

CONTROLE PARA SISTEMA DE SUSPENSÃO ELETROMAGNÉTICA PARA TRENS UTILIZANDO ESTRUTURA VARIÁVEL E MODOS DESLIZANTES COM INCERTEZAS

Giovana Miguel Zanella, Lizete Maria Crwkowise Fernandes Garcia, Renata Monteiro Pascoal – Controle de Sistemas Mecânicos - Engenharia Elétrica – Departamento de Matemática – Faculdade de Engenharia – Campus Ilha Solteira. Bolsa: PET

Controle com estrutura variável e modos deslizantes vem sendo muito utilizado em algumas áreas como, por exemplo, controle automático, sistemas de veículos espaciais, sistemas de direcionamento de mísseis, sistemas robóticos, processos industriais e de produção entre outros. Basicamente, este tipo de controle tem como principais características robustez na estabilidade e no desempenho diante de determinadas classes de incertezas e não linearidades.

Um sistema de Controle com Estrutura Variável e Modos Deslizantes (CEV/MD) é caracterizado por uma lei de controle que é chaveada quando o estado do sistema cruza certas superfícies descontínuas no espaço de estados. Esta estrutura de controle é usualmente não linear e resulta em um sistema com estrutura variável que pode ser considerado como uma combinação de subsistemas, cada um com uma estrutura fixa e que opera em uma região específica do espaço de estados. Assim, a estratégia de CEV/MD utiliza uma lei de controle chaveada para conduzir e manter a trajetória dos estados de uma planta em uma superfície específica (chamada superfície de deslizamento ou superfície de chaveamento), ou sobre a intersecção de todas as superfícies escolhidas no espaço de estados. Quando a trajetória dos estados atinge esta superfície e nela permanece, diz-se que o sistema está na condição de deslizamento ou em modo deslizante.

A existência de um modo deslizante requer a estabilidade da trajetória de estado para a superfície de deslizamento. Uma lei de controle chaveada deve então ser projetada para assegurar que a trajetória de estados se dirija à superfície de deslizamento (alcançabilidade) e nela permaneça durante todo o tempo subsequente (atratividade).

Assegurar a existência de um modo deslizante na superfície de deslizamento é um caminho necessário no projeto de CEV/MD. Projetar a dinâmica da superfície é um caminho complementar do problema.

Assim, são duas as etapas principais:

Projeto de uma superfície de deslizamento, tal que a dinâmica da planta, quando em deslizamento, tenha uma trajetória desejada;

Desenvolvimento de uma lei de controle tal que satisfaça as condições de existência e alcançabilidade ao modo deslizante.

Neste trabalho iremos tratar do controle de um sistema de suspensão eletromagnética para trens que se deslocam sobre um colchão de ar, conhecido como trem de levitação magnética (maglev).

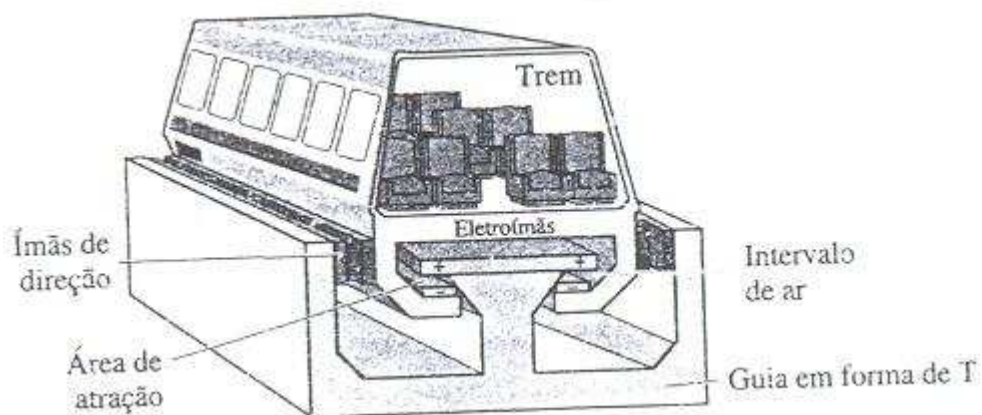


Figura 1: Trem de levitação magnética (maglev).

Os veículos são suspensos sobre uma guia acima da via de circulação e acionados por meio de forças magnéticas em vez de depender de rodas ou de flocos aerodinâmicas. A propulsão dos veículos é fornecida por meio de eletroímãs. Sua distância de levitação $y(t)$ é inerentemente instável, portanto um controle do entreferro torna-se necessário.

O modelo de levitação é dado por:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{V(s)} = \frac{K}{(s\tau_1 + 1)(s^2 - \omega_1^2)} \quad (1)$$

onde $V(s)$ é a tensão elétrica aplicada à bobina; τ_1 é a constante de tempo do imã e ω_1 é a frequência natural. O sistema utiliza um sensor de posição com uma constante de tempo insignificante. Um trem se deslocando a uma velocidade de 250Km/h tem $\tau_1 = 0,75$ segundo e $\omega_1 = 75$ rad/s. Utiliza-se o valor de $K=2$. A partir da função de transferência do sistema foram obtidas as equações do sistema no espaço de estados:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} -0,0133 & 56,24 & -1,0 & 74,9733 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Foi projetada uma superfície de deslizamento, tal que a dinâmica da planta, quando em deslizamento, tivesse uma trajetória desejada e desenvolvida uma lei de controle que satisfizesse as condições de existência e alcançabilidade ao modo deslizante.

O programa para controle do sistema foi desenvolvido no software MATLAB-Simulink.

Foram feitas simulações para observar se o intervalo de ar desejado no entreferro foi obtido. Para verificar a eficácia do controle com estrutura variável foram feitas simulações utilizando três estruturas de controle: controle convencional por realimentação de estados com influência das incertezas (figura 2), controle com estrutura variável, sem influência de incertezas (figura 3) e controle com estrutura variável com influência de incertezas (figura 4).

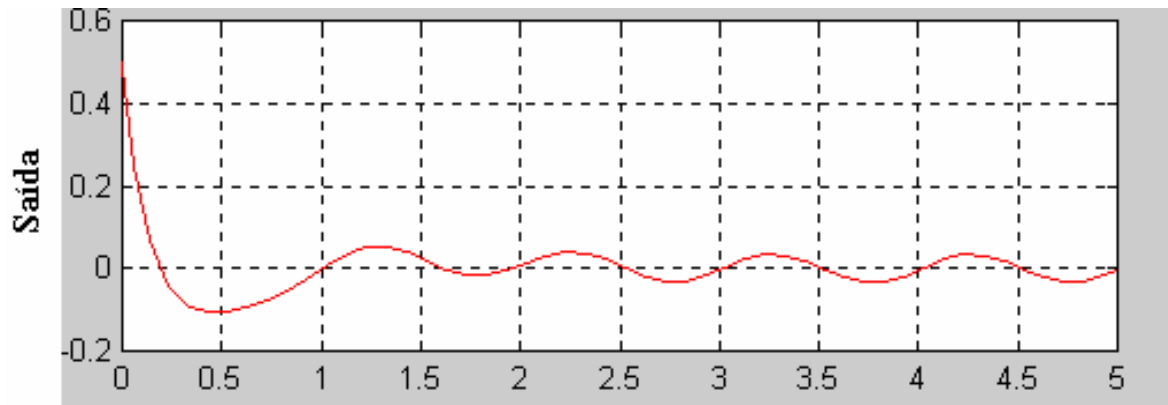


Figura 2: Controle convencional por realimentação de estados com influência das incertezas.

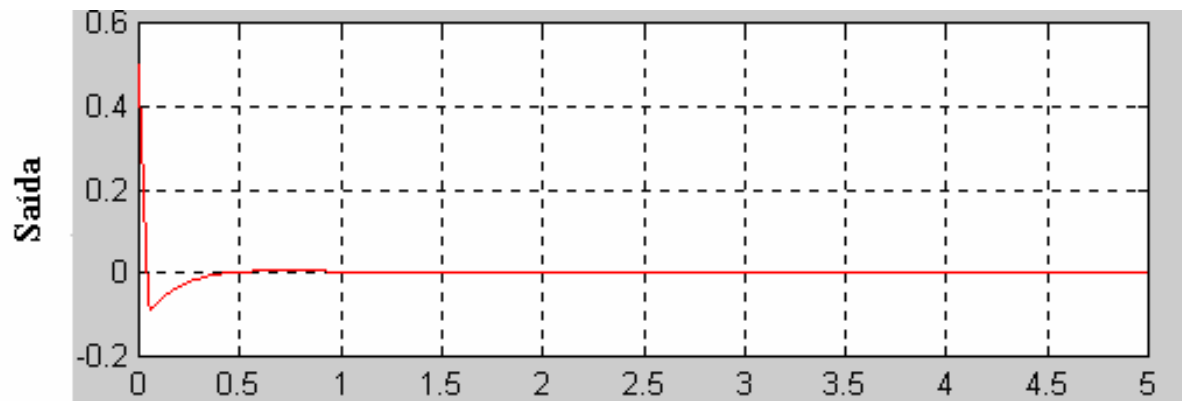


Figura 3: Controle com estrutura variável, sem influência de incertezas.

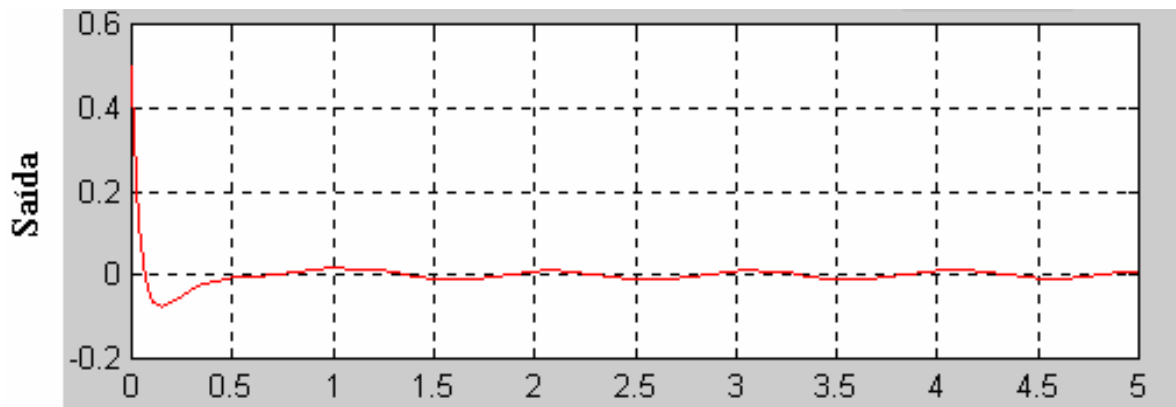


Figura 4: Controle com estrutura variável com influência de incertezas.

Pode-se observar, através das simulações, que o controle com estrutura variável foi mais eficaz para estabilizar o sistema, que manteve uma levitação precisa e estável mesmo quando foram introduzidas perturbações, do tipo senoidal, ao longo da via férrea.

Idealmente o sistema de levitação magnética pode oferecer as vantagens ambientais e de segurança de um trem de alta velocidade, a velocidade e o baixo atrito de uma aeronave e a conveniência de um automóvel. Podendo compartilhar todos esses atributos, o sistema de levitação magnética é uma nova forma de locomoção, reduzindo congestionamentos.

Referências Bibliográficas

- [1] Spurgeon, S. K.; Edwards, C., Sliding Mode Control, Taylor & Francis, Bristol, 1900.
- [2] OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno, 4ª edição, Prentice Hall, São Paulo, 2003.
- [3] Dorf, Richard C; Bishop H. Robert, Sistemas de Controle modernos, 8ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2001.
- [4] De Carlo, R.A., Zak, S.H. and Matthews, G.P., 1988, Variable structure control of nonlinear multivariable systems: a tutorial, Proceedings of IEEE 76, 212-232.

Bolsa: PET – SESu/MEC