

# Indutores

Eletrônica para Ciência da Computação

---

**PROFESSOR: RUBENS T. HOCK JR.**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DEE

# Indutores Introdução

---

# Introdução

---

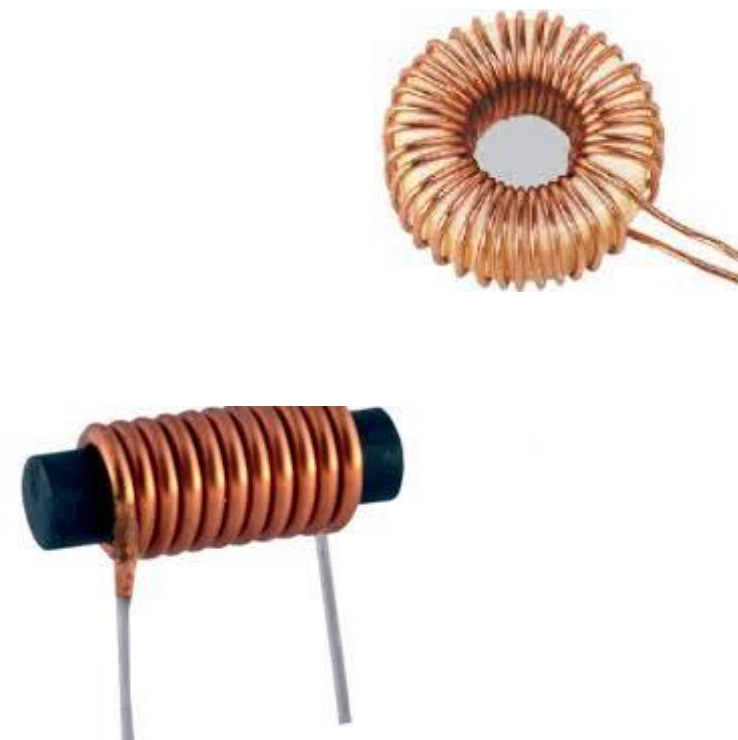
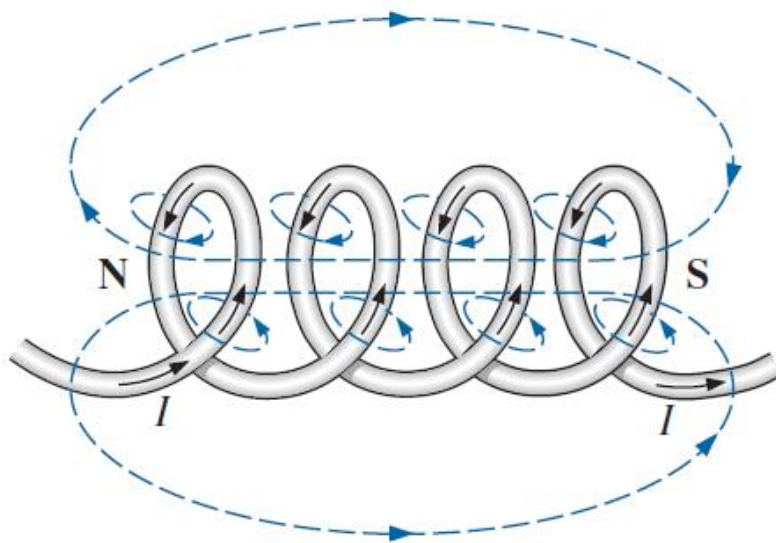
O indutor, assim como o capacitor, é um dispositivo de dois terminais que também exibe suas verdadeiras características somente quando ocorre uma mudança na tensão ou na corrente do circuito.

Um indutor armazena a energia que lhe é fornecida em uma forma que pode ser retornada ao sistema.

De muitas maneiras, o indutor é um elemento dual do capacitor: o que vale para a tensão de um (capacitor) é aplicável à corrente do outro (indutor), e vice-versa.

# Introdução

O princípio básico de construção do capacitor é um condutor enrolado em forma de bobina em torno de um núcleo, que pode ser de ar ou de um material ferro-magnético.



# Introdução

---

Indutância é uma medida da quantidade de campo magnético que o indutor pode armazenar em seu núcleo

Quanto mais alta a indutância de um indutor, maior a quantidade de campo armazenado no núcleo para a mesma corrente aplicada.

# Indutores

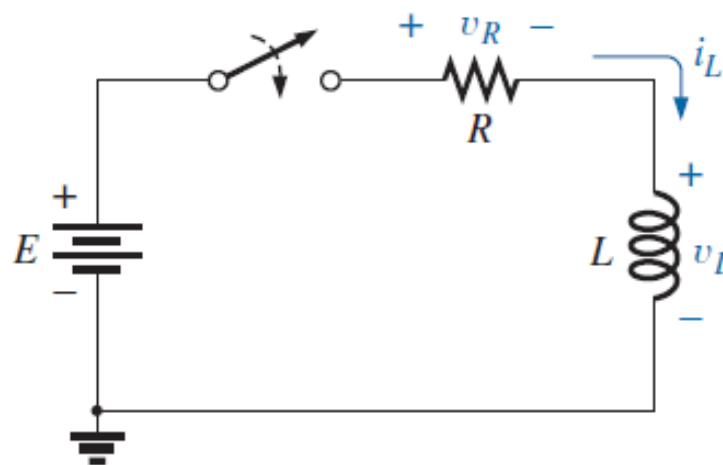
# Circuitos com Indutores

---

# Circuitos com Indutores

O armazenamento de campo magnético no núcleo de um indutor não ocorre de maneira instantânea. Em vez disso, ele ocorre através de um período de tempo determinado pelos componentes do circuito.

O transitório de corrente no indutor pode ser realizado de duas formas: etapa de carga, onde a corrente  $i_L$  aumenta durante o tempo e a etapa de descarga, quando  $i_L$  diminui com o passar do tempo.



# Circuitos com Indutores

A equação que rege o indutor é:

$$V_L = L \, di_L(t)/dt$$

Para a carga do indutor, a equação que rege o circuito é:

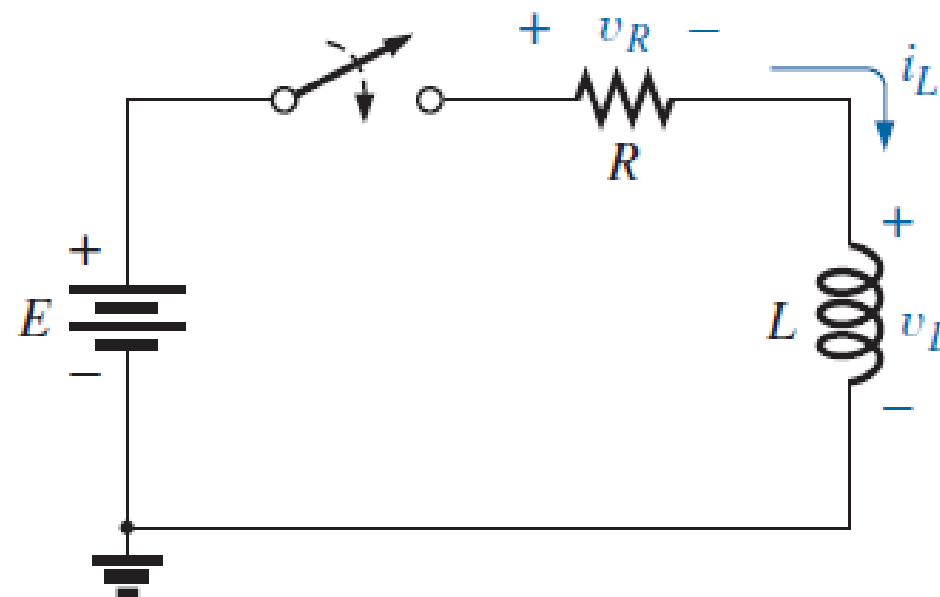
$$E = V_R + V_L(t)$$

$$E = R I_L + V_L(t)$$

$$E = R I_L + L \, di_L(t)/dt$$

A resolução da equação diferencial é:

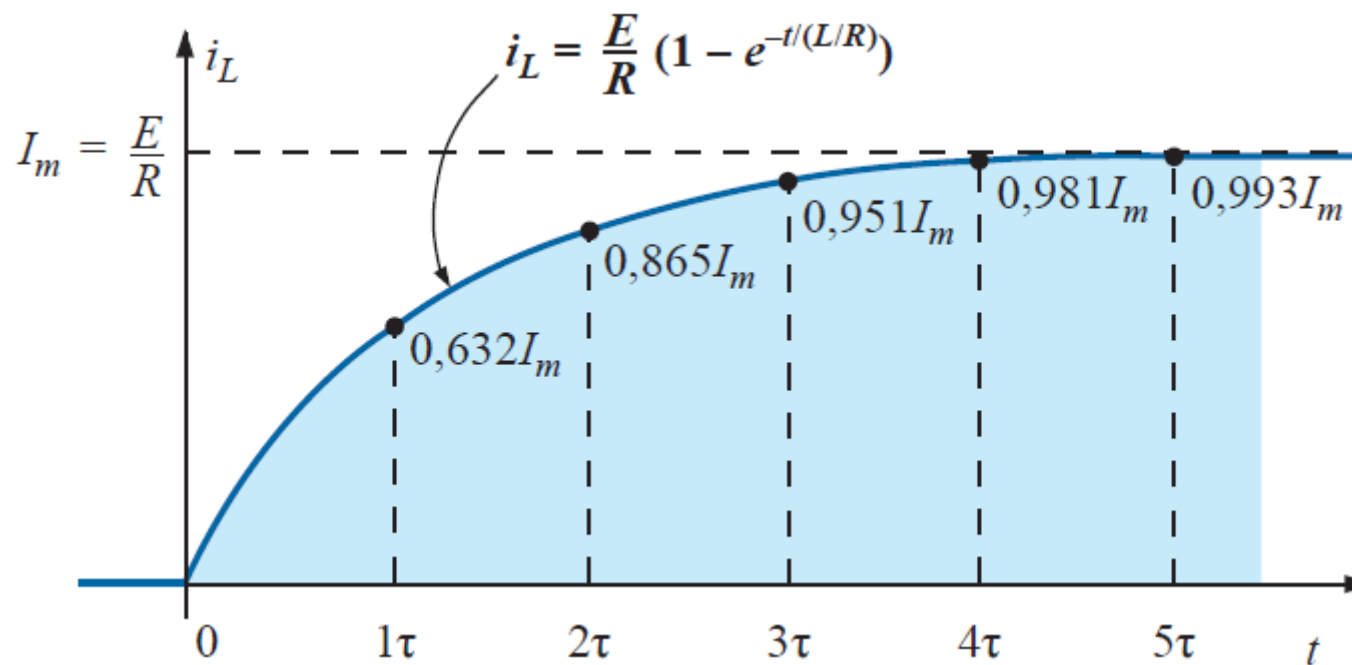
$$I_L(t) = I_m (1 - e^{-t/\tau}), \text{ com } \tau = L/R \text{ e } I_m = E/R$$





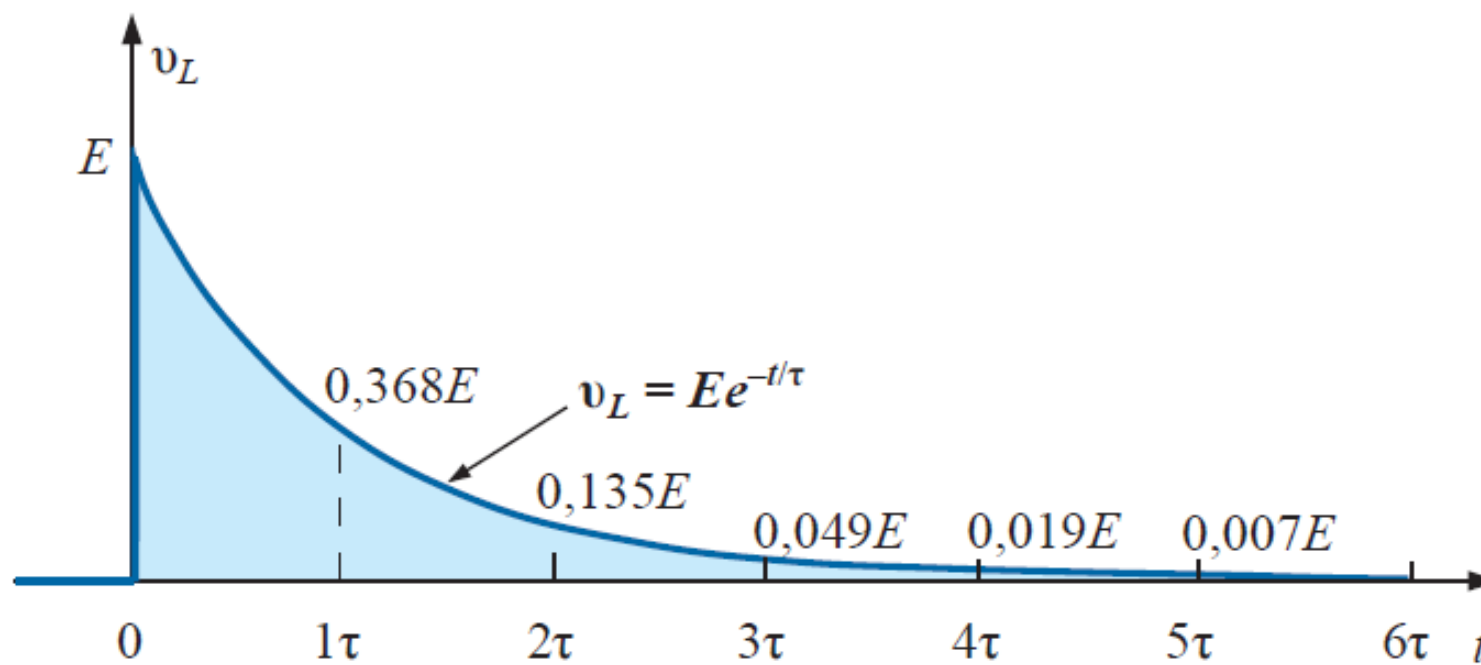
# Circuitos com Indutores

De forma gráfica, a evolução temporal da corrente do indutor:



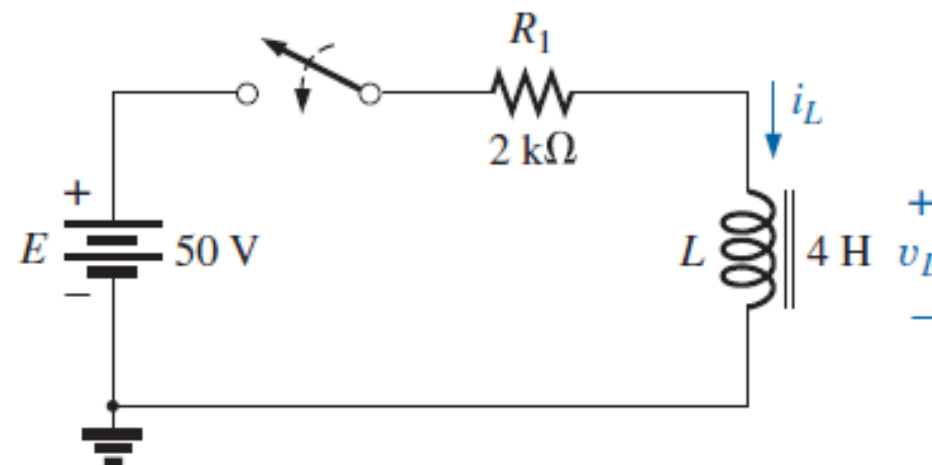
# Circuitos com Indutores

A evolução temporal da tensão do indutor:



# Circuitos com Indutores

Exemplo: Determine as expressões matemáticas para o comportamento transitório de  $i_L(t)$  para o circuito da figura se a chave for fechada em  $t = 0$  s. Esboce as curvas resultantes.



# Circuitos com Indutores

Exemplo: Determine as expressões matemáticas para o comportamento transitório de  $i_L(t)$  para o circuito da figura se a chave for fechada em  $t = 0$  s. Esboce as curvas resultantes.

A constante de tempo do circuito é:

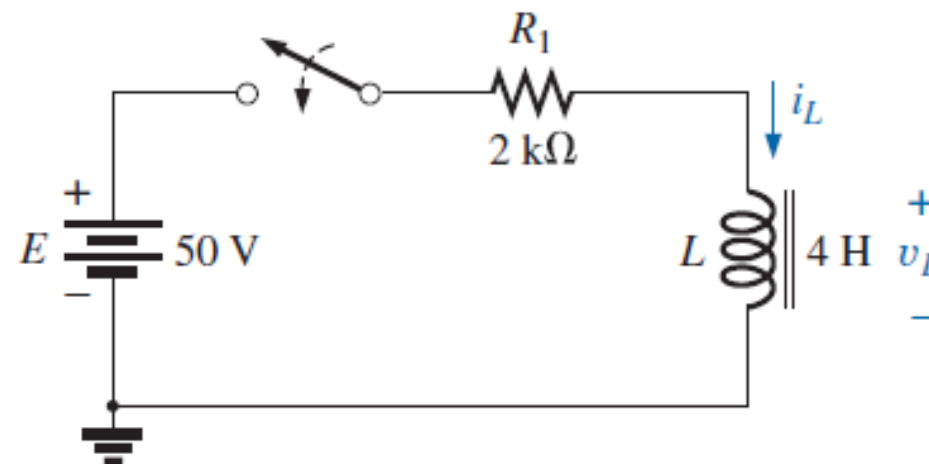
$$\tau = L/R = 4 / 2k = 2 \text{ ms}$$

A corrente máxima do circuito é:

$$I_m = E/R = 50/2k = 25\text{mA}$$

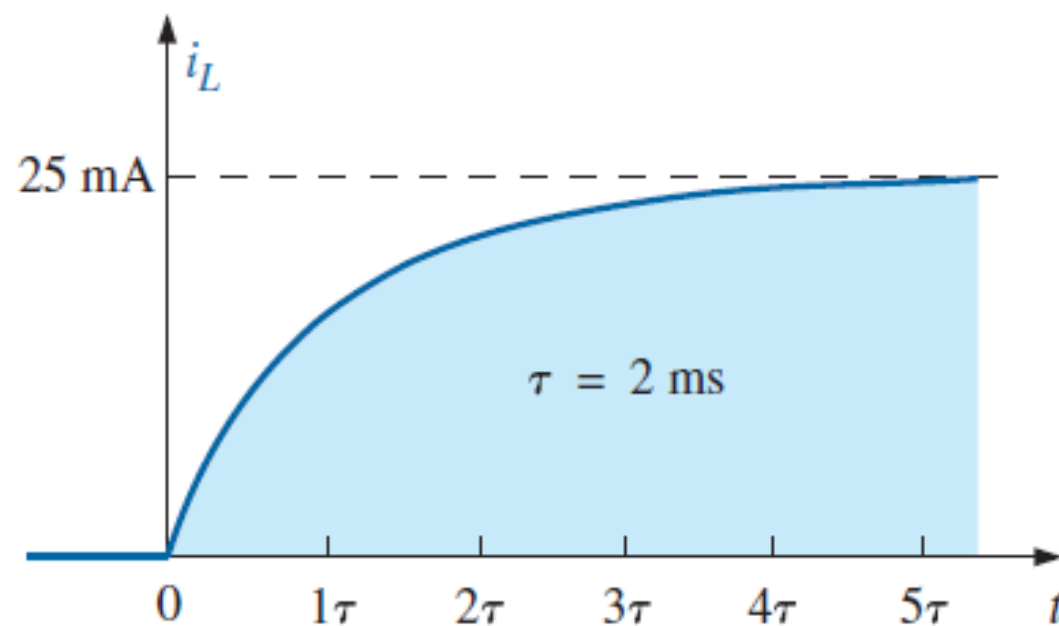
Substituindo na equação de carga do indutor

$$i_L(t) = 25\text{m} (1 - e^{-t/2\text{m}})$$



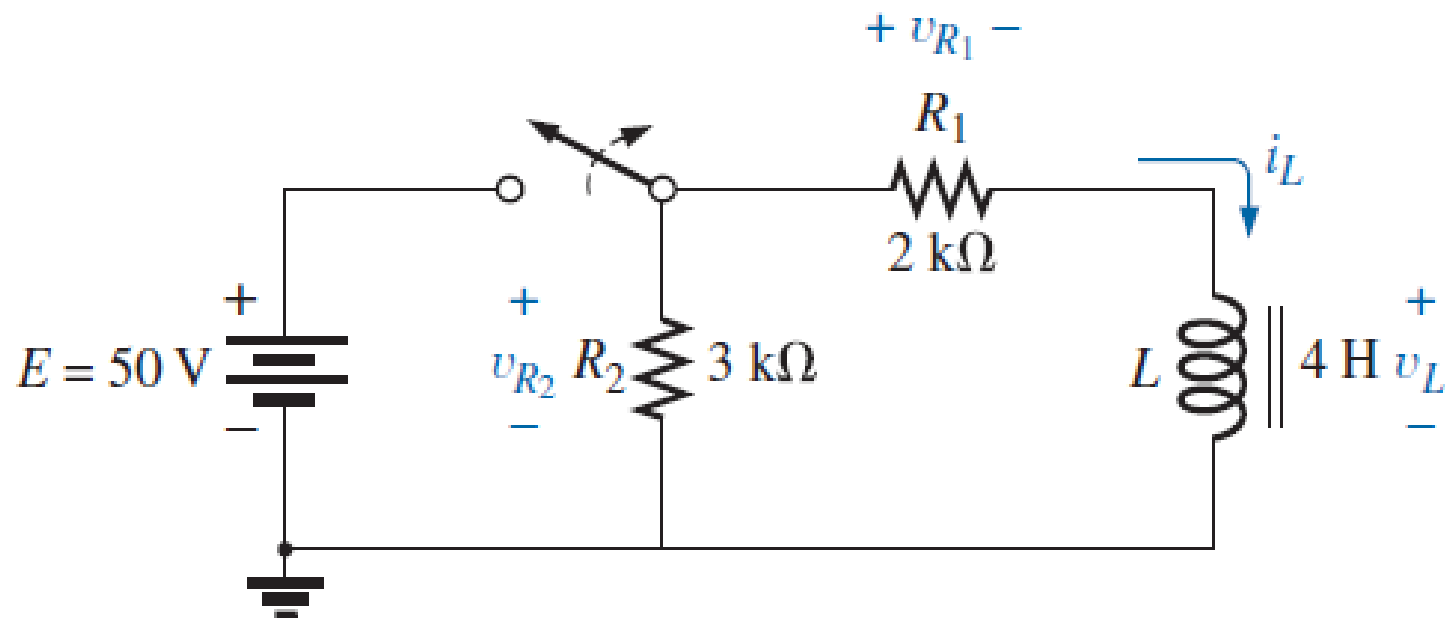
# Circuitos com Indutores

A resposta temporal da equação de carga:



# Circuitos com Indutores

Para a descarga do indutor é preciso desconectar a fonte  $E$  do circuito.



# Circuitos com Capacitores

Para a descarga do capacitor, a equação que rege o circuito é:

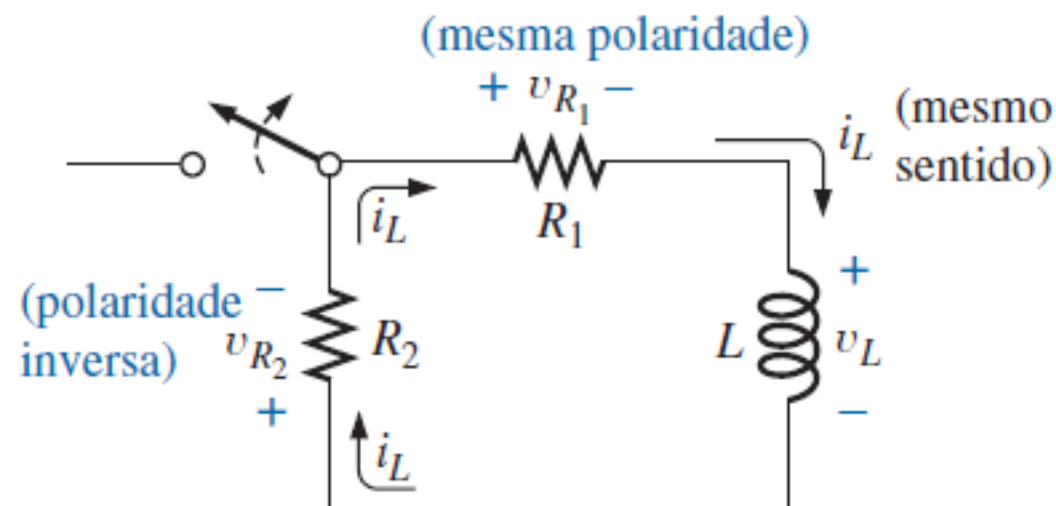
$$V_R = V_C(t)$$

$$R I_L = V_L(t)$$

$$R I_L - L \frac{dI_L(t)}{dt} = 0$$

A resolução da equação diferencial é:

$$I_L(t) = I_m e^{-t/\tau}, \text{ com } \tau = L/R$$

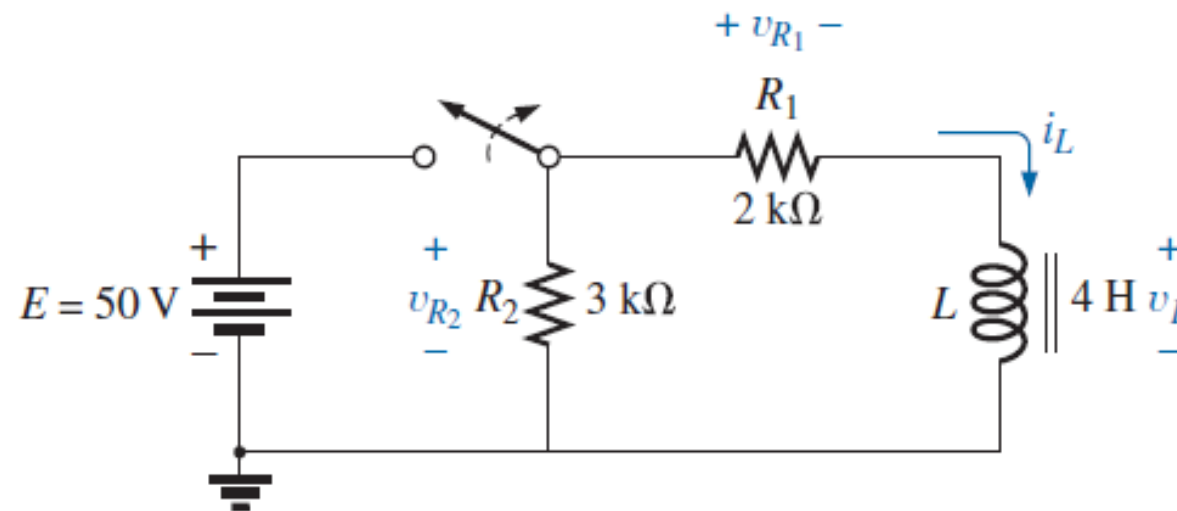


# Circuitos com Indutores

Exercício: Considerando o circuito da figura abaixo:

a) Calcule a expressão matemática da corrente do indutor  $i_L$  e da tensão do indutor  $v_L$  para cinco constantes de tempo na fase de armazenamento

b) Calcule a expressão matemática da corrente do indutor  $i_L$  e da tensão do indutor  $v_L$  se a chave for aberta após cinco constantes de tempo referentes à fase de armazenamento





# Circuitos com Indutores

Exercício: Considerando o circuito da figura abaixo:

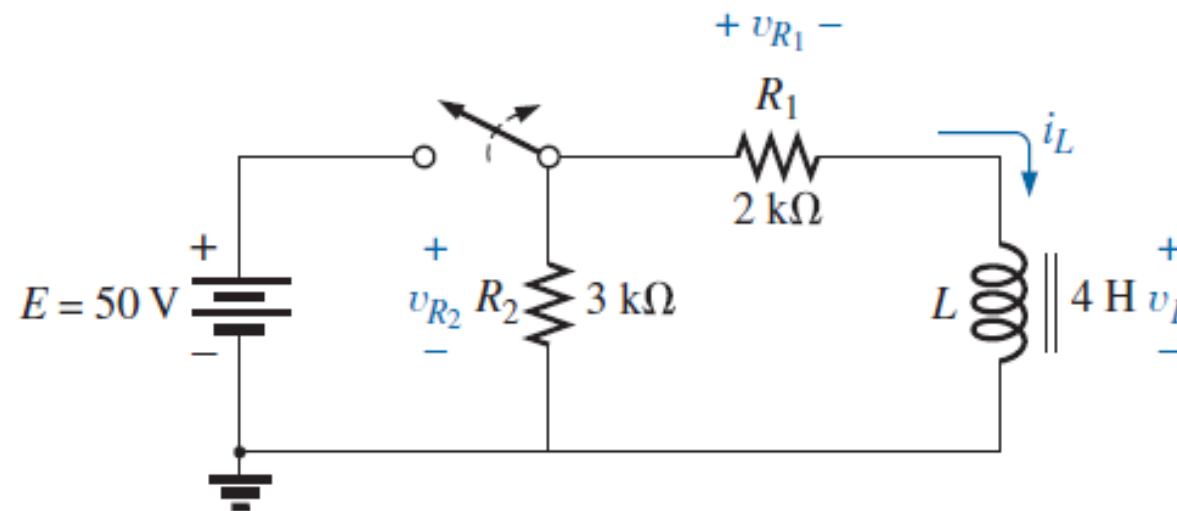
A constante de tempo para a carga do indutor é calculada como:

$$\tau = L/R = 4 / 2k = 2ms$$

$$I_m = E/R_1 = 50/2k = 25mA$$

$$I_L(t) = 25m (1 - e^{-t/2m})$$

$$V_L(t) = 50 e^{-t/2m}$$



# Circuitos com Indutores

Exercício: Considerando o circuito da figura abaixo:

A constante de tempo para a descarga do indutor é calculada como:

$$\tau_2 = L/R = 4 / 5k = 0,8ms$$

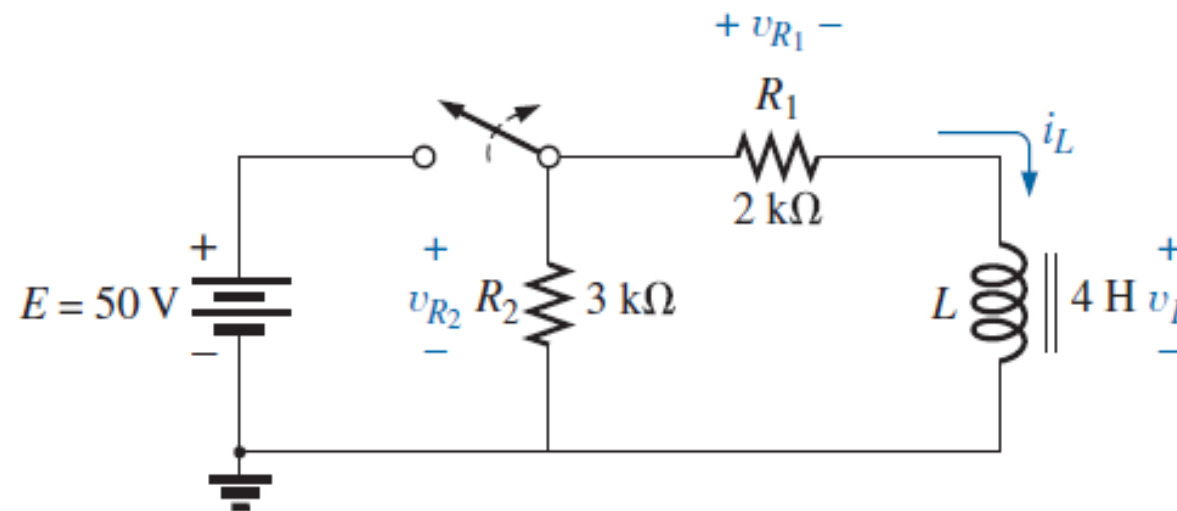
$$I_{m2} = I_m (5\tau) = 25mA$$

$$I_L(t) = 25m e^{-t/0,8m}$$

A tensão inicial do indutor é dada por:

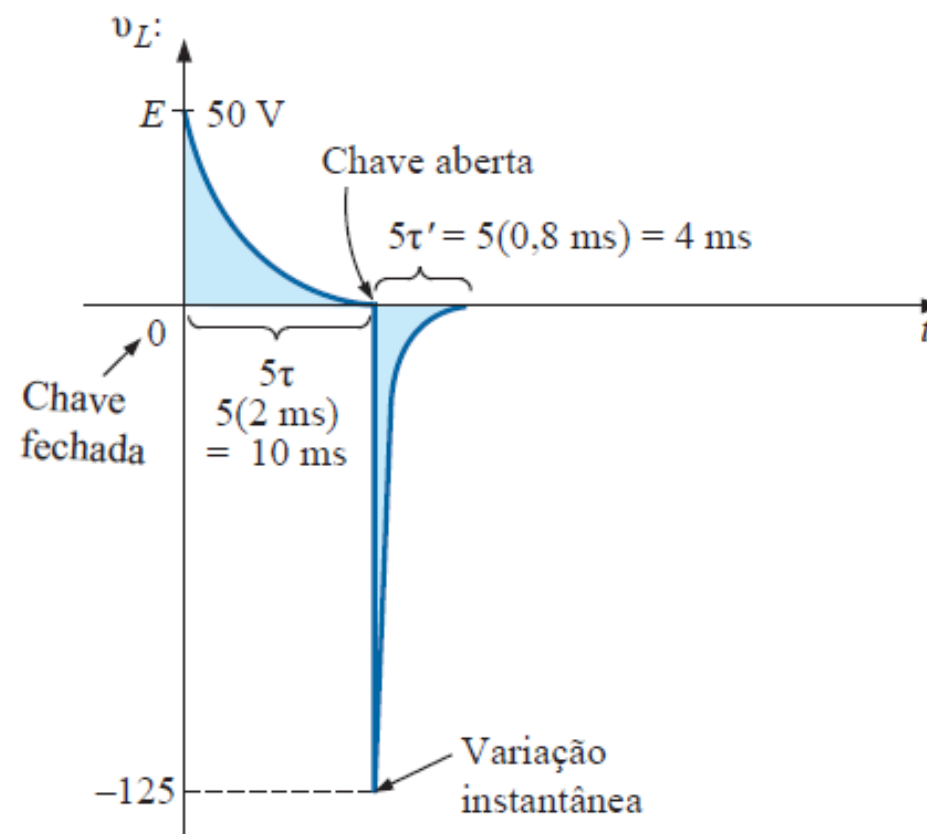
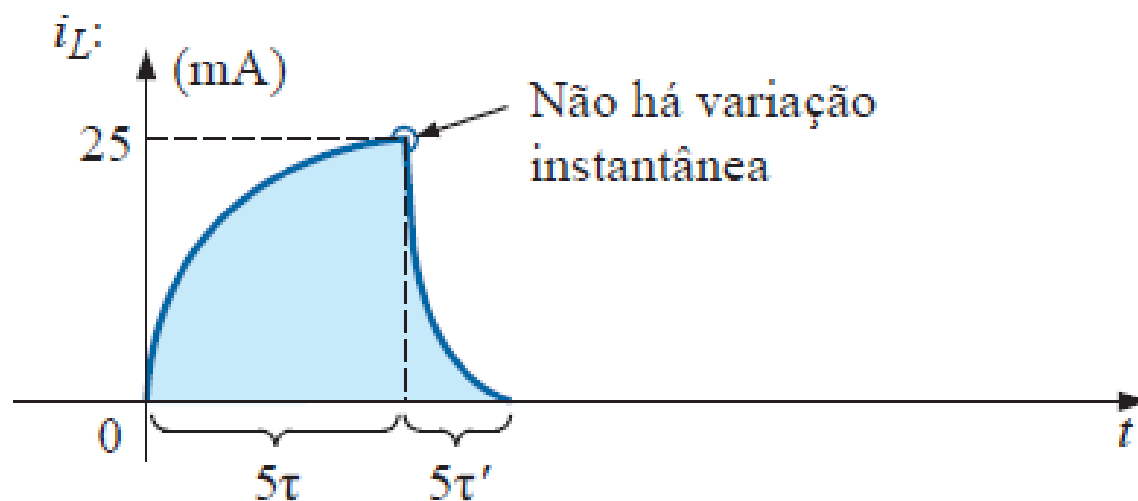
$$V_L(5\tau) = -25m \cdot 5k = -125V$$

$$V_L(t) = -125 e^{-t/0,8m}$$



# Circuitos com Indutores

Exercício: Considerando o circuito da figura abaixo:



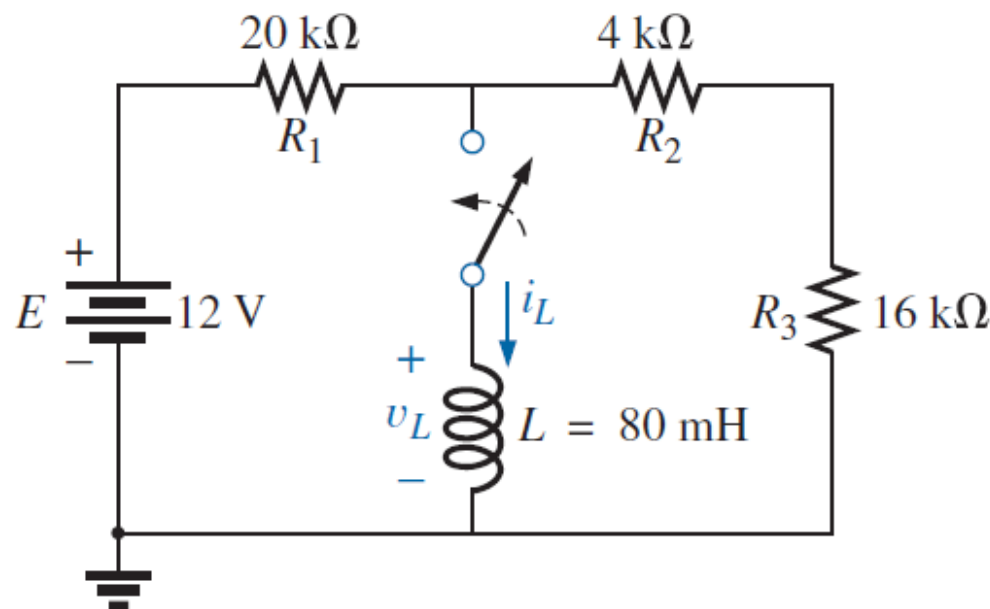
# Indutores Equivalente de Thevenin com Indutores

---

# Equivalente de Thevenin com Indutores

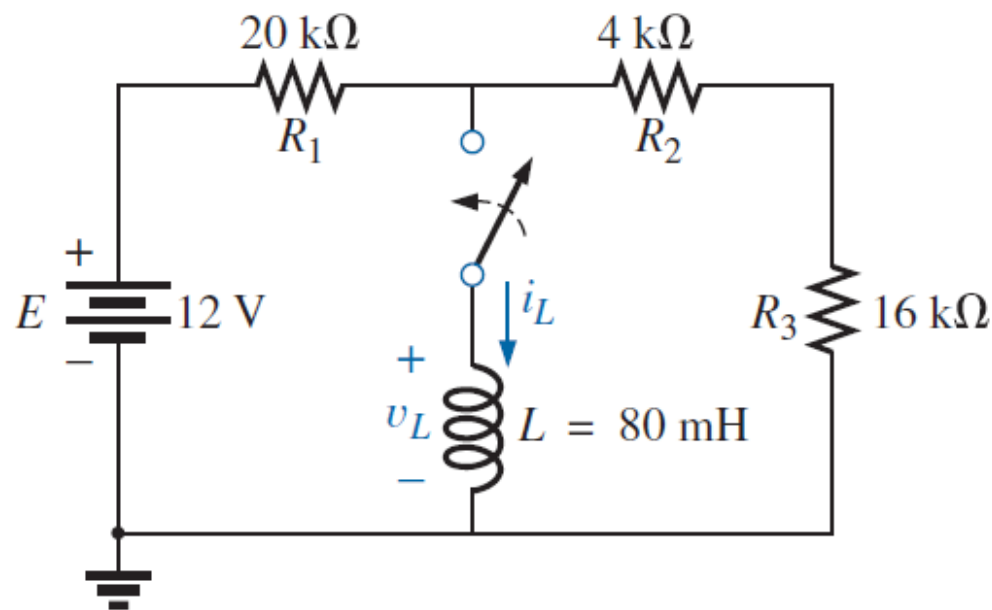
Quando o circuito com indutores é analisado, pode ser preciso reduzir o circuito para que ele se encaixe na equação de carga e descarga vista anteriormente

Para tal, faz-se uso do equivalente de Thevenin visto pelos terminais do indutor:

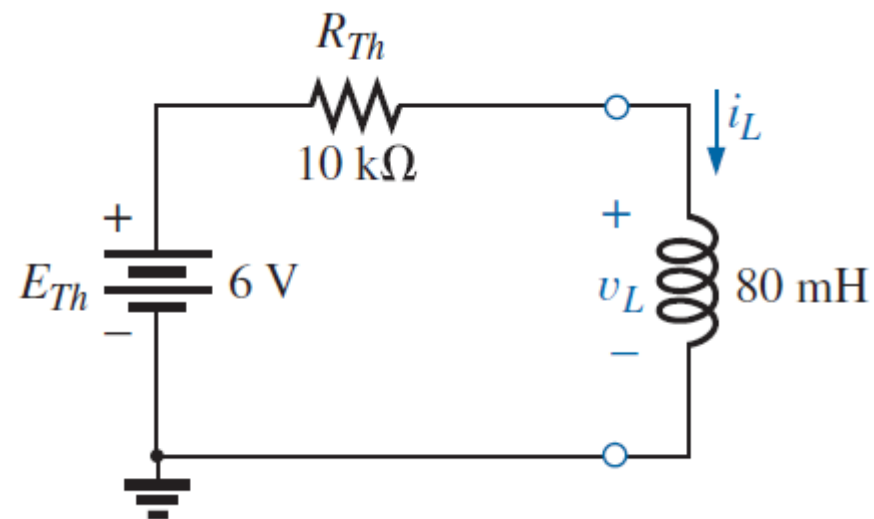
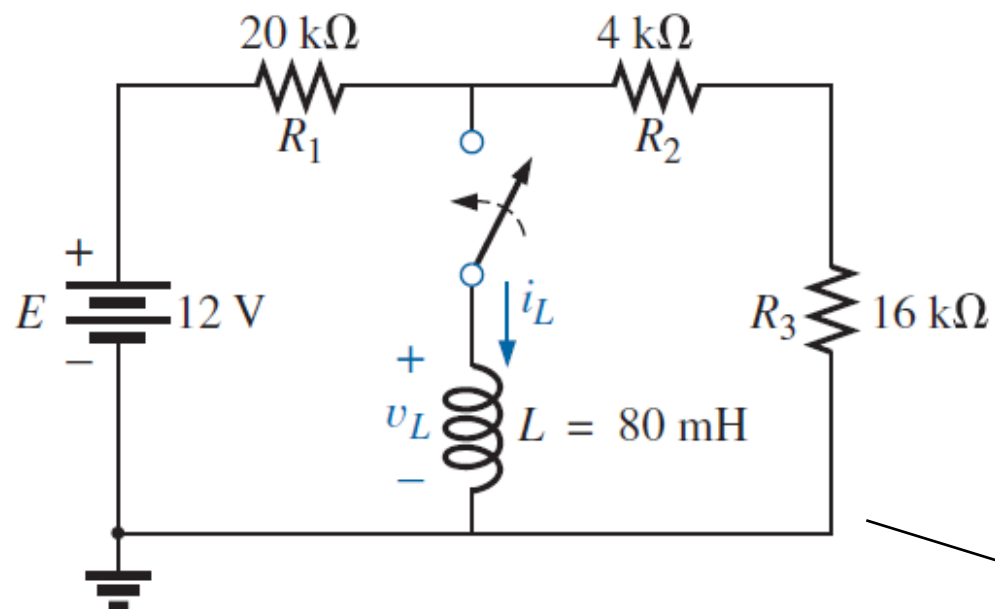


# Equivalente de Thevenin com Indutores

Exercício: Determinar o equivalente de Thevenin do circuito abaixo



# Equivalente de Thevenin com Indutores



# Indutores

# Associação de Indutores

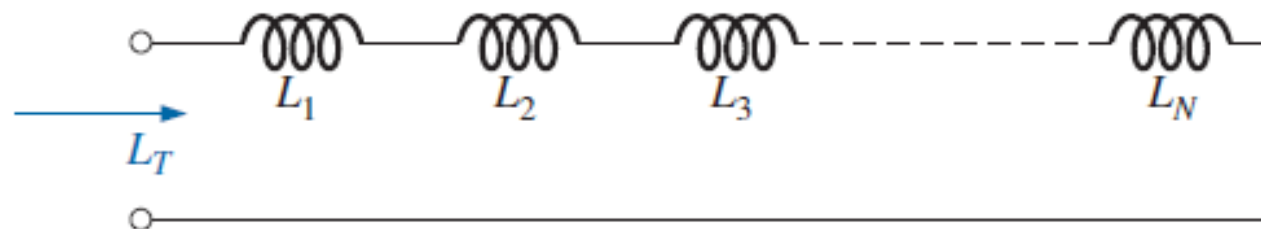
---



# Associação de Indutores

Na conexão de indutores em série, a corrente é a mesma em todos os indutores. Logo:

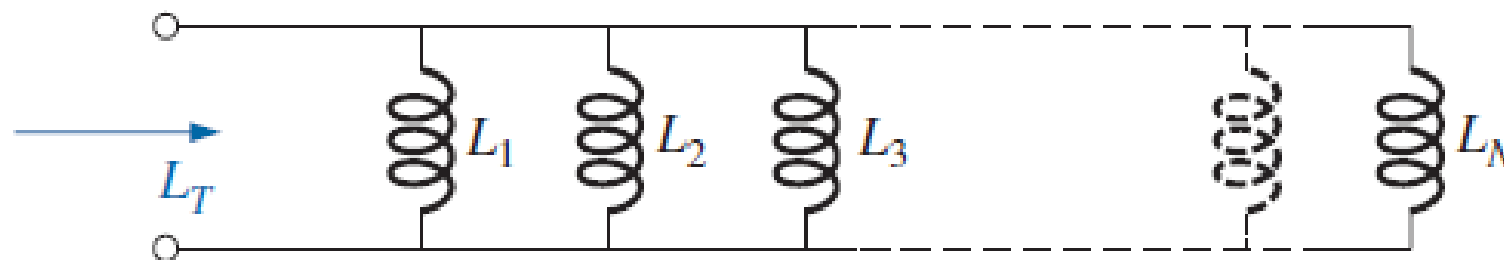
$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_N$$



# Associação de Indutores

Na conexão de Indutores em paralelo, a tensão é a mesma em todos os Indutores. Logo:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_N}$$



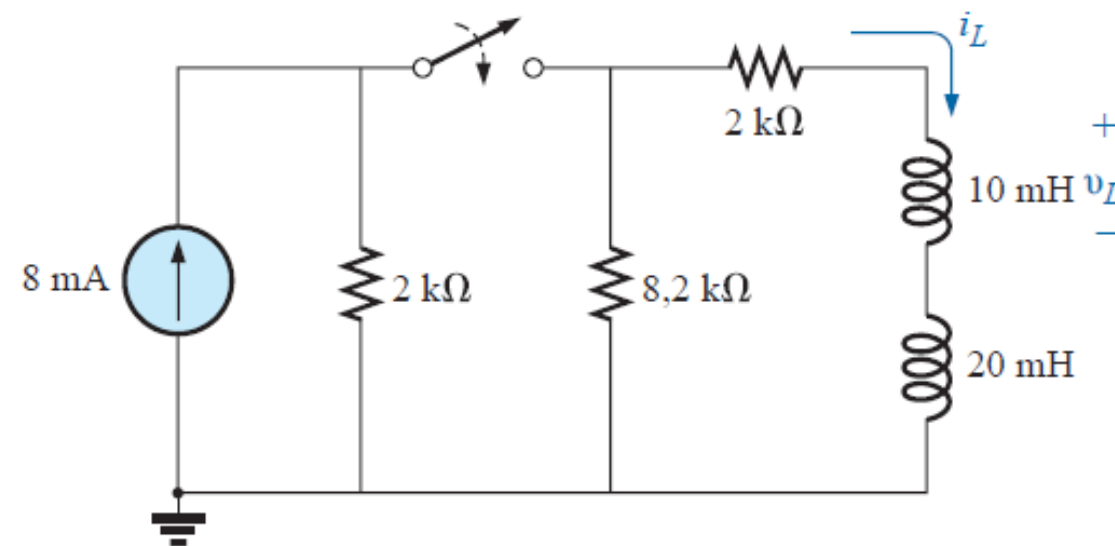
# Exercícios

Exercício para realizar em casa:

Para o circuito abaixo:

a) Determine as expressões matemáticas para o comportamento de  $V_L$  e  $I_L$  depois do fechamento da chave

b) Trace as formas de onda de  $V_L$  e  $I_L$ .



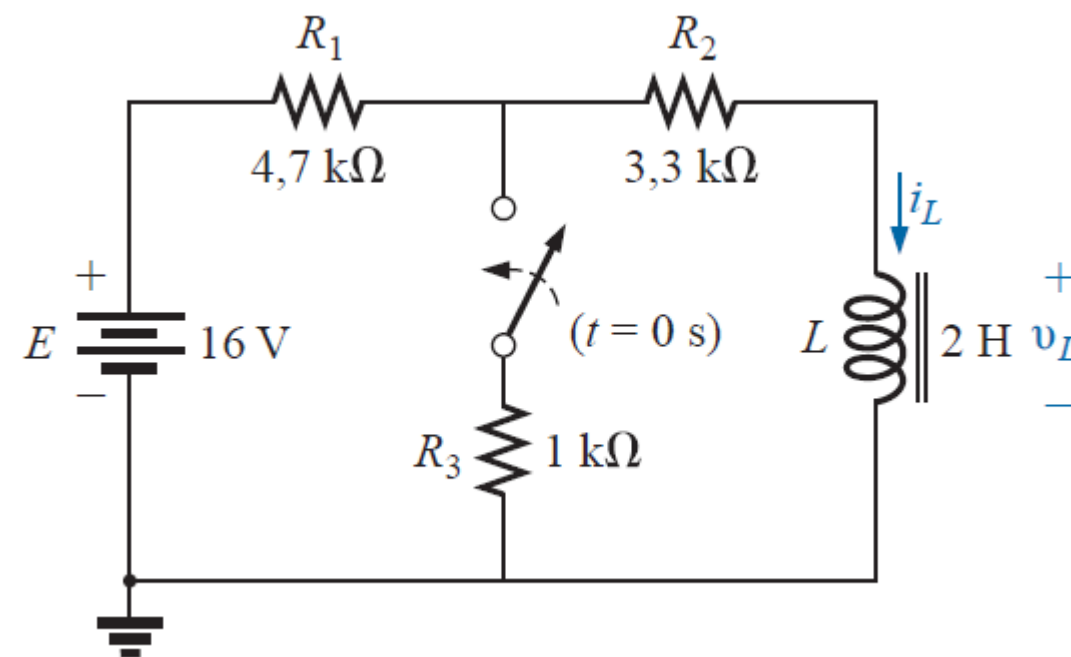
# Exercícios

Exercício para realizar em casa:

Para o circuito abaixo:

a) Determine as expressões matemáticas para o comportamento de  $V_L$  e  $I_L$  depois do fechamento da chave

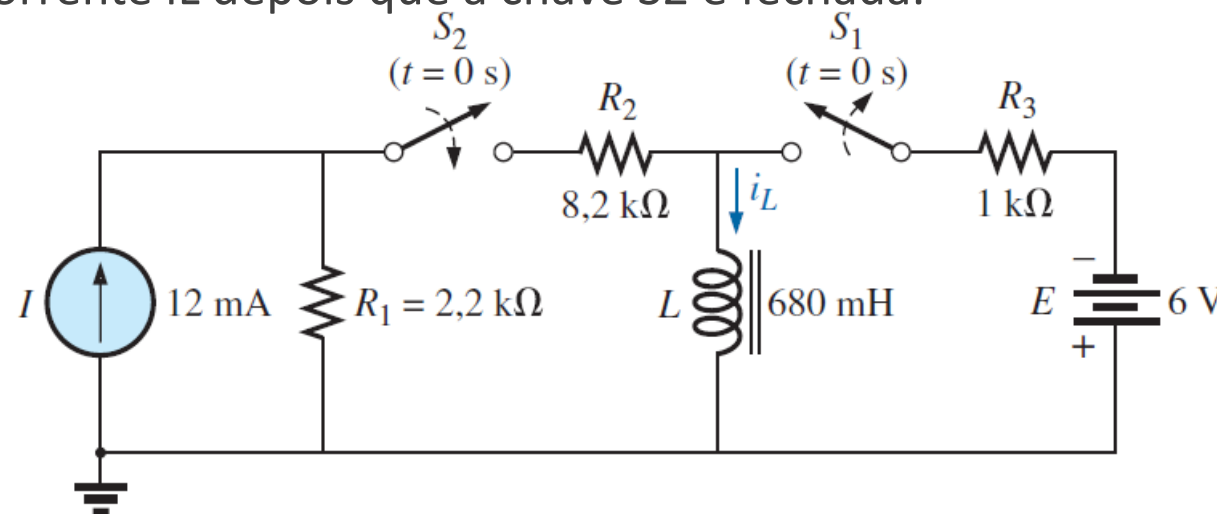
b) Trace as formas de onda de  $V_L$  e  $I_L$ .



# Exercícios

Exercício para realizar em casa: A chave  $S_1$  do circuito abaixo foi mantida fechada por um longo tempo. Em  $t = 0$  s,  $S_1$  é aberta e, no mesmo instante,  $S_2$  é fechada para evitar que a corrente no indutor seja interrompida.

- Determine a corrente inicial no indutor. Preste atenção no sentido da corrente.
- Determine a expressão matemática para a corrente  $i_L$  depois que a chave  $S_2$  é fechada.
- Esboce a forma de onda de  $i_L$ .



# Bibliografia

---

BOYLESTAD, R. L. Introdução à Análise de Circuitos. Prentice-Hall. São Paulo, 2004.

BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 6ª edição, Prentice Hall do Brasil, 1998.

CIPELLI, Antonio Marco Vicari; MARKUS, Otavio; SANDRINI, Waldir João. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. 18 ed. São Paulo: Livros Erica, 2001. 445 p. ISBN 8571947597.