

# ANÁLISE DE TRANSITÓRIOS DE CONJUGADO EM MOTORES DE INDUÇÃO GAIOLA ALIMENTADOS COM CORRENTES CONTROLADAS

Darizon A. Andrade\*;

Carlos A. Bissochi Jr.\*;

Jasmin Cörda\*\*

\* Departamento de Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
38400-902 - UBERLÂNDIA - MG  
e-mail: darizon@ufu.br; cabjunior@ufu.br

\*\* Electrical & Electronic Engineering Dept.  
The University of Leeds  
LEEDS - LS2 9JT – ENGLAND  
e-mail: J.Corda@eng-elec.leeds.ac.uk

**Abstract** - This paper presents a study of the induction machine behaviour under controlled stator currents. The origin of torque transients when all the conditions for vector control are not satisfied are investigated. The interactions of the important torque producing quantities under both scalar and vector control are highlighted. Comparison of the results under these operational conditions shows why it is not possible to obtain a high torque performance under scalar control.

**Resumo** - Esse artigo apresenta uma análise de transitórios de conjugado em motores de indução alimentados com correntes controladas, quando todas as condições para o controle vetorial não são satisfeitas. Variações praticamente instantâneas de conjugado, livres de transitórios de acomodação exigem ajustes apropriados e simultâneos na amplitude, velocidade e fase do vetor espacial da força magnetomotriz do estator, caracterizando a técnica de controle vetorial. Os transitórios que correspondem aos seguintes casos de controle escalar: (i) variação em degrau da amplitude da fmm do estator, (ii) variação em degrau da velocidade da fmm do estator, e (iii) variação em degrau na amplitude e velocidade da fmm do estator são considerados. Comparação desses resultados com aqueles obtidos sob condições de controle vetorial mostram porque não se pode obter elevado desempenho dinâmico sob condições de controle escalar.

## 1- Introdução

Talvez uma das características mais intrigantes do motor de indução com rotor em gaiola (MIG) é que apesar de ser uma das máquinas mais simples construtivamente, apresenta enorme complexidade operacional. A técnica de controle vetorial propõe uma forma de “desacoplar” e controlar independentemente as quantidades responsáveis pela produção de conjugado em um MIG. Controle vetorial é obtido através do controle adequado da amplitude, velocidade e fase da fmm do estator (ou vetor espacial da fmm do estator)[2]. Nesse trabalho, uma análise de quando todas as exigências para o controle vetorial de um MIG não são satisfeitas é realizada. Mostra-se que respostas rápidas e livres de transitórios não são possíveis com controle escalar porque não existe controle sobre o vetor espacial de fluxo

resultante enlaçado pelo rotor. Verifica-se também, que o uso de diagramas representando os vetores espaciais da máquina, embora aplicáveis apenas para condições de regime permanente, é muito conveniente no entendimento dos mecanismos transitórios de controle de conjugado em malha aberta.

A análise assume uma máquina magneticamente linear, com forças magnetomotrizes, distribuições de correntes e distribuições espaciais de densidade de fluxo, senoidalmente distribuídas. Os resultados de simulações apresentados no trabalho foram obtidos usando o modelo  $dq$  [2][3][4] para representar o MIG, no sistema de referência estacionário.

## 2 - Vetores espaciais de força magnetomotriz.

Para uma máquina com dois enrolamentos de estator, senoidalmente distribuídos, cujos eixos magnéticos estão em quadratura, quando as correntes de estator são dadas pela Eq. 1 a seguir:

$$i_{sd} = I_s \cos(\omega_s t) \quad \text{e} \quad i_{sq} = I_s \sin(\omega_s t) \quad (1)$$

a força magnetomotriz estabelecida pelo estator é dada por:

$$F_s = N_s I_s \cos(\omega_s t - \theta) \quad (2)$$

onde  $N_s$  é o número efetivo de espiras das bobinas de uma fase do estator, e  $\theta$  é o ângulo espacial entre  $F_s$  e o eixo magnético da bobina “d”. Define-se em seguida o *vetor espacial da força magnetomotriz do estator* como:

$$\vec{F}_s = N_s I_s e^{j(\omega_s t - \theta)} \quad \text{onde} \quad F_s = \Re[\vec{F}_s] \quad (3)$$

isto é, a força magnetomotriz do estator (Eq. 2) é dada pela parte real do vetor espacial de força magnetomotriz do estator. Como forças magnetomotrizes são proporcionais às correntes que as estabelecem, a definição do *vetor espacial de correntes de estator* segue da Eq. 3, na forma:

$$\vec{F}_s = N_s \vec{i}_s \quad \text{ou seja:} \quad \vec{i}_s = I_s e^{j(\omega_s t - \theta)} \quad (4)$$

A partir do modelo matemático do motor, quando as correntes de estator são impostas conforme a Eq. 1,

determina-se as correntes de rotor. Os vetores espaciais de força magnetomotriz e corrente do rotor, vistos do referencial do estator em regime permanente resultam:

$$\vec{F}_r = N_r I_r e^{j(\omega_s t - \rho_{sr})} \quad \text{e} \quad \vec{i}_r = I_r e^{j(\omega_s t - \rho_{sr})} \quad (5)$$

onde:

$$I_r = \frac{\omega_{sr} M I_s}{Z_{rp}}; \quad Z_{rp} = \sqrt{R_r^2 + (\omega_{sr} L_r)^2}; \quad \rho_{sr} = \xi + \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

$$\omega_{sr} = \omega_s - \omega_r, \quad \xi = \arctan(\omega_{sr} \tau), \quad \tau = \frac{L_r}{R_r}$$

$L_r$  é a indutância própria do rotor,  $R_r$  é a resistência do rotor,  $M$  é o valor máximo da indutância mútua entre os enrolamentos de estator e rotor,  $Z_{rp}$  é a impedância do rotor e  $\omega_{sr}$  é o escorregamento em rad/s.

### 3 - O triângulo de fluxos enlaçados pelo rotor.

A Fig. 1 mostra a posição relativa entre os vetores espaciais das forças magnetomotrizes (*fmm*s) de estator ( $\vec{F}_s$ ) e rotor ( $\vec{F}_r$ ) e as distribuições de correntes correspondentes (posição espacial) para um MIG operando com escorregamento genérico.

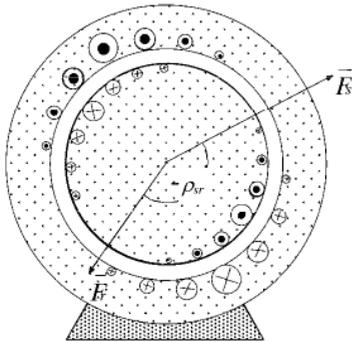


Fig. 1 - Vetores espaciais de fmm do estator e do rotor, e distribuições espaciais de correntes correspondentes.

A interação entre as duas componentes de densidade de fluxo devido aos vetores  $\vec{F}_s$  e  $\vec{F}_r$  resulta em uma distribuição de fluxo no rotor, conhecida como vetor espacial de fluxo resultante enlaçado pelo rotor [2] e é dada por:

$$\vec{\psi}_r = L_r \vec{i}_r + M \vec{i}_s \quad (7)$$

onde  $\vec{i}_s$  e  $\vec{i}_r$  são os vetores espaciais de corrente do estator e do rotor. Substituindo as Eqs. 4 e 5 em 7 vem:

$$\vec{\psi}_r = \psi_r e^{j(\omega_s t - \theta_s - \xi)} \quad (8)$$

onde:

$$\psi_r = \frac{M I_s R_r}{Z_{rp}} \quad (9)$$

é a amplitude do vetor espacial de fluxo enlaçado pelo rotor. A Eq. 7 pode ser representada pelo diagrama espacial chamado de “triângulo de fluxos enlaçados pelo rotor”, mostrado na Fig. 2. Deve ser observado que o vetor espacial da corrente do rotor (ou fmm do rotor) está em quadratura no espaço com  $\vec{\psi}_r$ . Comparação entre as Eqs. 5, 6 e 8 mostra que este posicionamento relativo é mantido inalterado em qualquer frequência de escorregamento de regime permanente.

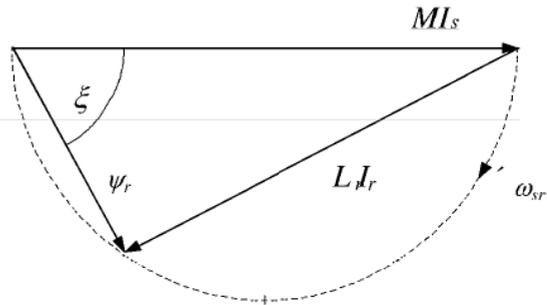


Fig. 2 - Triângulo de fluxos enlaçados pelo rotor.

A partir do diagrama espacial observa-se que para uma corrente de estator constante,  $\vec{\psi}_r$  e  $\vec{i}_r$  irão se ajustar em amplitude e posição relativa como função da frequência de escorregamento. Como é bem conhecido, a operação com corrente de estator constante não é prática pois leva a excessivas variações no fluxo enlaçado resultante. Operação com fluxo constante é muito mais promissora porque leva a uma utilização eficiente do circuito magnético da máquina, e é condição essencial para se obter elevado desempenho dinâmico do motor de indução gaiola. De forma a operar com fluxo de rotor constante, as correntes de estator devem ser ajustadas em função da frequência de escorregamento. A expressão que define essa dependência é dada por:

$$I_s = I_{s0} \sqrt{1 + (\omega_{sr} \tau)^2} = I_{s0} \frac{Z_{rp}}{R_r} \quad (10)$$

e indica que o ajuste da amplitude das correntes do estator é o necessário para contrabalançar o aumento da impedância rotórica com o escorregamento.  $I_{s0}$  define o nível de fluxo na máquina. Por exemplo, se  $I_{s0}$  é a corrente em vazio sob tensão e frequência nominais, a máquina opera com fluxo nominal.

### 4 - Conjugado em condições de regime permanente

Como mostrado em [2], o conjugado desenvolvido em uma máquina de indução pode ser dado por:

$$T = \psi_r I_r \quad (11)$$

isto é, devido a relação espacial particular existente entre o vetor espacial de fluxo resultante enlaçado pelo rotor e o vetor espacial da fmm do rotor, o conjugado é expresso como o simples produto da amplitude dos dois vetores. Comparando Eq. 11 com a expressão que dá a área do triângulo de fluxo enlaçados pelo rotor (Fig. 2), isto é:

$$area = \left(\frac{1}{2} L_r\right) \psi_r I_r \quad (12)$$

observa-se que a área do triângulo é proporcional ao conjugado. Esse achado é particularmente importante quando analisando o comportamento transitório do conjugado, como será visto nas próximas seções.

A Eq. 11 pode ser rearranjada como:

$$T = \frac{I}{L_r} \psi_r^2 \omega_{sr} \tau \quad (13)$$

que mostra que para operação sob  $\bar{\psi}_r$  constante, o conjugado produzido varia linearmente com a frequência de escorregamento.

Medidas realizadas em laboratório para um motor gaiola trifásico de 3 CV, 4 pólos, constante de tempo do rotor  $\tau=280$  ms, quando as correntes de estator são ajustadas de forma a atender a exigência de fluxo de rotor constante (Eq. 10) são apresentadas abaixo;

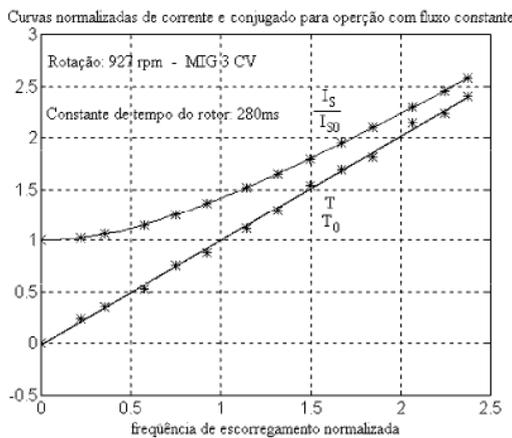


Fig. 3 - Conjugado e corrente de estator em função da frequência de escorregamento para  $\bar{\psi}_r$  constante - velocidade do rotor  $n_r = 927$  rpm.

Essa curva sugere a simplicidade do controle de conjugado sob fluxo de rotor constante: para duplicar o conjugado é necessário somente duplicar a velocidade de escorregamento, e ajustar a amplitude das correntes de estator de acordo com Eq. 10.

## Controle de Conjugado

No motor de indução gaiola, variações requeridas no conjugado desenvolvido são obtidas por meio do controle das variáveis de entrada, aqui tidas como as correntes de estator. Existem três possibilidades de alterações nas correntes senoidais de estator: amplitude, frequência e fase. Todas elas são possíveis quando se usa um inversor de frequência. Essas alterações podem ser forçadas individualmente ou combinadas, cada caso levando a uma resposta de conjugado distinta.

### 4.1 - Controle de Amplitude

Alterações na amplitude das correntes de estator levam a alterações em ambos: corrente de rotor e fluxo resultante enlaçado pelo rotor para uma dada frequência de escorregamento e como consequência, variações no conjugado.

O diagrama espacial de fluxos enlaçados da Fig. 2, embora aplicável apenas para regime permanente, é conveniente para explicar o que ocorre no momento do transitório quando a amplitude das correntes de estator e consequentemente a fmm de estator, é subitamente forçada a crescer para um novo valor, isto é, quando as correntes de estator são abruptamente levadas de um estado de regime permanente para outro.

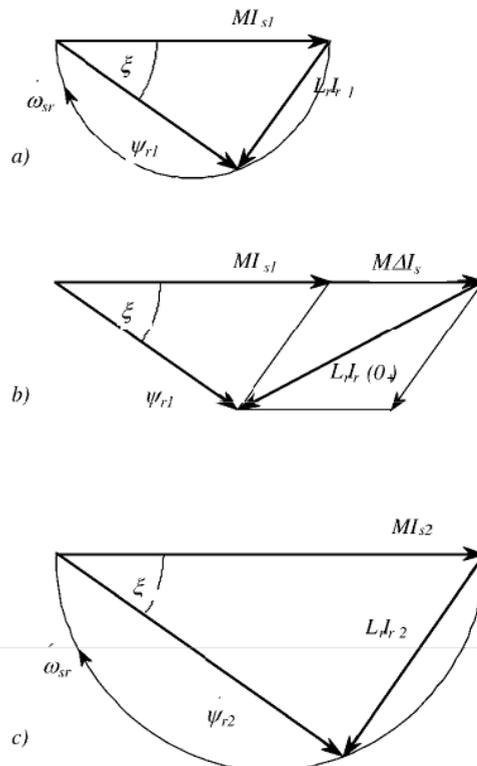


Fig. 4 - Controle de amplitude: a) antes; b) no momento ; e c) depois do transitório.

A Fig. 4 mostra três triângulos de fluxo enlaçados pelo rotor. A Fig. 4a corresponde ao regime permanente antes do transitório. A Fig. 4b, mostra o que ocorre no primeiro momento do transitório: a amplitude do vetor espacial de corrente de estator é acrescida de um valor  $\Delta M_s$ , o fluxo resultante no rotor não pode variar instantaneamente [1], levando a uma correspondente reação no vetor espacial de corrente do rotor. Este por sua vez instantaneamente se ajusta em amplitude e direção devido ao aparecimento de uma componente de distribuição de corrente, ou fmm em oposição àquela forçada pelo estator. O ângulo  $\xi$  permanece inalterado, pois não houve mudança na frequência de escorregamento (Eq. 6). O conjugado vai sofrer uma variação súbita, previsto pela alteração na área do triângulo. A Fig. 4c corresponde ao novo estado de regime permanente, o conjugado sendo maior devido ao aumento da amplitude de ambos: do vetor espacial de corrente do rotor e do vetor espacial de fluxo resultante enlaçado pelo rotor.

A variação no tempo das correntes de rotor, fluxos enlaçados, e conjugado é mostrada na Fig. 5. Esses resultados foram obtidos por simulação digital, considerando o rotor com velocidade constante. Portanto, os transitórios observados são devidos somente a interações eletromagnéticas. Uma vez que as correntes de estator são forçadas da forma que se deseja, sua dinâmica não interfere, e conseqüentemente os transitórios são governados somente pela constante de tempo do rotor.

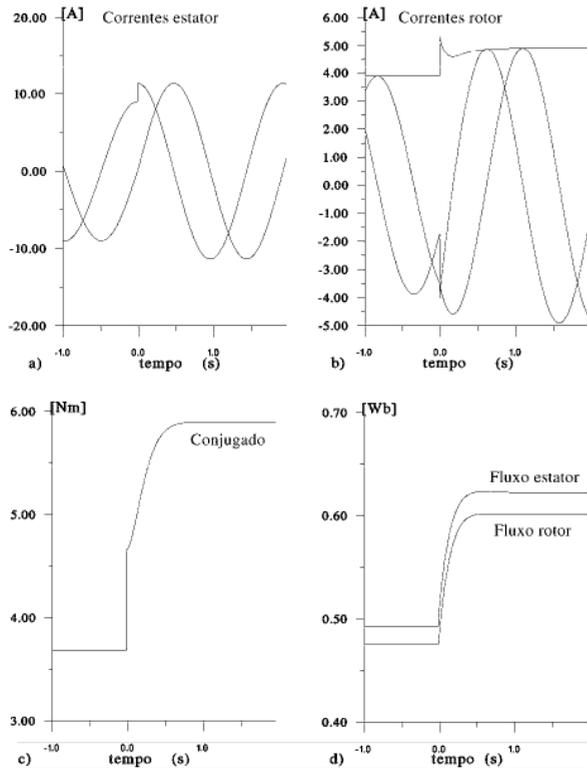


Fig. 5 - Comportamento das correntes, conjugado e fluxos enlaçados sob controle de amplitude da fmm do estator.

A Fig. 5a mostra a variação imposta às correntes de estator. Na Fig. 5b, observa-se como previsto na Fig. 4, que as correntes do rotor reagem instantaneamente para compensar a fmm adicional forçada pelo estator. O traço não senoidal na Fig. 4b corresponde à variação no tempo da amplitude do vetor espacial de corrente do rotor. O conjugado (Fig. 5c) inicialmente salta e então se acomoda no novo patamar de regime permanente, enquanto o fluxo resultante enlaçado pelo rotor (Fig. 5d) aumenta sem nenhuma variação súbita.

#### 4.2 - Controle da frequência de escorregamento

A Fig. 6 mostra o triângulo de fluxos enlaçados pelo rotor para a condição em que a frequência de escorregamento é inicialmente tal que  $\omega_{sr}\tau = 1/2$ . A frequência das correntes do estator é então ajustada de forma que a frequência de escorregamento é instantaneamente duplicada, isto é, levando o motor para condição de conjugado máximo ( $\omega_{sr}\tau = 1$ ) para a corrente de estator aplicada.

O triângulo OSA indica o regime permanente antes do transitório. O triângulo OSB corresponde ao novo regime permanente. Como em  $t=0$  não há variação súbita de amplitude ou posição relativa da fmm do estator, e como o fluxo resultante no rotor não muda em  $t=0$ , não se observa o salto inicial no conjugado que ocorre no caso anterior. O sistema gradualmente se ajusta ao novo regime permanente. Ainda na Fig. 6, verifica-se que no caso em questão o aumento na frequência de escorregamento leva a valores finais menores de  $\bar{\psi}_r$  e a uma fmm de rotor maior.

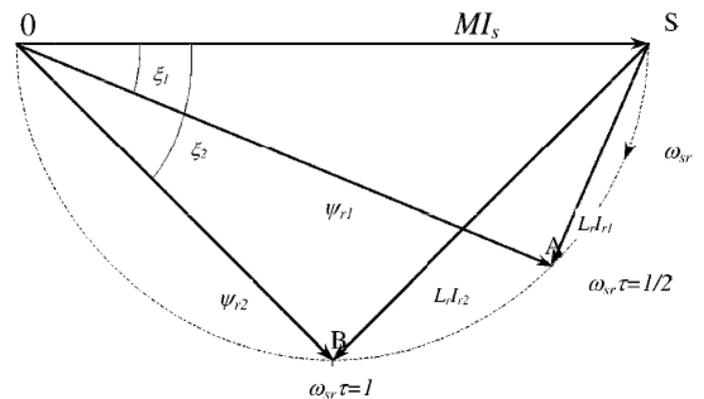


Fig. 6 - Triângulos de fluxos enlaçados pelo rotor. Controle da frequência de escorregamento.

A Fig. 7 mostra a variação no tempo das correntes, conjugado e fluxos enlaçados. A Fig. 7a mostra que as correntes de estator têm a sua frequência aumentada a partir de  $t=0$ , mas mantêm a amplitude inicial. A Fig 7b mostra a reação das correntes do rotor, bem como a variação no tempo da amplitude do vetor espacial de corrente do rotor.

Observa-se a variação gradual de todas as quantidades. A acomodação do conjugado é tal que inicialmente ocorre um pico positivo, e então uma redução ligeiramente oscilatória em direção ao novo patamar de regime permanente. Não ocorre variação instantânea no conjugado, pois a fmm do estator não sofreu variação brusca em amplitude ou posição em relação ao vetor espacial de fluxo resultante no rotor. Como previsto na Fig. 6, o vetor espacial de força magnetomotriz do rotor tem a sua amplitude aumentada devido ao acréscimo da frequência de escorregamento, enquanto que os vetores espaciais de fluxo resultante no rotor e no estator têm sua amplitude final reduzida.

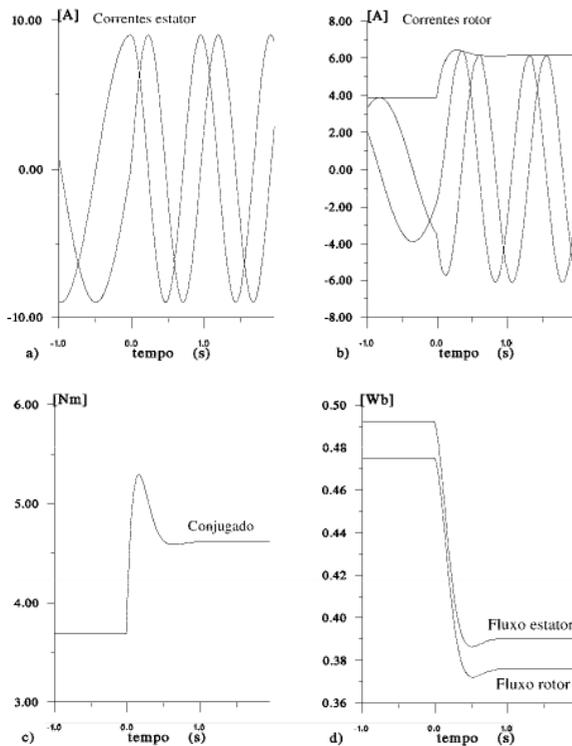


Fig. 7 - Variação no tempo das correntes, conjugado e fluxos enlaçados para o controle de frequência do estator.

### 4.3 - Controle de amplitude e escorregamento

Um passo a frente nessa análise é o de verificar como a máquina reage, quando ambos, a amplitude e a velocidade da fmm do estator são forçadas a variar simultaneamente. Da Fig. 5 observa-se que o aumento em amplitude leva a um aumento em  $\bar{\psi}_r$ . A Fig. 7 mostra que o aumento na velocidade da fmm do estator (sem alteração em amplitude) leva a uma redução de  $\bar{\psi}_r$ . Então, deve haver um ajuste ótimo nessas duas quantidades que leva ao mesmo nível de fluxo no rotor antes e depois do transitório.

No diagrama espacial da Fig. 8 essa idéia pode ser visualizada. A componente de conjugado da fmm do estator ( $F_{sT}$ ) é ajustada para dar o aumento desejado no conjugado,

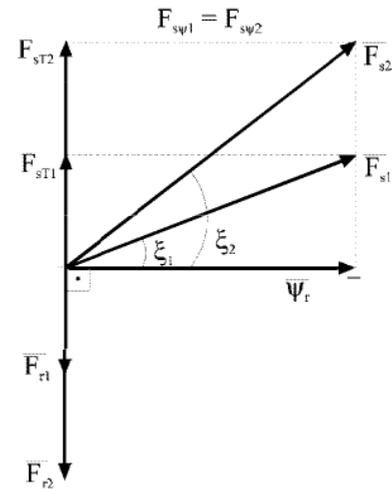


Fig. 8 - Diagrama espacial das fmm de estator e rotor para controle de amplitude e velocidade da fmm do estator.

enquanto que a frequência de escorregamento é aumentada de forma a manter constante a componente de fluxo da fmm do estator ( $F_{s\psi}$ ).

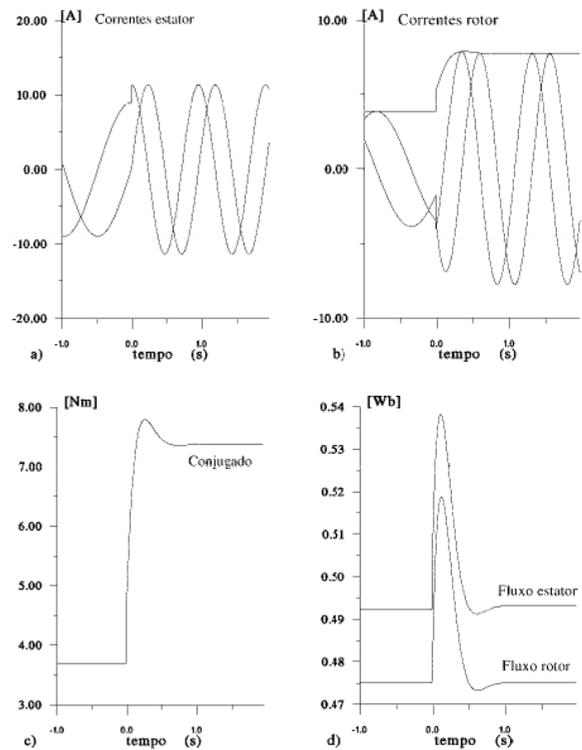


Fig. 9 - Variação no tempo das correntes, conjugado e fluxos enlaçados. Controle de amplitude e frequência.

A variação no tempo das correntes, conjugado e fluxos enlaçados é apresentada na Fig. 9. Observa-se que o objetivo de manter constante o fluxo enlaçado no rotor é alcançado para o regime permanente. Entretanto, uma acomodação transitória se manifesta. Esta acomodação ocorre porque durante o transitório não existe controle sobre a posição relativa entre a fmm do estator e o fluxo resultante

no rotor, e a máquina tem que se ajustar de um diagrama espacial inicial para o final, respeitando sua dinâmica interna, determinada pela constante de tempo do rotor.

#### 4.4 - Controle de amplitude, frequência de escorregamento e fase, ou Controle Vetorial.

As possibilidades de controle discutidas até o momento são classificadas como “controle escalar”, pois somente as amplitudes de  $\vec{F}_s$  e  $\vec{\psi}_r$  foram controladas. A relação espacial entre as grandezas mencionadas foi acertada pela dinâmica da própria máquina. Mostra-se agora que introduzindo um terceiro elemento, que é o ajuste da posição relativa entre  $\vec{F}_s$  e  $\vec{\psi}_r$  (possível através do controle sobre a fase das correntes do estator), o conjugado é levado de um nível de regime permanente a outro sem qualquer transitório no vetor espacial de fluxo resultante enlaçado pelo rotor, e com as correntes de rotor saltando para o regime permanente final também de forma instantânea. Isso consiste em provocar uma variação instantânea da situação 1 para situação 2, mostradas no diagrama da Fig. 8. A máquina é instantaneamente tirada de um regime permanente e levada a outro sem qualquer efeito de sua dinâmica interna, dando como resposta um degrau de conjugado. Para se obter tal condição, ajustes exatos e adequados devem ser impostos na amplitude, fase, e velocidade (escorregamento) da fmm do estator.

Uma variação de  $k_t$  vezes no conjugado mantendo-se constante o fluxo resultante enlaçado pelo rotor, quer dizer uma variação de  $k_t$  vezes na componente de conjugado da fmm do estator ( $F_{s\tau}$ ) enquanto a componente de fluxo ( $F_{s\psi}$ ) é mantida inalterada (Fig. 8). Adicionalmente, para evitar o transitório observado na Fig. 9, um salto  $\delta_p$  na posição da fmm do estator deve ser impresso. Portanto, da Fig. 8 obtém-se:

a) Ajuste requerido na posição da fmm do estator ( $\delta_p$ ):

$$\delta_p = \xi_2 - \xi_1 = \arctan(k_t \omega_{sr1} \tau) - \arctan(\omega_{sr1} \tau) \quad (14)$$

Essa variação de posição, como mencionado anteriormente, é obtida saltando-se para um novo ponto das correntes senoidais do estator.

b) Ajuste requerido na frequência de escorregamento. Também da Fig. 8 determina-se:

$$\omega_{sr2} = k_t \omega_{sr1} \quad (15)$$

isto é, a frequência de escorregamento deve ser ajustada na mesma proporção desejada para o variação do conjugado.

c) Ajuste requerido na amplitude das correntes de estator:

Da Fig. 8, determina-se o ajuste a ser imposto na amplitude da fmm do estator:

$$F_{s2} = F_{s1} \sqrt{\frac{R_r^2 + (\omega_{sr2} L_r)^2}{R_r^2 + (\omega_{sr1} L_r)^2}} \quad (16)$$

Lembrando que a amplitude da fmm do estator é proporcional à amplitude da corrente de estator fluindo em cada enrolamento, segue-se que o ajuste de amplitude da fmm é obtido ajustando-se a amplitude da corrente de cada fase do motor pela relação determinada pelo termo em raiz quadrada da Eq. 12, que nada mais é que a relação da impedância do rotor nas duas frequências de escorregamento, visto do lado do estator. A Eq. 12 pode então ser escrita em termos da amplitude das correntes de fase do estator:

$$I_{s2} = I_{s1} \sqrt{\frac{1 + (k_t \omega_{sr1} \tau)^2}{1 + (\omega_{sr1} \tau)^2}} \quad (17)$$

A Fig. 10 mostra a variação das correntes, conjugado e fluxos enlaçados quando se deseja duplicar o conjugado, e os ajustes definidos acima são implementados:

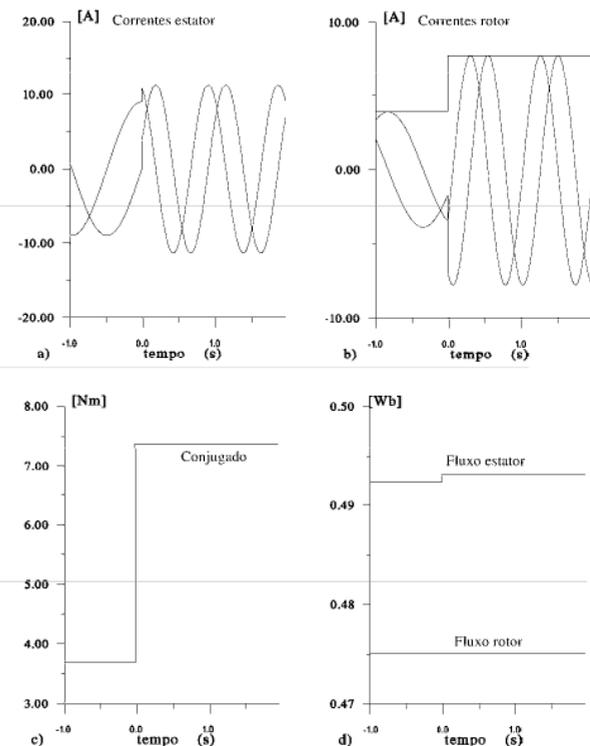


Fig. 10 - Variação no tempo das correntes, conjugado e fluxos enlaçados sob controle vetorial.

As conclusões a serem tiradas dessa figura são agora bastante claras. Para saltar de um nível de conjugado para outro, todas as quantidades devem ser levadas diretamente de um ponto de operação em regime permanente para outro.

Isso requer a manipulação das correntes de estator de forma a controlar a fmm do estator, tal que a amplitude do vetor espacial da corrente do rotor seja ajustada, mas sem qualquer mudança na fase espacial do mesmo, e ao mesmo tempo mantendo o vetor espacial de fluxo do rotor constante em amplitude e posição relativa. Deve ser enfatizado que somente duas quantidades precisam ser conhecidas de forma a alcançar o controle vetorial: a) a frequência de escorregamento antes do transitório, e b) a constante de tempo do rotor.

O triângulo de fluxos enlaçados pelo rotor, adequado para análise em regime permanente, representa completamente essa operação, pois somente estados de regime permanente estão presentes no processo. A Fig. 11 mostra os triângulos de fluxo enlaçados pelo rotor para situações antes e depois de uma variação em degrau duplicando o conjugado. O vetor espacial da força magnetomotriz do estator é controlado em amplitude, velocidade e fase, duplicando a amplitude do vetor espacial da corrente do rotor, sem alterar sua posição relativa, e ao mesmo tempo mantendo inalterado o vetor espacial do fluxo resultante enlaçado pelo rotor.

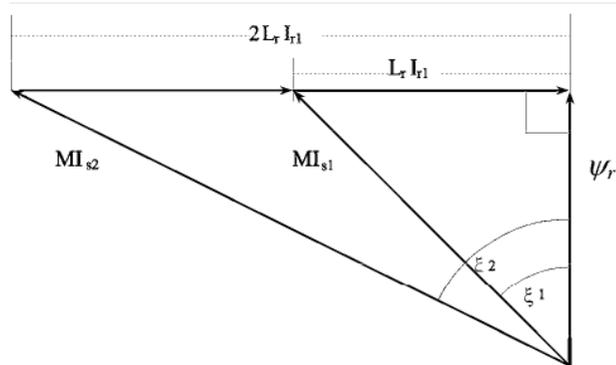


Fig. 11 - Triângulo de fluxos enlaçados pelo rotor representando uma variação em degrau no conjugado.

Porque a força magnetomotriz do estator está sendo controlada em amplitude, velocidade e posição, isto é, o vetor espacial está sendo completamente controlado, essa é a técnica de controle vetorial.

Comparando este resultado com aqueles obtidos para o controle escalar somos levados à conclusão de que o controle escalar não permite respostas rápidas (praticamente instantâneas) livres de transitório de acomodação para o conjugado, pois demanda variações no vetor espacial de fluxo resultante enlaçado pelo rotor durante o período transitório.

## 5 - Conclusões:

Uma comparação entre o controle vetorial e escalar para uma máquina de indução alimentada com correntes controladas foi apresentada. Respostas de conjugado livres de transitórios de acomodação requerem controle preciso sobre a força magnetomotriz do estator, ou vetor espacial de força magnetomotriz do estator, de forma que o vetor

espacial do fluxo resultante enlaçado pelo rotor seja mantido inalterado tanto em amplitude como posição relativa durante o transitório. O controle escalar não permite obter tais condições, portanto apresenta pobre desempenho dinâmico. O diagrama espacial que representa os fluxos enlaçados pelo rotor, embora aplicável apenas para condições de regime permanente se apresenta como uma importante ferramenta quando mecanismos de transitórios de conjugado são analisados.

O artigo mostra quão informativo e simples é a análise do comportamento do motor de indução alimentado com correntes controladas, e sugere talvez que esse deva ser o método preferido para estudos das máquinas de indução no contexto de suas modernas aplicações.

## 6 - Referências Bibliográficas

- [1] A. Hughes, J. Corda, D.A. Andrade, "An inside look at vector control in cage motors", *IEE Conference Publication No. 376, Electrical Machines and Drives*, Oxford, pp. 258-264, September 1993
- [2] D.A. Andrade; A. Hughes, J. Corda - "Principles of vector control in cage motors - an easy quantitative approach via space-phasors" , *IEE Conference Publication N° 399, Power Electronics and Variable-Speed Drives*, pp. 204-210 - London, October 1994.
- [3] E.Y.Y Ho., P. Sen "Decoupling Control of Induction Motor Drives". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1988. Vol 35(2), pp. 253-262.
- [4] I. Barbi. "Teoria Fundamental do Motor de Indução". Florianópolis, EDUFSC/ ELETROBRAS, 1985
- [5] G. O. Garcia, R. M. Stephan, E. H. Watanabe, "Comparing the Indirect Field-Oriented Control with Scalar Method" *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 41, N° 2, Abril/94 - pp. 201-207.

## Dados Biográficos:

**Darizon A. Andrade** - nasceu em Monte Alegre de Minas - MG em 1954. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia em 1980. Concluiu o curso de mestrado em 1987 também na UFU. Em 1994 obteve o título de PhD na Universidade de Leeds-Inglaterra. É professor e pesquisador do Depto. de Engenharia Elétrica da UFU desde 1985, e se interessa por pesquisas relacionadas com a área de máquinas elétricas e acionamentos, tendo diversos artigos publicados sobre o assunto.

**Carlos A. Bissochi Jr.** - nasceu em Mogi Guaçu - SP em 1972. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela UNESP - Bauru em 1994. Em 1997 concluiu o curso de mestrado em Engenharia Elétrica na Univ. Federal de Uberlândia, onde continua no programa de doutorado na área de eletrônica de potência. Interessa-se por temas relacionados com acionamentos elétricos.

**Jasmin Cörda** - Nasceu em Sarajevo - Bósnia em 1952. Graduado em Eng. Elétrica pela Universidade de Sarajevo em 1975. Obteve o título de PhD pela Universidade de Leeds em 1979. É professor (Senior Lecturer) no Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, e Diretor do curso de Mecatrônica da Universidade de Leeds. Atua nas áreas de Máquinas Elétricas, Acionamentos e Eletromagnetismo. Principais temas de pesquisa são: Máquinas a relutância chaveadas, atuadores lineares, e transdutores de posição, incluindo mais de 50 artigos técnicos publicados. Recebeu o "IEE Premium Award" em 1980 por trabalho relevante na área de motores a relutância chaveados, e "Excellence in Design Award" em 1994 pelo desenvolvimento de um novo atuador linear a relutância variável.