



ESTUDO DO MOTOR DE RELUTÂNCIA CHAVEADA PARA APLICAÇÃO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS

Wallysson Gontijo*¹, Marcos Gomes ¹ e Cássio Fujisawa¹

¹PUC Goiás – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Resumo - No presente artigo é descrito um breve histórico sobre os tipos de motores mais utilizados na propulsão de veículos elétricos (VE), neste cenário destaca-se o motor de relutância chaveada (MRC) que por suas características construtivas é um forte candidato para esse tipo de aplicação. São realizados testes através de um modelo versátil não linear do MRC implementado no *software Matlab/Simulink*, os resultados obtidos confirmam e destacam características de controle e operação da máquina.

Palavras-Chave - Motor de Relutância Chaveada, Torque, Veículo Elétrico.

STUDY OF THE SWITCHED RELUCTANCE MOTOR FOR ELECTRICAL VEHICLES APPLICATION

Abstract - This paper presents a brief historical overview about the types of engines most used in electric vehicle (EV) propulsion. In this scenery, the switched reluctance motor (SRM) stands out due to its constructive features, which becomes a strong candidate for this type of application. Tests are performed using a versatile nonlinear SRM model implemented in *Matlab/Simulink software*, and the results confirm and highlight the machine control and operation characteristics.

Keywords - Electrical Vehicle, Switched Reluctance Motor, Torque.

I. INTRODUÇÃO

No começo do século XX, quando surgiram os primeiros automóveis, existiam dois tipos principais de veículos: os veículos elétricos (VE), com 1575 unidades e os veículos com motor de combustão interna (MCI), com 963 unidades [1]. As principais vantagens dos VE eram, a grande eficiência do motor elétrico, baixa emissão de gases poluentes, ausência de vibrações e ausência de marchas. Por outro lado, as baterias tinham baixa densidade de energia, ou seja, armazenava pouca energia em relação à massa e volume, proporcionando uma baixa autonomia. Para se ter uma ideia, uma bateria de chumbo-ácido em 1900 armazenava apenas em torno de 0,01kWh por Kg, o que é cerca de 1000 vezes menos que a gasolina [2]. Como na época havia uma malha viária reduzida e concentrada nos grandes centros urbanos, a autonomia não

era um fator muito importante, com isso os VE conseguiam competir com os veículos movidos a gasolina.

Um dos grandes problemas do MCI consistia no sistema de acionamento do motor, onde o usuário precisava girar uma manivela localizada na parte frontal do veículo. Com avanços tecnológicos, a partida manual logo foi substituída por motores elétricos. A ampliação das vias de acesso juntamente com a diferença de preço entre os veículos, foram determinantes para a queda de popularidade dos VE. Em 1925 um veículo elétrico custava US\$ 1.760, enquanto o modelo T da Ford era vendido a US\$ 560 [3]. Uma legislação ambiental complacente com a alta poluição produzida pelo MCI e a crescente disponibilidade a baixo custo de combustíveis derivados de petróleo, associadas em contrapartida a uma bateria incrivelmente pesada, os veículos elétricos começaram a perder espaço e em 1920 foram superados.

Os veículos com motores de combustão interna comandaram o mercado desde então e se estabeleceram como uma tecnologia de difícil substituição. No entanto, houve um aumento da consciência em nível mundial sobre os impactos causados ao meio ambiente em relação aos Gases do Efeito estufa (GEE). Segundo a European Environment Agency, o setor de transportes é responsável por cerca de 23% da emissão.

Nesse cenário os motores elétricos voltaram a figurar como alternativas viáveis para a solução da questão ambiental. Além disso um veículo com motor a combustão tem uma eficiência de 5 a 30%, enquanto um veículo elétrico possui eficiência entre 93 e 96% [2].

Dentre os tipos de motores mais utilizados na propulsão de veículos, destacam-se: motor de indução (MI), motor síncrono de ímã permanente (MSIP) e o motor de relutância chaveada (MRC).

O MI é considerado o mais maduro dentre os três modelos apresentados, devido ao fato de ser o modelo mais utilizado na indústria. O MI também foi um dos primeiros a ser utilizado na propulsão dos VE, além de conseguir operar em adversos ambientes, sua construção é robusta e tem baixo custo baixa manutenção [4], [5], [6].

Nos dias atuais o MSIP é a opção mais utilizada no projeto de VE, devido a sua alta densidade de torque, potência e alta eficiência, especialmente quando são utilizados ímãs de alta densidade de fluxo magnético. A maior dificuldade encontrada na utilização em larga escala desse tipo de motor é o elevado custo de fabricação devido ao alto preço dos ímãs.

Nesse contexto destaca-se o MRC que é interessante para aplicações de propulsão elétrica por sua construção robusta e eficiente quando comparada ao MI, podendo ser igualada à eficiência do MSIP. Outra vantagem é o fato do MRC não necessitar de ímãs permanentes, tornando seu custo de fabricação inferior. Por outro lado, as maiores desvantagens deste tipo de motor são o maior ruído inerente e o torque de *ripple*. A origem das ondulações do torque *ripple* em um MRC se dá pela natureza discreta e não-linear do mecanismo de produção de torque. O torque total em um MRC é a soma dos torques gerados por cada uma das fases do estator, que são controladas independentemente. Com o avanço da eletrônica de potência, utilização de ferramentas computacionais, tem-se conseguido resultados significativos no controle do MRC, diminuindo o torque de *ripple* e aumentando consequentemente sua eficiência [2].

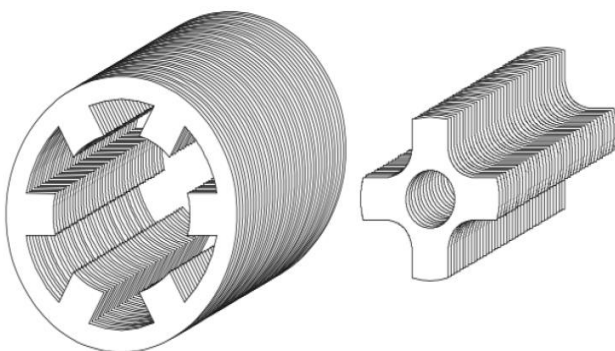
Portanto, o objetivo deste trabalho é o estudo do modelo do MRC no *Simulink/Matlab* verificando seu funcionamento com respeito aos ajustes de entrada e a resposta da máquina.

II. CARACTERÍSTICAS E ACIONAMENTO DO MRC

Desde 1969, o motor de relutância chaveada tem sido proposto para aplicações de velocidade variável. A origem deste motor pode ser rastreada em 1842, mas a “reinvenção” tem sido possível devido ao advento de dispositivos de chaveamento de alta potência e baixo custo. Mesmo que esta máquina seja um tipo de máquina síncrona, ela possui certos recursos novos. Ela possui bobinas de campo enroladas de um motor de corrente contínua para seus enrolamentos de estator e não possui bobinas ou ímãs em seu rotor.

A construção do MRC é simples comparada a outros tipos de motores. Normalmente são formados a partir de chapas de aço silício, empilhadas de forma a compor o núcleo magnético, assim como todas as máquinas magnéticas e transformadores. O rotor não tem enrolamento nem ímãs e é feito para ter baixa inércia. A Figura 1 apresenta a construção básica do estator e rotor.

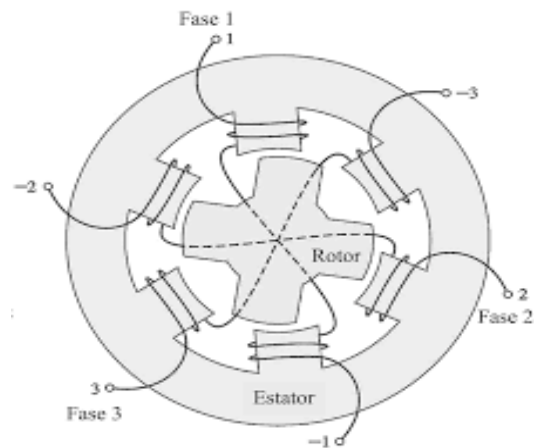
Figura 1. Estator e rotor individuais. Fonte: [7].



Os enrolamentos se concentram nos “dentes” do estator, cada polo é envolvido por um enrolamento que é conectado em série com seu par diametralmente oposto para formar uma fase. Figura 2 representa os enrolamentos do estator.

A resultante destas características garante a simplicidade de construção e robustez da máquina, impactando positivamente

Figura 2. Enrolamentos das 3 fases. Fonte: [8].



em seu custo final de fabricação, além do fato de que a ausência de atrito entre partes móveis permite a operação em altas velocidades [4].

O rotor é alinhado sempre que os polos do estator diametralmente opostos estão excitados. Em um circuito magnético, o membro rotativo prefere chegar à posição de relutância mínima na instância de excitação. Enquanto dois polos do rotor estão alinhados aos dois polos do estator, os demais polos do rotor estão fora de alinhamento ao mudar sequencialmente as correntes dos enrolamentos do estator, o rotor gira. O movimento do rotor, a produção de torque e potência, envolve o chaveamento de correntes em enrolamentos do estator quando há uma variação de relutância; portanto, esse acionamento do motor de velocidade variável é chamado de acionamento do motor de relutância chaveada [9].

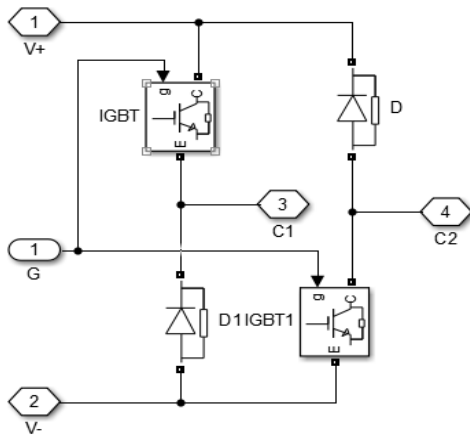
O acionamento elétrico do motor é feito por um modelo conhecido de conversor, o *half bridge*. Esse modelo de conversor utiliza dispositivos eletrônicos semicondutores de potência (IGBT), capazes de operar em alta frequência. No modelo 6/4 são 6 polos no estator, 4 polos no rotor e utiliza-se três conversores, cada conversor alimenta uma fase separadamente. A Figura 3 ilustra a topologia deste modelo de conversor. O sinal de tensão $V+$ e $V-$ é proveniente de uma fonte de alimentação CC externa, o terminal Gate dos IGBT's recebe o sinal de corrente do controlador de histerese. O enrolamento de fase se conecta nos terminais 3 e 4 do conversor, de forma que quando as chaves estão desligadas a corrente circula pelos diodos de roda livre até retornarem para o valor 0.

No momento em que uma fase é alimentada, o fluxo magnético é induzido no polo do estator buscando o caminho de menor entreferro, que é o momento de alinhamento dos polos.

Devido à magnetização não linear do material ferro magnético e da variação constante de entreferro, o fluxo magnético da máquina é uma função não linear da corrente do estator e da posição angular do rotor.

$$\psi = \psi(i, \theta) \quad (1)$$

Figura 3. Conversor Half-bridge. Fonte: Simulink.

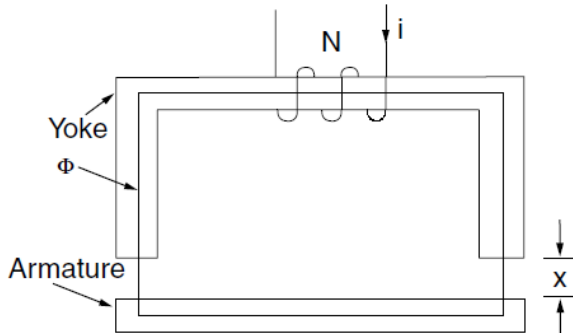


Esta função complexa pode ser obtida pelo cálculo dos elementos finitos de campo usando a geometria da máquina, por medições experimentais na máquina real ou aproximadas por funções analíticas não lineares [9].

Como o acoplamento mútuo está ausente, cada fase é eletricamente independente de outras fases. Este é um recurso exclusivo apenas para esta máquina. Devido a esse recurso, percebe-se que se ocorrer uma falha de curto-circuito no enrolamento de uma fase, as outras fases não serão afetadas. Essa independência das fases da máquina tem uma formidável consequência em atuadores e geradores de aeronaves, atuadores usados em aplicações de defesa, motores usados em bombas de refrigeração em usinas nucleares e veículos elétricos, para mencionar algumas aplicações. Em contraste extremo com a operação do MRC sob falha de curto-circuito, considere um motor síncrono de ímã permanente com uma condição de falha monofásica de curto-circuito [10].

A produção de torque no MRC é explicada utilizando o princípio fundamental de conversão de energia eletromecânica em um solenoide, como mostrado na Figura 4. O solenoide tem N espiras, e quando é excitado com uma corrente i , a bobina configura um fluxo Φ . Aumentar a corrente de excitação fará com que a armadura se mova em direção ao *yoke* (Casca ou Quadro), que é fixo[11].

Figura 4. Solenoide. Fonte: [11].



O ciclo de produção de torque associado a um pulso de corrente em cada fase é chamado de *stroke*. Evidentemente, a

produção de torque unidirecional contínuo se soma em cada fase, de modo que as lacunas na forma de onda de torque sejam preenchidas pelas correntes fluindo nas outras fases. Normalmente, há um *stroke* por passo do rotor em cada fase e a corrente em qualquer fase geralmente flui por apenas uma fração do passo do polo do rotor.

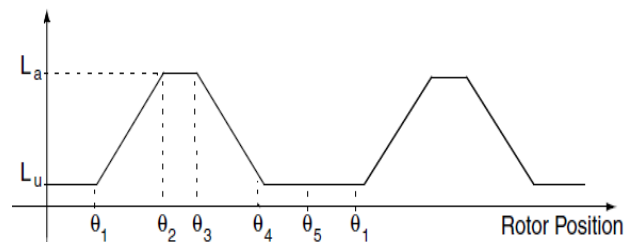
De acordo com (2), o conjugado é positivo quando a derivada da indutância em relação à posição angular é positiva, ou seja, quando a indutância é crescente [6]. Analogamente, quando a indutância é decrescente, a derivada da indutância será negativa, conseqüentemente o conjugado é negativo.

$$T = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad (2)$$

A posição do rotor é necessária instantaneamente, para que o conversor energize cada enrolamento na hora certa. Para isso, são utilizados sensores óticos ou *encoders* acoplados ao eixo do MRC.

Uma vez que as características de torque dependem da relação entre o fluxo concatenado e a posição do rotor em função da corrente, vale a pena conceituar as possibilidades de controle e as limitações deste acionamento motorizado. Por exemplo, uma curva típica da indutância de fase pela- posição do rotor é mostrado na Figura 5, para uma corrente de fase fixa. A indutância corresponde à de uma bobina de fase de estator do motor de relutância chaveada, negligenciando a saturação. As alterações significativas do perfil de indutância são determinadas em termos dos arcos do polo do estator e do número de polos do rotor. O arco do polo do rotor é assumido como sendo maior que o arco do polo do estator.

Figura 5. Indutância pela posição do rotor para o MRC não saturado. Fonte: [11].



Através da figura 5 podemos perceber a variação da indutância em relação a posição do rotor e quatro regiões de indutância distintas.

$\theta_1 - \theta_2$: Os polos se sobrepõem, então o caminho do fluxo é principalmente através de laminações no estator e rotor. Com isso, há um aumento de indutância com o aumento do ângulo do rotor, dando-lhe uma inclinação positiva e conseqüentemente resultando em um torque positivo. Esta região chega ao fim quando a sobreposição de polos está completa.

$\theta_2 - \theta_3$: Esta indutância é conhecida como indutância alinhada, L_a . Como não há mudança de indutância nesta região, a geração de torque é zero mesmo quando uma corrente está presente neste intervalo. Apesar disso, ele serve

como uma função útil, fornecendo tempo para que a corrente do estator atinja níveis baixos ou zero quando é chaveada, evitando a geração negativa de torque durante parte do tempo.

$\theta_3 - \theta_4$: Nesta região, o polo do rotor está se afastando da sobreposição do polo do estator. Isso é muito semelhante à região $\theta_1 - \theta_2$, mas tem indutância decrescente com o aumento da posição do rotor, contribuindo para um declive negativo da região de indutância. A operação da máquina nesta região resulta em torque negativo (isto é, geração de energia elétrica da entrada mecânica para a MRC).

$\theta_4 - \theta_5$: Os polos do estator e do rotor não se sobrepõem nesta região e o fluxo é predominantemente determinado pelo caminho do ar, tornando a indutância mínima e quase constante. Portanto, essas regiões não contribuem para a produção de torque. A indutância nesta região é conhecida como indutância desalinhada, L_u .

Para correntes retangulares, pode ser visto que o torque de motorização é produzido por um curto período de tempo na forma pulsada, resultando em um grande torque de *ripple*. Isso pode criar problemas de aumento do ruído audível e possíveis oscilações de velocidade. As ondulações de torque são minimizadas pelo projeto da máquina, de forma que os perfis de indutância de duas fases sucessivas se sobreponham durante o final de um e o começo do outro. Por sua vez, isso requer a escolha correta do número de polos do estator, rotor e seus arcos de polo. Uma técnica alternativa para reduzir as ondulações de torque é moldar as correntes.

A máquina de relutância chaveada tem uma forte semelhança com as máquinas de relutância síncrona e CC excitada em série, exceto pelo fato do controle ser um pouco mais complexo, portanto, o desenvolvimento de controle análogo não é possível. O fato de que a indutância da máquina não é apenas uma função do rotor, mas também da corrente de excitação, mesmo para uma fração da corrente nominal, dificulta o desenvolvimento de estratégias de controle para sistemas de acionamento do MRC. Em contraste, para todas as outras máquinas elétricas, sabe-se que as estratégias de controle são derivadas com base nos parâmetros da máquina sendo constantes para a maior parte da faixa de excitação.

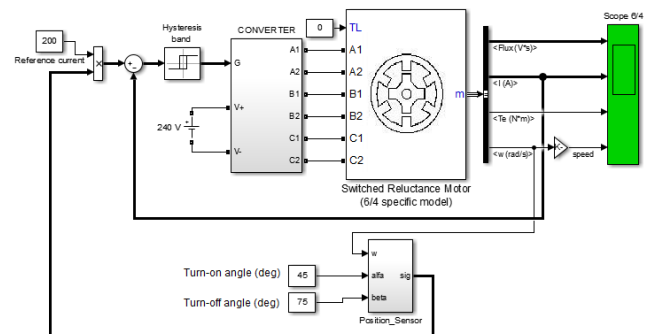
III. MODELO PARA CONTROLE DO MRC 6/4 NO SIMULINK

O modelo MRC utilizado assume o formato comumente utilizado para representar um sistema eletromecânico. As entradas são as tensões e correntes no estator e as saídas são as variáveis mecânicas (torque, velocidade, posição do rotor). As configurações do modelo são escolhidas para serem compatíveis com três tipos de dados fornecidos pelo usuário (dados experimentais, dados calculados, análise de parâmetros). No presente artigo serão apresentadas as análises dos parâmetros de entrada e saída do modelo específico desenvolvido em [9].

O MRC pode ser modelado no Simulink como um sistema elétrico não-linear seguido por um sistema mecânico representando a dinâmica mecânica do motor e a carga acionada. Um exemplo de aplicação usando o modelo MRC desenvolvido é apresentado para verificar sua operação. A

Figura 6 mostra um diagrama do *Simulink* de um drive MRC 6/4 de três fases.

Figura 6. Diagrama eletromecânico do MRC. Fonte: Simulink.



Nesta configuração de teste, é apresentado um MRC 6/4 de 60 kW, o motor é alimentado por um conversor assimétrico de três fases (*half bridge*). Com esse arranjo, as correntes de fase podem ser controladas independentemente. Um sensor de posição do rotor é usado para que os ângulos de acionamento do IGBT *turn on* e *turn off* de cada fase possam ser fixados com precisão.

As correntes nas fases do estator são controladas por três controladores de histerese independentes. Dependendo da velocidade de rotação, o drive MRC pode operar em um dos dois modos: modo controlado por corrente e modo alimentado por tensão. O modo controlado por corrente só é possível em baixas velocidades onde a tensão CC disponível é suficiente para regular a corrente em enrolamentos de fase. Acima de uma determinada velocidade, a regulação de corrente não é possível e o MRC mudará naturalmente para o modo alimentado por tensão.

A. Controlado por Corrente

Em baixas velocidades o motor não tem força contra eletromotriz suficiente para limitar a corrente, então o controle de corrente por histerese é utilizado para obtenção aproximada de um pulso retangular de corrente. Durante o chaveamento, a corrente varia entre dois níveis, $I + \delta I / 2$ e $I - \delta I / 2$, onde I é a corrente de referência, e δI é o nível de histerese. O torque é controlado pelo nível de histerese [12].

A velocidade do motor é mantida a um valor constante usando uma carga de alta inércia e as correntes médias são mantidas constante pelos reguladores de corrente.

B. Alimentado por Tensão

A regulação de tensão (ou modulação por largura de pulso) é utilizada para controle de velocidade. Isto é feito deixando um IGBT do conversor *half bridge* ligado no período θ_{on} até θ_{off} , e ligando e desligando o segundo IGBT alternadamente em alta frequência. Deve ser usado uma razão cíclica $d = T_{on} / T$, onde T_{on} é o tempo ligado e T é o período de chaveamento [12].

IV. SIMULAÇÃO

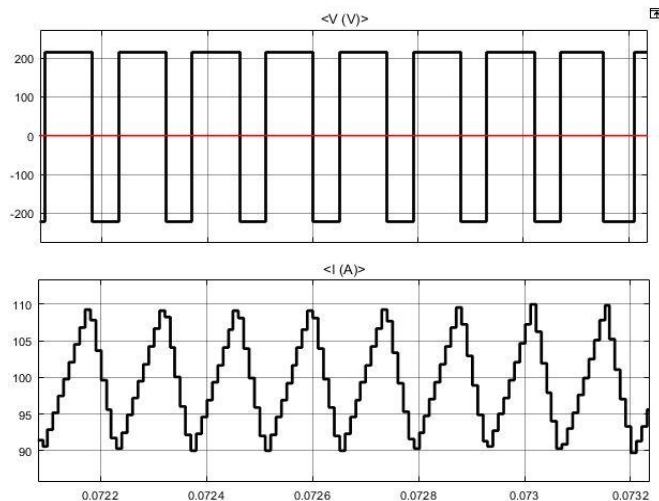
São realizados 3 ensaios para a obtenção do comportamento

da tensão em relação à corrente e da tensão em relação aos ângulos *turn on* e *turn off*.

A. Verificação do Funcionamento do Controlador por Histerese.

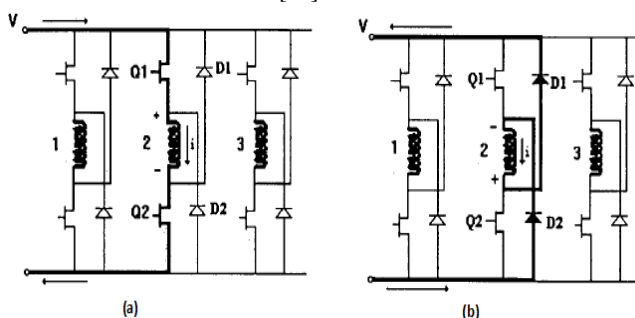
Neste teste podemos observar o funcionamento do controlador por histerese na partida do motor, ou seja, antes de entrar em regime permanente. Para a realização do teste, a tensão de alimentação CC foi fixada em 220 Volts, a corrente de referência em 100 Amperes e a banda de histerese em ± 10 .

Figura 7. Comparação da tensão em relação a corrente



Como já explicado anteriormente durante o chaveamento feito pelo controlador de histerese, a corrente varia entre dois níveis, 90 e 110 A. Através das curvas obtidas no gráfico percebe-se que quando a corrente atinge o limite, a mesma se transfere para os diodos, e o enrolamento vê uma tensão $-V$. Como mostra a figura 8, os transistores Q1 e Q2 fecham quando a corrente atinge o limite inferior de 90 A e abrem quando a corrente atinge o limite superior de 110 A.

Figura 8. (a) Q1 e Q2 ligados. (b) Q1 e Q2 desligados. Fonte: [12].



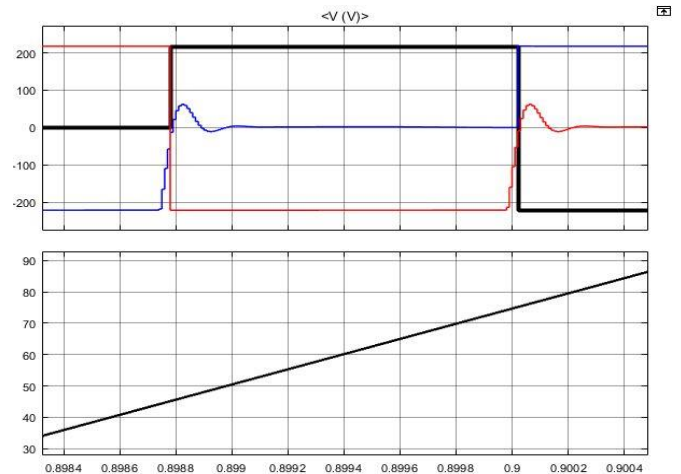
B. Comportamento da Tensão Frente aos Ângulos θ_{on} e θ_{off}

A tensão aplicada no enrolamento de cada fase, está relacionada ao acionamento do conversor *half bridge* apresentado na figura 3. A posição instantânea do rotor fornecida pelo sensor de posição apresentado na figura 6 define o instante em que a tensão será fornecida ao

enrolamento do MRC.

O comportamento da tensão em uma fase do motor já em regime permanente, pode ser observado na figura 9.

Figura 9. Comportamento da tensão em relação aos ângulos θ_{on} e θ_{off}



No instante em que o rotor passa pela posição θ_{on} pré-ajustada de 45° em relação a fase referida, as chaves do conversor comutam seu estado, aplicando a tensão CC diretamente no enrolamento da fase. A tensão na bobina permanece constante no período entre 45° e o ângulo θ_{off} de 75° , neste instante ocorre o desligamento das chaves e a tensão é cortada.

C. Acionamento do MRC na região de indutância decrescente

Nesse ensaio foram mantidos os ajustes de tensão e corrente, porém os ângulos de disparo mudaram para 0° e 30° . A corrente de referência é 100 A, a Tensão é 220 V, banda de histerese ± 10 A.

Para o modelo 6/4 utilizado na simulação, tem-se a seguinte relação de posição do rotor por valor de indutância:

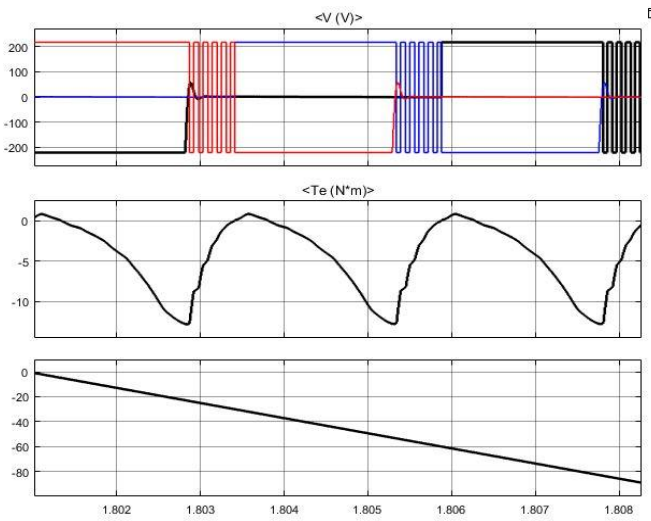
- Posição 0° : o polo do rotor está alinhado com o polo do estator;
- Entre 0° e 45° : o polo do rotor se afasta do polo do estator aumentando o entreferro (e a relutância magnética) e reduzindo a indutância;
- Entre 45° e 90° : o polo (seguinte) do rotor se aproxima do polo do estator, reduzindo o entreferro (e a relutância magnética) e aumentando a indutância;
- Posição 90° : o polo do rotor está novamente alinhado com o polo do estator e reinicia o processo. O ciclo é de 90° , pois são quatro polos no rotor (360° dividido por 4);

Essa relação entre posição do rotor e valor de indutância foi vista de forma genérica na Figura 5, que para o modelo de motor 6/4, teria a região entre θ_1 e θ_2 sendo a faixa de 45° a 90° , e a região entre θ_3 e θ_4 sendo a faixa de 0° a 45° .

Segundo (2), que mostra o torque em função da derivada da indutância pela posição do rotor, pode-se notar que se a derivada for positiva, tem-se o torque a favor do movimento do rotor, e caso a derivada seja negativa, tem-se o torque no sentido contrário.

Na primeira e terceira curva da Figura 10, nota-se o disparo da energização da bobina (tensão de 220 V) entre 0° e 30° (pela terceira curva), ou seja, na região em que a indutância reduz de valor e tem sua derivada negativa. Na segunda curva dessa mesma Figura 10, constata-se que de fato o torque resultante é negativo conforme (2), e na terceira curva tem-se o movimento incorreto do rotor em sentido contrário, pois o valor do ângulo é decrescente.

Figura 10. Comportamento do MRC devido ao disparo na região de indutância decrescente.



V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o atual cenário dos veículos utilizados no transporte urbano, em que tem aumentado o uso de veículos elétricos. Dentre os três motores mais utilizados (MI, MSIP e MRC) foi escolhido o motor de relutância chaveado para ser o tema deste trabalho pois apresenta vantagens com relação aos outros dois, sendo a tendência de estudos e pesquisas.

O uso do MRC ocasiona algumas complicações como por exemplo o sistema de controle, que foi o objetivo deste artigo.

As simulações foram realizadas no *software Simulink* do *Matlab*, que utiliza um modelo não-linear. Dentre seus elementos principais está o conversor *half bridge* que utiliza semicondutores de potência (IGBT) para chavear em alta frequência as fases do motor. Para o correto disparo dos IGBT é utilizado um sensor de posição do rotor.

A contribuição do artigo foi confirmar e explicitar o funcionamento do MRC segundo seus ajustes de entrada (ângulos de disparo θ_{on} e θ_{off} e corrente de referência) a partir dos resultados que relacionaram as tensões e correntes das bobinas e a posição do rotor.

A análise do torque e velocidade do motor com respeito a esses ajustes é o trabalho futuro a ser realizado, que permitirá a identificação do *ripple* de torque e a busca por uma solução. Consequentemente, será estudada uma solução para este problema que é uma das principais desvantagens desta máquina.

REFERÊNCIAS

- [1] M. H. Westbrook, The electric car. 1. ed. London: IET, 2001.
- [2] EdX Online Courses by TU Delf Electric Cars 2012–2019 edX Inc.
- [3] Z. Q. Zhu, and D. Howe, "Electrical Machines and Drives for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles," Proceedings of the IEEE, vol. 95, no. 4, pp. 746-765, April 2007.
- [4] M. Zeraoulia, M. E. H. Benbouzid, and D. Diallo, Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 55, n. 6, p. 1756–1764, 2006.
- [5] A. E. Fitzgerald and C. Kingsley Jr., UMANS, S. D. Máquinas elétricas, 6. ed., São Paulo: Bookman, 2006, pp. 15–64.
- [6] M. R. C. Reis, W. R. H. Araújo, W. P. Calixto, "Efficiency Improvement of Switched Reluctance Generator Using Optimization Techniques" in Transactions on Environment and Electrical Engineering Vol 2, No 1, np., 2017.
- [7] T. J. E. Miller, Switched Reluctance Motors and Their Control, Clarendon Press, Oxford, 1993.
- [8] M. R. C. Reis, W. R. H. Araújo, W. P. Calixto, "Regulação de Velocidade do Motor a Relutância", Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 3, N. 2, pp. 1-7, 2015.
- [9] S. Leitman and B. Brant, Build your own electric vehicle. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 2009.
- [10] R. Krishnan, Switched Reluctance Motor Drives, CRC Press, 2001.
- [11] B. Fahimi, A. Emadi, R. B. Sepe, "A switched reluctance machine-based starter/alternator for more electric cars", IEEE Trans. Energy Convers., vol. 19, no. 1, pp. 116-124, Mar. 2004.
- [12] H. Le-Huy, "Performance study of a four-phase 8/6 switched reluctance generator using a nonlinear model based on magnetization curves," in IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 2009., Nov 2009, pp. 3910-3915.