

# Laboratório de CEME - Lab 2

## Simulação de um sistema eletromecânico: Contatora

Cleiton M. Freitas

### 1 Objetivo

O objetivo desta experiência é montar a simulação de um sistema eletromecânico simples, o sistema de uma contatora. Para isso, combinaremos os métodos aprendidos na aula teórica com a metodologia de simulação utilizada no **LAB 1**.

### 2 A contatora

Uma contatora é um sistema geralmente utilizado como chave eletromecânica. Ou seja, quando injetamos corrente na sua bobina, a parte móvel do núcleo é atraída para uma posição de forma a fechar ou abrir um circuito. Uma boa descrição do funcionamento de uma contatora é encontrada em [1] e [2].

A Figura 1 apresenta o diagrama com dois estados de uma contatora similar àquela explicada em [1, 2]. Como pode ser observado, a contatora possui um núcleo dividido em duas partes, uma delas fixa e outra móvel, uma bobina e uma mola. A bobina é enrolada em um carretel, não representado aqui, que serve de suporte para a mola. Assim, o formato da bobina se manterá inalterado independentemente da condição da mola. Quando a corrente na bobina é nula, a mola empurra a parte móvel do núcleo para longe da parte fixa. Quando injetamos corrente, a força magnética produzida gera uma atração entre as diferentes partes do núcleo e, conseqüentemente, a mola é contraída. A Figura 1b apresenta o caso extremo, onde as duas partes do núcleo se tocam, mas a compressão da mola (e a distância entre as partes do núcleo) vai depender da quantidade de corrente injetada na bobina.

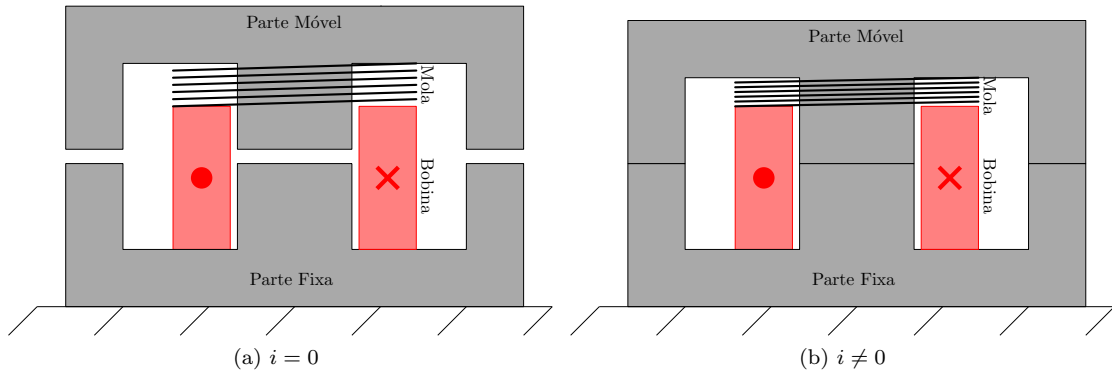


Figura 1: Esquema de uma contatora

### 3 Desenvolvimento das Simulações

Como no caso anterior, a simulação deverá ser capaz de calcular a resposta dinâmica do sistema para um conjunto de variáveis. Neste caso, a corrente da bobina ( $i$ ), a posição ( $x$ ) e a velocidade ( $v$ ) da parte móvel do núcleo. A Figura 2 apresenta um novo diagrama da contatora, desta vez omitindo a mola para facilitar a análise da parte magnética. Observe que todos os diagramas representam a vista superior da contatora, ou seja, o sistema está deitado e não sofre atuação da

força da gravidade. Além disso, as duas partes do núcleo são simétricas, ou seja, as cotas da parte fixa (inferior) são iguais as da parte móvel (superior).

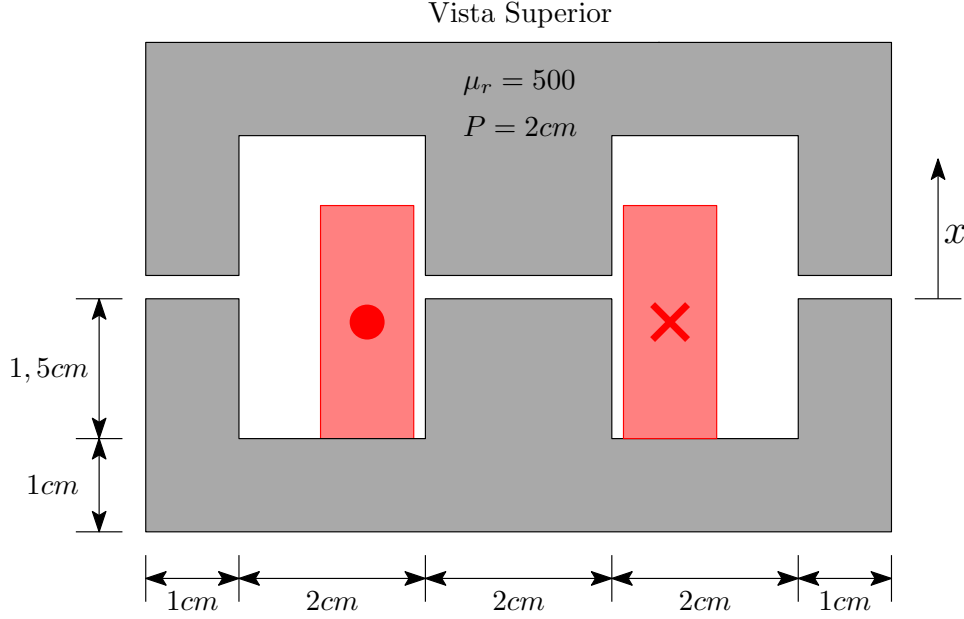


Figura 2: Diagrama da contatora com as devidas cotas

Como esperado, para simular a dinâmica do sistema, deveremos obter três equações diferenciais<sup>1</sup>:

$$\frac{di}{dt} = f_1(x, i, v) \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = f_2(x, i, v) \quad (2)$$

$$\frac{dv}{dt} = f_3(x, i, v) \quad (3)$$

Para obter a equação diferencial da corrente, devemos seguir um procedimento parecido ao utilizado no **LAB 1**. Ou seja, devemos obtê-la a partir da manipulação da equação de malha do circuito elétrico da Figura 3. Neste circuito,  $V_{in}$  é uma tensão constante que alimentará a bobina e  $e$  é a tensão induzida da bobina.

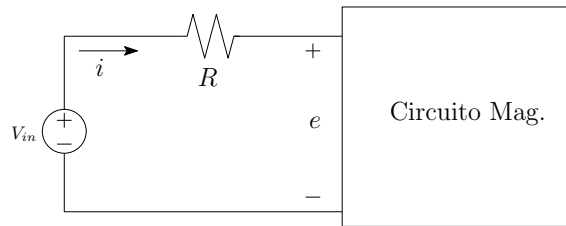


Figura 3: Interface eletromagnética do sistema

Para obter as equações mecânicas, ou seja, as equações diferenciais de  $x$  e  $v$ , devemos recorrer aos nossos conhecimentos de física básica. Assim:

$$ma = \sum \text{Forças} \quad (4)$$

onde  $m$  e  $a$  são a massa e a aceleração da parte móvel. Considerem três forças no sistema, a força magnética, a força da mola e a força do atrito aerodinâmico ( $-bv$ , onde  $b$  é o coeficiente de atrito). Lembrem que as equações devem estar em função de  $x$ ,  $v$  e  $i$ . Ou seja, o  $a$  não pode aparecer. A equação diferencial de  $x$  é direta, ou seja, é uma definição geral da cinética.

<sup>1</sup>Embora tenha escrito  $f_1$ ,  $f_2$  e  $f_3$  com três variáveis,  $x$ ,  $i$  e  $v$ , nem todas funções terá as três variáveis

## 4 Tarefas Iniciais

1. Obter a indutância do circuito em função da posição  $x$  da parte móvel do núcleo.
2. Calcular a força magnética em função da posição  $x$  e da corrente  $i$ .
3. Obter a equação diferencial de corrente
4. Obter a equação diferencial da posição  $x$
5. Obter a equação diferencial da velocidade  $v$

## 5 Dados do Problema

Tabela 1: Parâmetros da Contatora

Parâmetro	Notação	Valor
Massa da parte móvel	$m$	$100g$
Coefficiente de atrito aerodinâmico	$b$	$0.2 \text{ kg/s}$
Número de Espiras	$N$	$1000$
Resistência da Bobina	$R$	$1k\Omega$
Constante de força da mola	$k$	$1 \text{ kg/s}^2$
Comprimento da mola quando não estressada	$x_r$	$1cm$
Tensão de alimentação	$V_{in}$	-

## 6 Casos Teste

Os casos teste serão divididos em três partes: a parte 1 servirá simplesmente para analisar a parte mecânica do sistema; a parte 2 servirá para analisar a interação eletromecânica e as limitações da análise; e a parte 3 para. Em todos os casos utilizaremos vetores com 10000 pontos.

### 6.1 Parte 1: limites da análise - precisão

Primeiramente:

- Configure a tensão de alimentação para 20V;
- Configure a corrente inicial e a velocidade inicial para 0 (zero);
- Configure a posição inicial para  $x_r$ , ou seja, a condição em que a mola está relaxada;
- Antes de simular, tente imaginar o que deveria acontecer;
- Execute a simulação para 10s;
- O que você imaginou aconteceu nos resultados?
- analise em especial o comportamento da corrente e da posição. Talvez seja necessário dar uma zoom no gráfico de corrente. Use o comando `plt.xlim(...)` para isso.

Em seguida, repita a simulação anterior, mas desta vez considerando um tempo final de simulação de 10ms. Que diferença é observado especialmente com a corrente? Porque ocorreu esta diferença?

### 6.2 Parte 3: limites da análise - limites mesmo

Repita o item anterior, desta vez considerando 35V de alimentação e um tempo de simulação de 20s. O que aconteceu com os resultados e como você pode interpretar isso?

### 6.3 Parte 4: Testes

Faça 3 simulações de 10s, uma com a tensão de alimentação de 10V, outra 20V e outra 34V. Anote os valores de regime permanente da corrente e da posição e use-os para calcular a força magnética em cada um dos casos.

### Referências

- [1] E. Faustino, “Como funciona o contator?.” <https://www.youtube.com/watch?v=JHKL6CwKntQ&t=181s>, 2020. Acessado em 06 de set. de 2021.
- [2] Mundo da Elétrica, “Contator - funcionamento interno!.” <https://www.youtube.com/watch?v=OKiCSIbYXBU>, 2014. Acessado em 06 de set. de 2021.