

POSICIONADOR LINEAR DE PRECISÃO COM MECANISMO DE IMPRESSORA A JATO DE TINTA

Samuel E. de Lucena, lucena@feg.unesp.br

Unesp – Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Elétrica, Laboratório de Instrumentação & Microprocessadores, av. Ariberto P. da Cunha, 333, bl. 4, Guaratinguetá, SP, 12516-410.

Resumo: *Construiu-se e testou-se um posicionador linear de precisão, a partir do mecanismo de uma impressora a jato de tinta. O mecanismo é constituído por um motor de corrente contínua, uma correia dentada, uma cabeça de impressão, que pode se mover ao longo de um guia linear, e um sensor de posição. O sensor de posição é formado por uma fita plástica transparente, dotada de barras verticais opacas, e um par LED-fotodiodo, em arranjo tipo fenda, por onde se desloca a fita plástica solidária ao movimento da cabeça de impressão. À cabeça de impressão se podem fixar ferramentas diversas, uma vez estabelecido o uso final do posicionador. Faz-se o acionamento do motor de corrente contínua por meio de um amplificador recortador, do tipo com tempo de bloqueio fixo, com saída em corrente de até 3 ampères, e uma ponte H completa de até 55 volts, estrutura que permite o controle tanto do torque quanto do sentido de giro do motor. O algoritmo de controle de posição (e velocidade) roda em uma placa com microprocessador de 8 bits, cujas saídas controlam a corrente e o sentido de giro do motor, e cuja entrada são os pulsos oriundos do sensor de posição. O curso do posicionador é de 350 mm e a resolução é de 125 µm. A velocidade máxima atingível depende fortemente da fonte usada com o amplificador recortador e pode chegar a 500 mm/s, com fonte de 12 volts. Projetado sobretudo para uso didático, onde tem despertado grande interesse por parte dos estudantes, os testes mostram que o bom desempenho do posicionador o qualificam para uma grande gama de aplicações em automação, controle e instrumentação.*

Palavras-chave: *posicionador de precisão, posicionador linear, sensor de posição, amplificador recortador*

1. INTRODUÇÃO

É inegável a importância dos programas e ambientes para simulação computacional de sistemas, em todas as áreas do conhecimento, mas, sobretudo, a força e importância dos simuladores são ainda mais notáveis nas ciências exatas e engenharias. Em particular, nas engenharias elétrica e mecânica, o computador assumiu papel central no ciclo que se estende da investigação básica, passa pelo projeto e desenvolvimento e alcança a automação da produção. Em cada uma dessas etapas, o impacto causado pelo computador foi enorme, para não dizer revolucionário.

A despeito da onipresença e do prestígio do PC (computador pessoal) nas instituições de ensino de engenharia, há uma preocupação em se limitar seu uso como ferramenta de ensino, notadamente para evitar que simulações substituam experimentos, estes, sim, ocasiões em que os estudantes entram em contato com dispositivos, equipamentos e sistemas do mundo físico – atividades insubstituíveis (Grimaldi e Rapuano, 2009; Rosenberg, 1998), ainda que possam ser enriquecidas por simulações em computador.

Entre outras razões para o uso demorado de simuladores em ensino de engenharia, estão o forte apelo da informática e, talvez a mais forte delas, o alto custo de aquisição e manutenção de laboratórios. Uma estratégia para diminuir estes investimentos consiste no aproveitamento de partes da enorme diversidade de equipamentos descartados, cada vez em maior número, nas próprias instituições de ensino. Destes equipamentos se podem retirar dispositivos, subsistemas e sistemas completos, os quais podem ser aproveitados com vantagem no desenvolvimento de novos e interessantes módulos didáticos.

As impressoras estão entre os equipamentos mais facilmente encontrados nas listas dos descartados. A Figura (1a) ilustra um subsistema eletro-óptico-mecânico usado por fabricantes de impressora a jato de tinta, para fazer o deslocamento do carro da impressora, o qual carrega a cabeça de impressão. A impressão se faz com a cabeça se deslocando em velocidade constante e altamente precisa, para garantir sua alta qualidade (Lin et al., 1996). A Figura (1b) ilustra o tipo de sensor de posição usado nestas impressoras, o qual é capaz de propiciar uma resolução de cerca de 125 µm e que é fundamental para que o controlador digital consiga alcançar desempenho extraordinário. Todo esse subsistema, composto pelo motor, correia, guia linear, sensor de posição e suporte mecânico, está disponível a custo zero nas muitas impressoras descartadas no dia-a-dia. Neste trabalho, aproveitou-se um mecanismo como o ilustrado

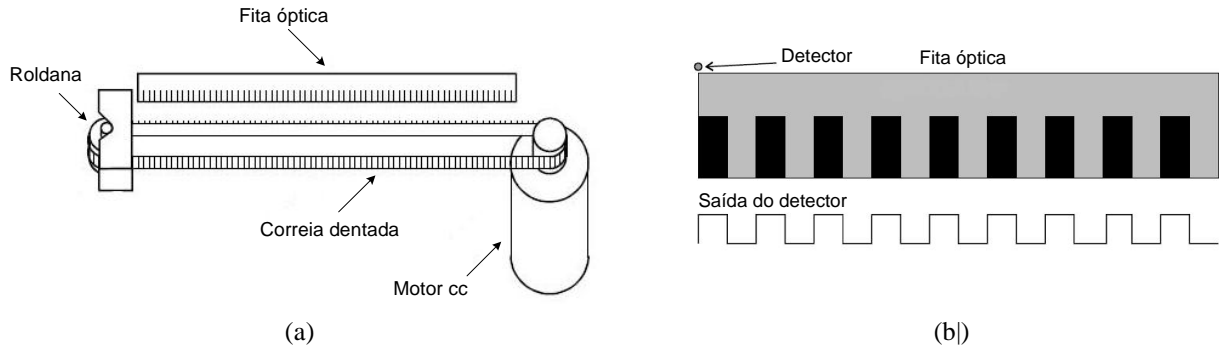


Figura 1. Impressora a jato de tinta: (a) Mecanismo de posicionamento do carro; (b) Sensor de posição.

na Fig. (1), para se construir um posicionador linear de precisão, controlado digitalmente, projetando-se e agregando-se os demais módulos, como será descrito na seção 2.

1.1. Posicionador Linear de Precisão

Usados frequentemente em aplicações industriais, notadamente sob a forma de mesas X-Y, os posicionadores de precisão estão disponíveis comercialmente como módulos e são relativamente caros. Usam motores de diversos tipos, desde motor cc com escovas, passando por motor cc sem escovas e motor de passo, até os motores de indução (Hinds, 1999; Mills, 2006). Também variados são os tipos de sensor de posição empregados, sendo os mais comuns o potenciômetro, o LVDT (transformador variável, linear e diferencial), codificadores ópticos (absolutos ou incrementais), interferômetros a *laser*, até, ao menos em laboratório de pesquisa, sensores magnetostritivos (Seco et al., 2009). Uma mesa X-Y sofisticada pode usar velocidades de até 1,0 m/s, com precisão de posicionamento de 1,0 μm e acurácia de 8 μm , para um curso de 150 mm (Mills, 2006). As técnicas de controle usadas por estes equipamentos são sofisticadas, como o fazem também as impressoras, que usam malhas de velocidade controladas a PLL (*phase-locked loop*) (Lin et al., 1996).

2. PROJETO DO POSICIONADOR DE PRECISÃO

2.1. Descrição Geral

Como ilustrado na Fig. (2), o núcleo do posicionador de precisão é formado pelo mecanismo retirado de uma impressora a jato de tinta. O suporte plástico original abriga e dá sustentação a todo o mecanismo. Este é composto por um motor de corrente contínua (motor cc), uma correia dentada, uma roldana, um carro (que originalmente suportava o cartucho de tinta, além do sensor óptico), um guia linear, e, por fim, uma fita óptica. A Figura (3) mostra uma imagem geral do protótipo.

Controla-se a posição do carro da impressa, acionando-se o motor cc convenientemente e medindo-se o número de pulsos emitidos pelo sensor óptico. Um controlador microprocessado realiza o controle do motor, determinando seu sentido de giro e sua corrente de armadura. Esta corrente é forçada por um amplificador recortador, com base em um valor de referência estabelecido por meio de um conversor D/A de 4 bits e na corrente medida na armadura.

A cabeça de impressão (carro da impressora) contém duas buchas e desliza sobre um guia linear com curso útil de 350 mm. Paralelamente ao guia, estende-se uma fita óptica que atravessa a cabeça de impressão, passando exatamente entre um par LED-fotodiodo, para formar o sensor óptico. Os pulsos deste sensor são monitorados pelo controlador por meio de uma porta de entrada. Utilizou-se a técnica de sincronismo por consulta.

O controlador é constituído por uma placa microprocessada, que usa o microprocessador didático Intel 8085, de 8 bits, e funciona a 4 MHz. Esta placa possui uma ROM com um programa monitor que recebe do PC o programa a ser executado e o salva em uma memória SRAM de 2k bytes. Este canal de comunicação é do tipo serial UART. Ao final da recepção, o controle da placa é passado para o programa recém-recebido. O desenvolvimento dos programas de controle se faz, em linguagem *assembly*, em um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), por nós desenvolvido, muito fácil de ser usado e que roda em PC com ambiente Windows.

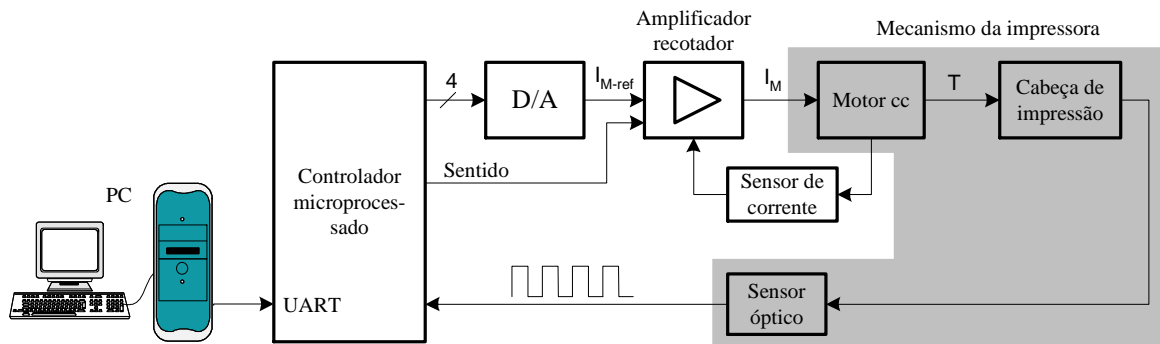


Figura 2. Diagrama de blocos do posicionador de precisão desenvolvido.

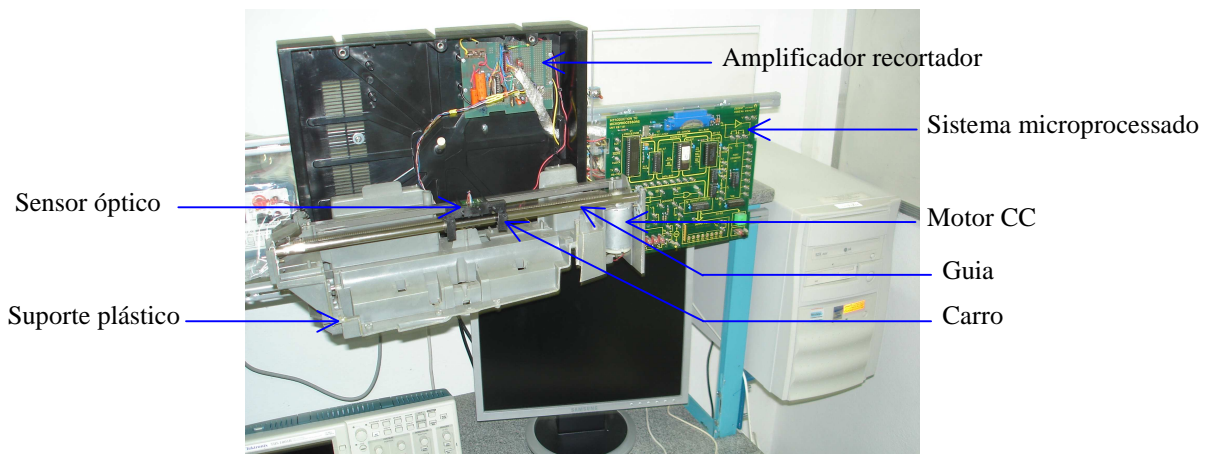


Figura 3. (a) Fotografia do posicionador de precisão.

2.2. Sensor de Posição

O par LED-fotodiodo (QEDS-985750) que detecta o movimento da fita óptica é fabricado pela Agilent Technologies. Embora existam revendedores para este componente, em vão, buscou-se o manual deste dispositivo. Felizmente, conseguiram-se identificar experimentalmente os terminais do LED (que emite em vermelho) e os do fotodiodo PIN. A Figura (4a) mostra o circuito de polarização usado com este componente. O fotodiodo PIN, com tempo de extinção de carga muito pequeno, fornece um sinal quadrado e adequado à interface digital, para frequências de trabalho em uma ampla faixa.

A fita óptica contém um padrão de barras verticais opacas com cerca de 8 linhas por milímetro (125 μm entre linhas), como pode ser apreciado na Fig. (4b). Esta mostra uma fotografia da fita, realizada com uma lente de aumento acoplada à objetiva da máquina fotográfica, ao lado de uma régua graduada em milímetros. A alta resolução do sensor óptico é fundamental para o controle preciso da velocidade do carro da impressora que, por sua vez, é imprescindível para a impressão de alta qualidade.

2.3. Amplificador Recortador

O amplificador recortador tem forte impacto sobre a resposta dinâmica do posicionador, ou seja, seu comportamento durante transitórios, uma vez que, com este tipo de circuito de acionamento, a corrente no motor (ou seja, seu torque) pode ser rapidamente alterada.

Para o amplificador recortador, lançou-se mão de um circuito integrado (CI) comercial, o LMD18245T (National Semiconductor), que tornou o projeto mais rápido, por integrar uma ponte H completa (Fig (5)), para correntes de até 3 A e tensões de até 55 V, além do circuitos de controle de corrente, inclusive um conversor D/A de 4 bits, para defini-



Figura 4. (a) Circuito do sensor óptico. (b) Fotografia da fita óptica ao lado de uma régua com escala em milímetros.

ção da corrente de referência. Este CI ainda contém um importante amostrador da corrente da carga (motor), que toma uma fração de 1/4.000 da corrente, assim permitindo o emprego de um resistor de baixa potência como sensor de corrente. O controle da corrente é do tipo com tempo de bloqueio fixo, definido por um circuito RC externo. Adotou-se tempo de bloqueio de 53 μ s neste trabalho. Ainda dignos de nota são a possibilidade de frear (pino de controle *Break*) o motor rapidamente, curto-circuitando-se seu enrolamento de armadura, o recurso (pino de controle *Direction*) para controle do sentido de rotação do motor, e os diodos de recirculação/retorno. Alimentou-se o recortador com 12 V. O motor cc utilizado, original do mecanismo da impressora, é de ímã permanente, 5 V e corrente nominal de 125 mA.

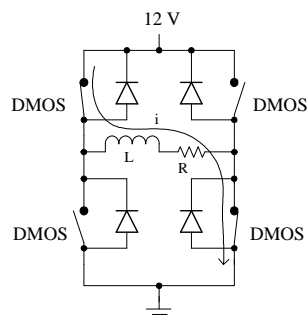


Figura 5. Ponte H completa do amplificador recortador do LMD18245T. L e R são parâmetros do motor cc.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

Para este trabalho, já se contava com a placa microprocessada e o IDE para sua programação, desenvolvido por nós, sobretudo para uso em ensino. Portanto, estes módulos já se encontram depurados. Primeiro, testou-se separadamente o mecanismo para posicionamento de precisão, retirado de uma impressora a jato de tinta. Como já se comentou acima, a dificuldade maior foi decifrar o funcionamento do detector de passagem da fita óptica. A Figura (6a) mostra o sinal captado na saída do sensor óptico, ao se movimentar manualmente o carro da impressora. Como se vê, o sinal é de ótima qualidade e adequado para leitura tanto por portas digitais com lógica CMOS (de 5 V) quanto TTL. O intervalo de tempo entre pulsos consecutivos corresponde a um deslocamento de 125 μ m. A variação na largura dos pulsos é um reflexo da variação da velocidade em que o carro foi movimentado.

Em seguida, realizou-se o teste do posicionador, após instalação e teste do amplificador recortador e realização das interfaces, ou seja, da porta de saída, para controle da corrente no motor e do sentido de giro deste, e da porta de entrada, para leitura dos pulsos do sensor de posição. Para tanto, escreveram-se diversos programas para teste do sistema completo. A Figura (6b) mostra um registro dos pulsos do sensor de posição captados ao se executar um programa que faz o carro se deslocar uma distância correspondente a 17 pulsos do sensor ($\sim 2.125 \mu$ m), usando, porém, três acelerações distintas: primeiro, num trecho com extensão equivalente a 8 pulsos, usou-se aceleração máxima (leia-

se corrente máxima) e constante. Como se pode observar na Fig (6b), neste trecho ($a > 0$), a velocidade do carro aumenta gradativamente. No segundo trecho, com extensão de 7 pulsos, reduziu-se a corrente do motor para 2/3 da máxima, com o objetivo de manter o carro se deslocando em velocidade quase constante ($a = 0$), como se observa neste registro. Finalmente, o controlador impôs aceleração negativa, no último trecho, com comprimento equivalente a 2 pulsos, forçando no motor uma corrente reversa de 2/3 máxima, para frear o carro e pará-lo no local desejado. Ao detectar o último pulso deste trecho, o programa de controle desliga o motor. Na Fig. (6b), observam-se os três distintos trechos de velocidade.

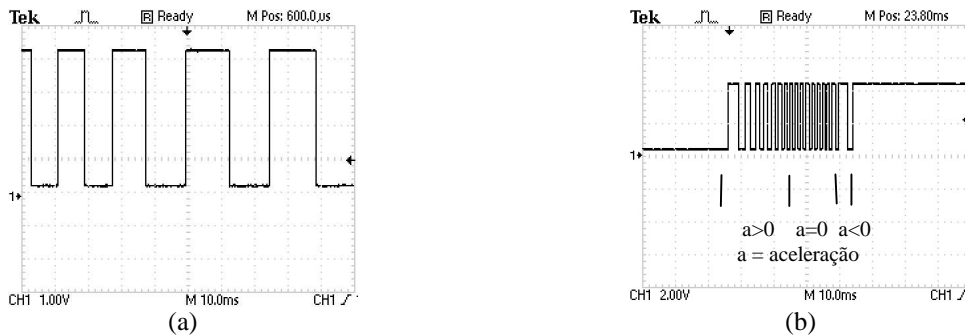


Figura 6. (a) Registro do sinal do sensor de posição com o carro movimentado manualmente. (b) Registro do sinal do sensor de posição com o carro controlado pelo programa.

Embora estes primeiros resultados com o posicionador linear de precisão sejam satisfatórios, os muitos experimentos realizados deixaram clara a importância fundamental do fechamento da malha de controle, como de fato se faz nas impressoras comerciais (Lin et al., 1996). Com o controle em malha fechada, torna-se possível aumentar o desempenho do posicionador e diminuir o erro no posicionamento. No entanto, esta não é uma tarefa trivial, uma vez que exigiria um modelo do sistema (pode-se prescindir deste, se usarmos controle nebuloso), bem como o conhecimento de constantes como coeficiente de atrito, inércia, massa, constante de torque do motor, ganho do amplificador, dentre outros. O emprego de um controlador digital mais rápido também seria imprescindível, para a execução do algoritmo de controle em tempo real.

Pode-se apreciar na Fig. (7a) um registro da tensão aplicada por esse amplificador aos terminais do motor cc, durante uma operação de posicionamento do carro. Cada canal registra a tensão em um dos terminais do motor. Assim, o canal 2 mostra que, durante este registro, este terminal esteve com o potencial de 12 V, enquanto o outro terminal – o do canal 1- teve a tensão ora em 12 V, resultando em tensão nula sobre o enrolamento do motor, ora em potencial zero, resultando agora em tensão de 12 V sobre o enrolamento. O amplificador recorta a tensão sobre o enrolamento do motor, usando a técnica do tempo de bloqueio constante, a fim de manter a corrente do motor em um nível estabelecido, neste caso, pelo controlador. A Figura (7b) é o registro de corrente na bobina do motor, feito quando o programa determina que o mecanismo se desloque uma certa extensão à direita, por exemplo. Como se observa, a corrente na bobina do motor alcança rapidamente o valor estabelecido (0,2 A) e, também, ao final do trajeto, rapidamente é feita igual a zero. Este tipo de amplificador tem forte impacto sobre o comportamento dinâmico do sistema.

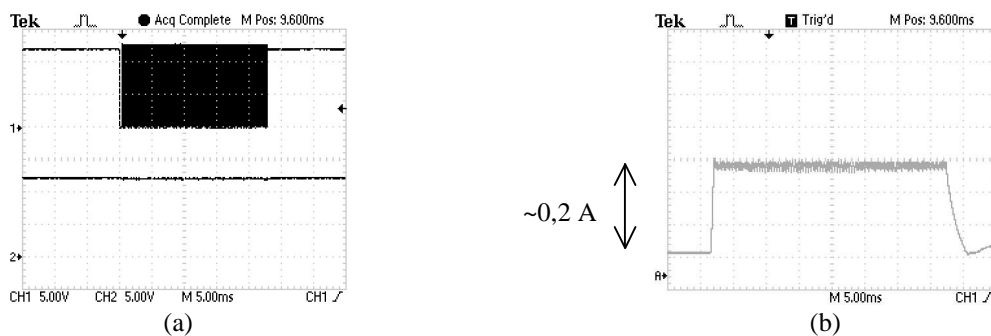


Figura 7. (a) Tensão do recortador sobre os terminais do motor cc. (b) Corrente do motor.

4. CONCLUSÃO

Embora os simuladores em PC sejam importantes e cada vez mais usados nas escolas de engenharia, é fundamental que os estudantes frequentem laboratórios equipados sobretudo com dispositivos e equipamentos reais. Em outras palavras, não se pode substituir, na fase de formação dos engenheiros, sistemas físicos por representações computacionais, a menos que estas sejam atividades complementares. Neste trabalho, mostrou-se como construir um posicionador linear de precisão, com base em um mecanismo retirado de uma impressora a jato de tinta, o que propiciou grande redução no investimento monetário no projeto. O desempenho preliminar do posicionador é satisfatório e seu uso despertou forte interesse nos estudantes, que, com efeito, podem aproveitar a oportunidade, para aprofundar seus conhecimentos sobre diversos aspectos do equipamento, como o acionamento do motor, a detecção e medição do deslocamento, e a estratégia de controle, além da dinâmica do sistema e suas possíveis aplicações. Acredita-se que este tipo de solução está ao alcance das instituições brasileiras e pode elevar a qualidade do ensino, com um mínimo de investimento monetário.

5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio financeiro da Fundunesp, PROPG/Unesp e Fapesp.

6. REFERÊNCIAS

- Grimaldi, D., Rapuano, S., 2009, "Hardware and Software to Design Virtual Laboratory for Education in Instrumentation and Measurement", *Measurement*, Vol. 42, pp. 485-493.
- Hinds, W.E., 1999, "Dual-Axis Positioners", *Machine Design*, October 7, pp. 120-124.
- Lin, H.Y., Lu, M.C., Horng, J.H., Yang, T.B., Hsieh, S.C., Hsiao, C.Y., Tai, H.M., Chen, J.S., 1996, "DC Servo Speed Control of an Inkjet Print Head Transport System Using a Phase-Locked Loop", *Proceeding of the AMC'96-MIE 4th International Workshop on Advanced Motion Control*, Vol. 2, pp. 458-463.
- Mills, R., 2006, "Linear Positioners Drive Ink Jets", *Control Engineering*, February, pp. 10-12.
- Rosenberg, J.J., 1998, "Stimulating Appropriate Uses of Simulation in Design", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 12, pp. 51-54.
- Seco, F., Martín, J.M., Jiménez, A.R., 2009, "Improving the Accuracy of Magnetostrictive Linear Position Sensors", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 58, No. 3, 722-729.

7. DIREITOS AUTORAIS

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

A Precision Linear Positioner Based on Ink-Jet Printer Mechanism

Samuel E. de Lucena

Department of Electrical Engineering
Microprocessors & Instrumentation Laboratory
Unesp – São Paulo State University

Abstract – A precision linear positioner was designed based on an ink-jet printer mechanism. A dc motor, a toothed belt, and a print head that can move along a linear guide, and a position sensor constitute the mechanism. The position sensor is formed by a transparent plastic ribbon, that contains opaque vertical bars, an LED diode and a PIN photodiode mounted on a slotted arrangement through which the plastic ribbon can pass, as the print head moves. In practice, the print head can mechanically support different working tools. A constant off-time chopper amplifier drives the dc motor with a programmable current, utilizing a full H-bridge and a current sensor. The amplifier rated current is 3 amperes, while it can support 55 volts. This driver allows the control of motor torque and rotation direction. The control programs for position (and speed) run in a control board that contains an 8-bit microprocessor and digital input and output ports. Position sensor pulses are software detected. The positioner can move over 350 mm, whereas its resolution is 125 μm . The maximum speed depends strongly on the power source used to feed the amplifier and it can reach 500 mm/s, for a 12 volts power supply. Designed mainly for teaching, where it has been drawing students' attention, the

positioner's good results showed that it qualifies for a great range of applications in automation, control and instrumentation.

Keywords: precision positioner, linear positioner, position sensor, chopper amplifier

The author is the only responsible for the content of the printed material included in his paper.