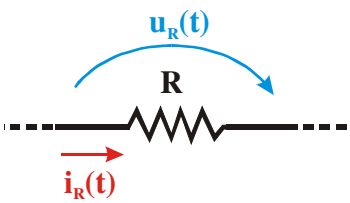
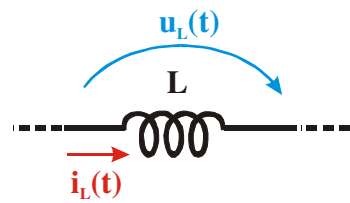
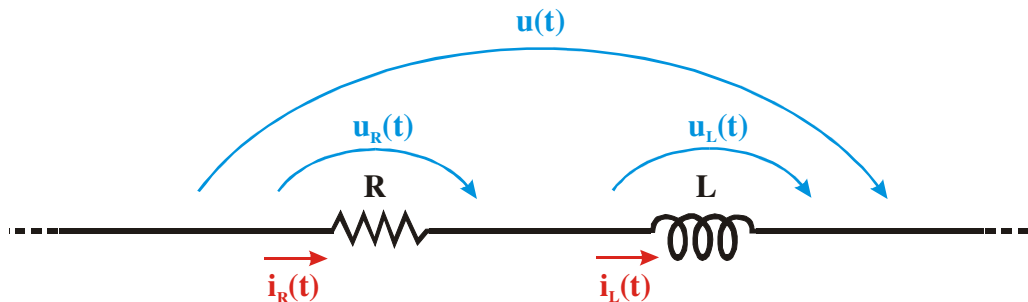


## 21.5 Resposta Transitória de Circuitos RL de Primeira Ordem

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

 <p>Seja qual for o circuito onde uma resistência ideal se insere, a relação entre a <b>tensão <math>u_R(t)</math></b> que existe entre os seus terminais e a <b>corrente <math>i_R(t)</math></b> que a percorre – conhecida por Lei de Ohm – é sempre traduzida pela seguinte expressão (assumindo os sentidos positivos de <math>u_R(t)</math> e <math>i_R(t)</math> indicados na figura):</p> $i_R(t) = \frac{u_R(t)}{R} \quad (\text{Lei de Ohm})$	 <p>Seja qual for o circuito onde uma bobina ideal se insere, a relação entre a <b>tensão <math>u_L(t)</math></b> que existe entre os seus terminais e a <b>corrente <math>i_L(t)</math></b> que a percorre é traduzida pela seguinte expressão (assumindo os sentidos positivos de <math>u_L(t)</math> e <math>i_L(t)</math> indicados na figura):</p> $u_L(t) = L \cdot \frac{d[i_L(t)]}{dt}$ <p><math>\frac{d[i_L(t)]}{dt}</math> Derivada em ordem ao tempo da corrente que atravessa a bobina (em A/s)</p>
---	---



<p>A <b>corrente <math>i_R(t)</math></b> que passa na resistência e a <b>corrente <math>i_L(t)</math></b> que passa na bobina são <b>a mesma corrente</b>, ou seja</p> $i_R(t) = i_L(t)$ <p><math>u_R(t) = R \cdot i_L(t)</math></p>	<p>A <b>tensão <math>u(t)</math></b> aplicada ao conjunto dos dois componentes é igual à <b>soma</b> da <b>tensão <math>u_R(t)</math></b> que existe entre os terminais da resistência com a <b>tensão <math>u_L(t)</math></b> que existe entre os terminais da bobina, ou seja:</p> $u(t) = u_R(t) + u_L(t)$
--	---

Assim sendo, é verdade que

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

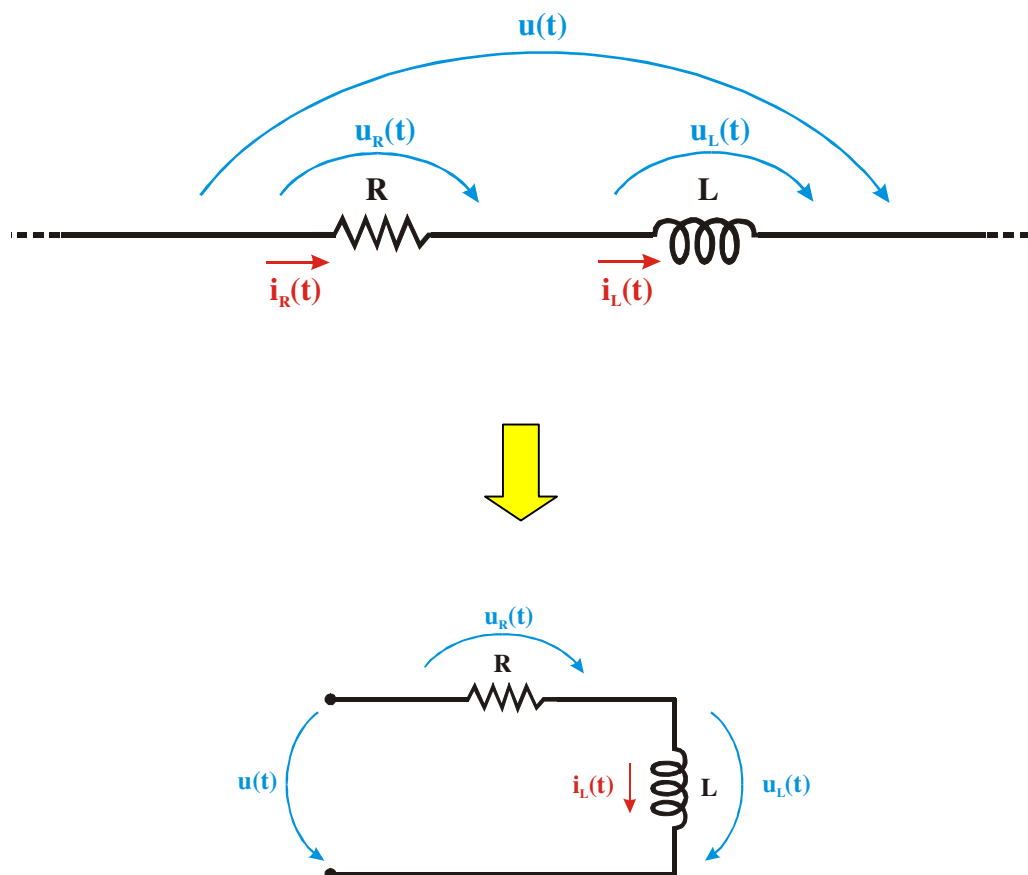
$$L \cdot \frac{d[i_L(t)]}{dt} = u(t) - R \cdot i_L(t)$$

A última expressão pode reescrever-se desta forma

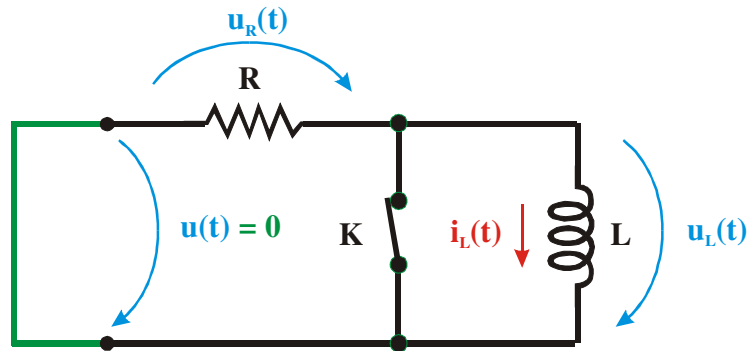
$$\frac{d[i_L(t)]}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) = \frac{u(t)}{L}$$

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:

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

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

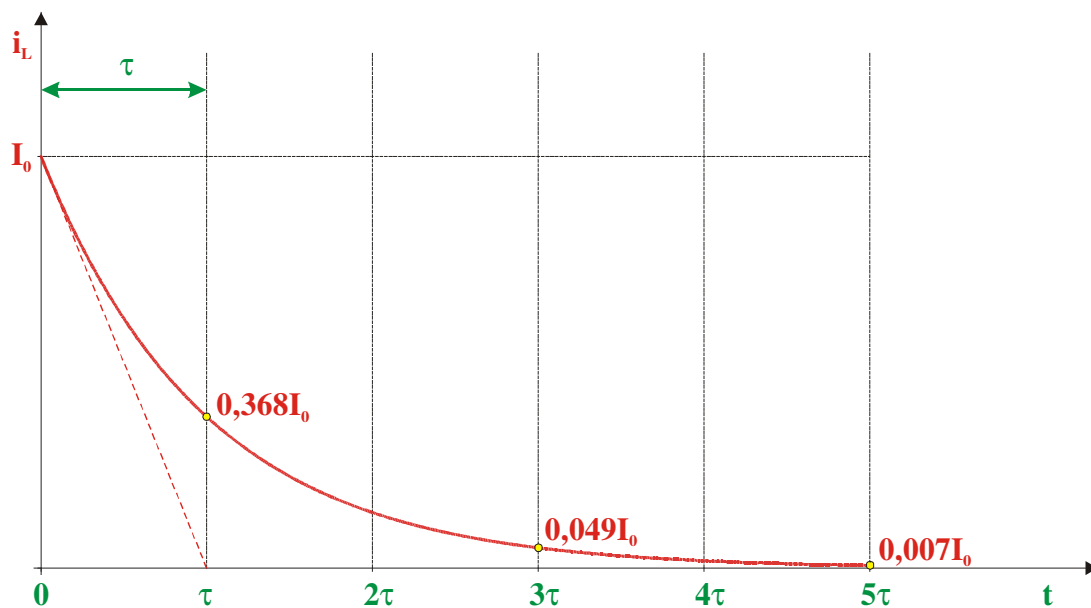
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = 0 - R \cdot i_L(t) = -R \cdot I_0 \cdot \underbrace{e^{-\frac{R}{L}t}}_{\text{Estado Transitório}}$$

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

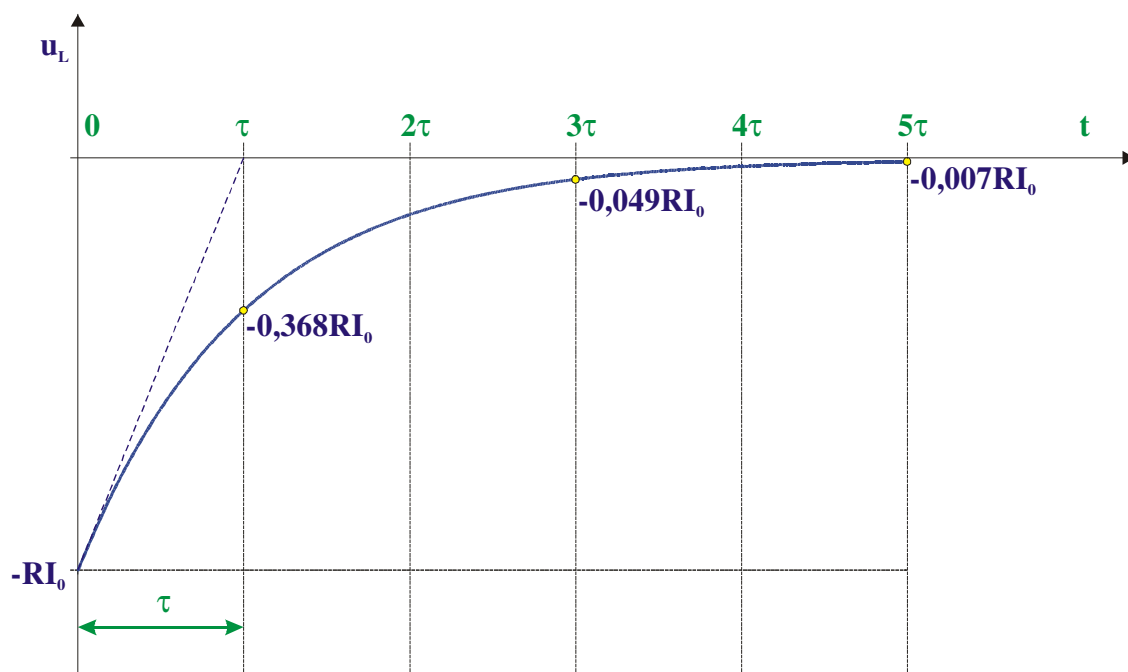
Resposta Natural do Circuito RL de Primeira Ordem:

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

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

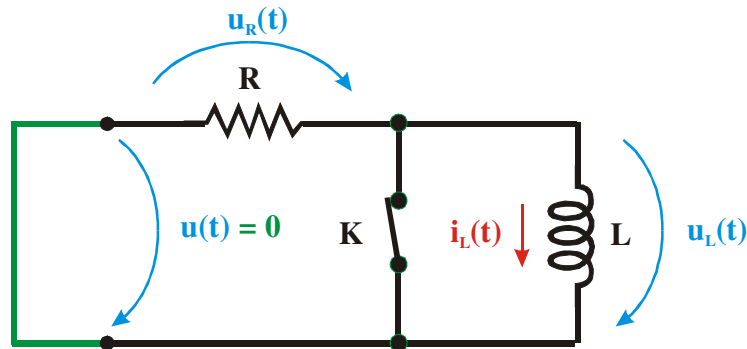


$t = \tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-1} = 0,368 \cdot I_0$
$t = 3\tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-3} = 0,049 \cdot I_0$
$t = 5\tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-5} = 0,007 \cdot I_0$



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

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



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:

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

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

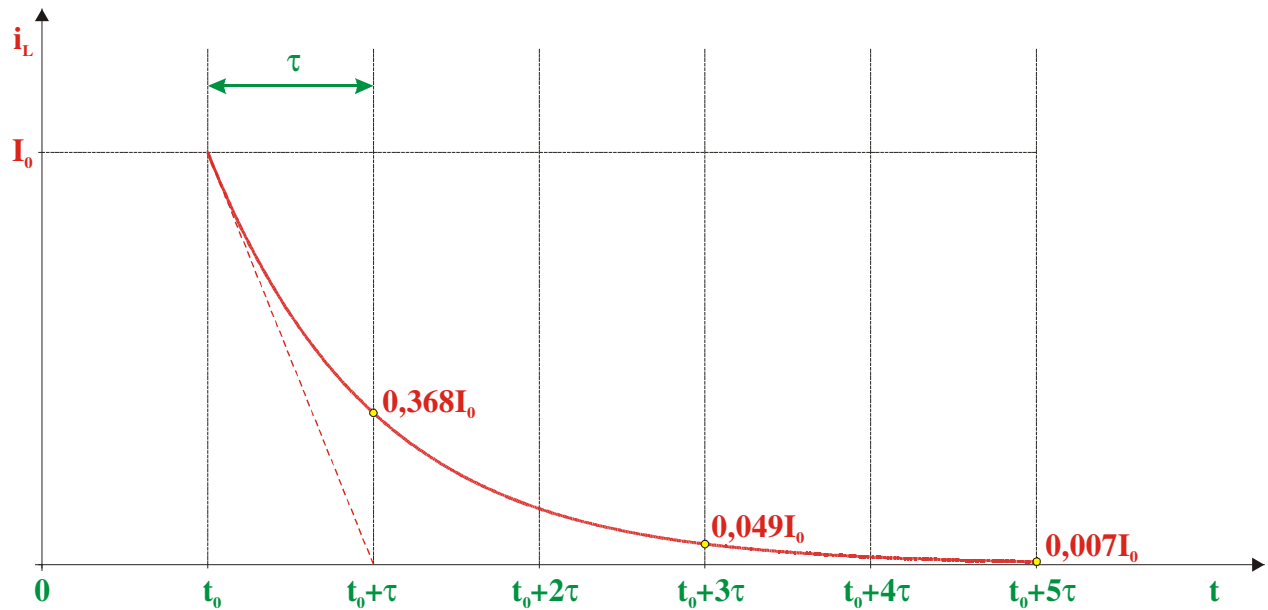
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = 0 - R \cdot i_L(t) = \underbrace{-R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)}}_{\text{Estado Transitório}}$$

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

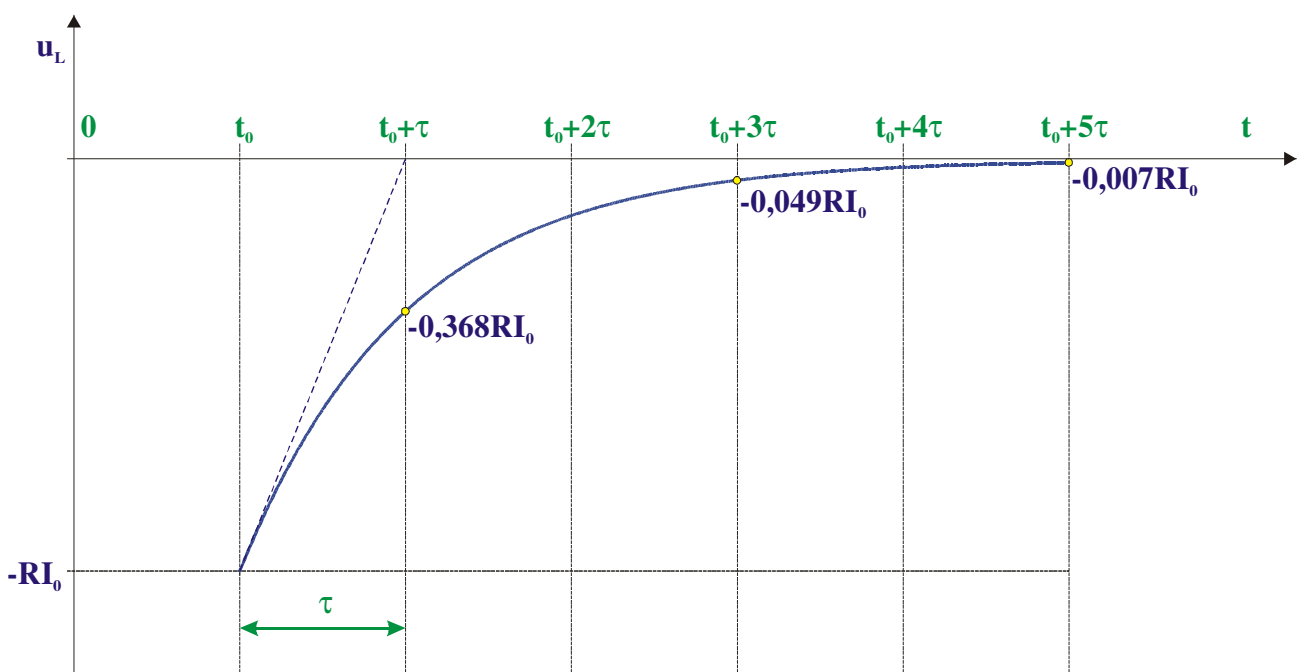
Resposta Natural do Circuito RL de Primeira Ordem:

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

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

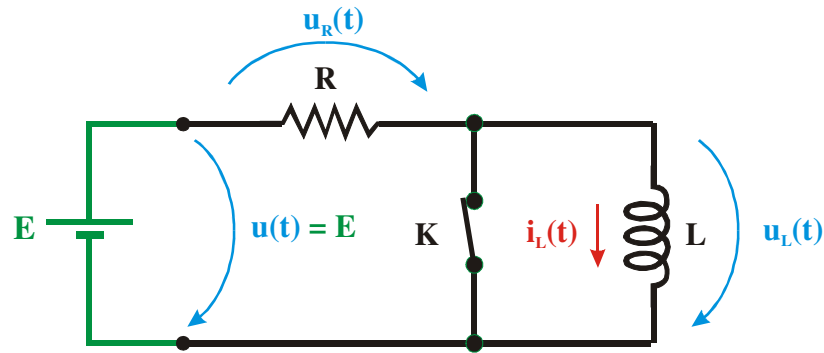


$t - t_0 = \tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-1} = 0,368 \cdot I_0$
$t - t_0 = 3\tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-3} = 0,049 \cdot I_0$
$t - t_0 = 5\tau$	$i_L(t) = I_0 \cdot e^{-5} = 0,007 \cdot I_0$



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

### 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:

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

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

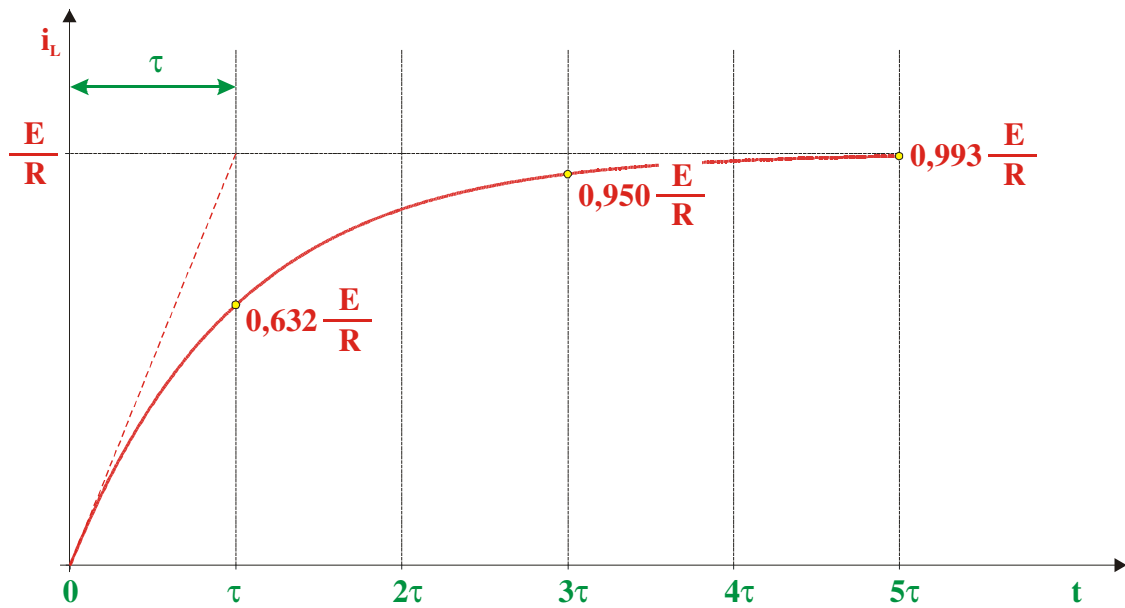
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = E - R \cdot i_L(t) = \underbrace{E \cdot e^{-\frac{R}{L}t}}_{\text{Estado Transitório}}$$

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

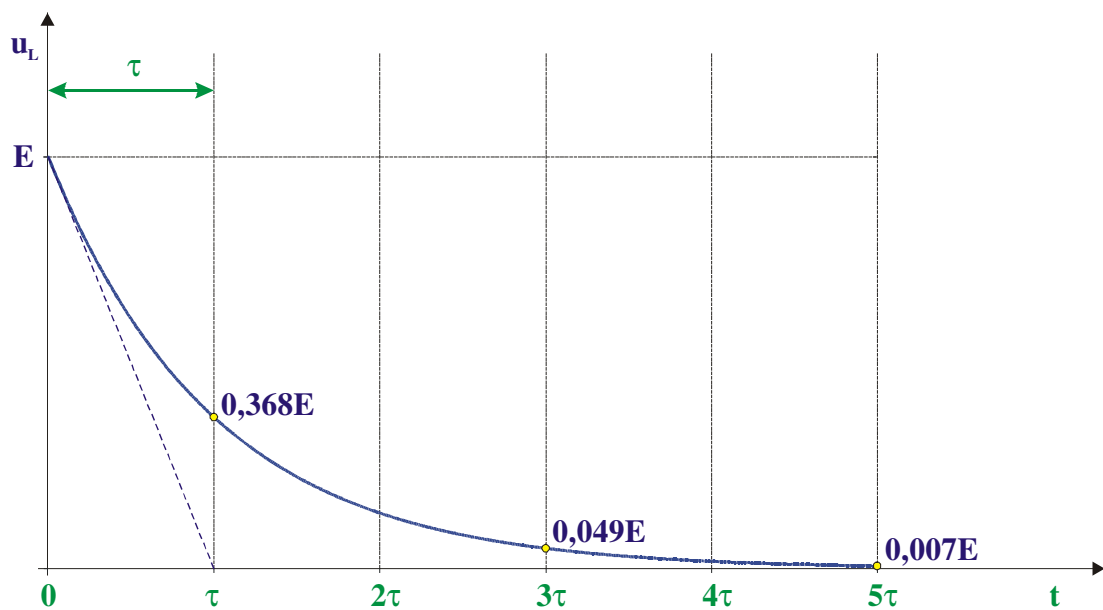
Resposta Forçada do Circuito RL de Primeira Ordem:

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

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



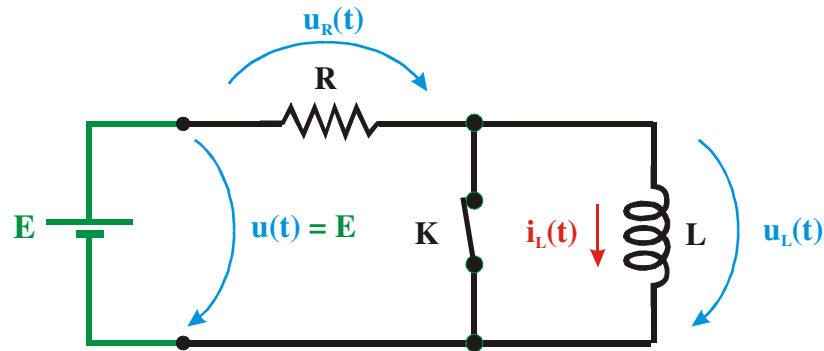
$t = \tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-1} = 0,632 \cdot \frac{E}{R}$
$t = 3\tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-3} = 0,950 \cdot \frac{E}{R}$
$t = 5\tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-5} = 0,993 \cdot \frac{E}{R}$



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



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



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:

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

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

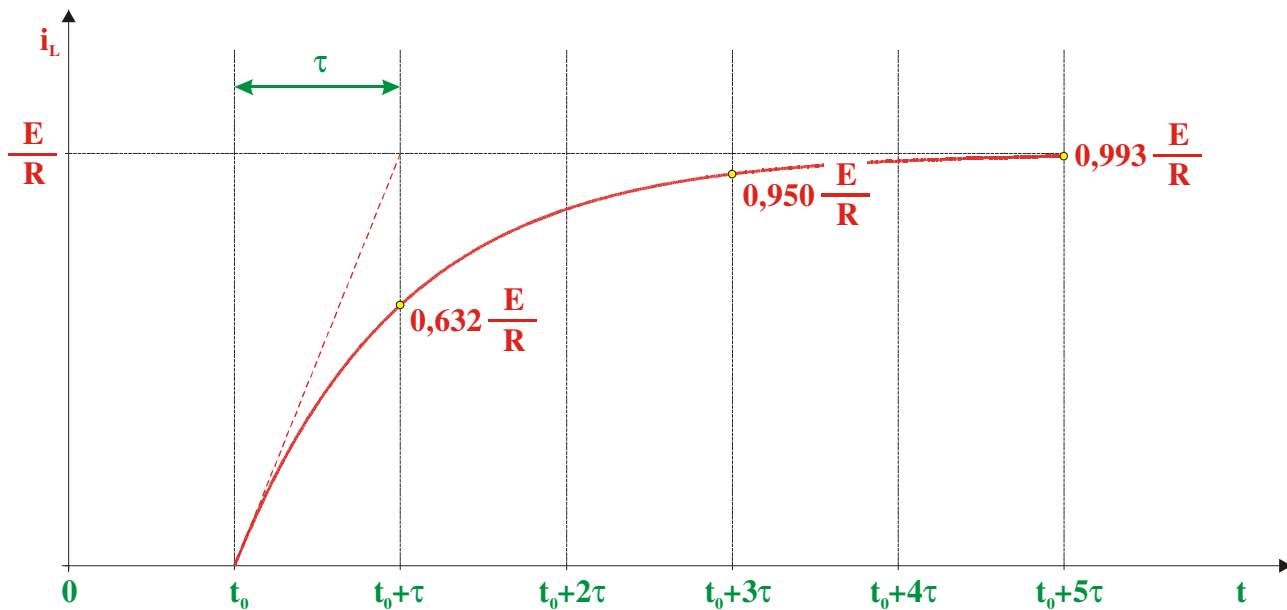
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = E - R \cdot i_L(t) = \underbrace{E \cdot e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)}}_{\text{Estado Transitório}}$$

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

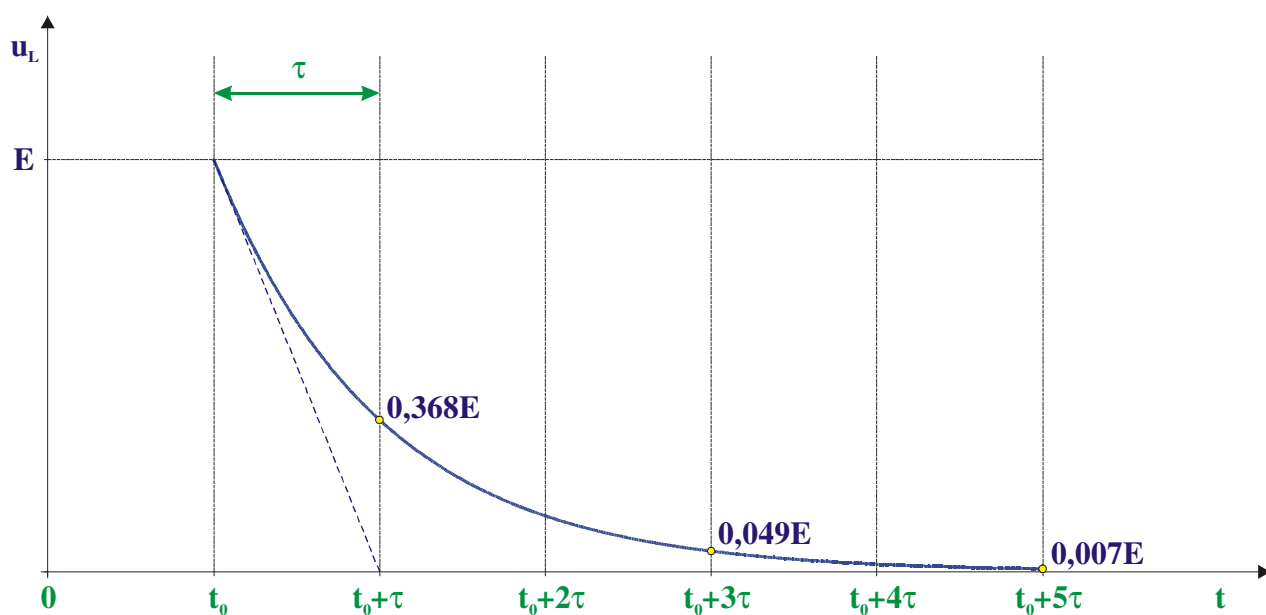
Resposta Forçada do Circuito RL de Primeira Ordem:

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

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

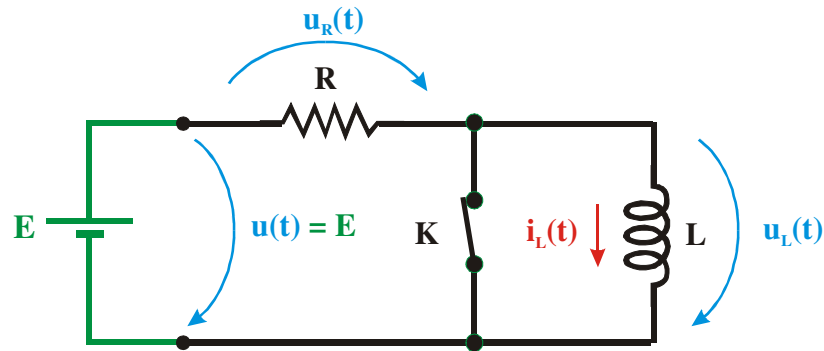


$t - t_0 = \tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-1} = 0,632 \cdot \frac{E}{R}$
$t - t_0 = 3\tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-3} = 0,950 \cdot \frac{E}{R}$
$t - t_0 = 5\tau$	$i_L(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} \cdot e^{-5} = 0,993 \cdot \frac{E}{R}$



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

### 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:

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

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

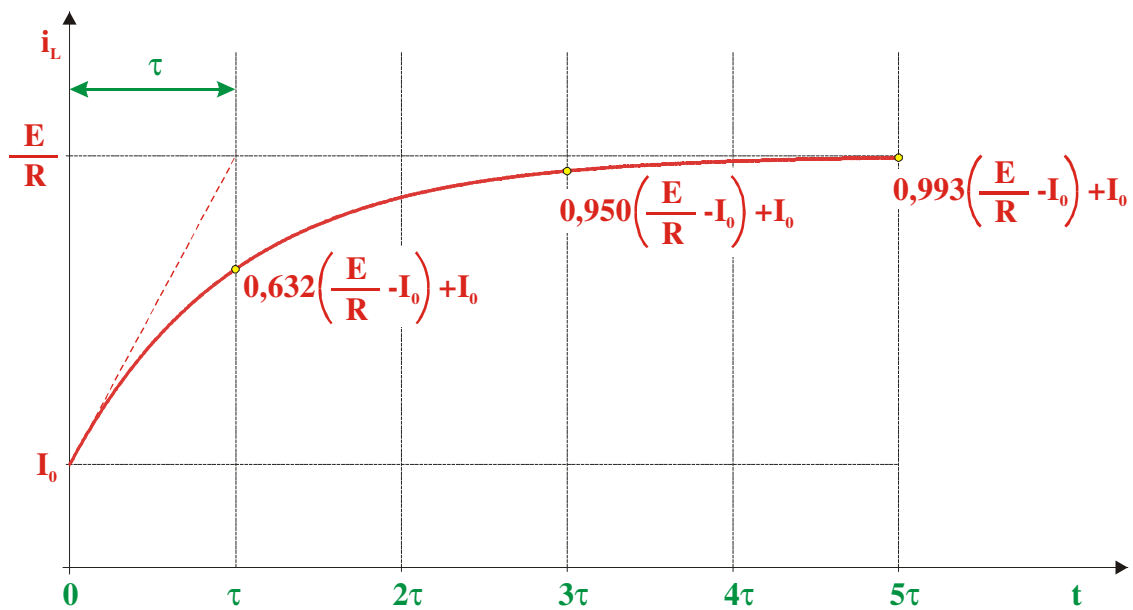
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = E - R \cdot i_L(t) = \underbrace{E \cdot e^{-\frac{R}{L}t}}_{\text{Resposta Forçada}} - \underbrace{R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t}}_{\text{Resposta Natural, Estado Transitório}}$$

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

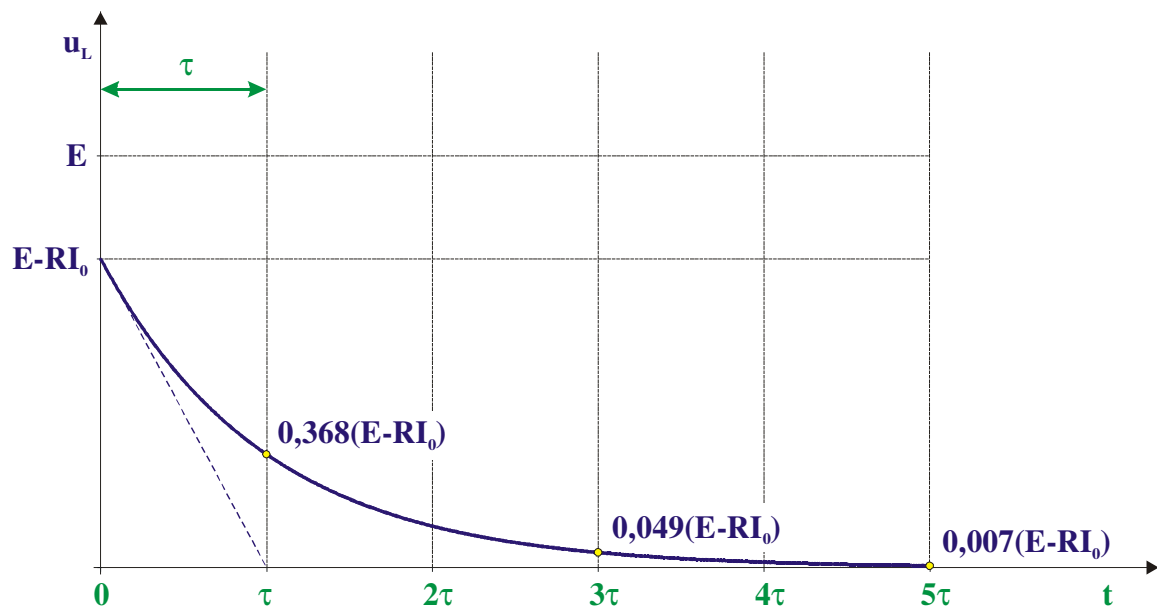
Resposta Total do Circuito RL de Primeira Ordem:

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

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

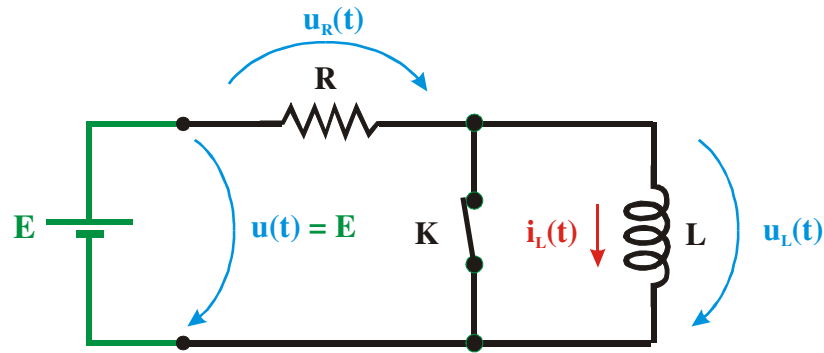


$t = \tau$	$i_L(t) = \left( \frac{E}{R} - I_0 \right) \cdot (1 - e^{-1}) + I_0 = 0,632 \cdot \left( \frac{E}{R} - I_0 \right) + I_0$
$t = 3\tau$	$i_L(t) = \left( \frac{E}{R} - I_0 \right) \cdot (1 - e^{-3}) + I_0 = 0,950 \cdot \left( \frac{E}{R} - I_0 \right) + I_0$
$t = 5\tau$	$i_L(t) = \left( \frac{E}{R}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



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

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



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:

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

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

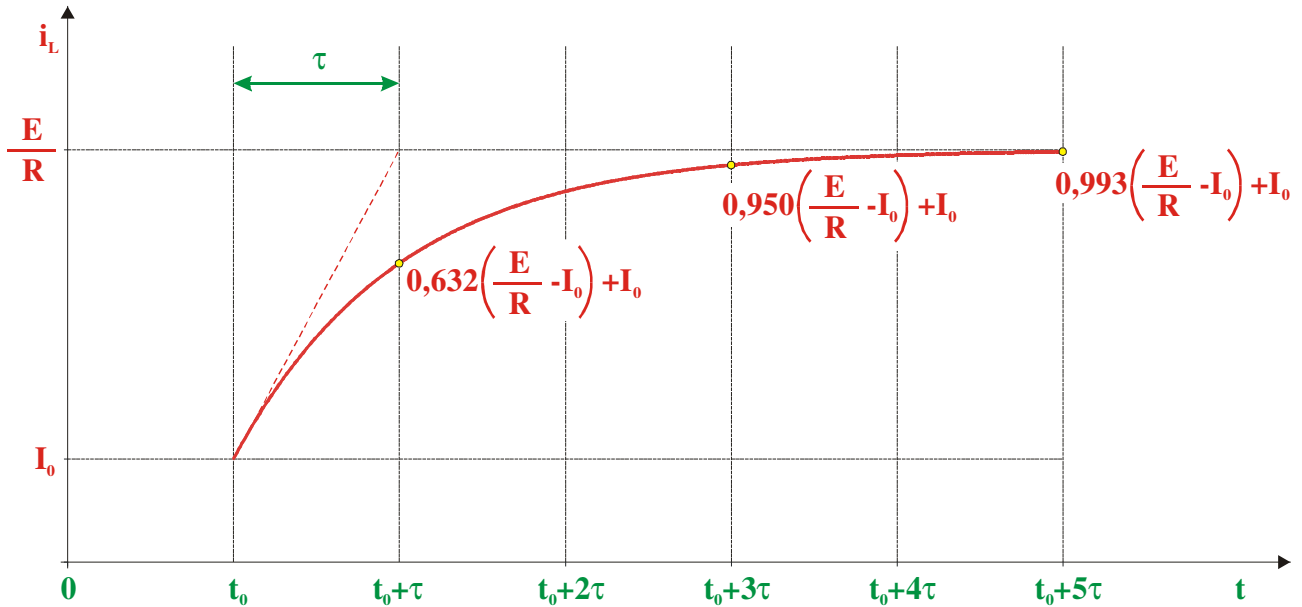
$$u_L(t) = u(t) - u_R(t) = E - R \cdot i_L(t) = \underbrace{E \cdot e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)}}_{\text{Estado Transitório}} - \underbrace{R \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)}}_{\text{Estado Transitório}}$$

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

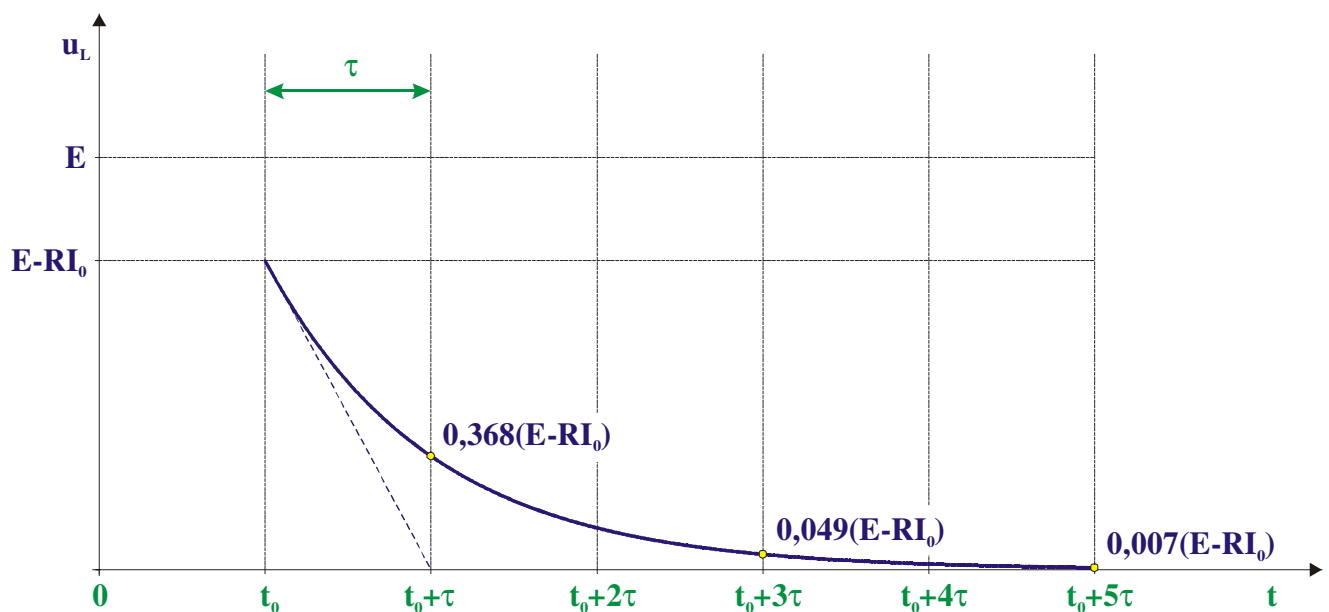
Resposta Total do Circuito RL de Primeira Ordem:

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

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



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



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