

# MÓDULO 1 - PROCESSO MASSA MOLA

EDUARDO RODRIGUES CORDEIRO,\*PEDRO HENRIQUE DE MENEZES COSME†

Emails: eduardorc14@ufmg.br, pedrocosme@ufmg.br

**Abstract**— This work details the mathematical modeling of the ECP Model 210 mass-spring system to obtain a fourth-order model. Physical parameters of mass ( $m$ ), spring constant ( $k$ ), and damping ( $b$ ) were experimentally identified through open-loop tests (step and free response) on simplified configurations. From the data, intermediate second-order models were estimated, which provided the basis for calculating the physical parameters. The final model, expressed in transfer functions, was validated by comparing its simulated response with experimental data, showing good agreement.

**Keywords**— Control Systems, Mass-spring, Position Control, Mathematical Model.

**Resumo**— Este trabalho detalha a modelagem matemática do sistema massa-mola ECP Model 210 para obter um modelo de quarta ordem. Parâmetros físicos de massa ( $m$ ), constante elástica ( $k$ ) e amortecimento ( $b$ ) foram identificados experimentalmente através de ensaios em malha aberta (resposta ao degrau e livre) em configurações simplificadas. A partir dos dados, foram estimados modelos intermediários de segunda ordem, que serviram de base para o cálculo dos parâmetros físicos. O modelo final, expresso em funções de transferência, foi validado pela comparação de sua resposta simulada com dados experimentais, demonstrando boa correspondência.

**Palavras-chave**— Sistemas de controle, Massa-mola, Controle de posição, Modelo matemático

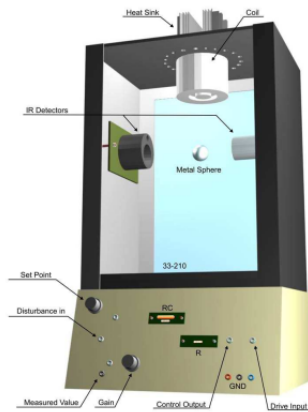


Figura 1: Unidade de Levitação Magnética [1]

## 1 Introdução

A levitação magnética é um fenômeno físico no qual um objeto é sustentado no espaço sem contato físico com uma superfície, utilizando apenas forças magnéticas. Essa técnica se baseia no princípio de que polos magnéticos opostos se atraem, enquanto polos iguais se repelem, permitindo que campos magnéticos sejam empregados para suspender objetos contra a força da gravidade. Sistemas de levitação magnética apresentam diversas aplicações, como trens Maglev de alta velocidade, rolamentos magnéticos, que se beneficiam da ausência de contato físico, resultando em baixo atrito no rolamento. A unidade de levitação magnética possui em sua base a interface de conexão, sobre a qual está montada a unidade mecânica em que a bobina produzirá os efeitos magnéticos. Ela apresenta um sensor infra-vermelho em ambas as laterais da unidade, além da esfera magnética, vide Figura 1. Nesse contexto, o estudo e desenvolvimento de

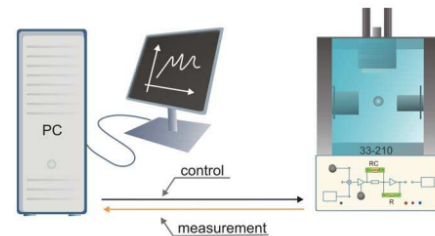


Figura 2: Sistema de Controle [2]

Figura 2: Sistema de Controle [1]

controle para esses sistemas mostram-se fundamentais para possibilitar aplicações práticas. Assim, este trabalho propõe a análise e controle de um sistema de levitação magnética utilizando métodos clássicos de controle, com o objetivo de regulação em ponto de operação da esfera pela unidade de levitação magnética.

## 2 Descrição da Planta

A planta utilizada para estudo é mostrada na Figura 2. O sistema apresentado funciona da seguinte forma:

- Um computador, equipado com uma placa de aquisição de dados da Advantech, funciona como unidade central de controle em conjunto com os ambientes MATLAB e Simulink. Os sinais de controle, variando entre -5V e 5V, são enviados ao módulo do levitador, que os converte em corrente elétrica aplicada à bobina, gerando o campo magnético responsável pela levitação.
- A posição da esfera magnética é detectada por

um sensor infravermelho integrado à estrutura do sistema. Esses dados de posição são transmitidos ao computador por meio da interface de comunicação, onde os algoritmos de controle implementados pelo Simulink processam as informações e ajustam o sistema em tempo real.

## 2.1 Variáveis do Processo

**Variável Manipulada:** Tensão de controle aplicada ao Levitador Magnético.

**Variável Medida:** Posição da esfera, medida pelo sensor infravermelho, convertida em sinal de tensão.

**Variável de Referência:** Posição desejada esfera, set-point.

## 2.2 Sensores e Atuadores

**Planta** A unidade mecânica do sistema de levitação magnética.

**Sensor** Sensor infravermelho usado para medir a posição vertical da esfera suspensa no ar.

**Atuador** Circuito de controle que aplica a tensão ao núcleo magnético, gerando o campo magnético para levitar a esfera.

## 2.3 Perturbações e Não Linearidades

**Perturbações** O sistema pode ser afetado por vibrações externas, variações na carga, que podem comprometer a estabilidade da esfera em levitação.

**Não Linearidades** O sistema apresenta característica não linear devido à natureza da força de atração eletromagnética, que pode ser expressa pela seguinte equação:

$$F_M = k \frac{i^2}{x^2} \quad (1)$$

em que,  $F_M$  representa a força magnética,  $i$  é a corrente aplicada à bobina,  $x$  é a distância vertical da esfera em relação ao sensor, e  $k$  é uma constante do sistema.

# 3 Especificações de Desempenho Desejado

## 4 Modelagem Matemática

## 5 Identificação por Resposta em Frequência

## Referências

de Oliveira, J. C. R. (2011). *Módulo Massa-Mola ECP*, Universidade Federal de Minas Gerais.

Mozelli, L., Tôrres, L. and Alves Neto, A. (2020). *Módulo 1 Processo Massa Mola - Laboratório Remoto*.

Parks, T. (1999). *Manual for model 210/210a rectilinear control systems*, Educational Control Products, Bell Canyon.

(Mozelli et al., 2020) (de Oliveira, 2011) (Parks, 1999)