

Análise dinâmica de Contator de Corrente Alternada sob efeito de Afundamento de Tensão

L. S. Santana, P. I. Koltermann, V. M. Pereira, M. A. Costa, DEL/UFMS, L. A. Righi, DESP/UFMS

Abstract—This work proposes a dynamic model for analyzing the behavior of an Alternating Current (AC) Contactor, during voltage sag. A voltage sag is a short duration decrease in the rms voltage magnitude, usually caused by a fault somewhere on the power system that may lead to disruption of continuous processing industries. The contactor responds in different ways to the sag event. An adequate modeling and simulation of contactor allows to understanding the behavior of this device. The model takes into account the electrical, magnetic and mechanical system equations. The inductances of the electrical model are non-linear and are obtained by helping of Software using Finite Element Method. The validity of the model is examined against the measured coil current, obtained from a commercially available contactor. The results agree well, it can be explained that AC contactor undervoltage is more sensitive than another industries equipments.

Index Terms—Afundamentos de Tensão, Contatores de Corrente Alternada, Modelagem Matemática

I. INTRODUÇÃO

Distúrbios em sistemas elétricos de distribuição, tais como as variações momentâneas de tensão tem sido apontadas como um dos principais fenômenos que mais afetam os processos industriais automatizados, sendo responsáveis pela maioria dos problemas de qualidade de energia elétrica. Sua importância tornou-se crescente devido à necessidade dos consumidores e concessionárias de energia identificarem se as perdas ocorridas eram causadas por procedimentos e operações dos consumidores ou se eram advindas da rede elétrica das concessionárias, permitindo atribuir responsabilidades. A magnitude de um afundamento de tensão de curta duração é altamente variável, consistindo de um decréscimo entre 10% e 90% no valor eficaz da tensão nominal. Tipicamente, as durações de um afundamento de tensão residem entre 0,5 a 30 ciclos, e sua magnitude num

determinado ponto depende da proximidade do local da falta ocorrida [1].

Os equipamentos industriais são muito sensíveis aos afundamentos de tensão. A falha de qualquer um destes equipamentos pode levar a parada total ou parcial de um processo, sendo que a retomada plena de produção poderá levar várias horas e até dias. O contator eletromecânico, tipicamente utilizado nos processos industriais, se constitui num desses equipamentos, o qual é para o chaveamento de motores de indução aos sistemas elétricos [2].

O método de elementos finitos (MEF) é um método largamente empregado para análise de movimento de equipamentos eletromecânicos, pela sua eficiência no cálculo da força e distribuição dos campos magnéticos [3]. Entretanto o MEF para análise em 3D, requer um longo tempo de processamento [4-5]. Outros métodos empregados para simulação de contatores de corrente alternada (CA) tem sido apresentados, tal como em [6], mas não expressam o comportamento perante distúrbios de afundamentos de tensão.

Diversos estudos já realizados determinaram valores típicos da sensibilidade dos contatores quanto ao efeito de afundamento de tensão [7-9]. Estes trabalhos apontam a influência da amplitude do afundamento, bem como indicam que o ângulo da tensão no momento do afundamento exerce uma importância fundamental na performance de operação do contator.

Este estudo discute o comportamento de um contator eletromecânico sujeito a afundamentos de tensão, a partir de um modelo matemático que permite realizar uma análise dinâmica do contator, demonstrando as relações entre o comportamento da forma de onda da tensão e da corrente durante o afundamento de tensão. Foram montadas as equações diferenciais que regem o circuito elétrico e mecânico.

A seção II oferece uma breve revisão sobre afundamento de tensão. Na seção III é apresentado os aspectos construtivos e descrito o modelo de simulação do contator. As seções IV e V fornecem os resultados simulados e as conclusões, respectivamente.

L. S. Santana trabalha na Empresa Consultoria e Construções Elétricas Ltda R. Planície, 382, Jd Flamboyant – 79041-440 - Campo Grande - MS (e-mail: cee.nei@terra.com.br).

P.I. Koltermann é professor do DEL/UFMS, Campus Universitário, Cx postal 549, 79070-900 - Campo Grande-MS-(e-mail: koltermann@del.ufms.br).

V. P. Machado é professor do DEL/UFMS, Campus Universitário, Cx Postal 549, 79070-900 - Campo Grande – MS - (e-mail: valmir@del.ufms.br).

M. A. Costa é professor do SENAI – Rua Marechal Deodoro – Cx Postal 98 – 7005-901 - Dourados(e-mail: marcos@ms.senai.ms).

L. A. Righi é professor do Dep. Eletromec. e Sist. de Pot./UFMS, Campus Universitário, - Santa Maria – RS - (e-mail: righi@fatec.ufsm.br).

II. CONTADORES DE CORRENTE ALTERNADA

A. Aspectos construtivos

A Fig. 1 apresenta um esquema ilustrando os componentes principais de um contator CA. A estrutura de um contator CA consiste de uma bobina (N_1 espiras) a qual é suprida pela tensão V_1 , acoplada a um núcleo “tipo E” fixo, cujos pólos possuem anéis de cobre curto-circuitados embutidos na face do polo, e uma peça móvel suspensa por molas. Um conjunto de contatos (principais e auxiliares NA/NF) é preso à peça móvel, cujo movimento impede o fechamento (NA) e abertura (NF) dos mesmos. Os coeficientes de elasticidade de cada tipo de mola (principais, curso, NA, NF) do sistema mecânico, bem como os parâmetros elétricos do circuito equivalente são considerados, conforme dados de referência de contator comercial.

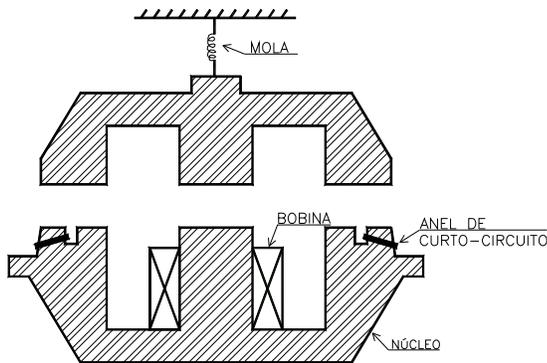


Fig. 1. Aspectos construtivos do Contator CA

B. Modelagem Dinâmica de um Contator CA

Para cálculo e análise do comportamento do contator CA, equações diferenciais são formuladas na forma vetorial. O sistema de equações descreve o comportamento do contator, incluindo o movimento mecânico (posição, velocidade e aceleração), corrente do circuito e fluxo magnético, simultaneamente, sendo resolvido por método de integração numérica.

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}u \quad (1)$$

Onde

$\mathbf{X} = [x \quad \dot{x}]$: vetor de estado

$x = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_i \quad i \quad i_1]$: posição e correntes

$u = V \text{ sen}(\omega t + \varphi)$: tensão na bobina

A : Sistema matricial incluindo massa e impedâncias elétricas

B : Matriz de entrada

A matriz **A** e a matriz de entrada **B** dependem dos parâmetros físicos do contator. Depois de serem impostas as condições iniciais no vetor de estado, o comportamento do contator é calculado recursivamente, pela excitação da tensão da bobina, como entrada do sistema.

A fig. 2a apresenta o circuito magnético, cujo circuito magnético equivalente referido à bobina é mostrado na fig. 2b, onde, “ R_1 e R'_2 ” representam as resistências da bobina e do anel de curto-circuito, “ L_{d1} , L_{md1} e L_{d2} ” representam as indutâncias de dispersão da bobina e do anel de curto-circuito e “ L_{m1} ” representa a indutância mútua [6].

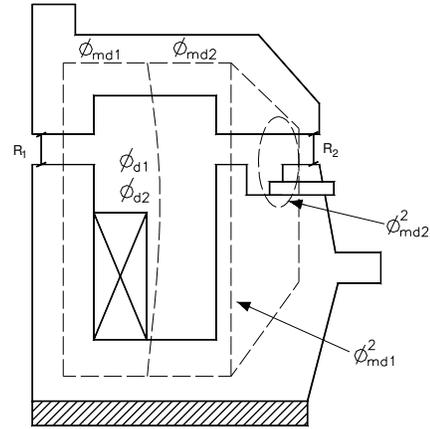


Fig. 2a. Circuito Magnético do contator CA (simetria)

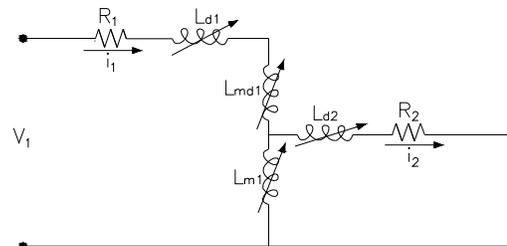


Fig. 2b. Circuito Elétrico Equivalente

Nessa análise, a tensão da bobina é assumida como sendo senoidal, com a forma:

$$V_1 = V_m \text{ sen}(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

Todas as indutâncias, nesta modelagem, são encontradas por Software de elementos finitos, tomando para diversos valores de distâncias do entreferro, os valores de fluxo correspondentes, reproduzindo o comportamento não linear esperado, conforme curva ajustada a partir de método de mínimos quadrados e referidas ao circuito primário (bobina).

De acordo com o tensor de Maxwell [3] a força eletromagnética instantânea que produz o movimento de fechamento do contator pode ser expressa em Newton/pólo, por:

$$F = \frac{(B_m \text{ sen} \alpha)^2}{2\mu_0} = \frac{(\phi_m \text{ sen} \alpha)^2}{2\mu_0 S} \quad (3)$$

Onde “ B_m ” e “ ϕ_m ” são a indução magnética máxima e fluxo magnético máximo no entreferro respectivamente, “ S ” é a área da face do pólo do núcleo magnético e “ μ_0 ” a permeabilidade magnética do ar.

Na face do pólo 1 a força instantânea é:

$$F_1 = \frac{\phi_1^2 \sin^2 \alpha}{2\mu_0 S_1} \quad (4)$$

A força instantânea produzida pela face do pólo do anel de curto-circuito é:

$$F_2 = \frac{\phi_{21}^2 \sin^2 \alpha}{2\mu_0 S_{21}} + \frac{\phi_{m1}^2 \sin^2 (\alpha - \alpha)}{2\mu_0 S_{22}} \quad (5)$$

Expandindo “ $\sin^2 \alpha$ ” e reunindo os termos, a expressão torna-se:

$$F_2 = \frac{\phi_{21}^2}{2\mu_0 S_{21}} + \frac{\phi_{m1}^2}{2\mu_0 S_{22}} + \frac{\phi_{21}^2 \cos 2\alpha}{2\mu_0 S_{21}} - \frac{\phi_{m1}^2 \cos(2\alpha - 2\alpha)}{2\mu_0 S_{22}} \quad (6)$$

Onde “ ϕ_{21} ” e “ ϕ_{m1} ” são os fluxos na seção externa e interna (S_{21} e S_{22}) do anel respectivamente; “ α ” é o ângulo entre os dois fluxos (bobina e anel de curto-circuito).

A força resultante no pólo do anel é dada por dois componentes os quais individualmente atingem valor mínimo nulo, porém possuem como resultante um valor mínimo não nulo (soma sinais defasados). Os primeiros dois termos de (6) correspondem à componente média da força e os dois últimos a componente alternada. A força eletromagnética instantânea total é dada por $F_e = F_1 + F_2$.

O fluxo magnético resultante produz a força eletromagnética que impele a parte móvel a se movimentar contra a força restritiva imposta pelas molas, fechando os contatos elétricos.

Os contatos do contator se abrirão caso a força eletromagnética média total em regime permanente seja menor ou igual que a força mecânica total provida pelas molas. O contator requer, contudo, uma “tensão mínima” que possa promover a “força mínima” necessária à manutenção da condição de fechamento dos contatos principais que alimentam a carga.

Portanto, pela componente média da força instantânea pode-se determinar o fluxo mínimo requerido para manter o contator na condição de contatos fechados.

$$\phi_{m \min} = \sqrt{2\mu_0 S F_m} \quad (7)$$

onde F_m é a força mecânica máxima exercida pelas molas.

Para se obter a tensão requerida para evitar a abertura dos contatos do contator, a auto-indutância é assumida como constante e predominante. Portanto, a tensão eficaz mínima é obtida diferenciando o fluxo em relação ao tempo.

$$V_{ef} = \frac{d(\phi_{m \min})}{dt} = 4,44.N.f.\phi_{m \min} \quad (8)$$

Em (8) é fornecido o valor eficaz mínimo da tensão requerida para manter o contator fechado durante um

afundamento de tensão, em termos de fluxo e frequência.

Assume-se que o contator trabalha na região linear da curva de saturação, sendo daí, os fluxos obtidos das correntes “ i_1 e i_2 ” calculadas a partir do circuito elétrico equivalente.

Aplicando a lei das malhas de Kirchoff, o seguinte sistema de equações é obtido:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + j\omega L_d & -j\omega L_{m1} \\ -j\omega L_{m1} & R_2 + j\omega L_{d2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Onde $L_d = L_{d1} + L_{d21}$

Fazendo algumas transformações algébricas em (9), obtêm-se as equações de estado para as correntes i_1 e i_2 (x_1 e x_2) respectivamente:

$$\begin{bmatrix} L_{m1} + L_d & -L_{m1} \\ -L_{m1} & L_{m1} + L_{d2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_1 & 0 \\ 0 & -R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

e,

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Em (11) a matriz [A] é a inversa da matriz de indutâncias [L] multiplicada pela matriz de resistência [R]. A cada passo de tempo uma nova matriz de indutâncias é calculada.

A partir da 2ª Lei de Newton, tem-se a equação do movimento dada por:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = F_e - F_m - B \frac{dx}{dt} \quad (12)$$

Onde, “ F_e ” e “ F_m ” representam a força eletromagnética e mecânica resultantes (bobina e molas) respectivamente; “ B ” é o coeficiente de amortecimento; “ M ” é a massa da parte móvel e “ x ” o deslocamento.

Da equação mecânica (12), são determinadas as equações de estado para o deslocamento e velocidade. Esse sistema (12) é resolvido por integração passo-a-passo no tempo.

$$\begin{cases} \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = \frac{1}{M}(F_e - F_m - Bx_4) \end{cases} \quad (13)$$

A força mecânica é obtida pela resultante da soma de todas as forças devidas às molas de curso, principal, NA e NF.

C. Algoritmo para discretização temporal

Utilizando as equações formuladas na seção anterior, o seguinte algoritmo para discretização no tempo foi estabelecido:

- para o passo $i = 0$, $t^0 = 0$ e $x^0 = x_0$ (x_0 , entreferro do contator aberto)
- em t^i , para x^i os valores da matriz de indutâncias são obtidas, utilizando a curva $L(x)$ ajustada pelos pontos de “fluxo x distância” obtido por simulação de Software de elementos finitos.

- c) com os valores das indutâncias, as correntes i_1 e i_2 são calculadas por (11)
- d) com as correntes e indutâncias os fluxos são calculados
- e) com os fluxos a força resultante $F_c = F_1 + F_2$ é obtida de (4) e (6)
- f) usando passo de tempo Δt , o deslocamento Δx é calculado pelas equações do movimento em (13) e o novo tempo e posição, são dados por $t^{i+1} = t^i + \Delta t$ e $x^{i+1} = x^i + \Delta x$
- g) retornar para “b” até o fechamento do contator

III. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A maioria das referências mencionadas apontam que o ângulo do início do afundamento afeta grandemente a performance do contator.

O modelo da forma de onda do afundamento de tensão considerada para simulação é retangular, sendo caracterizada por uma amplitude e uma duração, permitindo associar o ângulo de fase no momento do início do afundamento. Fig. 3(a-b) mostram os resultados da simulação de dois afundamentos de tensão, de magnitudes 50% e ângulos iniciais de 90° (noventa graus) e 0° (zero graus) respectivamente.

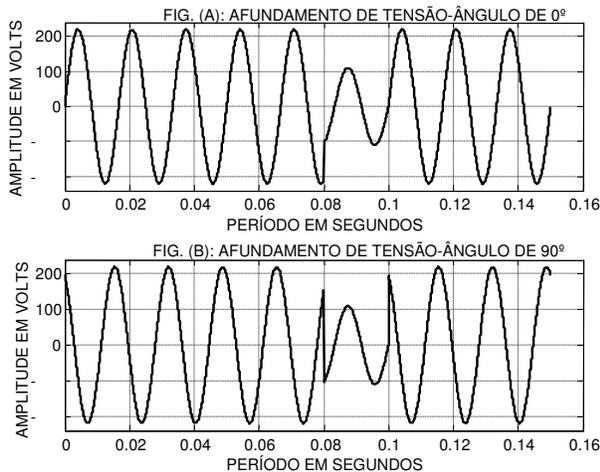


Fig 3 (a-b). Afundamento de tensão x tempo – amplitude de 50% em 0,08 s a 0,10

A metodologia baseou-se na modelagem e simulação do contator em condições nominais de operação, obtendo após o transitório do fechamento, a resposta em regime permanente. Os resultados de corrente e de força servem como referência do padrão de comportamento sob condições de tensão e frequência nominais (Fig. 4-5). Denota-se a boa performance da modelagem, observando-se os valores de amplitude e tempo de fechamento demonstrado na curva simulada “corrente x tempo”, comparado com os valores experimentais da corrente x tempo, do referido contator, conforme fig. 6.

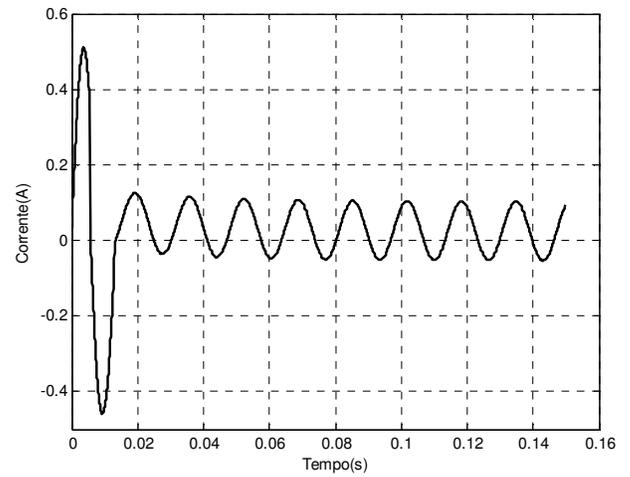


Fig. 4. Corrente x tempo – transitório e regime permanente

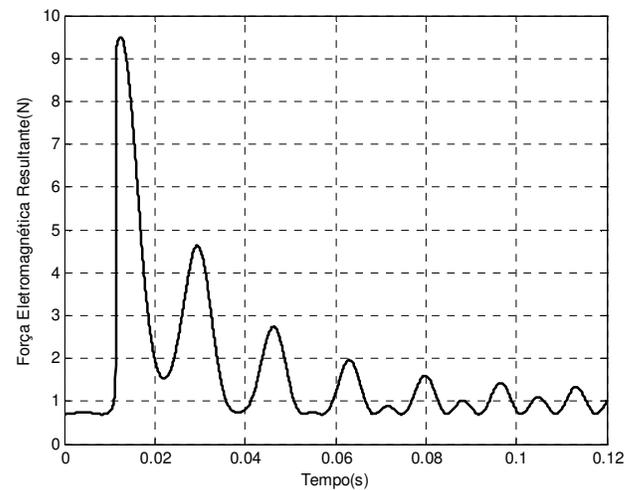


Fig. 5. Força eletromagnética x tempo – transitório e regime permanente

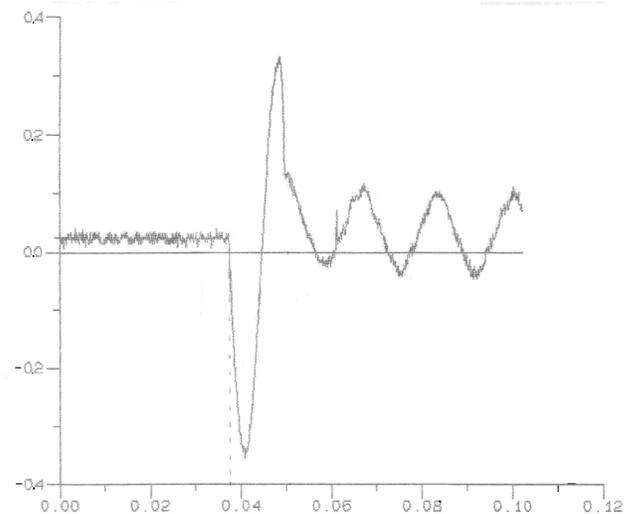


Fig. 6. Corrente x tempo experimental – transitório e regime permanente

A performance da modelagem na operação do contator sob afundamento de tensão também pode ser interpretada a partir da observação do comportamento da corrente durante o tempo de duração do evento. Considera-se válida esta análise, baseado que a força magnética de atração varia com o quadrado da corrente (fluxo). A força magnética promovida pela bobina principal oscila entre o valor máximo e zero duas vezes por ciclo conforme fig. 5, enquanto que a força média corresponde à metade do valor máximo.

Com a composição do fluxo da bobina com o fluxo do anel de curto-circuito, a força eletromagnética resultante se eleva para acima do eixo zero (valor sempre positivo). A força resultante depende da interação do fluxo que atravessa a face do pólo do anel e do fluxo nos pólos fora do anel.

Os resultados simulados nas Figs. 7-10 incluem a visualização da corrente e força durante os afundamentos de tensão de acordo com as figs. 3(a-b). Percebe-se a correlação entre o comportamento da corrente da bobina e, por conseguinte nas forças exercidas nas faces dos pólos do núcleo.

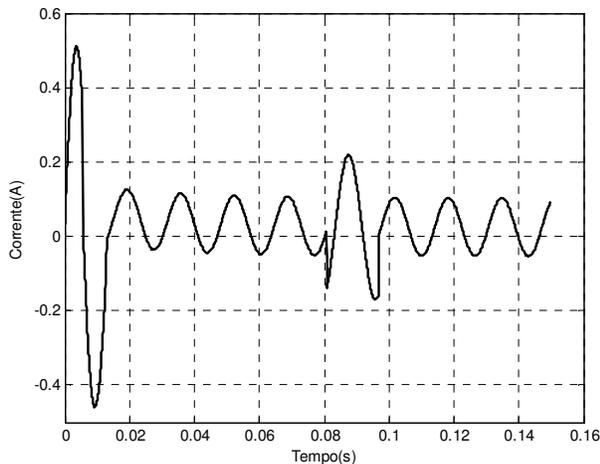


Fig. 7. Corrente x tempo – início afundamento da tensão em 0°

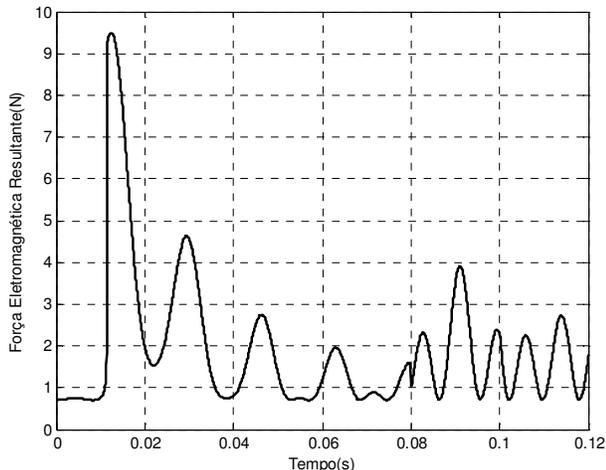


Fig. 8. Força eletromagnética – início afundamento em 0°

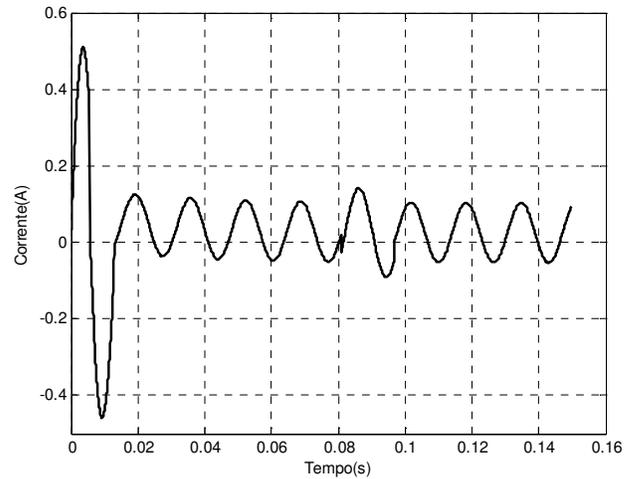


Fig. 9. Corrente x tempo – início afundamento da tensão em 90°

Os resultados da simulação apresentam pequenas diferenças quanto à variação de amplitude considerando os ângulos de início do afundamento em 0° e 90° , porém, qualitativamente as duas simulações apresentam discrepâncias na forma de onda, fazendo com que a força média em 0° seja maior do que em 90° .

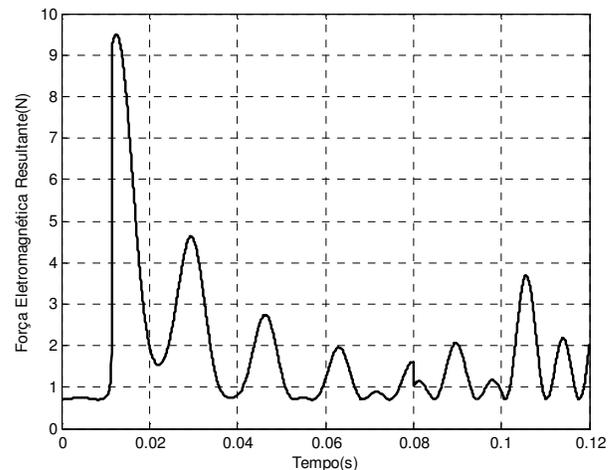


Fig. 10. Força eletromagnética x tempo – início afundamento em 90°

A influência do ângulo da tensão no momento do afundamento, se deve à energia armazenada no circuito magnético, representada na forma de transitório de fluxo de corrente contínua. Quanto maior a amplitude desse fluxo no momento do início do afundamento da tensão, maior a probabilidade do contator suportar o evento, devido à presença de um maior decaimento da componente de corrente contínua do fluxo magnético. Portanto, a influência do ângulo da tensão na operação do contator é mais pronunciada quanto maior em amplitude for o afundamento.

Na prática, o máximo fluxo é atingido quando o afundamento da tensão ocorrer no momento da corrente máxima da bobina. Dado o efeito acentuadamente indutivo, a corrente defasa praticamente 90° graus da tensão induzida, ou seja, a corrente máxima ocorre no momento que a tensão passa

pelo zero. No ângulo da forma de onda correspondente à 90° , a tensão é máxima enquanto a corrente instantânea e fluxo, apresentam seu valor mínimo. Isto resulta em um mínimo da energia magnética necessária para suportar o afundamento de tensão. Isto conduz à conclusão que os contadores são mais sensíveis aos afundamentos iniciados em 90° do que aos iniciados em 0° .

Desse modo, dependendo da profundidade, tempo de duração e ângulo de fase da forma de onda no momento do afundamento de tensão, a força magnética pode se reduzir a um valor abaixo da força mínima para manter os contatos fechados, acarretando um aumento da resistência dos contatos (diminuição da pressão) com conseqüente aumento do efeito joule ou fazendo com que o circuito seja interrompido.

De outro lado, em 0° o contador pode tolerar afundamentos mais prolongados, enquanto que em 90° um afundamento mais breve pode causar a abertura dos contatos.

IV. CONCLUSÕES

Os afundamentos de tensão exercem influência na operação dos contadores eletromecânicos industriais. Este artigo descreve uma modelagem matemática para simulação dinâmica e análise do desempenho do contador CA sob efeito de afundamentos de tensão. Para alcançar esse objetivo, na metodologia foi utilizado o método de elementos finitos para determinação das indutâncias do circuito elétrico equivalente. Os resultados da modelagem são consistentes e estima-se que a metodologia pode ser muito útil para avaliação do contador frente a outros distúrbios de tensão.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Pohjanheimo, "A probabilistic method for comprehensive voltage sag management in power distribution systems," Ph.D. dissertation, Dept. of Electrical and Communications Engineering., Helsinki University of Technology, Finland, October, 2003.
- [2] R. C. Leborgne, "Uma contribuição à caracterização da sensibilidade de processos industriais frente a afundamentos de tensão," Dissertação de Mestrado, Dept. de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Maio, 2003.
- [3] J. P. A. Bastos, *Eletromagnetismo para Engenharia: Estática e Quase-Estática* Editora da UFSC, 2004, Florianópolis, Brasil (396pp) (cd: 537.8).
- [4] I. Yatchev, "Coupled Field Problems in Electrical Apparatus," FACTA UNIVERSITATIS, Series: Mechanics, Automatic Control and Robotics, vol 3, NO 15, pp. 1089-1101, April. 2003..
- [5] A. Rahman, A. Arkadan and M. Jo J.Vander Heiden, "The coupled Problem in Electromagnetic AC Contactors," *IEEE Trans. On Magnetics*, vol. 33, NO 2, pp. 1630-1633, March. 1997..
- [6] P. I. Koltermann, J. P. Assumpção Bastos and S. R. Arruda, "A model for Dynamic Analysis of AC Contactor," *IEEE Trans. on Mag.*, vol. 28, No. 2, pp. 1348-1350, March. 1992..
- [7] S. Z. Djokic, J. V. Milanovic and D. S. Kirschen, "Sensitivity of AC Coil Contactors to Voltage Sags, Short Interruptions, and Undervoltage Transients," *IEEE Trans. On Industry Applications*, vol. 36, NO 2, pp. 697-704, April. 2000..
- [8] A. Kelley, J. Cavaroc, J. Ledford and L. Vassalli, "Voltage Regulator for Contactor Ride-through," *IEEE Trans. On Power Delivery*, vol. 19, NO 3, pp. 1299-1307, July. 2004..

- [9] P. Heine, P. Pohjanheimo, M. Lehtonen and E. Lakervi, "A Method for Estimating the frequency and Cost of Voltage Sags," *IEEE Trans. On Power Systems*, vol 17, NO 2, pp. 290-296, May. 2002..

VI. BIOGRAPHIES



Lindinei Santiago Santana, nasceu no dia 19/10/1977 na cidade de Fátima do Sul-MS, Brasil. Fez o curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-2002, sua área de interesse é Qualidade de Energia Elétrica. Atualmente trabalha na empresa CCE-Consultoria e Construções Elétricas Ltda - Campo Grande/MS.



Paulo Irineu Koltermann nasceu no dia 28/06/1956 – RS. Concluiu curso de graduação em Engenharia Elétrica em 1984 na UFSM/RS, com Mestrado (1991) e Doutorado (2001) pela UFSC/SC. Realizou Doutorado Sanduíche em Cottbus/Alemanha de 1999 a 2000. Trabalhou na empresa Fockink Indústrias Elétricas Ltda (1986-1989) em Panambi/RS. Atualmente é professor com dedicação exclusiva do Curso de Engenharia Elétrica e do Mestrado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Área de interesse está relacionado à máquinas elétricas (modelagem e simulação, etc), acionamentos elétricos, qualidade de energia elétrica, fontes renováveis de energia, conservação de energia elétrica.



Valmir Machado Pereira. Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria em 1983. Mestrado e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas em 1996 e 2003, respectivamente. É professor do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul desde 1992. Áreas de interesse: acionamentos elétricos, aplicações de eletrônica de potência, fontes renováveis de energia e modelagem de materiais magnéticos.



Marcos Antônio Costa, nasceu em 07/04/1971 na cidade de Presidente Prudente – SP, Brasil. Fez o curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-2002 Fez o curso de Especialização em Sistemas e Processos industriais pela UFMS-2005. Atualmente trabalha na Escola Técnica Senai – MS e faz mestrado pela UFMS na área de Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos



Luiz Antônio Righi. Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM / RS, em 1983. Mestrado pela UFSM e Doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2000). É professor do Dep. De Eletromecânica e Sistemas de Potência da UFSM. Áreas de interesse: máquinas elétricas, modelagem de materiais magnéticos, fontes de energia.