

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE CARGAS PERTURBADORAS NAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA E PRIMÁRIA

T. P. L Arango
USP
tpalede@pea.usp.br

H. P Schmidt
USP
hernanps@usp.br

A. Méffe
Daimon
andre.meffe@daimon.com

F. S. E. Hage
Daimon
fabio@daimon.com

Resumo – Este trabalho teve por objetivo desenvolver modelos de representação das cargas especiais e dos elementos constituintes das redes de baixa e média tensão, incluindo os transformadores de distribuição, que possibilitam a análise do impacto das cargas perturbadoras em toda a cadeia da rede, partindo-se do ponto de ligação do equipamento e analisando-se, dependendo do caso, a rede secundária, transformador de distribuição, rede primária e subestação de distribuição.

Palavras chaves - Cargas perturbadoras, variações de tensão, algoritmos evolutivos.

I. INTRODUÇÃO

As distorções na onda de tensão impactam diretamente a qualidade do suprimento promovida por uma concessionária de energia elétrica, a qual deve fornecer aos seus consumidores uma tensão puramente senoidal, com amplitude e frequência constantes. Entretanto, o fornecimento de energia a determinados consumidores que causam deformações no sistema supridor, fundamentalmente pela presença de cargas não lineares, prejudica não apenas o consumidor responsável pelo distúrbio, mas também outros conectados à mesma rede elétrica. Estas cargas são conhecidas como cargas perturbadoras.

Algumas cargas especiais existentes no sistema de distribuição, ligadas às redes de baixa ou média tensão, não são corretamente representadas pelos *softwares* de cálculo elétrico (fluxo de potência) existentes no mercado e usualmente utilizados pelas empresas de energia elétrica, já que nestes *softwares* considera-se somente a condição de regime permanente senoidal, com as cargas representadas por modelos de tipo corrente, impedância ou potência constantes com a tensão de fornecimento. Destaca-se a importância da representação de alguns aspectos específicos na avaliação do impacto das cargas perturbadoras na rede de distribuição. Por exemplo, a representação correta dos motores de indução na sua partida permitirá a identificação de afundamentos momentâneos de tensão tanto em pontos da rede secundária quanto da rede primária.

Este artigo apresenta os modelos de representação das cargas especiais e dos elementos constituintes das redes de baixa e média tensão, incluindo os transformadores de distribuição, que possibilitam a análise do impacto das cargas perturbadoras em toda a cadeia da rede, partindo-se do ponto de ligação do equipamento e analisando-se, dependendo do caso, a rede secundária, transformador de distribuição, rede primária e subestação de distribuição.

II. MODELOS PARA A ANÁLISE DO IMPACTO DAS CARGAS PERTURBADORAS NA REDE

A. Modelo da Rede e da Carga

Para realizar o cálculo elétrico na rede, parte-se do princípio de que a rede é radial, e representa-se a rede trecho a trecho. A representação trifásica da rede, isto é, através dos condutores de fase e de neutro (fases A, B, C e neutro N), permite com que sejam avaliados o possível impacto de cargas sobre a rede, considerando os desequilíbrios inerentes da carga e da rede. Alguns modelos mais simples, dependendo do fenômeno, podem utilizar uma representação simplificada da rede através, por exemplo, do diagrama de sequência positiva da rede.

Assim, de forma a tratar os desequilíbrios da carga e da rede, o cálculo elétrico da rede será feito através de fluxo de potência trifásico, com a utilização da metodologia de curvas de carga, com o estabelecimento das grandezas elétricas em intervalos pré-definidos. As curvas de carga disponíveis (curvas típicas de carga, classificadas por tipos e faixas de consumo) apresentam intervalos de 15 minutos, porém o cálculo será feito para número limitado de patamares. No caso do sistema de gerenciamento de redes de distribuição, ou mesmo para estudos de planejamento de redes, é usual o estabelecimento de número menor de patamares, por exemplo, quatro patamares de carga, relativos aos períodos diários da madrugada, manhã, tarde e noite. Este é caso típico de análise de cargas perturbadoras no sistema elétrico, que podem apresentar ciclos de carga distintos ao longo do dia.

Para a atribuição da carga às fases da rede primária, são necessários os dados de carregamento dos transformadores

de distribuição, dos consumidores primários e da carga de iluminação pública. Para o cálculo do fluxo de potência, é necessário ainda se dispor dos dados de bancos de capacitores, ou seja, ponto de conexão à rede, potência nominal e período de utilização ao longo do dia.

Para cada transformador de distribuição ou estação transformadora (ET), deverão ser obtidas as correntes, de cada fase e de neutro, no lado de baixa tensão, e refletidas convenientemente para o lado de média tensão.

As correntes no lado de baixa tensão da ET são calculadas a partir das demandas instantâneas dos consumidores secundários e da tensão nominal da rede secundária.

Para ilustrar o cálculo de demanda diversificada (contribuição de consumidor específico numa ET) de um consumidor trifásico, suponha conhecido o valor do seu consumo mensal típico. A partir deste consumo, e a partir de sua curva de carga típica (obtida de acordo com sua faixa de consumo se for consumidor residencial ou com seu ramo de atividade se for consumidor comercial ou industrial), podem ser obtidos os valores de demanda em kW do consumidor para diferentes instantes do dia. Supondo ainda que este consumidor seja residencial e tenha consumo de 300 kWh (pertence ao estrato de 200 a 400 kWh mensais), pode-se utilizar a curva típica normalizada, em pu, e transformá-la para kW, multiplicando todos os valores pelo fator multiplicativo (demanda média no mês).

B. Modelo de Motor de Indução em Regime Transitório

O efeito da partida de grandes motores sempre foi um tema de interesse para os engenheiros de potência. Uma significativa quantidade de pesquisas foi conduzida nessa área, produzindo uma variedade de algoritmos dedicados a prever os efeitos dos transitórios da partida dos motores. Neste item será apresentado um método tradicional de análise de partida.

A análise de partida de motores usa uma aproximação baseada no circuito equivalente de seqüência positiva de todos os componentes. O circuito equivalente das máquinas de indução é apresentado na figura 1 [2].

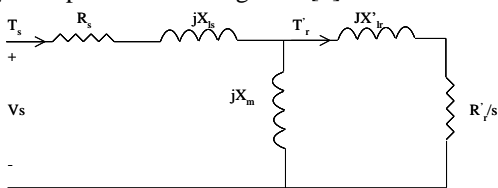


Fig. 1. Circuito equivalente da Máquina de Indução.

O circuito da figura 1 pode descrever com precisão o comportamento de estado estável da máquina de indução. A resposta mecânica do rotor da máquina é modelada usando a equação (1) onde J é a medida da inércia total do rotor da máquina. O torque elétrico desenvolvido e o torque mecânico da carga (incluindo perdas) são descritos por Te e Tm , respectivamente.

$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{1}{J} \{Te - Tm\} \quad (1)$$

O torque elétrico desenvolvido pela máquina pode ser calculado do circuito equivalente da figura 1 e mostrado na equação (2), com escorregamento s definido em (3). Nota-se que w_s é a velocidade do campo magnético síncrono do estator em rad/s.

$$Te = \frac{3I_r'^2 R'}{s w_s} \quad (2)$$

$$s = \frac{w_s - w_r}{w_s} \quad (3)$$

As matrizes clássicas de admitâncias e impedâncias nodais podem ser empregadas para produzir o vetor genérico que relaciona as tensões nodais e correntes injetadas nas barras do sistema, conforme apresentado nas equações (4) e (5).

$$\bar{I} = [Y] \bar{V} \quad (4)$$

$$\bar{V} = [Z] \bar{I} \quad (5)$$

A análise clássica da partida de motores considera o circuito equivalente do motor de indução mostrado na figura 1, como uma impedância que é função da velocidade do rotor. Para uma velocidade de rotor conhecida, então a impedância da máquina pode ser incluída diretamente dentro da matriz de impedâncias ou admitâncias nodais. Na partida do motor o escorregamento é 1,0. A impedância equivalente do motor para esse escorregamento é então calculada e incluída na matriz Y ou Z . A equação (4) ou (5) é resolvida (incluindo os efeitos das fontes e outras cargas), para determinar a nova tensão dos terminais da máquina. As novas tensões dos terminais do motor são usadas para atualizar a corrente de rotor e subsequentemente o torque desenvolvido em cada máquina. Esse novo torque é usado nas soluções numéricas de (1) para calcular a nova velocidade do rotor, escorregamento e impedância equivalente. Essa seqüência de cálculos é repetida pelo período de tempo de interesse para determinar o desempenho de cada motor e do sistema de distribuição ante os eventos de partidas de motores.

1) *Métodos de Partida* - Em grande parte dos casos é necessário usar dispositivos de partida para reduzir a queda de tensão no circuito de alimentação dos motores, durante a partida. Os principais dispositivos são indicados a seguir.

Autotransformador ou chave compensadora: Este é o dispositivo de partida mais empregado. Possui a flexibilidade de escolha do tap mais adequado e reduz menos o conjugado de partida que a chave estrela-triângulo, permitindo uma melhor aceleração do motor.

Chave estrela-triângulo: é de menor custo e ocupa menos espaço que a chave compensadora, mas só pode ser usada quando a curva de conjugado do motor é suficientemente elevada para garantir a aceleração da máquina com corrente muito reduzida. Em geral, a chave estrela-triângulo só pode ser empregada em partidas de máquinas em vazio, isto é, sem carga. O motor deve possuir dupla tensão nominal na razão de $\sqrt{3}$ e no mínimo seis terminais acessíveis.

Chave série-paralela: De baixo custo, mas produz um conjugado de partida muito baixo. O motor deve possuir nove terminais acessíveis e a tensão nominal dupla, na razão de $1/2$, normalmente 220V e 440 V. Aplicável em motores que

partem em vazio ou com conjugado resistente de partida muito baixo.

Chave de resistência ou reator: ligam-se em série com o estator do motor resistores ou reatores de forma a se obter uma tensão reduzida nos terminais do motor. Por esse método a queda de tensão se reduz à medida que o motor acelera. Para grandes motores é mais adequado o uso de reatores, em vez de resistores, para reduzir as perdas e a elevação de temperatura durante a partida.

Reostato: Utilizado na partida de motores de anéis. Neste caso, conecta-se um reostato externo ao rotor da máquina durante a partida para reduzir a corrente de partida e elevar o conjugado de partida do motor. Aplica-se este método, em geral, para cargas com conjugado resistente de partida elevado. De alto custo, mas permite o controle do conjugado na partida.

Dispositivos eletrônicos: São dispositivos de partida eletrônicos com microprocessadores, em lugar de contatos mecânicos, que podem ajustar a tensão em qualquer valor desejado de 0% a 100% durante a partida do motor.

2) *Obtenção do Circuito Elétrico Equivalente a partir dos Dados de Placa* - Goldemberg [1] desenvolveu uma metodologia para obter os parâmetros do circuito elétrico equivalente do motor a partir de seus dados de placa. A metodologia envolve um cálculo analítico e um cálculo numérico de extrema complexidade. Os conhecimentos apresentados por Goldemberg serão combinados com outras estratégias para a obtenção desses parâmetros.

Para a obtenção dos parâmetros do circuito elétrico equivalente foi considerada a variação de parâmetros como a resistência do rotor e as reatâncias do estator e do rotor,

Utilizando um algoritmo evolutivo [6], o qual se assemelha bastante a um algoritmo genético, foi possível, a partir das equações do motor, modelar uma função objetivo para encontrar os parâmetros do circuito elétrico equivalente. Os parâmetros assim obtidos permitiram representar fielmente as características de placa fornecidas pelos fabricantes. O objetivo final de toda essa modelagem é obter a curva de corrente em função do tempo durante a partida de um motor de indução.

A função objetivo proposta tem como objetivo relacionar da melhor forma possível os parâmetros que devem ser encontrados pelo algoritmo evolutivo com as características fornecidas pelo fabricante.

Seja a função objetivo, definida por:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Objetivo}} = & [40 * (T_{\text{NomPlaca}} - T_{\text{NomCalc}})^2 + (T_{75\text{Placa}} - T_{75\text{Calc}})^2 + \\
 & (T_{50\text{Placa}} - T_{50\text{Calc}})^2 + 5 * (T_{\text{PartidaPlaca}} - T_{\text{PartidaCalc}})^2 + \\
 & 10 * (T_{\text{maxPlaca}} - T_{\text{maxCalc}})^2 + 10 * (I_{\text{NomPlaca}} - I_{\text{NomCalc}})^2 + \\
 & (I_{75\text{Placa}} - I_{75\text{Calc}})^2 + (I_{50\text{Placa}} - I_{50\text{Calc}})^2 + 5 * \\
 & (I_{\text{PartidaPlaca}} - I_{\text{PartidaCalc}})^2 + (FP_{\text{NomPlaca}} - FP_{\text{NomCalc}})^2 + \\
 & (FP_{75\text{Placa}} - FP_{75\text{Calc}})^2 + (FP_{50\text{Placa}} - FP_{50\text{Calc}})^2 + 10 * \\
 & (\eta_{\text{NomPlaca}} - \eta_{\text{NomCalc}})^2 + (\eta_{75\text{Placa}} - \eta_{75\text{Calc}})^2 + (\eta_{50\text{Placa}} - \eta_{50\text{Calc}})^2] / 89
 \end{aligned} \quad (6)$$

Os termos escolhidos para fazer parte da função objetivo estão relacionados diretamente com os parâmetros elétricos a serem estimados. O torque é influenciado fortemente por R_1 , R_2 , X_1 , X_2 , X_M . A corrente, além de estar influenciada por todos os parâmetros anteriores, também é fortemente influenciada por R_M . Faz parte também da função objetivo o

fator de potência (FP), porque ele estabelece uma relação entre os parâmetros R e X do circuito elétrico equivalente. Já o rendimento é influenciado pela resistência de magnetização R_M .

3) *Modelos dos Aparelho de Raios X, Máquinas de Solda e Fornos a arco* - As flutuações de tensão na rede, em curta duração, podem ser modeladas através da análise de regime permanente senoidal, dado que os tempos envolvidos são não inferiores a dez ciclos da frequência fundamental, nas condições de operação dos equipamentos especiais como aparelhos de raios X, máquinas de solda e fornos a arco.

Estas cargas são modeladas a partir de suas potências de curto circuito (máquinas de solda e fornos a arco) ou potência de curta duração (raios X). Esses dados são facilmente obtidos das especificações do fabricante. A rede elétrica é modelada através de componentes de fase, isto é, considera-se modelagem trifásica desequilibrada da rede. Tal modelagem é necessária em vista do desequilíbrio da carga na rede secundária e dos tipos de equipamentos disponíveis, principalmente os de tipo bifásico e trifásico. Desta forma é possível determinar as quedas de tensão e carregamento na rede secundária, impondo-se que a cargas sejam atendidas com a rede secundária satisfazendo os critérios de tensão e carregamento.

III. SOFTWARE E SIMULAÇÕES

Nesta seção, apresenta-se o módulo computacional que foi desenvolvido para aplicar a metodologia e os respectivos resultados obtidos para algumas redes de uma concessionária típica.

A partir da modelagem adotada, foi desenvolvido um software para simular a presença de cargas perturbadoras na rede e suas conseqüências. O software desenvolvido apresenta um ambiente geo-referenciado no qual o usuário pode visualizar as redes de média e baixa tensão com todos os seus trechos, postes e demais equipamentos. A partir de um editor gráfico, o usuário pode inserir os quatro tipos de cargas perturbadoras estudadas neste projeto: motor de indução, forno a arco, máquina de solda e aparelho de raios X.

O usuário também pode inserir medidores em pontos específicos da rede para os quais ele deseja conhecer a queda de tensão e o nível de carregamento durante o período de partida de cada uma das cargas perturbadoras e também após atingido seu o regime permanente de operação. Ainda, no caso de motores, é possível avaliar a viabilidade ou não de sua partida, bem como obter o tempo que se leva para atingir sua velocidade nominal.

A. Aplicação na área piloto

Os circuitos utilizados para realizar as simulações são circuitos típicos que fazem parte de duas subestações que têm características diferentes.

Para realizar uma análise abrangente dos efeitos de cargas perturbadoras nas redes de distribuição, serão associadas aos circuitos CIR-01 e CIR-02 cargas como motores de indução, máquinas de solda, aparelhos de raios X e fornos a arco.

A ferramenta de simulação de cargas perturbadoras, no caso dos motores, apresenta ao usuário quatro telas, conforme mostram as figuras 2 a 5.

Na tabela seguinte é apresentado um resumo dos resultados das simulações: tensões e correntes nas três barras analisadas (barra de instalação do motor, barra de interesse e barra na saída da subestação no circuito CIR-02).

TABELA I
Correntes e tensões obtidas na simulação

Localização	Barra	I _{max} (A)	V _{min} pu
Barra Equipamento	20139-1	252,1	0,857
Barra de interesse	104049209-1	0,00	0,936
Barra Saída SE	194016-1	409	1,00

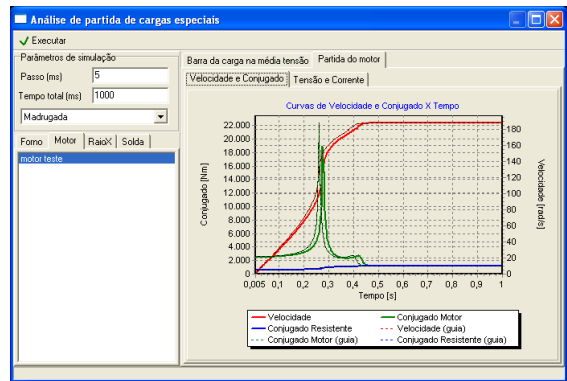


Fig. 5. Velocidade e conjugado no motor

A seguir é apresentado também um comparativo das correntes no início do alimentador e da tensão mínima do circuito CIR-02 antes e depois da ligação do motor em regime permanente.

TABELA II

Tensões mínimas e correntes no início do alimentador

	I(A)	Fase	V _{min} (pu)	Barra	Fase
Sem motor	155,68	E	0,9728	44459-1	D
Com motor	168,75	E	0,9687	20139-1	D

Nas tabelas III e IV são apresentados os resultados das simulações no circuito CIR-01.

TABELA III

Correntes e tensões obtidas na simulação

Localização	Barra	I _{max} (A)	V _{min} pu
Barra Equipamento	Barra Aux	210	0,875
Barra de interesse	104160836-1	0,022	1,008
Barra Saída SE	16858-1	241,8	1,00

TABELA IV

Tensões mínimas e correntes no início do alimentador

	I(A)	Fase	V _{min} (pu)	Barra	Fase
Sem motor	24,94	E	0,9978	195625-1	D
Com motor	36,29	E	0,9968	195625-1	D

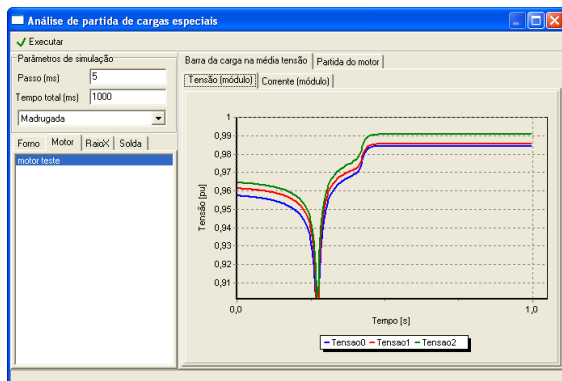


Fig. 2. Tensão na barra da carga – MT (20139-1).

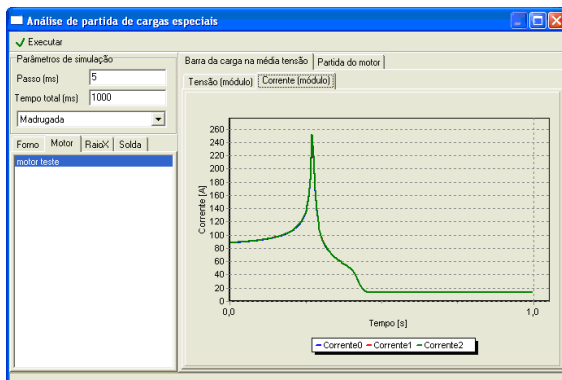


Fig. 3. Corrente na barra da carga – MT (20139-1)

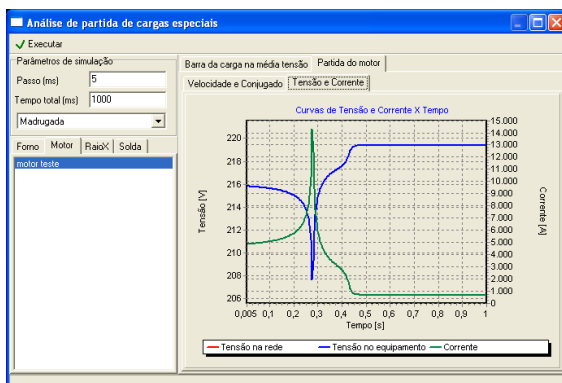


Fig. 4. Tensão e corrente no motor

B. Análise de Resultados

Neste item são apresentados os cálculos das variações de tensão nas barras monitoradas em cada uma das simulações. São comparadas as tensões nessas barras antes e depois da ligação das cargas perturbadoras nos circuitos CIR-01 e CIR-02.

A seguinte tabela apresenta as variações devido às diferentes cargas ligadas ao circuito CIR-01, onde B1= barra de ligação da carga, B2 = barra no final do circuito e B3 = barra na saída do alimentador.

TABELA V
Variações de tensão nas barras de estudo do circuito CIR-01

Equipamento	Variação %		
	B1	B2	B3
Motor	13,962	0,099	0,00
Forno a Arco	13,974	7,433	0,00
Máquina de Solda	0,198	0,00	0,00
Raio X	0,295	0,295	0,00

A tabela a seguir apresenta as variações no circuito CIR-02.

Tabela VI
Variações de tensão nas barras de estudo do circuito CIR-02

Equipamento	Variação %		
	B1	B2	B3
Motor	12,102	3,901	0,00
Forno a Arco	4,307	1,435	0,00
Máquina de Solda	0,307	0,102	0,00
Raio X	0,205	0,102	0,00

Como pode ser observado nas tabelas anteriores as barras que sofrem maiores quedas de tensão são as barras de ligação da carga. No caso dos motores e fornos a arco a queda de tensão pode chegar a 14%. O aparelho de raios X e a máquina de solda têm um impacto menor na rede.

Com os valores de queda de tensão encontrados, é possível determinar se existe a ocorrência de *flicker* ou não em cada uma das barras com o auxílio da curva de $P_{st} = 1,0$. Nessa curva, entra-se com a queda de tensão e procura-se o valor correspondente da variação por minuto. O valor encontrado corresponde ao número máximo de variações por minuto que podem ocorrer para que o *flicker* introduzido na barra não provoque incômodo visual. Assim, verifica-se que na barra na qual foi instalado o motor no circuito CIR-01, permite-se um número máximo de variações por minuto inferior a 0,1. Já o motor ligado no circuito CIR-02 pode trabalhar com até 0,3 variações por minuto para que o *flicker* produzido não provoque incômodo para os consumidores dessa barra.

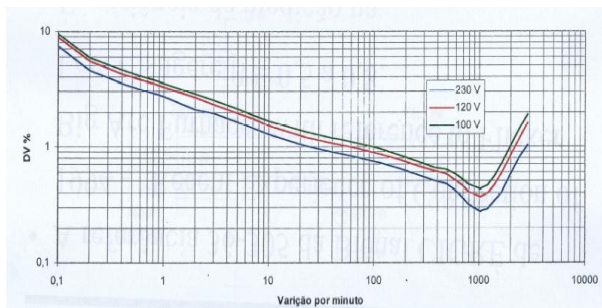


Fig. 6. Curva $P_{st} = 1,0$ para determinação de *flicker*.

As tabelas seguintes mostram as variações na corrente na saída dos alimentadores CIR-01 e CIR-02 devido à ligação das diferentes cargas.

TABELA VII
Variações na corrente de início do alimentador CIR-01

Equipamento	Variação Início%
Motor	45,51
Forno a Arco	155,61
Máquina de Solda	3,41
Raio X	0,00

TABELA VIII
Variações na corrente de início do alimentador CIR-02

Equipamento	Variação Início %
Motor	8,39
Forno a Arco	26,42
Máquina de Solda	0,61
Raio X	0,00

Das tabelas anteriores podemos concluir que as correntes têm variações maiores quando são ligadas cargas como motores e fornos a arco nos casos estudados neste relatório.

O circuito CIR-01 teve sua corrente na saída incrementada em mais de 100% no caso do forno a arco, mostrando que a carga total do circuito é menor que a potência de curto-circuito do forno a arco ligado a ele.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os resultados de uma metodologia desenvolvida para a análise de cargas perturbadoras na rede de distribuição, no qual foram desenvolvidos modelos para representar as cargas especiais e também para realizar a simulação de suas partidas para posterior verificação dos impactos na rede.

O desenvolvimento desta ferramenta para simular a presença de cargas perturbadoras na rede para avaliar suas conseqüências quanto ao nível de tensão e também quanto a carregamento em qualquer ponto da rede durante a partida e em regime permanente. O software trabalha com as redes reais em ambiente geo-referenciado, não havendo necessidade de entrar com os dados da rede ou de trabalhar com redes típicas, o que dá flexibilidade e agilidade nos estudos realizados pelos engenheiros de qualquer concessionária.

Dos resultados das simulações realizadas na aplicação piloto pode-se concluir que as cargas que têm maior impacto na rede são os motores de indução na sua fase de partida e os fornos a arco no período de fusão da carga.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à COELBA que ajudou a viabilizar o desenvolvimento deste trabalho por meio de um projeto de pesquisa e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- [1] C.T. Rim, D.Y. Hu, G.H. Cho, "Transformers as Equivalent Circuits for Switches: General Proof and D-Q Transformation-Based Analysis", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 26, no. 4, pp. 832-840, July/August 1990.

- [2] N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, *Power Electronics: converters, applications, and design*, John Wiley & Sons, 2nd Edition, New York, USA, 1995.
- [3] S. A. González, M. I. Valla, and C. H. Muravchik, "A Phase Modulated DGPS Transmitter Implemented with a CMRC", in *Proc. of COBEP*, vol. 02, pp. 553-558, 2001.
- [4] C. Goldemberg, Determinação dos Parâmetros Funcionais de Motores de Indução a partir de Catálogos de Fabricantes, Dissertação de Mestrado, UNICAMPI, São Paulo, 1992.
- [5] S. J. Chapman, *Electric machinery fundamentals*, 4. ed. Boston: WCB/McGraw-Hill, c2005.
- [6] M. R. Gouvêa, N. Kagan, A. Penteado, Critérios para o Atendimento de Cargas de Raio X, XII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Recife, 1994.
- [7] A. Sotero, Critérios para o Atendimento a Máquina de Solda, Orientação Técnica da CPFL, 2000.
- [8] A. Sotero, Critérios para o Atendimento a Forno a Arco, Orientação Técnica da CPFL, 2000.
- [9] F. S. El Hage, Desenvolvimento e Aplicação de um Algoritmo Evolutivo para a Otimização de Unidades de Geração Distribuída em Redes de Distribuição de Energia Elétrica, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2004.

ferramentas computacionais para planejamento e operação de sistemas de distribuição de energia elétrica. Seus temas de pesquisa atual são a otimização, inteligência artificial, computação aplicada e planejamento.

BIOGRAFIAS

Hernán Prieto Schmidt nasceu em Montevidéu, Uruguai, em 6 de março de 1960. Obteve os graus de Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica respectivamente em 1982 e 1989, ambos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Em 1994 obteve o grau de PhD in Electrical Engineering pela Universidade de Londres, Inglaterra. Leciona na EPUSP desde 1985, onde tornou-se Professor Associado em 2005. De 1981 a 1990 trabalhou na E. J. Robba Consultoria & Cia. Ltda., onde desenvolveu modelos computacionais para análise de sistemas de potência, incluindo análise de confiabilidade de sistemas compostos geração/transmissão, alocação automática de suporte reativo e cálculo elétrico e térmico de cabos subterrâneos de potência. Passou o ano acadêmico de 2002-2003 na The University of Akron (Akron, Ohio, EUA) desenvolvendo estágio pós-doutoral no tema de otimização de redes de Distribuição. Seus temas de pesquisa atual incluem o estudo de técnicas de otimização aplicadas ao planejamento e à operação de sistemas de Distribuição, o desenvolvimento e a aplicação de técnicas de Redes Neurais Artificiais no problema de previsão de carga e a aplicação de Sistemas de Informações Geográficas (GIS) em sistemas de Distribuição.

Tania P. Ledesma Arango nasceu em Cali, Colômbia, em 22 de setembro de 1977. Obteve o grau de Engenheira Eletricista pela Universidad del Valle. Em 2004 Obteve o grau de Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Atualmente é estudante do Programa de Doutorado em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo na área de Sistemas de Potência. Seus temas de pesquisa atual incluem planejamento de sistemas de distribuição, qualidade de energia em sistemas de distribuição. Também faz parte da equipe da Daimon Engenharia e Sistemas, companhia especializada em desenvolvimento de software e projetos de P&D.

André Méffe nasceu em São Paulo, Brasil, em 23 de abril de 1976. Obteve os graus de Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica respectivamente em 1998 e 2001, ambos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Em 2006 obteve o grau de Doutor em Engenharia Elétrica também pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Trabalhou no Departamento de Engenharia Elétrica na Universidade de São Paulo de 1999 a 2004, onde trabalhou com pesquisas relacionadas aos sistemas elétricos de distribuição. Atualmente trabalha na Daimon Engenharia e Sistemas, companhia especializada em desenvolvimento de software e projetos de P&D. Seus temas de pesquisa atual incluem planejamento de sistemas de distribuição e metodologias para o cálculo de perdas técnicas.

Fabio S. El Hage Obteve o grau de Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 2003. Trabalhou no Departamento de Planejamento da Bandeirante Energia de 1999 a 2000. Atualmente trabalha na Daimon Engenharia e Sistemas. Onde desenvolve