

UMA NOVA TECNOLOGIA PARA ACIONAMENTO DE MOTORES DE PASSO OPERANDO EM MICROPASSO

Solly A . Segenreich

Juan Paniagua Vargas

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Depto. de Engenharia Mecânica- Rua Marq. São Vicente 225, 22.453-900 Rio de Janeiro – RJ

e-mail: solly@mec.puc-rio.br

Resumo

A crescente capacidade de regulação e a possibilidade de chaveamentos precisos das correntes de fase dos motores de passo, tem possibilitado o surgimento de acionamentos em micropasso cada vez mais eficientes. Com isto, a nociva, e, muitas vezes, limitadora trepidação dos motores de passo operando em passo inteiro ou meio passo, foi grandemente reduzida, fazendo com que este tipo de motores sejam uma solução viável em quase todos os projetos de automação e robótica.

Nos acionamentos convencionais, é fundamental o acompanhamento do nível da corrente na fase do motor. Este acompanhamento, por ser realizado em níveis baixos de tensão e na presença de ruído, acaba sendo um sério inconveniente exigindo uma montagem elaborada e eventuais filtros. O presente trabalho apresenta uma proposta de um novo acionamento em que a necessidade do acompanhamento da corrente é eliminado. Os primeiros testes indicam a viabilidade do novo conceito, apresentando resultados extremamente animadores.

Palavras-chave: Motores de passo, Acionamentos, Micropassos.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de acionamentos com ceifamento de tensão, conhecidos como acionamentos *Chopper*, termo que iremos usar neste trabalho pois está incorporado ao jargão mecatrônico, e, mais recentemente, a possibilidade de atuação em regime de micropasso, fizeram com que os motores de passo passassem a ser utilizados numa ampla gama de aplicações em robótica e automação industrial, antes reservada aos servomotores CC de custo muito mais elevado.

Como é sabido, o motor de passo é um atuador do tipo digital. Na operação mais típica, a cada pulso recebido da unidade de controle, as correntes em suas fases são chaveadas e o rotor do motor avança, ou recua, um passo.

O ângulo do passo varia de motor a motor, mas, tipicamente, é de $1,8^\circ$. Este modo de operação confere ao motor de passo sua ampla versatilidade, tornando-o atraente para aplicações em malha aberta. Velocidade e posição são diretamente controladas pela frequência e número de pulsos enviados. Com a introdução das técnicas de micropasso, obtém-se resoluções de até $0,09^\circ$ o que resulta ótimas qualidades de posicionamento e uma operação suave livre de trepidações. Das muitas referências sobre motores de passo destacamos algumas (Kuo,1974), (Da Silva,1989) e (Parker Co,1997).

Um problema central na tecnologia de acionamento de motores de passo, consiste na necessidade de uma precisa regulação da corrente de fase e na capacidade de chaveá-la

em alta velocidade. Isto é, em princípio, complicado, pois como as fases são enrolamentos elétricos, representam cargas indutivas que não reagem linearmente a mudança de tensão.

A limitação da corrente de fase usando simplesmente um resistor em série, mostrou-se uma solução ruim para aplicações onde a corrente deve ultrapassar 1A. Assim, os acionamentos chopperizados, antes restritos aos motores de corrente contínua, passaram a ser utilizados, no contexto de motores de passo.

Uma dificuldade inerente aos acionamentos chopperizados convencionais, é a necessidade de monitoramento da corrente de fase. Este monitoramento é feito mediante a introdução de um resistor de baixíssima resistência ($0,2 \Omega$) em série com a fase, detectando-se a queda de tensão através dele. Esta tensão, proporcional à corrente, serve como informação para o corte da tensão principal.

Como o circuito chaveia correntes elevadas, existe o perigo do ruído eletromagnético gerado, contaminar a tensão de monitoramento, provocando chaveamentos em falso e fazendo com que o acionamento não opere de forma adequada.

Este problema tem sido contornado, nas placas comerciais, através de uma construção compacta e a introdução de alguns capacitores de filtragem.

O presente trabalho propõe uma alternativa em que o monitoramento da corrente é totalmente dispensado. Os primeiros testes foram realizados em janeiro de 2000, com um acionamento programado para operação em 1600 passos por volta. Os resultados obtidos, comparados com testes realizados anteriormente utilizando a tecnologia mais convencional, foram extremamente animadores.

Citamos alguns trabalhos anteriores (Ferreira et al.,1993), (Segenreich et al.,1997) e (Lima, 1997) desenvolvidos com este objetivo e que proporcionam uma leitura mais completa sobre o tema.

2. A TECNOLOGIA CONVENCIONAL DE ACIONAMENTO CHOPPERIZADO

O problema fundamental no acionamento de motores de passo, capazes de produzir torques em níveis desejados em automação e robótica (10 a 500 N.cm), é a necessidade de ligar e desligar correntes de fase em fração de segundos. No caso de utilização do acionamento em regime de micropasso, o problema se complica ainda mais, pois devemos produzir níveis intermediários de corrente em intervalos de tempo ainda menores.

A dificuldade neste controle decorre do fato de os enrolamentos do motor representarem cargas indutivas, o que faz com que a corrente seja uma função não linear da tensão, seguindo-a com atraso. As expressões (1) e (2) representam de forma aproximada o comportamento da corrente.

$$i = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (2)$$

onde:

- i - corrente
- V- tensão aplicada
- R- resistência ôhmica total
- τ - constante de tempo
- L - indutância da fase do motor

Existem duas técnicas básicas para energizar as fases. Em ambas, aplica-se uma tensão várias vezes superior à tensão nominal do motor, com o objetivo de estabelecer a corrente desejada no menor intervalo de tempo possível.

a- Limitação de Corrente por Resistência-

Consiste na colocação de um resistor em série com a fase. Este resistor tem o papel de limitar a corrente a seu valor nominal, já que a resistência ôhmica do enrolamento da fase é, em geral, baixa.

Esta técnica, a mais antiga em motores de passo, só tem sido aplicada com sucesso, para motores com pouca exigência de torque (impressoras, drivers, etc.). Nas aplicações típicas em automação ou robótica, onde a corrente de fase é superior a 1A, o resistor acaba dissipando muita potência inviabilizando sua utilização.

b- Limitação da Corrente por Ceifamento da Tensão (*chopper*)-

Neste caso, aplica-se a tensão elevada diretamente sobre a fase do motor. Quando a corrente alcança o valor desejado, a tensão é desligada fazendo com que a corrente passe a decrescer. Quando a corrente alcança um valor mínimo pré-determinado, ou após um tempo pré-fixado, a tensão é religada e o processo se repete. O fato da tensão ser ligada e desligada continuamente é que origina o nome *chopper* em inglês.

O acompanhamento da intensidade da corrente na fase é feito através da colocação de um resistor de sensoramento em série com a fase. Este resistor, tipicamente na faixa de $0,2\Omega$, gera uma pequena queda de potencial V_{sense} , suficiente para avaliar a corrente de fase segundo a expressão

$$i = V_{sense} / R_{sense} \quad (3)$$

Como a resistência deste resistor é muito baixa, a potência nele dissipada é desprezível.

Um acionamento chopperizado típico é mostrado na figura 1.

Imaginemos que num primeiro instante o transistor T1 está ligado. A corrente passa a circular pela fase com intensidade crescente. V_{sense} aumenta de forma proporcional a corrente até alcançar o valor máximo $V_{sense} = V_{ref}$. Neste ponto, o comparador A1 inverte o sinal, ressetando o flip flop FF1 e desligando o transistor. O transistor será religado na passagem da próxima frente de onda e o processo se repete. O nível médio da corrente desejada é determinado pelo de V_{ref}

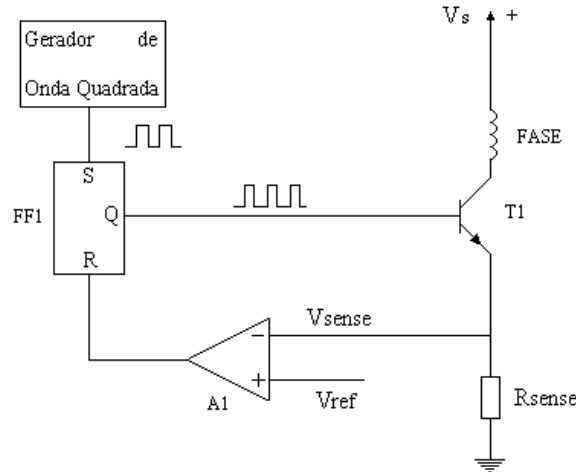


Figura 1 – Representação esquemática de um chopper convencional.

O circuito real é mais complexo pois ao invés de um único transistor, utilizam-se quatro, formando uma ponte em H, o que permite a inversão da corrente, mas o princípio de chopperização é o mesmo.

O chopper clássico aqui ilustrado, foi utilizado, originalmente, para o controle de servomotores de corrente contínua. A tensão V_{sense} era controlada à partir de um sinal de erro representando a diferença entre a velocidade angular programada e a velocidade angular real medida por um sensor de velocidade, numa típica configuração de malha fechada.

Há cerca de vinte anos, este tipo de circuito limitador de corrente passou a ser usado com motores de passo para superar os inconvenientes da limitação de corrente via resistor em série. O nível da corrente é pré programado via V_{ref} num valor próximo ao valor nominal. Mais recentemente, com a introdução de valores de passo fracionários ou micropassos, os valores intermediários de corrente passaram a ser obtidos via uma tabela de valores para V_{ref} que podem ser gerados em tempo real por software (Lima,1997) ou armazenados em EPROMS (Paniagua,2000).

Apesar de representar um grande avanço, o chopper descrito apresenta alguns inconvenientes no acionamento de motores de passo. Os dois principais inconvenientes são os seguintes:

- a - O resistor R_{sense} deve ser de indutância nula para não interferir no processo.
- b - O chaveamento das correntes nas fases gera um ruído eletromagnético que pode contaminar V_{sense} . Consequentemente, a linha de realimentação de V_{sense} deve ser curta e bem isolada, pois o ruído eletromagnético gerado pelo chaveamento das fases, pode gerar valores falsos de V_{sense} na entrada do comparador e consequentemente desligar a tensão prematuramente.

Tendo em vista estes problemas inerentes ao chopper clássico, e, mais, o fato de que no acionamento de motores de passo, a programação dos valores de V_{ref} é definida à priori, independentemente da real operação do motor, os autores passaram a examinar possibilidade de uma alteração conceitual no arranjo do chopper eliminando, por completo, R_{sense} e, consequentemente, a necessidade de V_{sense} .

3. UM NOVO ACIONAMENTO CHOPPERIZADO PARA MOTORES DE PASSO SEM A UTILIZAÇÃO DE R_{sense}

Nesta seção descreve-se o novo acionamento em que foi eliminada a linha de realimentação de V_{sense} . A figura abaixo apresenta de forma sucinta o novo circuito.

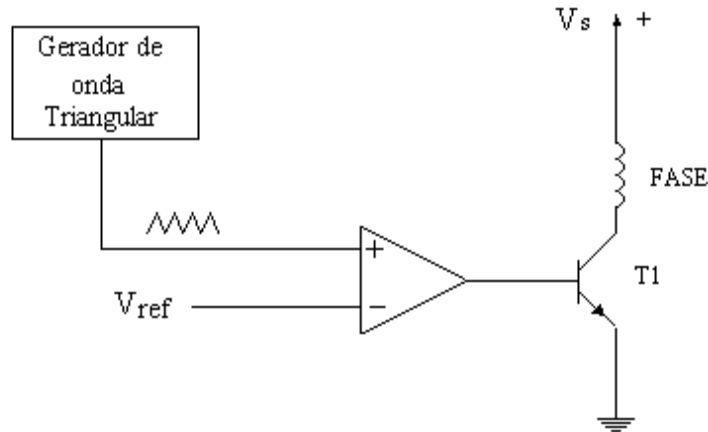


Figura 2 – Representação esquemática do chopper modificado sem R_{sense}

Segundo este arranjo, a largura de pulso durante a qual o transistor conduz é determinada diretamente pelo nível de V_{ref} . A figura abaixo mostra, com maior detalhe, a geração e o controle da largura do pulso.

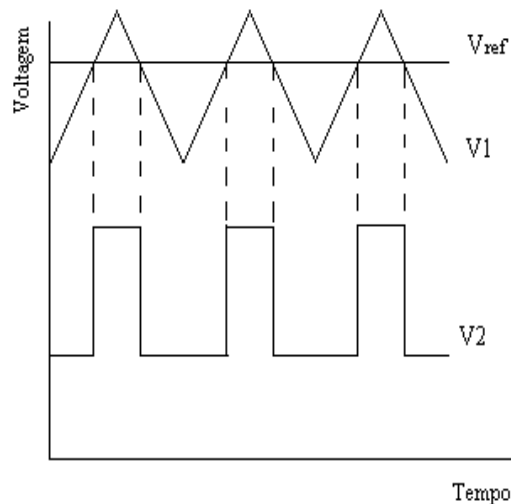


Figura 3 – Detalhe da geração dos pulsos com largura modulada por V_{ref} .

Para se testar o novo conceito foi montado um acionamento em micropasso com a resolução de 1600 passos por volta, já que dispunha-se de resultados para esta resolução

obtidos num acionamento clássico (com R_{sense}) permitindo uma comparação. O diagrama do circuito completo é mostrado na figura 4.

O sinal de sentido e os pulsos são enviados para um contador circular. A totalização da contagem, que pode ser para frente ou para traz dependendo do sinal de sentido, gera os valores dos endereços de entrada nas duas eproms. Os valores digitais de corrente para cada fase são transferidos das eproms para dois conversores D/A que geram as duas voltagens de referência

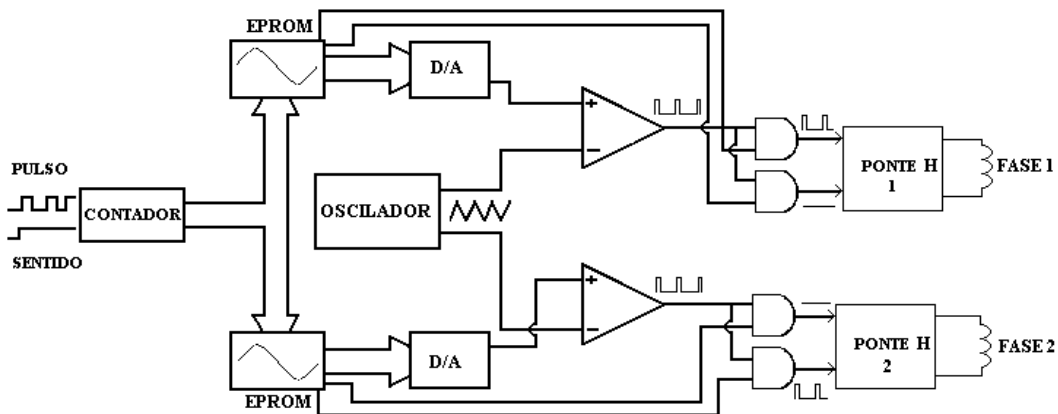


Figura 4 – Diagrama completo do chopper modificado proposto.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os testes realizados para avaliar o desempenho do novo acionamento visaram ao levantamento da curva torque limite versus velocidade do motor.

O arranjo experimental consistiu em pendurar uma massa, via corda de nylon, a uma polia acoplada ao eixo do motor, gerando um torque resistente conforme mostrado na figura abaixo.

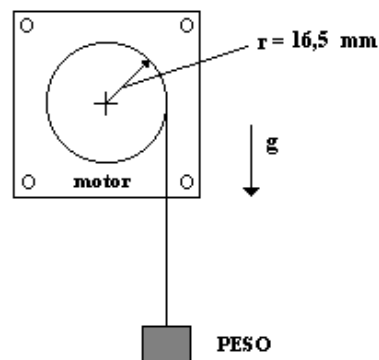


Figura 5 – Esquema de aplicação do peso para geração do torque resistente.

Para cada valor de massa, a velocidade angular era incrementada em cada corrida até detectar-se uma perda de passo (a posição angular do eixo ao final da corrida não mais coincidia com a posição inicial). Este valor de velocidade, representava o limite para aquela massa (torque).

Para se obter corridas mais confiáveis, o sistema de controle foi programado para executar quatro revoluções em cada sentido, repetindo-se o processo de forma contínua, por cinco vezes, num total de 40 revoluções completas.

Apresentamos, abaixo, os resultados para uma resolução de 1600 passos/volta para o acionamento convencional e o acionamento proposto.

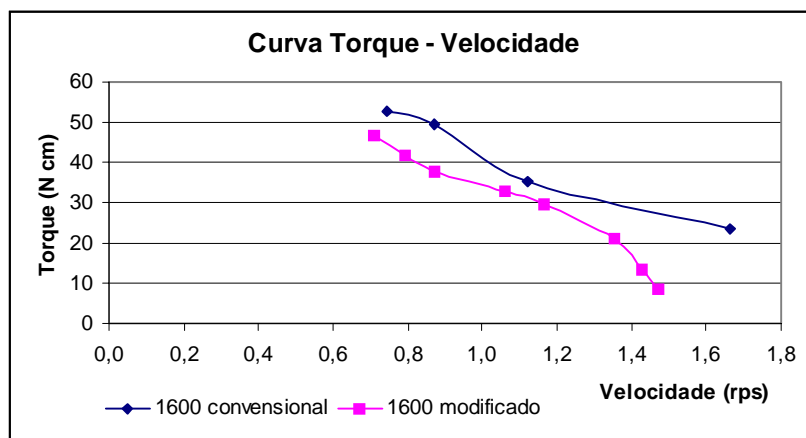


Figura 6 – Gráfico das curvas torque x velocidade angular para os dois acionamentos.

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados até agora obtidos, indicam um funcionamento suave com níveis de torque compatíveis com a tecnologia convencional. Os níveis de torque um pouco mais baixos obtidos com a nova placa, devem-se ao fato de termos limitado a largura do pulso a valores bem conservativos para não correr risco de queima de ponte o que comprometeria a obtenção dos primeiros resultados a tempo. Verificação dos sinais na entrada das pontes em H, feitas com auxílio de osciloscópio, mostram pulsos limpos sem contaminação de ruído. Cabe ressaltar que a placa resultou em menos componentes e com uma construção bem mais simples.

Testes adicionais estão sendo programados para avaliar todos os aspectos desta nova tecnologia e para otimizar os parâmetros objetivando uma melhoria adicional nas curvas torque x velocidade.

6. REFERÊNCIAS

- De Silva, C.W.,1989, “Control Sensors and Actuators”, Prentice Hall, New York.
- Ferreira, C.G. e Segenreich,S. A . ,1993, “Motor de Passo- Técnica de Acionamento Anti-ressonância”, Proceedings of the 12th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, Vol 1, pp-417-420.
- Kuo, B.K., 1974, “Theory and Applications of Step Motors”, West Publishing Co.
- Lima, R.V., 1997, “Análise e Desenvolvimento Experimental de uma Placa de Acionamento em Micropasso”,Tese de Mestrado, Depto. de Eng. Mecânica, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil.
- Parker Compumotor Division, 1997, ”Step Motors & Sevo Motors – Systems and Control Catalog, USA.
- Segenreich, S.A ., Lima,R.V. and Barros, L.A .,1997, ” Experimental Development of a Microstepping Driver for Increased Resolution and Low Vibration”, Proceedings of DINAME 97, Angara dos Reis , Brazil. Ed. by ABCM.
- Paniagua,J.V.,2000,” Acionamento de Motores de Passo em Micropasso : Duas Tecnologias”, Versão preliminar de Tese de Mestrado a ser Defendida em março de 2000, Depto. de Eng. Mecânica, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil.