

CONTROLE DE SISTEMAS DE FREIOS AUTOMOTIVOS VISANDO A MELHORIA DA SEGURANÇA NAS ESTRADAS

João Gabriel Queiroz de Araújo¹; Marcia Lissandra Machado Prado²

1. Bolsista PROBIC/UEFS, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: gabrielaraujo18@gmail.com
2. Orientadora, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marcia.lissandra@gmail.com

Palavras-chave: *Antilock Braking Systems*, Sistemas de Controle, Controle Modo Deslizante

INTRODUÇÃO

A cada dia que passa o número de acidentes com automóveis nas estradas do Brasil e do mundo aumenta de forma preocupante e, por mais treinado e habilidoso que possa ser o motorista, às vezes é inevitável que ele se envolva em algum acidente. Na maioria das vezes esses acidentes são causados por falha humana, ou então pelo fato do motorista não conseguir desviar de um determinado obstáculo em tempo hábil para evitar uma colisão.

Pensando neste segundo problema, foram criados os freios do tipo *Antilock Braking Systems* (ABS) que foram projetados para evitar que as rodas do automóvel travem e que o motorista mantenha o controle do automóvel durante o processo de frenagem, principalmente em situações severas como em pista escorregadia e com freadas bruscas (Lima, 2005).

O grande problema dos freios ABS é quanto a sua adaptação a diversos terrenos e condições climáticas. Dependendo de quais sejam as condições da pista ou do terreno em questão, o freio ABS deve se comportar de forma diferente para compensar o maior ou menor atrito que estejam sendo produzidos pelo conjunto pneu-pista. Manter um nível de escorregamento do pneu aceitável nem sempre é possível com as abordagens de controle do freio utilizadas atualmente. Por exemplo, em uma pista seca o coeficiente de atrito é maior do que com a mesma pista molhada ou com gelo. Essas mudanças ocorrem de tal forma que não dá para fazer uma previsão matemática exata do comportamento do veículo em situações diferentes. Sem falar que o próprio sistema de freios ABS é um sistema não-linear, o que torna o projeto de um controlador específico muito mais complexo (Lima, 2005).

Uma das abordagens que vem sendo utilizada para resolver este problema é a utilização de controladores em modo deslizante. Esse tipo de controlador, diferentemente dos controladores convencionais, trabalha com sistemas numéricos não-lineares podendo controlar melhor o nível de escorregamento que o sistema pneu-pista possa sofrer. Existem diversas pesquisas realizadas com esses controladores em conjunto com freios ABS e que utilizam formas diferentes para se chegar a um ponto de escorregamento aceitável como os trabalhos feitos por Lin & Hsu, (2003); Siqueira, (2005); Lima, (2005); Harifi *et al.*, (2008) entre outros.

Este trabalho visa levantar quais tipos de controladores estão sendo aplicados nos sistemas de freios ABS na literatura, começando pelo controlador em modo deslizante e verificando quais outros tipos podem ser aplicados. Além disso, pretende-se apresentar quais são as técnicas mais adequadas através de simulações, e descrevendo as vantagens e desvantagens das mesmas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foi usado basicamente o software de simulação MATLAB[®], mais especificamente a ferramenta de simulação Simulink que faz parte do pacote do programa. Foram usados também diversos artigos, a grande maioria publicados pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) ou por outros institutos de renome internacional e livros que abordam o conteúdo, desde a engenharia mecânica empregada no conjunto de freios do veículo até o funcionamento do ABS.

O equacionamento da dinâmica do veículo com ABS é o resultado da aplicação da lei de Newton às rodas e ao próprio veículo. A dinâmica é determinada pela soma de todas as forças aplicadas ao veículo durante o processo de frenagem (Lin & Hsu, 2003). A equação da dinâmica é dada por Lin & Hsu (2003) como:

$$\dot{V}_v(t) = \frac{-1}{M_v} [4F_t(t) + B_v V_v(t) + F_\theta(\theta)]$$

Na equação acima, temos $V_v(t)$, que é a velocidade do veículo, M_v é a massa do veículo, B_v é o atrito viscoso do veículo, $F_t(t)$ é a força de tração e $F_\theta(\theta)$ é a força aplicada ao carro resultante de um gradiente vertical da estrada.

Para achar a dinâmica da roda, os torques que são aplicados às rodas no momento da frenagem são somados, tendo então (Lin e Hsu, 2003):

$$\dot{w}_w(t) = \frac{1}{J_w} [-T_b(t) - B_w w_w(t) + T_t(t)]$$

Onde $w_w(t)$ é a velocidade angular da roda, J_w é a inércia de rotação da roda, $T_b(t)$ é o torque de freio e $T_t(t)$ é o torque gerado dependendo do escorregamento entre a roda e a estrada que em geral é uma função de $F_t(t)$ e R_w , que é o raio da roda do veículo (Lin & Hsu, 2003).

O objetivo do controle de ABS é regular o deslizamento da roda e de maximizar o coeficiente de atrito entre a roda e a estrada para qualquer dada superfície de estrada. Em geral, o coeficiente de atrito μ durante a operação de frenagem pode ser descrito como uma função do escorregamento λ que é uma tensão na banda de rodagem da área de contato do pneu com a pista. O escorregamento é dado por Lin & Hsu (2003) como a diferença da velocidade angular do veículo $w_v(t)$ pela velocidade angular da roda dividida pela própria velocidade angular do veículo:

$$\lambda(t) = \frac{w_v(t) - w_w(t)}{w_v(t)}$$

O objetivo do controle é encontrar uma lei de controle de modo que o escorregamento possa seguir uma trajetória desejada $\lambda_d(t)$. Lin & Hsu (2003) definiram o erro associado ao escorregamento como:

$$\lambda_e(t) = \lambda_d(t) - \lambda(t)$$

onde $\lambda(t)$ é a saída e $\lambda_d(t)$ é a trajetória de referência, que é especificado pelo comando da entrada $\lambda_c(t)$ seguido por um modelo de referência, que é o modelo a ser seguido para que o sistema obtenha estabilidade. Logo após é definida uma superfície de deslizamento $s(t)$ como:

$$s(t) = \lambda_e(t) + k_1 \int_0^t \lambda_e(\tau) d\tau$$

onde k_1 é uma constante positiva. Unsal & Karchroo (1999) definiram a lei de controle em modo deslizante como:

$$u_{sm}(t) = u_{eq}(t) + u_{ht}(t)$$

onde $u_{eq}(t)$, que é um sinal de controle equivalente, dado por:

$$u_{eq}(t) = G_n^{-1}[-F_n(\lambda, t) + \dot{\lambda}_d(t) + k_1\lambda_e(t)]$$

e o sinal de controle de acertos $u_{ht}(t)$ é projetado para dissipar as incertezas de forma que:

$$u_{ht}(t) = G_n^{-1}[W \cdot \text{sgn}(s(t))]$$

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos na simulação do controlador em modo deslizante foram realizados no software MATLAB[®] e foi conseguido um resultado bastante próximo ao esperado no modelo matemático proposto por Lin & Hsu (2003). Abaixo estão os gráficos obtidos na simulação.

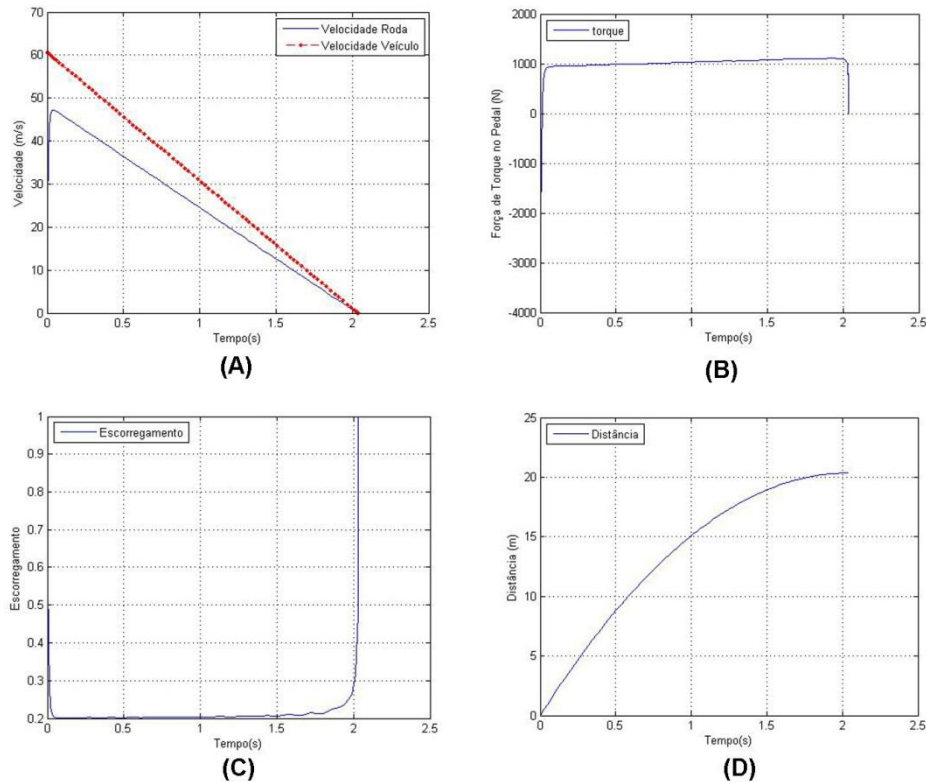


Figura 1: Resultados obtidos da simulação do controlador em Modo Deslizante. A – Velocidade do veículo e da roda no processo de frenagem; B – Torque gerado pelo controlador; C – Escorregamento gerado no processo de frenagem; D – Distância de parada do veículo.

Na Figura 1(A) é mostrado o decaimento da velocidade do veículo durante o processo de frenagem. O veículo demora cerca de 2 segundos para parar completamente. A Figura 1(B) mostra a força de torque gerada como resposta pelo controlador. Na simulação esse torque é definido para ser no máximo 1200Nm, com o valor mostrado no gráfico ele se mantém nas especificações retornando a zero no momento em que a velocidade do veículo chega a zero. Esse controlador foi projetado para manter o nível de escorregamento durante a frenagem em 0.2 e como visto na Figura 1(C) esse valor se mantém na simulação sem grandes oscilações

confirmando a estabilidade do sistema. A Figura 1(D) mostra a distância de parada do veículo durante a simulação.

CONCLUSÕES

Durante a simulação o controlador em modo deslizante se comportou da maneira esperada realizando o processo de frenagem em um tempo de mais ou menos 2 segundos. Esse tempo varia conforme a velocidade usada na simulação é modificada. Por se tratar de um problema complexo a sua implementação demorou um pouco mais que o previsto, entretanto os resultados obtidos até agora foram bastante animadores.

REFERÊNCIAS

- BOSCH, R. *Manual de Tecnologia Automotiva*. 25^a. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- HARIFI, A. et al. Designing a sliding mode controller for slip control of antilock brake systems. *Science Direct*, n. 16, p. 731-741, Fevereiro 2008.
- KAWAGUCHI, H. Comparação da análise de conforto de frenagem subjetiva X objetiva de um veículo de passeio. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 101. 2005, MSc diss.
- LIMA, J. D. J. B. Sistema Antibloqueio (ABS) para Freios Eletromecânicos Utilizando Controle por Modo Deslizante. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 124. 2005, Tese.
- LIN, C.-M.; HSU, C.-F. Self-Learning Fuzzy Sliding-Mode Control for Antilock Braking Systems. *IEEE T CONTR SYST T*, Março 2003. 273-278.
- OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. 4^a. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2003.
- OLIVEIRA, T. R. D. Controle por Modos Deslizantes de Sistemas Incertos com Direção de Controle Desconhecida. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 196. 2006, MSc diss.
- RIBEIRO, J. M. D. S. Controle Discreto com Modos Deslizantes em Sistemas Incertos com Atraso no Sinal de Controle. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, p. 126. 2006, Tese.
- SIQUEIRA, T. C. P. A. Sistemas de Controle Automotivo. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 79. 2005, Monografia.
- SLOTINE, J. J. E.; LI, W. *Applied Nonlinear Control*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1991.
- SONTAG, E. *Mathematical Control Theory: Deterministic Finite Dimensional Systems*. 2^a. ed. [S.l.]: Springer, 1998.
- UNSAI, C.; KARCHROO, P. Sliding Mode Measurement Feedback Control for Antilock Braking Systems. *IEEE T CONTR SYST T*, vol. 7, pp. 271-280, 1999.
- UTKIN, V. I. Variable Structures Systems with Sliding Modes. *IEEE T AUTOMAT CONTR*, Abril 1977. 212-222.