Solucionario de circuitos eléctricos en estado estable y transiente

Pedro Infante Moreira

Tomo 3

ESPOCH

2016

Solucionario de circuitos eléctricos en estado estable y transiente

Solucionario de circuitos eléctricos en estado estable y transiente

Tomo 3

Pedro Infante Moreira

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
Fundada en 1972
Riobamba - Ecuador

Solucionario de circuitos eléctricos
en estado estable y transiente

Panamericana Sur, kilómetro 1 1/2
Instituto de investigación
Riobamba, Ecuador
Teléfono: 593 (03) 2 998-200
Código Postal: EC060155

Aval ESPOCH

Este libro se sometió a arbitraje bajo el sistema de doble ciego (*peer review*).

Corrección y diseño:
La Caracola Editores

Impreso en Ecuador

CDU: 537 + 621.3
Solucionario de circuitos eléctricos en estado estable y transiente. Tomo 3.
Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Instituto de Investigaciones; 2016
107 p. vol: 17 x 24 cm
ISBN: 978-9942-14-322-8
1. Circuitos eléctricos
2. Circuitos en estado estable
3. Circuitos acoplados
4. Electricidad
5. Magnetismo

CONTENIDO TOMO 3

CAPÍTULO 2
CIRCUITOS RL Y RC CON FUENTE

Problemas Resueltos

Problema 9: "Para el circuito de la figura 2.65, grafíquese i_L(t) y v_L(t) contra t, si - 3τ < t < 3τ" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 196).

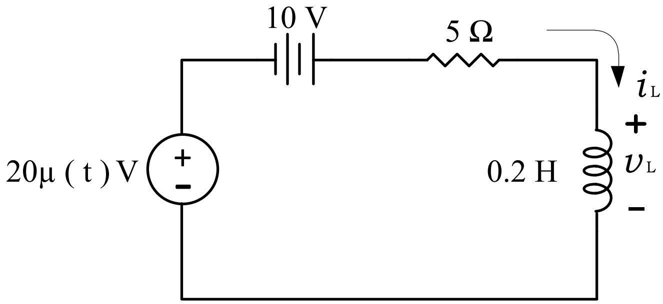


Figura 2.65

Solución:

Para t < 0, en la figura 2.65, la función escalón unitario es cero; por lo tanto, la fuente de voltaje es cero (se comporta como un cortocircuito) tal como se muestra en la figura 2.66. Aplicando la LVK, se tiene:

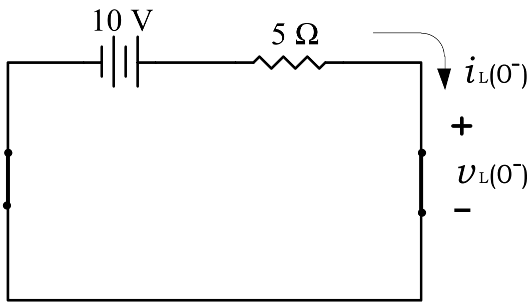


Figura 2.66

$$-10 + 5i_L(0^-) = 0$$

$$i_L(0^-) = \frac{10}{5} = 2$$

$$i_L(0^-) = 2\ \mathrm{A}$$

$$v_L(0^-) = 0$$

Para t > 0, en la figura 2.65, la función escalón unitario es uno; por lo tanto, la fuente de voltaje es de 20 V tal como se muestra en la figura 2.67. Las dos fuentes de voltaje están en serie, estas se suman dando un equivalente de 30 V, como lo indica la figura 2.68.

La figura 2.68 es un circuito RL con fuente, cuya corriente total en el inductor es igual a una corriente natural y una corriente forzada. Las ecuaciones se plantean a continuación:

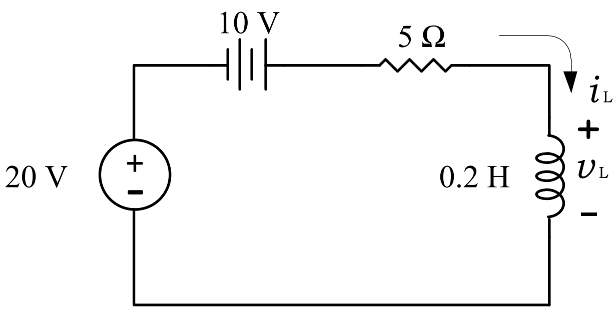


Figura 2.67

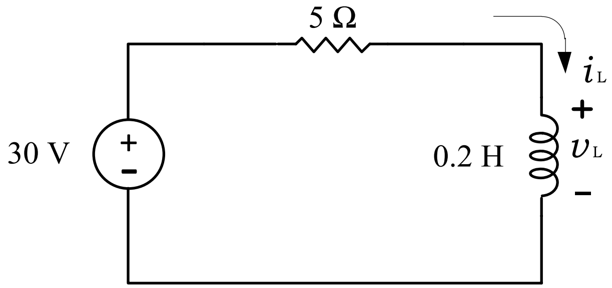


Figura 2.68

$$i_L = i_n + i_f$$

$$i_L = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.2}{5} = 0.04 \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 25$$

En la figura 2.68, cuando el circuito se ha estabilizado, el inductor se comporta como un cortocircuito debido a que existe una fuente de corriente continua tal como se muestra en la figura 2.69. La corriente que circula es la corriente forzada i_f.

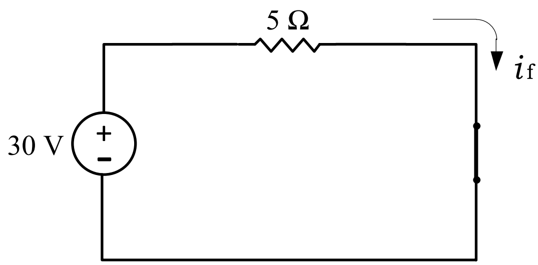


Figura 2.69

$$i_f = \frac{30}{5} = 6$$

$$i_f = 6 \text{ A}$$

$$i_L(t) = Ae^{-25t} + 6$$

$$i_L(0) = Ae^{0} + 6$$

$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+) = 2$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i_L(0) = A + 6 = 2$$

$$A = 2 - 6$$

$$A = -4 \text{ Amp}$$

$$i_L(t) = -4e^{-25t} + 6$$

$$i_L(t) = 6 - 4e^{-25t}$$

$$\mathrm{i_L}(\mathrm{t} = 3\tau) = 6 - 4\mathrm{e}^{-25\,(3\mathrm{x}0.04)} = 6 - 4\mathrm{e}^{-3}$$

$$i_L(t = 3\tau) = 6 - 0.2 = 5.8 \text{ A}$$

En la figura 2.68:

$$v_L(t) = L\frac{di_L}{dt}$$

$$v_L(t) = 0.2\frac{d}{dt}(6 - 4e^{-25t})$$

$$v_L(t) = 0.2(-4)(-25)(e^{-25t})$$

$$v_L(t) = 20e^{-25t}$$

$$v_L(t = 3\tau) = 20e^{-3} = 0.996$$

$$v_L(t = 3\tau) \cong 1 \text{ V}$$

Las gráficas de i_L(t) y v_L(t), se encuentran en las figuras 2.70 y 2.71 respectivamente.

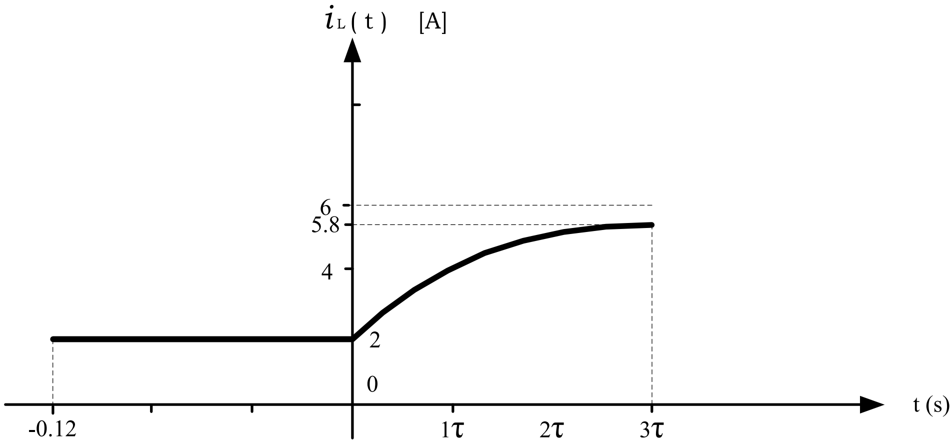


Figura 2.70

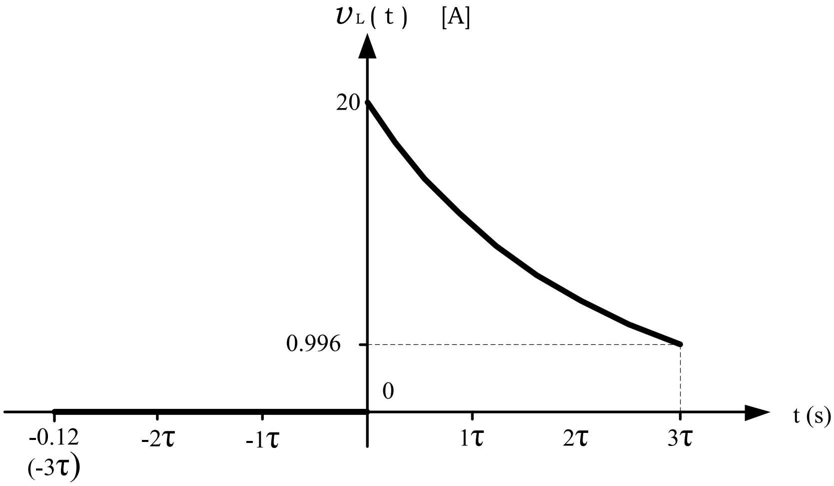


Figura 2.71

Problema 10: "El interruptor en la figura 2.72 ha estado abierto durante mucho tiempo. Se cierra en t = 0. a) Después de sustituir por su equivalente Thévenin todo lo que hay a la izquierda del inductor, calcúlese $i_L(t)$ y grafíquese para t > 0. b) Escríbase una sola expresión para $i_L(t)$ que sea válida para todo valor de t" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 196).

Solución:

Para t < 0, en la figura 2.72, el interruptor está abierto, tal como se muestra en la figura 2.73. El inductor no está conectado a ninguna fuente independiente de corriente y/o voltaje; razón por la cual, en el inductor, no circula ninguna corriente (circuito abierto); esto es:

$$i_L(0^-) = 0$$

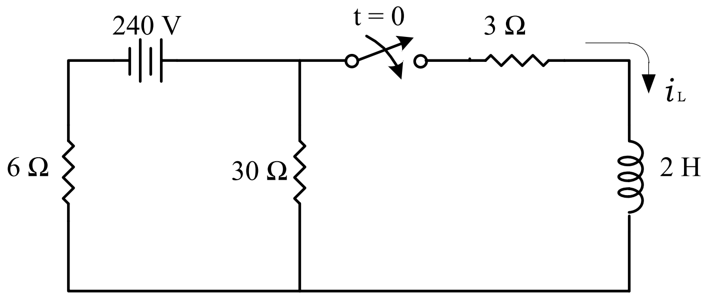


Figura 2.72

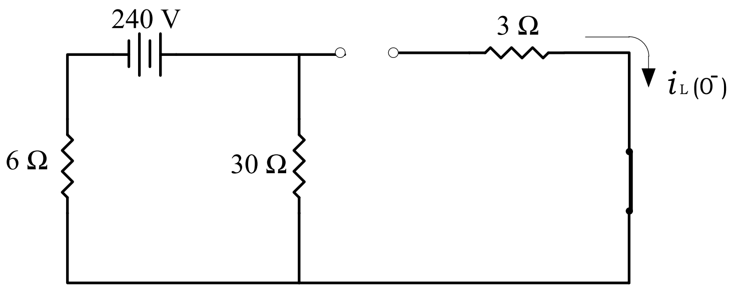


Figura 2.73

Para t > 0, en la figura 2.72, el interruptor está cerrado, tal como se muestra en la figura 2.74. Se retira el inductor de 2 H en los puntos a-b, tal como se muestra en la figura 2.75 y se procede a obtener el equivalente de Thévenin.

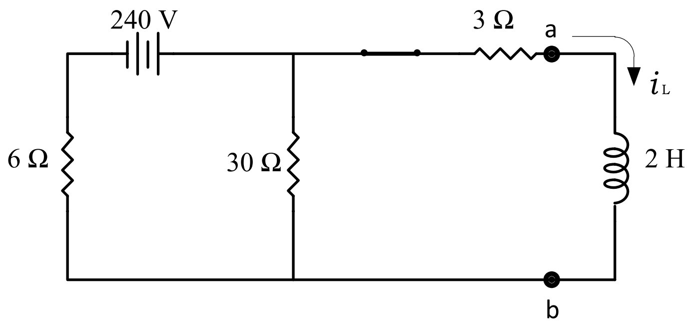


Figura 2.74

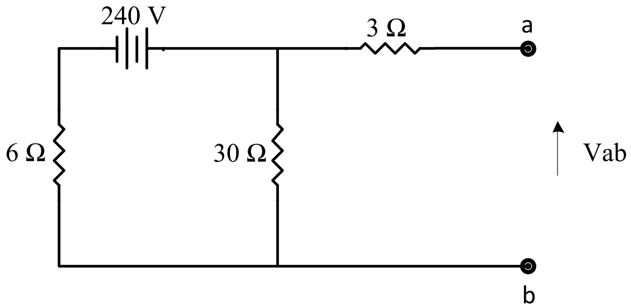


Figura 2.75

Cálculo del voltaje de Thévenin

En la figura 2.75, se aplica el divisor de voltaje en la resistencia de 30 Ω para encontrar el voltaje Vab:

$$V_{ab} = 240\frac{30}{6+30} = 200$$

$$V_{TH} = V_{ab} = 200 \text{ volts}$$

Cálculo de la resistencia de Thévenin

Para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hace cero la fuente independiente de voltaje de 240, tal como se muestra en la figura 2.76.

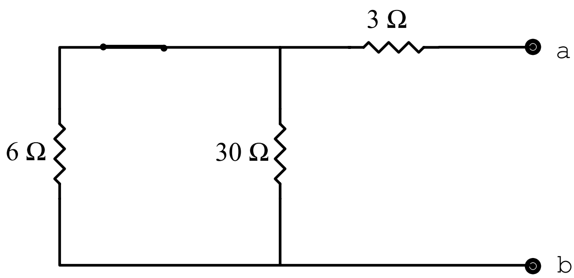


Figura 2.76

En la figura 2.76, la resistencia equivalente Rab es igual a:

$$R_{ab} = \frac{(6)(30)}{6+30} + 3 = 8\Omega$$

$$R_{TH} = R_{ab} = 8\Omega$$

Finalmente, el circuito equivalente de Thévenin, incluido el inductor, se representa en la figura 2.77. Este es un circuito RL con fuente, donde la corriente en el inductor obedece a la siguiente fórmula:

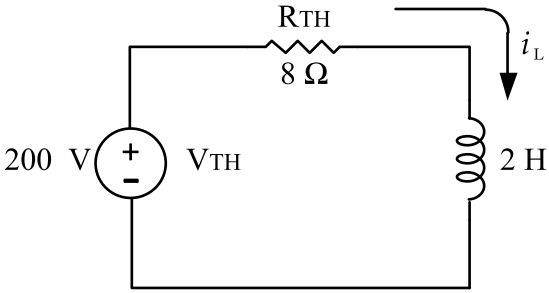


Figura 2.77

$$i_L = i_n + i_f$$

Donde:

i_n = corriente natural

i_f = corriente forzada

$$i_L = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{2}{8} = 0.25 \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 4$$

$$i_L(t) = Ae^{-4t} + i_f$$

Cálculo de la corriente forzada

En la figura 2.77, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 200 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.78. La corriente forzada es:

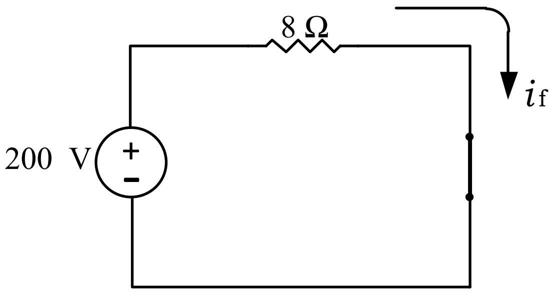


Figura 2.78

$$i_f = \frac{200}{8} = 25\ \mathrm{A}$$

Reemplazando valores:

$$i_L(t) = Ae^{-4t} + 25$$

$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+) = 0$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i_L(0) = Ae^{0} + 25 = 0$$

$A = -25$

a) $i_L(t) = -25e^{-4t} + 25$

La corriente en el inductor para todo t es:

b) $i_L(t) = 0\mu(-t) + (25 - 25e^{-4t})\mu(t)$ A

La gráfica de $i_L(t)$ para t > 0, se encuentra en la figura 2.79.

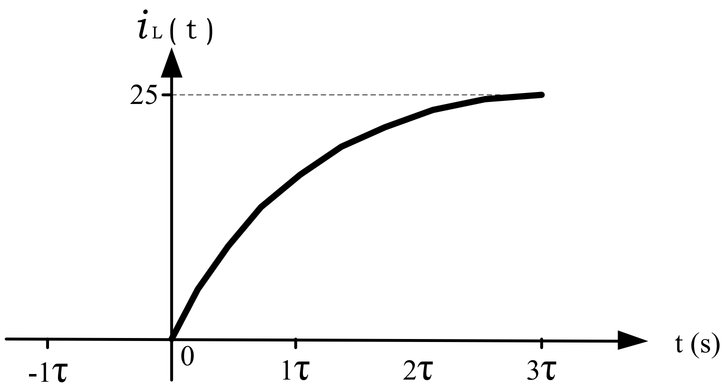


Figura 2.79

Problema 11: "El interruptor de la figura 2.80 ha estado cerrado durante mucho tiempo. Se abre en t = 0. Calcúlese una expresión para $i_L(t)$ para t < 0 y t > 0, y grafíquese para el intervalo – 1 < t < 1 s" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 197).

Solución:

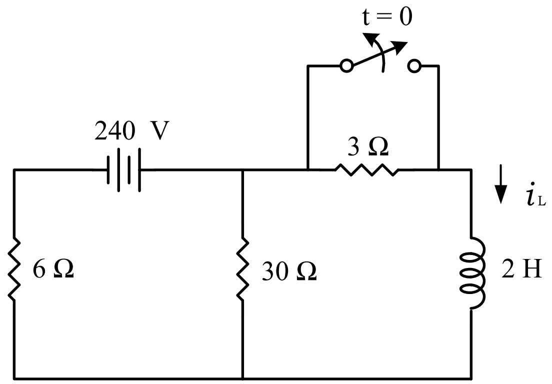


Figura 2.80

Para t < 0, en la figura 2.80, el interruptor está cerrado y, debido a la condición de estado estable y a la fuente de voltaje de 240 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.81. En este circuito, la resistencia de 3 Ω se abre debido a que está en paralelo con un cortocircuito y no pasa corriente. Con la fuente real de voltaje (compuesto por la fuente de 240 V en serie con la resistencia de 6 Ω) se convierte a una fuente real de corriente (compuesto por la fuente de corriente *is* en paralelo con la resistencia de 6 Ω), tal como se muestra en la figura 2.82. El cálculo de la corriente is se encuentra a continuación:

$$i_s = \frac{v}{R} = \frac{240}{6} = 40A$$

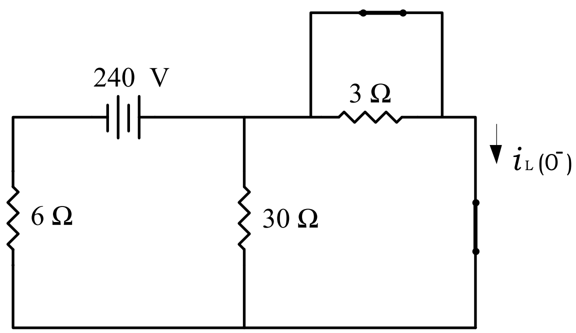


Figura 2.81

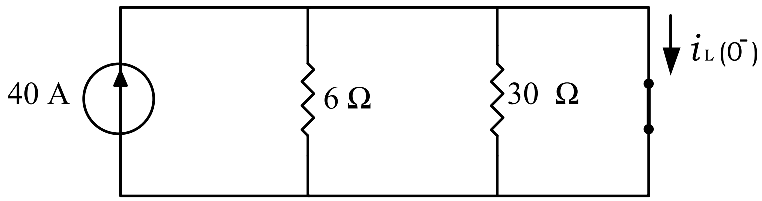


Figura 2.82

En el circuito de la figura 2.82, las resistencias de 6 Ω y 30 Ω están en cortocircuito, no pasa corriente, entones, la corriente en el inductor $i_L(0^-)$ es:

$$i_L(0^-) = 40A$$

<u>Para t > 0</u>, en la figura 2.80, el interruptor está abierto, tal como se muestra en la figura 2.83. Se retira el inductor de 2 H en los puntos a-b, como se muestra en la figura 2.84 y se procede a obtener el equivalente de Thévenin.

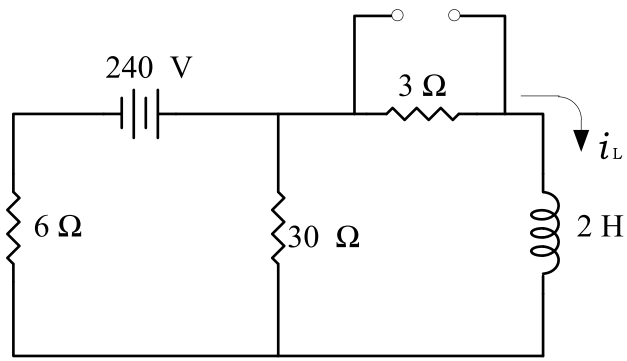


Figura 2.83

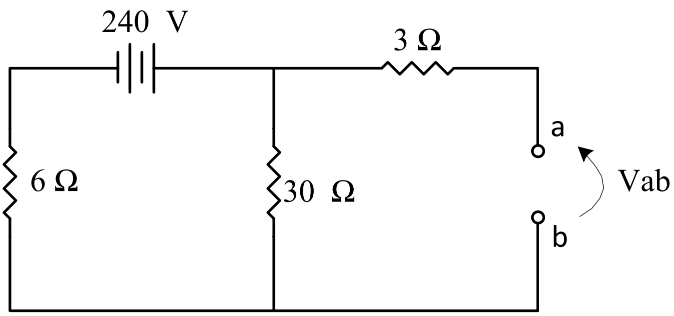


Figura 2.84

Cálculo del voltaje de Thévenin

En la figura 2.84 se aplica el divisor de voltaje en la resistencia de 30 Ω para encontrar el voltaje Vab,

$$V_{ab} = 240\frac{30}{30+6} = 200\ \mathrm{V}$$

$$V_{TH} = 200\ \mathrm{V}$$

Cálculo de la resistencia de Thévenin

En la figura 2.84, para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hace cero la fuente independiente de voltaje de 240 V, tal como se muestra en la figura 2.85.

En la figura 2.85, la resistencia equivalente Rab es igual a:

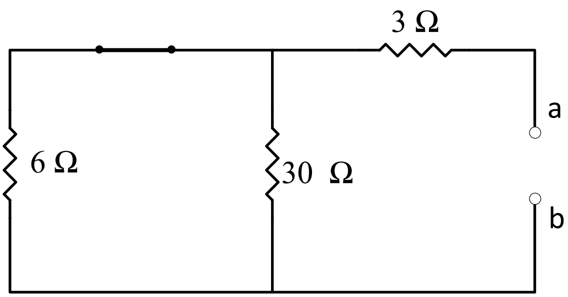


Figura 2.85

$$R_{ab} = \frac{(6)(30)}{6+30} + 3 = 8\Omega$$

$$R_{TH} = R_{ab} = 8\Omega$$

Finalmente, el circuito equivalente de Thévenin incluido el inductor se representa en la figura 2.86. Este es un circuito RL con fuente, donde la corriente en el inductor obedece a la siguiente fórmula:

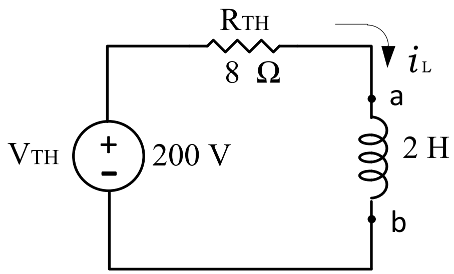


Figura 2.86

$$i_L = i_n + i_f$$

Donde:

i_n = corriente natural

i_f = corriente forzada

$$i_L = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{2}{8} = 0.25 \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 4$$

Cálculo de la corriente forzada

En la figura 2.86 cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 200 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.87. La corriente forzada es:

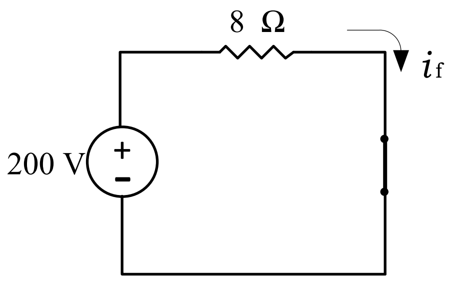


Figura 2.87

$$i_f = \frac{200}{8} = 25 \text{ A}$$

Reemplazando valores:

$i_L(t) = Ae^{-4t} + 25$

$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+) = 40$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$i_L(0) = Ae^0 + 25 = 40$

$A = 15$

$$i_L(t) = 15e^{-4t} + 25 \qquad (2\text{-}11)$$

$i_L(t = 1) = 15e^{-4(1)} + 25$

$i_L(t = 1) = 25.3$ A

En la figura 2.88, se grafica la condición inicial del inductor y la ecuación (2-11) para un rango de tiempo $-1 < t < 1$.

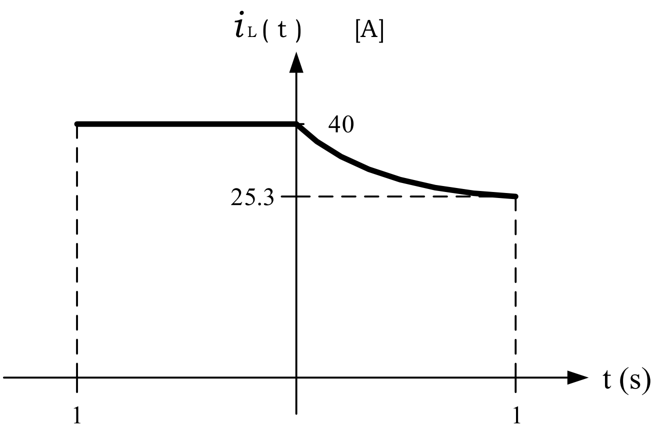


Figura 2.88

Problema 12: "Calcúlese una expresión para i_L en la figura 2.89 para todos los valores no negativos de t, y luego haga una gráfica detallada de i_L contra t, mostrando las escalas usadas en ambos ejes" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 197).

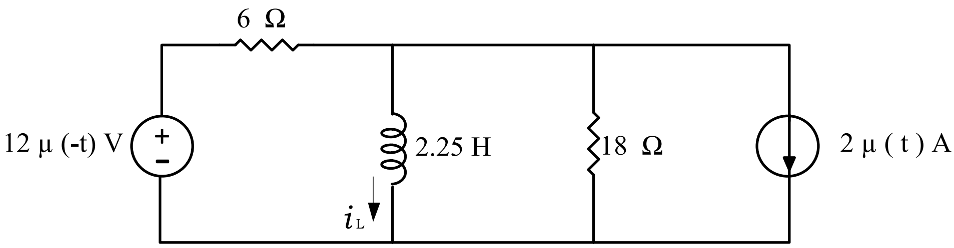


Figura 2.89

Solución:

Para t < 0, de la figura 2.89, 12µ(-t) = 12V y 2µ(t) = 0 (la fuente de corriente se comporta como un circuito abierto), tal como se muestra en la figura 2.90. La resistencia de 18 Ω se abre debido a que está en paralelo con el cortocircuito cuyo resultado se muestra en la figura 2.91 en el cual se calcula la corriente en el inductor $i_L(0^-)$:

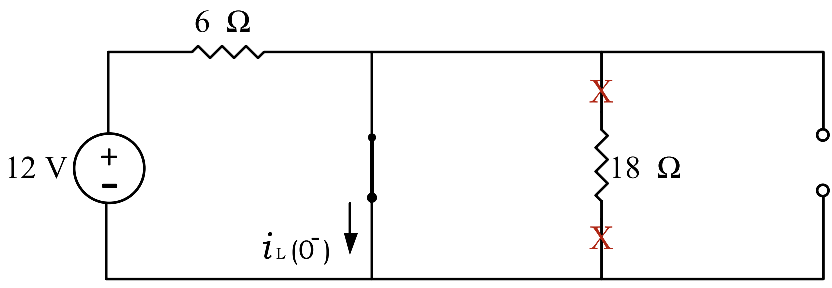


Figura 2.90

$$i_L(0^-) = \frac{12}{6} = 2A$$

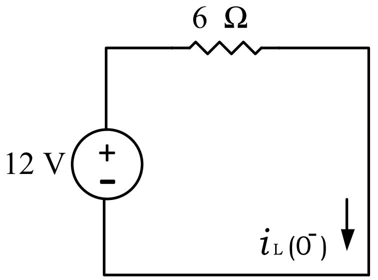


Figura 2.91

<u>Para t > 0</u>, de las figuras 2.89, 12μ(-t) = 0 (la fuente de voltaje se comporta como un cortocircuito) y 2μ(t) = 2, tal como se muestra en la figura 2.92.

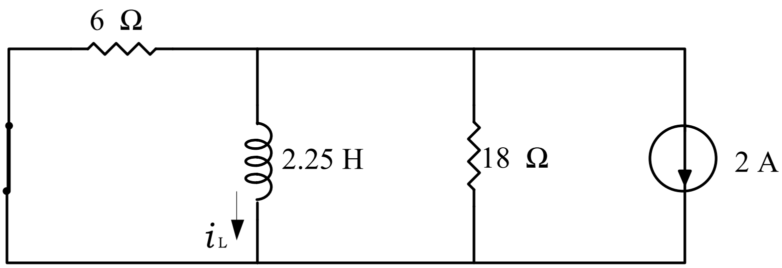


Figura 2.92

En la figura 2.92, se retira el inductor, tal como se muestra en la figura 2.93.

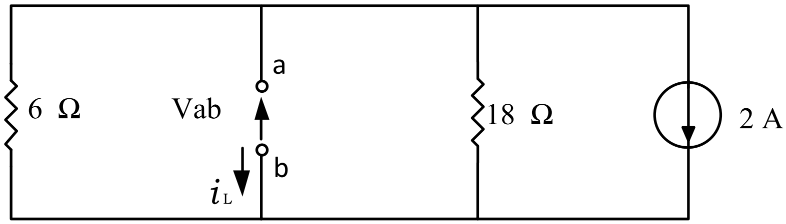


Figura 2.93

En la figura 2.93, las resistencias de 6 Ω y 18 Ω están en paralelo dando como resultado una resistencia equivalente Req = 4.5 Ω cuyo circuito equivalente se muestra en la figura 2.94, el cálculo de la resistencia se encuentra a continuación:

$$R_{eq} = \frac{(6)(18)}{6+18} = 4.5\Omega$$

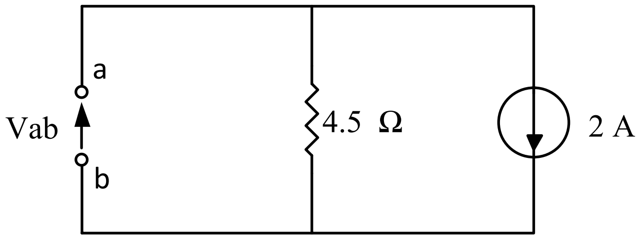


Figura 2.94

Cálculo del voltaje de Thévenin

En la figura 2.94, se aplica la Ley de Ohm en la resistencia de 4.5 Ω para encontrar el voltaje Vab:

$$V_{ab} = (4.5)(-2) = -9 \text{ V}$$

$$V_{TH} = v_{ab} = -9 \text{ V}$$

Cálculo de la resistencia de Thévenin

Para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hace cero la fuente independiente de corriente de 2 A, tal como se muestra en la figura 2.95. La resistencia equivalente Rab en los puntos a-b es 4.5 Ω:

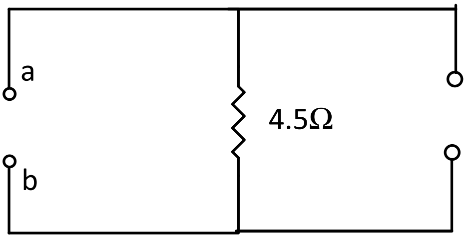


Figura 2.95

$$R_{TH} = R_{ab} = 4.5\Omega$$

Con el voltaje y la resistencia de Thévenin, se grafica el circuito equivalente de Thévenin con el inductor incluido, el mismo que se encuentra en la figura 2.96. Este es un circuito RL con fuente, donde la corriente en el inductor obedece a la siguiente fórmula:

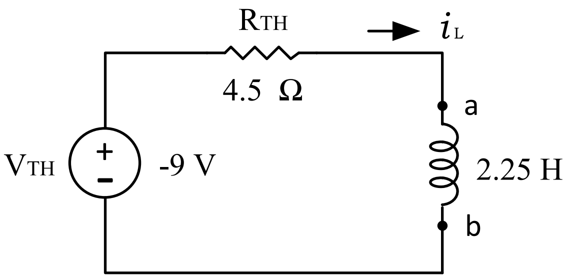


Figura 2.96

$$i_L = i_n + i_f$$

Donde:

i_n = corriente natural

i_f = corriente forzada

$$i_L = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{2.25}{4.5} = 0.5 \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 2$$

Cálculo de la corriente forzada

En la figura 2.96, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de – 9 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.97. La corriente forzada es:

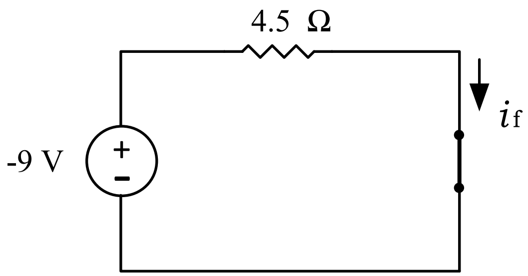


Figura 2.97

$$i_f = \frac{-9}{4.5} = -2\text{A}$$

$$i_L(t) = Ae^{-2t} - 2$$

$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+) = 2$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i_L(0) = Ae^0 - 2 = 2$$

$$A = 4$$

$$i_L(t) = 4e^{-2t} - 2$$

En la figura 2.98 se encuentra la gráfica de la corriente i_L (t) contra t para todo t.

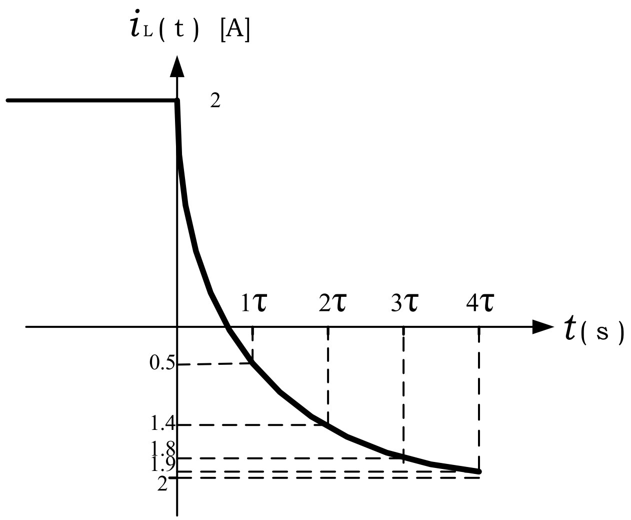


Figura 2.98

Problema 13: "Si en la figura 2.99 el conmutador se baja en t = 0, calcular el valor de la corriente i y graficar; luego calcule el voltaje en el inductor" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 198).

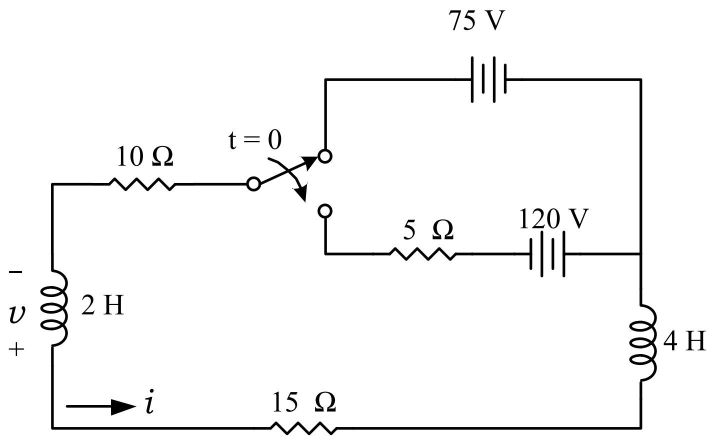


Figura 2.99

Solución:

Para t < 0, en la figura 2.99, el interruptor está cerrado en el borne superior. Debido a las condiciones de estado estable del circuito y a la fuente de 75 V de corriente continua, los inductores se comportan como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.100. A continuación se plantean las ecuaciones:

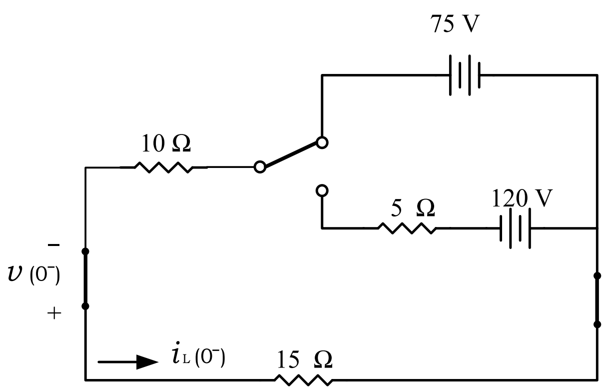


Figura 2.100

$v(0^-) = 0$

En el lazo externo, se aplica la LVK:

$15i(0^-) - 75 + 10i(0^-) = 0$

$25i(0^-) = 75$

$i(0^-) = \frac{75}{25} = 3$

$i(0^-) = 3\ \mathrm{A}$

Para t > 0, en la figura 2.99, el interruptor está cerrado en el borne inferior, tal como se muestra en la figura 2.101. Las resistencias de 10 Ω, 5 Ω y 15 Ω, están en serie cuyo equivalente es de 30 Ω. Los inductores de 2 H y 4 H están conectados en serie cuyo equivalente es de 6 H. El nuevo circuito equivalente se muestra en la figura 2.102. Este es un circuito RL con fuente, donde la corriente en el inductor obedece a la siguiente fórmula:

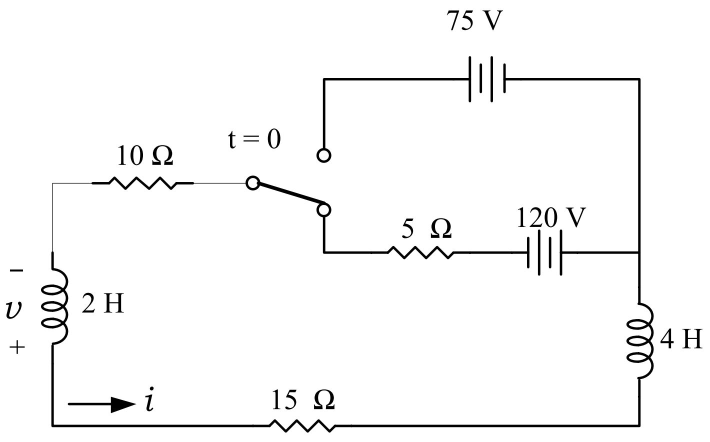


Figura 2.101

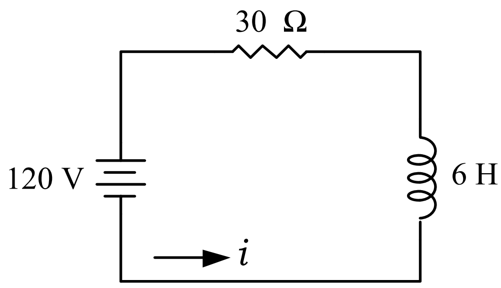


Figura 2.102

$$i_L = i_n + i_f$$

Donde:

i_n = corriente natural

i_f = corriente forzada

$$i_L = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{6}{30} = 0.2 \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 5$$

<u>Cálculo de la corriente forzada</u>

En la figura 2.102, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 120 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.103. La corriente forzada es:

$$i_f = \frac{120}{30} = 4$$

$$i_f = 4 \text{ A}$$

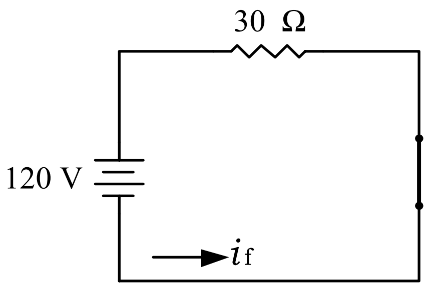


Figura 2.103

$$i = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + 4$$

$$i(t) = Ae^{-5t} + 4$$

$i(0^-) = i(0) = i(0^+) = 3$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i(0) = Ae^0 + 4 = 3$$

$$A = -1$$

$$i(t) = -e^{-5t} + 4$$

$$i(t) = 4 - e^{-5t} \qquad (2\text{-}12)$$

En la figura 2.104, se encuentra la gráfica de la ecuación (2-11) y la condición inicial de la corriente i(t).

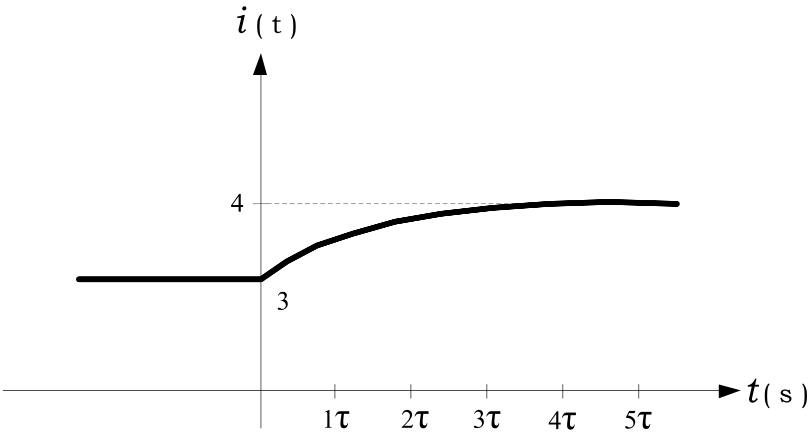


Figura 2.104

En la figura 2.101, se procede a calcular el voltaje v en el inductor de 2 H:

$$v = -2\frac{di(t)}{dt}$$

$$v = -2\frac{d}{dt}(4 - e^{-5t})$$

$$v = -2(-(-5)e^{-5t})$$

$$v = -10e^{-5t} \text{ V}$$

Problema 14: "Determínese los valores de i_L y v_R 16 segundos antes y 16 segundos después de que se cierra el interruptor de la figura 2.105" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 198).

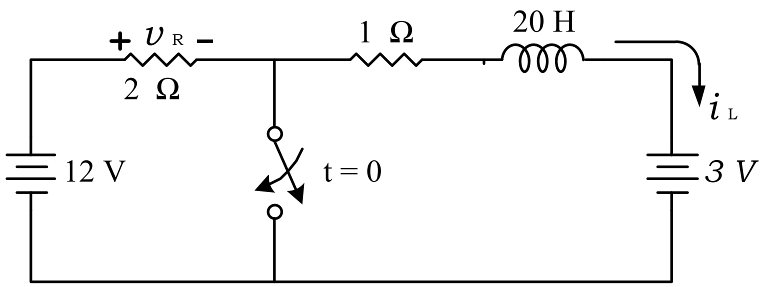


Figura 2.105

Solución:

Para t < 0, en la figura 2.105, el interruptor está abierto. Debido a las condiciones de estado estable del circuito y a la fuente de 12 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.106. A continuación, se plantean las ecuaciones:

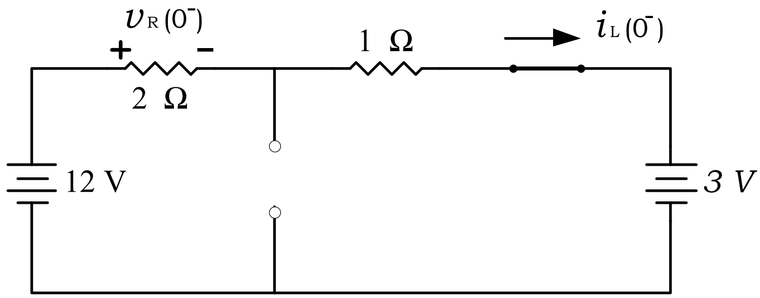


Figura 2.106

En el lazo, se aplica la LVK:

$$-12 + 2i_L(0^-) + 1i_L(0^-) + 3 = 0$$

$$-9 + 3i_L(0^-) = 0$$

$$i_L(0^-) = \frac{9}{3} = 3$$

$$i_L(0^-) = 3A$$

En la resistencia de 2 Ω, se aplica la Ley de Ohm:

$$v_R(0^-) = 2i_L(0^-)$$

$$v_R(0^-) = 2(3) = 6\ \text{V}$$

$$v_R(0^-) = 6\ \text{V}$$

Para t > 0, en la figura 2.105, el interruptor está cerrado, tal como se muestra en la figura 2.107. Esta figura se vuelve a dibujar como se muestra en la figura 2.108; en esta figura, se muestra claramente que el circuito de la izquierda es independiente del circuito de la derecha.

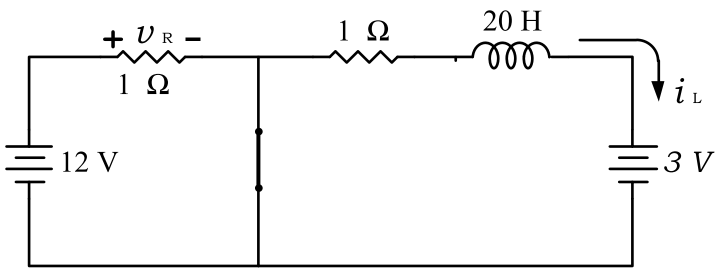


Figura 2.107

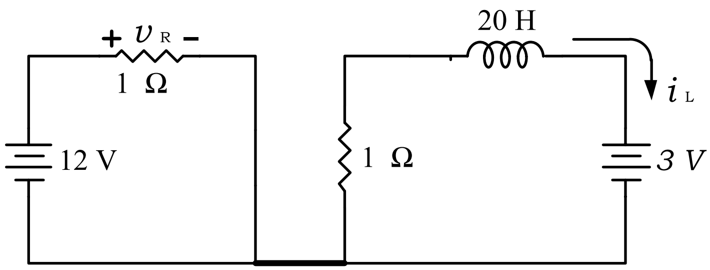


Figura 2.108

El circuito de la derecha de la figura 2.108 obedece al modelo RL con fuente, cuya fórmula de la corriente en el inductor es la suma de la corriente natural y la corriente forzada, la cual se indica a continuación:

$$i_L = i_n + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{20}{1} = 20 \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 0.05$$

<u>Cálculo de la corriente forzada</u>

En la figura 2.108, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 3 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.109. La corriente forzada es:

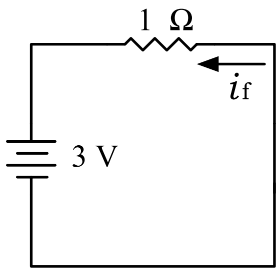


Figura 2.109

$$i_f = \frac{-3}{1} = -3$$

$$i_f = -3 \text{ A}$$

$$i_L(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + i_f$$

$$i_L(t) = Ae^{-0.05t} + i_f$$

$$i_L(t) = Ae^{-0.05t} - 3$$

$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+) = 3A$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i_L(0) = Ae^0 - 3 = 3$$

$$A = 6$$

$$i_L(t) = 6e^{-0.05t} - 3$$

$$i_L(t = 16\,seg) = 6e^{-0.05(16)} - 3$$

$$i_L(t = 16\,seg) = -0.304\text{ A}$$

En el circuito de la izquierda de la figura 2.108:

$$v_R(t) = 12V$$

$$v_R(t = 16\text{seg}) = 12\text{ V}$$

Problema 15: "Encuéntrese el valor de i_L en el circuito de la figura 2.110 en t = : a) – 5 ms; b) 5 ms; c) 10 ms" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 198).

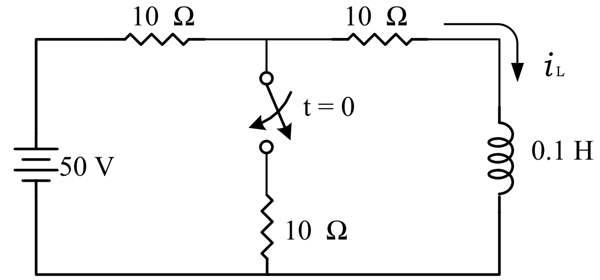


Figura 2.110

Solución:

Para t < 0, en la figura 2.110, el interruptor está abierto. Debido a las condiciones de estado estable del circuito y a la fuente de 50 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.111. A continuación, en el lazo, se aplica la LVK:

$$-50 + 10i_L(0^-) + 10i_L(0^-) = 0$$

$$-50 + 20i_L(0^-) = 0$$

$$i_L(0^-) = \frac{50}{20} = 2.5$$

$$i_L(0^-) = 2.5 \text{ A}$$

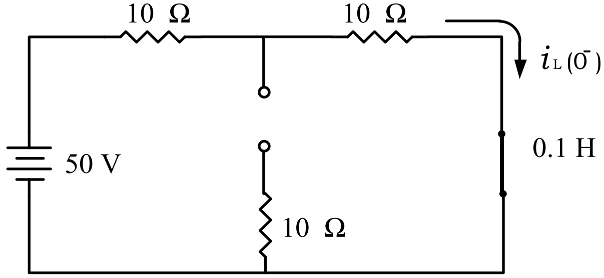


Figura 2.111

Para t > 0, en la figura 2.110, el interruptor está cerrado, tal como se muestra en la figura 2.112, se retira el inductor y se muestra en la figura 2.113.

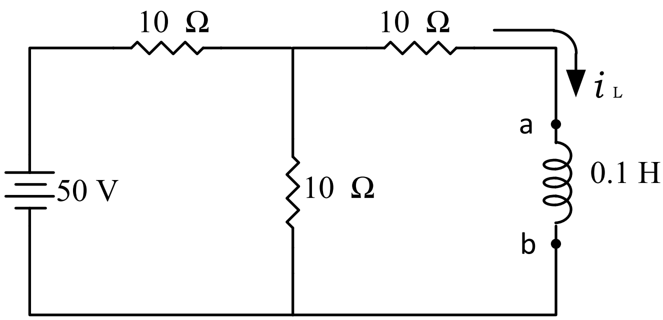


Figura 2.112

En la figura 2.113, hallar el equivalente de Thévenin en los puntos a-b.

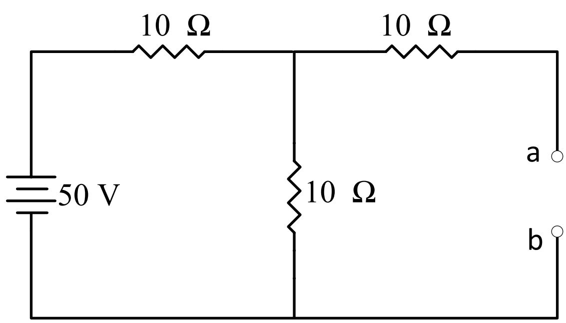


Figura 2.113

Cálculo del voltaje de Thévenin

En la figura 2.113 se aplica divisor de voltaje en la resistencia central de 10 Ω para encontrar el voltaje Vab:

$$V_{ab} = 50\frac{10}{10+10} = 25$$

$$V_{ab} = 25\ \text{V}$$

$$V_{TH} = v_{ab} = 25\ \text{V}$$

<u>Cálculo de la resistencia de Thévenin</u>

Para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hace cero la fuente independiente de voltaje de 50 V (hacer cero una fuente de voltaje es un cortocircuito), tal como se muestra en la figura 2.114. La resistencia equivalente Rab en los puntos a-b es:

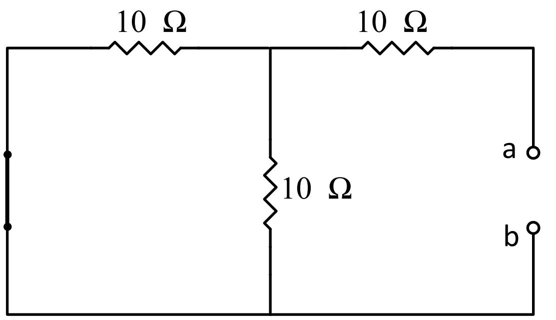


Figura 2.114

$$R_{ab} = \frac{(10)(10)}{10+10} + 10$$

$$R_{TH} = R_{ab} = 15\ \Omega$$

Con el voltaje y la resistencia de Thévenin, se grafica el circuito equivalente de Thévenin con el inductor incluido, el mismo que se encuentra en la figura 2.115. Este es un circuito RL con fuente, donde la corriente en el inductor es:

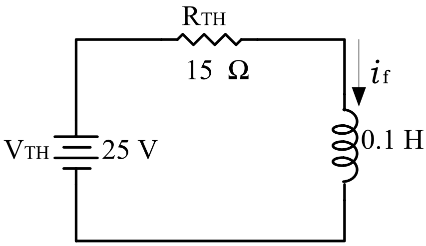


Figura 2.115

$$i_L = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R_{TH}} = \frac{0.1}{15} = 6.67 \text{ x } 10^{-3} \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 150$$

$$i_L(t) = Ae^{-150t} + i_f$$

<u>Cálculo de la corriente forzada</u>

En la figura 2.115, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 25 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.116. La corriente forzada es:

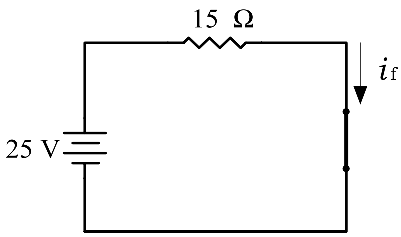


Figura 2.116

$$i_f = \frac{25}{15} = 1.67 \text{ A}$$

La respuesta total de la corriente en el inductor es:

$$i_L(t) = Ae^{-150t} + 1.67$$

$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+) = 2.5 \text{ A}$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i_L(0) = Ae^0 + 1.67 = 2.5$$

$$A = 2.5 - 1.67$$

$$A = 0.83$$

$$i_L(t) = 0.83e^{-150t} + 1.67$$

a) $i_L(t = -5ms) = 2.5 \text{ A}$

b) $i_L(t = 5ms) = 0.83e^{-150(5x10^{-3})} + 1.67 = 2.06 \text{ A}$

c) $i_L(t = 10ms) = 0.83e^{-150(10x10^{-3})} + 1.67 = 1.86 \text{ A}$

Problema 16: "En la figura 2.117, sea v_s = 2 μ(t) V e i_s = 80μ(t - 0.0002) mA, obténgase i_L(t) para todo valor de t" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 198).

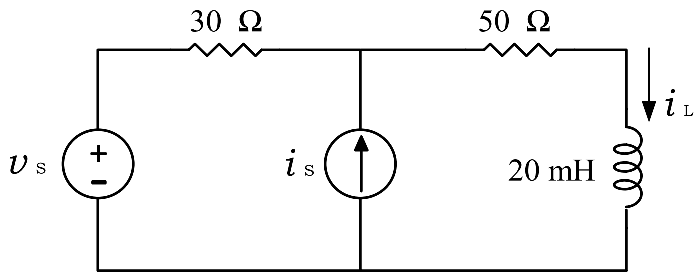


Figura 2.117

Solución:

Para t < 0, de la figura 2.117, 2μ(t)V = 0 (la fuente de voltaje se comporta como un cortocircuito) y 80μ(t-0.0002) mA = 0 (la fuente de corriente se comporta como un circuito abierto). Debido a que no existe ninguna fuente de voltaje y/o corriente en el circuito, por el inductor no circula corriente, tal como se muestra en la figura 2.118.

$$i_L(0^-) = 0$$

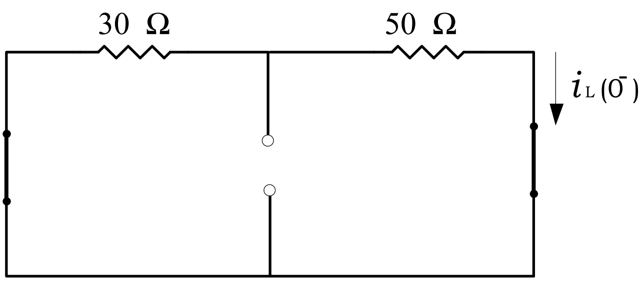


Figura 2.118

Para 0 < t < 0.002, de la figura 2.117, 2μ(t)V = 2V y 80μ(t-0.0002) mA = 0 (la fuente de corriente se comporta como un circuito abierto), tal como se muestra en la figura 2.119. Las resistencias de 30 Ω y 50 Ω están en serie con una resistencia equivalente de 80 Ω como se indica en la figura

2.120.

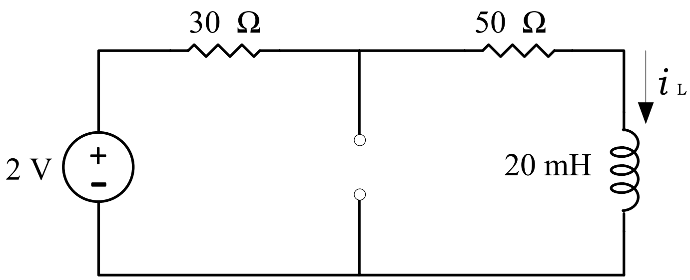


Figura 2.119

La figura 2.120 es un circuito RL con fuente, donde la corriente en el inductor es:

$$i_L = i_n + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{20 \text{ x } 10^{-3}}{80} = 2.5 \text{ x } 10^{-4} \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 4000$$

$$i_L(t) = Ae^{-4000t} + i_f$$

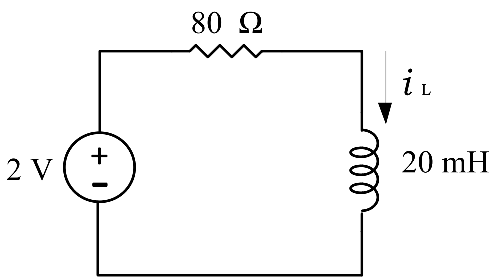


Figura 2.120

Cálculo de la corriente forzada

En la figura 2.120 cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 2 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.121. La corriente forzada es:

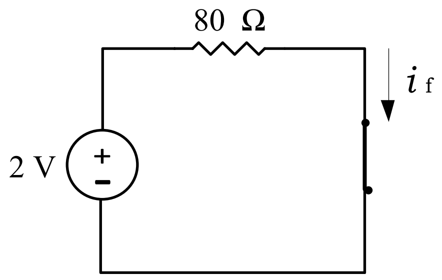


Figura 2.121

$$i_f = \frac{2}{80} = 0.025 \text{ A}$$

$$i_L(t) = Ae^{-4000t} + 0.025$$

$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+) = 0$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i_L(0) = Ae^0 + 0.025 = 0$$

$$A = -0.025$$

$$i_L(t) = -0.025e^{-4000t} + 0.025 \text{ A}$$

$$i_L(t) = 25(1 - e^{-4000t}) \text{ mA}$$

$$i_L(t = 0.0002) = -0.025e^{-4000(0.0002)} + 0.025$$

$i_L(t = 0.0002) = 0.01377$ A

Para t > 0.0002, de la figura 2.117, 2μ(t)V = 2V y 80μ(t-0.0002) mA = 80 mA, tal como se muestra en la figura 2.119. Retirando el inductor, se tiene la figura 2.123.

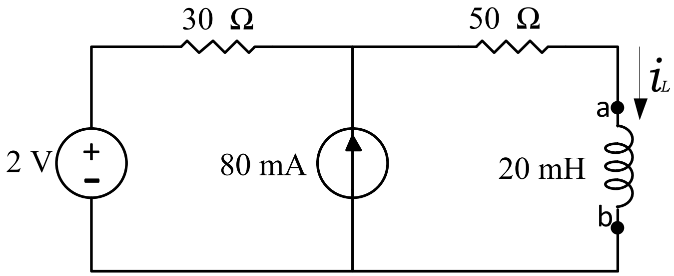


Figura 2.122

En la figura 2.123, hallar el equivalente de Thévenin en los puntos a-b.

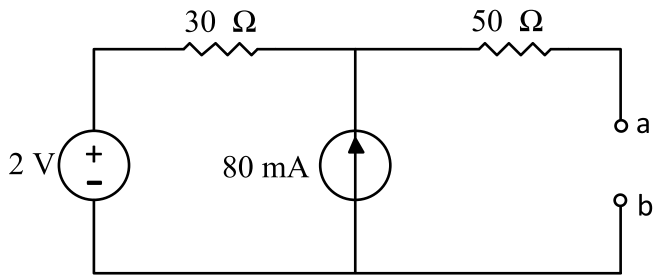


Figura 2.123

Cálculo del voltaje de Thévenin

En la figura 2.123, en el lazo externo, se aplica la LVK para encontrar el voltaje Vab:

$$-2 - 30(80 \text{ x } 10^{-3}) + V_{ab} = 0$$

$V_{ab} = 4.4\ V$

$V_{TH} = V_{ab} = 4.4\ V$

Cálculo de la resistencia de Thévenin

Para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hace cero la fuente independiente de voltaje de 2 V (hacer cero una fuente de voltaje es un cortocircuito) y se hace cero la fuente de corriente de 80 mA (hacer cero una fuente de corriente es un circuito abierto), tal como se muestra en la figura 2.124. La resistencia equivalente Rab en los puntos a-b es:

$R_{ab} = 30 + 50 = 80\Omega$

$R_{TH} = R_{ab} = 80\Omega$

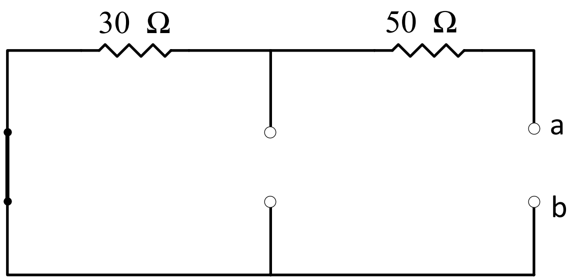


Figura 2.124

El circuito equivalente de Thévenin se encuentra en la figura 2.125, es un circuito RL con fuente, donde la corriente en el inductor es:

$i_L = i_n + i_f$

$i_L(t) = Ae^{-\frac{1}{\tau}(t-t_0)} + i_f$

$$i_L(t) = Ae^{-\frac{1}{\tau}(t-0.0002)} + i_f$$

$$\tau = \frac{L}{R_{TH}} = \frac{20 \text{ x } 10^{-3}}{80} = 2.5 \text{ x } 10^{-4} \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 4000$$

$$i_L(t) = Ae^{-4000(t-0.0002)} + i_f$$

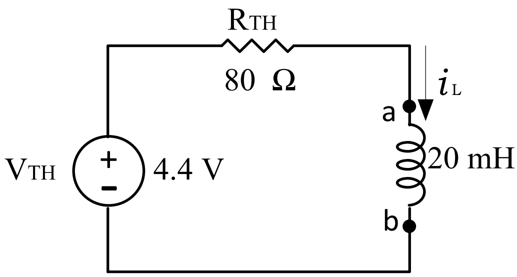


Figura 2.125

<u>Cálculo de la corriente forzada</u>

En la figura 2.125, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 4.4 V de corriente continua, el inductor se comporta como un cortocircuito, tal como se muestra en la figura 2.126. La corriente forzada es:

$$i_f = \frac{4.4}{80} = 0.055 \text{ A}$$

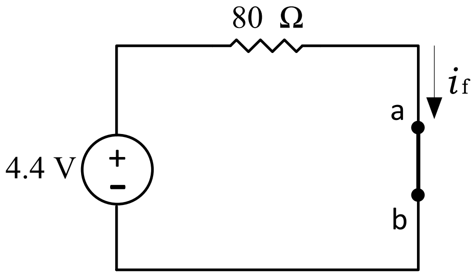


Figura 2.126

Por lo tanto, la corriente total en el inductor es:

$$i_L(t) = Ae^{-4000(t-0.0002)} + 0.055$$

$i_L(0.0002^-) = i_L(0.0002) = i_L(0.0002^+) = 0.01377$, debido a que el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i_L(0.0002^+) = Ae^{-4000(0.0002-0.0002)} + 0.055 = 0.01377$$

$$Ae^0 = 0.01377 - 0.055$$

$$A = -0.04123$$

$$i_L(t) = -0.04123e^{-4000(t-0.0002)} + 0.055 \text{ A}$$

$$i_L(t) = 55 - 41.23e^{-4000(t-0.0002)} \text{ mA}$$

Problema 17: "a) Encuéntrese una expresión para $v_C(t)$ en el circuito mostrado en la figura 2.127. Grafíquesela en función de t para valores positivos y negativos de t" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 199).

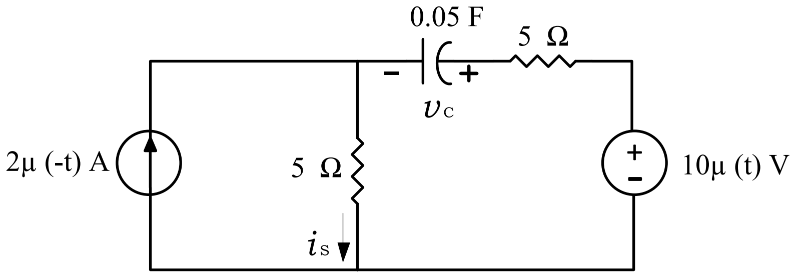


Figura 2.127

Solución:

Para t < 0, de la figura 2.127, 2μ(-t)A = 2 A y 10μ(t) V = 0 (la fuente de voltaje se comporta como un cortocircuito). Debido a la fuente de corriente de 2 A de corriente continua y el circuito se encuentra en estado estable, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.128. Se aplica la Ley de Ohm para calcular el voltaje en el capacitor.

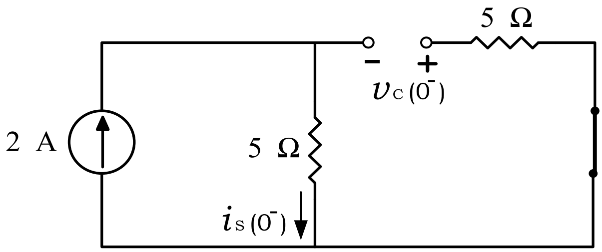


Figura 2.128

$$v_c(0^-) = (-2)(5) = -10V$$

Para t > 0, de la figura 2.127, 2μ(-t)A = 0 (hacer cero una fuente de corriente es un circuito abierto) y 10μ(t) V = 10V. El circuito resultante se muestra en la figura 2.129 y, redibujando esa figura, se obtiene la 2.130.

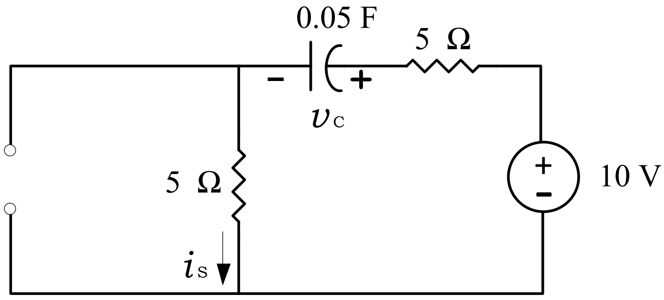


Figura 2.129

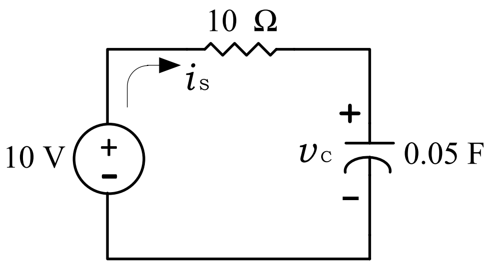


Figura 2.130

La figura 2.130 es un circuito RC con fuente, cuyo voltaje en el capacitor viene dado por la fórmula siguiente:

$$v_c = v_n + v_f$$

Donde:

v_n = voltaje natural

v_f = voltaje forzado

$$\tau = RC = (10)(0.05) = 0.5 \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 2$$

$$v_c = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + v_f$$

$$v_c = Ae^{-2t} + v_f$$

Cálculo del voltaje forzado

En la figura 2.130, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 10 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.131. El voltaje forzado es:

$$v_f = 10 \text{ V}$$

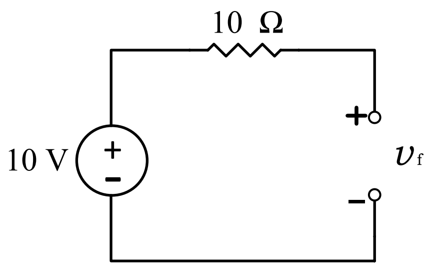


Figura 2.131

Por lo tanto, el voltaje total en el capacitor es:

$$v_C(t) = Ae^{-2t} + 10$$

$v_c(0^-) = v_c(0) = v_c(0^+) = -10 \text{ V}$, debido a que el capacitor no permite cambios bruscos de voltaje.

$$v_c(0) = Ae^0 + 10 = -10$$

$$A = -20$$

$$v_c(t) = -20e^{-2t} + 10$$

$$v_c(t) = 10 - 20e^{-2t} \tag{2-13}$$

Se procede a calcular el tiempo en el cual la gráfica de la corriente pasa por el eje t.

$$v_c(t) = 10 - 20e^{-2t} = 0$$

$$\frac{10}{20} = e^{-2t}$$

$$0.5 = e^{-2t}$$

$$(-2t)ln\, e = ln 0.5$$

$$t = -\frac{ln\, 0.5}{2} = 0.35$$

En la figura 2.132, se muestra la gráfica de la ecuación (2-13) y las condiciones iniciales, es decir para todo t.

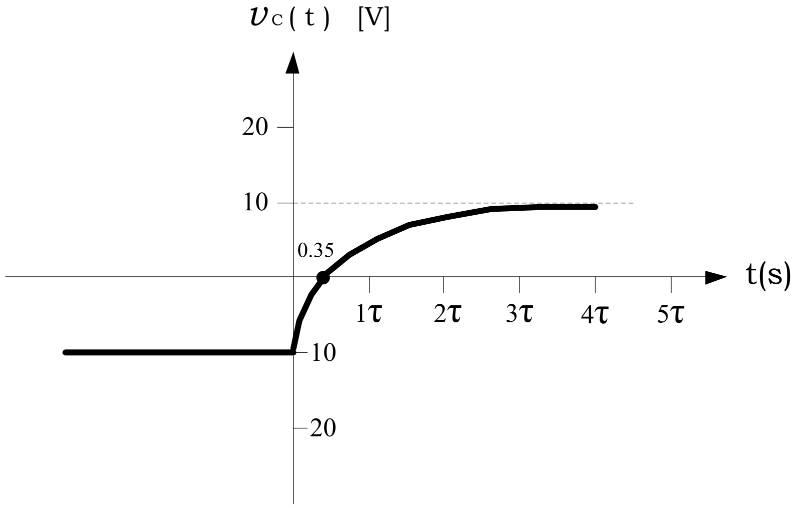


Figura 2.132

Problema 18: "Considere el problema 17, calcúlese la corriente $i_s(t)$" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 199).

Para t < 0, en la figura 2.128:

$$i_s(0^-) = 2A$$

Para t > 0, en la figura 2.130:

$$i_s = C\frac{dv_c}{dt}$$

$$i_s = 0.05\frac{d}{dt}(10 - 20e^{-2t})$$

$$i_s(t) = 0.05(-20)(-2)e^{-2t} = 2e^{-2t}$$

$$i_s(t) = 2e^{-2t} \text{ A} \tag{2-14}$$

En la figura 2.133, se encuentra la gráfica de la corriente de la ecuación (2-14) incluida la condición inicial, es decir, para todo t.

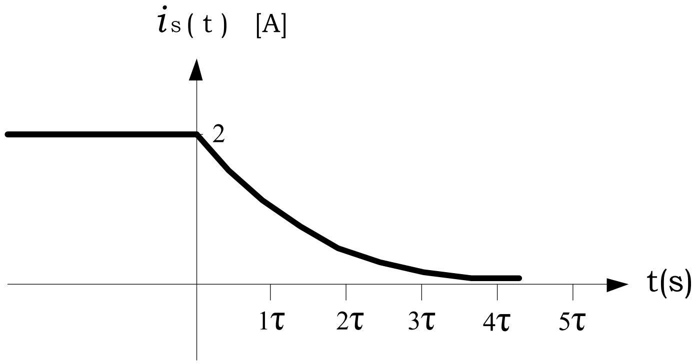


Figura 2.133

Problema 19: "El interruptor de la figura 2.134 ha estado abierto durante mucho tiempo; se cierra en t = 0. Encuéntrese expresiones válidas para todo instante t para: a) $v_c(t)$; b) $v_2(t)$" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 200).

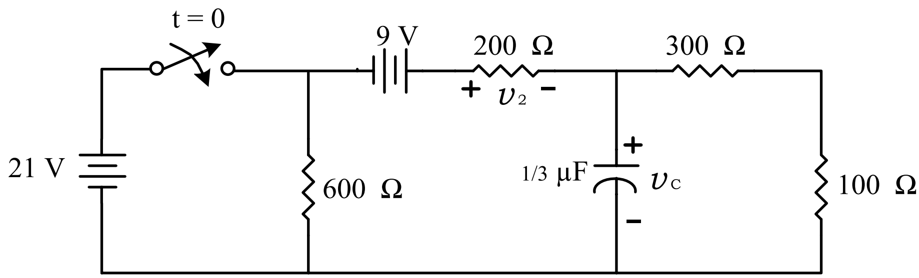


Figura 2.134

Solución:

Para t < 0, en la figura 2.134, el interruptor está abierto. Debido a las condiciones de estado estable del circuito y a la fuente de 9 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.135. A continuación se plantean las ecuaciones:

Se utiliza divisor de voltaje en la resistencia de 200 Ω para obtener $v_2(0^-)$:

$$v_2(0^-) = 9\frac{200}{200 + 300 + 100 + 600} = 9\frac{200}{1200} = 1.5 \text{ V}$$

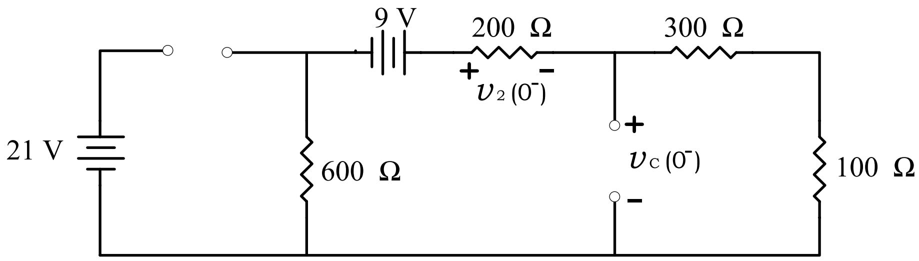


Figura 2.135

Se utiliza divisor de voltaje en la resistencia equivalente de la conexión en serie de 300 Ω y 100 Ω para obtener :

$$v_c(0^-) = 9\frac{300 + 100}{200 + 300 + 100 + 600} = 9\frac{400}{1200} = 3 \text{ V}$$

$$v_C(0^-) = 3 \text{ V}$$

Para t > 0, en la figura 2.134, el interruptor está cerrado, tal como se muestra en la figura 2.136. Se retira el capacitor y se procede a hallar el equivalente de Thévenin en los puntos a-b, utilizando el análisis de mallas, como se muestra en la figura 2.137.

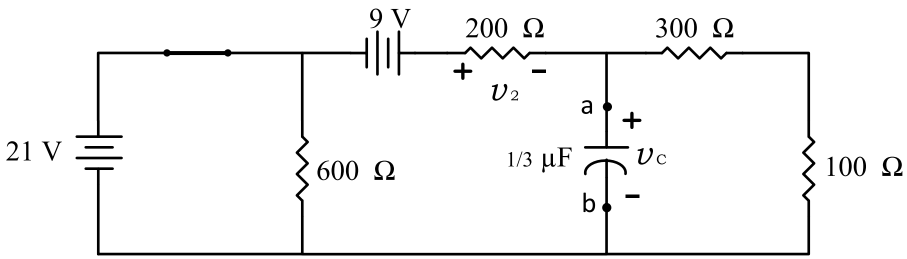


Figura 2.136

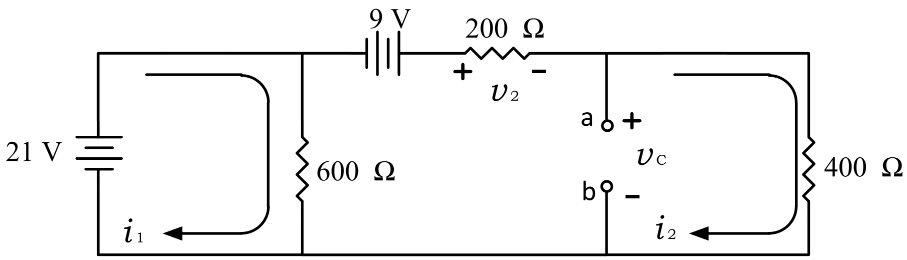


Figura 2.137

Cálculo del voltaje de Thévenin

MALLA 1

Se asume que la corriente de mallas i_1 polariza de más (+) a menos (–) en cada uno de los elementos pasivos. Las otras corrientes de malla, si están en la misma dirección de i_1, se suman y, si están en direcciones opuestas, se restan. A continuación se aplica la Ley de Voltajes de Kirchhoff (LVK) y, en cada elemento pasivo, la Ley de Ohm.

$$-21 + 600(i_1 - i_2) = 0$$

$$-21 + 600i_1 - 600i_2 = 0$$

$$600i_1 - 600i_2 = 21 \qquad (2\text{-}15)$$

MALLA 2

Se asume que la corriente de mallas i_2 polariza de más (+) a menos (–) en cada uno de los elementos pasivos. Las otras corrientes de malla, si están en la misma dirección de i_2, se suman y, si están en direcciones opuestas, se restan. A continuación se aplica la LVK y, en cada elemento pasivo, la Ley de Ohm.

$$600(i_2 - i_1) - 9 + 200i_2 + 400i_2 = 0$$

$$600i_2 - 600i_1 - 9 + 200i_2 + 400i_2 = 0$$

$$-600i_1 + 1200i_2 = 9 \qquad (2\text{-}16)$$

Con las ecuaciones (2-15) y (2-16) se plantea el sistema de determinantes para calcular las corrientes de mallas:

$$i_1 = \frac{\begin{vmatrix} 21 & -600 \\ 9 & 1200 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 600 & -600 \\ -600 & 1200 \end{vmatrix}} = \frac{(21)(1200) - (-600)(9)}{(600)(1200) - (-600)(-600)} = \frac{25200 + 5400}{720000 - 360000}$$

$$i_1 = \frac{30600}{360000} = 0.085A$$

$$i_1 = 0.085A$$

En la ecuación (2-15):

$$-600i_2 = 21 - 600i_1$$

$$i_2 = \frac{600i_1 - 21}{600}$$

$$i_2 = \frac{600(0.085) - 21}{600} = 0.05$$

$$i_2 = 0.05\ A$$

En la figura 2.137, se aplica la Ley de Ohm:

$$V_c = 400i_2 = 400(0.05) = 20$$

$$V_c = 20\ \text{V}$$

$$V_{ab} = v_c$$

$$V_{TH} = v_{ab} = 20\ \text{V}$$

<u>Cálculo de la resistencia de Thévenin:</u>

En la figura 2.137, para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hacen cero las fuentes independientes de voltaje de 9 V y 21 V (hacer cero una fuente de voltaje es un cortocircuito), tal como se muestra en la figura 2.138. La resistencia de 600 Ω se abre debido a que está en paralelo con el cortocircuito, y el circuito final se muestra en la figura 2.139. La resistencia equivalente Rab en los puntos a-b es:

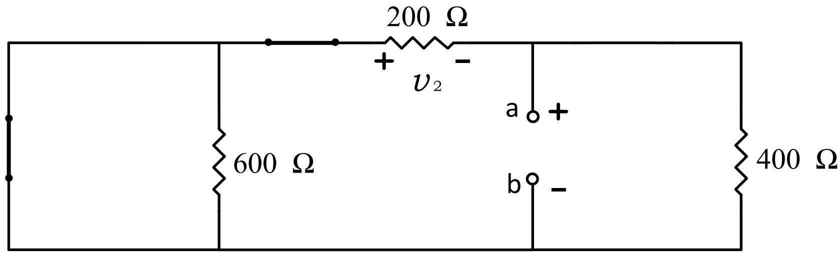


Figura 2.138

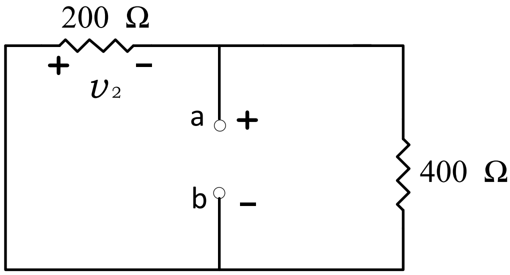


Figura 2.139

$$R_{ab} = \frac{(200)(400)}{200 + 400} = 133.33\ \Omega$$

$$R_{ab} = 133.33\ \Omega$$

El circuito equivalente de Thévenin, incluido el capacitor, se muestra en la figura 2.140. Es un circuito RC con fuente. El voltaje total en el capacitor es la suma del voltaje natural más el voltaje forzado:

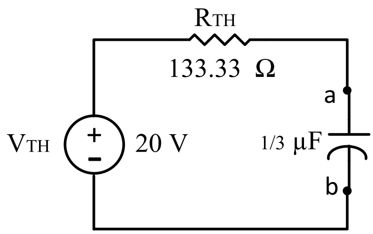


Figura 2.140

$$v_c = v_n + v_f$$

$$\tau = R_{TH}C = (133.33)(0.33 \text{ x } 10^{-6}) = 4.39989 \text{ x } 10^{-5} \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 22727.84$$

$$v_n = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$v_n = Ae^{-22727.84t}$$

Cálculo del voltaje forzado

En la figura 2.140, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 20 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.141. El voltaje forzado es:

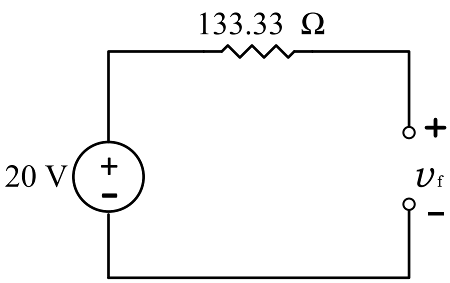


Figura 2.141

$$v_f = 20 \text{ V}$$

Por lo tanto, la respuesta total en el capacitor es:

$$v_c = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + v_f$$

$$v_c(t) = Ae^{-22727.84t} + 20$$

$v_c(0^-) = v_c(0) = v_c(0^+) = 3V$, debido a que el capacitor no permite cambios bruscos de voltaje.

$$v_c(0) = Ae^0 + 20 = 3$$

$$A = -17$$

$$v_c(t) = (-17e^{-22727.84t} + 20)$$

El voltaje en el capacitor para t > 0 utilizando la función escalón unitario se escribe de la siguiente manera:

$$v_c(t) = (20 - 17e^{-22727.84t})\,\mu(t) \text{ V}$$

El voltaje en el capacitor para todo t, se escribe como sigue:

$$v_c(t) = (20 - 17e^{-22727.84t})\,\mu(t) + 3\mu(-t) \quad \text{V}$$

En la figura 2.137, en el lazo externo, se aplica la LVK:

$$-21 - 9 + v_2 + v_c = 0$$

$$v_2 = 30 - v_c$$

$$v_2(t) = 30 - (-17e^{-22727.84t} + 20)$$

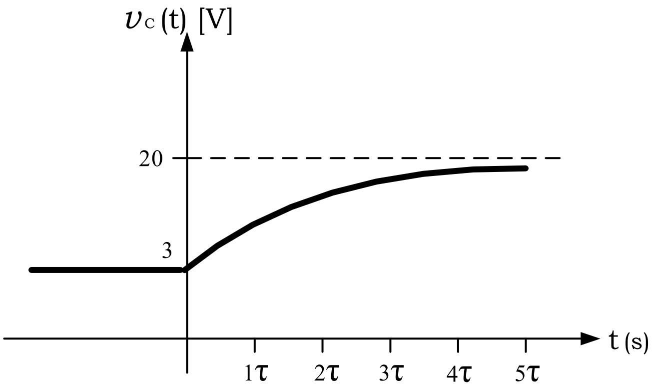
$$v_2(t) = 30 + 17e^{-22727.84t} - 20$$

$$v_2(t) = 10 + 17e^{-22727.84t} \text{ V}$$

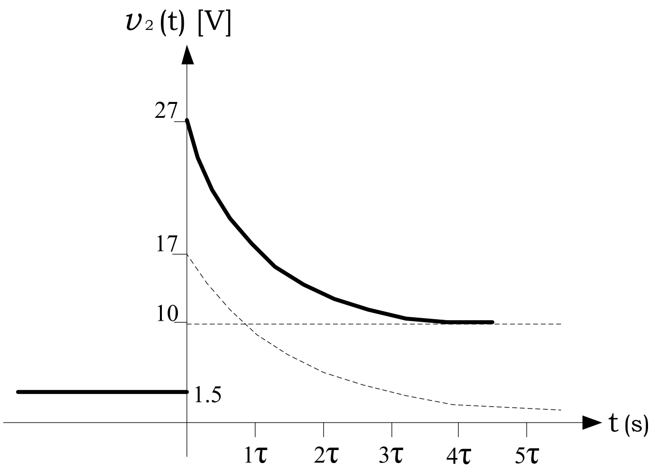
Escribiendo para todo t, se tiene:

$$v_2(t) = 1.5\mu(-t) + (10 + 17e^{-22727.84t})\mu(t) \text{ V}$$

La gráfica del voltaje en el capacitor v_C versus tiempo, para todo t se encuentra en la figura 2.142 (a) y la gráfica del voltaje v_2 versus tiempo, para todo t, se encuentra en la figura 2.142 (b).



(a)



(b)

Figura 2.142 (a) y (b)

Problema 21: "El interruptor de la figura 2.143 ha estado en A durante mucho tiempo. En t = 0 se cambia a B. Búsquese v_c para t < 0 y t > 0" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 200).

Solución:

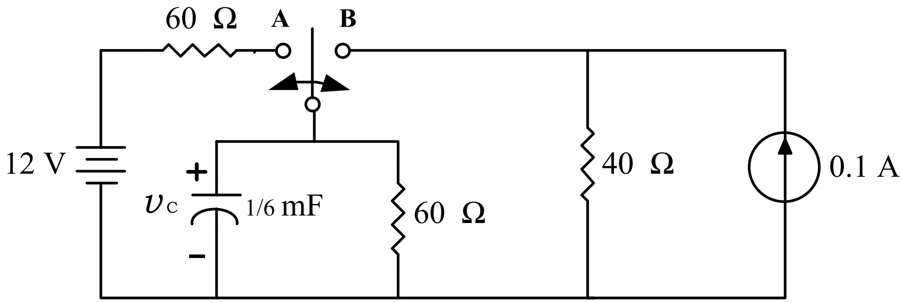


Figura 2.143

Para t < 0, en la figura 2.143, el interruptor está cerrado en la posición A. Debido a las condiciones de estado estable del circuito y a la fuente de 12 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.144. A continuación se plantean las ecuaciones:

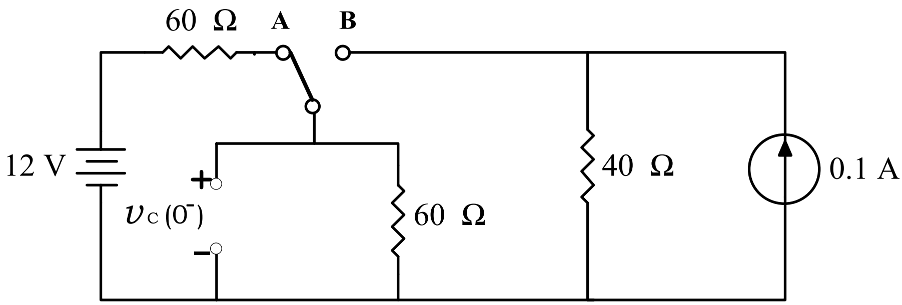


Figura 2.144

Aplicando divisor de voltaje:

$$v_c(0^-) = 12\frac{60}{60+60} = 12\frac{60}{120} = 6$$

$$v_c(0^-) = 6\text{ V}$$

Para t > 0, en la figura 2.143, el interruptor está cerrado en la posición B, tal como se muestra en la figura 2.145.

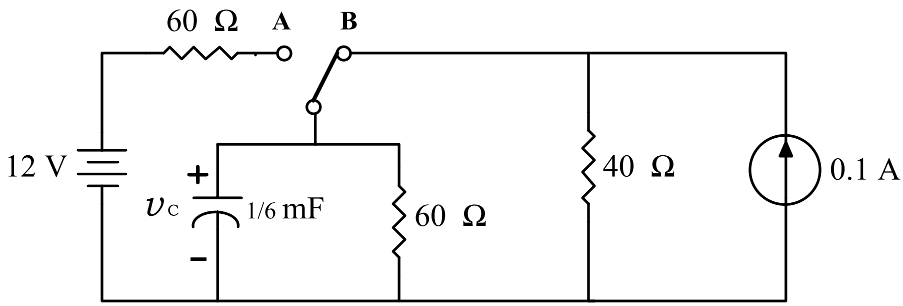


Figura 2.145

En la figura 2.145, las resistencias de 60 Ω y 40 Ω están en paralelo cuya resistencia equivalente Req es igual a 24 Ω, tal como se muestra en la figura 2.146.

$$R_{eq} = \frac{(60)(40)}{60+40} = 24\,\Omega$$

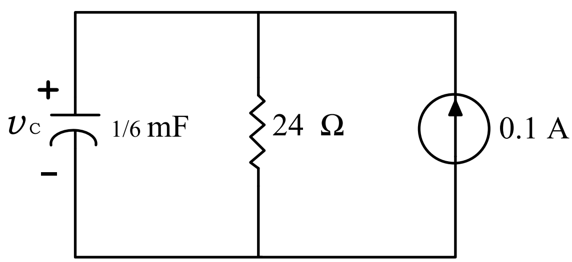


Figura 2.146

La fuente real de corriente (formado por la fuente de corriente de 0.1 A en paralelo con la resistencia de 24 Ω) se convierte a una fuente real de voltaje (formado por una fuente de voltaje v_S en serie con la resistencia de 24 Ω), tal como se muestra en la figura 2.147.

$$v_s = (24)(0.1) = 2.4\ \text{V}$$

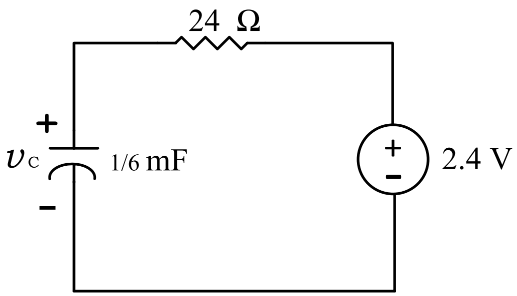


Figura 2.147

La figura 2.147 es un circuito RC con fuente, el voltaje total en el capacitor es la suma del voltaje natural más el voltaje forzado:

$$v_c = v_n + v_f$$

$$\tau = RC = (24)(0.16667 \text{ x } 10^{-3}) = 4 \text{ x } 10^{-3} \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 250$$

$$v_n = Ae^{-\frac{t}{\tau}} = Ae^{-250t}$$

Cálculo del voltaje forzado

En la figura 2.147, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 24 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.148. El voltaje forzado es:

$$v_f = 2.4 \text{ V}$$

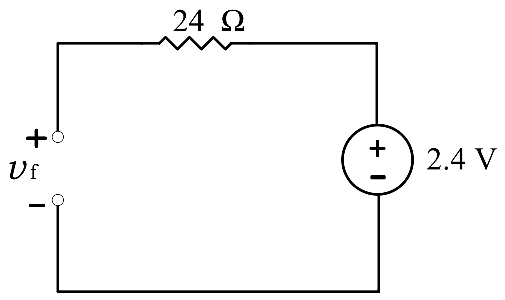


Figura 2.148

Por lo tanto, la respuesta total en el capacitor es:

$$v_c = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + v_f$$

$$v_c = Ae^{-250t} + 2.4 \quad \text{V}$$

$v_c(0^-) = v_c(0) = v_c(0^+) = 6V$, debido a que el capacitor no permite cambios bruscos de voltaje.

$$v_c(0) = Ae^0 + 2.4 = 6$$

$$A = 6 - 2.4 = 3.6$$

$$v_c(t) = (3.6e^{-250t} + 2.4) \text{ V}$$

Problema 22: El interruptor de la figura 2.143 ha estado en B durante mucho tiempo. En t = 0 se cambia a A. Calcúlese v_c(t) para t < 0 y t > 0.

Solución:

Para t < 0, en la figura 2.143, el interruptor está cerrado en la posición B. Debido a las condiciones de estado estable del circuito y a la fuente de 0.1 Am de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.149.

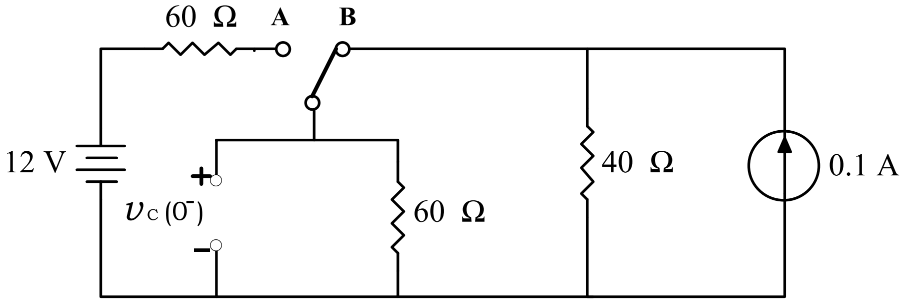


Figura 2.149

En la figura 2.149, las resistencias de 60 Ω y 40 Ω están conectados en paralelo cuya resistencia equivalente es de 24 Ω. Esta resistencia está en paralelo con la fuente de corriente (fuente real de corriente) y se transforma a una fuente real de voltaje (resistencia de 24 Ω en serie con la fuente de voltaje de 24(0.1) = 2.4 V), el circuito equivalente se muestra en la figura 2.150 cuyo voltaje del capacitor es:

$$v_c(0^-) = 2.4 \text{ V}$$

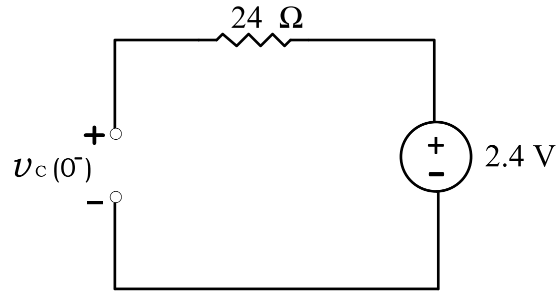


Figura 2.150

Para t > 0, en la figura 2.143, el interruptor está cerrado en la posición A, tal como se muestra en la figura 2.151 y simplificando, se obtiene el circuito de la figura 2.152.

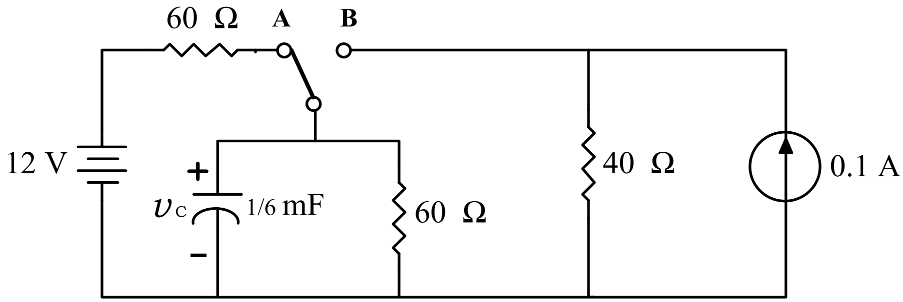


Figura 2.151

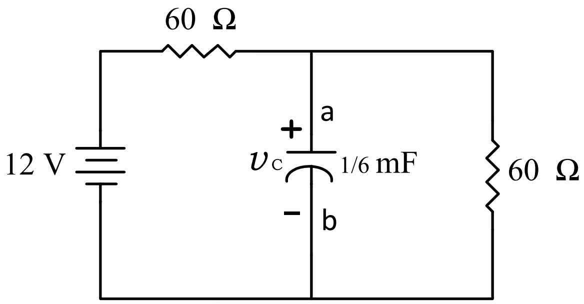


Figura 2.152

En la figura 2.152, se retira el capacitor y, en los puntos a-b, se procede a hallar el equivalente de Thévenin, como lo indica la figura 2.153.

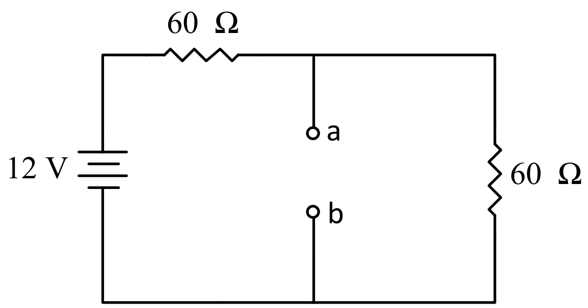


Figura 2.153

Cálculo del voltaje de Thévenin:

Se aplica divisor de voltaje en la resistencia de 60 Ω:

$$v_{ab} = 12\frac{60}{60 + 60} = 6 \text{ V}$$

$$V_{TH} = v_{ab} = 6 \text{ V}$$

Cálculo de la resistencia de Thévenin

En la figura 2.153, para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hace cero la fuente independiente de voltaje de 12 V (hacer cero una fuente de voltaje es un cortocircuito), tal como se muestra en la figura 2.154. Las dos resistencias de 60 Ω están en paralelo y su resistencia equivalente en los puntos a-b es:

$$R_{ab} = \frac{(60)(60)}{60 + 60} = 30 \ \Omega$$

$$R_{TH} = R_{ab} = 30\Omega$$

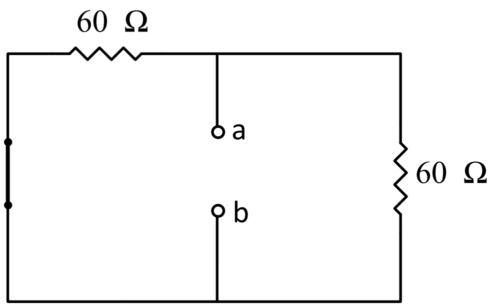


Figura 2.154

El circuito equivalente de Thévenin incluido el capacitor es el que se muestra en la figura 2.155.

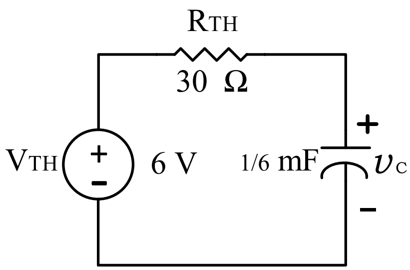


Figura 2.155

La figura 2.155 es un circuito RC con fuente. El voltaje total en el capacitor es la suma del voltaje natural más el voltaje forzado.

$$v_c = v_n + v_f$$

$$\tau = R_{TH}C = (30)(0.1667 \text{ x } 10^{-3}) = 5.001 \text{ x } 10^{-3}$$

$$\frac{1}{\tau} = 199.96 \approx 200$$

$v_n = Ae^{-\frac{t}{\tau}} = Ae^{-200t}$

<u>Cálculo del voltaje forzado</u>

En la figura 2.155, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de 6 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.156. El voltaje forzado es:

$v_f = 6 \text{ V}$

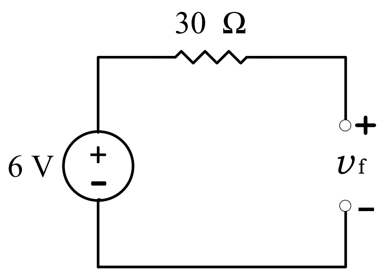


Figura 2.156

Por lo tanto, la respuesta total en el capacitor es:

$v_c = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + v_f$

$v_c(t) = Ae^{-200t} + 6$

$v_c(0^-) = v_c(0) = v_c(0^+) = 2.4 \text{ V}$, debido a que el capacitor no permite cambios bruscos de voltaje.

$v_c(0) = Ae^0 + 6 = 2.4$

$A = 2.4 - 6 = -3.6$

$$v_c(t) = -3.6e^{-200t} + 6 \text{ V}$$

Problema 23: "El interruptor de la figura 2.157 ha estado abierto durante mucho tiempo. a) Obténgase una expresión para $v_c(t)$ en función de t, t > 0. b) ¿En qué instante $v_c(t) = 0$?" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 200).

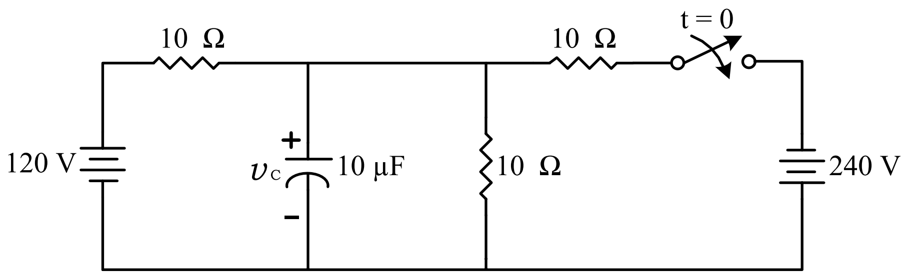


Figura 2.157

Solución:

<u>Para t < 0</u>, en la figura 2.157, el interruptor está abierto. Debido a las condiciones de estado estable del circuito y a la fuente de 120 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.158.

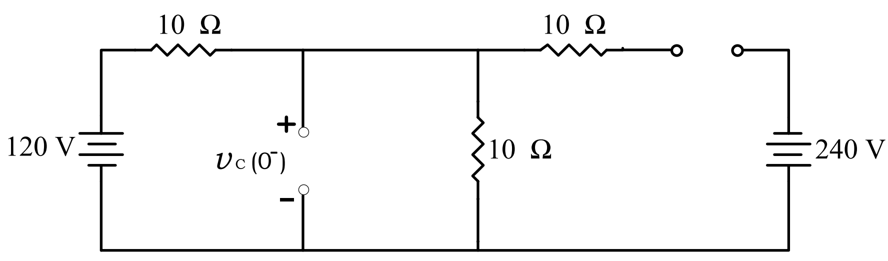


Figura 2.158

En la figura 2.158, se aplica divisor de voltaje en la resistencia de 10 Ω del centro del circuito:

$$v_c(0^-) = 120\frac{10}{10+10} = 60$$

$$v_c(0^-) = 60\ \text{V}$$

Para t > 0, en la figura 2.157, el interruptor está cerrado, tal como se muestra en la figura 2.159. En esta figura se retira el capacitor para hallar el equivalente de Thévenin en los puntos a-b, como se muestra en la figura 2.160.

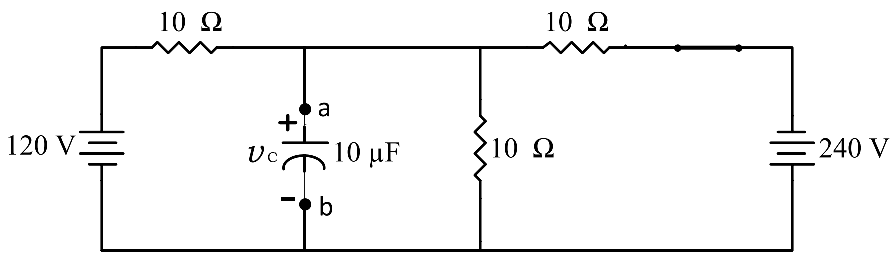


Figura 2.159

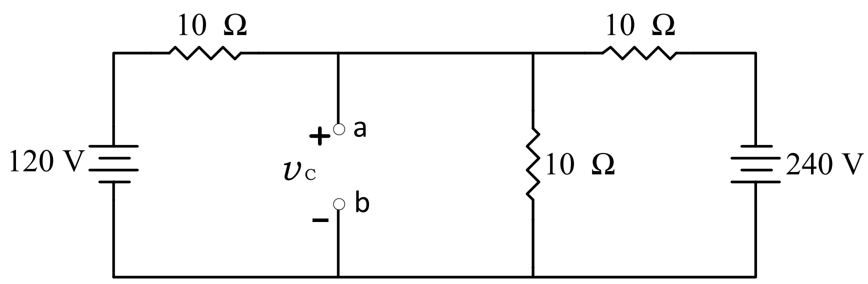


Figura 2.160

Cálculo del voltaje de Thévenin

En la figura 2.160, se utiliza el análisis de mallas, tal como se muestra la figura 2.161. A continuación, se plantean las ecuaciones:

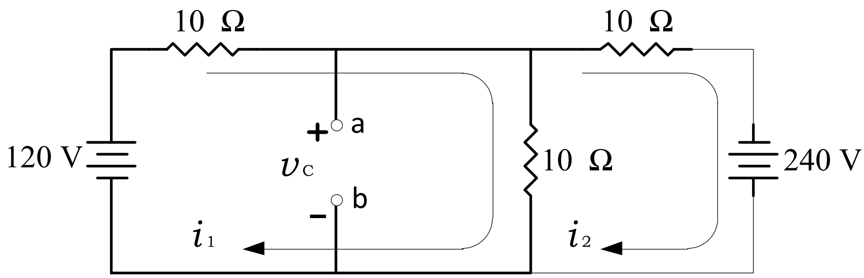


Figura 2.161

MALLA 1

Se asume que la corriente de mallas i_1 polariza de más (+) a menos (–) en cada uno de los elementos pasivos. Las otras corrientes de malla, si están en la misma dirección de i_1, se suman y, si están en direcciones opuestas, se restan. A continuación se aplica la Ley de Voltajes de Kirchhoff (LVK) y, en cada elemento pasivo, la Ley de Ohm.

$$-120 + 10i_1 + 10(i_1 - i_2) = 0$$

$$-120 + 10i_1 + 10i_1 - 10i_2 = 0$$

$$20i_1 - 10i_2 = 120 \qquad (2\text{-}17)$$

MALLA 2

Se asume que la corriente de mallas i_2 polariza de más (+) a menos (–) en cada uno de los elementos pasivos. Las otras corrientes de malla, si están en la misma dirección de i_2, se suman y, si están en direcciones opuestas, se restan. A continuación se aplica la LVK y en cada elemento pasivo la Ley de Ohm.

$$10i_2 - 240 + 10(i_2 - i_1) = 0$$

$$10i_2 - 240 + 10i_2 - 10i_1 = 0$$

$$-10i_1 + 20i_2 = 240 \qquad (2\text{-}18)$$

Con las ecuaciones (2-17) y (2-18) se plantea el sistema de determinantes,

$$i_1 = \frac{\begin{vmatrix} 120 & -10 \\ 240 & 20 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 20 & -10 \\ -10 & 20 \end{vmatrix}} = \frac{2400 + 2400}{400 - 100} = \frac{4800}{300} = 16$$

$$i_1 = 16 \text{ A}$$

En la ecuación (2-17):

$$-10i_2 = 120 - 20i_1$$

$$10i_2 = -120 + 20i_1$$

$$i_2 = \frac{20i_1 - 120}{10} = \frac{20(16) - 120}{10} = 20$$

$$i_2 = 20 \text{ A}$$

En la figura 2.161 se aplica la Ley de Ohm en la resistencia de 10 Ω:

$$v_c = 10(i_1 - i_2)$$

$$v_c = 10(16 - 20) = -40\text{ V}$$

$$v_{ab} = v_c = -40\text{ V}$$

$$v_{TH} = v_{ab} = -40\text{ V}$$

Cálculo de la resistencia de Thévenin

En la figura 2.160, para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hace cero las fuentes independientes de voltaje de 120 V y 240 V (hacer cero una fuente de voltaje es un cortocircuito), tal como se muestra en la figura 2.162. Las tres resistencias de 10 Ω están conectadas en paralelo cuya resistencia equivalente en los puntos a-b es:

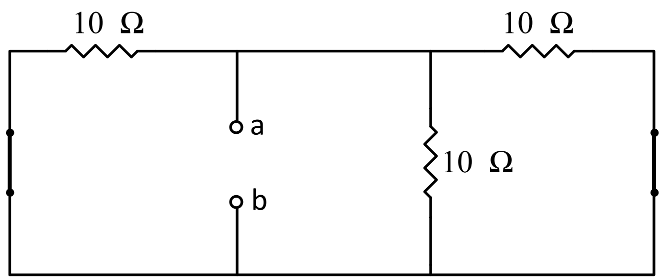


Figura 2.162

$$\frac{1}{R_{ab}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10}$$

$$R_{ab} = \frac{10}{3} = 3.3333\ \Omega$$

El circuito equivalente Thévenin incluido el capacitor se muestra en la figura 2.163:

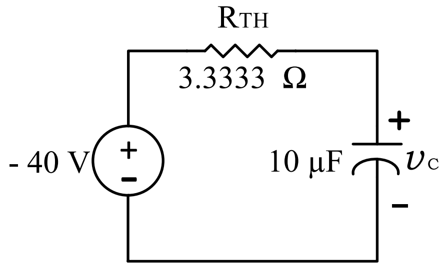


Figura 2.163

La figura 2.163 es un circuito RC con fuente. El voltaje total en el capacitor es la suma del voltaje natural más el voltaje forzado:

$$v_c = v_n + v_f$$

$$v_n = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = R_{TH}C = (3.3333)(10 \text{ x } 10^{-6}) = 3.3333 \text{ x } 10^{-5} \text{ seg}$$

$$\frac{1}{\tau} = 30000$$

$$v_n = Ae^{-\frac{t}{\tau}} = Ae^{-30000t}$$

<u>Cálculo del voltaje forzado</u>

En la figura 2.163, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de – 40 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.164. El voltaje forzado es:

$$v_f = -40 \text{ V}$$

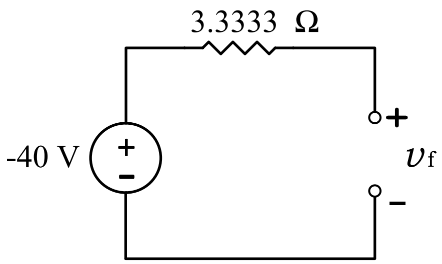


Figura 2.164

Por lo tanto, la respuesta total en el capacitor es:

$v_c = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + v_f$

$v_c(t) = Ae^{-30000t} - 40$

$v_c(0^-) = v_c(0) = v_c(0^+) = 60$, debido a que el capacitor no permite cambios bruscos de voltaje.

$v_c(0) = Ae^0 - 40 = 60$

$A = 100$

a) $v_c(t) = 100e^{-30000t} - 40$ V

b) $v_c(t) = 100e^{-30000t} - 40 = 0$

$100e^{-30000t} = 40$

$e^{-30000t} = \frac{40}{100}$

$e^{-30000t}$=0.4

$$-30000t \ ln e = ln 0.4$$

$$t = \frac{ln 0.4}{-30000} = 3.0543 * 10^{-5} seg$$

$$t = 30.543 \text{ x } 10^{-6} \text{ seg}$$

$$t = 30.54 \ \mu\text{seg}$$

Problema 24: "Hállese el instante en el cual el voltaje del capacitor de la figura 2.165 es igual a cero" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 200).

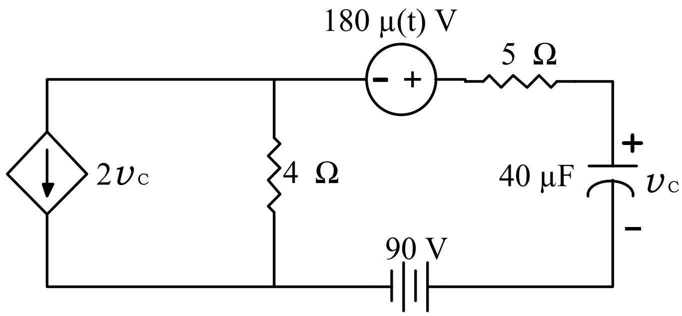


Figura 2.165

Solución:

Para t < 0, en la figura 2.165, la función escalón unitario es igual a cero, esto es, 180µ(t) V = 0 (la fuente de voltaje se comporta como un cortocircuito). Debido a fuente de voltaje de 90 V de corriente continua y el circuito se encuentra en estado estable; el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.166.

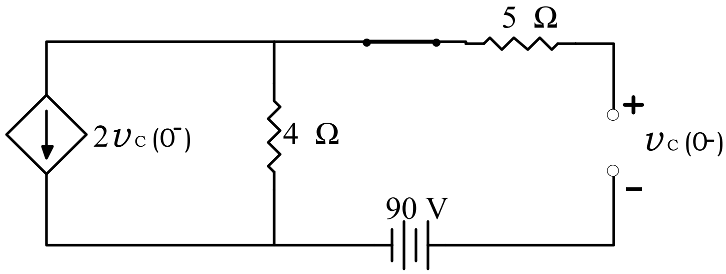


Figura 2.166

En la figura 2.166, en el lazo de la derecha, se aplica la LVK en el sentido horario:

$$v_c(0^-) + 90 + 4[2v_c(0^-)] = 0$$

$$9v_c(0^-) + 90 = 0$$

$$v_c(0^-) = \frac{-90}{9}$$

$$v_c(0^-) = -10 \text{ V}$$

<u>Para t > 0</u>, de la figura 2.165, la función escalón unitario es igual a uno, esto es, 180μ(t) V = 180 V, el nuevo circuito se muestra en la figura 2.167. Se retira el capacitor y se procede a hallar el equivalente de Thévenin en los puntos a-b, tal como se muestra en la figura 2.168.

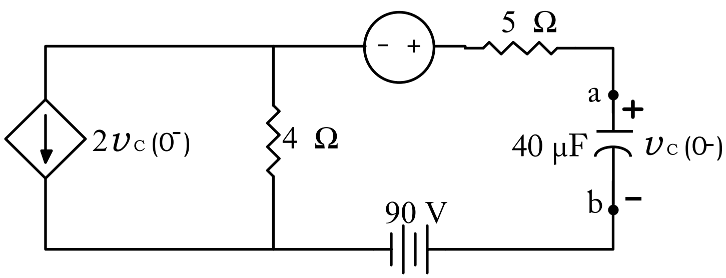


Figura 2.167

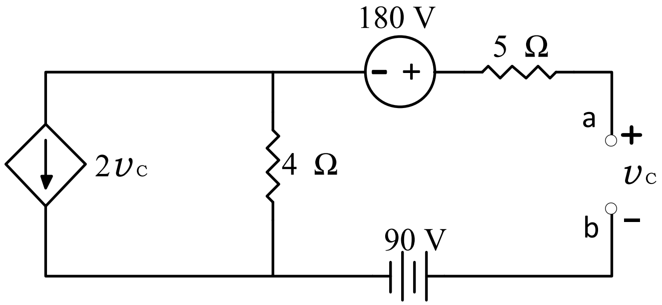


Figura 2.168

Cálculo del voltaje de Thévenin

En el lazo de la derecha del circuito de la figura 2.168, se aplica la LVK en el sentido antihorario:

$$-v_c + 180 - 4(2v_c) - 90 = 0$$

$$-v_c + 180 - 8v_c - 90 = 0$$

$$-9v_c + 90 = 0$$

$$v_c = \frac{90}{9} = 10 \text{ V}$$

$$v_{ab} = v_c$$

$$\text{V}_{TH} = v_{ab} = 10 \text{ V}$$

Cálculo de la resistencia de Thévenin

En la figura 2.168, para calcular la resistencia de Thévenin en los puntos a-b, se hace cero las fuentes independientes de voltaje de 90 V y

180 V (hacer cero una fuente de voltaje es un cortocircuito). Como en el circuito queda una fuente dependiente de corriente, entonces no se puede saber la resistencia de dicha fuente. Para calcular la resistencia de Thévenin se procede a calcular la corriente de Norton en los puntos a-b.

Para hallar la i_N se cortocircuitan los punto a-b y la corriente va dirigido de mayor a menor potencial, en este caso, el punto de mayor potencial es el a, tal como se muestra en la figura 2.169. Al cortocircuitar los puntos a-b, el voltaje en el capacitor es igual a cero; como la magnitud de la fuente dependiente de corriente es de 2 v_C = 2(0) = 0, entonces esta fuente se abre (los dos símbolos x en los extremos de la fuente, representan un circuito abierto).

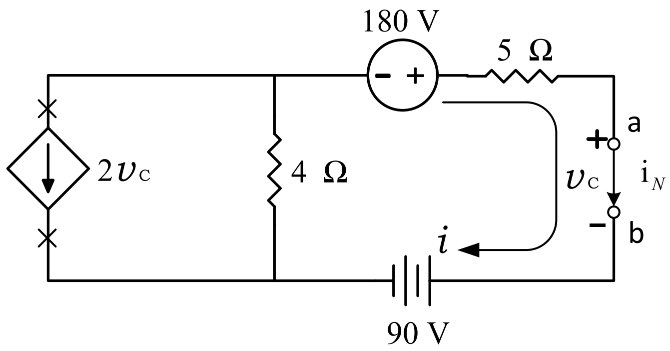


Figura 2.169

En el lazo de la derecha, se aplica la LVK:

$$-180 + 5i + 90 + 4i = 0$$

$$9i - 90 = 0$$

$$i = \frac{90}{9} = 10$$

$i = 10\text{ A}$

$i_N = i = 10\text{ A}$

$R_{TH} = \frac{v_{TH}}{i_N} = \frac{10}{10} = 1\Omega$

El equivalente de Thévenin, incluido el capacitor, se encuentra en la figura 2.170.

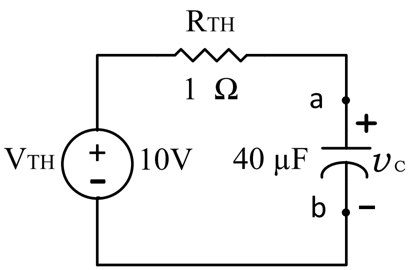


Figura 2.170

La figura 2.170 es un circuito RC con fuente, el voltaje total en el capacitor es la suma del voltaje natural más el voltaje forzado:

$v_c = v_n + v_f$

$v_n = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$

$\tau = RC = (1)(40 \text{ x } 10^{-6}) = 40 \text{ x } 10^{-6}\text{ seg}$

$\frac{1}{\tau} = 25000$

$v_n = Ae^{-25000t}$

Cálculo del voltaje forzado

En la figura 2.170, cuando el circuito se ha estabilizado y debido a la fuente de voltaje de – 10 V de corriente continua, el capacitor se comporta como un circuito abierto, tal como se muestra en la figura 2.171. El voltaje forzado es:

$$v_f = 10V$$

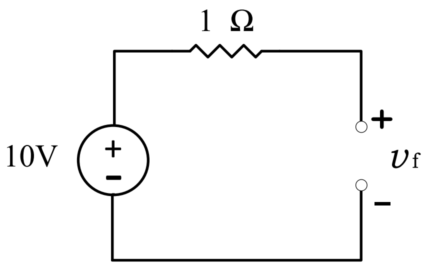


Figura 2.171

Por lo tanto, la respuesta total en el capacitor es:

$$v_c = v_n + v_f$$

$$v_c = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + v_f$$

$$v_c(t) = Ae^{-25000t} + 10$$

$v_c(0^-) = v_c(0) = v_c(0^+) = -10\text{ V}$, debido a que el capacitor no permite cambios bruscos de voltaje.

$$v_c(0) = Ae^0 + 10 = -10$$

$A = -20$

$$v_c(t) = -20e^{-25000t} + 10 \qquad (2\text{-}19)$$

Para hallar el instante en el cual el voltaje del capacitor es igual a cero, la ecuación (2-19) se iguala a cero y se despeja el tiempo:

$$v_c(t) = -20e^{-25000t} + 10 = 0$$

$$-20e^{-25000t} = -10$$

$$e^{-25000t} = \frac{10}{20} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$-25000t\ ln\ e = ln0.5$$

$$t = \frac{ln0.5}{-25000} = 2.773 \text{ x } 10^{-5} \text{ seg}$$

$$t = 27.73 \text{ x } 10^{-6} \text{ seg}$$

$$t = 27.73\ \mu\text{seg}$$

CAPÍTULO 3
CIRCUITOS RLC EN PARALELO SIN FUENTES

Problemas Resueltos

Problema 1: "Selecciónense valores para los elementos en un circuito RLC en paralelo para que $s_1 = -200\ s^{-1}$, $s_2 = -500\ s^{-1}$, y la corriente inicial en el resistor (en mA) sea numéricamente igual al voltaje inicial en el capacitor (en V)" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 234).

Solución:

En la figura 3.1, se presenta un circuito RLC en paralelo sin fuente en el cual se van a seleccionar los valores de R, L y C.

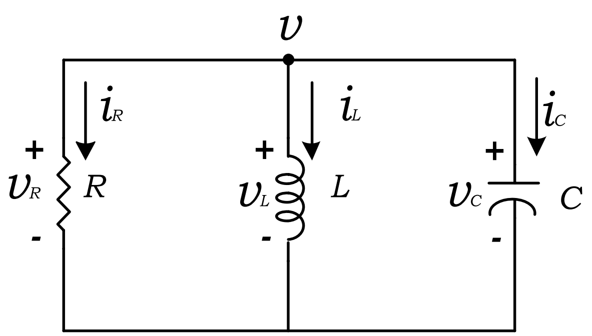


Figura 3.1

Aplicando la Ley de Ohm en la resistencia R:

$$v_R = i_R R$$

$$i_R = \frac{v_R}{R}$$

$v_R = v_L = v_C$, debido a que se encuentran en paralelo.

Por datos del problema, la i_R y v_C numéricamente deben ser iguales en mA y mV, entonces:

$$R = 1K\Omega$$

$$S_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = -200 \qquad (3\text{-}1)$$

$$S_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = -500 \qquad (3\text{-}2)$$

Sumamos las ecuaciones (3-1) y (3-2):

$$S_1 + S_2 = -2\alpha$$

$$-200 - 500 = -2\alpha$$

$$-700 = -2\alpha$$

$$\alpha = 350$$

$$\alpha = \frac{1}{2RC} = 350$$

$$C = \frac{1}{2\,(1x10^3)\,(350)} = 1.429 \text{ x } 10^{-6} \quad F$$

$$C = 1.429\ \mu F$$

Se resta las ecuaciones (3-1) - (3-2):

$$
\begin{array}{r}
-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = -200 \\
+\alpha + \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = +500 \\
\hline
0 + 2\sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = \quad 300
\end{array}
$$

$$\left(2\sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2}\right)^2 = (300)^2$$

$$4\left(\alpha^2 - W_0{}^2\right) = 90\,000$$

$$\alpha^2 - W_0{}^2 = \frac{90\,000}{4} = 22\,500$$

$$-W_0{}^2 = 22\,500 - \alpha^2$$

$$W_0{}^2 = \alpha^2 - 22\,500$$

$$W_0{}^2 = (350)^2 - 22\,500$$

$$\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)^2 = 122\,500 - 22\,500$$

$$\frac{1}{LC} = 100\,000$$

$$L = \frac{1}{(C)(100\,000)} = \frac{1}{(1.429x10^{-6})(100\,000)}$$

$$L = 6.9979 \text{ H}$$

$$L = 7 \text{ H}$$

Entonces, los valores de la R, L y C son:

$R = 1K\Omega$

$C = 1.429\ \mu F$

$L = 7H$

Problema 2: "La corriente del inductor en el circuito mostrado en la figura 3.2 es $i = 2e^{-5t} - 5e^{-10t}$ A. Si L = 0.2H, calcúlese: a) $v(t)$; b) $i_R(t)$; c) $i_c(t)$" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 234).

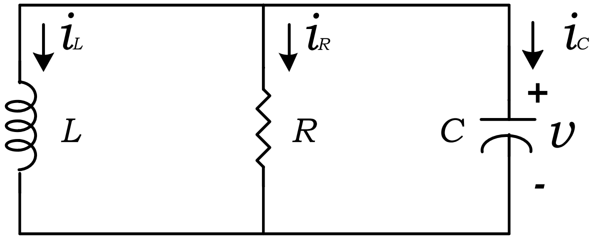


Figura 3.2

Solución:

En la figura 3.2, por datos del problema, los valores de la corriente en el inductor y de la inductancia son:

$i = 2e^{-5t} - 5e^{-10t}$ A

$L = 0.2\ H$

Por definición, el voltaje en el inductor es:

$$v = L\frac{di}{dt}$$

$$v = 0.2[2(-5)e^{-5t} - 5(-10)e^{-10t}]$$

$$v = -2e^{-5t} + 10e^{-10t}$$

a) $v(t) = 10e^{-10t} - 2e^{-5t}$ (3-3)

Por definición, la corriente en el capacitor es:

$$i_C = C\frac{dv}{dt}$$

$$i_C = C\frac{d}{dt}(10e^{-10t} - 2e^{-5t})$$

$$i_C = C\,(10(-10)e^{-10t} - 2(-5)e^{-5t})$$

$$i_C = -100\,C\,e^{-10t} + 10\,C\,e^{-5t} \quad (3\text{-}4)$$

De la ecuación (3-3):

$$S_1 = -10$$

$$S_2 = -5$$

$$S_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = -10 \quad (3\text{-}5)$$

$$S_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = -5 \quad (3\text{-}6)$$

Se suman las ecuaciones (3-5) y (3-6):

$$\begin{array}{rcl} -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} &=& -10 \\ -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} &=& -5 \\ \hline -2\alpha + \quad 0 &=& -15 \end{array}$$

$$\alpha = 7.5$$

Se restan las ecuaciones (3-5) - (3-6):

$$\begin{array}{rcl} -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} &=& -10 \\ +\alpha + \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} &=& +5 \\ \hline 0 + 2\sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} &=& -5 \end{array}$$

$$\left(\sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2}\right)^2 = (-2.5\,)^2$$

$$\alpha^2 - W_0{}^2 = 6.25$$

$$-W_0{}^2 = 6.25 - \alpha^2$$

$$W_0{}^2 = \alpha^2 - 6.25$$

$$W_0{}^2 = (7.5)^2 - 6.25 = 50$$

$$\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)^2 = 50$$

$$\frac{1}{LC} = 50$$

$$C = \frac{1}{(50)L} = \frac{1}{(50)(0.2)} = 0.1 \text{ F}$$

En la ecuación (3-4):

$$i_C = -100(0.1)e^{-10t} + 10(0.1)e^{-5t}$$

$$i_C = -10e^{-10t} + e^{-5t}$$

$$i_C = e^{-5t} - 10e^{-10t} \text{ A}$$

$$\alpha = \frac{1}{2RC}$$

$$R = \frac{1}{2\alpha C} = \frac{1}{2(7.5)(0.1)} = 0.67$$

$$R = 0.67\ \Omega$$

$$i_R = \frac{v}{R} = \frac{10e^{-10t} - 2e^{-5t}}{0.67}$$

$$i_R = 15e^{-10t} - 3e^{-5t} \text{ A}$$

$i_R(t) = 15e^{-10t} - 3e^{-5t}$ A

Problema 3: "Los valores de los elementos en la figura 3.2 son R = 10 Ω, L = 1/32 H y C = 50 μf. Si $i(0)$ = -2 A y $v(0)$ = 40V, calcúlese $i(t)$ para t > 0" (Hayt Jr. y Kemmerly, 1988, p. 234).

Solución:

En la figura 3.2, se calculan los parámetros del coeficiente de amortiguamiento exponencial α y la frecuencia de resonancia w_0:

$$\alpha = \frac{1}{2RC} = \frac{1}{2(10)(50x10^{-6})} = 1000$$

$$W_{0} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{32}\right)(50x10^{-6})}} = 800$$

$\alpha > w_0$, entonces es un circuito sobre amortiguado:

$$S_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = -1000 + \sqrt{(1000)^2 - (800)^2} = -400$$

$$S_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - W_0{}^2} = -1000 - \sqrt{(1000)^2 - (800)^2} = -1600$$

$$v(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$$

$$v(t) = A_1 e^{-400t} + A_2 e^{-1600t} \qquad (3\text{-}7)$$

$v(0^-) = v(0) = v(0^+) = 40$, debido a que el capacitor no permite cambios bruscos de voltaje.

$$v(0) = A_1 e^0 + A_2 e^0 = 40$$

$$A_1 + A_2 = 40 \qquad (3\text{-}8)$$

En el nodo superior de la figura 3.2, se aplica la Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK), asumiendo que las corrientes que entran al nodo tienen signo negativo y las corrientes que salen del nodo tienen signo positivo:

$$i_L + i_R + i_C = 0$$

Se evalúa para un tiempo t = 0⁺:

$$i_L(0^+) + i_R(0^+) + i_C(0^+) = 0 \tag{3-9}$$

$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+) = i(0^+) = -2A$, debido a que la corriente en el inductor no permite cambios bruscos de corriente.

$$i_R(0^+) = \frac{v(0^+)}{R} = \frac{40}{10} = 4\ A$$

$$i_R(0^+) = 4\ A$$

En la ecuación (3-9):

$$i_c(0^+) = -i_L(0^+) - i_R(0^+)$$

$$i_c(0^+) = -(-2) - 4 = -2$$

$$i_c(0^+) = -2\ A$$

Por definición, la corriente en el capacitor es:

$$i_c = C\frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{i_c}{C}$$

$$\left.\frac{dv}{dt}\right|_{t=0} = \frac{i_c(0^+)}{c} = \frac{-2}{50x10^{-6}} = -40\,000$$

$$\left.\frac{dv}{dt}\right|_{t=0} = -40\,000 \tag{3-10}$$

Derivando la ecuación (3-7),

$$v(t) = A_1 e^{-400t} + A_2 e^{-1600t}$$

$$\frac{dv}{dt} = -400A_1 e^{-400t} - 1600A_2 e^{-1600t}$$

$$\left.\frac{dv}{dt}\right|_{t=0} = -400A_1 e^{0} - 1600A_2 e^{0}$$

$$\left.\frac{dv}{dt}\right|_{t=0} = -400A_1 - 1600A_2 \qquad (3\text{-}11)$$

La ecuación (3-11) es igual a la ecuación (3-10):

$$-400A_1 - 1600A_2 = -40\,000$$

$$400A_1 + 1600A_2 = 40\,000$$

$$A_1 + 4A_2 = 100 \qquad (3\text{-}12)$$

De la ecuación (3-8):

$$A_1 = 40 - A_2$$

Reemplazando en la ecuación (3-12):

$$(40 - A_2) + 4A_2 = 100$$

$$40 - A_2 + 4A_2 = 100$$

$$3A_2 = 60$$

$$A_2 = \frac{60}{3} = 20$$

$$A_2 = 20$$

Reemplazando en la ecuación (3-8):

$$A_1 = 40 - A_2$$

$$A_1 = 40 - 20 = 20$$

$$A_1 = 20$$

$$v(t) = 20e^{-400t} + 20e^{-1600t}$$

$$i_c = C\frac{dv}{dt}$$

$$i_c = 50x10^{-6}\frac{d}{dt}(20e^{-400t} + 20e^{-1600t})$$

$$i_c = 50x10^{-6}[20(-400)e^{-400t} + 20(-1600)e^{-1600t}]$$

$$i_c = -0.4e^{-400t} - 1.6e^{-1600t} \qquad (3\text{-}13)$$

Aplicando la Ley de Ohm en la resistencia R:

$$i_R = \frac{v(t)}{R} = \frac{20e^{-400t} + 20e^{-1600t}}{10}$$

$$i_R = 2e^{-400} + 2e^{-1600t} \qquad (3\text{-}14)$$

En el nodo superior:

$$i_L + i_R + i_C = 0$$

$$i = i_L$$

$$i + i_R + i_c = 0$$

$$i = -i_R - i_c \qquad (3\text{-}15)$$

Reemplazando las ecuaciones (3-13) y (3-14) en la ecuación (3-15), se tiene:

$$i = -2e^{-400t} - 2e^{-1600t} + 0.4e^{-400t} + 1.6e^{-1600t}$$

$$i = -1.6e^{-400t} - 0.4e^{-1600t}$$

$$i(t) = -1.6e^{-400t} - 0.4e^{-1600t} \text{ A}$$

El *Solucionario de circuitos eléctricos en estado estable y transiente* está dirigido a estudiantes que tengan conocimientos del sustento teórico de circuitos eléctricos tanto en corriente continua como en corriente alterna, en estado estable y en estado transiente, con fuentes independientes y dependientes; con énfasis en las leyes de Kirchhoff y de Ohm, teoremas de Thévenin y Norton, principio de linealidad y superposición, divisores de corriente y de voltaje, transformaciones de fuentes, funciones de transferencia, gráficas de polos y ceros, y diagramas de Bode. Además, deben tener conocimientos de cálculo diferencial e integral, álgebra, números complejos, trigonometría, resolución de circuitos eléctricos en estado estable y transformación de Laplace. Estas leyes son fundamentales para el aprendizaje, de tal forma que las puedan aplicar en la resolución de los problemas de circuitos eléctricos en estado transiente, con el único propósito de ayudar a los estudiantes a adquirir habilidades en el desarrollo de ejercicios eléctricos. Los problemas desarrollados en su mayoría son los planteados en el libro *Análisis de circuitos en ingeniería*, cuarta edición, de los autores William H. Hayt, Jr. y Jack E. Kemmerly, y están fundamentados en sus contenidos teóricos. Por ello, esta publicación es una herramienta de trabajo de fácil entendimiento para los estudiantes.

Pedro Infante Moreira nació en Quinsaloma, provincia de Los Ríos, en 1959. Es ingeniero electrónico, graduado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, y tiene un Diplomado Superior en Pedagogía Universitaria, Maestrías en Gestión Académica Universitaria y Administración de Empresas. Actualmente es candidato a un Doctorado en Ciencias Técnicas. Tiene 22 años en la docencia, en la Universidad Técnica de Babahoyo, la Universidad Nacional de Chimborazo y en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ha publicado varios textos básicos, solucionarios y un libro.

ISBN: 978-9942-14-322-8

9 789942 143228