CIRCUITOS ELÉTRICOS I

Dispositivos reativos

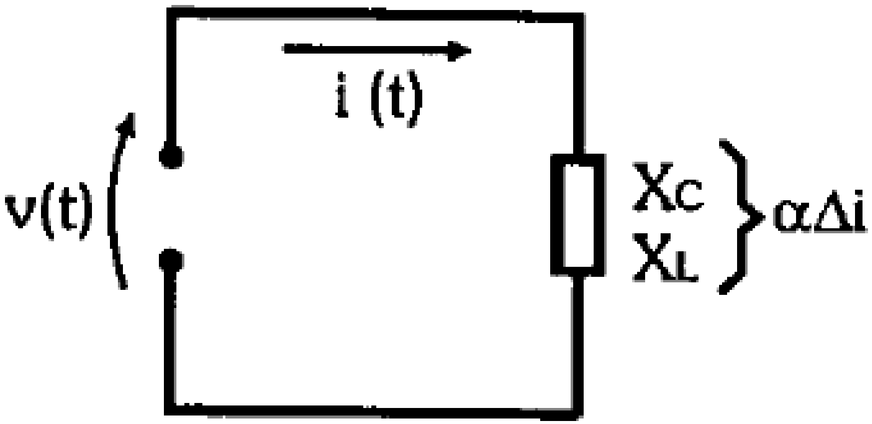
Prof. Caruso

Dispositivos Resistivos e Reativos

1 – Dispositivos Resistivos: São aqueles que oferecem resistência à passagem da corrente elétrica, mantendo seu valor ôhmico constante tanto para corrente contínua como para corrente alternada. (Exemplo: Resistor)

2 – Dispositivos Reativos: São aqueles que reagem às variações de corrente elétrica, e seu valor ôhmico muda conforme a velocidade da variação da corrente nele aplicada. (Exemplo: Capacitor e Indutor)

Dispositivos Resistivos e Reativos



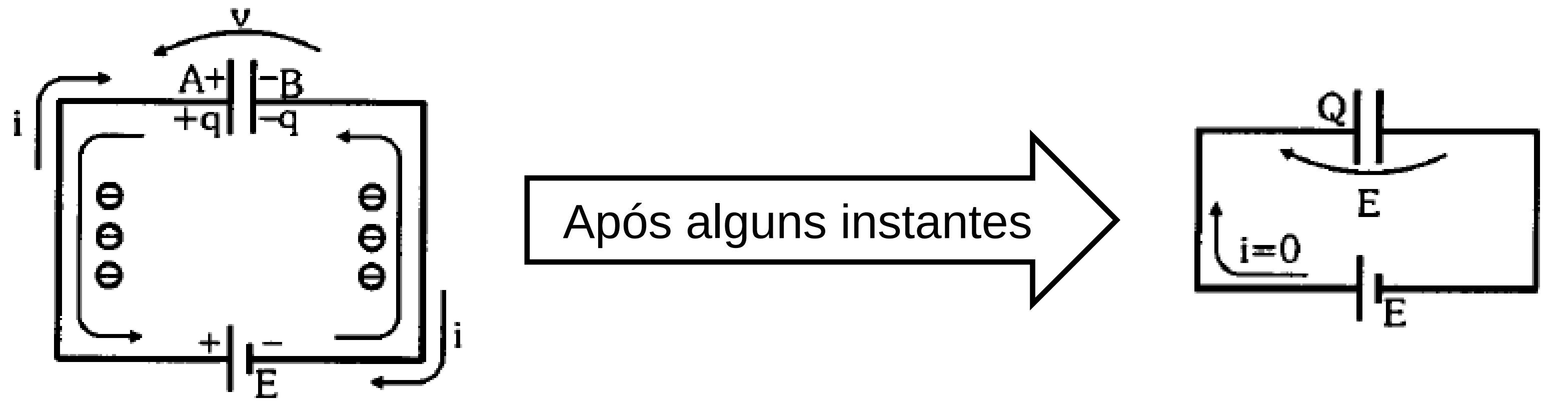
Essa reação às variações de corrente é denominada reatância capacitiva X_C ou reatância indutiva X_L , cujas unidades de medida é o ohm (Ω).

CIRCUITOS ELÉTRICOS I

Capacitor

Capacitor

São dispositivos elétricos que armazenam energia por meio da geração de um campo elétrico. São compostos por duas placas condutoras separadas por um material isolante (dielétrico).



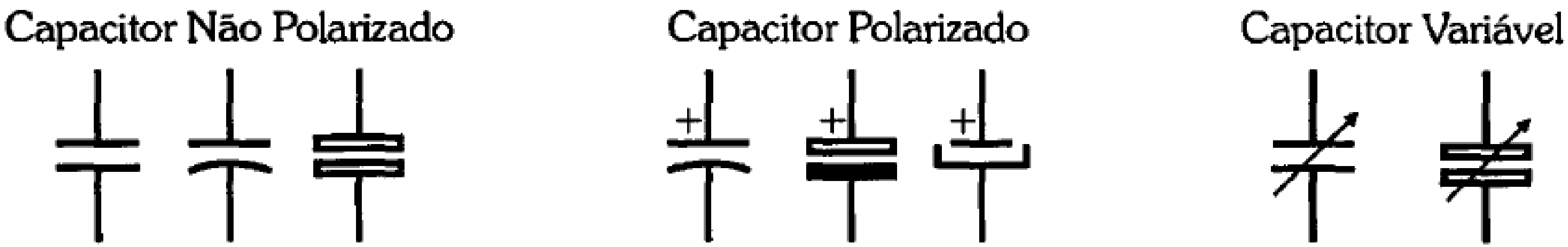
1 – Aplicando-se uma ddp entre os pólos A e B;

2 – O pólo A cede elétrons para o positivo da fonte;

3 – O pólo B recebe elétrons do terminal negativo da fonte;

4 – Após alguns instantes, a carga atinge seu valor máximo, ou seja, a ddp entre as placas se iguala à tensão da fonte, cessando o fluxo de elétrons.

Simbologia e Capacitância

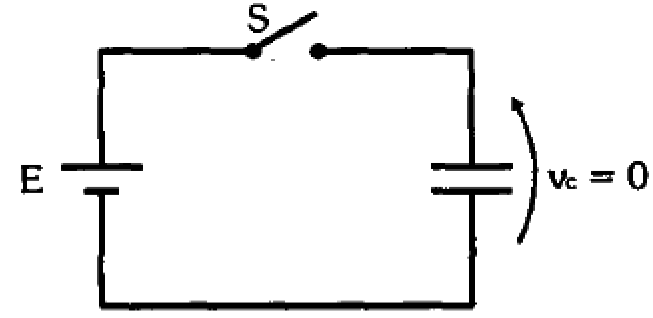


Capacitância *(C)* é a medida da carga elétrica *(q)* que o capacitor pode armazenar por unidade de tensão *(V_C).*

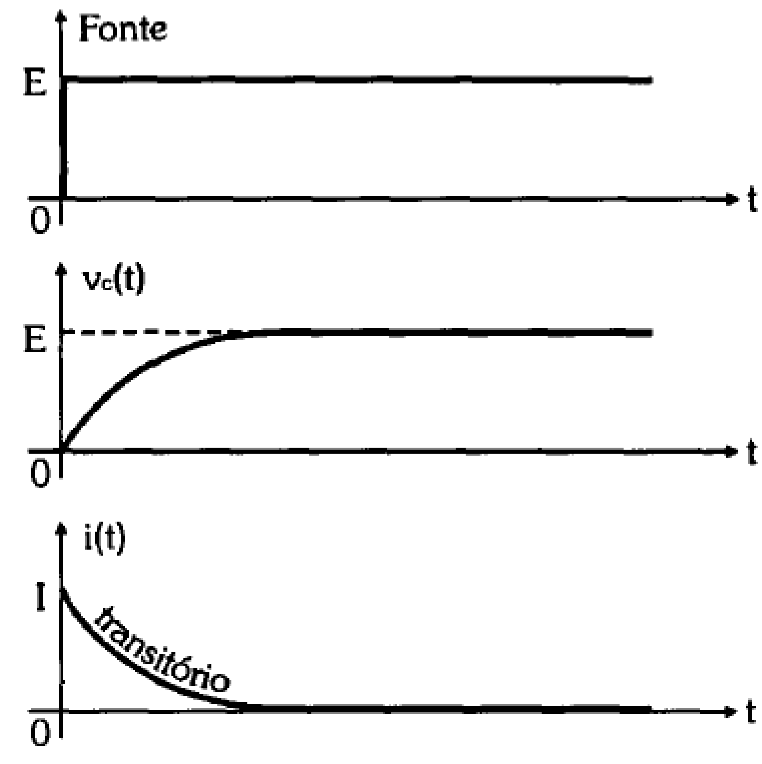
$$\boxed{C = \frac{q}{v_c}}$$

Unidade de Capacitância é o coulomb/volt (C/V) ou farad (F).

Comportamento elétrico do capacitor



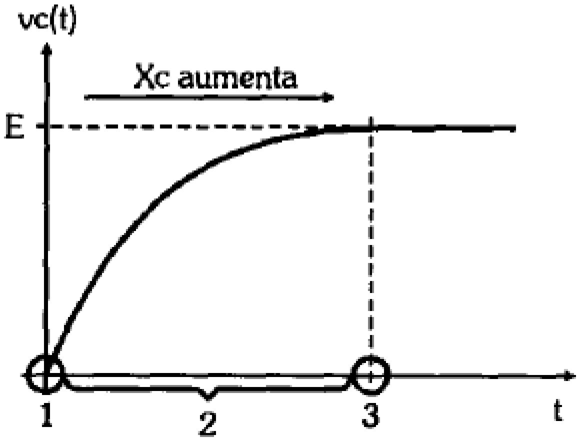
1 – Fechando a chave no instante t=0, a tensão entre as placas do capacitor cresce exponencialmente até atingir o valor máximo, isto é, V_C=E;

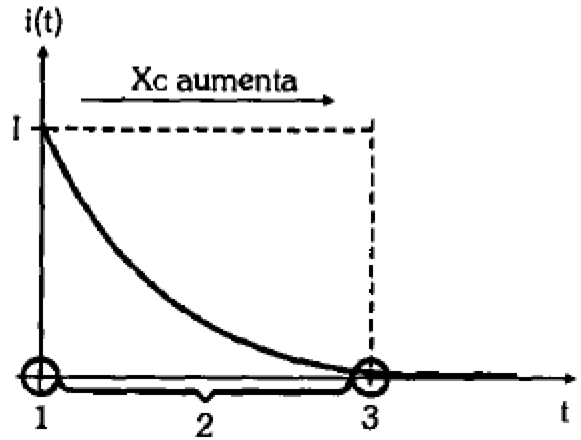


2 – Inicialmente, com as placas do capacitor descarregadas, a corrente não encontra qualquer resistência para fluir, tendo um valor máximo i=I, caindo exponencialmente até cessar, i=0;

3 – O período entre o fechamento da chave e a estabilização da tensão é rápido, mas não instantâneo, sendo denominado transitório.

Conclusões do comportamento do capacitor





$$\boxed{v_c = \frac{1}{C}.\int_0^t i.dt + v_{c0}}$$

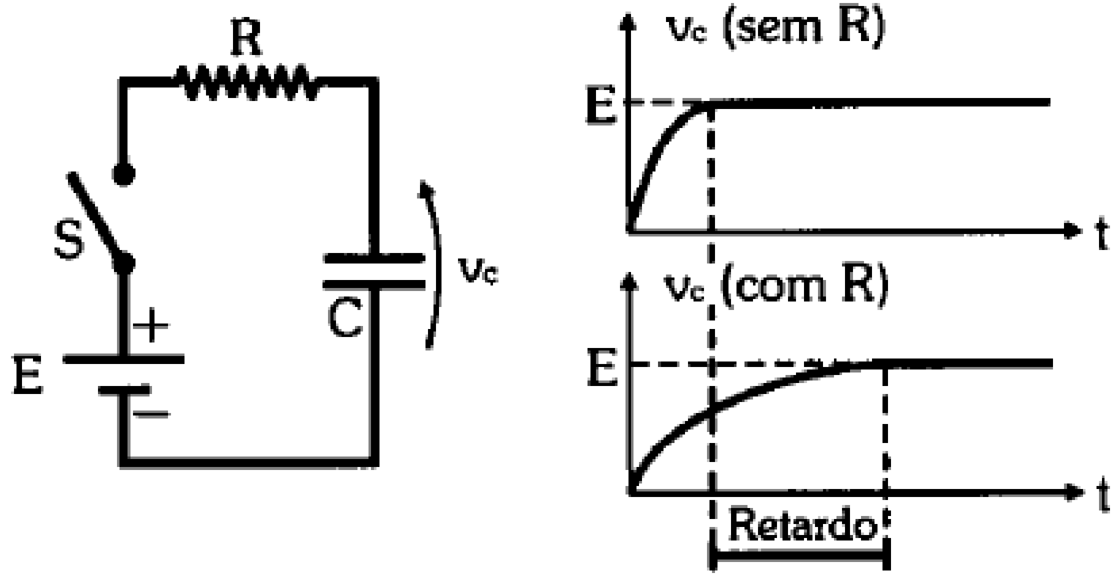
$$\boxed{i = C.\frac{dv_c}{dt}}$$

1 – Quando o capacitor está totalmente descarregado, a fonte o "enxerga" como um curto-circuito (X_C=0). Por isso, V_C=0 e i=I;

2 – Conforme as placas se carregam, a fonte "enxerga" o capacitor como uma reatância X_C crescente, fazendo com que a corrente i diminua;

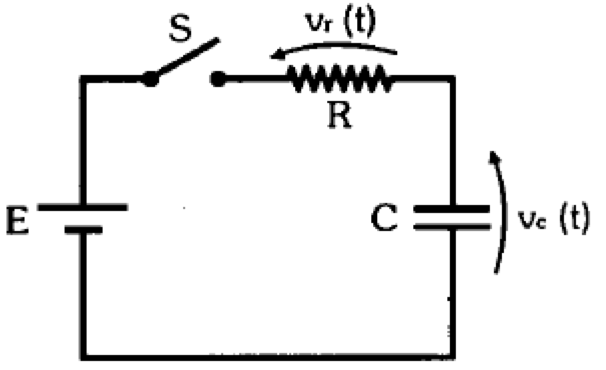
3 – Quando o capacitor está totalmente descarregado, a tensão entre as placas se iguala à da fonte, V_C=E, que o "enxerga" como um circuito aberto (X_C=∞). Por isso, i=0.

Circuito RC de temporização



Ligando um resistor em série com o capacitor, pode-se retardar o tempo de carga, fazendo com que a tensão entre os seus terminais cresça mais lentamente.

Circuito RC de temporização Equacionamento (Transitório)



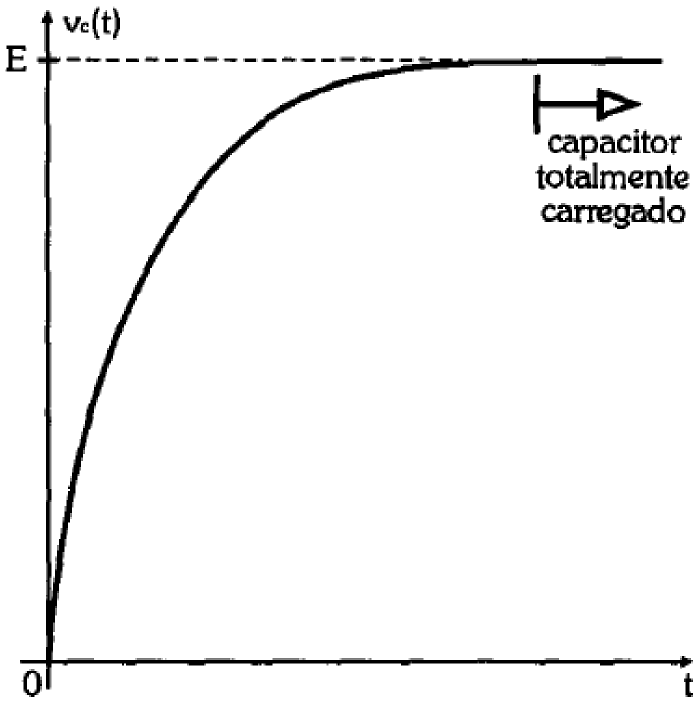
A equação geral desse circuito com a chave "S" fechada é:

$$v_C(t) + v_r(t) = E$$

A corrente pode ser determinada aplicando a Lei de ohm no resistor "R":

$$i(t) = \frac{v_r(t)}{R}$$

Circuito RC de temporização
Capacitor Carregando (Transitório)



Tensão no Capacitor

A tensão v_C no capacitor cresce exponencialmente desde zero até a tensão E, quando a sua carga é total. Portanto, a tensão no capacitor é uma exponencial crescente, que pode ser deduzida da equação geral do circuito e da expressão de v_R:

$$v_C(t) + v_R(t) = E \Rightarrow \ v_C(t) = E - E.e^{-t/\tau} \Rightarrow$$

$$\boxed{v_C(t) = E.(1 - e^{-t/\tau})}$$

Observe que o termo $(1 - e^{-t/\tau})$ aumenta com o aumento do instante t.

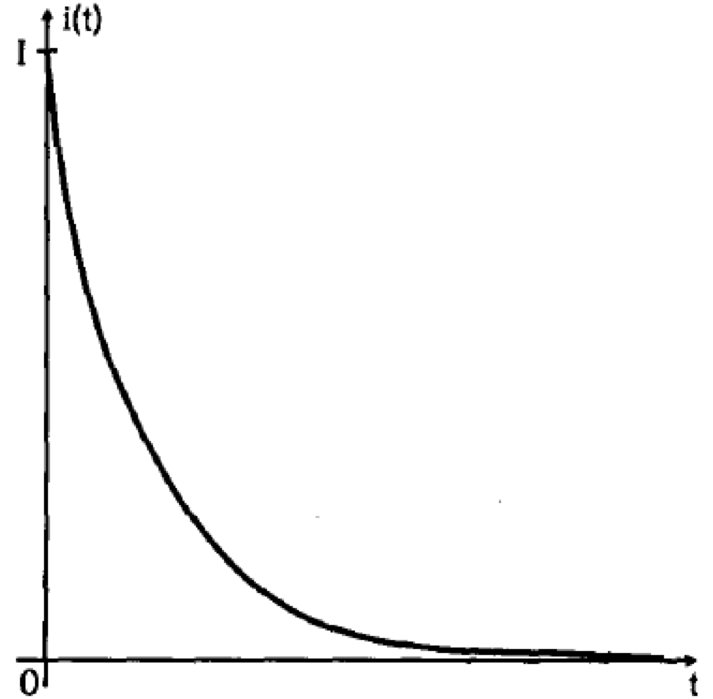
Circuito RC de temporização
Capacitor Carregando (Transitório)

Corrente no Circuito

A corrente i inicia com um valor máximo $I = E / R$ quando o capacitor está descarregado (curto-circuito), caindo até zero quando o capacitor está totalmente carregado (circuito aberto). Matematicamente:

$$i(t) = \frac{v_r(t)}{R} \Rightarrow \qquad \boxed{i(t) = I.e^{-t/\tau}}$$

Observe que o termo $e^{-t/\tau}$ diminui com o aumento do instante t.

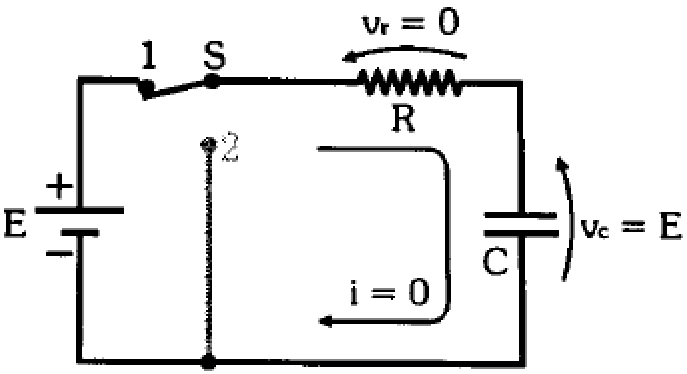


Circuito RC de temporização
Capacitor Descarregando (Transitório)

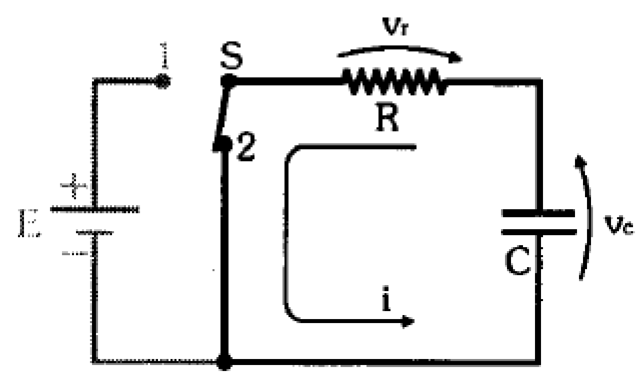
Considere um circuito RC série ligado a uma fonte de tensão E e a uma chave S inicialmente na posição 1, com o capacitor já completamente carregado.

Dessa forma, tem-se:

$i = 0$; $v_c = E$; $v_r = 0$



Desconectando a fonte

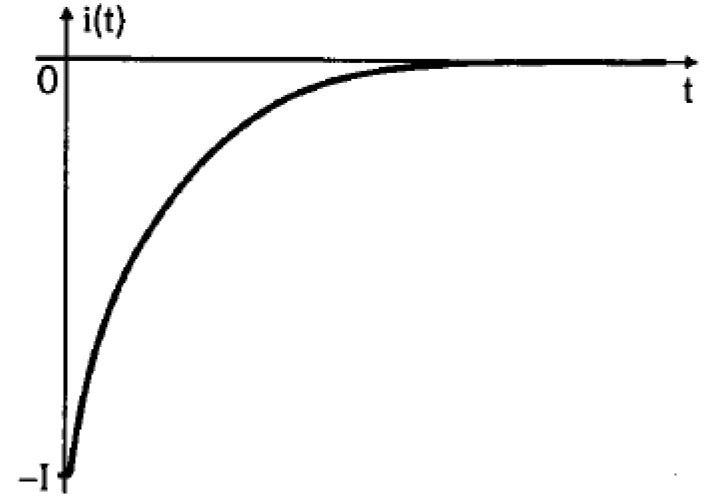


Circuito RC de temporização
Capacitor Descarregando (Transitório)

Corrente no Circuito

A corrente i flui agora no sentido contrário, decrescendo exponencialmente desde $-I = -E/R$ até zero, devido à descarga do capacitor. Assim, a sua expressão é dada por:

$$\boxed{i(t) = -I.e^{-t/\tau}}$$

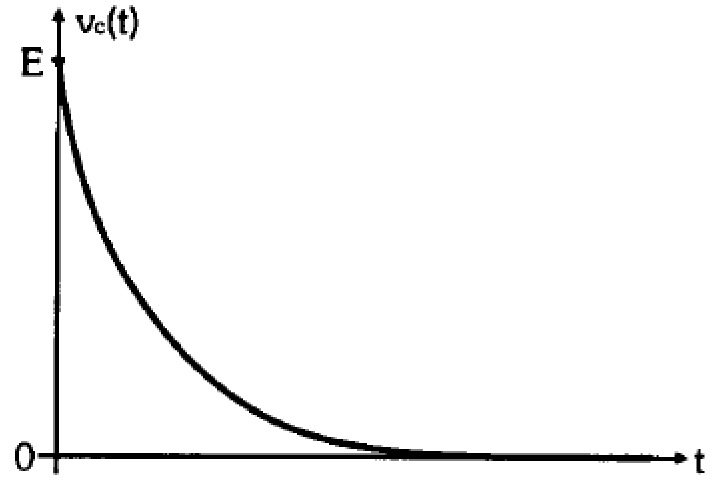


Circuito RC de temporização
Capacitor Descarregando (Transitório)

Tensão no Capacitor

A expressão da descarga do capacitor é dada por:

$$\boxed{v_C(t) = E.e^{-t/\tau}}$$

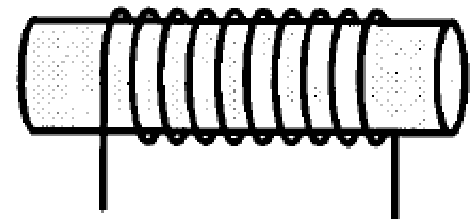


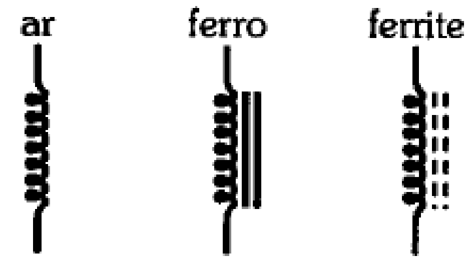
CIRCUITOS ELÉTRICOS I

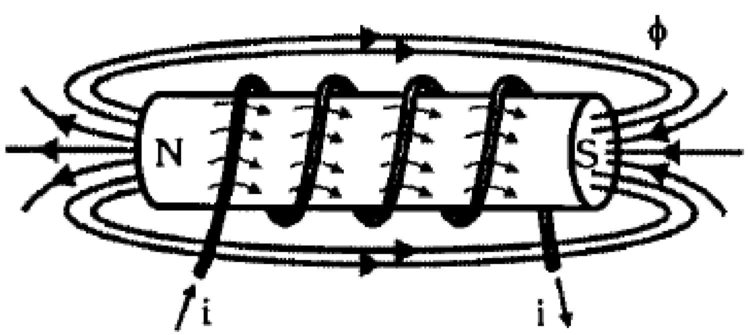
Indutor ou Bobina

Indutor ou Bobina

O Indutor ou Bobina é um dispositivo formado por um fio esmaltado enrolado em torno de um núcleo.







No interior de um indutor, as linhas de campo se somam, criando uma concentração do fluxo magnético.

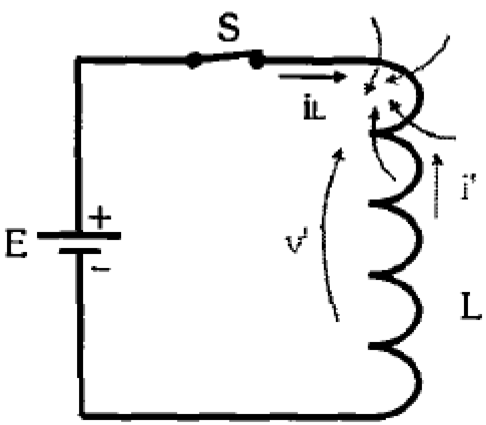
Indutância

A indutância "L" é a capacidade de o indutor armazenar energia magnética por meio do fluxo criado por uma corrente i_L.

$$L = \frac{\phi}{i_L}$$

A unidade é Henry (H)

Comportamento do indutor



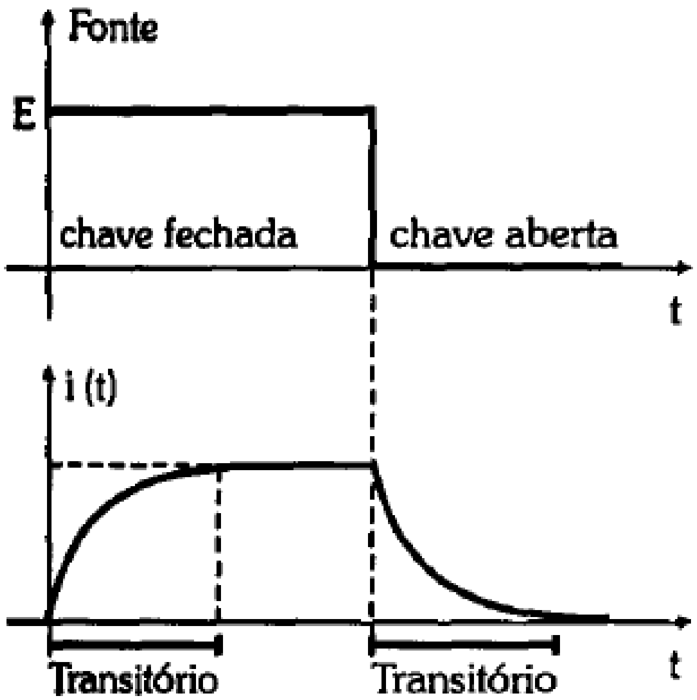
1 – Fechando a chave "S" em t=0, surge i_L crescente;

2 – i_L cria um campo magnético ao redor das espiras;

3 – As linhas de campo que cortam as espiras geram uma corrente induzida que vai se opor à causa que a originou (Lei de Lenz);

Indutância

Comportamento do indutor



4 – Por causa dessa oposição, i_L leva um certo tempo para atingir o valor máximo $i_L=I$ (Transitório);

5 – Quando a corrente estabiliza em I, o campo magnético passa a ser constante, não havendo mais corrente induzida para criar oposição;

6 – Desligando a chave “S”, i_L decresce criando uma nova oposição, de forma a evitar a sua diminuição, aparecendo um novo transitório.

Indutância

Conclusão

$$\boxed{i_L = \frac{1}{L}.\int_0^t v.dt + i_{L0}}$$

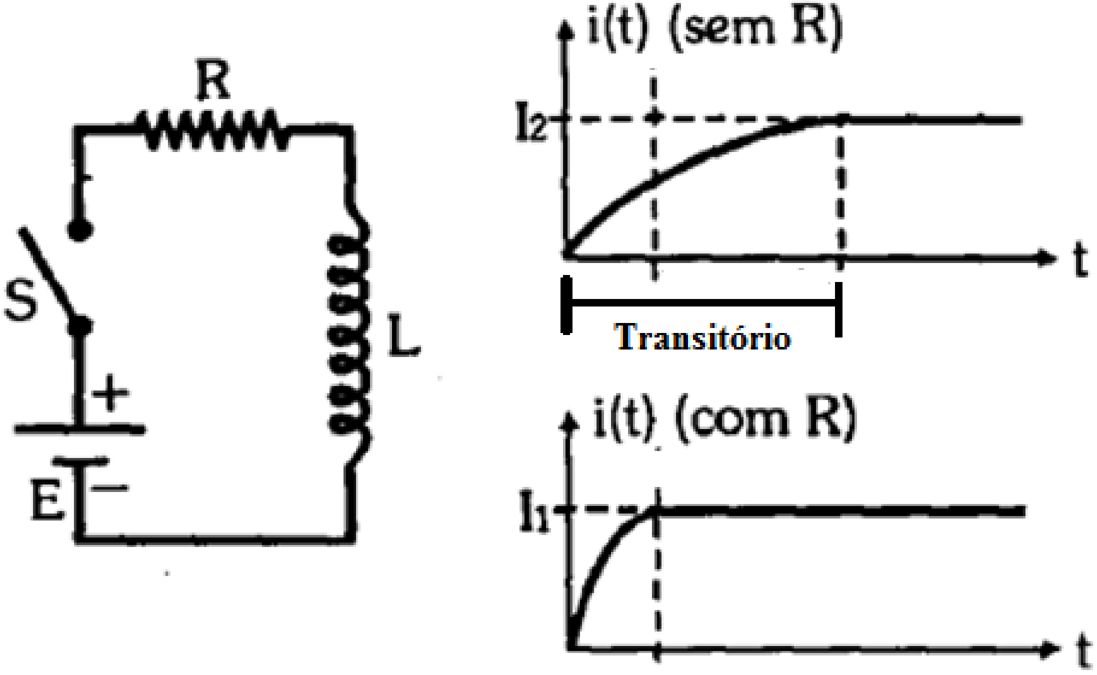
$$\boxed{v = L.\frac{di_L}{dt}}$$

1 – A oposição à variação de corrente no indutor é denominada reatância indutiva X_L (Ω);

2 – Quando o indutor está totalmente desenergizado, $i_L=0$, isto é, a fonte o "enxerga" como um circuito aberto ($X_L=\infty$);

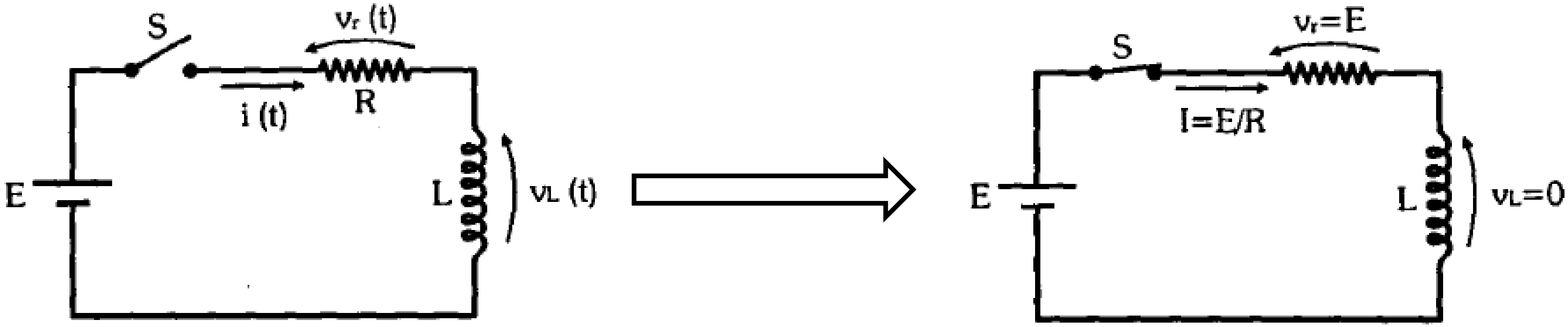
3 – Quando o indutor está totalmente energizado ($i_L=I$), deixa de existir a corrente induzida, de forma que a fonte "enxerga" o indutor como uma resistência baixa, praticamente um curto-circuito.

Circuito RL de temporização (Transitório)



Ligando um resistor em série com o indutor, pode-se reduzir o tempo de energização, fazendo com que a corrente cresça mais rapidamente.

Circuito RL de temporização
Equacionamento (Transitório)



A equação geral desse circuito com a chave “S” fechada é:

$$v_L(t) + v_r(t) = E$$

A corrente pode ser determinada aplicando a Lei de ohm no resistor “R”:

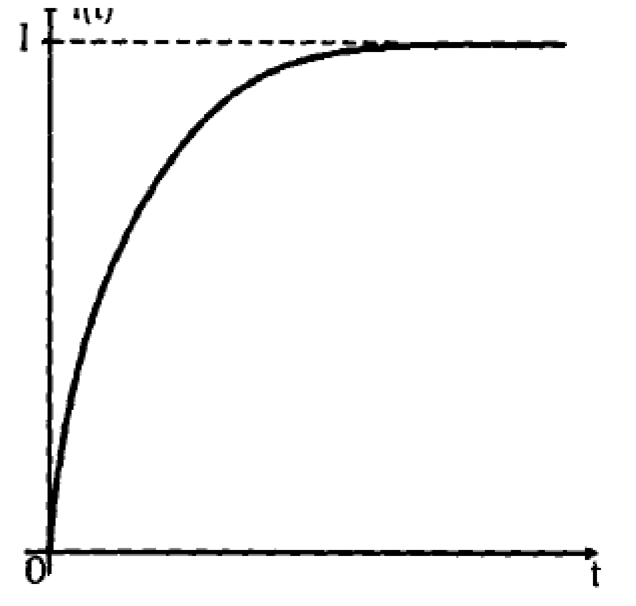
$$i(t) = \frac{v_r(t)}{R}$$

Circuito RL de temporização Indutor Carregando (Transitório)

Corrente no Circuito

A expressão da corrente na energização do indutor é dada por:

$$\boxed{i(t) = I.(1 - e^{-t/\tau})}$$



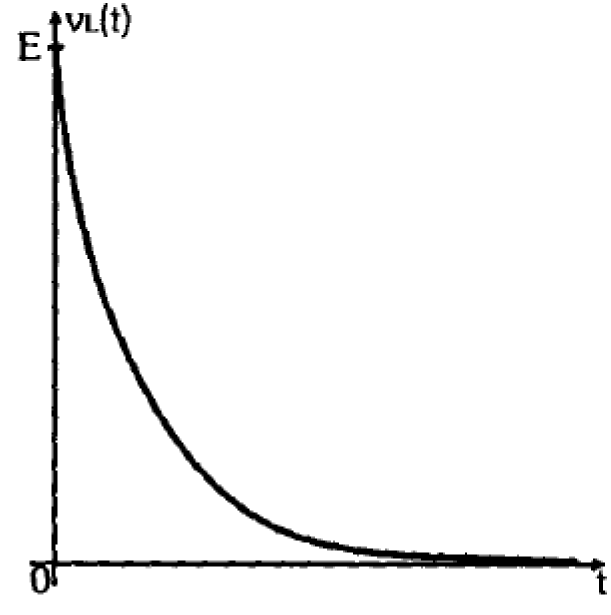
Circuito RL de temporização
Indutor Carregando (Transitório)

Tensão no Indutor

Pela Lei de Kirchhoff para Tensões, $v_L = E - v_r$.

Assim, a expressão da tensão no indutor é dada por:

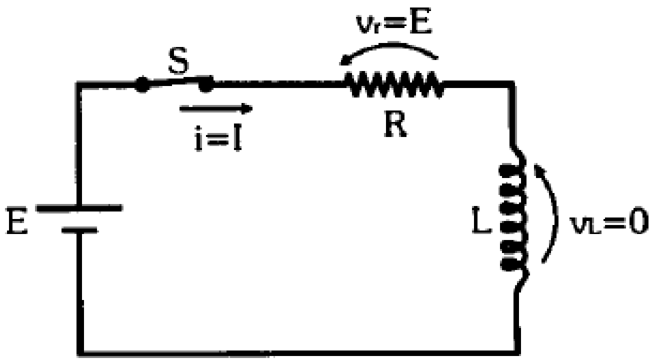
$$\boxed{v_L(t) = E.e^{-t/\tau}}$$



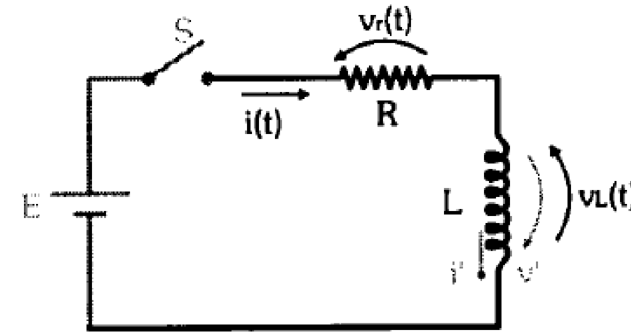
Circuito RL de temporização
Indutor Descarregando (Transitório)

Considere um circuito RL série ligado a uma chave S fechada, com o indutor já completamente energizado, pelo qual passa uma corrente $i = I$, sendo a resistência do fio do indutor desprezível em relação a R.

Dessa forma, tem-se: $v_L = 0$ e $v_r = E$



Desconectando a fonte

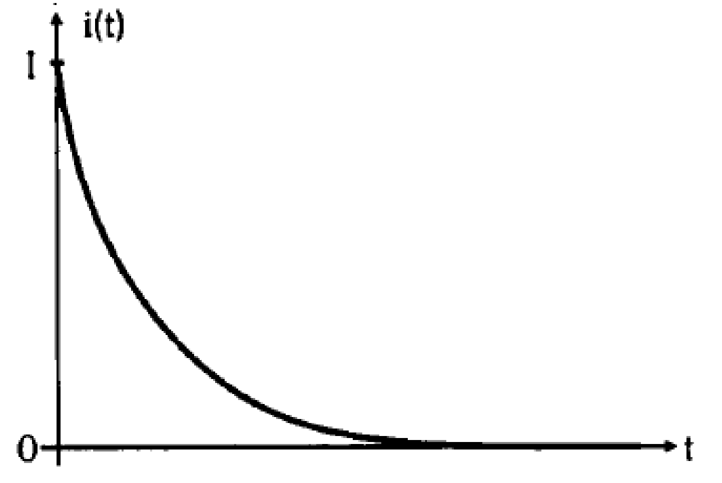


Circuito RL de temporização
Indutor Descarregando

Corrente no Circuito

Portanto, a expressão da corrente na desenergização do indutor é dada por:

$$\boxed{i(t) = I.e^{-t/\tau}}$$



Circuito RL de temporização
Indutor Descarregando (Transitório)

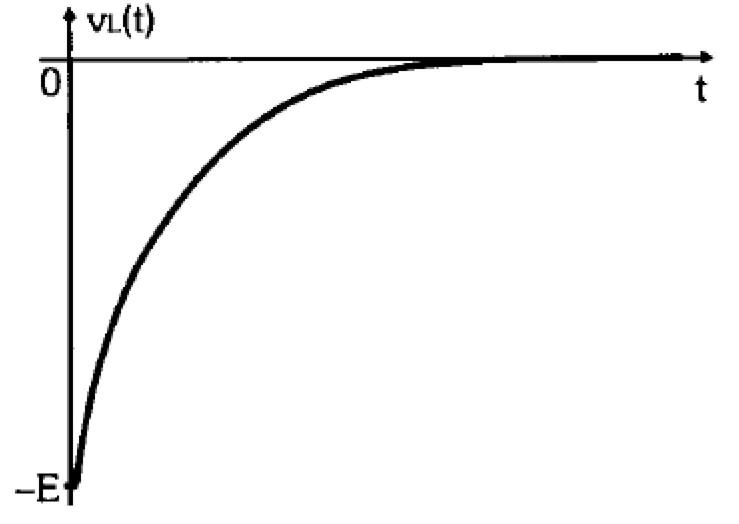
Tensão no Indutor

Pela Lei de Kirchhoff para Tensões, no instante $t = 0$, tem-se $v_L + v_r = 0$ e, portanto, $v_L = -v_r$.

Isso significa que no instante da abertura da chave, a tensão no indutor inverte a sua polaridade, iniciando com tensão $-E$ até atingir zero.

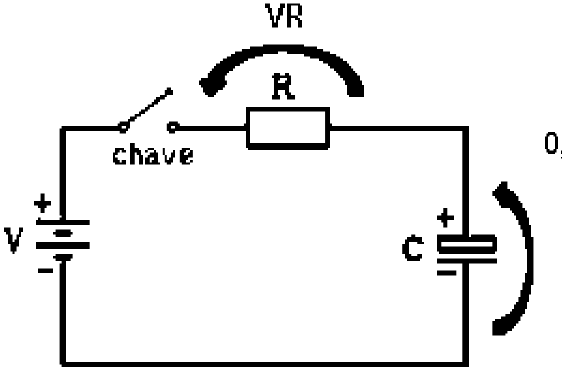
Nesse caso, a expressão da tensão no indutor é dada por:

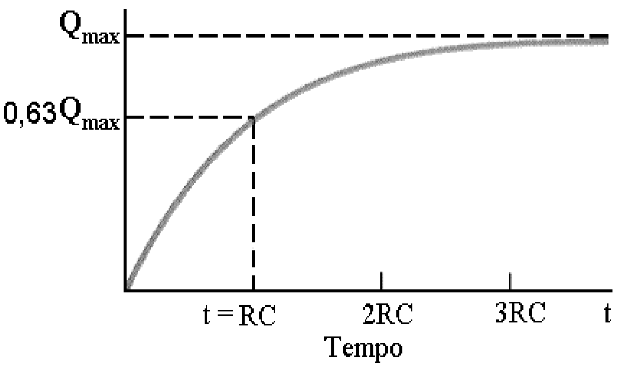
$$\boxed{v_L(t) = -E.e^{-t/\tau}}$$



Exercício: No circuito abaixo, calcular a tensão no capacitor em três pontos notáveis:

$$t = \begin{cases} 0 \\ \tau \\ 5\tau \end{cases}$$





$$t = 0$$

$$VC = V\,.\left(1 - e^{\frac{-0}{\tau}}\right) \therefore VC = 0$$

$$t = \tau$$

$$VC = V\,.\left(1 - e^{\frac{-\tau}{\tau}}\right) \therefore VC = 0{,}632$$

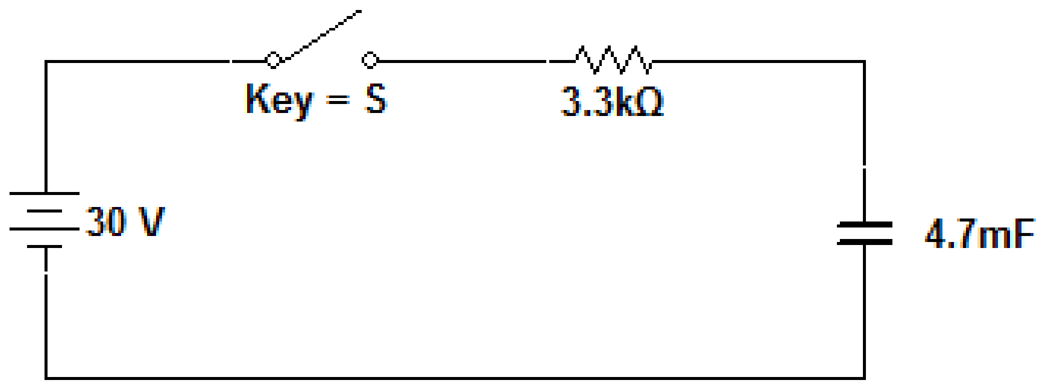
$$t = 5\tau$$

$$VC = V\,.\left(1 - e^{\frac{-5\tau}{\tau}}\right) \therefore VC = 0{,}993 \cong 1$$

Em 5 vezes a constante de tempo capacitores carregam e descarregam.

Em 5 vezes a constantes de tempo, indutores energizam e desenergizam.

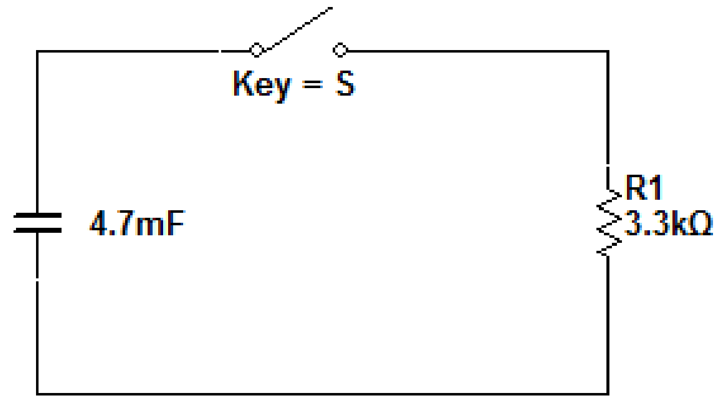
Exercício: No circuito abaixo, quando a chave S é ligada, após 6 s, qual a tensão no capacitor?



$$\tau = 3{,}3k \,.\, 4{,}7m = 15{,}51s$$

$$Vc = 30\,.\,(1 - e^{\frac{-6}{15{,}51}}) = 9{,}62V$$

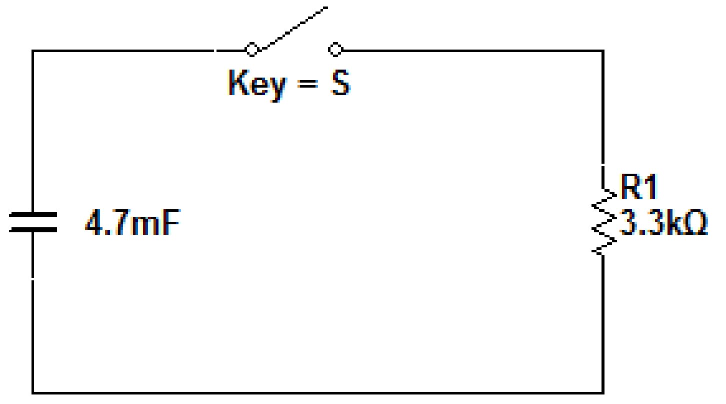
Exercício: No circuito abaixo, o capacitor está carregado com 15V. Quando a chave S é ligada, após 6 s, qual a tensão no capacitor?



$$\tau = 3{,}3k \, . \, 4{,}7m = 15{,}51s$$

$$Vc = 15 \, . \, e^{\frac{-6}{15{,}51}}) = 10{,}19V$$

Exercício: No circuito abaixo, o capacitor está carregado com 15V. Quanto tempo passou para que o capacitor esteja com 2V?



$$\tau = 3{,}3k\,.\,4{,}7m = 15{,}51s$$

$$2 = 15.\,e^{\frac{-t}{15{,}51}}$$

$$0{,}13 = e^{\frac{-t}{15{,}51}}$$

$$\ln 0{,}13 = \frac{-t}{15{,}51}$$

$$-2{,}04 = \frac{-t}{15{,}51}$$

$$t = 31{,}64s$$

Exercício: Dada a expressão $Vc = 8\,.\,(1 - e^{\frac{-t}{20u}})$

Determine:

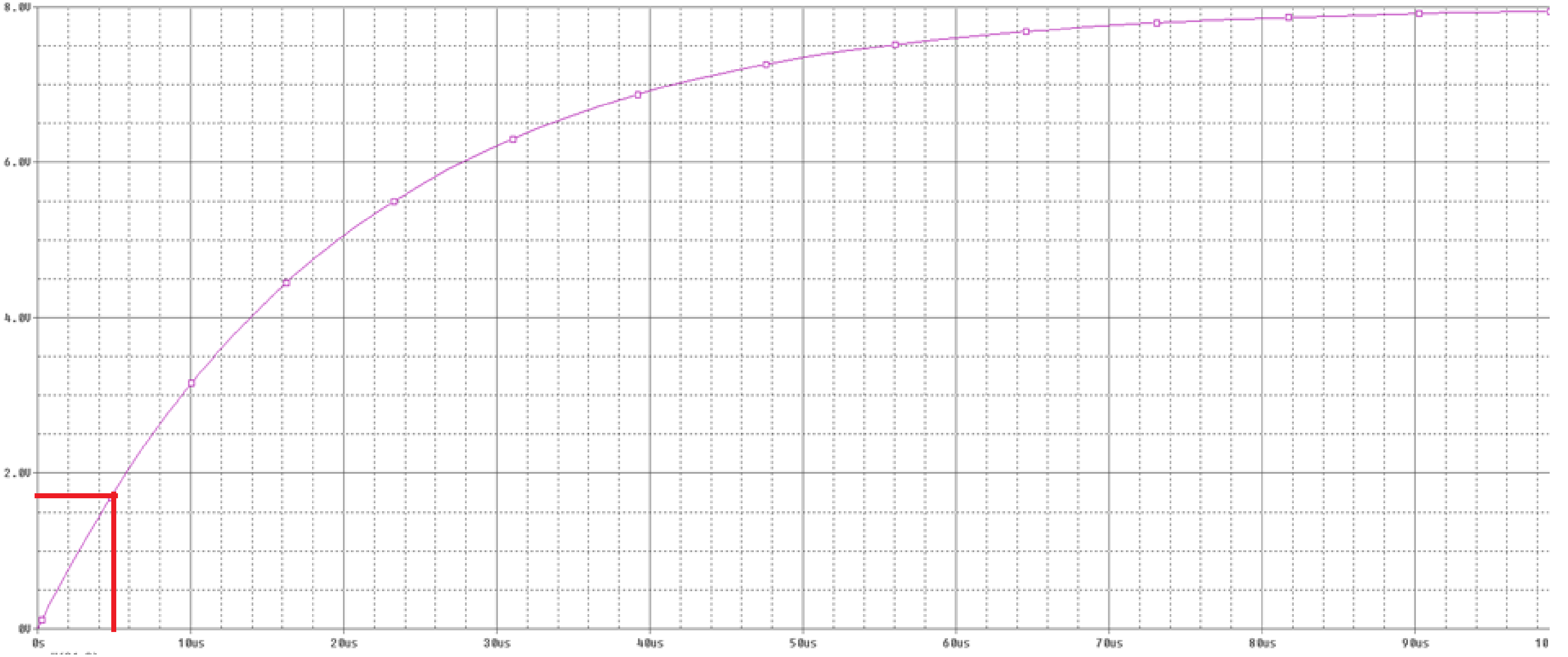
a. Vc após cinco constantes de tempo
b. Vc após 10 constantes de tempo
c. Vc em t=5us
d. Faça o gráfico da tensão no domínio do tempo

a. $$vc = 8.(1 - e^{-5.20\mu/20\mu}) = 7{,}95V$$

b. $$vc = 8.(1 - e^{-5\mu/20\mu}) = 1{,}77V$$

c. $$vc = 8.(1 - e^{-10.20\mu/20\mu}) \cong 8V$$

d.



8.0V
6.0V
4.0V
2.0V
0V
0s
10us
20us
30us
40us
50us
60us
70us
80us
90us
10