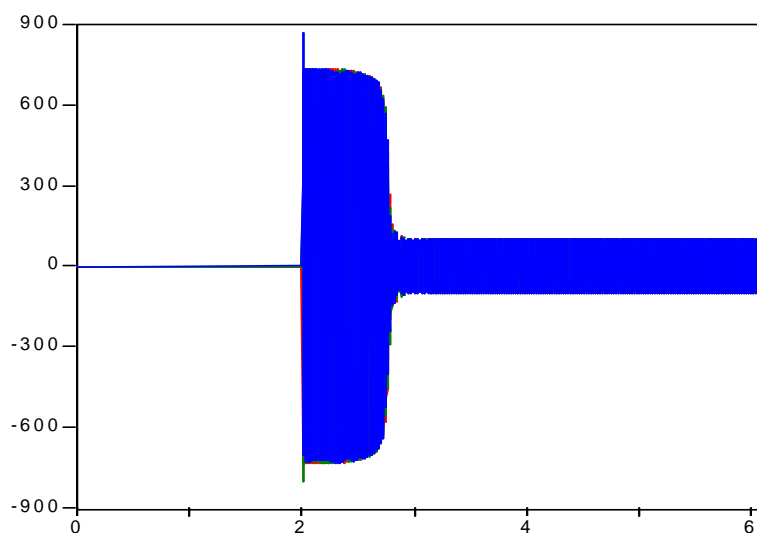


Figura 2 – Corrente que alimenta o 11º motor – partida entre os instantes 2 e 3 s.

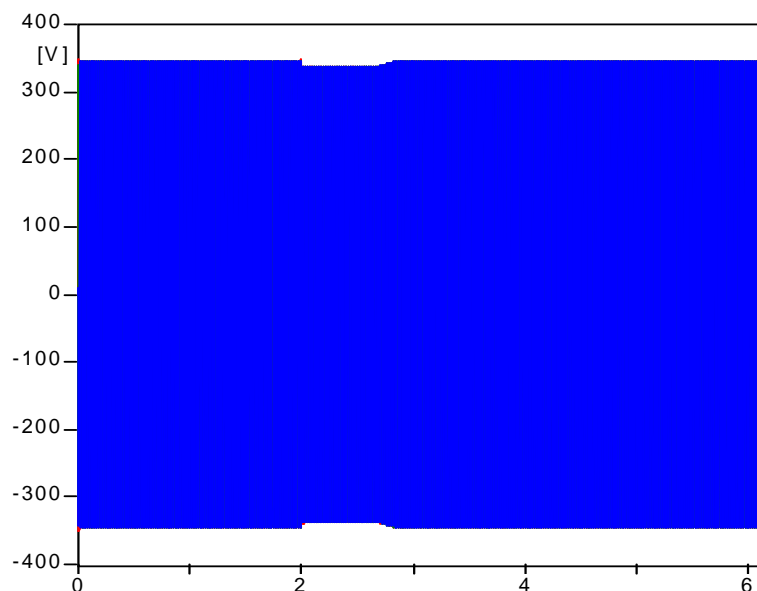


Figura 3 – Perfil de tensão no 1º motor, durante a partida do 11º.

2.5. Modelo de todo o sistema sem capacitor série

O circuito da Figura 1, de todo o sistema considerado, foi modelado no ATPDraw. Considerando a partida do 11º motor de 250 cv, todos pertencentes ao barramento L1, a Figura 2 mostra o resultado da corrente que alimenta esse motor, enquanto que a Figura 3 mostra o perfil de tensão nos terminais do

1º motor já em operação. Nota-se uma pequena queda de tensão – cerca de 1% - sobre os terminais desse motor (motor 1). Nesse caso, os transformadores conectados aos outros motores desligados, foram considerados a vazio.

Na medida em que mais cargas são energizadas, a queda de tensão – durante a partida de mais motores – se acentua, podendo provocar a atuação da proteção dos equipamentos de partida suave (soft-starters), desligando cargas que já se encontravam em operação, conforme será mostrado em resultados de simulações mais adiante³.

Foram então realizadas outras simulações similares, adicionando mais motores ao sistema, até o 41º motor, que é aproximadamente o número de motores que entram em operação sem causar desligamentos indesejados de outros motores no sistema. A cada simulação, na medida em que mais motores entravam em operação, foi possível observar um acréscimo na queda da tensão que alimentava o motor 1. Na partida do 21º motor (250 cv), o banco de capacitores (900 kVAr) em derivação é automaticamente chaveado – conforme comprovação em campo – provocando redução dessa queda de tensão, mas mesmo assim, a mesma foi de cerca de 11%. Na entrada do 31º motor, também de 250 cv, essa queda foi de cerca de 8%, com o segundo banco de capacitores (1.200 kVAr) em derivação já energizado.

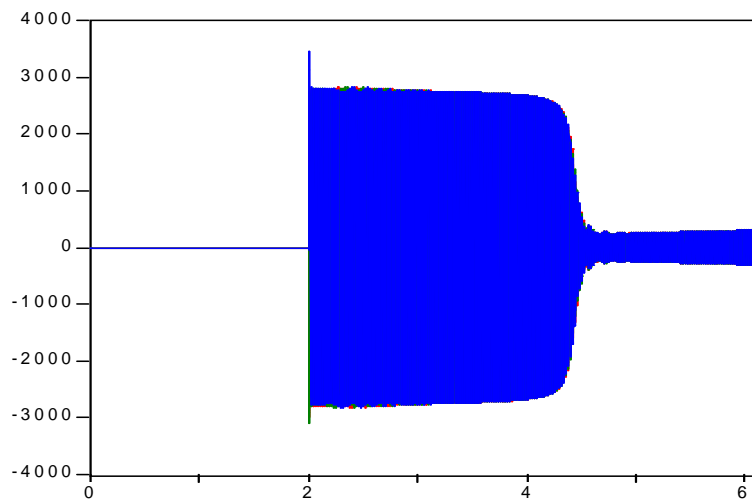


Figura 4 – Corrente que alimenta o 41º MIT (250 cv) – partida no instante 2s.

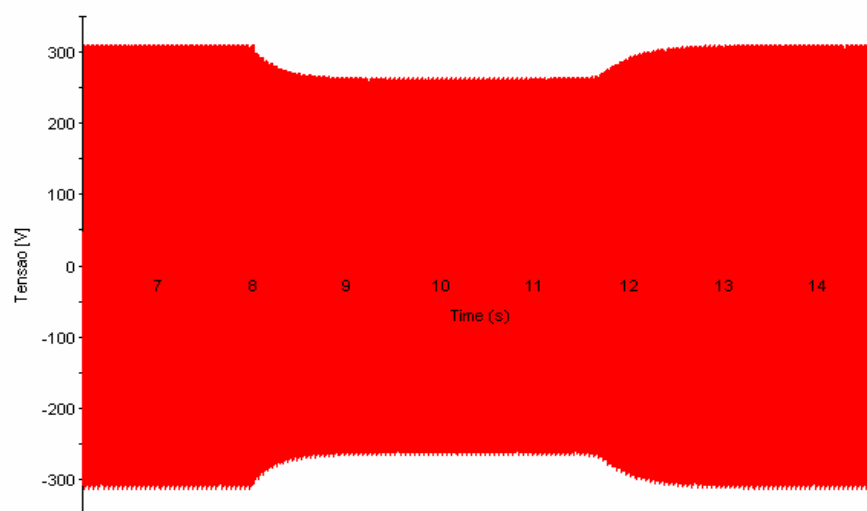


Figura 5 – Perfil de tensão no 1º motor, durante a partida do 41º.

A Figura 4 mostra a corrente de partida do 41º motor (250 cv), e na Figura 5 é possível observar a queda de tensão sobre o 1º motor – cerca de 13,5%. Aqui, o terceiro banco de capacitores em

derivação – 900 kVAr – também já se encontra energizado. São 16 motores de 50 cv, 15 de 250 cv, 4 de 150 cv, 4 de 175cv e 2 de 200cv.

A queda de 13,5% percebida nos terminais de alimentação dos motores em regime, quando ocorre a partida do 41º motor, está muito próxima do limite de operação dos soft-starters instalados em cada motor, podendo ser a causa do desligamento indevido dos motores em operação.



Figura 6 – Tensão medida nos terminais de um motor em operação, quando outros dois motores entram em operação.

Para comprovar os resultados da simulação, foram realizadas medições no local. A Figura 6 mostra o perfil de tensão medida nos terminais de um motor de indução em regime, quando ocorre a partida de outros dois motores da rede.

2.6. Modelo de todo o sistema incluindo o BCS

O banco de capacitores série foi projetado, dimensionado e instalado num ponto anterior ao barramento L7, a 20,2 km da subestação, conforme ilustrado na Figura 7, com impedância equivalente de $2,8 + j8,8 \Omega$. Esse banco foi constituído, inicialmente, por 10 unidades de capacitores em cada fase, cada uma com impedância de 144Ω , ou seja, $14,4 \Omega$ por fase – compensação da ordem de 164%. A Tabela 2 mostra o novo nível de curto-circuito alcançado.

Tabela 2 – Novo nível de curto-circuito nos pontos de carga do alimentador.

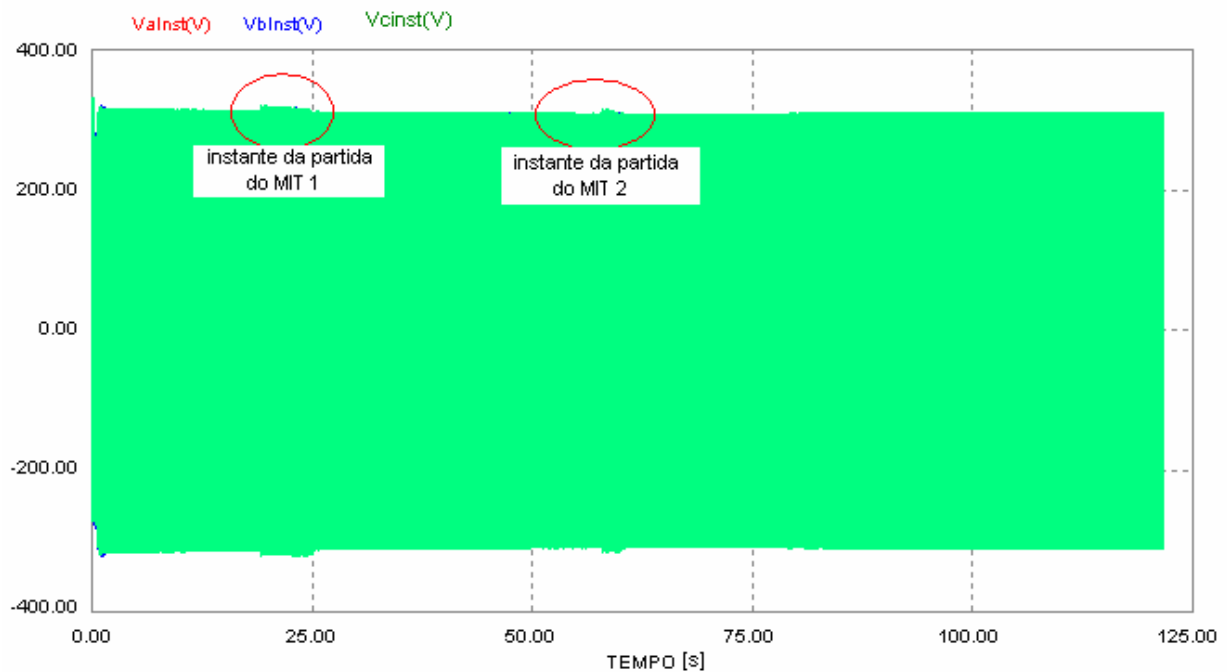
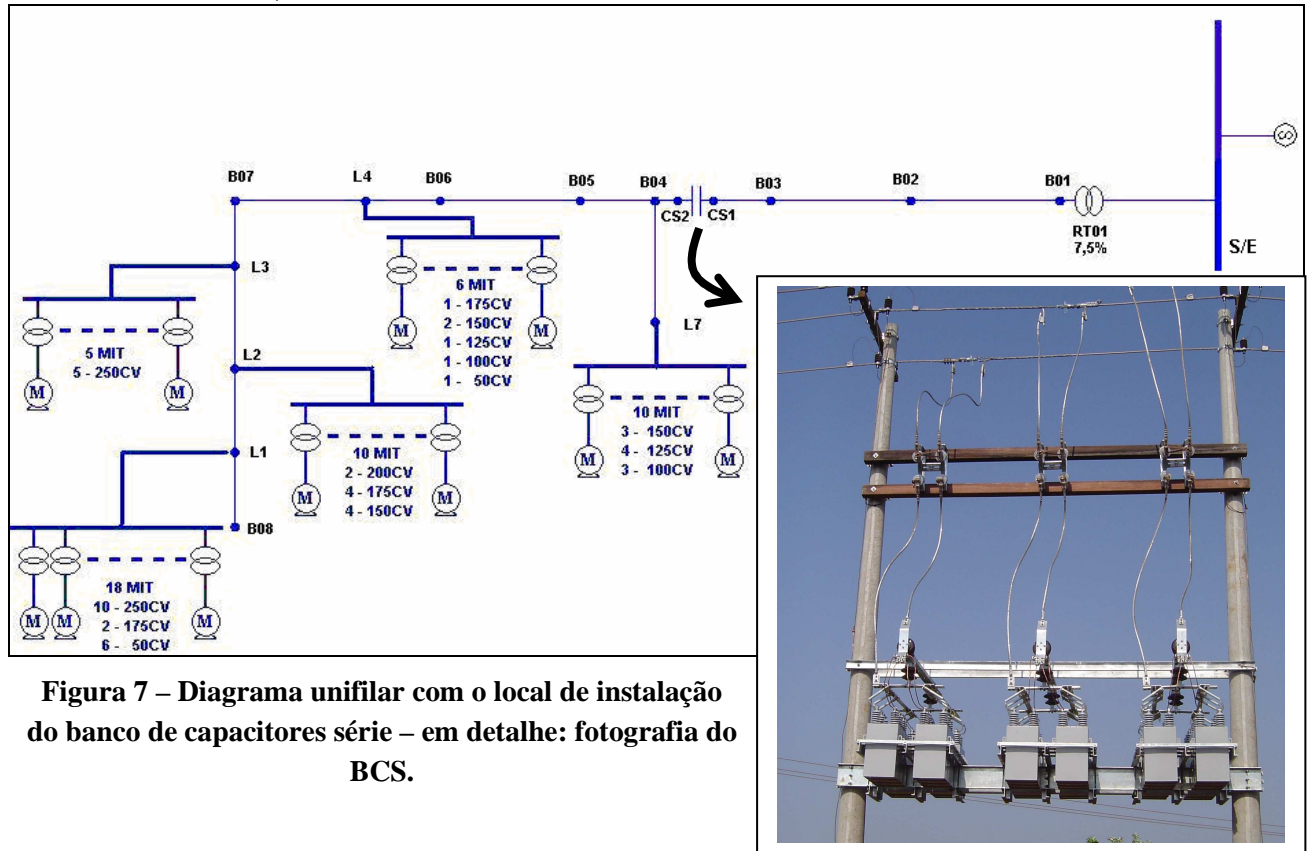
Pontos de carga	L1	L2	L3	L4	L7
Icc (A)	1801	1754	1730	1635	1334

3. RESULTADOS

Os tópicos a seguir, ilustram os resultados de simulações e algumas medições realizadas, considerando o novo sistema de compensação série na rede, conforme Figura 7.

3.1. Partida de dois motores com a compensação série

A Figura 8 mostra os resultados de medição, nas mesmas condições daquelas mostradas na Figura 6, mas agora com a compensação série instalada. A contribuição no sentido de diminuir a queda de tensão acima discutida, é evidente.



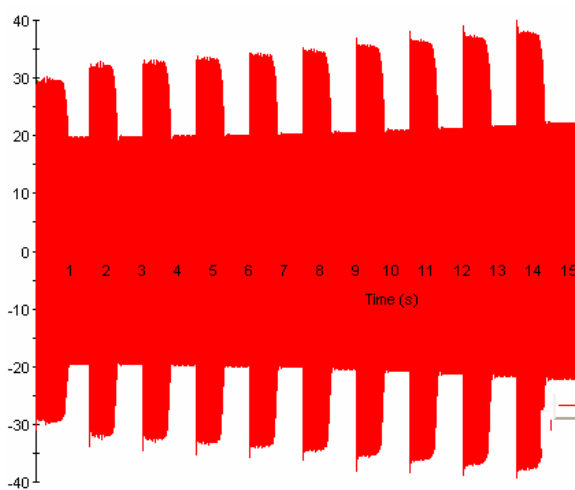


Figura 9 – Corrente a jusante do BCS durante a partida de 10 MIT de 50 cv do L1 – lado de alta tensão.

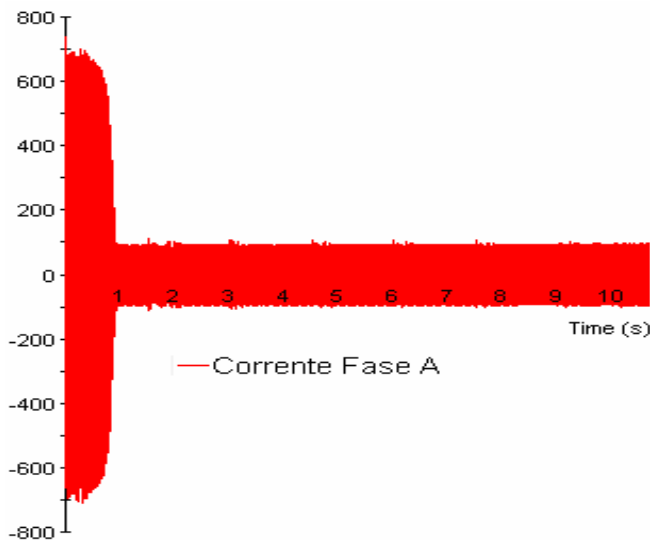


Figura 10 – Corrente nos terminais do motor 1.

3.2. Partida de dez motores com a compensação série

A Figura 9 mostra o perfil de corrente a jusante do BCS durante a partida sequencial de 10 motores de 50 cv, localizados no L1, e a Figura 10 a corrente nos terminais do motor 1, durante as respectivas partidas.

3.3. Ressonância Subsíncrona na Partida do 20º e do 21º com a compensação série

A seqüência de partida dos motores foi novamente realizada, e os resultados estavam de acordo com o previsto, até o 20º motor. As Figuras 11 e 12 mostram o perfil de corrente e tensão, respectivamente, com a partida do 20º (instante 5,0 s) e do 21º (instante 8,0 s) motores, ambos de 250 cv.

A Figura 12 mostra que a tensão passa a oscilar de forma modulada numa frequência abaixo da frequência nominal, caracterizando ressonância subsíncrona – RSS²⁰⁻²³.

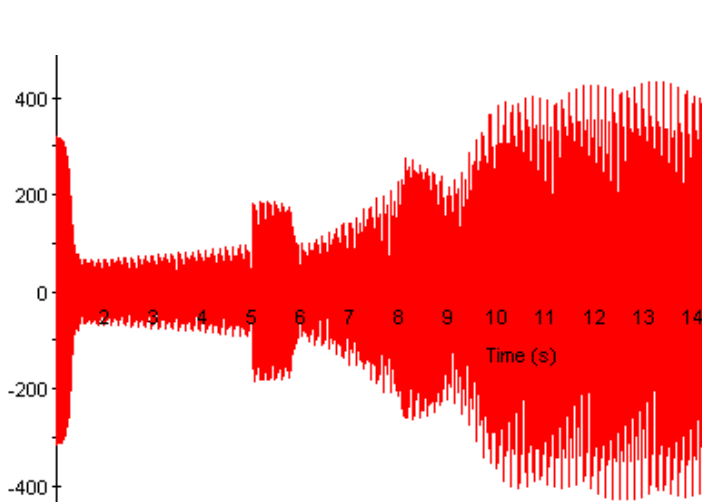


Figura 11 – Corrente no BCS – simulação da partida do 20º e 21º motor – RSS.

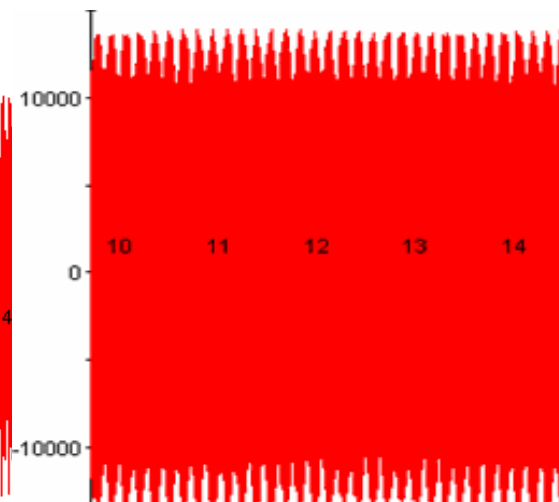


Figura 12 – Tensão a jusante do BCS – partida do 20º e 21º motor – RSS.

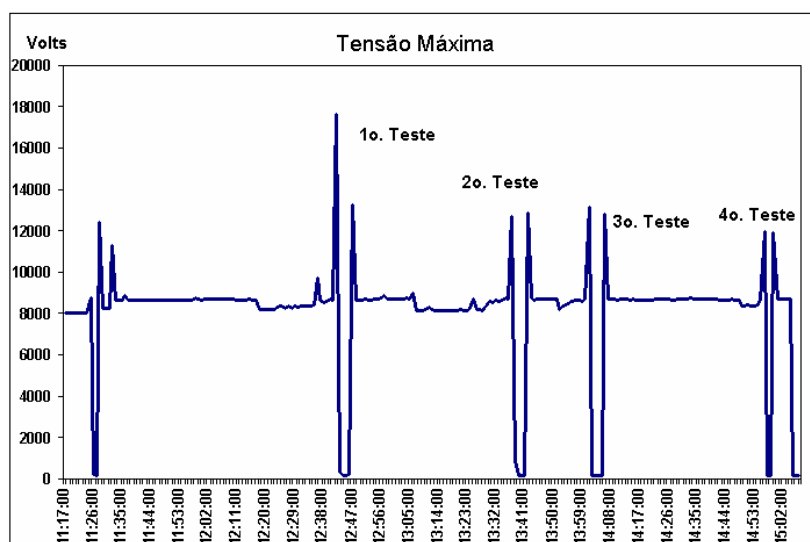


Figura 13 – Tensão fase-terra medida no BCS durante a realização dos testes.

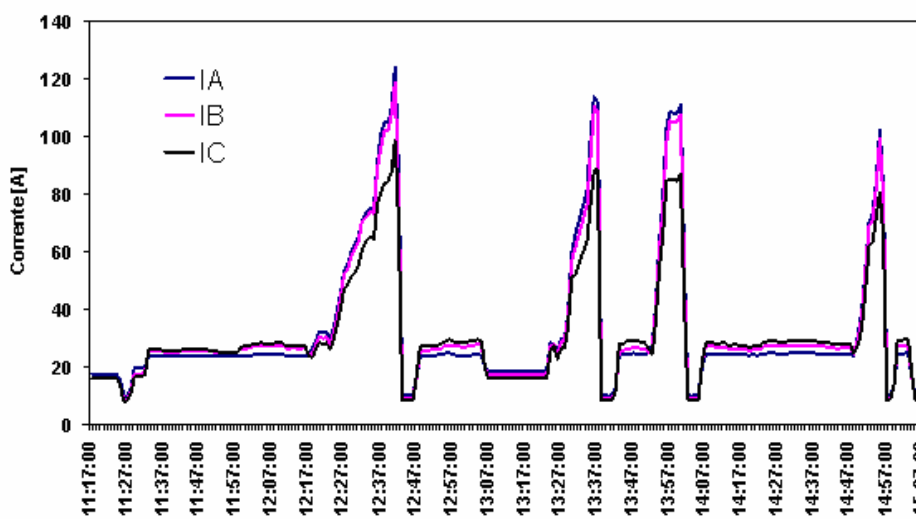


Figura 14 – Corrente medida no BCS durante a realização dos testes

Essa situação foi verificada em campo, quando foi instalado o primeiro protótipo do sistema de compensação série. Nessa fase, ocorreu a operação do religador instalado a jusante do BCS, protegendo adequadamente as instalações do sistema.

A Figura 13 mostra a medição da tensão no BCS durante a realização dos testes, e a Figura 14 mostra a corrente medida no BCS durante os testes realizados – ambos valores RMS – descontínuos no tempo. Nos quatro testes realizados, as Figuras 13 e 14 mostram a atuação da religadora através da anulação da tensão e a tendência de elevação da corrente, respectivamente.

3.4. Métodos considerados na mitigação da RSS

Dada a ocorrência de ressonância, a primeira providência foi analisar a possibilidade de amortecimento com a entrada de mais motores no sistema, além daqueles 20 em plena carga. Foram realizadas sucessivas simulações com esse objetivo, mas nenhuma resultou no esperado amortecimento.

A instalação de um sistema controlado a tiristores (TCSC) em sistemas de distribuição, não é viável devido aos custos envolvidos. Foram então realizadas outras simulações considerando (a) instalação de um resistor de amortecimento em paralelo com o BCS; (b) instalação de filtros passivos; (c) redução do grau de compensação, além de modificações no alimentador, como alteração na seqüência de partida dos motores, inserção dos bancos de capacitores em derivação, dentre outras.

Foi considerada a instalação de um resistor de amortecimento em paralelo com o BCS, com valores da resistência da ordem de 10 vezes o valor da reatância do BCS^{9,19} na frequência industrial, em série com uma chave normalmente aberta, e fechada somente nos instantes críticos de partida dos motores. Os resultados das simulações mostraram que o amortecimento ocorre, mas quando o resistor sai de operação, o sistema volta a ressonar. Esse resultado já era esperado, uma vez que a ressonância subsíncrona ocorre de maneira sustentada e não transitória.

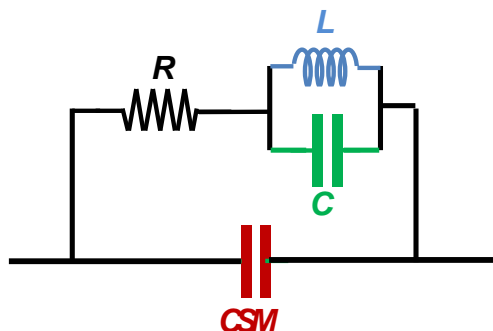


Figura 15 – Filtro RLC considerado nas simulações.

O dimensionamento apropriado de um filtro RLC – Figura 15 – foi efetuado e considerado também nas simulações. Os resultados não apresentaram ressonância, mesmo considerando todos os motores da instalação. A Figura 16 mostra o perfil de corrente no alimentador durante e após a partida do 61º motor da instalação.

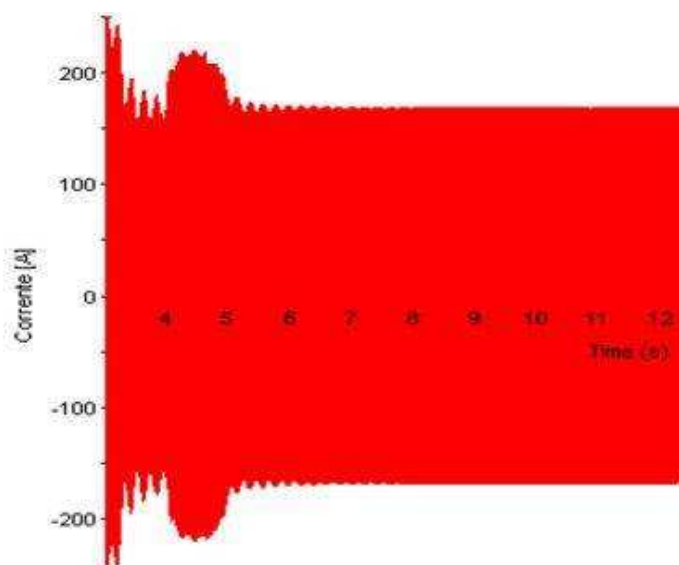


Figura 16 – Corrente no alimentador com filtro RLC durante e após a partida do 61º MIT.

A redução de sucessivos graus de compensação foi considerada nas simulações, até que não ocorresse mais a ressonância. A Figura 17 mostra – instante de 9,0 s – que a redução do grau de compensação de 164% para 136,4% ($X_{CS} = 12 \Omega$), resolveu o problema em questão – comparar com a Figura 11 – mas o mesmo volta a ocorrer após a entrada de mais 4 motores de 250 cv.

Considerando agora o acréscimo de mais uma unidade capacitiva em cada fase, o que representa uma redução do grau de compensação de 136,4% para 125,9% ($X_{CS} = 11,08 \Omega$), foram realizadas simulações da entrada, um a um, de todos os motores da instalação. Em nenhum momento foi novamente observada ressonância subsíncrona.

Supondo uma futura expansão da instalação, foi ainda considerada a entrada de mais 3 motores de 250 cv, e a Figura 18 mostra os resultados de simulação da entrada do 61º ao 64º respectivamente. Os

resultados indicam ausência da ressonância ocorrida inicialmente e, portanto, que a mudança do grau de compensação de 164% - equivalente a 10 unidades capacitivas com 14,4 Ω em cada fase – para 125,9% - equivalente a 13 unidades capacitivas com 11,08 Ω em cada fase – é aparentemente suficiente para eliminar o problema da ressonância subsíncrona neste tipo de aplicação. Esta solução será implementada em campo antes do próximo período de irrigação.

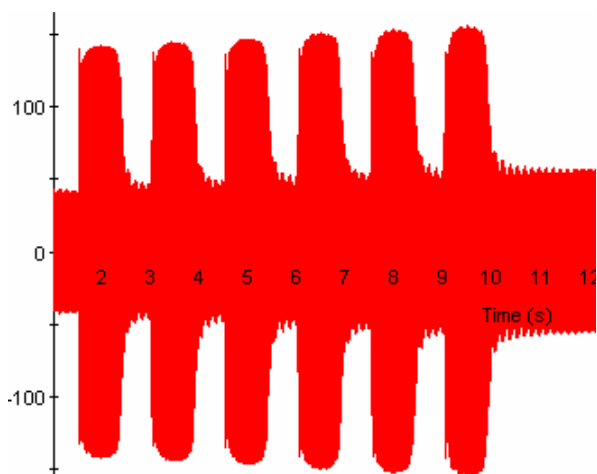


Figura 17 – Corrente no BCS durante a partida do 21º MIT para K=136,84%

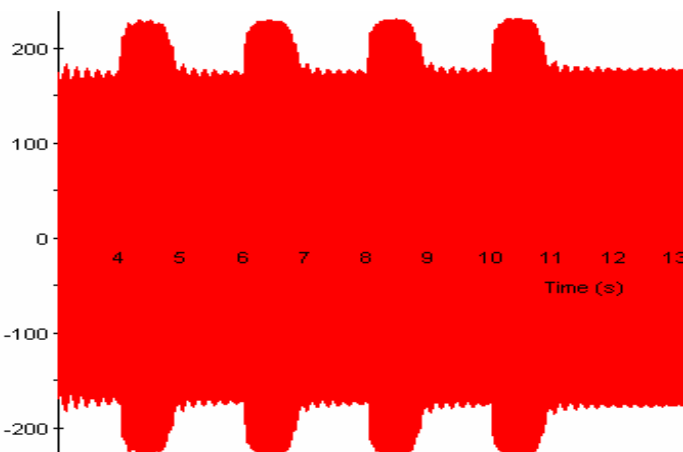


Figura 18 – Corrente no BCS durante a partida do 64º MIT para compensação de 125,9%

4. CONCLUSÃO

Apesar do projeto intitulado “Novo Sistema de Compensação Reativa” não estar ainda concluído, a sua aplicação na solução de um caso real e que requer cuidados especiais encontra-se em vias de conclusão. A instalação do BCS com sobrecompensação num circuito com grande concentração de motores de indução – com potências que variam de 50 a 250 CV – foi realizada de forma paralela aos trabalhos propostos no projeto inicial, e na sua primeira versão foi observada a ocorrência de ressonância subsíncrona, tanto na simulação quanto na instalação em campo, onde ocorreu a atuação de uma religadora a jusante do BCS. Através de modelos de simulação em ATPDraw, foi possível analisar cuidadosamente esse fenômeno, e propor soluções de maneira a evitar a ocorrência dessa ressonância e ao mesmo tempo resolver o problema da regulação de tensão no circuito.

Obviamente se não ocorresse a ressonância para o caso aqui considerado, a instalação do BCS não teria grandes obstáculos e poderia ser aplicado de acordo com os propósitos iniciais do projeto – foram analisados outros possíveis problemas intrínsecos de compensação série, mas nenhum se confirmou.

Dentre alguns métodos possíveis de evitar a ressonância subsíncrona, o que se mostrou mais eficiente do ponto de vista técnico-econômico, foi a redução do grau de compensação de 164% para 125,9% - 13 unidades capacitivas no lugar de 10 em cada fase. O uso de resistores de amortecimento em paralelo com o BCS poderia ser a solução mais viável se a ressonância não fosse sustentada. O uso de filtro RLC pode ser uma solução viável, mas necessita de melhores estudos, principalmente de uma análise custo-benefício, já que implica na instalação de reatores em média tensão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. STEINMETZ, C.P. Theory and Calculation of Alternating Current Phenomena. The W.J. Johnston Company, Broadway, 1897.

2. HEDIN, J.S. & L. H. Paulsson. Application and evaluation of a new concept for compact series compensation for distribution networks. 12th International Conference on Electricity Distribution. vol. 1. Birmingham, UK, May 17–21 1993, Conf. Publ. no. 373, pp. 1.22/1–5.
3. MARTINS, W.B., J. Camargo, M. Suzuki, D.J. Ferreira, e G.P. Caixeta. Relatório técnico CPFIL – Novo sistema de compensação reativa – PD96, outubro, 2007.
4. CAMARGO, J. Aplicação de capacitor série no sistema de distribuição de energia elétrica - X SENDI, 1988.
5. JESUS, N. C. de; Torres, A. O. ; Moor Neto, J. A. ; Oliveira, H. R. P. M. ; Figueiredo, C. E. C. ; Libano, F. B. ; Braga, Rodrigo A. M. . Considerações sobre Aplicação de Compensação Série em Sistemas de Distribuição Visando Melhorias na Qualidade de Energia. V Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2003, Aracaju, 2003.
6. OLIVEIRA, H.R.P.M., C.E.C. Figueiredo, N.C. de Jesus. Operação de Sistemas de Compensação Série em Alimentadores de Média Tensão. Eletricidade Moderna, outubro, 2004.
7. NATARAJAN, Ramasamy, Power System Capacitors, CRC; 1st edition, 2005, 576p.
8. LARSSON, L. O.; LOMBARD, J. J.; SAMUELSSON, J.; ALLARD, G.; BERNECHE, P.; “Application of a New Concept for a Compact Series Capacitor Scheme for Distribution Networks”. Canadian Electrical Association, 1995, Vancouver.
9. MISKE, S.A. Considerations for the Application of Series Capacitors to Radial Power Distribution Circuits. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, April, 2001.
10. ANDERSON, P.M., FARMER, R.G.; “Series Compensation of Power Systems”, Encinitas, CA, PBLSH Inc., 1996.
11. PRIKLER, L. & H.K. Hoidalén. ATPDRAW versão 3.5, User manual, Norway, 2002.
12. NBR 5440; Transformador para Redes Aéreas de Distribuição – Padronização.
13. Franklin D.R.C. Agregação dinâmica de motores de indução, mestrado, FEEC, UNICAMP, 1991.
14. Franklin D.R.C. & A. Morelato, Improving Dynamic Aggregation of Induction Motor Models, IEEE/PES 1994 Winter Meet., New York, Jan. 30-Feb. 3, 1994.
15. Pillay P. and S.M.A.Sabur, Use of Reduced Order Models to Calculate Reclosing Transients in a Refinery, Industry Applications Conference, 1995. 30th IAS Annual Meeting, IAS '95., Conference Record of the 1995 IEEE, Publication Date: 8-12 Oct 1995, Volume: 3, pp. 2180-2188, vol.3.
16. Franklin D.R.C. Modelos computacionais de motores de indução em estudos transitórios de sistemas elétricos, Tese de doutorado, FEEC, UNICAMP, 1996.
17. Pillay P., S.M.A. Sabur, and M.M. Haq, A Model for Induction Motor Aggregation for Power System Studies. Elsevier – Electric Power Systems Research, vol. 42, no 3, pp. 225-228, 1997.
18. Chapman, S.J. Electric Machinery Fundamentals, 4th edition, McGraw-Hill, 2005.
19. Agrawal, K.C. Industrial Power Engineering and Applications Handbook, Newnes, 2001.
20. OJO, O., “Electro-Mechanical Subsynchronous resonance of Series Capacitive Compensated Line Start Induction Motor Drive”. In: Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1989 IEEE , 1-5 Oct., Vol.1, pp. 238-247, 1989.
21. GUSTAFSON, Erick; ABERG, Anders; ASTROM, Karl J.; “Subsynchronous resonance e Controller for Active Damping”. 1994, Suécia.
22. JOSWIG, F., KULIG, S. “Perceptions about new kinds of subsynchronous resonances”, International Conference on Power Systems Transients – IPST, Rio de Janeiro, june, 2001.
23. IEEE Subsynchronous Resonance Working Group of the System Dynamic Performance Subcommittee Power Engineering Committee. “Countermeasures to Subsynchronous Resonance Problems”. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, N° 5 Sept/Oct 1980.