

DESENVOLVIMENTO DE UM DRIVER DE CORRENTE DIDÁTICO PARA ACIONAMENTO DE MOTORES DE PASSO APLICADOS AO ENSINO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA E MECATRÔNICA

Nelso Gauze Bonacorso, Valdir Noll, Bruno de Melo Gevaerd
Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina - CEFET/SC
Av. Mauro Ramos, 950 - Centro
Fone: (048) 3221 0600 – Fax: (048) 3224 0727
CEP 88020-310 – Florianópolis – SC – Brasil
nelso@cefetsc.edu.br

Resumo – O presente trabalho trata do projeto e construção de um driver didático bipolar em corrente de baixo custo, baseado no circuito integrado para acionamento de motores de passo do tipo híbrido L6208N. Várias melhorias foram acrescentadas a este circuito integrado com o objetivo de se obter um equipamento flexível tanto para as necessidades de ensino de eletrônica de potência e mecatrônica quanto em aplicações industriais. Estas contribuições são descritas em detalhes neste artigo. Um protótipo com potência média de saída de 60 W foi construído com o objetivo de validar os conceitos empregados. Por fim, são apresentados os resultados práticos de desempenho do equipamento desenvolvido.

Palavras Chaves – acionamento bipolar, circuito integrado L6208N, driver de corrente, equipamento didático, motor de passo.

DEVELOPMENT OF A DIDACTIC CURRENT DRIVER FOR STEPPER MOTOR APPLIED TO TEACHING POWER ELECTRONIC AND MECHATRONIC

Abstract - The present work deals with the project and construction of a low cost bipolar current driver, based on the integrated circuit L6208N to start hybrid stepper motor. Several improvements were increased to this circuit integrated so much with the objective of obtaining a flexible equipment for the needs of teaching of power electronics and mechatronic as in industrial applications. These contributions are described in details in this article. A 60W prototype was built in order to validate the concepts employed in the project of the driver. Following, practical results are presented.

Keywords – bipolar starter, current driver, didactic equipment, integrated circuit L6208N, stepper motor.

I. INTRODUÇÃO

Os equipamentos automatizados que necessitam controle de movimento, posição e velocidade, tais como robôs

industriais e máquinas de comando numérico computadorizado, podem ser acionados eletricamente pelas seguintes tecnologias:

- motores de passo;
- servomotores de corrente contínua com escovas;
- servomotores de corrente contínua sem escovas;
- servomotores de corrente alternada síncronos.

Nenhuma destas tecnologias é ideal, ou seja, cada uma apresenta uma série de vantagens e desvantagens. O motor de passo híbrido é a solução de acionamento que apresenta o custo mais baixo, nenhuma manutenção, estável quando parado e instalação elétrica mais simples. Como desvantagem o motor de passo híbrido apresenta perda de posição não detectada em malha aberta, quando parado consome energia e apresenta uma excessiva perda eletromagnética em altas velocidades. Este tipo de motor pode ser acionado impondo em seus enrolamentos tensão ou corrente e a corrente em seus enrolamentos pode ser em apenas em um sentido ou em ambos os sentidos caracterizando, respectivamente, o driver unipolar e o driver bipolar. O acionamento bipolar impondo corrente nos enrolamentos comparado com os outros três tipos de acionamento possibilita ao motor de passo: torque mais elevado e o funcionamento em uma faixa de velocidade maior [1].

O desempenho do acionamento de uma determinada junta rotacional ou prismática em máquinas automatizadas depende das características de todos os elementos que compõem o sistema de controle de movimento, em malha aberta ou fechada, conforme mostra a Figura 1.

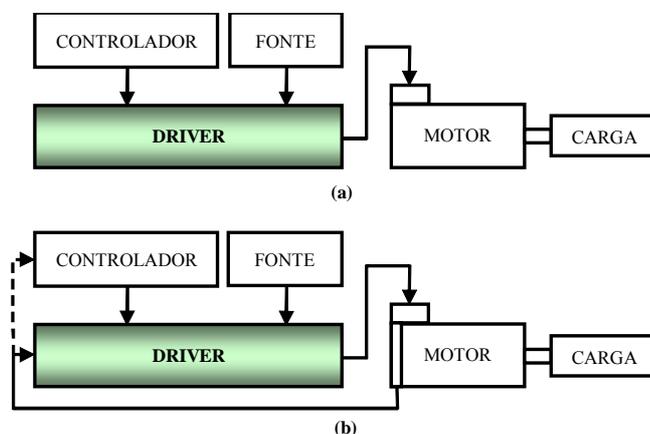


Fig. 1. Elementos de um sistema de controle de movimento em malha aberta (a) e em malha fechada (b).

Artigo submetido em 15/02/2008. Revisões em 12/03/2008 e 24/04/2008. Aceito por recomendação dos editores da Seção Especial W. Suemitsu e J. A. Pomilio.

Na malha de realimentação do movimento, mostrado na Figura 1.b, o motor passa a se chamar de servomotor por incorporar um sensor de posição e velocidade em seu eixo. A malha fechada de controle de movimento pode-se estabelecer de duas formas. A primeira forma é pelo driver que passa a ser chamado de servodrive assumindo a função de controle dos movimentos do motor. Neste caso, o controlador apenas fornece os valores de referência. A segunda forma, pelo controlador, é a mais clássica, onde o driver tem apenas a função de amplificador de potência. Nesses casos os custos são mais elevados e as instalações mais complexas.

As necessidades do acionamento da carga (tais como torque, velocidade e aceleração) irão selecionar a tecnologia a ser empregada e o tipo de controle de movimento: com ou sem realimentação de posição e velocidade. Na prática, existem muitas situações que são perfeitamente atendidas com o acionamento de motor de passo híbrido em malha aberta [2].

II. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A. Parte Construtiva

O equipamento desenvolvido é baseado no circuito integrado de potência L6208N conforme mostra o diagrama de blocos simplificado da Figura 2. Este componente é aplicado no acionamento bidirecional em corrente de motores de passo e foi escolhido neste desenvolvimento em função de suas características: tensão de alimentação entre 8 e 60 Vcc, corrente eficaz ajustável de 0 a 2,8 A por fase, frequência de chaveamento superior a 100 kHz, duas pontes de transistores mosfet ($R_{DS(on)} = 0,3 \Omega$), proteções internas de sobre corrente e sobre temperatura, comando em nível TTL de passo e direção, opção de funcionamento em meio passo, passo pleno e micro passo, possui sinal de inibição do tipo bidirecional, opção de escolha da taxa de variação lenta ou rápida das correntes de saída e possui um custo baixo se comparado a outras soluções [3].

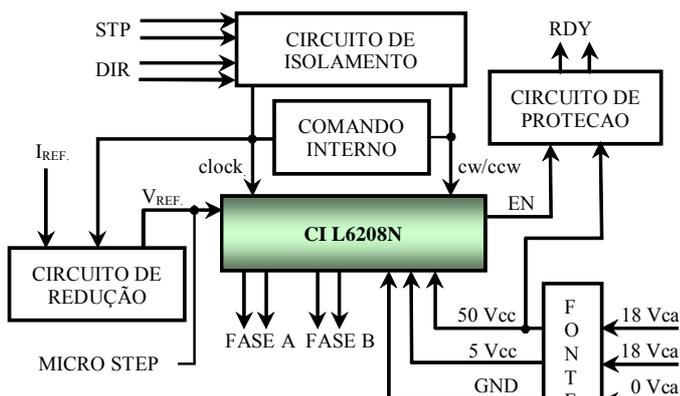


Fig. 2. Diagrama de blocos básico do driver.

A alimentação do driver desenvolvido é alternada monofásica, 36 V com ponto médio, o que resulta após a retificação uma tensão de barramento máxima de 50 V, apresentado na Figura 3. Esta tensão elevada, próxima do limite do L6208N, possibilita a operação em uma ampla faixa de velocidade.

A proteção contra sobretensão do L6208N atua quando a tensão deste barramento ultrapassar 52 V. Nesta condição, o barramento de alimentação é curto-circuitado pelo tiristor T1, abrindo o fusível de entrada do driver, detalhado na Figura 3. A fonte do driver também fornece uma tensão contínua regulada de 5V para alimentar os circuitos que fornecem os sinais de comando e controle do L6208N.

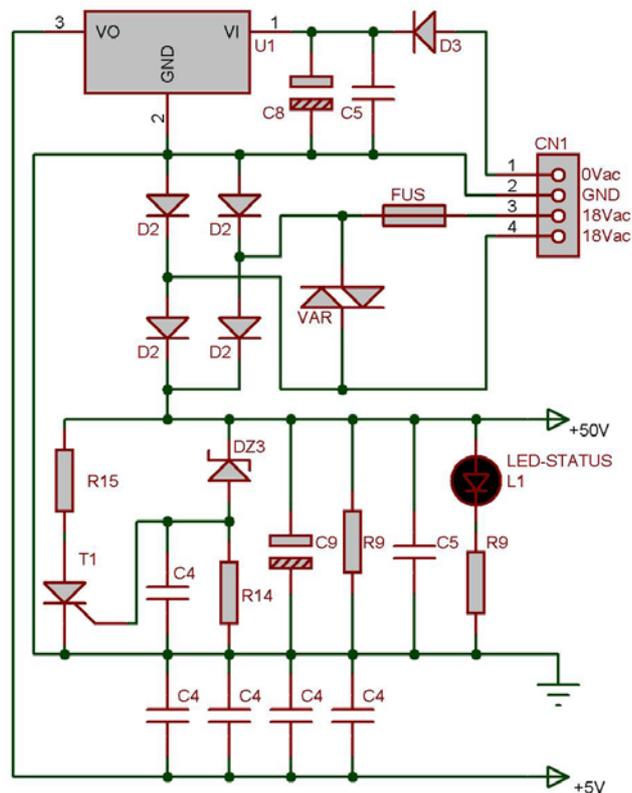


Fig. 3. Circuito da fonte do driver.

Embora o fabricante descreva o componente L6208N, Figura 4, como um circuito integrado completo para controle de motor de passo, o mesmo necessita de algumas adequações tecnológicas objetivando aumentar desempenho, proteção e flexibilidade.

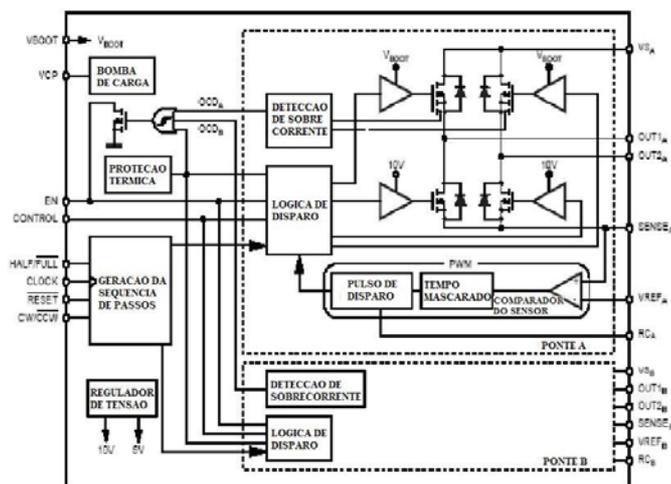


Fig. 4. Diagrama de blocos do L6208N [3].

O L6208N possui um encapsulamento DIP24 onde os terminais centrais (6, 7, 18 e 19) além de serem conectados ao terminal GND da fonte são utilizados para transmitir o calor deste componente até uma área de cobre da placa de circuito impresso. Essa área de cobre recomendada pelo fabricante, do lado dos componentes ou do lado da solda, possui a função de dissipar o calor gerado no L6208N. O gráfico da Figura 5 mostra o comportamento da resistência térmica da junção-ambiente (R_{ja}) em função da área de cobre da placa de circuito impresso. Este gráfico informa que, com o aumento da área de cobre, a resistência térmica junção-ambiente tende a ser constante e de valor alto, $39\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ para o lado superior e $42\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ para o lado inferior da placa. Este problema de dissipação limita a corrente eficaz de saída por fase em apenas $0,93\text{ A}$ [3,4].

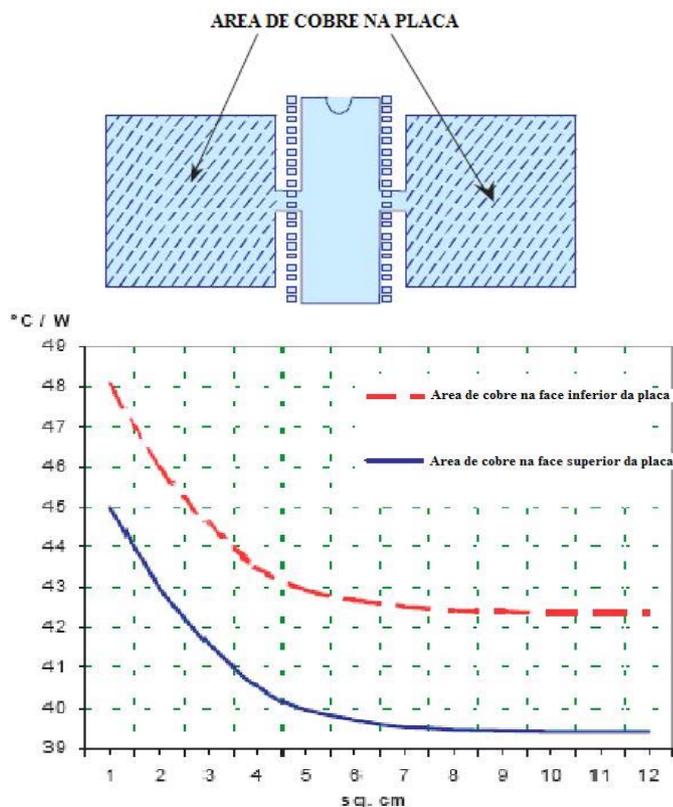


Fig. 5. Resistência térmica junção-ambiente em função da área de cobre sobre a placa de circuito impresso [3].

O fabricante do L6208N não indica um caminho para resolver este problema e nem expressa os motivos de se usar ou não um dissipador externo. Além disso, os catálogos de fabricantes de dissipadores não possuem modelo que possa se acoplar diretamente a este circuito integrado. Diante desta situação, resolveu-se projetar e construir um dissipador de calor, com massa de aproximadamente 60 gramas e resistência térmica de $8,4\text{ }^{\circ}\text{C/W}$, conforme mostra a Figura 6. O circuito integrado L6208N passou a fornecer corrente eficaz nominal, ou seja: $2,8\text{ A}$ por fase.

O dissipador de alumínio possui forma cilíndrica constituído de 10 aletas circulares, Figura 6(a), e a peça de união é de latão, conforme mostra a Figura 6(b). A fixação entre os elementos, mostrado na Figura 7, é da seguinte maneira: os quatro terminais centrais do L6208N, por onde

escoa o fluxo de calor deste componente, são soldados diretamente com a liga chumbo-estanho a peça de união enquanto que o dissipador é rosqueado nesta peça de união.

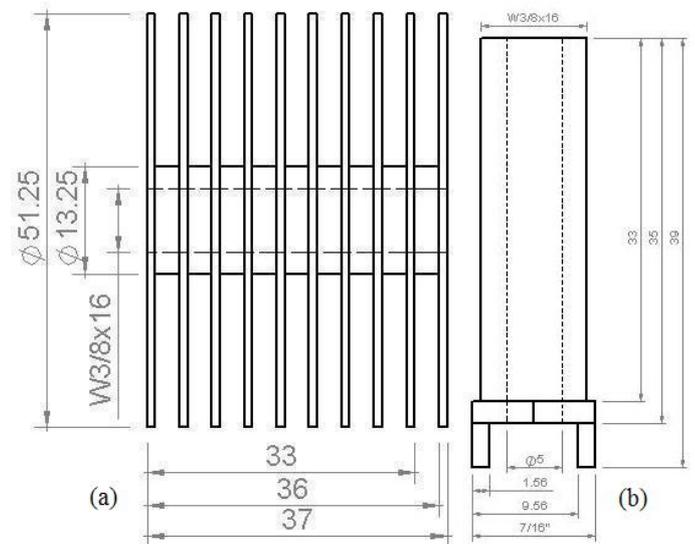


Fig. 6. Projeto do trocador de calor. Em (a), o dissipador e em (b), a peça de união entre o L6208N e o dissipador.



Fig. 7. Foto do trocador de calor desenvolvido.

Um circuito de proteção adicional ao L6208N, mostrado na Figura 8, foi desenvolvido com o objetivo de evitar danos nas peças a serem fabricadas e/ou ferramentas das máquinas automatizadas que operam com mais de uma junta de movimento. O L6208N possui um pino de habilitação chamado de EN. O nível lógico baixo neste pino, enibe todos os transistores de potência das duas pontes do L6208N.

Os componentes R11 e C1 tem a função de habilitar o L6208N e acionar o relé RL que através de seus contatos realiza a sinalização que o driver está ativo por meio do led verde L2 e a informação para o circuito de intertravamento do sistema, contato RDY, que a respectiva junta de movimento esta operante.

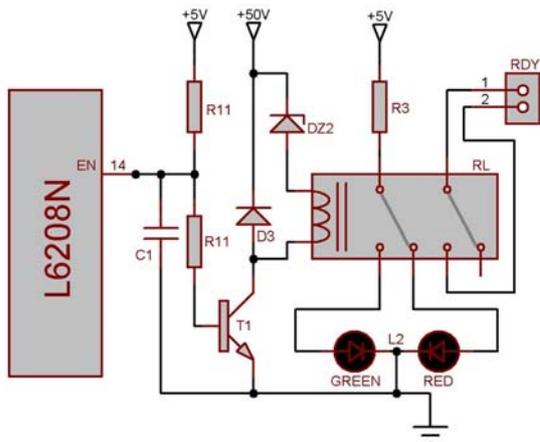


Fig. 8. Circuito de proteção adicional ao L6208N.

Quando uma proteção interna, sobre corrente ou sobre temperatura, do L6208N ocorre, o sinal de habilitação EN vai a nível lógico baixo desligando o relé RL. Os contatos deste relé realizam a sinalização de que o driver está desativo por meio do led vermelho L2 e informam ao sistema de controle da máquina que a respectiva junta está inoperante através do contato RDY. Quando também ocorre uma subtensão na alimentação do L6208N, isto é, tensão abaixo da tensão do diodo zener DZ2 (24 V), o relé RL é desligado. Nestes dois casos, o circuito de intertravamento interrompe o fornecimento de energia para todos os drivers da máquina e conseqüentemente desabilita sua movimentação.

Um circuito de habilitação dos sinais de passo *CLOCK* e de direção *CW/CCW* do L6208N foi desenvolvido conforme mostra a Figura 9. Estes sinais de comando podem ser fornecidos por um circuito interno ao driver ou externo de acordo com a posição do *jumper* J1.

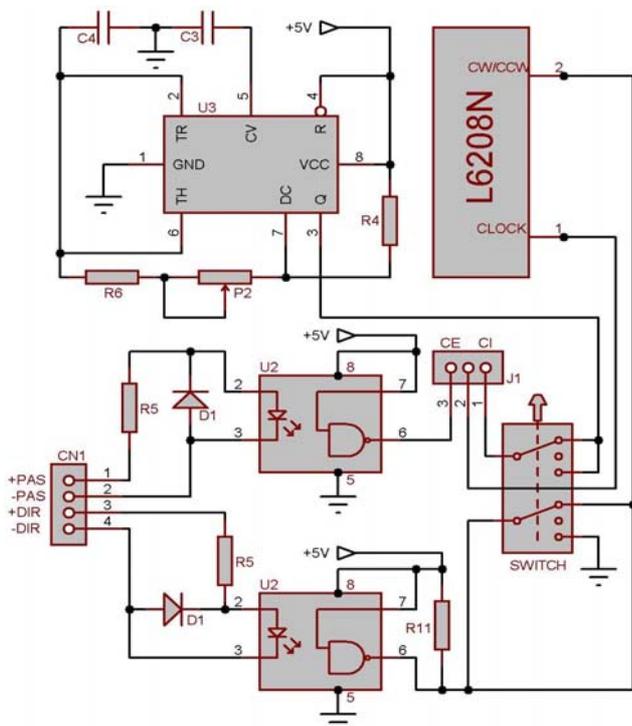


Fig. 9. Circuito de habilitação interna ou externa dos sinais de passo e direção do L6208N.

Na opção comando interno CI tem-se as funções de alterar o valor da velocidade do motor de passo, potenciômetro P2, e modificar o sentido de rotação do motor através da SWITCH de três posições. Este circuito de comando interno é fundamental em situações em que o controlador não foi instalado ou encontra-se desabilitado e há necessidade de acionar os motores de passo com o objetivo de avaliar a parte mecânica de uma máquina.

A opção comando externo CE, os sinais externos de passo PAS e direção DIR, são isolados através do circuito integrado optoacoplador de alta velocidade 6N137. Este circuito de interface externa além de proporcionar o isolamento galvânico entre o controlador e o driver permite escolher ainda a lógica de acionamento entre NPN ou PNP [5].

Um circuito de redução automática da corrente do motor, Figura 10, foi implementado com a finalidade de diminuir, em aproximadamente 40%, o valor da corrente fornecida pelo driver ao motor.

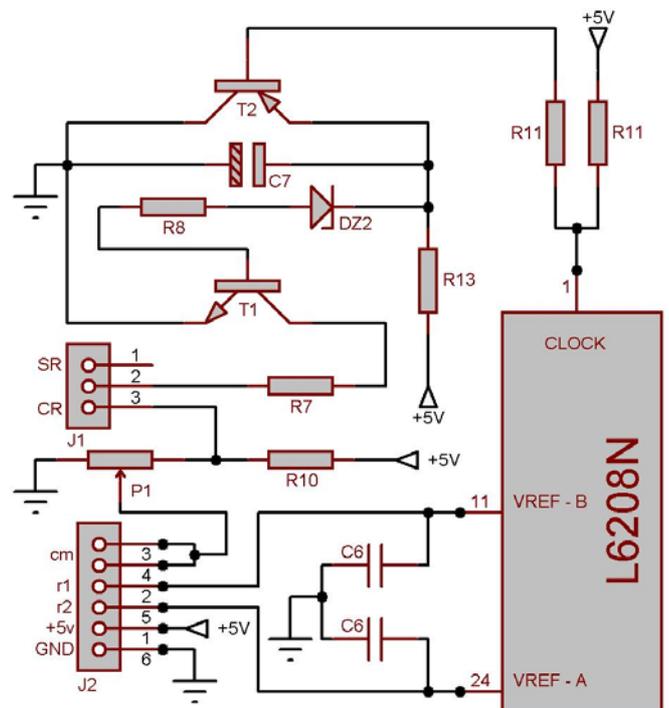


Fig. 10. Circuito de redução automática da corrente do motor.

O valor de tensão entre 0 e 1 V nos pinos VREF-A e VREF-B do L6208N estabelecem respectivamente o valor de corrente eficaz, entre 0 e 2,8 A, nas fases A e B do motor de passo. Estes pinos estão ligados ao barramento J2 que tem dupla função. A primeira é conectar estes pinos a um circuito de comando externo para operar o driver no modo micropasso. A segunda é ligar internamente, por meio de *jumpers*, estes pinos ao centro do potenciômetro P1 com o objetivo de ajustar, nos modos de operação meio passo e passo pleno, o valor nominal da corrente do motor que está conectado ao driver.

A redução da corrente do motor de passo é habilitada quando o *jumper* J1 estiver na posição CR, os terminais 2, 3, 4 e 5 do barramento J2 estiverem curto-circuitados (driver operando em meio passo ou passo pleno) e não ocorrer pulsos de comando *CLOCK*, de origem interna ou externa, por um

tempo maior que 1 s, ou seja, quando o motor de passo estiver parado. Neste caso, as perdas por efeito Joule no motor de passo e no driver são reduzidas sensivelmente.

Uma foto do driver desenvolvido é mostrada na Figura 11. Sua placa eletrônica é de simples face empregando componentes eletrônicos de tecnologia PTH. As dimensões deste driver são: 111 mm de comprimento, 76 mm de largura e 55 mm de altura.



Fig. 11. Driver desenvolvido.

B. Parte Didática

Com o objetivo de empregar o driver para fins de aprendizado acadêmico foram levados em consideração no projeto os seguintes aspectos didáticos:

- Segurança pessoal dos usuários através do uso de níveis baixos e isolamento dos sinais de potência;
- Identificação e facilidade no acesso aos pontos de medição por meio de instrumentos;
- Comandos simples, do tipo “passo-direção”;
- Geração de sinais internos de passo e direção sem a necessidade de um comando externo;
- Proteções diversas: contra sobrecorrente, sobretensão, subtensão e excesso de temperatura;
- Seleção de 3 tipos de comandos.

No ensino de eletrônica de potência alguns experimentos podem ser realizados. Entre eles:

- A característica de saída por meio da medição da tensão e da corrente nas bobinas do motor de passo. Além disso, é possível ver os modos de operação dos inversores de corrente do driver, isto é, PWM à dois níveis ou três níveis;

- As características, tensão e corrente, de entrada e de saída do retificador monofásico de onda completa presente no driver.

Para o aprendizado em mecatrônica este driver tem a capacidade de:

- Mostrar o comportamento visual de posição e velocidade do rotor de um motor de passo nas diferentes formas de comando: passo pleno, meio passo e micro passo;
- Alterando o valor eficaz da tensão de entrada do driver, pode-se verificar a relação entre o valor da tensão contínua de alimentação dos inversores e a máxima velocidade atingida pelo motor de passo;
- Visualizar a redução no valor de referência da corrente (Figura 13) e nas respectivas correntes do motor de passo quando o mesmo deixa de ser comandado, por meio de um osciloscópio;
- Obter a curva de torque da carga conectada ao eixo de um motor de corrente contínua de ímã permanente versus a velocidade de acionamento desta carga. Nesta situação, apenas um inversor é acionado com uma faixa de regulação de corrente entre 0 e 2,8 A (ajustável por meio de um potenciômetro);
- Acionar solenóides de válvulas hidráulicas proporcionais, tanto de vazão quanto de pressão. Com isso pode-se obter as curvas características de vazão ou de pressão na saída destas válvulas versus a corrente imposta pelo driver quando as mesmas estão inseridas em circuitos hidráulicos.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para avaliar o desempenho do driver bem como suas adequações tecnológicas propostas neste trabalho foram realizados vários ensaios.

O primeiro experimento foi validar o projeto do trocador de calor através do acionamento do driver com corrente eficaz nominal de suas duas fases de saídas durante 2 horas. Nesta situação, a proteção interna de sobre temperatura do L6208N, ajustada pelo fabricante em 165 °C, não atuou, indicando que o trocador de calor projetado se mostrou eficiente. A temperatura máxima registrada neste dissipador foi de 85 °C.

O segundo experimento foi o de validar o circuito de proteção adicional através do acionamento da proteção interna de sobre temperatura. Neste caso, foi acionado o driver com corrente eficaz nominal sem o dissipador.

Após um breve momento, a proteção interna de sobre temperatura atua desabilitando o comando dos transistores do L6208N, sinal EN mostrado na curva 1 da Figura 12. Com isso, o relé RL é desligado interrompendo a alimentação do driver por meio do contato RDY. Com o resfriamento rápido, o L6208N torna-se habilitado por um curto período de tempo consumindo apenas a energia interna do barramento cc, curva 2 da Figura 12. Esta queda de tensão finalmente desabilita o driver que sinaliza através do led vermelho.

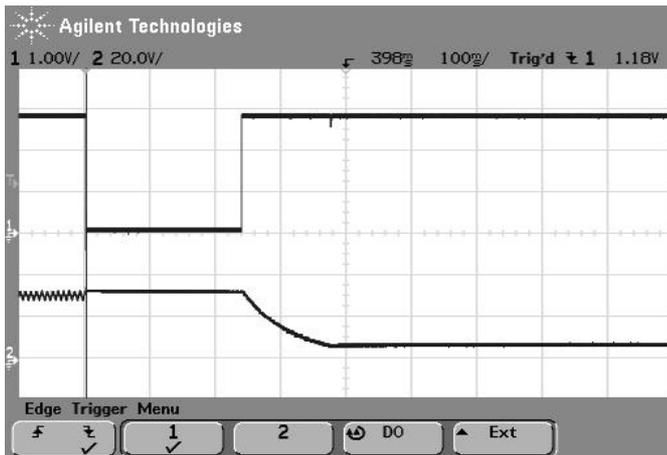


Fig. 12. Atuação de proteção de sobre temperatura (CH1: 1 V/DIV, CH2: 20 V/DIV e BT: 100 ms)

No terceiro ensaio foi validado o circuito de redução da corrente do motor de passo quando parado. Neste caso, foi acionado o motor de passo com um CLOCK de 0,38 Hz, como mostra a curva 1 da Figura 13. Observa-se que após 1 s, do primeiro pulso de comando, ocorre uma redução de aproximadamente 40% no valor da corrente de referência de cada fase do motor, sinal VREF-A/B, como indica a curva 2 desta figura.

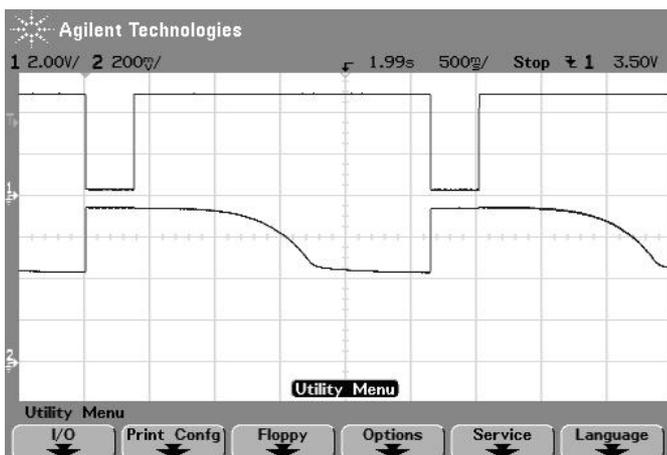


Fig. 13. Redução da corrente do motor. (CH1: 2 V/DIV, CH2: 200 mV/DIV e BT: 100 ms)

No quarto e último ensaio, Figura 14, este driver configurado no modo meio passo, acionou um motor do tipo híbrido de duas fases com tensão média de barramento de 50 Vcc. As características deste motor são: resolução de 1,8 graus por passo, corrente eficaz de 1,2 A por fase e dimensões de 57x57x57 mm. O objetivo deste acionamento é verificar a variação da corrente eficaz de cada fase do motor, ou seja, do torque em função da velocidade de seu eixo. Embora o gráfico da Figura 14 apresente uma faixa de velocidade de 900 rpm (6000 pps), este motor de passo foi acionado, em ambos os sentidos de rotação, através do sinal de comando CLOCK com a frequência de até 10 kHz, ou seja, 1500 rpm.

A consolidação do driver de corrente didático desenvolvido se deu na aplicação dos mesmos em uma fresadora CNC para PCI, Figura 15, projetada e construída pelos estudantes e professores do DAMM do CEFET/SC.

Esta fresadora CNC é composta por três juntas prismáticas acionadas por motores de passo do tipo híbrido com seus respectivos drivers de corrente localizados na parte superior direita do painel elétrico, conforme mostra a Figura 16.

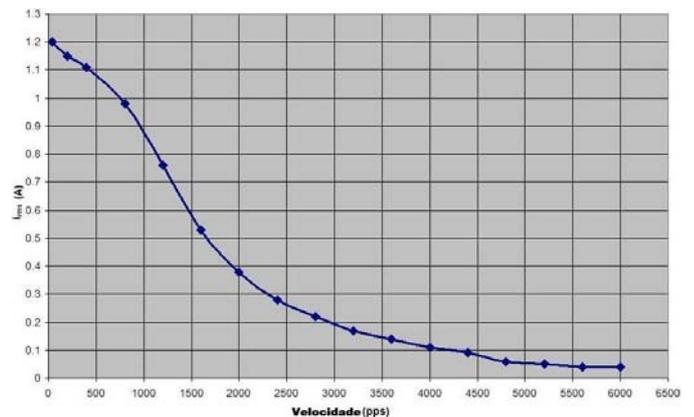


Fig. 14. Curva corrente eficaz por fase do motor de passo versus velocidade em pps.

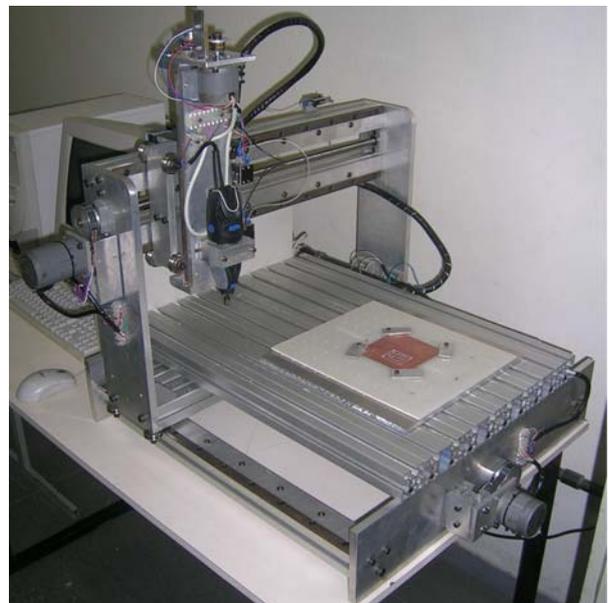


Fig. 15. Fresadora CNC de PCI desenvolvida no CEFET/SC.



Fig. 16. Painel de comando da fresadora CNC para PCI.

IV. CONCLUSÃO

O driver de corrente didático foi testado em situações extremas de acionamento de motores de passo do tipo híbrido em máquinas CNC mostrando-se flexível, robusto e com bom desempenho.

O driver apresentado neste artigo é compacto, fácil de operar, confiável e atualmente possui o melhor custo-benefício em termos de acionamento de motor de passo do tipo híbrido e com este acionamento tem-se também a possibilidade para o acionamento de motores do tipo CC e servo-válvulas.

As características citadas acima proporcionam a este driver aplicações tanto na área do ensino da eletrônica de potência e mecatrônica quanto na área de acionamento de máquinas automatizadas na indústria.

Além de proporcionar ao circuito integrado L6208N um aumento da corrente de saída de cada fase por um fator de 3 o uso de um trocador de calor especial tem a vantagem de desacoplar a dissipação térmica deste componente da sua placa de circuito impresso tornando assim, mais compacto o driver.

Bons resultados foram obtidos nos testes nos circuitos de proteção adicional e redução de corrente proporcionando respectivamente a operação segura de máquinas automatizadas com mais de uma junta de movimento e a diminuição das perdas do motor e do próprio driver, por efeito Joule.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a colaboração prestada pelos professores Felício José Gesser e Vilmar Coelho no desenvolvimento deste equipamento e ao CEFET/SC pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Parker Automation, “*Tecnologia Eletromecânica*”, Apostila 1600.231.01 BR, outubro de 2003. Disponível em: <http://www.extranetparker.com.br/download/automation/eletromecanica/pdf/eletromecanica.pdf>. Acesso em: 27 de março de 2008.
- [2] C.W. Lander. “*Eletrônica Industrial: teoria e aplicações*”. Makron Books do Brasil Editora Ltda, 2ª Edição, São Paulo, Brasil, 1996.
- [3] STMicroelectronics, “*L6208 Dmos Driver for Bipolar Stepper Motor*”. Folha de Dados, setembro de 2003. Disponível em: <http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/7514.pdf>. Acesso em: 7 de março de 2007.
- [4] D. Arrigo, V. Marano e T. Hopkins. “*L6208 Fully Integrated Two Phase Stepper Motor Drive*”. Application Note 1451, outubro de 2003. Disponível em: <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/8607.pdf>. Acesso em: 7 de março de 2007.

- [5] N.G. Bonacorso, V. Noll. “*Automação Eletropneumática*”. Editora Érica, 9ª. Edição, São Paulo, Brasil, 2006.

DADOS BIOGRÁFICOS

Nelso Gauze Bonacorso, nascido em 20/02/1967 em Santa Maria-RS, é engenheiro eletricista (1990), mestre (1991) doutor em Engenharia Mecânica (2004) pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Atualmente é professor titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial. Suas áreas de interesse são: eletrônica de potência, robótica, manutenção industrial, soldagem e acionamentos de máquinas elétricas.

Valdir Noll, nascido em 13/05/1965 em Humaitá-RS, é engenheiro eletricista (1991), mestre (1993) doutor em Engenharia Mecânica (2006) pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Atualmente é professor titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial. Suas áreas de interesse são: eletrônica de potência, sistemas embarcados microprocessados, linguagem de programação C/C++, técnicas de automação e acionamentos de máquinas elétricas.

Bruno de Melo Gevaerd, nascido em 06/06/1985 em Florianópolis-SC, é bolsista de Iniciação Científica do Centro Federal de Santa Catarina.

Atualmente é aluno do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Suas áreas de interesse são: robótica, mecatrônica, automação e eletrônica de potência.