

Acionamento de um motor síncrono de imã permanente

Driving a permanent magnet synchronous motor

RESUMO

O foco principal desse trabalho é apresentar o controle e acionamento de máquinas elétricas, com foco nas máquinas síncronas de imã permanente. Trata-se de máquinas modernas que serão muito utilizadas no futuro, através do acionamento, será possível montar um sistema de controle de velocidade e torque da máquina síncrona de imã permanente, podendo variar sua velocidade durante a partida ou enquanto ela está em movimento. O trabalho será desenvolvido através de simulações em software, após a realização dos experimentos e testes, e com isso será possível escolher as melhores técnicas e parâmetros que proporcionam um melhor controle da máquina.

PALAVRAS-CHAVE: Controle. Motor síncrono. Ímãs permanentes.

ABSTRACT

The main focus of this work is to present the control and activation of electrical machines, with a focus on synchronous permanent magnet machines. These are modern machines that will be used a lot in the future, by means of the drive, it will be possible to set up a speed and torque control system for the permanent magnet synchronous machine, varying its speed during the start or while it is in motion. The work will be developed through software simulations, after carrying out the experiments and tests, and with that it will be possible to choose the best techniques and parameters that provide a better control of the machine.

KEYWORDS: Control. Synchronous motor. Permanent Magnets.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

As máquinas síncronas de ímãs permanentes (PMSM, do inglês *Permanent Magnet Synchronous Machine*) tem se tornado muito usuais nas últimas décadas, podendo ser empregadas em diversas aplicações e diversas áreas. O que mais chama atenção neste tipo de máquina, é a relação do volume do torque produzido pelo motor, com a alta eficiência que esse tipo de máquina apresenta. O motor síncrono de ímã permanente possui esse nome pois os enrolamentos de campo são substituídos por ímãs permanentes (UMANS, 2014).

MOTOR SÍNCRONO DE IMÃ PERMANENTE

Por conta da ausência de um enrolamento rotórico e da ausência de escovas, estas máquinas tem perdas reduzidas, como por exemplo as ôhmicas e as joule, uma vez que tais perdas são relacionadas com a presença de um comutador eletrônico e anéis deslizantes (CASTRO, 2017). Além disso, esse tipo de motor pode apresentar alta eficiência e um grande volume de torque, sendo estas vantagens em relação a outros tipos de motores.

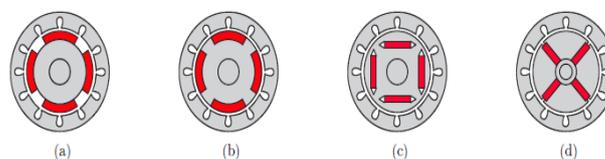
POSICIONAMENTO DOS IMÃS

A montagem dos motores síncronos de ímãs permanentes, podem ser classificadas de quatro tipos diferentes, com relação à posição dos seus ímãs permanentes (CASTRO, 2017), sendo:

- motor síncrono de ímã permanente na superfície do rotor;
- motor síncrono de ímã permanente semi-enterrado no rotor;
- motor síncrono de ímã permanente enterrado transversalmente;
- motor síncrono de ímã permanente enterrado longitudinalmente.

Na Figura 1 estão dispostos os quatro tipos de motores.

Figura 1 – Diferentes tipos de arranjos dos ímãs permanentes no rotor



Fonte: Castro (2017).

Uma desvantagem deste motor está na comparação de valores para a aquisição do mesmo, apesar de ser um motor de alta eficácia, é um motor que demanda quantidade de investimento maior do que se comparado com os outros tipos de motores. Esse valor elevado se dá por conta do preço dos ímãs permanentes presentes nele.

Sua característica promissora é oferecer maior potência, trabalhando em menor espaço, com dimensões reduzidas e menor custo. Como este motor não pode ser ligado diretamente à rede, é necessário o uso de um inversor com

software incorporado específico. Esse controle é realizado sem a utilização de sensores, contando apenas com automação de seu inversor. Sua construção é simples e simples instalação (RIBEIRO, 2012). Esse trabalho tem como objetivo analisar um método de controle da máquina, e com isso obter um bom controle de velocidade, realizando testes com degraus de velocidade e torque. O trabalho será desenvolvido a partir de simulações no software Matlab.

MATERIAIS E METODOS

O trabalho foi realizado e desenvolvido utilizando o programa Matlab, o qual é um software de simulação de alta performance. Foram realizadas simulações com variações de velocidade e carga no eixo da máquina, a fim de observar o desempenho do acionamento.

Esse estudo teve como principal objetivo avaliar a precisão do controle de velocidade de um PMSM a partir da variação da sintonia do controlador proporcional integral (PI) inserido nesta malha. Para isso, três ensaios com diferentes níveis de velocidade e torque de carga foram executados, cada um com três valores de controladores diferentes utilizados.

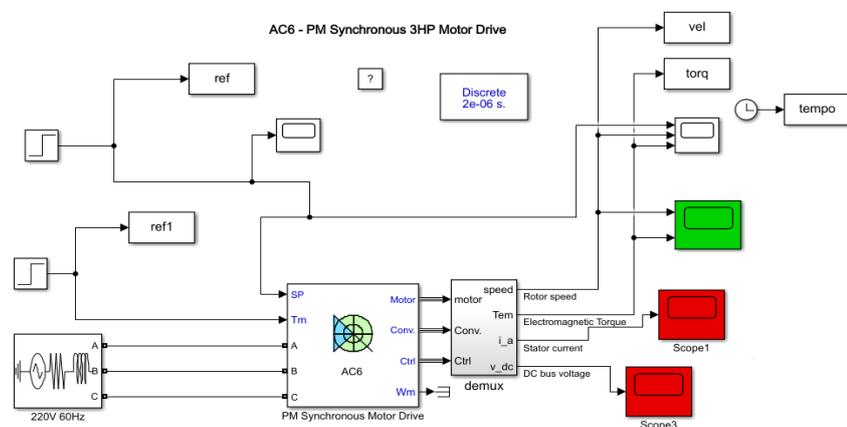
AC6 – PM SYNCHRONOUS 3HP MOTOR DRIVE

O motor utilizado para realizar todos os experimentos, foi o motor do bloco AC6 – PM Synchronous 3HP Motor Drive, o qual se encontra na biblioteca Simscape do Matlab. Este bloco representa um drive de controle vetorial clássico para motores síncronos de ímã permanente e possui um controle de velocidade de malha fechada com base no método de controle vetorial. A malha de controle de velocidade fornece o torque eletromagnético de referência da máquina.

ENSAIOS

Os ensaios foram realizados através da simulação demonstrada na Figura 2.

Figura 2 – Simulação do AC6 – PM Synchronous 3HP Motor Drive



Fonte: Autoria Própria.

O motor do bloco AC6 – PM *Synchronous* 3HP *Motor Drive* possui uma velocidade nominal de 1800 rpm, sendo seus parâmetros apresentados na Tabela 1. Em cada um dos ensaios propostos serão utilizados três PI's diferentes, a fim de avaliar a influencia do controlador no acionamento. Os PI's testados terão valores de parâmetros diferentes, tanto os Kp, quanto os Ki. A Tabela 2 apresenta com os respectivos nomes e valores dos parâmetros dos PI's utilizados.

Tabela 1 – Dados do PMSM simulado

Parâmetro	Valor
Resistência do Circuito Equivalente (ohm)	0,2
Indutância do Eixo-D (H)	8,5e-3
Indutância do Eixo-Q (H)	8,5e-3
Constante de Fluxo	0,175
Inercia (kg.m ²)	0,089
Fator de Atrito (N.m.s)	0,005
Pares de Polos	4

Fonte: Autoria Própria (2020).

Tabela 2 – Nomes e valores dos PI's

Nome	Kp	Ki
PI1	5	100
PI2	50	40
PI3	13	150

Fonte: Autoria Própria (2020).

ENSAIO 1

No primeiro ensaio, o objetivo era aplicar um degrau de velocidade no motor e analisar se com a malha de controle aplicada era possível realizar um controle de velocidade, ou seja, se o motor iria conseguir atingir o valor de velocidade configurado. No ensaio em questão o valor da referencia de velocidade utilizado para testar a malha de controle foi de 1400 rpm.

ENSAIO 2

O segundo ensaio teve como objetivo testar a capacidade do acionamento em inverter o sentido de rotação do motor e ser capaz de atingir a velocidade configurada. A velocidade inicial foi configurada para 500 rpm e 3 segundos após o inicio do experimento a referência de velocidade foi alterada para -700 rpm.

ENSAIO 3

No terceiro ensaio foi aplicado novamente uma referência de velocidade de 1400 rpm e com 3 segundos de experimento uma carga de 10 N.m foi inserida no eixo da máquina. O objetivo do ensaio era analisar a capacidade do motor de

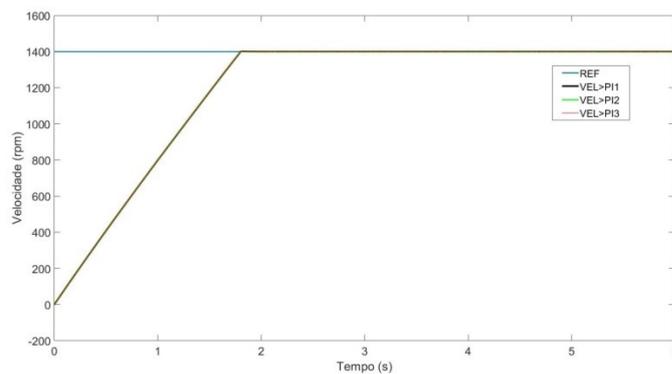
conseguir voltar para o valor de referência de velocidade após a entrada de uma carga no seu eixo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados nesta seção os resultados das simulações descritas durante todo o trabalho, juntamente com uma análise dos gráficos obtidos. É possível já adiantar que de acordo com a sintonização do PI obtém-se resultados diferentes de valores de velocidade e de torque.

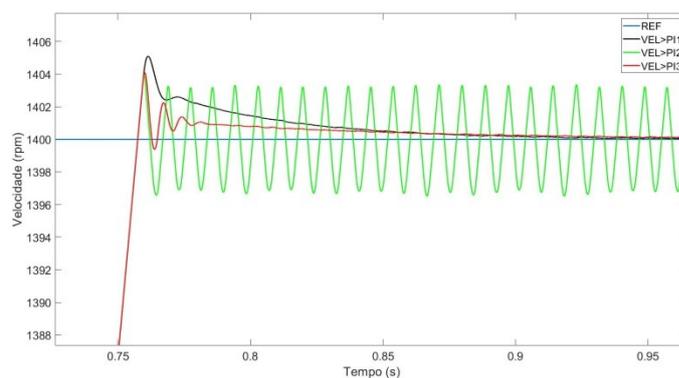
Tratando-se do Ensaio 1, tem-se como resultado os gráficos apresentados nas Figuras 3 e 4, onde o objetivo principal era avaliar se o motor consegue atingir a velocidade desejada de 1400 rpm. Como mencionado anteriormente, o Ensaio 1 foi feito utilizando 3 PI's diferentes, e é possível observar algumas diferenças obtidas pela alternância de PI.

Figura 3 – Resultado do Ensaio 1



Fonte: Autoria Própria.

Figura 4 – Resultado do Ensaio 1 com Aproximação

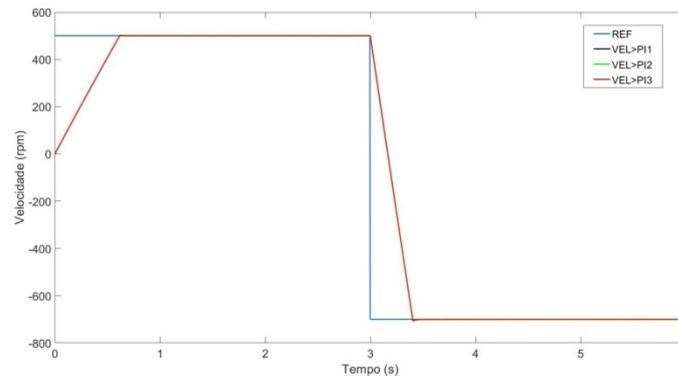


Fonte: Autoria Própria.

Fazendo uma análise da Figura 4 é possível destacar dois eventos obtidos no primeiro experimento, o primeiro é que com o PI1 obtém-se um maior valor de *overshoot* se comparado com os outros PI's e o outro é que com a utilização do PI2 a curva de velocidade do motor formou um gráfico cuja curva variava de 1403 a -1397 rpm.

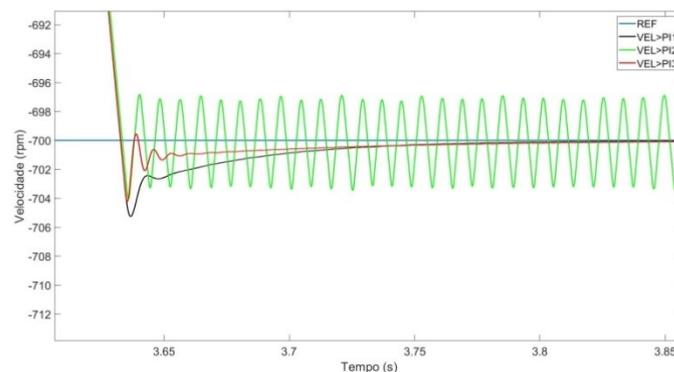
No Ensaio 2 foi requerido uma mudança no sentido de giro do motor, testando a capacidade do mesmo de alternar sua velocidade de 500 para -700 rpm. O experimento foi realizado com sucesso, e como resultado obteve-se as curvas mostradas nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Resultado do Ensaio 2



Fonte: Autoria Própria.

Figura 6 – Resultado do Ensaio 2 com Aproximação



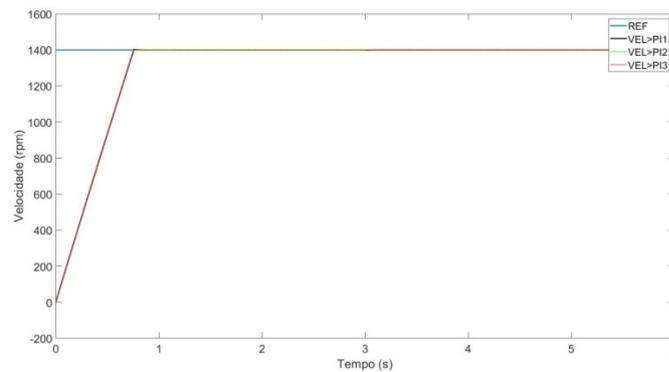
Fonte: Autoria Própria.

É válido ressaltar que tanto o PI1 quanto no PI3 apresentaram resultados aproximados se considerado o motor em regime permanente. O PI2 apresentou uma oscilação de velocidade desde que atingiu a velocidade de -700 rpm, formando uma curva que alternava de -704 a -698 rpm aproximadamente, comportamento que se assemelha ao do ensaio 1.

Outro resultado que chamou a atenção neste segundo experimento foi o *overshoot* atingido pelo PI1 após a inversão do sentido de rotação, sendo mais elevado que os outros PI's, repetindo novamente as ações do Ensaio 1.

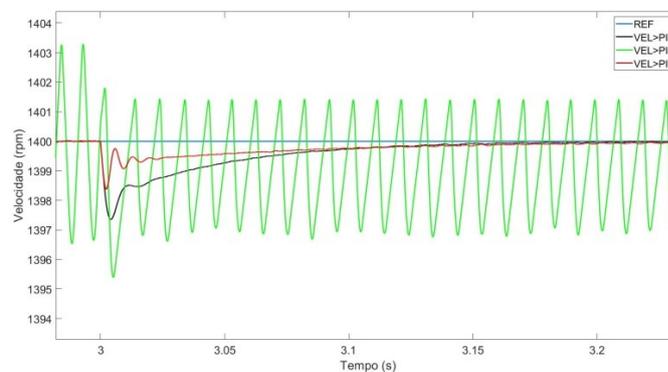
Analisando agora o terceiro e último ensaio, é notório que após a aplicação do torque no instante 3 segundos o motor sofreu uma oscilação na curva de velocidade. Novamente o PI1 teve um maior *overshoot* que os demais e tanto o PI1 quanto o PI3 conseguiram reestabelecer o valor de velocidade de referência no mesmo instante. Já o PI3 se mostrou mais uma vez mais oscilatório que os outros, alternando de forma senoidal como mostrado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Resultado do Ensaio 3



Fonte: Autoria Própria.

Figura 8 – Resultado do Ensaio 3 com Aproximação



Fonte: Autoria Própria.

CONCLUSÕES

Através desse trabalho tornou-se possível obter um embasamento teórico do motor síncrono de ímã permanente e também entender o funcionamento o dispositivo AC6 – PM Synchronous 3HP Motor Drive fazendo alterações afim de se obter uma estratégia de controle.

O estudo e as simulações feitas durante a primeira parte deste trabalho formaram o primeiro passo dessa pesquisa, sendo o próximo passo do trabalho desenvolver um método de sintonia automática para determinar o melhor PI a ser utilizado na estratégia de controle do motor síncrono de ímã permanente de acordo com uma determinada métrica. Para isso, técnicas de otimização serão analisadas e uma será escolhida para ser empregada nesta tarefa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa Institucional de Voluntariado em Iniciação Científica e Tecnológica – PIVICT pela oportunidade de aprimoramento do meu conhecimento acadêmico e profissional.

REFERÊNCIAS

CASTRO, G, A; **Controle Preditivo Finite Control-Set Aplicado à Máquina Síncrona com Imã Permanente no Rotor**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2017.

Mathworks, **PM Synchronous 3HP Motor Drive**. Disponível em:
<https://www.mathworks.com/>. Acesso em: 2020.

RIBEIRO, S. Dhiego; PRADO C. Cláudio; **Motores de Imãs Permanentes**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rica do Sapucaí – MG, 2012.

UMANS, S, D; **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7. Ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2014.