

1. INTRODUÇÃO

Os veículos elétricos surgem como alternativa em busca de soluções mais eficientes por possuírem alto rendimento e não serem poluentes. Em veículos baseados em combustão interna, a energia produzida na queima do combustível é transformada em energia cinética e após convertida em energia térmica no sistema de frenagem convencional, não possibilitando regeneração.

Sendo assim, torna-se interessante o desenvolvimento de um sistema de acionamento e de frenagem regenerativa para a máquina *brushless* de ímãs permanentes e fluxo axial desenvolvida no LMEAE.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema para o acionamento da máquina elétrica como motor e como gerador, estudando o potencial de aplicação num sistema na recuperação de energia a partir da frenagem regenerativa abastecendo um sistema de armazenamento de energia elétrica.

3. METODOLOGIA

3.1 A Máquina Tórus

A Máquina Tórus é uma máquina sem escovas de corrente contínua (*BLDC – Brushless Direct Current*), alternativa para aplicações em tração elétrica automotiva por apresentar comprimento axial reduzido, alto rendimento e alta relação torque/volume. Dessa forma, ela é recomendável para tração direta in wheel, na qual o motor é colocado dentro da roda do veículo. Diferentemente de outros motores elétricos convencionais, ela possui fluxo magnético axial e ímãs permanentes de terras raras com formato setorial fixados no disco que atua como rotor e núcleo toroidal com enrolamentos polifásicos.

3.2 Acionamento Como Motor

Para o acionamento como motor foi construído um sistema de acionamento comutado eletronicamente. A magnetização das bobinas do estator é determinada a partir do deslocamento dos ímãs permanentes de terras raras presentes no rotor, de maneira que a força eletromotriz induzida tenha formato trapezoidal, criando um campo de rotação por um sistema trifásico retangular com ondulações de baixa variação de torque.

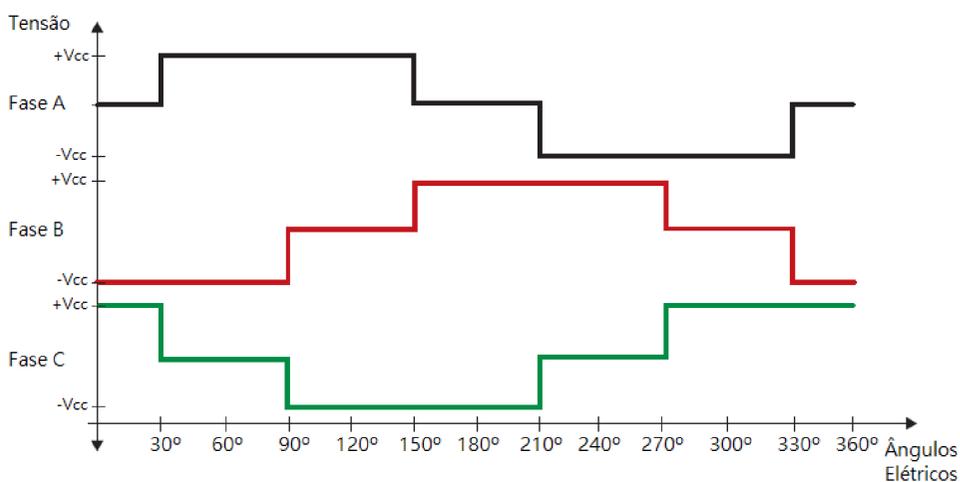


Figura 1 – Diagrama de comutação das bobinas

Para a comutação das chaves de potência produzirem o sinal descrito na Figura 1, foi implementado um circuito lógico em um microcontrolador PIC16F877A, implicando na utilização de sensores de posição de efeito Hall no estator para controle da posição do rotor e para o controle da tensão aplicada na máquina uma modulação por largura de pulso (PWM).

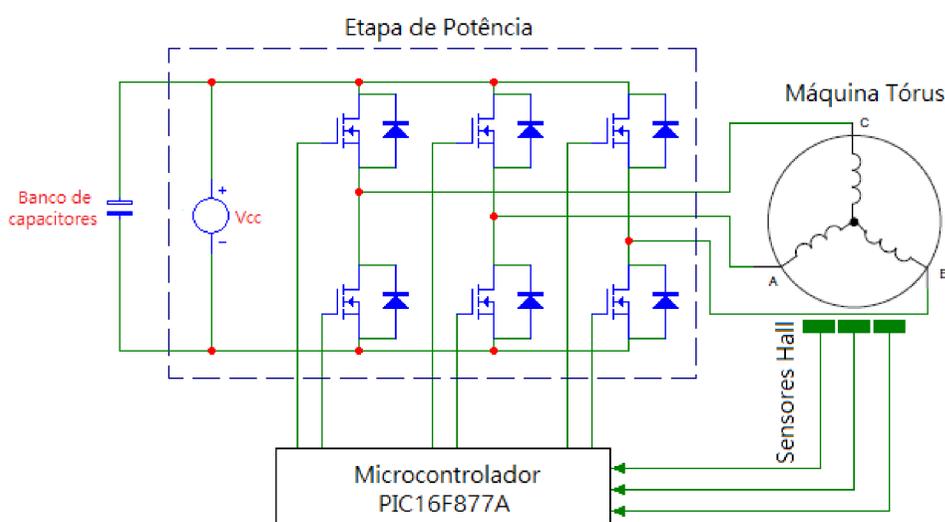


Figura 2 – Diagrama do esquema de acionamento implementado

3.3 Frenagem Regenerativa

A regeneração de energia consiste em armazená-la em um banco de capacitores e utilizá-la posteriormente durante partidas ou acelerações, diminuindo o consumo ou aumentando a potência do motor. Para realização da frenagem, a ponte inversora foi utilizada como um retificador trifásico controlado pelo sinal PWM.

4. RESULTADOS

4.1 Como Motor

No ensaio foi utilizado um eletromecânico acoplado à máquina Tórus com o acionamento desenvolvido. Medindo as tensões e correntes diretamente no barramento CC, pode-se comparar a eficiência do controle com e sem chaveamento PWM, buscando aplicar a mesma diferença de potencial sem alteração do valor da fonte de alimentação do circuito, o que permite consequentemente controlar a velocidade do motor.

PWM [%]	Vaplicada [V]	Rotação [rpm]	η [%]	PWM [%]	Vaplicada [V]	Rotação [rpm]	η [%]
100	23,1	197	78,1	100	10,7	58	56,7
66	23,1	200	75	30,6	10,7	60	55,1

Tabela 1 – Resultados para PWM de 2,5 kHz



Figura 3 – Máquina Tórus, circuito desenvolvido e banco de capacitores

4.1 Como Gerador

O ensaio para frenagem regenerativa foi realizado com uma máquina primária acoplada à máquina Tórus com o sistema de frenagem regenerativa desenvolvido. A potência elétrica foi obtida a partir dos níveis de tensão e corrente numa carga resistiva acoplada no barramento CC, buscando comparar o rendimento em função do ciclo de trabalho da modulação por largura de pulso.

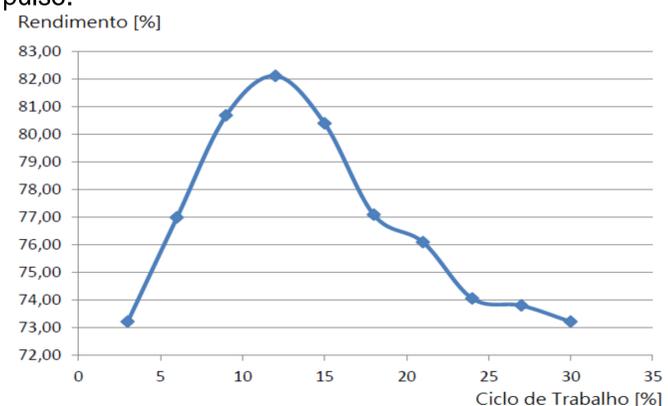


Figura 4 – Resultado do ensaio para verificação do rendimento do sistema de recuperação de energia

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos comprovou-se a viabilidade dos sistemas de acionamento como motor e gerador desenvolvidos. Como motor, deve ser destacada a perda de 3,1% devido ao chaveamento dos transistores, que recebe como proposta de melhoria a utilização de um PWM complementar (Gieras, 2008). A frenagem regenerativa operou com eficiência máxima de 82,1% a 150 rpm, englobando perdas por comutação dos mosfets e condução dos diodos intrínsecos existentes em paralelo em cada um deles, com tendência a aumentar para valores maiores.

REFERÊNCIAS

- GIERAS, J. F.; WANG R.; KAMPER M. J. *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines*. 2. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2008.
- GOLTZ, E. C. *Estudo de máquina elétrica de fluxo axial aplicada a sistema de tração automotiva com acoplamento direto e frenagem regenerativa*. Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Porto Alegre: UFRGS, 2012.
- WILTUSCHNIG, I. P. *Uma proposta de sistema de frenagem regenerativa para uma máquina sem escovas de fluxo magnético axial*. Trabalho de Conclusão. Graduação em Engenharia Elétrica, Porto Alegre: UFRGS, 2013.