

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO NAS NOTAÇÕES TRIFÁSICA E COORDENADAS DQ0

Ricardo Silva Thé Pontes

UFC
ricthe@dee.ufc.br

Tobias Rafael Fernandes

Neto
UFC
ufox@pop.com.br

Lucas Maciel Menezes

UFC
lucas_eletrica@yahoo.com.br

Resumo

Este trabalho apresenta a utilização da modelagem no domínio do tempo da máquina de indução trifásica, considerando os modelos ABC e em coordenadas dq0, para simulação da máquina de indução na condição de partida direta, degrau de conjugado e perda brusca de carga. Está mostrado também o equacionamento dos modelos, resultado das simulações, e comprovação experimental. Para tanto foram realizados ensaios em um MIT para a entrada e saída brusca de carga. Foram desenvolvidos programas no ambiente Matlab, para a simulação, e validação dos resultados experimentais. Uma comparação no desempenho e tempo de processamento entre os dois modelos, mostrou que o modelo ABC é mais lento que o modelo em coordenadas dq0.

Palavras-chave: dinâmica de máquinas elétricas, MATLAB, modelagem matemática.

Abstract

This work presents the use of the domain time model in a three phases electrical induction machine, considering the three-phase circuit model and dq0 reference frame, for the induction machine simulation in startup, step load and sudden load loss. It is also showed the equations model, resulted simulation and experimental evidence. For this, it was realized experiments in a induction machine for the step up and back down changes load. Programs had been developed in Matlab for the simulation and validation of experimental results. A performance analysis and time of processing between the different models showed that the three-phase circuit model is slower than dq0 reference frame model.

Keywords: dynamic of electrical machinery, MATLAB, mathematical model.

1 Introdução

O motor de indução é o motor elétrico mais utilizado nos processos industriais. Sua principal vantagem é seu baixo custo de manutenção, aliado a uma construção simples e robusta. Entretanto, devido à característica da alimentação trifásica, fixa em tensão e em frequência, o motor de indução caracterizou-se por ser uma máquina para operação a velocidade constante, perdendo competitividade para as máquinas de corrente contínua em acionamentos de velocidade variável.

Efetivamente a dificuldade no acionamento das máquinas de corrente alternada, residia nas fontes de alimentação. Com o impacto da eletrônica de potência, dos sistemas a microprocessadores, além da informática chegou-se a conversores estáticos de frequência confiáveis e econômicos que podem melhor acionar as máquinas elétricas de corrente alternada, igualando seu desempenho a sistemas utilizando motor CC.

A modelagem no domínio do tempo tornou-se necessária, para se obter o conjunto das equações dinâmicas do motor voltadas para as aplicações de velocidade variável e para as técnicas de controle.

Neste trabalho, serão mostrados os resultados obtidos a partir de um estudo do comportamento do MIT quando submetido a um degrau de conjugado, tanto para a entrada e para a saída de carga. Com este intuito utilizou-se dois modelos clássicos no

domínio do tempo, um chamado modelo trifásico ou ABC e outro que utiliza uma transformação linear intitulada transformada de PARK ou modelo dq0, que simplifica as equações das máquinas, transformando máquinas trifásicas em bifásicas equivalentes.

A partir destas modelagens clássicas do MIT no domínio do tempo, foram feitos programas computacionais no ambiente Matlab, para a simulação do motor, nas condições desejadas.

A determinação dos parâmetros do motor, foi obtida através de ensaios. Servido de base para a entrada de dados do programa.

Para a validação dos resultados foram feitos ensaios no motor e adquiridos os dados de corrente que serão comparados com os valores simulados. Aproveitou-se também para proceder análise quanto ao tempo de processamento entre os dois modelos utilizados o que evidenciou a vantagem da utilização de um modelo simplificado para o MIT.

2 Estudo do motor de indução trifásico

Para o estudo, foi utilizada uma máquina trifásica convencional, que possui dois enrolamentos trifásicos, um localizado no estator e o outro no rotor. O enrolamento do rotor é em gaiola de esquilo.

O motor de indução possui enrolamentos trifásicos distribuídos, simétricos e equilibrados no estator, que pode ser caracterizado por três bobinas concentradas, tal como mostrado na Figura 1. Cada fase é distribuída espacialmente por 120° no perímetro do estator e cada enrolamento possui o mesmo número de espiras.

O modelo matemático para a operação em regime permanente, chamado modelo de circuito equivalente, caracteriza a operação do motor de indução sob condição de alimentação senoidal e equilibrada e com velocidade mecânica constante. Portanto não permitindo avaliar o desempenho dinâmico e nem analisar o motor sob alimentação não senoidal.

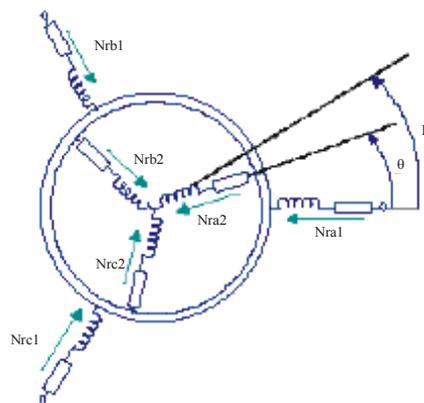


Figura 1: Motor de indução trifásico

2.1 Modelo no domínio do tempo, modelo trifásico ou ABC

Para representar matematicamente a máquina em estudo, serão feitas a seguir algumas hipóteses simplificadoras, as quais pretende tornar a formulação menos complexa.

- Os três enrolamentos do estator são iguais entre si;
- Os três enrolamentos do rotor são iguais entre si;
- Os ângulos elétricos entre os enrolamentos são iguais, tanto no estator quanto no rotor;
- O entreferro é considerado constante;
- O circuito magnético é considerado ideal. A saturação não é considerada;
- A distribuição da densidade de fluxo magnético no entreferro é radial e senoidal;
- Não serão consideradas as perdas magnéticas;
- Vale o princípio da superposição.

Partindo-se das hipóteses simplificadoras e utilizando-se as teorias de circuitos elétricos e de circuitos mutuamente acoplados, as equações das tensões do estator e rotor podem ser escritas como nas Equações (1) e (2).

$$\begin{aligned} V_{as} &= i_{as} + r_s + \frac{d\lambda_{as}}{dt} \\ V_{bs} &= i_{bs} + r_s + \frac{d\lambda_{bs}}{dt} \\ V_{cs} &= i_{cs} + r_s + \frac{d\lambda_{cs}}{dt} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} V_{ar} &= i_{ar} + r_r + \frac{d\lambda_{ar}}{dt} \\ V_{br} &= i_{br} + r_r + \frac{d\lambda_{br}}{dt} \\ V_{cr} &= i_{cr} + r_r + \frac{d\lambda_{cr}}{dt} \end{aligned} \tag{2}$$

Os fluxos concatenados na máquina serão descritos em termos das indutâncias próprias e mutuas do estator, do rotor e das indutâncias mutuas entre estator e rotor. Estas indutâncias são mostradas nas Equações (3) e (4).

$$L_{rr} = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \quad L_{ss} = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \tag{4}$$

Lembrando que as indutâncias mutuas entre estator e rotor, são dependentes do ângulo θ , mostrado na Figura 1, e podem ser escritas como as Equações (5) e (6).

$$L_{sr} = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$L_{rs} = M_{rs} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \tag{6}$$

Desta forma as equações gerais das tensões para o estator e para o rotor podem ser escritas como nas Equações (7) e (8).

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sb} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \\
 M_{sr} &\begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} + \\
 \frac{d}{d\theta} M_{sr} &\begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} \frac{d\theta}{dt}
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rb} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix} + \\
 M_{rs} &\begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \\
 \frac{d}{d\theta} M_{rs} &\begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} \frac{d\theta}{dt}
 \end{aligned} \tag{8}$$

As máquinas de indução caracterizam-se pelo torque de excitação, desta forma o torque eletromagnético desenvolvido pela máquina de indução trifásica, e levando-se em consideração a notação matricial até então utilizada, está apresentado na Equação (9).

$$T = \frac{P}{2} \cdot M_{sr} \cdot \begin{bmatrix} I_{sa} & I_{sb} & I_{sc} \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial \theta} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{4\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{ra} \\ I_{ra} \end{bmatrix} \quad (9)$$

2.2 Transformada de Park ou Modelo dq0

Para simplificar o conjunto de equações que representam o motor de indução trifásico utilizou-se de transformação linear. Esta transformação linear consiste matematicamente em diagonalizar as matrizes circulares simétricas, que aparecem nas formulas dos modelos da maquina de indução trifásica, introduzindo um conjunto de variáveis hipotéticas.

Fisicamente a transformação dq0 transforma uma máquina simétrica trifásica em uma máquina simétrica bifásica com enrolamentos estáticos fixos e enrolamentos rotóricos pseudo-estacionários como visto na Figura 2. Esta máquina bifásica possui mesma potência mecânica, mesmo torque, mesma velocidade e mesmo números de pólos, que a máquina trifásica.

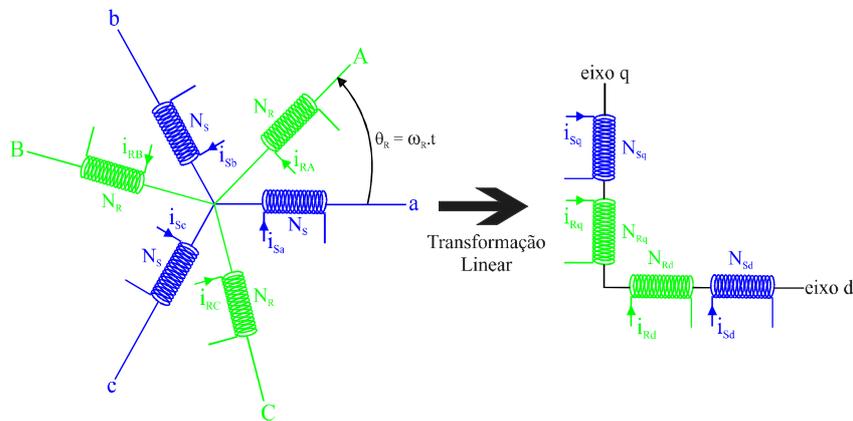


Figura 2: Representação do enrolamento trifásico em eixos dq

Esta transformação que é feita a partir da aplicação da Transformada de Park, resulta em um conjunto hipotético de equações elétricas das tensões, como mostrado na Equação (10), que representa a máquina simétrica trifásica, com referencia no rotor.

$$\begin{bmatrix} V_{s_0} \\ V_{s_d} \\ V_{s_q} \\ V_{r_0} \\ V_{r_d} \\ V_{r_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & wr.Msr.P & 0 & R_s & Lrr.wr.P \\ 0 & -wr.Msr.P & 0 & 0 & -Lrr.wr.P & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{s_0} \\ I_{s_d} \\ I_{s_q} \\ I_{r_0} \\ I_{r_d} \\ I_{r_q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{s0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{ss} & 0 & M_{sr} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_{ss} & 0 & M_{sr} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_{r0} & 0 & 0 \\ 0 & M_{sr} & 0 & 0 & L_{rr} & 0 \\ 0 & 0 & M_{sr} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{s_0} \\ \dot{I}_{s_d} \\ \dot{I}_{s_q} \\ \dot{I}_{r_0} \\ \dot{I}_{r_d} \\ \dot{I}_{r_q} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Para a obtenção da expressão de torque para compor a matriz final com todas as equações, utiliza-se expressão completa da dinâmica de velocidade (2ª lei de Newton aplicada a movimentos rotacionais) dada pela Equação (11):

$$T = T_C + J \cdot \dot{\omega}_R + At \cdot \omega_R \tag{11}$$

Aplicando a Transformada de Park na equação de torque eletromagnético trifásico, se obtém a equação de torque nas coordenadas dq0. Desta forma a matriz final com todas as equações que regem o comportamento dinâmico da máquina trifásica em coordenada dq0 Eq. (12) é observado abaixo:

$$\begin{bmatrix} V_{s_0} \\ V_{s_d} \\ V_{s_q} \\ V_{r_0} \\ V_{r_d} \\ V_{r_q} \\ T_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{r0} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_r \cdot M_{sr} \cdot P & 0 & R_r & L_{rr} \cdot \omega_r \cdot P & 0 \\ 0 & -\omega_r \cdot M_{sr} \cdot P & 0 & 0 & -L_{rr} \cdot \omega_r \cdot P & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P \cdot M_{sr} \cdot I_{s_q} & -P \cdot M_{sr} \cdot I_{s_d} & -B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{s_0} \\ I_{s_d} \\ I_{s_q} \\ I_{r_0} \\ I_{r_d} \\ I_{r_q} \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{s0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{ss} & 0 & 0 & M_{sr} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_{ss} & 0 & 0 & M_{sr} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_{r0} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_{sr} & 0 & 0 & L_{rr} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{sr} & 0 & 0 & L_{rr} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{s_0} \\ \dot{I}_{s_d} \\ \dot{I}_{s_q} \\ \dot{I}_{r_0} \\ \dot{I}_{r_d} \\ \dot{I}_{r_q} \\ \dot{\omega}_r \end{bmatrix} \tag{12}$$

6 Resultados experimentais

Para o ensaio foi utilizada uma bancada composta de um motor de indução trifásico acoplado um gerador CC descrito na Tabela (1).

Tabela 1. Descrição dos motores utilizados.

Motor de Indução Trifásico	
Potência	5 KW
Nº de Pólos	4
Corrente Nominal	7,5 A
Tensão	380 V
Velocidade	1740 rpm
Ligação	Estrela
Gerador de Corrente Contínua	
Potência	3 KW
Corrente Nominal	13,6 A
Tensão	220 V
Ligação	Paralelo (shunt)
Velocidade	1450 rpm

Como carga utilizou-se banco de lâmpadas com carga total de 2400 watts, parte da carga ficou diretamente ligada a armadura do gerador CC, outra parte ficou ligada a um circuito de controle para realizar o degrau de carga, tanto na entrada como saída.

O resultado experimental, das correntes no MIT, para o degrau de entrada e saída da carga pode ser visto nas Figura 3. e 4. Pode-se observar o comportamento da corrente desde a partida do motor à saída de carga. Os valores das correntes RMS e de linha é dado na Tabela (2).

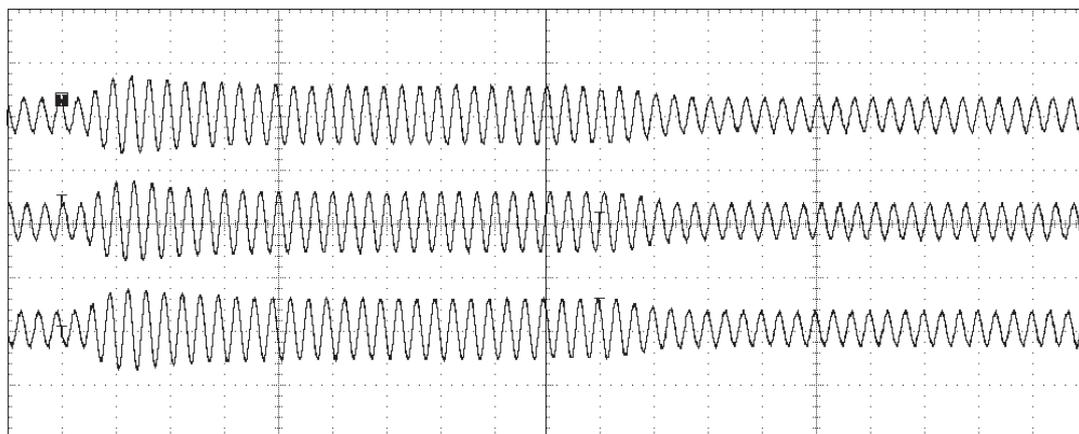


Figura 3: Corrente nas três fases a meia carga e plena carga.

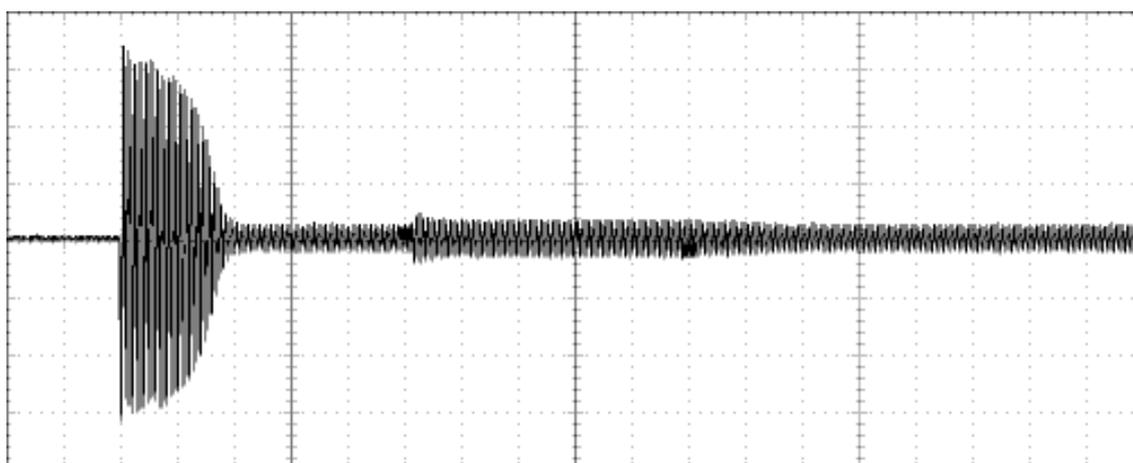


Figura 4: Comportamento da corrente na fase A desde a partida à saída de carga.

Tabela 2. Valores das correntes RMS do ensaio realizado.

Situação	Fase A	Fase B	Fase C
Plena Carga [A]	7,68	7,96	8,04
Meia Carga [A]	5,08	5,44	5,28

Para os ensaios elétricos realizados no motor de indução, foram encontrados os parâmetros de forma tradicional, ensaios de rotor bloqueado e circuito aberto e os resultados estão mostrados na Tabela (3)

Tabela 3. Parâmetros elétricos para o motor ensaiado.

Resistência do Estator [Ω]	1,5
Resistência do Rotor [Ω]	1
Reatância do Estator [Ω]	4,34
Reatância do Rotor [Ω]	4,34
Reatância Mutua [Ω]	80,5

7 Resultados simulados

Para a simulação computacional foi utilizado o ambiente MatLab®, em um computador PC de 2.4 GHz, 512 MB de RAM e memória cache de 512KB em ambiente Windows®.

Foram feitas duas rotinas para a simulação do MIT, uma utilizando o modelo matemático trifásico e outra utilizando o modelo em coordenadas dq0. Os dados iniciais para a simulação de ambos os programas são os parâmetros elétricos obtidos nos ensaios.

O resultado do modelo matemático trifásico é mostrado na Figura 5. em forma do gráfico das correntes.

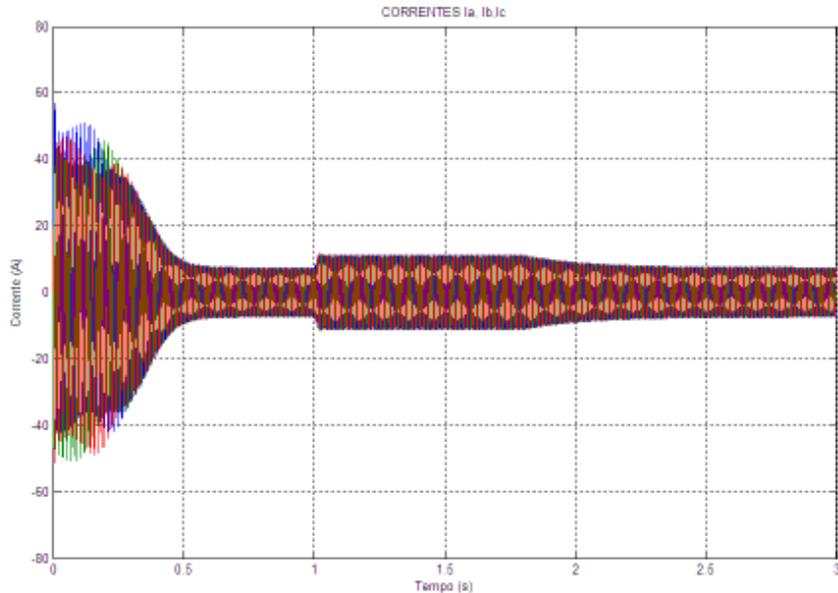


Figura 5: Simulação das correntes nas três fases para o modelo ABC.

Do mesmo modo, o resultado do modelo matemático em coordenadas dq0 é mostrado na Figura 6. em forma do gráfico das correntes.

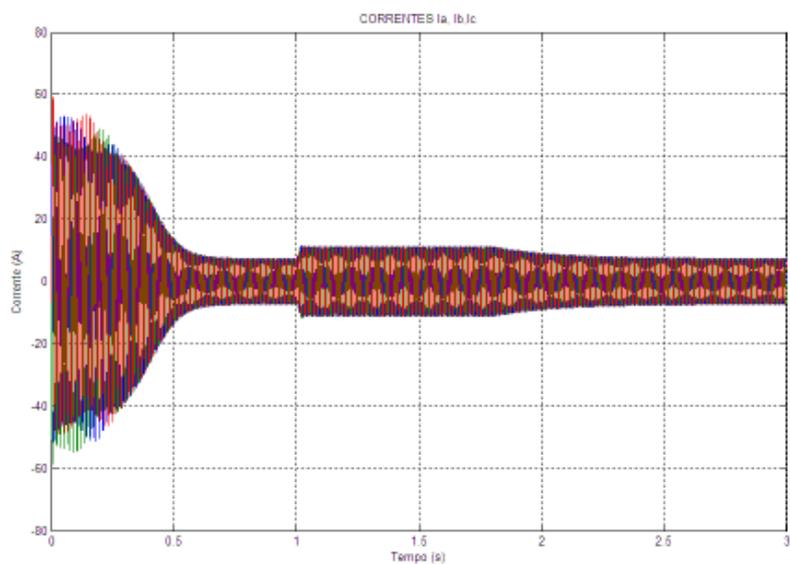


Figura 6: Simulação das correntes nas três fases para o modelo em coordenadas dq0.

A Figura 7. mostra o tempo médio de simulação no ambiente do Matlab®, rodando os dois modelos no mesmo computador.

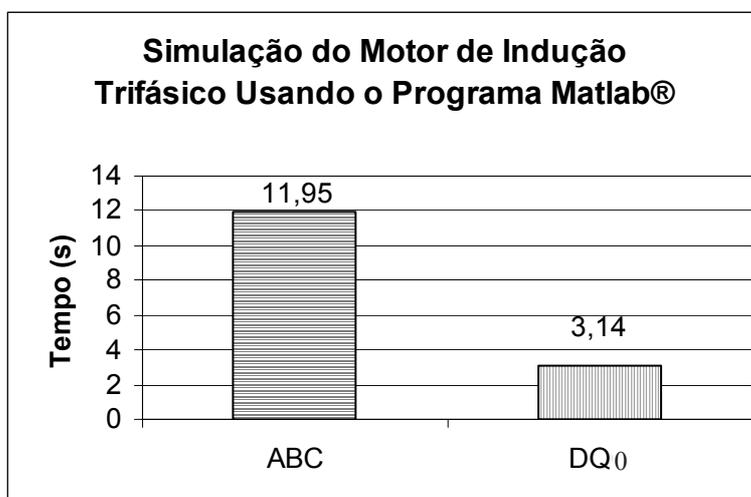


Figura 7: Tempo médio de simulação do MIT usando o programa MATLAB.

8 Conclusão

Comparando-se os resultados apresentados nas Figuras 3 e 4 com os da Figuras 5 ou 6 verifica-se que ambos os modelos representaram muito bem o efeito da presença de um degrau de carga tanto na entrada como na saída, as simulações quando comparadas com os valores medidos apresentaram erros desprezíveis. Desta forma, quando se tratar de aplicação de controle em tempo real, é mais indicado a utilização do modelo em coordenadas dq0, devido o mesmo apresentar um menor conjunto de equações diferenciais, deste modo apresentando um menor tempo de processamento.

A utilização do modelo em coordenadas dq0 é um fator relevante para o desenvolvimento de um projeto de conversores microprocessado para o controle do MIT. Devido à possibilidade de utilizar microprocessadores de menor capacidade (tempo de processamento), desta forma, barateando o custo do projeto do conversor.

9 Referências

- ONG, Chee-Mung. *Dynamic simulation of electric machinery*. New Jersey : Prentice Hall, 1997.
- KRAUSSE, P. C.; WASYNESUK, Oleg. *Analysis of electric machinery*. New York: IEEE Press, 1986.
- BARBI, I. *Teoria fundamental do motor de indução*. Santa Catarina: Ed. UFSC/ELETROBRÁS, 1985.
- MATLAB and simulink™ user's guide. Natick: Mathworks, 1993.
- OZPINECI, B.; TOLBERT, L. M. *Simulink implementation of induction machine model: a modular approach*. Wiscosin: IEMDC, 2003.
- FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY C.; UMANS, S. D. *Electric machinery*. New York: McGraw-Hill, 1992.
- GURU B. S.; HIZIROGLU H. R. *Electric machinery and transformers*. San Diego: Harcourt Brace Jovanovich, 1988.
- DEL TORO, V. *Fundamentos de máquinas elétricas*. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

Simbologia

V_a, V_b, V_c	Tensões nas fases A, B e C	[volts]
V_d, V_q, V_0	Tensões nas fases de eixo direto, no eixo em quadratura e no eixo zero.	[volts]
V_s, V_r	Tensão no estator e no rotor	[volts]
i_a, i_b, i_c	Correntes nas fases A, B e C	[Amperes]
i_d, i_q, i_0	Correntes nas fases de eixo direto, quadratura e zero	[Amperes]
i_s, i_r	Correntes no estator e no rotor	[Amperes]
R_s, R_r	Resistências dos enrolamentos do estator e do rotor	[Ohms]
L_s, L_r	Indutância de dispersão do estator e rotor	[H]
L_{ss}, L_{rr}	Auto-indutâncias do estator e rotor	[H]
M_{sr}, M_{rs}	Indutância mútua entre os enrolamentos de estator e rotor	[H]
M_s	Indutância mútua entre fases do enrolamento do estator	[H]
M_r	Indutância mútua entre fases do enrolamento do rotor	[H]
L_{sr}, L_{rs}	Indutância de dispersão entre estator-rotor	[H]
At	Atrito viscoso	[kg/m/s]
Wr	Velocidade rotórica	[rad/s]
T	Conjugado desenvolvido	[N.m]
Tc	Conjugado de carga	[N.m]
P	Número de pares pólos do motor de indução.	
<i>Símbolos Gregos</i>		
λ	Fluxo concatenado	[Wb]
θ	Posição angular do rotor em relação ao estator.	[rad]

SOBRE OS AUTORES

Dr. Ricardo Silva Thé Pontes

Nascido em Fortaleza-CE em 1956. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará –UFC em 1979. Recebeu seu título de Mestre em Engenharia Elétrica em 1983 pela Universidade de Brasília-UNB e o título de Doutor em 2003 pela Universidade Federal de Uberlândia – UFC. Atualmente atua como professor na UFC. Suas áreas de interesses são Máquinas Elétricas e Acionamento de Máquinas.

Eng. Tobias Rafael Fernandes Neto

Nascido em Fortaleza-CE em 1981. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Fortaleza –UNIFOR em 2004. Atualmente cursando o mestrado em Engenharia Elétrica. Suas áreas de interesses são Acionamento de Máquinas e Automação Industrial.

Eng. Lucas Maciel Menezes

Nascido em Fortaleza-CE em 1981. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará - UFC em 2004. Atualmente cursando o mestrado em Engenharia Elétrica. Sua áreas de interesse e a Eletrônica de Potência.