

Estratégia Neural para Inserção de Saturação Magnética na Simulação de um Gerador a Relutância Chaveado

Eduardo S. L. Oliveira, Ivan N. da Silva, Manoel L. de Aguiar, Marcelo P. de Santana

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil (e-mail:dudu21@sc.usp.br)

Abstract: The objective of this paper is to present the operation of a Switched Reluctance Generator 6x4, three phase. For this, a computational model capable of showing the dynamics of its operation was developed in Matlab Simulink. In order to put the effect of magnetic saturation in the simulation, an Artificial Neural Network was developed from real database and attached to the model. The results show with higher fidelity the dynamics of the operation, besides proving the functionality of this machine in generator mode.

Keywords: Switched Reluctance Generator, Magnetic Saturation, Artificial Neural Network, computer simulation.

Resumo: O objetivo deste artigo é apresentar o funcionamento de um Gerador a Relutância Chaveado 6x4, trifásico. Para isso foi desenvolvido um modelo computacional em ambiente *Matlab Simulink*, capaz de englobar toda a dinâmica de seu funcionamento. Afim de inserir a saturação magnética ao modelo, uma Rede Neural Artificial foi desenvolvida a partir de banco de dados reais e anexada ao modelo. Os resultados obtidos mostra com maior fidelidade a dinâmica de funcionamento do GRC, além de comprovar a funcionalidade dessa máquina em modo gerador.

Palavras-Chave: Gerador a Relutância Chaveada, Saturação Magnética, Rede Neural Artificial, Simulação Computacional.

1. NOMENCLATURA

v	Tensão aplicada.
i	Corrente de fase.
R	Resistência de fase.
L	Indutância de fase.
e	Força contra eletromotriz.
ω	Velocidade angular do rotor.
T_m	Conjugado mecânico aplicado.
T_{emag}	Conjugado eletromagnético.
J	Momento de inércia.
D	Coefficiente de atrito.
θ	Posição angular do rotor.
t	Tempo.
f	Frequência

1. INTRODUÇÃO

O constante crescimento no consumo global de energia faz com que a geração de energia se desenvolva tentando acompanhar esse acréscimo, a fim de atender a demanda exigida. Com isso, um dos desafios é conseguir melhorar a eficiência dos equipamentos utilizados nos sistemas de geração e, por consequência, diminuição dos custos. Portanto, a engenharia tem que se recriar com novas investigações e frentes de pesquisa para conseguir alavancar a demanda mundial instalada.

Nesse aspecto, há uma crescente demanda de trabalhos da comunidade científica cujo foco principal é o estudo de novas topologias de máquinas voltadas para a geração de energia elétrica. Dentre essas máquinas, destaca-se a Máquina a Relutância Chaveada (MRC) por ser uma máquina de simples construção e apresentar um reduzido custo de fabricação. É uma máquina ausente de imãs permanentes e de escovas, agregando maior robustez e as tornando aptas a serem utilizadas em ambientes de condições extremas de vibrações, poeira, temperaturas elevadas e umidade.

A MRC é caracterizada por uma estrutura em dupla saliência com rotor e estator laminados e sólidos. Constitui-se de enrolamentos restritos aos pólos do estator, proporcionando menor perda por efeito Joule e uma evidente integridade física, o que possibilita a MRC trabalhar em alta velocidade com menor risco de danos à estrutura da máquina. No estator, cada par de pólos diametralmente opostos representam uma fase (Chuang et. al., 2005), normalmente ligados em série e percorridos pela mesma corrente pulsante (Sawata et. al., 1999). Construtivamente é um conversor eletromecânico de estrutura simples, conforme ilustrado na Figura 1.

A geometria em dupla saliência das MRC ocasiona a não linearidade do circuito eletromagnético, ou seja, ocasiona corrente, tensão e conjugado oscilantes (Oliveira, 2010), sendo uma desvantagem. Mas, devido à melhor qualidade de componentes eletrônicos atuais, e com o emprego e melhoramento de técnicas de controle, tais deficiências estão sendo gradativamente reduzidas.

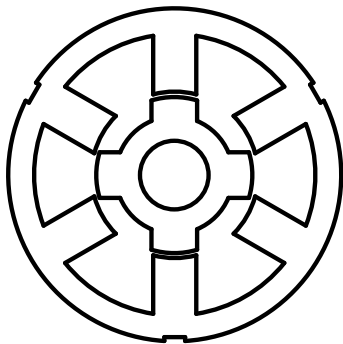


Figura 1. MRC 6x4 em dupla saliência.

Com a perspectiva de aumentar a demanda instalada de energia elétrica, aplicações da MRC em fontes alternativas estão em ascensão, com destaque para a utilização em parques geradores eólicos, sendo vantagem de operação em velocidade variável da MRC aliada com a sazonalidade dos ventos a grande incentivadora nessa aplicação (Cardenas, 2004).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar a modelagem computacional, em *Matlab Simulink*, de um protótipo já existente de um Gerador a Relutância Chaveado (GRC), trifásico, 6x4, que, para efeito de constatação de sua dinâmica de funcionamento, fez-se o uso de técnica neural para inserção dos efeitos da saturação magnética da máquina, tornando o modelo mais fidedigno a realidade.

2. MODELO MATEMÁTICO

O princípio de funcionamento da MRC é baseado na variação de fluxo em função da posição angular do rotor quando devidamente excitado seus enrolamentos de fase. Devido à sua topologia em dupla saliência, o deslocamento do rotor em relação ao estator provoca modificações no circuito magnético, o que por sua vez ocasiona consideráveis alterações na indutância de cada fase.

Para uma fase do GRC, a tensão presente em seus terminais pode ser descrita por:

$$v = R \cdot i + L \cdot \frac{\partial i}{\partial t} + e \quad (1)$$

Os membros do segundo termo da equação representam, respectivamente, a queda de tensão na resistência da máquina, a queda de tensão devido ao efeito indutivo da fase e a força contra-eletromotriz (e), a qual depende da taxa de variação da indutância pela posição angular, da intensidade de corrente e da velocidade angular. Matematicamente (e) pode ser calculada da seguinte forma:

$$e = i \cdot \omega \cdot \frac{\partial L}{\partial \theta} \quad (2)$$

Na MRC, a tendência natural dos polos de rotor e estator é permanecerem alinhados quando a bobina de fase é excitada, esta posição é de equilíbrio estável. Os enrolamentos das fases são alimentados por uma fonte CC externa. Uma vez que ω e i são positivos, o sinal de (e) é igual ao sinal de $\partial L / \partial \theta$. Em (2), verifica-se que quando $\partial L / \partial \theta < 0$ a (e) é negativa a MRC está trabalhando como gerador. Por outro lado, caso $\partial L / \partial \theta > 0$, a MRC estaria operando como motor, convertendo energia

elétrica em conjugado mecânico no eixo da máquina (Sawata, 2001).

Para o GRC, o conjugado eletromagnético é restaurador e sempre atuará contra o sentido do movimento de rotação. A equação que engloba os aspectos mecânicos da máquina é:

$$T_m = -T_{emag} + D \cdot \omega + J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

Como o GRC em questão apresenta seis polos no estator e quatro no rotor, conseqüentemente, existem três fases diferentes e independentes que são acionadas cada uma a seu tempo, com sua indutância própria e sua corrente instantânea. Portanto, o conjugado eletromagnético resultante é expresso pela soma das parcelas de cada fase, como segue em (4).

$$T_{emag} = \left(\frac{1}{2} \cdot i_1^2 \cdot \frac{\partial L_1}{\partial \theta} + \frac{1}{2} \cdot i_2^2 \cdot \frac{\partial L_2}{\partial \theta} + \frac{1}{2} \cdot i_3^2 \cdot \frac{\partial L_3}{\partial \theta} \right) \quad (4)$$

A partir das equações analíticas do GRC torna-se possível a inserção do modelo em programas computacionais de cálculo numérico para solução iterativa de sistemas de equações diferenciais.

3. CONVERSOR ALTERNATIVO

Diante de diversas topologias existentes de conversores eletrônicos de potência para o acionamento da MRC o conversor Half-Bridge (HB) é tradicionalmente mais empregado. O conversor HB consta de quatro componentes semicondutores e dois ciclos de operação, um de excitação e um de desmagnetização. Porém, para o acionamento de um GRC, em virtude de toda energia ser entregue à carga, torna-se desnecessário a utilização de alguns componentes semicondutores. Assim, em (Fleury et. al., 2008), foi apresentado uma topologia alternativa de conversor que dispensa alguns desses componentes, sendo aqui denominada de Conversor Alternativo (CA), cuja estrutura é ilustrada na Figura 2. O CA é caracterizado por apresentar apenas dois componentes semicondutores por fase, sendo um diodo (D1) e uma chave controlada (Q1), para fase 1, que por meio de seu chaveamento é capaz de conectar a fonte CC às bobinas do GRC e à carga (C1 e R1).

Em seu funcionamento, o CA apresenta dois períodos distintos, são eles: o de excitação e o de geração.

Para a fase 1, o período de excitação inicia-se quando a chave controlada (Q1) é acionada determinando o caminho entre a fonte CC e a bobina do GRC, recebendo pulsos de tensão. Admitindo-se o capacitor (C1) carregado, o diodo (D1) encontra-se reversamente polarizado nesta etapa e o período de excitação não apresenta nenhuma influência sobre a carga.

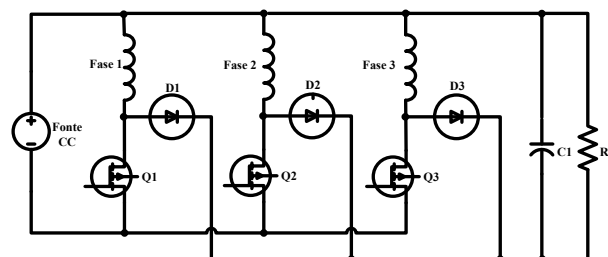


Figura 2. Esquema elétrico do conversor CA.

O período de geração da fase 1 inicia-se quando a chave controlada (Q1) deixa de conduzir e a (e) armazenada na bobina da fase 1 torna-se a fonte de alimentação do circuito. O diodo (D1) entra em condução e é determinado o caminho que a energia gerada é entregue a carga, finalizando o ciclo. Para as demais fases o raciocínio é análogo.

4. OBTENÇÃO DO PERFIL DE INDUTÂNCIA

Para se obter um modelo computacional adequado ao funcionamento de um GRC é indispensável estar ciente do comportamento da indutância e de sua derivada pela posição do rotor. Assim sendo, existe na literatura algumas técnicas e modelos capazes de aproximar os valores dos perfis da indutância, tais como o modelo linear e o modelo senoidal, porém agrega significativos erros ao sistema por não englobar o efeito da saturação magnética no modelo (Fleury, 2008).

Visando o aprimoramento do modelo para cálculo da indutância, em (Viajante, 2013) foi apresentada uma técnica de representação da indutância por expansão analítica da série de Fourier. Trata-se da utilização de segmentos de retas para representar os diferentes níveis possíveis de correntes e posição do rotor. Assim, as relações de fluxo, corrente e posição da máquina podem ser representados analiticamente incluindo a não linearidade entre elas, englobando a parcela de saturação magnética existentes nessas máquinas ao modelo matemático.

A técnica apresentada em (Viajante, 2013) torna-se confiável, mas por ser constituída da expansão as serie de Fourier, caso essa expansão conste com número elevado de elementos, agrega um grande peso computacional para o cálculo da indutância, sendo uma adversidade da técnica ao se considerar sistemas online de funcionamento do GRC ou ao se embarcar em microprocessadores. Nessa vertente, este artigo apresenta uma estratégia embasada em sistemas inteligentes para a detecção da indutância da máquina incluindo a saturação magnética.

4.1 Abordagem inteligente na detecção do perfil de indutância.

Visando a inserção no modelo computacional dos valores corretos dessa variável, com reduzido custo computacional, uma metodologia alternativa é bem-vinda, e a opção encontrada foi o emprego de sistemas inteligentes para realizar essa função. A abordagem inteligente para o problema faz uso de uma rede neural *Perceptron* multicamadas (PMC) com o algoritmo de treinamento *backpropagation*. Esta topologia de rede apresenta uma estrutura simples de funcionamento e o algoritmo de treinamento apresenta bons resultados ao se aplicar em aproximações funcionais (da Silva, 2010).

Existe na literatura trabalhos correlatos associando redes neurais na modelagem não linear de máquinas a relutância. Porém, em grande parte estes trabalhos visam a predição da corrente da máquina por meio de parâmetros da máquina adquiridos de forma *online*, sendo esta técnica apresentada em (Elmas, 1994) e (Lu, 2003), ou para a suavização das oscilações de torque no modo motor de operação da máquina (Bernardeli, 2008). Neste trabalho, a PMC desenvolvida tem a

tarefa de apresentar a indutância de fase, incluindo a saturação magnética no modelo computacional da máquina.

O método proposto para o cálculo da indutância consta de três etapas e serão detalhadas nesta seção.

4.1.1 Levantamento da base de dados

As simulações da máquina foram realizadas tendo como base dados de um pequeno protótipo GRC 6x4 em uma bancada de testes. Alguns de seus parâmetros e dimensões são dados na Tabela 1. O GRC consta com 140 espiras por fases montadas com fio 14 AWG.

A fim de levantar um banco de dados para possibilitar a utilização da ferramenta neural, ensaios experimentais de rotor bloqueado foram realizados para aquisição, ponto a ponto, dos valores de corrente da fase, posição angular e sua respectiva indutância do GRC experimentado

O procedimento é simples porém extenso. Com o rotor bloqueado em uma posição específica, realiza-se a excitação de uma fase com uma fonte CA variável. A frequência é mantida fixa em 60 Hz, enquanto se varia as correntes das fases de 0.5 A a 12 A em passos de 0.5 A. O procedimento é repetido para cada incremento de 2 graus mecânicos da posição do rotor, até que o mesmo passe da posição alinhada para desalinhada em relação ao estator excitado.

Para cada posição específica a indutância (L) de cada fase é dada pela seguinte equação:

$$L = \frac{\sqrt{(v/i)^2 - R^2}}{2\pi f} \quad (5)$$

Ao fim do ensaio experimental, obteve-se um extenso conjunto de dados que representam a função $L(\theta, i)$, graficamente apresentada na Figura 3. De posse desse conjunto de dados, onde há uma relação de entradas (posição angular e corrente da fase) gerando sua respectiva saída (indutância), foi possível modelar a rede neural artificial para obtenção do perfil de indutância do GRC, apresentando assim a influência da saturação magnética da máquina.

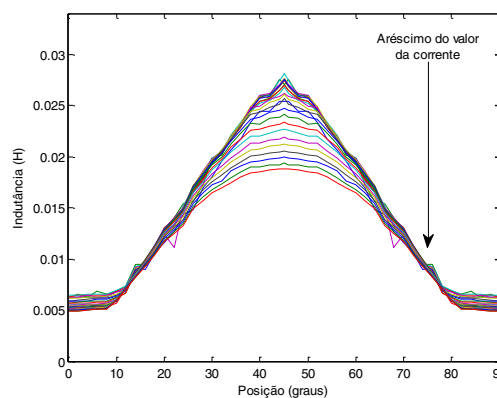


Figura 3. Curva de indutância real obtida por meio da protótipo GRC.

Tabela 1. Características do GRC

Parâmetros	Valor
Culatra do Estator	12.42 mm
Culatra Rotor	12,42 mm
Comprimento total da pilha	55 mm
Altura do Dente do Estator	28.15 mm
Altura do Dente do Rotor	10.44 mm
Diâmetro do Estator	160 mm
Diâmetro do Rotor	79.4 mm
Entreferro	0,3 mm
Indutância (posição alinhada)	35 mH
Indutância (posição desalinhada)	10 mH
Largura do dente do Estator	20.71 mm
Largura do dente do Rotor	20.55 mm
Número de espiras por fase	140

4.1.2 Treinamento da PMC

O objetivo da PCM proposta é realizar uma aproximação funcional em três dimensões para generalizar os valores de indutância a partir de um par ordenado de corrente da fase e posição angular do rotor, formando uma função do tipo $L(\theta, i)$, ou seja, o objetivo é mapear o sistema a partir de dados de entrada e saída. Assim sendo, tem-se que a PMC apresenta duas entradas (θ, i) e uma única saída, (L).

Segundo (da Silva, 2010) e (Anthony, 2009) uma rede PMC com apenas uma única camada escondida é capaz de generalizar e mapear qualquer função contínua no espaço das funções reais. Porém, por apresentar desempenho no processo de treinamento melhor, a PMC escolhida é constituída de duas entradas, duas camadas escondidas com quatro neurônios em cada camada, e uma camada de saída com um único neurônio, conforme apresentado na Figura 4.

Para o treinamento da PCM, foram utilizados 75% do banco de dados e os 25% restantes foram utilizado para validar a rede, constatando sua eficiência em generalizar o processo.

A PMC foi modelada com função de ativação do tipo tangente hiperbólica nas camadas intermediarias e com a função de ativação do tipo linear para a camada de saída. A escolha das funções de ativação foi baseada em que o neurônio da camada de saída tem como função realizar a combinação linear das funções de ativação tangente hiperbólica dos neurônios das camadas anteriores, apresentando menor gasto computacional. Foi adotada a taxa de aprendizagem de 0,01. A precisão do processo foi estabelecida em $10e-8$ e com o máximo de 1000 épocas de aprendizagem. Foi empregado o *momentum* com valor de 0.9.

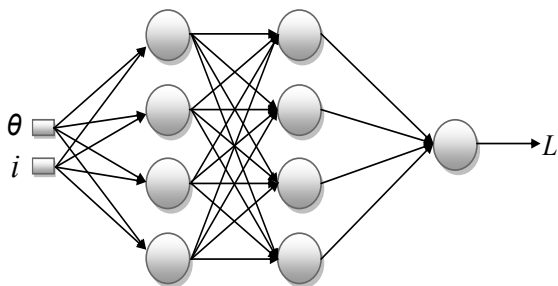


Figura 4. Topologia de PMC usada para a aproximação da Indutância.

O objetivo da PMC é mapear uma superfície de indutância a partir de uma base de dados. Por ser uma base de dados

experimental, está inserido nela erros humanos provenientes de leitura de equipamentos ou erros de calibração dos equipamentos de medições. Assim, houve uma preocupação do projetista em não sobre dimensionar a PMC com grandes quantidades de neurônios para não culminar no problema de *Overfitting*, podendo a rede não se tornar generalista.

4.1.3 Teste e operação da PMC

Com a parcela do banco de dados não utilizada para o treinamento, fez-se o teste e a validação da PMC proposta. O sistema se comportou de forma generalista, e foi capaz de mapear o problema abordado. Em alguns pontos de operação a rede neural obteve erros razoavelmente elevados ao ser comparado com o banco de dados experimental, em torno de 10%, mas isso é explicado pelos erros inseridos no banco de dados devido medidas manuais e/ou calibrações dos equipamentos.

A resposta da PMC para todo o banco de dados pode ser visto na Figura 5. Nota-se que o perfil da indutância sofre influência da posição angular do rotor, com seu valor máximo na posição de 45 graus (alinhamento dos polos) e também sofre influência da corrente da fase. Com o aumento da corrente, os valores da indutância decaem, o que é explicado pela saturação do material ferromagnético do rotor e estator da máquina. Ao se traçar um paralelo entre a Figura 3 e a Figura 5, nota-se que ao se realizar o mapeamento da curva de indutância, a PMC também operou como um filtro para eliminação de ruídos indesejados vindos dos ensaios experimentais, sendo essa característica mais uma vantagem da metodologia.

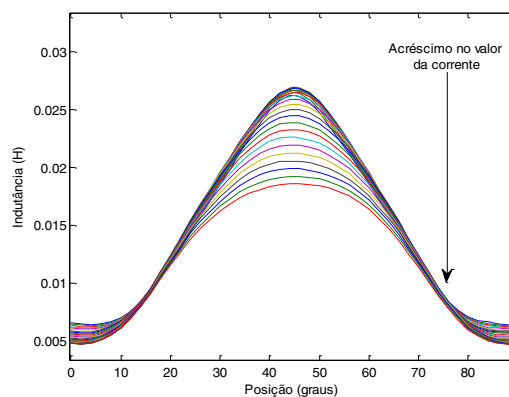


Figura 5. Curva de indutância obtida por meio da PMC.

Para a fase de operação da PMC, o conjunto de pesos sinápticos e limiares de ativação foram inseridos no modelo computacional do GRC, por meio de um *S-Funcion*, onde a cada passo iterativo da simulação a PMC recebe os sinais de (θ) e (i) fornecidos pelo próprio sistema e entrega o valor de (L) dando continuidade na simulação. Esses passos iterativos se repetem até o término da simulação.

5. RESULTADOS DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

A modelagem computacional foi desenvolvida no software *Matlab Simulink* por proporcionar a facilidade de integração de modelos entre diferentes partes do sistema elétrico mediante o *toolbox SimPowerSystem*

A estratégia empregada neste trabalho foi adotar um acionamento sequencial das fases durante um período correspondente a 30 graus. Nas simulações, a posição de início da excitação é a posição de 5 graus antes do alinhamento das fases. Esta posição foi determinada, mediante as análises de resultados de simulação computacionais, como melhor ponto de geração deste GRC. O período de excitação dura até 30 graus após o início de condução das chaves controladas. A partir deste ponto, a energia armazenada nas bobinas de fase se transfere para o capacitor e a carga, terminando o ciclo.

O GRC descrito foi simulado com velocidade constante de 1920 rpm com uma tensão de excitação de 60 V. As fases do gerador alimentam uma carga de 11 Ω em paralelo com um capacitor de 6 mF. Para as chaves controladas foram utilizados MOSFET do *Toolbox Powersys* do *Simulink*, com resistência interna de 0.18 Ω e diodos com resistência interna de 0.011 Ω . O enrolamento da fase consta com resistência de 0.33 Ω cada fase, com seu perfil de indutância mostrado na Figura 5.

A Figura 6 mostra os perfis de corrente e tensão envolvidos na dinâmica de funcionamento do GRC. No período em que a chave controlada do conversor está conduzindo, a tensão resultante na bobina é a tensão CC de excitação, menos a perda ocasionada pela resistência interna da chave. Isso explica a pequena queda na parte superior do perfil de tensão. Nesse mesmo intervalo a corrente na fase aumenta até cessar o período de excitação. No período de geração, a chave controlada não está conduzindo, o diodo entra em condução e entrega à carga a energia gerada pela bobina da fase juntamente com a energia advinda da fonte de excitação.

A Figura 7 apresenta a tensão e a corrente ambos do barramento CC de excitação do sistema. Os picos de correntes são provenientes da excitação das fases GRC que se repetem sucessivamente. Fica evidenciado que o período de geração de cada fase não apresenta influência para o barramento CC de excitação, visto que a corrente gerada não aparece no barramento.

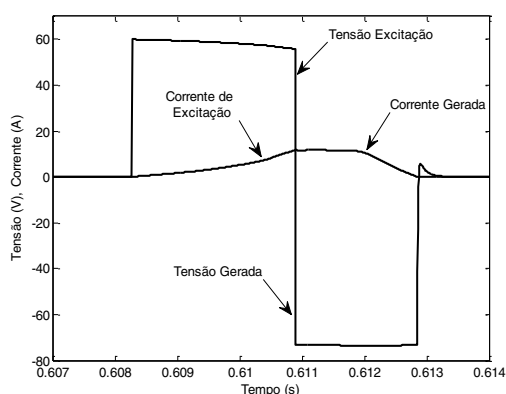


Figura 6. Dinâmica de funcionamento de uma fase do GRC.

A Figura 8 mostra os perfis de tensão e corrente que serão entregues para a carga. Por se tratar de uma máquina de acionamento sequencial, o GRC sofre com a descontinuidade de energia entregue às cargas. Para suavizar essas descontinuidades foi empregado um capacitor em paralelo com a carga, o qual fornece energia para a carga quando a máquina não o faz.

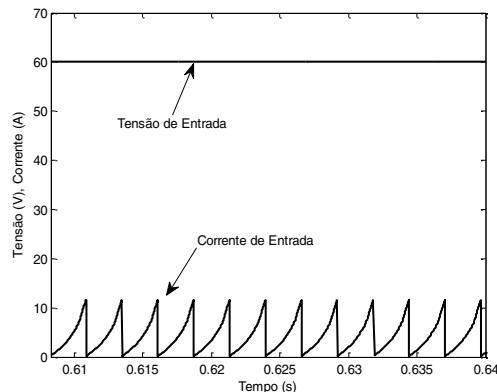


Figura 7. Dinâmica de funcionamento de uma fase do GRC.

Operando a 1920 rpm, o GRC consumiu do barramento CC de entrada 4,31 A e 60 V, totalizando uma potência de entrada de 258,6 W. Na carga os valores médios de tensão e corrente foram 6,53 A e 42,5 V, sendo entregue para carga uma potência de 473,43 W. portanto ao subtrair a potência de entrada da potência entregue à carga, o GRC gerou 214,83 W. Este valor já considera a perda elétrica da resistência das bobinas das fases e dos componentes semicondutores. Sendo assim esse resultado comprova o funcionamento de um MRC operando como gerador.

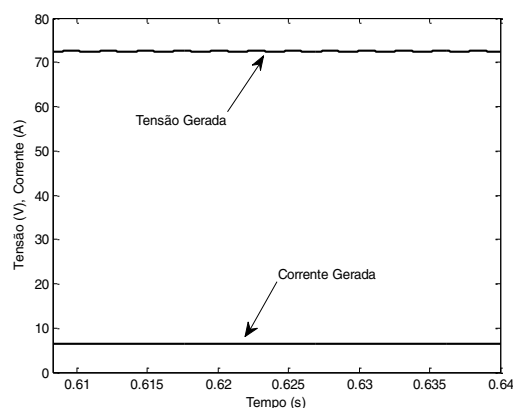


Figura 8. Dinâmica de funcionamento de uma fase do GRC.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho, desenvolveu-se a modelagem computacional de uma MRC operando como gerador e excitado mediante um conversor alternativo com menor número de chaves semicondutoras. Perfis de indutâncias foram inseridos na simulação por meio de uma nova estratégia neural capaz de incorporar o efeito da saturação magnética no modelo, além da vantagem do baixo custo computacional para implementação em *hardware* e a possível suavização de ruídos indesejados. Resultados de simulação foram apresentados constatando a dinâmica de funcionamento do GRC. Trata-se de uma máquina promissora, que pode vir a ser empregada como forma alternativa de geração de energia.

REFERENCIAS

Anthony M., Barlett P. L., (2009), “*Neural Network Learning – Theoretical Foundations*”, Cambridge University Press.

- Bernardeli, V. R., (2006), “Controle de Conjugado em Motores à Relutância Variável Multifásicos”, Dissertação, *Universidade Federal de Uberlândia*, 84 pp..
- Cardenas, R., Peña, R., Perez, M., Asher, G., Clare, J., Wheeler, P. (2004), “Control system for grid generation of a switched reluctance generator driven by a variable speed wind turbine”, *30th Annual Conference of IEEE Industrial Electronic Society*, **Volume 2**, pp. 1879-1884.
- Chuang, L., Jiageng, Y., Xuezhong, Z. Liu, D. (2005), “Investigation and practice for basic theory of switched reluctance generators”, *Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems*, **Volume 1**, pp. 575-579.
- Elmas, Ç., Sagiroglu, S., Çolak, I., Bal, G., (1994), “Modeling of a Nonlinear Switched Reluctance Drive Based on Artificial Neural Networks”, *7th Mediterranean Electrotechnical Conference*, pp. 809-812.
- Fleury, A., (2008), “Modelagem, Construção, Testes e Análise de Desempenho de um Gerador a Relutância Chaveado”, Tese, *Universidade Federal de Uberlândia*, 205pp..
- Fleury, A. ; Andrade, D. A. ; Oliveira, E. S. L. ; Fleury-Neto, G. A. C. ; Oliveira, T. F. ; Dias, R. J. ; Silveria, A. W. F. V. (2008), “Study on an Alternative Converter Performance for Switched Reluctance Generator”, *The 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society - IECON'08*.
- Lu, W., Keyhani, A., Fardoun, A., (2003). “Neural Network-Based Modeling and Parameter Identification of Switched Reluctance Motors”, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, **Volume 18**, pp. 284-290.
- Oliveira, E. S. L., Aguiar, M. L., Coelho, A. (2010), “Simulação de Um Sistema Completo e Gerador a Relutância Chaveado Monofásico em Ambiente Matlab”, *XVIII Congresso Brasileiro de Automática – CBA 2010*.
- Sawata, T. (2001). *The switched reluctance generator, Electronic Control of Switched Reluctance Machines*, Newness Power Engineering Séries, Ed. T. J. E. Miller, Oxford, pp. 227-251.
- Sawata, T., Kjaer, P. C., Cossar, C., Miller, T. J. E. (1999), “A study on operation under faults with the single-phase SR generator”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **Volume 35**, Issue 4, pp. 782-789.
- da Silva, I. N., Spatti D. H., Flauzino R. A. (2010). *Redes Neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas curso prático*, Ed. Artliber.
- Viajante, G. P., Andrade, D. A., Gomes, L. C., Freitas, M. A. A., Bernardeli, V. R., Silveira, A. W. F. V., (2013). “A voltage control strategy for Switched Reluctance Generator”, *IEEE Electric Machines & Drives Conference – IEMDC*, pp. 421-426.