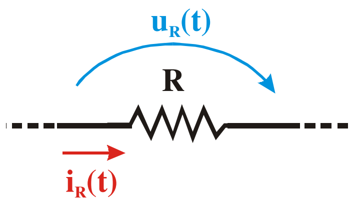
21.5 Resposta Transitória de Circuitos RL de Primeira Ordem

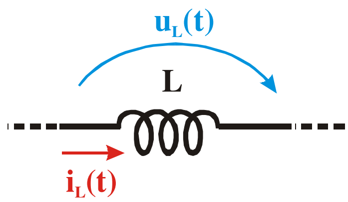
Serão analisados circuitos RL de primeira ordem com apenas uma resistência e apenas uma bobina ligados em série.

21.5.1 Ligação em Série de uma Resistência Ideal e uma Bobina Ideal



Seja qual for o circuito onde uma resistência ideal se insere, a relação entre a tensão $\mathbf{u_R(t)}$ que existe entre os seus terminais e a corrente $\mathbf{i_R(t)}$ que a percorre – conhecida por Lei de Ohm – é sempre traduzida pela seguinte expressão (assumindo os sentidos positivos de $\mathbf{u_R(t)}$ e $\mathbf{i_R(t)}$ indicados na figura):

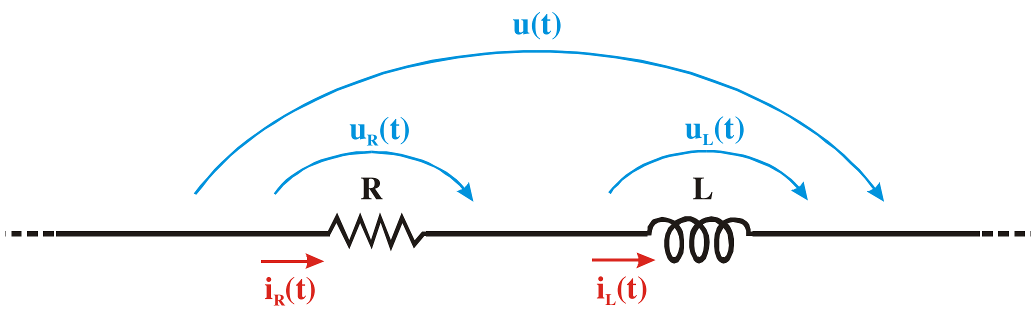
$$i_R(t) = \frac{u_R(t)}{R} \qquad \text{(Lei de Ohm)}$$



Seja qual for o circuito onde uma bobina ideal se insere, a relação entre a tensão $\mathbf{u_L(t)}$ que existe entre os seus terminais e a corrente $\mathbf{i_L(t)}$ que a percorre é traduzida pela seguinte expressão (assumindo os sentidos positivos de $\mathbf{u_L(t)}$ e $\mathbf{i_L(t)}$ indicados na figura):

$$u_L(t) = L \cdot \frac{d[i_L(t)]}{dt}$$

$\dfrac{d[i_L(t)]}{dt}$ Derivada em ordem ao tempo da corrente que atravessa a bobina (em A/s)



A corrente $\mathbf{i_R(t)}$ que passa na resistência e a corrente $\mathbf{i_L(t)}$ que passa na bobina são **a mesma corrente**, ou seja

$$i_R(t) = i_L(t)$$

$$u_R(t) = R \cdot i_L(t)$$

A tensão $\mathbf{u(t)}$ aplicada ao conjunto dos dois componentes é igual à **soma** da tensão $\mathbf{u_R(t)}$ que existe entre os terminais da resistência com a tensão $\mathbf{u_L(t)}$ que existe entre os terminais da bobina, ou seja:

$$u(t) = u_R(t) + u_L(t)$$

Assim sendo, é verdade que

$$u_L(t) = u(t) - u_R(t)$$

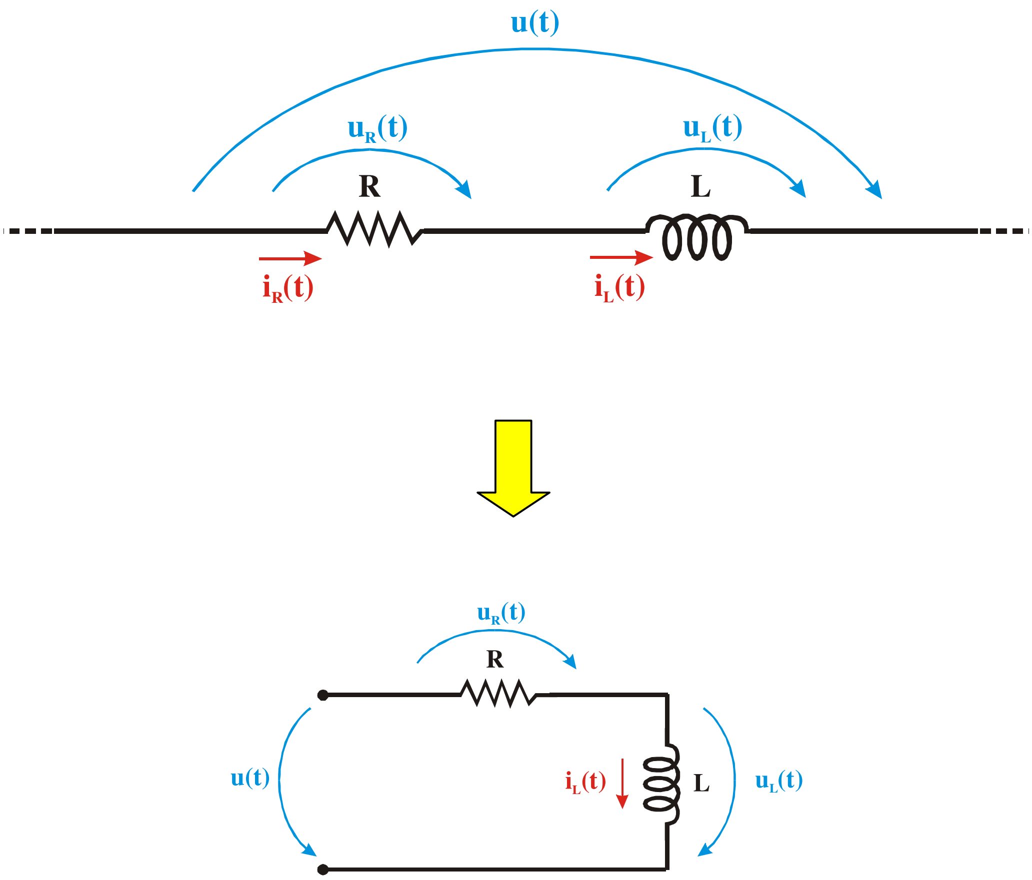
$$L \cdot \frac{d[i_L(t)]}{dt} = u(t) - R \cdot i_L(t)$$

A última expressão pode reescrever-se desta forma

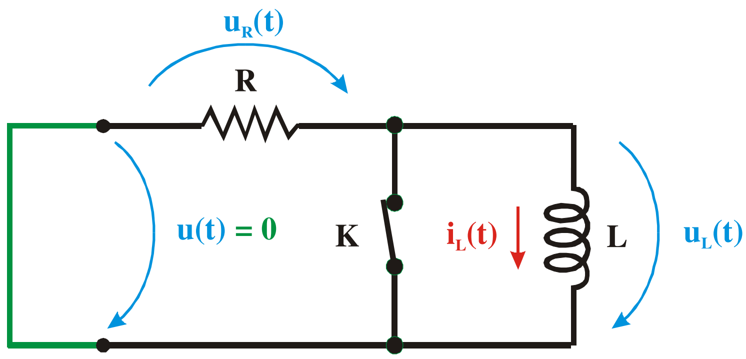
$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{u(t)}{L}$$

Para completar o circuito falta definir u(t). Nos pontos seguintes apresentam-se exemplos com diferentes u(t).

u(t) pode ser vista como a tensão de entrada do circuito RL. Para reforçar esta ideia pode redesenhar-se o esquema inicialmente proposto...



21.5.2 Resposta Natural do Circuito RL de Primeira Ordem



R pode ser a **Resistência de Thévenin** de um circuito passivo mais complexo.

Verificam-se as seguintes condições iniciais:

- O interruptor K está inicialmente fechado, garantindo que a tensão entre os terminais da bobina $u_L(t)$ é nula e a sua corrente $i_L(t)$ permanece constante;
- A bobina é atravessada por uma corrente I_0 no instante $t = 0$, ou seja, $i_L(0) = I_0$;
- O interruptor K é aberto no instante $t = 0$ e permanece aberto a partir desse instante. Enquanto K estiver aberto, este circuito corresponde ao caso particular do circuito apresentado no ponto 2.1 em que $u(t) = 0$.

Como já se tinha visto no ponto 2.1,

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{u(t)}{L}$$

Assim, para se determinar a corrente na bobina para $t \geq 0$ é necessário resolver a seguinte **equação diferencial ordinária de primeira ordem**, na qual R e L são constantes e $i_L(t)$ é a incógnita:

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = 0$$

A solução desta equação é a seguinte:

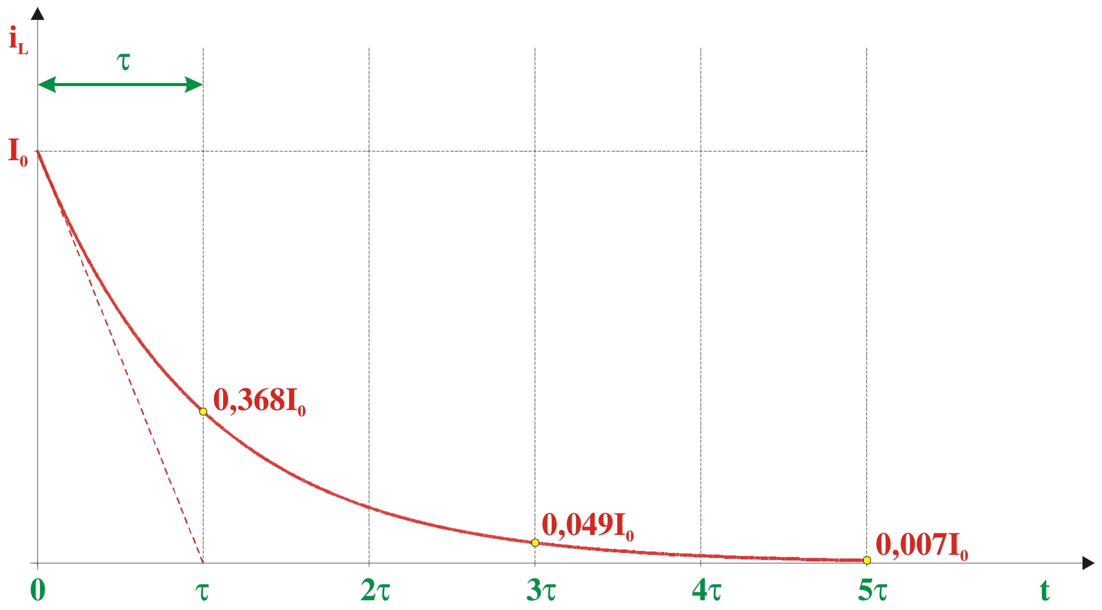
$$i_L(t) = \underbrace{I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}}_{\substack{\text{Estado} \\ \text{Transitório}}}$$

Para $t \geq 0$ a tensão entre os terminais da bobina é dada por

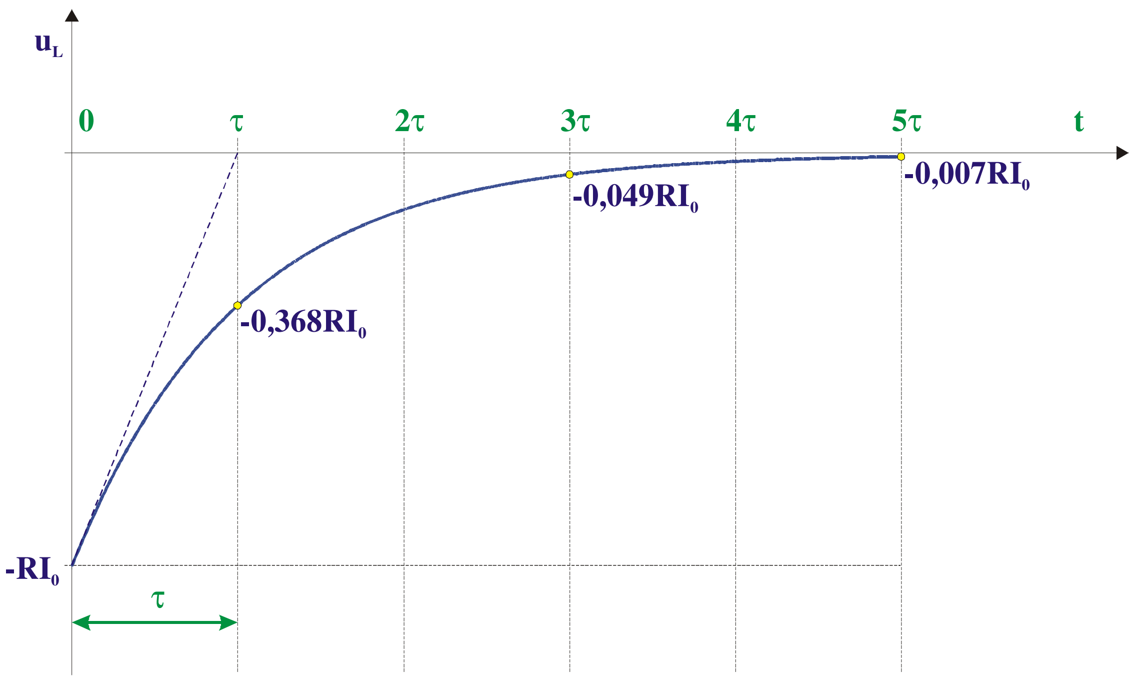
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = 0 - R \cdot i_L(t) = \underbrace{-R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}}_{\substack{\text{Estado} \\ \text{Transitório}}}$$

Valores iniciais: $\begin{cases} i_L(0) = I_0 \\ u_L(0) = -R \cdot I_0 \end{cases}$	Regime permanente: $\begin{cases} i_L(t \to \infty) = 0 \\ u_L(t \to \infty) = 0 \end{cases}$	Constante de tempo do circuito: $\tau = \frac{L}{R}$ (s) **τ** é o tempo necessário para a corrente que atravessa a bobina, de valor inicial I_0, atingir 36,8% de I_o

Resposta Natural do Circuito RL de Primeira Ordem: $\boxed{\begin{array}{l} i_L(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t} \\ u_L(t) = -R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t} \end{array}}$

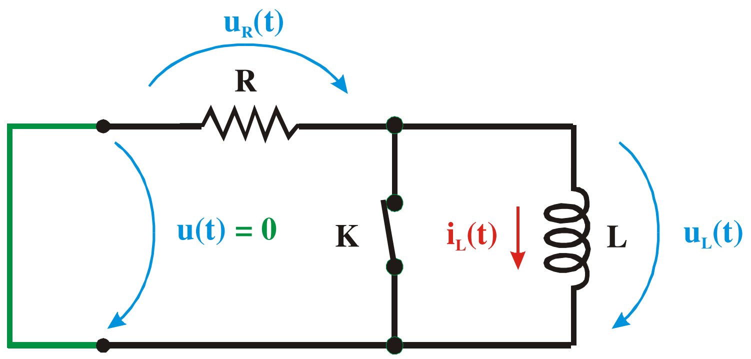


$t = \tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-1} = 0{,}368 \cdot I_0$
$t = 3\tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-3} = 0{,}049 \cdot I_0$
$t = 5\tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-5} = 0{,}007 \cdot I_0$



$t = \tau$	$u_L(t) = -RI_0 \cdot e^{-1} = -0{,}368 \cdot RI_0$
$t = 3\tau$	$u_L(t) = -RI_0 \cdot e^{-3} = -0{,}049 \cdot RI_0$
$t = 5\tau$	$u_L(t) = -RI_0 \cdot e^{-5} = -0{,}007 \cdot RI_0$

Se o interruptor K for aberto num instante $t = t_0$ em vez de ser aberto no instante $t = 0$...



Verificam-se as seguintes condições iniciais:

- O interruptor K está inicialmente fechado, garantindo que a tensão entre os terminais da bobina $u_L(t)$ é nula e a sua corrente $i_L(t)$ permanece constante;
- A bobina é atravessada por uma corrente I_0 no instante $t = t_0$, ou seja, $i_L(t_0) = I_0$;
- O interruptor K é aberto no instante $t = t_0$ e permanece aberto a partir desse instante. Enquanto K estiver aberto, este circuito corresponde ao caso particular do circuito apresentado no ponto 2.1 em que $u(t) = 0$.

Como já se tinha visto no ponto 2.1,

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{u(t)}{L}$$

Assim, para se determinar a corrente na bobina para $t \geq t_0$ é necessário resolver a seguinte **equação diferencial ordinária de primeira ordem**, na qual R e L são constantes e $i_L(t)$ é a incógnita:

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = 0$$

A solução desta equação é a seguinte:

$$i_L(t) = \underbrace{I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot (t - t_0)}}_{\substack{\text{Estado} \\ \text{Transitório}}}$$

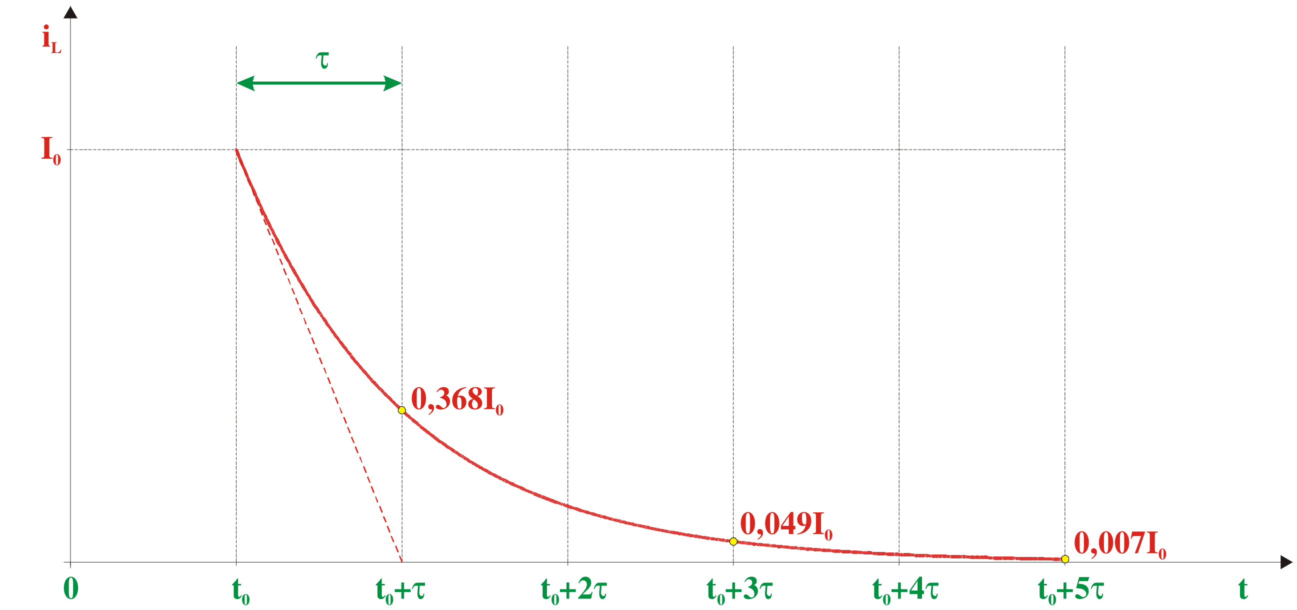
Para $t \geq t_0$ a tensão entre os terminais da bobina é dada por

$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = 0 - R \cdot i_L(t) = \underbrace{-R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot (t - t_0)}}_{\substack{\text{Estado} \\ \text{Transitório}}}$$

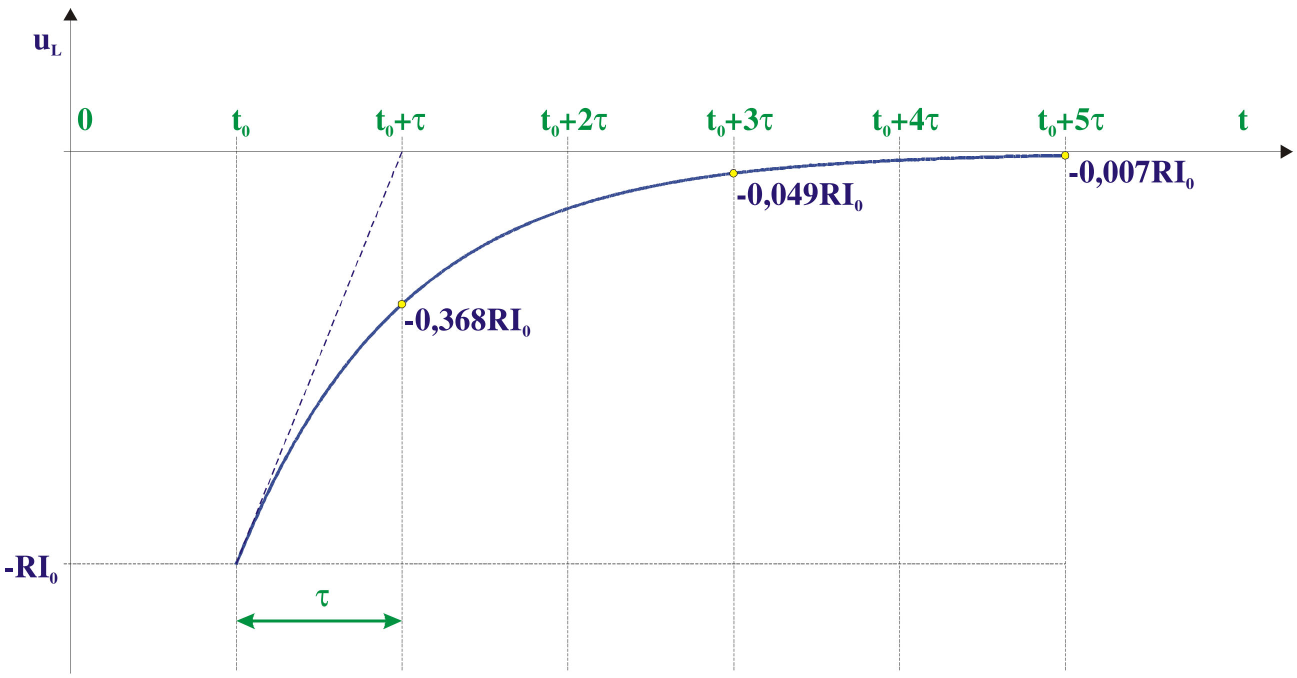
Valores iniciais: $\begin{cases} i_L(t_0) = I_0 \\ u_L(t_0) = -R \cdot I_0 \end{cases}$	Regime permanente: $\begin{cases} i_L(t \to \infty) = 0 \\ u_L(t \to \infty) = 0 \end{cases}$	Constante de tempo do circuito: $\tau = \frac{L}{R}$ (s) **τ** é o tempo necessário para a corrente que atravessa a bobina, de valor inicial I_0, atingir 36,8% de I_o

Resposta Natural do Circuito RL de Primeira Ordem:

$$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)}$$
$$u_L(t) = -R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)}$$

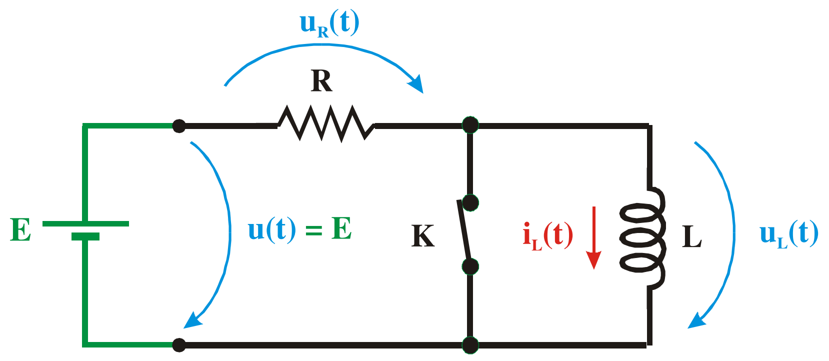


$t - t_0 = \tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-1} = 0{,}368 \cdot I_0$
$t - t_0 = 3\tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-3} = 0{,}049 \cdot I_0$
$t - t_0 = 5\tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-5} = 0{,}007 \cdot I_0$



$t - t_0 = \tau$	$u_L(t) = -RI_0 \cdot e^{-1} = -0{,}368 \cdot RI_0$
$t - t_0 = 3\tau$	$u_L(t) = -RI_0 \cdot e^{-3} = -0{,}049 \cdot RI_0$
$t - t_0 = 5\tau$	$u_L(t) = -RI_0 \cdot e^{-5} = -0{,}007 \cdot RI_0$

21.5.3 *Resposta Forçada do Circuito RL de Primeira Ordem*



E e **R** podem ser a **Tensão de Thévenin** e a **Resistência de Thévenin** de um circuito mais complexo.

Verificam-se as seguintes condições iniciais:

- O interruptor K está inicialmente fechado, garantindo que a tensão entre os terminais da bobina $u_L(t)$ é nula e a sua corrente $i_L(t)$ permanece constante;
- A corrente que atravessa a bobina é nula no instante $t = 0$, ou seja, $i_L(0) = 0$;
- O interruptor K é aberto no instante $t = 0$ e permanece aberto a partir desse instante. Enquanto K estiver aberto, este circuito corresponde ao caso particular do circuito apresentado no ponto 2.1 em que u(t) = E.

Como já se tinha visto no ponto 2.1,

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{u(t)}{L}$$

Assim, para se determinar a corrente na bobina para $t \geq 0$ é necessário resolver a seguinte **equação diferencial ordinária de primeira ordem**, na qual E, R e L são constantes e $i_L(t)$ é a incógnita:

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{E}{L}$$

A solução desta equação é a seguinte:

$$i_L(t) = \underbrace{\frac{E}{R}}_{\substack{\text{Estado}\\\text{Permanente}}} \underbrace{- \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}}_{\substack{\text{Estado}\\\text{Transitório}}}$$

Para $t \geq 0$ a tensão entre os terminais da bobina é dada por

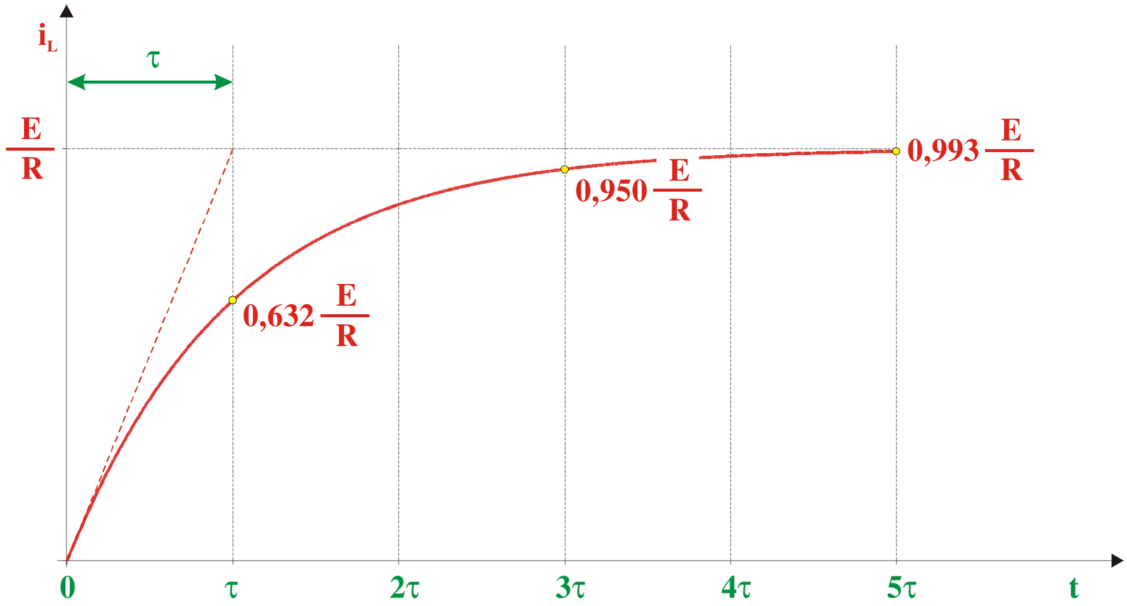
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = E - R \cdot i_L(t) = \underbrace{E \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}}_{\substack{\text{Estado}\\\text{Transitório}}}$$

Valores iniciais: $\begin{cases} i_L(0) = 0 \\ u_L(0) = E \end{cases}$	Regime permanente: $\begin{cases} i_L(t \to \infty) = \frac{E}{R} \\ u_L(t \to \infty) = 0 \end{cases}$	Constante de tempo do circuito: $\tau = \frac{L}{R}$ (s) **τ** é o tempo necessário para a corrente que atravessa a bobina, de valor inicial nulo, atingir 63,2% do seu valor final $\frac{E}{R}$

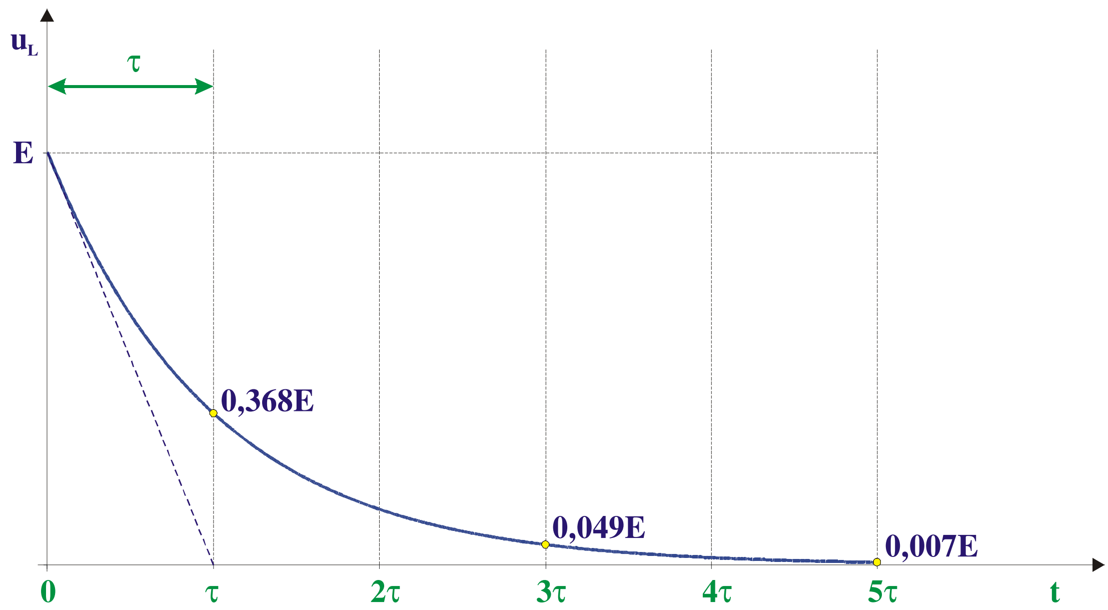
Resposta Forçada do Circuito RL de Primeira Ordem:

$$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}$$

$$u_L(t) = E \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}$$

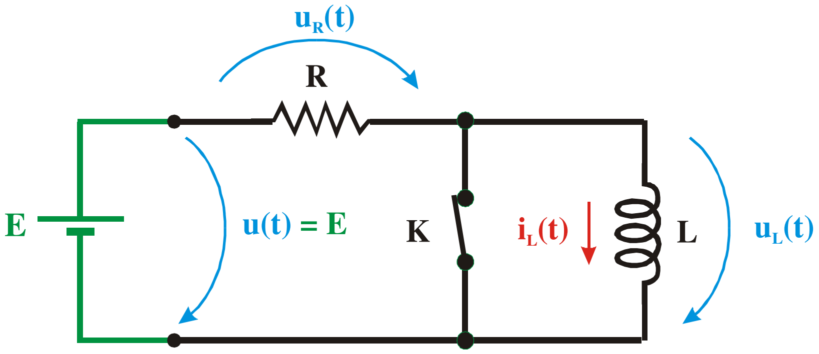


$t = \tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-1} = 0{,}632 \cdot \frac{E}{R}$
$t = 3\tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-3} = 0{,}950 \cdot \frac{E}{R}$
$t = 5\tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-5} = 0{,}993 \cdot \frac{E}{R}$



$t = \tau$	$u_L(t) = E \cdot e^{-1} = 0{,}368 \cdot E$
$t = 3\tau$	$u_L(t) = E \cdot e^{-3} = 0{,}049 \cdot E$
$t = 5\tau$	$u_L(t) = E \cdot e^{-5} = 0{,}007 \cdot E$

Se o interruptor K for aberto num instante $t = t_0$ em vez de ser aberto no instante $t = 0$...



Verificam-se as seguintes condições iniciais:

- O interruptor K está inicialmente fechado, garantindo que a tensão entre os terminais da bobina $u_L(t)$ é nula e a sua corrente $i_L(t)$ permanece constante;
- A corrente que atravessa a bobina é nula no instante $t = t_0$, ou seja, $i_L(t_0) = 0$;
- O interruptor K é aberto no instante $t = t_0$ e permanece aberto a partir desse instante. Enquanto K estiver aberto, este circuito corresponde ao caso particular do circuito apresentado no ponto 2.1 em que u(t) = E.

Como já se tinha visto no ponto 2.1,

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{u(t)}{L}$$

Assim, para se determinar a corrente na bobina para $t \geq t_0$ é necessário resolver a seguinte **equação diferencial ordinária de primeira ordem**, na qual E, R e L são constantes e $i_L(t)$ é a incógnita:

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{E}{L}$$

A solução desta equação é a seguinte:

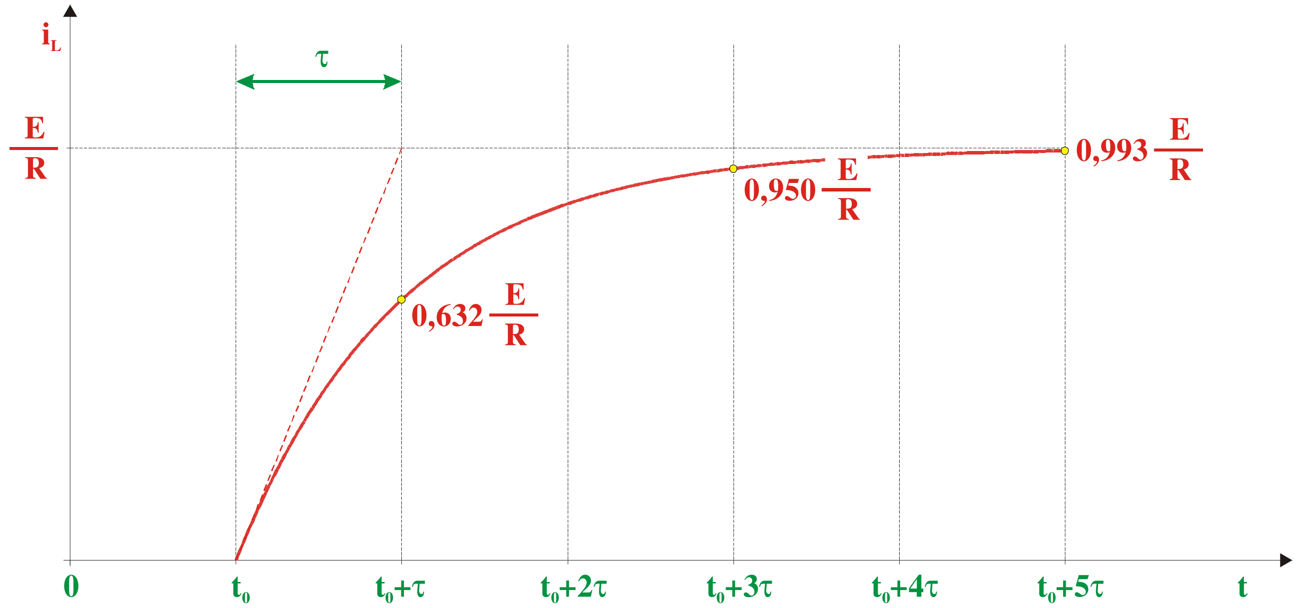
$$i_L(t) = \underbrace{\frac{E}{R}}_{\substack{\text{Estado} \\ \text{Permanente}}} \underbrace{- \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot (t - t_0)}}_{\substack{\text{Estado} \\ \text{Transitório}}}$$

Para $t \geq t_0$ a tensão entre os terminais da bobina é dada por

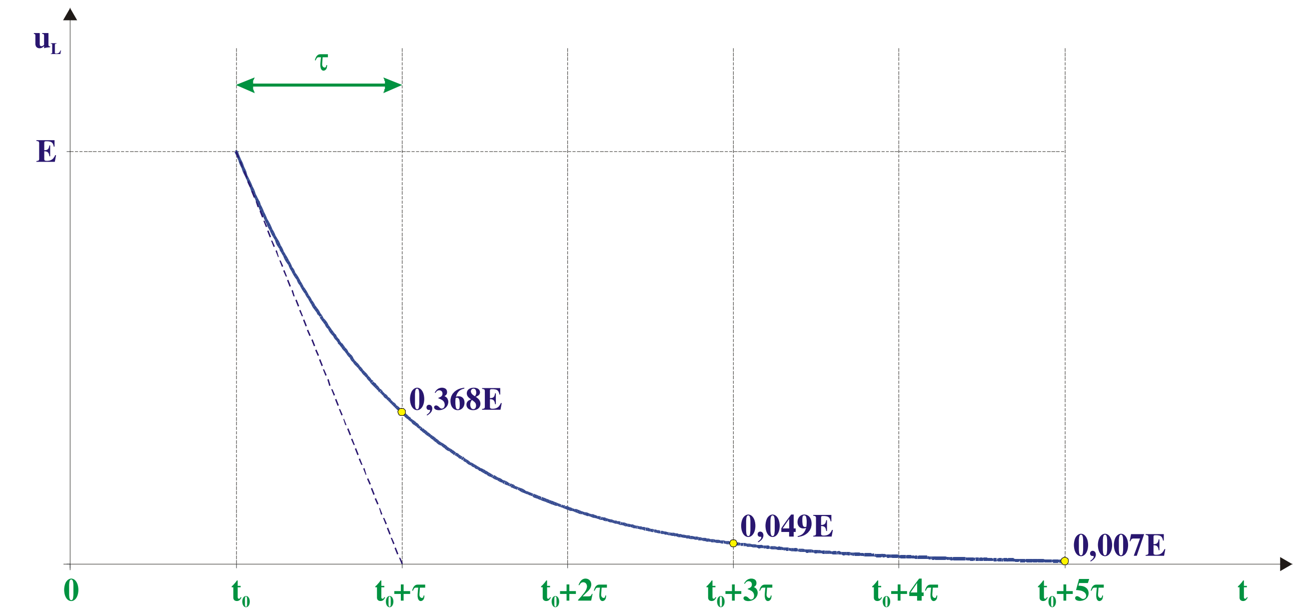
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = E - R \cdot i_L(t) = \underbrace{E \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot (t - t_0)}}_{\substack{\text{Estado} \\ \text{Transitório}}}$$

Valores iniciais: $\begin{cases} i_L(t_0) = 0 \\ u_L(t_0) = E \end{cases}$	Regime permanente: $\begin{cases} i_L(t \to \infty) = \frac{E}{R} \\ u_L(t \to \infty) = 0 \end{cases}$	Constante de tempo do circuito: $\tau = \frac{L}{R}$ (s) **τ** é o tempo necessário para a corrente que atravessa a bobina, de valor inicial nulo, atingir 63,2% do seu valor final $\frac{E}{R}$

Resposta Forçada do Circuito RL de Primeira Ordem:
$$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)}$$
$$u_L(t) = E \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)}$$

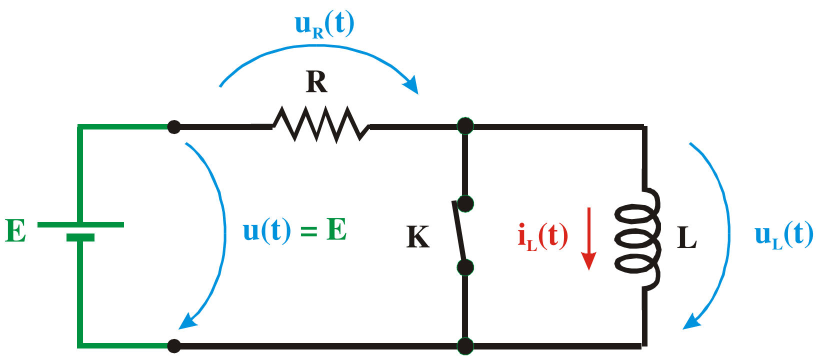


$t - t_0 = \tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-1} = 0{,}632 \cdot \frac{E}{R}$
$t - t_0 = 3\tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-3} = 0{,}950 \cdot \frac{E}{R}$
$t - t_0 = 5\tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-5} = 0{,}993 \cdot \frac{E}{R}$



$t - t_0 = \tau$	$u_L(t) = E \cdot e^{-1} = 0{,}368 \cdot E$
$t - t_0 = 3\tau$	$u_L(t) = E \cdot e^{-3} = 0{,}049 \cdot E$
$t - t_0 = 5\tau$	$u_L(t) = E \cdot e^{-5} = 0{,}007 \cdot E$

21.5.4 Resposta Total do Circuito RL de Primeira Ordem



E e **R** podem ser a **Tensão de Thévenin** e a **Resistência de Thévenin** de um circuito mais complexo.

Verificam-se as seguintes condições iniciais:

- O interruptor K está inicialmente fechado, garantindo que a tensão entre os terminais da bobina $u_L(t)$ é nula e a sua corrente $i_L(t)$ permanece constante;
- A bobina é atravessada por uma corrente I_0 no instante $t = 0$, ou seja, $i_L(0) = I_0$;
- O interruptor K é aberto no instante $t = 0$ e permanece aberto a partir desse instante. Enquanto K estiver aberto, este circuito corresponde ao caso particular do circuito apresentado no ponto 2.1 em que u(t) = E.

Como já se tinha visto no ponto 2.1,

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L}\cdot i_L(t) = \frac{u(t)}{L}$$

Assim, para se determinar a corrente na bobina para $t \geq 0$ é necessário resolver a seguinte **equação diferencial ordinária de primeira ordem**, na qual E, R e L são constantes e $i_L(t)$ é a incógnita:

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L}\cdot i_L(t) = \frac{E}{L}$$

A solução desta equação é a seguinte:

$$i_L(t) = \overset{\text{Resposta Forçada}}{\boxed{\underbrace{\frac{E}{R}}_{\text{Estado Permanente}} - \frac{E}{R}\cdot e^{-\frac{R}{L}t}}}\;\underbrace{+\;\overset{\text{Resposta Natural}}{\boxed{I_0\cdot e^{-\frac{R}{L}t}}}}_{\text{Estado Transitório}}$$

Para $t \geq 0$ a tensão entre os terminais da bobina é dada por

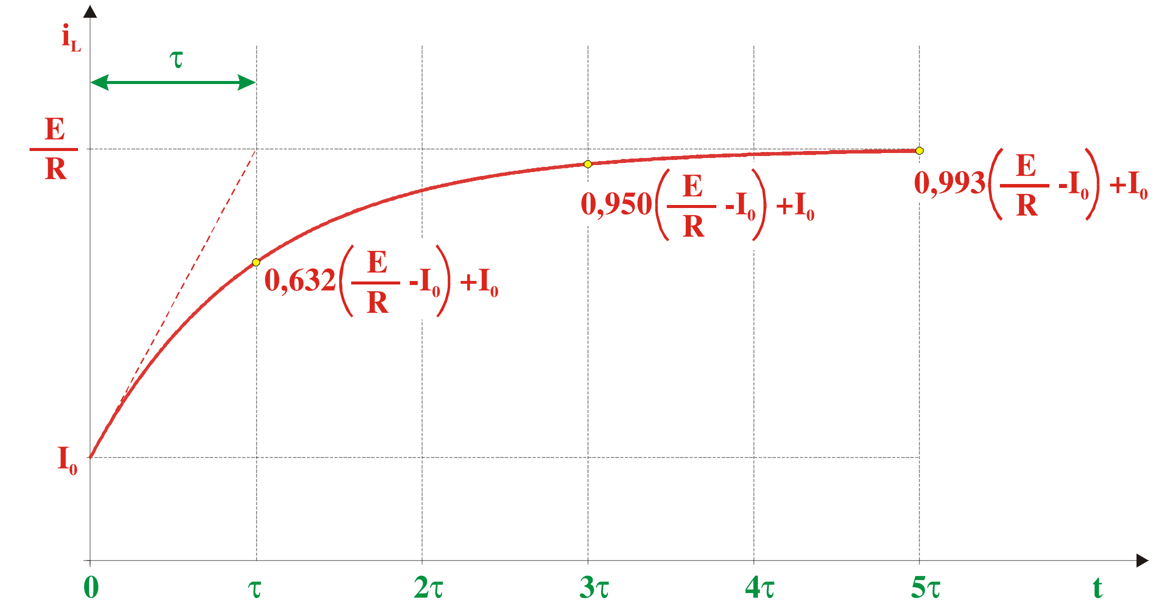
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = E - R\cdot i_L(t) = \underbrace{\overset{\text{Resposta Forçada}}{\boxed{E\cdot e^{-\frac{R}{L}t}}}\overset{\text{Resposta Natural}}{\boxed{-R\cdot I_0\cdot e^{-\frac{R}{L}t}}}}_{\text{Estado Transitório}}$$

Valores iniciais: $\begin{cases} i_L(0) = I_0 \\ u_L(0) = E - R\cdot I_0 \end{cases}$	Regime permanente: $\begin{cases} i_L(t\to\infty) = \frac{E}{R} \\ u_L(t\to\infty) = 0 \end{cases}$	Constante de tempo do circuito: $\tau = \frac{L}{R}$ (s) **τ** é o tempo necessário para a corrente que atravessa a bobina, de valor inicial I_0, atingir o valor $0{,}632\cdot\left(\frac{E}{R} - I_0\right) + I_0$

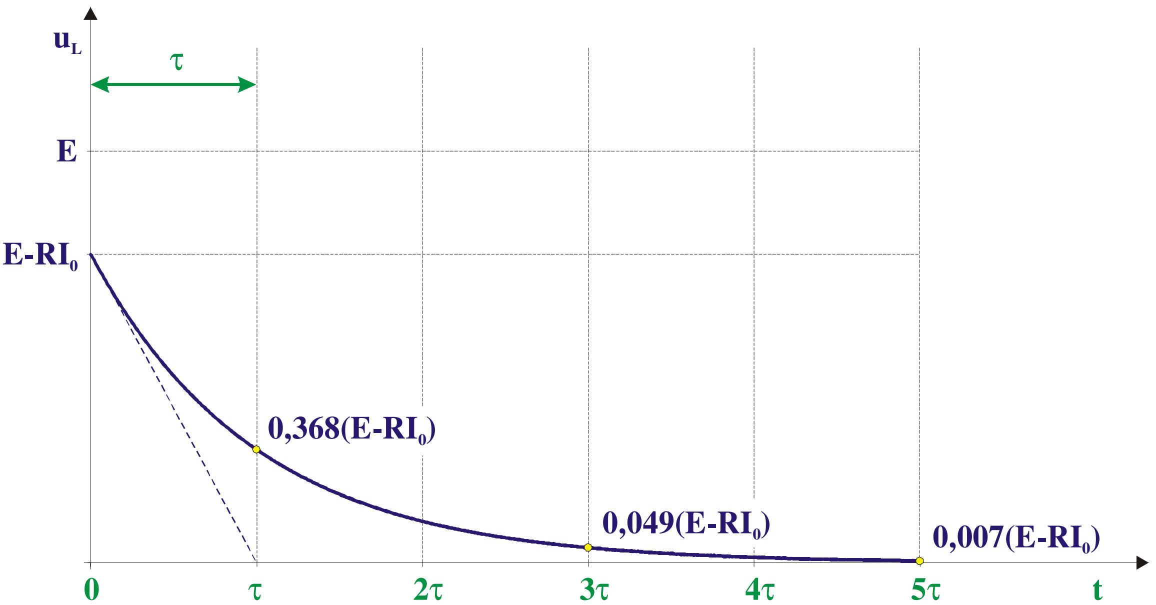
Resposta Total do Circuito RL de Primeira Ordem:

$$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R}\cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t} + I_0\cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t} = \left(\frac{E}{R} - I_0\right)\cdot\left(1 - e^{-\frac{R}{L}\cdot t}\right) + I_0$$

$$u_L(t) = E\cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t} - R\cdot I_0\cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t} = (E - R\cdot I_0)\cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot t}$$

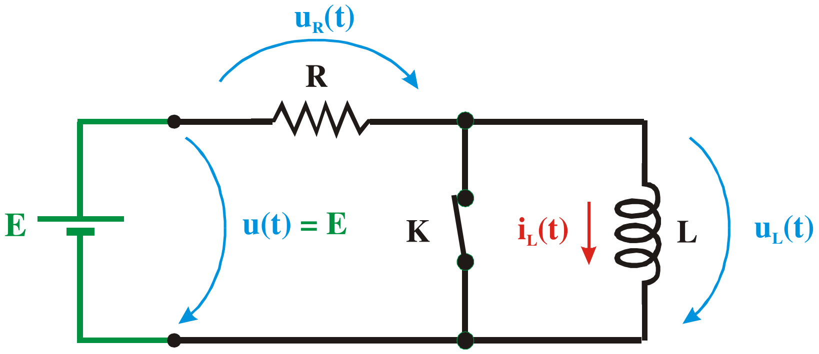


$t = \tau$	$i_L(t) = \left(\frac{E}{R} - I_0\right)\cdot\left(1 - e^{-1}\right) + I_0 = 0{,}632\cdot\left(\frac{E}{R} - I_0\right) + I_0$
$t = 3\tau$	$i_L(t) = \left(\frac{E}{R} - I_0\right)\cdot\left(1 - e^{-3}\right) + I_0 = 0{,}950\cdot\left(\frac{E}{R} - I_0\right) + I_0$
$t = 5\tau$	$i_L(t) = \left(\frac{E}{R} - I_0\right)\cdot\left(1 - e^{-5}\right) + I_0 = 0{,}993\cdot\left(\frac{E}{R} - I_0\right) + I_0$



$t = \tau$	$u_L(t) = (E - R\cdot I_0)\cdot e^{-1} = 0{,}368\cdot(E - R\cdot I_0)$
$t = 3\tau$	$u_L(t) = (E - R\cdot I_0)\cdot e^{-3} = 0{,}049\cdot(E - R\cdot I_0)$
$t = 5\tau$	$u_L(t) = (E - R\cdot I_0)\cdot e^{-5} = 0{,}007\cdot(E - R\cdot I_0)$

Se o interruptor K for aberto num instante $t = t_0$ em vez de ser aberto no instante $t = 0$...



Verificam-se as seguintes condições iniciais:

- O interruptor K está inicialmente fechado, garantindo que a tensão entre os terminais da bobina $u_L(t)$ é nula e a sua corrente $i_L(t)$ permanece constante;
- A bobina é atravessada por uma corrente I_0 no instante $t = t_0$, ou seja, $i_L(t_0) = I_0$;
- O interruptor K é aberto no instante $t = t_0$ e permanece aberto a partir desse instante. Enquanto K estiver aberto, este circuito corresponde ao caso particular do circuito apresentado no ponto 2.1 em que u(t) = E.

Como já se tinha visto no ponto 2.1,

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{u(t)}{L}$$

Assim, para se determinar a corrente na bobina para $t \geq t_0$ é necessário resolver a seguinte **equação diferencial ordinária de primeira ordem**, na qual E, R e L são constantes e $i_L(t)$ é a incógnita:

$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{E}{L}$$

A solução desta equação é a seguinte:

$$i_L(t) = \overset{\text{Resposta Forçada}}{\boxed{\underbrace{\frac{E}{R}}_{\text{Estado Permanente}} - \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot (t - t_0)}}} \underbrace{+ \overset{\text{Resposta Natural}}{\boxed{I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot (t - t_0)}}}}_{\text{Estado Transitório}}$$

Para $t \geq t_0$ a tensão entre os terminais da bobina é dada por

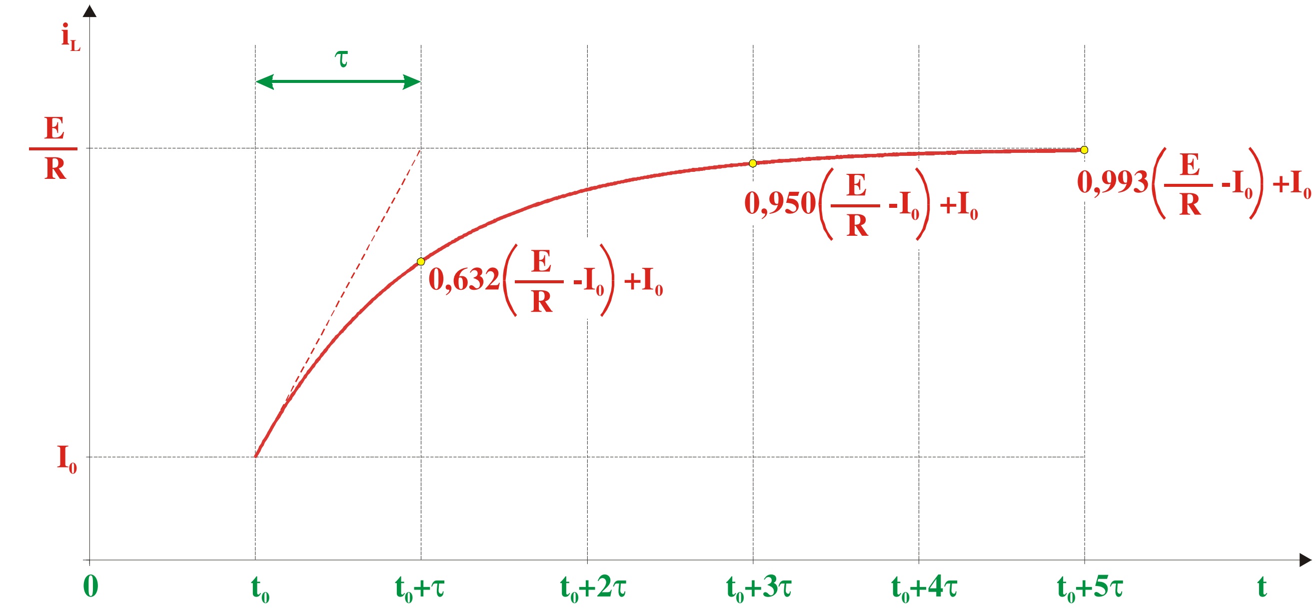
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = E - R \cdot i_L(t) = \underbrace{\overset{\text{Resposta Forçada}}{\boxed{E \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot (t - t_0)}}} \overset{\text{Resposta Natural}}{\boxed{- R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot (t - t_0)}}}}_{\text{Estado Transitório}}$$

Valores iniciais: $\begin{cases} i_L(t_0) = I_0 \\ u_L(t_0) = E - R \cdot I_0 \end{cases}$	Regime permanente: $\begin{cases} i_L(t \to \infty) = \frac{E}{R} \\ u_L(t \to \infty) = 0 \end{cases}$	Constante de tempo do circuito: $\tau = \frac{L}{R}$ (s) **τ** é o tempo necessário para a corrente que atravessa a bobina, de valor inicial I_0, atingir o valor $0{,}632 \cdot \left(\frac{E}{R} - I_0\right) + I_0$

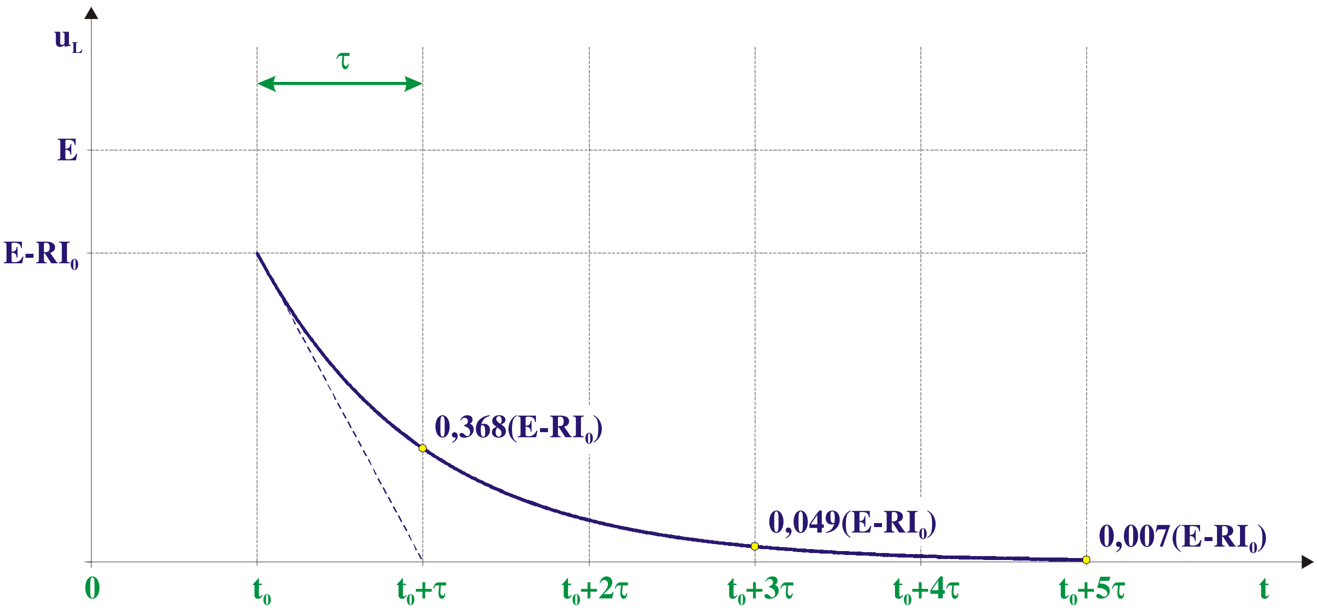
Resposta Total do Circuito RL de Primeira Ordem:

$$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R}\cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)} + I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)} = \left(\frac{E}{R} - I_0\right)\cdot\left[1 - e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)}\right] + I_0$$

$$u_L(t) = E \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)} - R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)} = (E - R \cdot I_0)\cdot e^{-\frac{R}{L}\cdot(t-t_0)}$$



$t - t_0 = \tau$	$i_L(t) = \left(\frac{E}{R} - I_0\right)\cdot\left(1 - e^{-1}\right) + I_0 = 0{,}632\cdot\left(\frac{E}{R} - I_0\right) + I_0$
$t - t_0 = 3\tau$	$i_L(t) = \left(\frac{E}{R} - I_0\right)\cdot\left(1 - e^{-3}\right) + I_0 = 0{,}950\cdot\left(\frac{E}{R} - I_0\right) + I_0$
$t - t_0 = 5\tau$	$i_L(t) = \left(\frac{E}{R} - I_0\right)\cdot\left(1 - e^{-5}\right) + I_0 = 0{,}993\cdot\left(\frac{E}{R} - I_0\right) + I_0$



$t - t_0 = \tau$	$u_L(t) = (E - R\cdot I_0)\cdot e^{-1} = 0{,}368\cdot(E - R\cdot I_0)$
$t - t_0 = 3\tau$	$u_L(t) = (E - R\cdot I_0)\cdot e^{-3} = 0{,}049\cdot(E - R\cdot I_0)$
$t - t_0 = 5\tau$	$u_L(t) = (E - R\cdot I_0)\cdot e^{-5} = 0{,}007\cdot(E - R\cdot I_0)$