

Desenvolvimento de um Servodrives de Arquitetura Aberta para Controle e Acionamento de Servomotores de Corrente Contínua sem Escovas¹

Valdir Noll

Depto. Mecânica – Pós-Mecatrônica, IFSC

valdir.noll@gmail.com

André Alexandre Müller

Depto. Mecânica – Pós-Mecatrônica, IFSC

andremuller@live.com

Edvan Seiki Kuwakino

Depto. Mecânica – Pós-Mecatrônica, IFSC

seikik@gmail.com

Resumo: Este artigo mostra o desenvolvimento de um servodrives para servomotores de corrente contínua sem escovas, visando o controle de velocidade e de posição. O sistema é composto por uma placa de controle microprocessada com tecnologia ARM Cortex-M3, um drive de potência para controle da corrente de acionamento do motor e também uma placa de recepção de sinais vindos do motor acondicionadas ao microcontrolador utilizado. Os resultados esperados são o controle de velocidade e de posição por compensadores PID e a interface gráfica para parametrização externa dos elementos de controle.

Palavras-Chave: Servodrives. Servomotor de Corrente Contínua sem escovas. Controle PID.

1 Introdução

Denomina-se sistema de servo-acionamento a tecnologia que aciona e controla motores elétricos (servomotores) utilizando dispositivos eletrônicos dedicados (servodrivés).

Desenvolvido durante a segunda guerra mundial, o servo-acionamento surgiu para suprir a necessidade de aumento da produção industrial em razão da crescente demanda por produtos e serviços [1]. As maiores vantagens proporcionadas por esta tecnologia são o ganho na qualidade e a agilidade na produção, necessidades vitais para superar a competitividade.

Atualmente, esta tecnologia vem sendo empregada no desenvolvimento de máquinas especiais (máquinas CNC, robôs, etc.) e no retrofitting de máquinas antigas. Neste último caso, a razão é a melhoria da produtividade com o baixo investimento realizado, se comparada com a aquisição de máquinas novas.

No Brasil o servoacionamento vem sendo adotado por diversas indústrias, porém existe uma dificuldade para a aquisição desta tecnologia, pois não existe no mercado nacional um leque bem definido de alternativas para esta solução, o que leva a necessidade de aquisição da mesma via empresas estrangeiras, acarretando em um alto custo de operação para a aquisição desta tecnologia.

Outro problema encontrado é que os servodrivés do mercado nacional não possuem certas formas de controle que são essenciais para o desenvolvimento de máquinas especiais como controle de torque e posição (encontram-se somente com controle de velocidade), o que motiva o desenvolvimento de um servodrives de arquitetura aberta que possa ser utilizado para estudar novas alternativas de controle.

Desta forma este artigo visa apresentar as linhas gerais para o desenvolvimento de um servodrives (parte integrante do servo-acionamento) com sua arquitetura aberta que servirá para solucionar problemas de controle e acionamento de máquinas especiais na área da mecatrônica

¹ RTC, Florianópolis, SC, v.02, nº 01, p.64-70, 2010

industrial.

2 Servomotor de corrente contínua sem escovas

Os servomotores de corrente contínua sem escovas (servomotor brushless DC ou BLDC) oferecem diversas vantagens sobre os motores de corrente contínua com escovas, dentre as quais se destaca a confiabilidade elevada, a sua longa vida útil (devido à ausência de desgaste das escovas), eliminação da ionização do comutador, ruído reduzido e a redução total de interferência eletromagnética [2].

Diferente dos motores de corrente contínua com escovas tradicionais, os motores BLDC possuem bobinas em seu estator (parte estacionária do motor) e ímãs permanentes em seu rotor (parte rotativa). Sendo uma máquina síncrona, ele não sofre os efeitos de “slip” no momento de energização

das bobinas do mesmo (atraso entre a velocidade do rotor a velocidade do campo magnético girante do estator), o que facilita o controle do mesmo. A Fig. 1 mostra a concepção mecânica de um motor BLDC.

Os motores BLDC são do tipo síncrono e podem ser encontrados com uma, duas e até três fases, sendo estes últimos os mais tradicionais. Geralmente a configuração destas fases se dá na forma de estrela (Y) como mostra a Fig. 2.

A principal desvantagem deste motor é a necessidade de um dispositivo eletrônico dedicado para o seu acionamento (servodrive) o que aumenta o seu custo total. Sem esse dispositivo eletrônico de acionamento não é possível promover o movimento do eixo do motor, podendo acarretar ainda na desmagnetização dos ímãs do mesmo.



Figura 1 – Concepção mecânica de um motor BLDC.

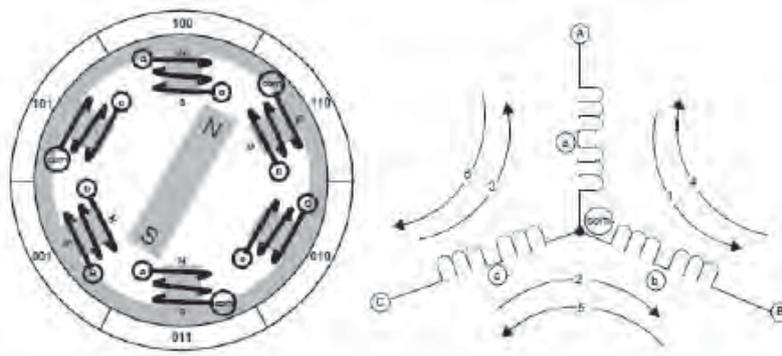


Figura 2 – Diagrama de um motor BLDC simplificado.

3 Metodologia

Existem diversas tecnologias para acionamento e controle de servodrives. A principal diferença entre elas consiste na unidade controladora escolhida (DSP's, FPGA's ou mesmo microcontroladores) e no tipo de compensador utilizado [3]. Em razão do baixo custo, alta disponibilidade e fácil implementação de diversos tipos de compensadores, optou-se por utilizar um microcontrolador como a unidade

controladora do servodrive. Sendo assim, separou-se o desenvolvimento do servodrive em quatro etapas:

- 1) Desenvolvimento de uma plataforma eletrônica microcontrolada para controle e acionamento do servomotor;
- 2) Desenvolvimento do estágio de potência para alimentação do servomotor, com proteções diversas proteções para o drive e motor;
- 3) Desenvolvimento da programação embarcada

que contém os algoritmos de controle e acionamento do servomotor;

4) Desenvolvimento do programa de configuração do servodrive (interface entre o usuário e o servodrive).

A Fig. 3 apresenta um diagrama de blocos da solução proposta. Destas quatro etapas é possível observar que o desenvolvimento de um servodrive envolve duas grandes áreas: desenvolvimento eletrônico e do software do dispositivo.

4 Comutação dos motores BLDC

O segredo para promover a comutação de um motor BLDC é detectar a posição do rotor e em seguida energizar

as fases que irão produzir a maior quantidade de torque nos ímãs do rotor.

O método mais comum utilizado para detectar a posição do rotor em um motor BLDC é o BACK-EMF (conhecido também como sensorless). Este método é utilizado em aplicações de baixo custo e não utiliza sensores para detectar a posição do rotor. Sua desvantagem é que ele não abrange todas as faixas de velocidade (somente de média a alta) e não permite controle de posição. Para aplicações industriais, utilizam-se os sensores de efeito hall para detectar a posição do rotor o que garante um monitoramento preciso (permitindo o uso de qualquer faixa de velocidade) proporcionando uma excelente solução para controle destes dispositivos.

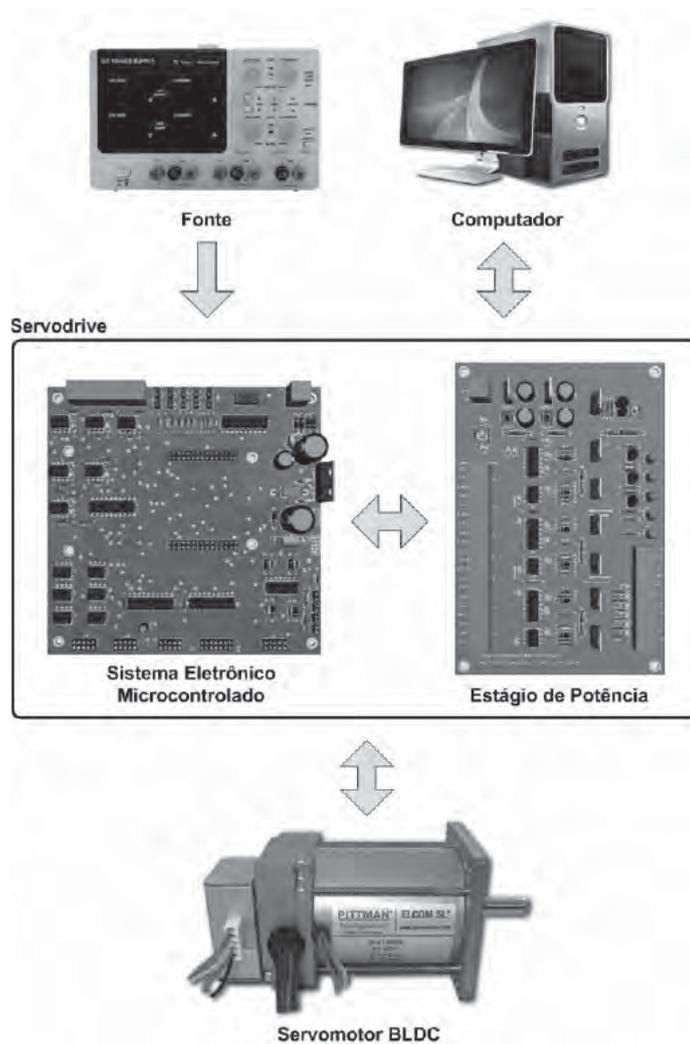


Figura 3 – Diagrama de blocos do servodrive.

Para comandar as fases do motor BLDC utiliza-se uma ponte H trifásica o que permite comandar as fases do motor duas a duas com a passagem de corrente em qualquer sentido. A Fig. 4 mostra a conexão do motor com uma ponte H trifásica e os sinais do sensor hall sendo enviados para a unidade controladora.

Foi selecionado um motor BLDC trifásico com ligação em estrela cujo método de realimentação da posição do eixo do motor utiliza-se dos sensores de efeito hall e de um encoder. Conhecendo-se os sinais vindos do sensor hall, pode-se definir o momento correto da comutação das fases de acordo com a Fig. 5.

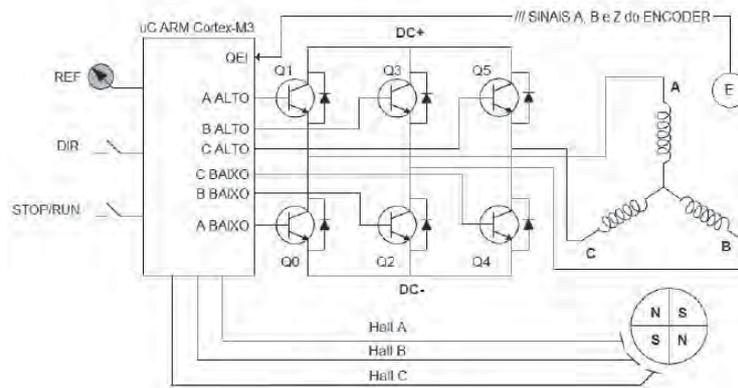


Figura 4 – Diagrama esquemático.

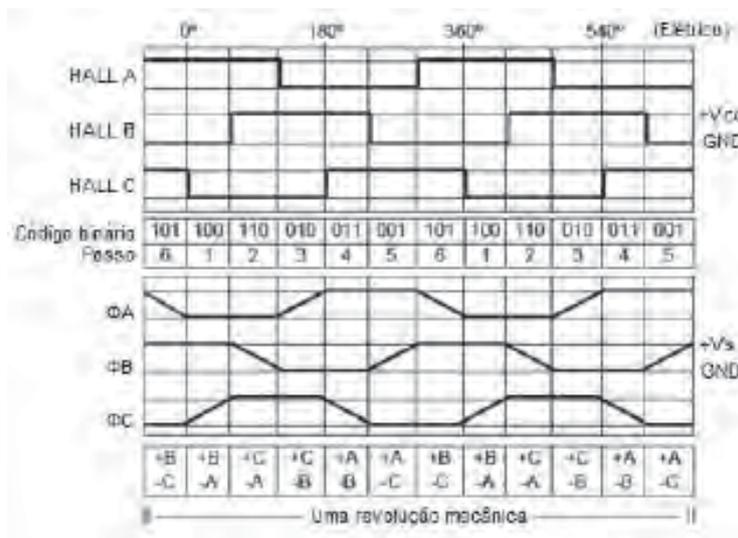


Figura 5 – Diagrama de temporização do servomotor.

Tabela 1 – Comando da ponte H trifásica em relação aos sensores de efeito hall (sentido horário)

Passo	HALL A	HALL B	HALL C	A ALTO	A BAIXO	B ALTO	B BAIXO	C ALTO	C BAIXO
1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
2	1	1	0	0	1	0	0	1	0
3	0	1	0	0	0	0	1	1	0
4	0	1	1	1	0	0	1	0	0
5	0	0	1	1	0	0	0	0	1
6	1	0	1	0	0	1	0	0	1

Tabela 2 – Comando da ponte H trifásica em relação aos sensores de efeito hall (sentido anti-horário)

Passo	HALL A	HALL B	HALL C	A ALTO	A BAIXO	B ALTO	B BAIXO	C ALTO	C BAIXO
1/	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2/	1	1	0	1	0	0	0	0	1
3/	0	1	0	0	0	1	0	0	1
4/	0	1	1	0	1	1	0	0	0
5/	0	0	1	0	1	0	0	1	0
6/	1	0	1	0	0	0	1	1	0

Observa-se na Tabela I a seqüência correta de acionamento dos transistores para a promoção do movimento no sentido horário e na Tabela II para o anti-horário.

5 Desenvolvimento do hardware

Para a função de controle e acionamento do motor BLDC, optou-se pelo uso do microcontrolador LM3S8969 ARM Cortex-M3 da Texas Instrument [4], que é um microcontrolador de 32 bits, cujos periféricos utilizados para controle e monitoramento dos circuitos elétricos (tais como PWM, ADC, QEI, UART, entre outros), facilitam o processo de controle do motor. O processador recebe os sinais de realimentação do encoder para controle de posição e dos sinais do sensor Hall (defasados de 60°) para controle de velocidade. Além disso, essa placa é responsável por enviar

os sinais de comando dos transistores do tipo MOSFET para acionamento das bobinas do motor. Para adequação à unidade de potência, foi desenvolvido uma placa (Fig. 6) que permite recursos extras para o desenvolvimento, tais como isolamento de sinais, fonte de alimentação adequada e proteção.

Com o hardware de controle definido, foi desenvolvido um estágio de potência para acionamento do motor e circuitos de proteção para a frenagem (breaking circuit), entre outros. O comando dos transistores da ponte H é feito pelo circuito integrado IR2110 (Fig. 7), que analisa os sinais de entrada e garante o correto acionamento das chaves protegendo contra eventuais erros de comando.

Desenvolvido para suportar motores BLDC de até 24V, o layout final do drive e sua respectiva montagem podem ser vistos de acordo com a Fig. 8.



Figura 6 – Plataforma de avaliação e desenvolvimento com o microcontrolador LM3S8962.

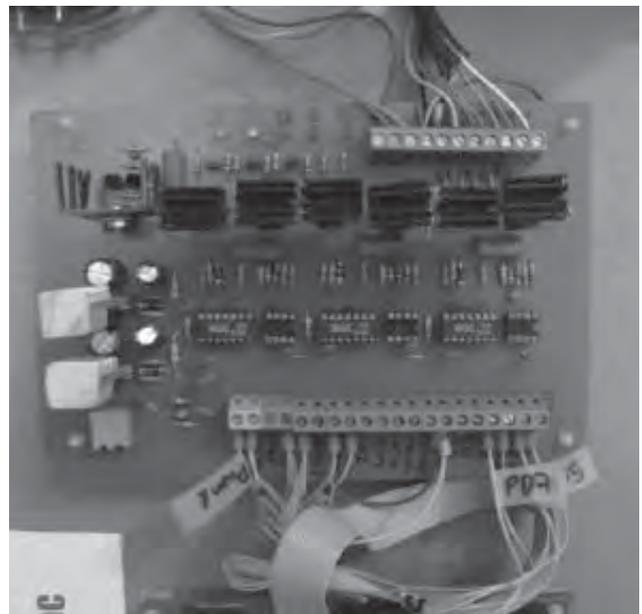


Figura 8 – Estágio de potência desenvolvido.

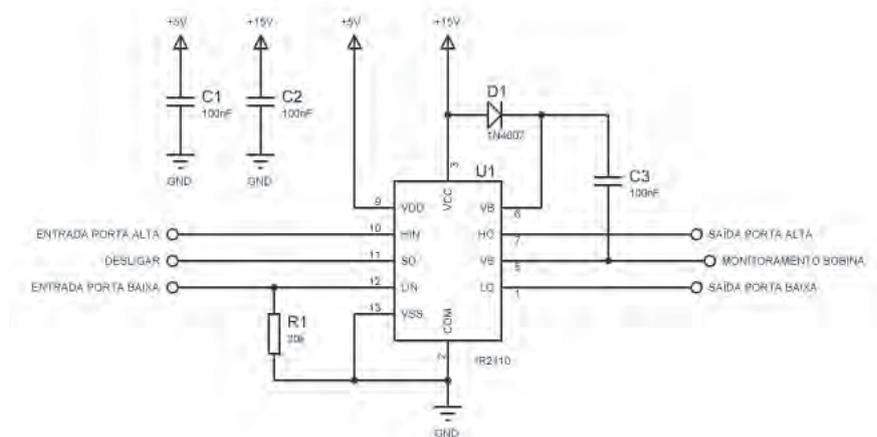


Figura 7 – Circuito de comando IR2110.

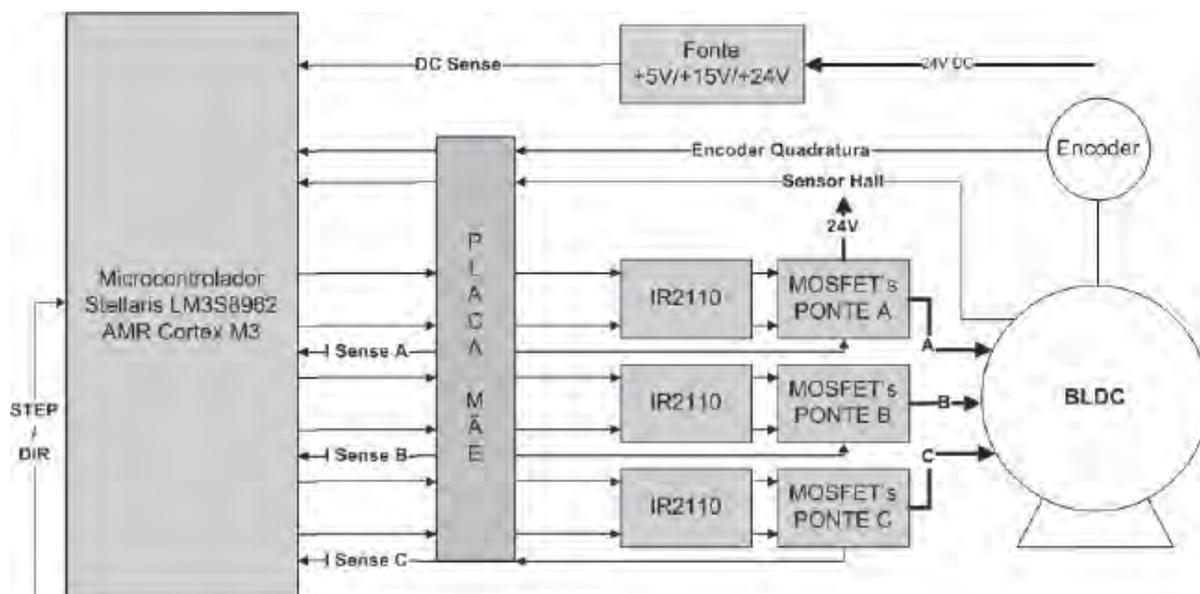


Figura 9 – Diagrama de blocos da plataforma integrada.

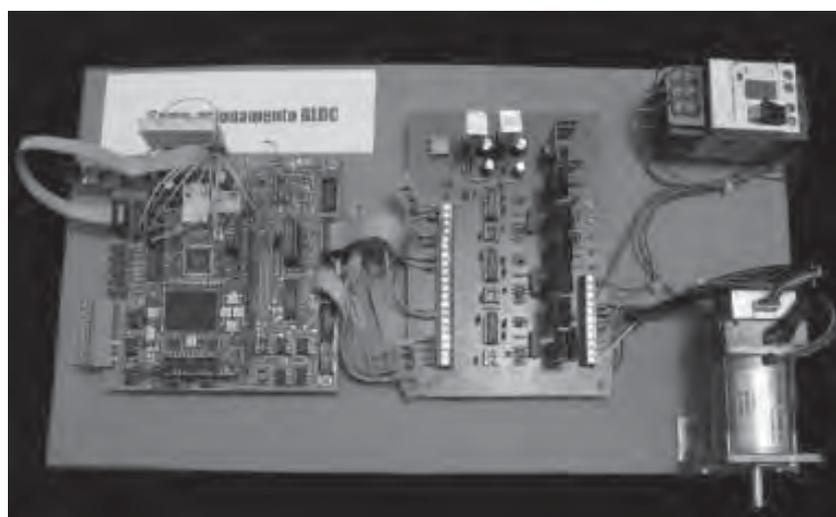


Figura 10 – Plataforma para avaliação do servodrives desenvolvido.

Na Fig. 9 pode-se observar o diagrama de blocos completo do sistema e na Fig. 10 a plataforma atual em funcionamento.

6 Desenvolvimento do firmware

O firmware desenvolvido controla a comutação das bobinas do servomotor de forma a criar um campo girante que promove o movimento do rotor. Esta comutação está ligada ao correto acionamento das bobinas em função do sentido de giro e do estado dos sensores de efeito hall e foi desenvolvida com o intuito de testar a plataforma eletroeletrônica para trabalhos posteriores. Sendo assim o firmware monitora e comanda os sinais vindos dos periféricos com intuito de controlar a velocidade e a posição do servomotor.

O microcontrolador usado [4] permite a programação e controle de todos os seus periféricos utilizando linguagens de alto nível como C e C++, fornecendo uma rápida implementação de algoritmos de controle no mesmo. Além disso este microcontrolador permite implementar algoritmos utilizando softwares gráficos como o LabView™ sendo muito útil para projetos de novos controladores.

7 Resultados Parciais

No estágio de desenvolvimento atual do servodrives de arquitetura aberta, obteve-se êxito nos seguintes itens:

- Desenvolvimento sistema eletrônico microcontrolado;

- Desenvolvimento do estágio de potência;
- Integração entre a plataforma microcontrolada, o estágio de potência e o servomotor;
- Desenvolvimento dos softwares para comutação e controle em malha aberta da velocidade do motor.

O sistema eletrônico microcontrolado mostrou-se robusto para aplicações de controle de servomotores BLDC, oferecendo interfaces amigáveis para a implementação de algoritmos de controle. Além disso, mostrou-se didático porque podemos, por meio de programação do software embarcado, alterar o algoritmo de controle e testar diversas formas de controle para motores, como por exemplo o uso de variáveis de estado.

Sendo o estágio de potência desenvolvido para suportar servomotores BLDC com até 24V, o mesmo mostrou-se robusto. O desenvolvimento desse estágio de potência serve também para controle de outras máquinas elétricas como motores de passo e motores de corrente contínua com escovas, abrindo o leque de possibilidades de implementação de controladores para diferentes tipos de motores na mesma plataforma de desenvolvimento.

Com o sistema totalmente integrado ao servomotor, observou-se que a plataforma correspondeu ao desejado pois o servomotor atingiu suas velocidades especificadas pelo catálogo do fabricante.

8 Conclusão e Resultados Futuros

Com o objetivo principal de desenvolver um servodrives com arquitetura aberta para o futuro desenvolvimento de novos algoritmos de controle para o mesmo (compensadores) e obter o domínio desta tecnologia (muito pouco disseminada e também pouco utilizada pela indústria brasileira), o projeto da plataforma mostrou-se eficaz e robusto para as aplicações que lhe foram submetidas.

De posse desta plataforma, pretende-se ainda desenvolver, para a total conclusão do projeto, as seguintes etapas, que serão mostradas no artigo final:

- Estudo e implementação de novas formas de comutação (senoidal e trapezoidal).
- Aplicação de algoritmos de controle de velocidade, torque e posição.
- Interface de comando externo no padrão step/dir.
- Estatísticas dos erros de posição por velocidade para validação do controlador desenvolvido.
- Desenvolvimento de software para computador

para configuração em alto nível do servodrives.

- Resultados das curvas características do motor (torque por velocidade entre outros) para validação do controle.

9 Referências

OTTOBONI, Augusto. Servo-acionamento. Data de acesso: 14/05/2010. Disponível em: <www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/292>

YEDMALE, Padmaraja. Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. Data de acesso: 10/02/2010. Disponível em: <ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00885a.pdf>

THOMPSON, Mike. AC motor control: DSP, MCU or FPGA? Data de acesso: 14/02/2010. Disponível em: <http://www.embeddeddesignindia.co.in/STATIC/PDF/200905/EDIOL_2009MAY13_MCP_DSP_CORE_TA_01.pdf?SOURCES=DOWNLOAD>

Stellaris LM3S8962 Evaluation Board User's Manual. Data de acesso: 08/01/2010. Disponível em: http://www.luminarymicro.com/index.php?option=com_remository&func=download&id=597&chk=35a8627f4ecc5eac20fa17a85825149e&Itemid=591

FIROOZIAN, Riazollah, "Servo Motors and Industrial Control Theory", Springer 2008.

YIU, Joseph, "The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3", Newnes 2007.

PEREIRA, Fábio. Tecnologia ARM - Microcontroladores de 32 Bits. Editora Érica, 2010.