

# Modelagem e simulação de um motor CC simples usando solidThinking Activate

## Motor CC simples

A velocidade de rotação do rotor de um motor CC é controlada pela aplicação de uma tensão contínua  $V$  ao enrolamento de armadura, que é modelado como um circuito RL em série. Esta tensão CC aplicada produz uma corrente de armadura. A constante de torque do motor,  $K_t$ , que depende do número de espiras da armadura, converte essa corrente em um torque eletromagnético,  $T_e$ . Quando o motor está alimentando uma carga, a diferença entre o torque eletromagnético e o torque de carga,  $T_{load}$ , produz um torque aplicado e uma aceleração angular não-nula, causando a variação a velocidade de rotação do rotor,  $\dot{\theta}$ . A medida que a velocidade do rotor aumenta, uma tensão contra-eletromotriz,  $V_{bemf}$ , é produzida, o que limita a corrente de armadura e a velocidade do rotor. A tensão contra-eletromotriz é relacionada à velocidade do rotor pela constante contra-eletromotriz,  $K_{bemf}$ .

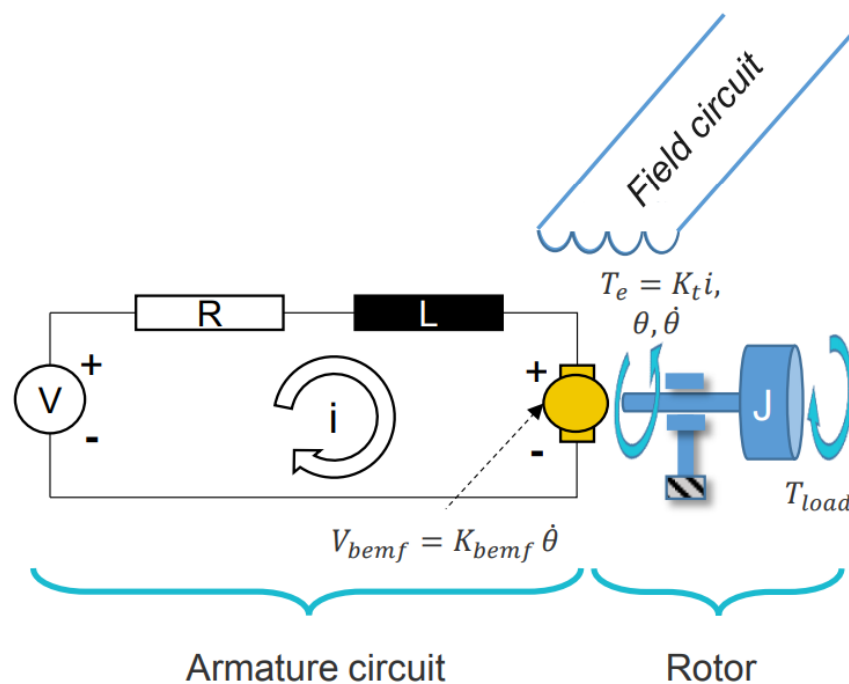


Figura 1: Esquema de funcionamento de um motor elétrico

# Objetivos

Aprender a:

- transcrever sistemas elétricos em diagramas de bloco no Activate;
- validar ou mudar os parâmetros do motor através de constantes de tempo.

## Conhecimento teórico e como implementá-lo usando Activate

Passo 1: Construção das equações

- 1.1: Torque do motor e constante contra-eletromotriz
- 1.2: Circuito elétrico
- 1.3: Circuito mecânico

Passo 2: Implementação usando Activate

Passo 3: Constantes de tempo elétricas e mecânicas

Passo 4: Validação dos resultados

## Passo 1: Construção das equações

Passo 1.1: Torque do motor e constante eletromotriz

Para a parte mecânica, o torque pode ser relacionado a corrente pela seguinte equação:

$$T = K_t i$$

Já na parte elétrica, a força contra-eletromotriz pode ser relacionada a velocidade de rotação do motor por:

$$V_{bemf} = K_{bemf} \dot{\theta}$$

Em unidades SI:

$$K_{bemf} = \frac{Vs}{rad} = \frac{Nm}{A} = K_t$$

$$\frac{Vs}{rad} = \frac{(kgm^2s^{-3}A^{-1})s}{1\left(\frac{m}{m}\right)} = \frac{kgm^2}{s^2A} = \frac{Nm}{A}$$

$$K_{bemf} = K_t := K$$

### Passo 1.2: Circuito elétrico

Pelas Leis de Kirchoff:

$$V = V_r + V_L + V_{bemf}$$

$$V = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} + K\dot{\theta}$$

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{1}{L}(V - Ri - K\dot{\theta})$$

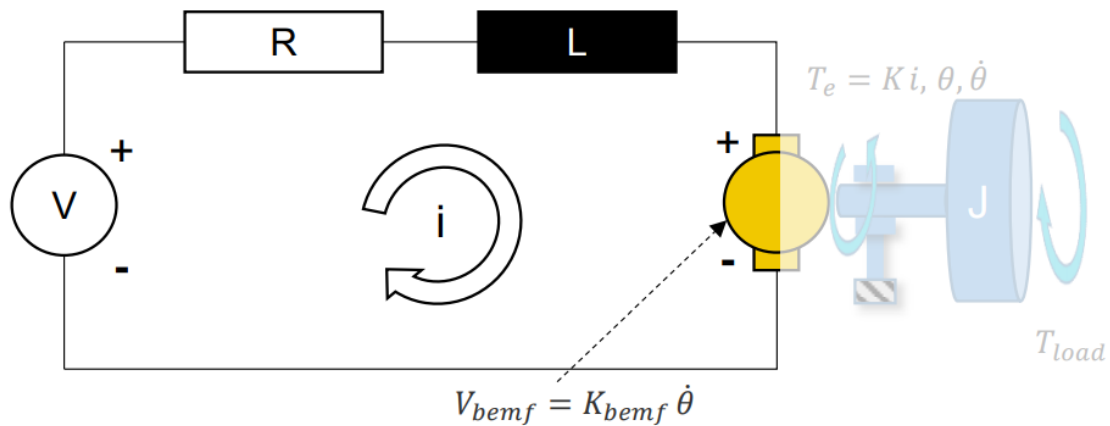


Figura 2: Circuito elétrico de um motor

### Passo 1.3: Circuito mecânico

Pelas equações de movimento do rotor do motor:

$$J\ddot{\theta} = T_e - T_B - T_{load}$$

$$J\ddot{\theta} = Ki - B\dot{\theta} - T_{load}$$

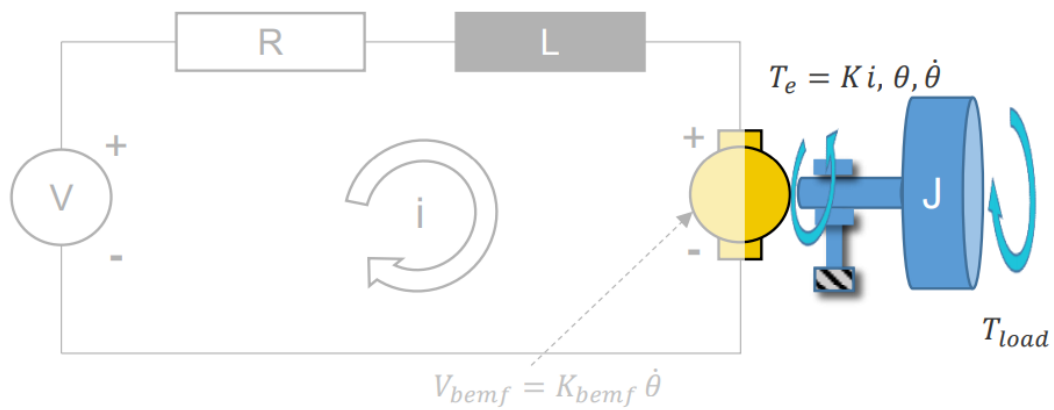


Figura 3: Parte mecânica do motor elétrico

## Passo 2: Implementação usando Activate

A constante de torque do motor,  $K$ , que depende do número de espiras do enrolamento de armadura, converte a corrente de armadura em torque eletromecânico.

$$T = Ki$$

$$J\ddot{\theta} = Ki - B\dot{\theta} - T_{load}$$

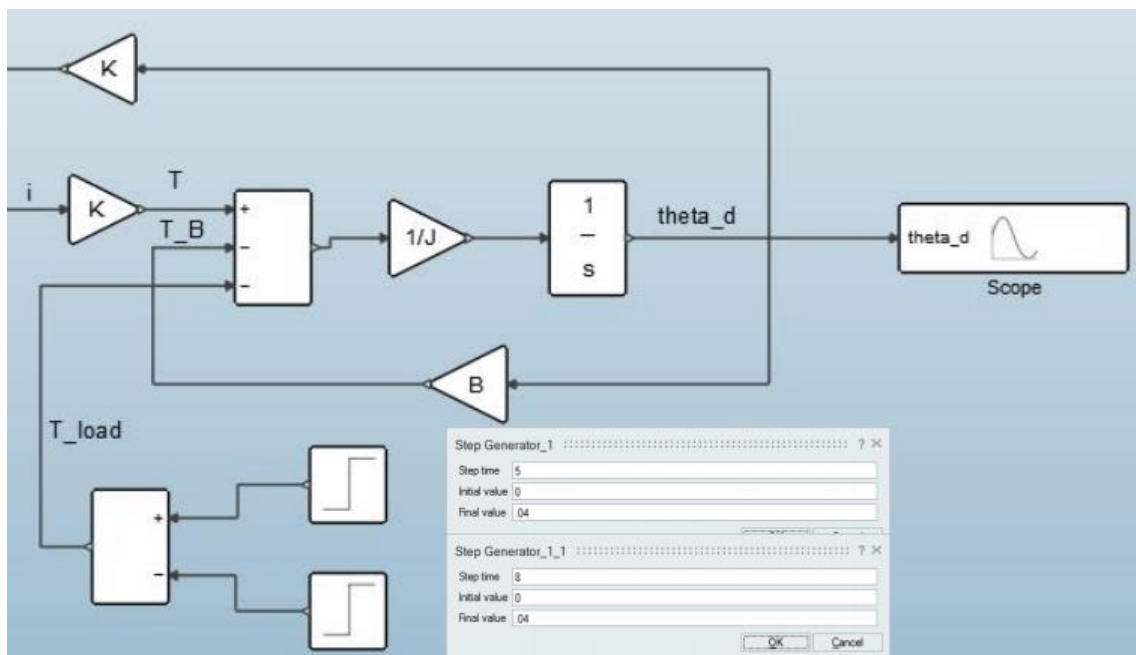


Figura 4: Parte da malha relativa a parte mecânica do motor, feita no Activate

O circuito elétrico se comporta como seu par mecânico, e segue a seguinte equação:

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{1}{L}(V - Ri - K\dot{\theta})$$

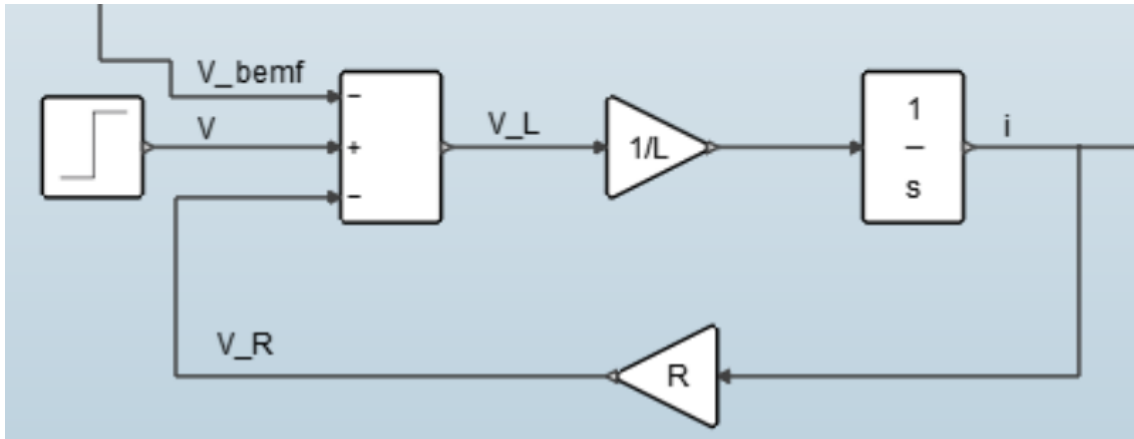


Figura 5: Parte da malha relativa ao circuito elétrico, feita no Activate

À medida que a velocidade do rotor aumenta, uma tensão contra-eletromotriz,  $V_{bemf}$ , é produzida, o que limita a corrente de armadura e a velocidade do rotor.

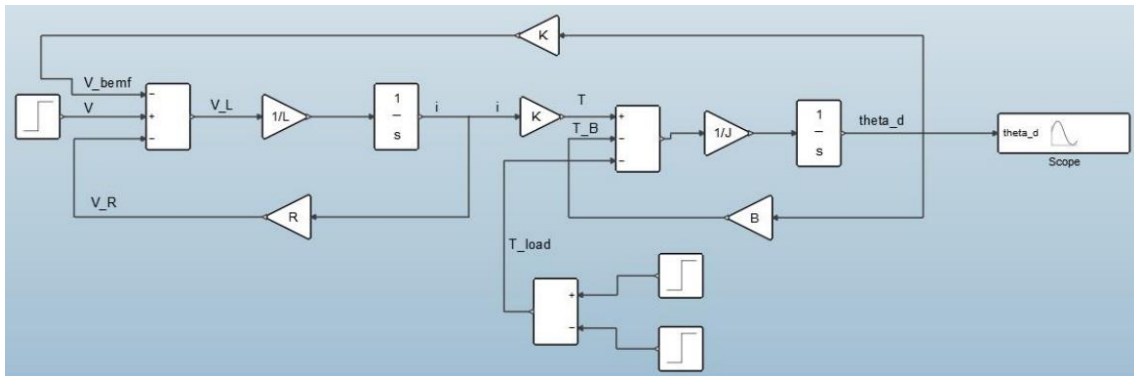


Figura 4: Malha completa, composta tanto do circuito elétrico quanto da componente mecânica

### Passo 3: Constantes de tempo elétrica e mecânica

A constante de tempo elétrica está associada à dinâmica da armadura e é calculada como  $\tau_e = \frac{L}{R}$ .

A constante de tempo mecânica está associada à dinâmica mecânica do motor e é calculada:

- definindo o torque da carga igual a zero ( $T_{load} = 0$ ),
- substituindo a dinâmica elétrica por seu valor CC  $\left(\frac{1}{Ls+R}\right)_{s \rightarrow 0} = \frac{1}{R}$
- definindo o atrito do motor igual a zero ( $B = 0$ )

A aplicação destas configurações resulta no seguinte diagrama de blocos:

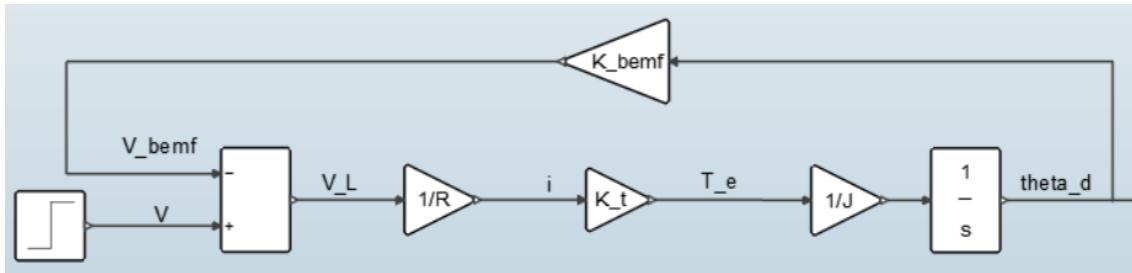


Figura 5: Diagrama simplificado do motor elétrico

A função de transferência da malha fechada do motor simples é calculada da seguinte forma:

$$\frac{\omega}{V} = \frac{K_t}{RJ s + K_t K_{bemf}}$$

E a constante de tempo mecânico é calculada como:

$$\tau_m = \frac{RJ}{K_t K_{bemf}}$$

Em aplicações bem-sucedidas, a constante de tempo mecânica deve ser a constante de tempo fundamental (ou dominante), tipicamente 100 ou 1000 vezes mais lenta que a constante de tempo elétrica.

## Passo 4: Validação de resultados

Com os parâmetros dados, o rotor aumenta a velocidade em vazio até um limite de 1.2rad/s.

A aplicação de um torque de 0,4Nm reduz a velocidade do rotor para 0,8rad/s.

Cálculo das constantes de tempo para o motor:

- Neste exemplo:  $\tau_e = 0,0001s$ ;  $\tau_m = 0,2s$
- $\frac{\tau_m}{\tau_e} = 2000$

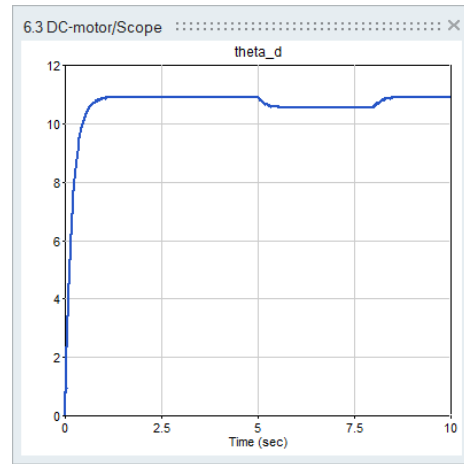
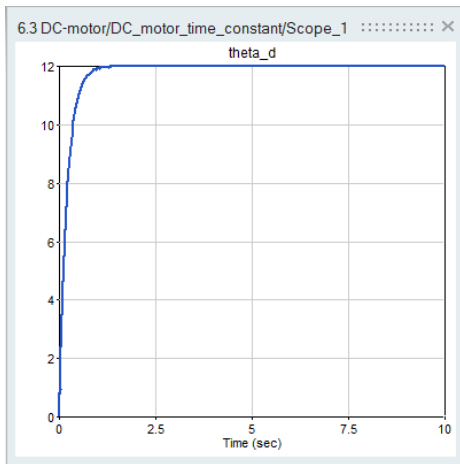


Diagram - 6.3 DC-motor

Context Available Variables

```

1 R= 10 //Ohm
2 L= 0.001//H
3 J= 0.02 //kgm^2
4 B= 0.01 //Nm/s
5 K= 1 //Nm/A or Vs/rad
6 V= 12 //V

```

Apply OK Cancel

Figura 6: Resultados obtidos pela simulação do sistema