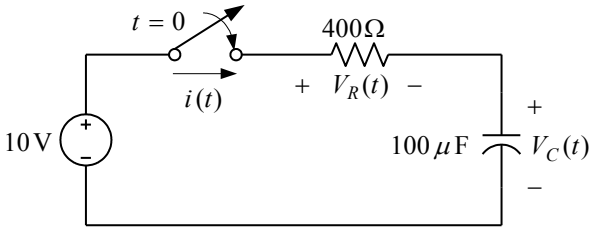
แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 12 การวิเคราะห์วงจร Transient เบื้องต้น

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

จงใช้วงจรในรูปที่ 1 สำหรับคำถามข้อ 1 – 3



รูปที่ 1 วงจร RC อนุกรมสำหรับคำถามข้อ 1-3

1. ค่า Time Constant ของวงจรมีค่าเท่าใด

ก. 4s ข. 4ms

ค. 40 ms ง. 400 ms

2. ค่า $i(t)$ ที่เวลา 0.05 s เป็นเท่าใด

ก. 71.6 mA ข. 7.16 mA

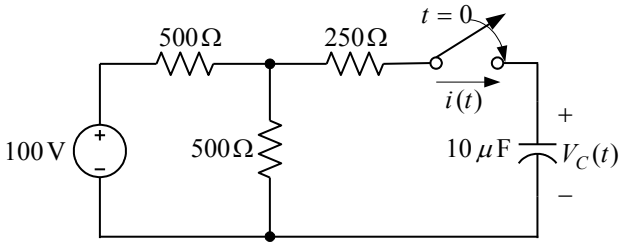
ค. 9.19 mA ง. 91.9 mA

3. ค่า $V_C(t)$ ที่เวลา 0.05 s เป็นเท่าใด

ก. 2.86 V ข. 6.32 V

ค. 7.14 V ง. 3.68 V

จงใช้วงจรในรูปที่ 2 สำหรับคำถามข้อ 4 – 5



รูปที่ 2 วงจร RC ผสมสำหรับคำถามข้อ 4 – 5

4. ค่า $V_C(t)$ ที่เวลา 10 ms เป็นเท่าใด มีค่าเท่าใด

ก. 25.15 V ข. 49.08 V

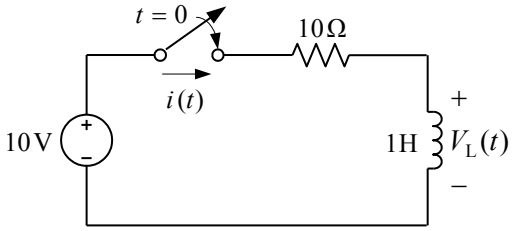
ค. 31.6 V ง. 43.25 V

5. ค่า $i(t)$ ที่เวลา 10 ms เป็นเท่าใด

ก. 13.5 mA ข. 36.8 mA

ค. 4.97 mA ง. 60.65 mA

จงใช้วงจรในรูปที่ 3 สำหรับคำถามข้อ 6 – 8



รูปที่ 3 วงจร RL อนุกรมสำหรับคำถามข้อ 6 – 8

6. ค่า Time Constant ของวงจร มีค่าเท่าใด

ก. 0.01 s ข. 10 s

ค. 0.1 s ง. 1 s

7. $V_L(t)$ ที่เวลา 0.3 ms มีค่าเท่าใด

ก. 2.23 V ข. 0.49 V

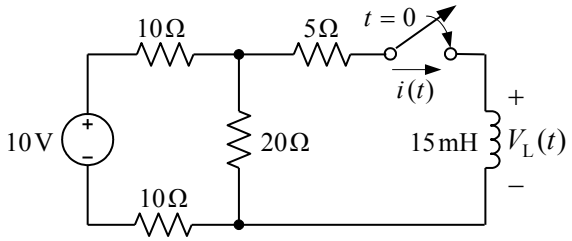
ค. 3.68 V ง. 1.35 V

8. $V_R(t)$ ที่เวลา 0.2 ms มีค่าเท่าใด

ก. 3.68 V ข. 6.32 V

ค. 8.65 V ง. 1.35 V

จงใช้วงจรในรูปที่ 4 สำหรับคำถามข้อ 9 – 10



รูปที่ 4 วงจร RL ผสมสำหรับคำถามข้อ 9 – 10

9. ค่า Time Constant ของวงจร คือข้อใด

ก. 1ms ข. 10 ms

ค. 0.1s ง. 1s

10. ค่า $i(t)$ ที่เวลา 2 ms มีค่าเท่าใด

ก. 632 mA ข. 865 mA

ค. 950 mA ง. 368 mA

หน่วยที่ 12 การวิเคราะห์วงจร Transient เบื้องต้น

สาระสำคัญ

ทรานส์เซียนต์ (Transient) หมายถึง ภาวะชั่วขณะที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า ขณะมีการเปลี่ยนแปลง ของสวิทช์ ปิด เปิด วงจรเข้ากับแหล่งจ่าย ทรานส์เซียนต์จะเกิดเฉพาะในวงจรที่ มีองค์ประกอบ เป็น อุปกรณ์ที่เก็บสะสมพลังงานได้ คือ ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ในวงจรตัวต้านอย่างเดียว จะไม่ปรากฏเหตุการณ์ ทรานส์เซียนต์ ดังนั้นวงจรที่ประกอบไปด้วย RL หรือ RC เมื่อได้รับแหล่งจ่ายแรงดัน หรือกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายอย่างทันทีทันใด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันหรือกระแสที่ไหลในส่วนต่างๆ ของวงจร การเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ นี้เรียกว่า Transient ช่วงเวลาที่เกิด Transient จะสั้นหรือยาวนาน ขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงตัวของวงจรนั้นๆ ช่วงเวลาที่กระแสและแรงดัน คงที่ ก็คือ เวลาที่ผ่านช่วง Transient ไปแล้ว เรียกว่าวงจรอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady-State)

เนื้อหาสาระ

12.1 วงจร Transient RC อนุกรม

12.2 วงจร Transient RC ผสม

12.3 วงจร Transient RL อนุกรม

12.4 วงจร Transient RL ผสม

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้และเข้าใจในเรื่อง :

12.1 วงจร Transient RC อนุกรม

12.2 วงจร Transient RC ผสม

12.3 วงจร Transient RL อนุกรม

12.4 วงจร Transient RL ผสม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม หลังจากเรียนจบบทเรียนนี้แล้ว ผู้เรียนควรมีความสามารถดังนี้

12.1 วิเคราะห์ หา ค่าเวลาคงที่ กระแสและแรงดัน Transient ในวงจร RC อนุกรม ได้

12.2 วิเคราะห์ หา ค่าเวลาคงที่ กระแสและแรงดัน Transient ในวงจร RC ผสม ได้

12.3 วิเคราะห์ หา ค่าเวลาคงที่ กระแสและแรงดัน Transient ในวงจร RL อนุกรม ได้

12.4 วิเคราะห์ หา ค่าเวลาคงที่ กระแสและแรงดัน Transient ในวงจร RL ผสม ได้

หน่วยที่ 12 การวิเคราะห์วงจร Transient เบื้องต้น

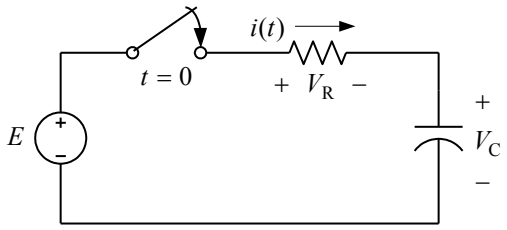
ทรานส์เซียน (Transient) มีความหมายว่า ภาวะชั่วขณะ หรือเหตุการณ์ชั่วขณะ ซึ่งเหตุการณ์ Transient นี้ จะเกิดขึ้นกับวงจรที่องค์ประกอบของวงจรประกอบไปด้วย อุปกรณ์ที่สะสมพลังงานได้ คือตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ส่วนวงจรที่มีตัวต้านทานอย่างเดียว จะไม่มีเหตุการณ์ Transient

ตัวเก็บประจุ อย่างเดียว ไม่สามารถต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่าย ได้โดยตรง เพราะ ตัวเก็บประจุจะทำการ เก็บประจุ และจะมีกระแสไหลผ่านไปเรื่อยๆ จนทำให้ตัวเก็บประจุเสียหาย จึงต้องมีตัวต้านทานต่อร่วมในวงจรเพื่อทำหน้าที่ จำกัดกระแส ตัวเหนี่ยวนำก็เช่นเดียวกัน ต้องมีตัวต้านทานต่อร่วมอยู่ด้วย เพื่อป้องกัน ตัวเหนี่ยวนำเสียหาย จากกระแสไฟฟ้า

ดังนั้นวงจรที่ประกอบไปด้วย RL หรือ RC เมื่อได้รับแหล่งจ่าย หรือกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายอย่างทันทีทันใด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแส การเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ นี้ เรียกว่า Transient หรือ ปรากฏการณ์ชั่วขณะ ช่วงเวลาที่กระแสและแรงดันคงที่ ก็คือเวลาที่ผ่านช่วง Transient ไปแล้ว เรียกว่าวงจรอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady – State)

12.1 วงจร Transient RC อนุกรม

วงจร Transient RC แสดงดังรูปที่ 12.1 เมื่อปิด สวิทซ์ ที่เวลา t = 0 กระแสจะไหลผ่าน ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ เป็นการเริ่มต้น การ Charge ประจุไฟฟ้า ในการศึกษาและวิเคราะห์ การเกิด Transient แรงดันและกระแส ในวงจรที่เป็นฟังก์ชั่น ของเวลา(t) จะสมมติว่า สวิทซ์ ปิดที่เวลา t = 0



รูปที่ 12.1 วงจร RC

12.1.1 Transient Current

วงจรอนุกรม RC ในรูปที่ 12.2 เมื่อปิดสวิทซ์มาที่ตำแหน่ง 1 จะมีแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับวงจร RC จากกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ เขียนสมการ KVL ได้ดังนี้

$$V_R + V_C = E$$

จากกฎของโอห์ม แทนค่า $V_R = Ri$ และ $V_C = \frac{1}{C}\int i\,dt$

จะได้ $$Ri + \frac{1}{C}\int i\,dt = E \qquad \text{.....สมการที่ (12.1)}$$

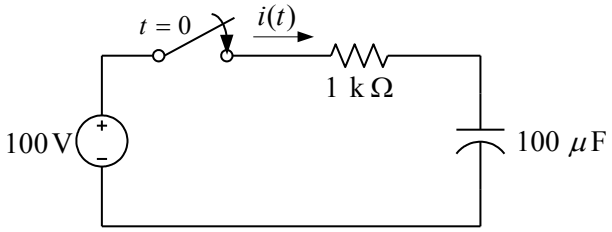
สมการที่ (12.1) เป็น Differential Equation แก้สมการโดยวิธีการ แคลคูลัส หาค่า i ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงจะเน้นเฉพาะการวิเคราะห์วงจรและการนำสมการไปใช้

จะได้ $$i = \frac{E}{R}e^{-t/RC}$$

หรือ $$i(t) = \frac{E}{R}e^{-t/RC}$$ .....สมการที่(12.2)

กระแสไฟฟ้า $i(t)$ หมายถึงกระแสไฟฟ้า ณ เวลาใดๆ หาค่าได้โดยแทนค่าเวลาใดๆ ลงในสมการ

ตัวอย่างที่ 12.1 จากวงจรในรูปที่ 12.2 จงหาค่า Transient Current $i(t)$ ที่เวลา (1) t = 0 s (2) t = 0.05 s (3) t = 0.1 s (4) t = 0.2 s (5) t = 0.3 s (6) t = 0.5 s และเขียนกราฟของ $i(t)$



รูปที่ 12.2 วงจร RC สำหรับตัวอย่างที่ 12.1

วิธีทำ จากสมการที่(12.2) $$i(t) = \frac{E}{R}e^{-t/RC}$$

ค่า RC ของวงจรนี้ คือ $$RC = (1\times10^{3}\,\Omega)(100\times10^{-6}\,\text{F}) = 0.1\,\text{s}$$

ดังนั้น $$i(t) = \frac{100\,\text{V}}{1\,\text{k}\Omega}e^{-t/0.1\,\text{s}}$$

$$i(t) = 100e^{-t/0.1}\ \text{mA}$$

(1) ที่เวลา t = 0 s : $$i(0) = 100e^{-0/0.1}\ \text{mA}$$

$$i(0) = 100e^{0}\ \text{mA} = 100(1)\ \text{mA}$$

$$\therefore\ i(0) = 100\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

(2) ที่เวลา t = 0.05 s : $$i(0.05) = 100e^{-.05/0.1}\ \text{mA}$$

$$i(0.05) = 100e^{-0.5}\ \text{mA} = 100(0.606)\ \text{mA}$$

$$\therefore\ i(0.05) = 60.6\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

(3) ที่เวลา t = 0.1 s : $$i(0.1) = 100e^{-0.1/0.1}\ \text{mA}$$

$$i(0.1) = 100e^{-1}\ \text{mA} = 100(0.368)\ \text{mA}$$

$$\therefore\ i(0.1) = 36.8\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

(4) ที่เวลา t = 0.2 s : $$i(0.2) = 100e^{-0.2/0.1}\ \text{mA}$$

$$i(0.2) = 100e^{-2}\ \text{mA} = 100(0.135)\ \text{mA}$$

$$\therefore\ i(0.2) = 13.5\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

(5) ที่เวลา t = 0.3 s : $$i(0.3) = 100e^{-0.3/0.1}\ \text{mA}$$

$$i(0.3) = 100e^{-3}\ \text{mA} = 100(0.049)\ \text{mA}$$

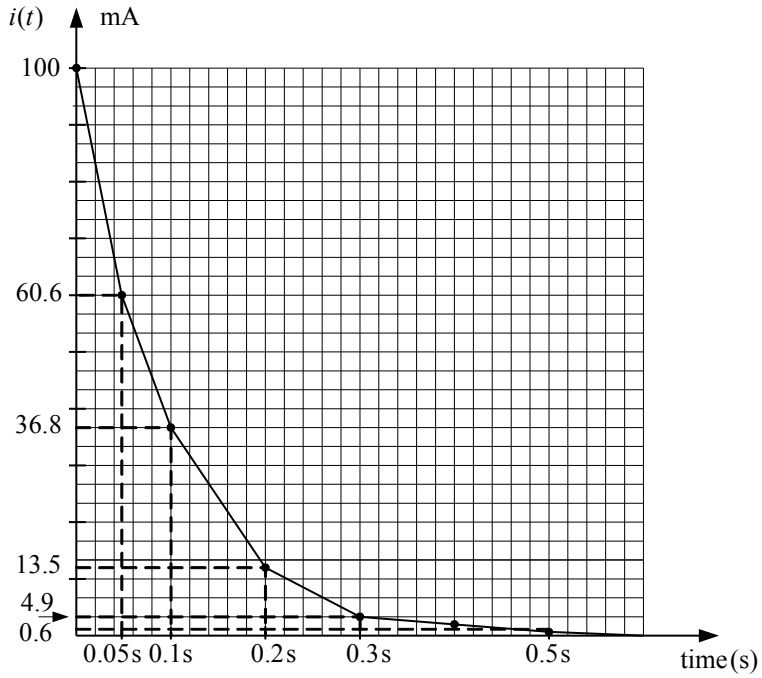
$\therefore \quad i(0.3) = 4.9 \text{ mA}$ .....**ตอบ**

(6) ที่เวลา t = 0.5 s : $i(0.5) = 100e^{-0.5/0.1} \text{ mA}$

$i(0.5) = 100e^{-5} \text{ mA} = 100(0.0067) \text{ mA}$

$\therefore \quad i(0.5) = 0.67 \text{ mA}$ .....**ตอบ**

เขียนกราฟของ $i(t)$ ดังนี้



รูปที่ 12.3 แสดงกราฟของ Transient Current $i(t)$

12.1.2 RC Time constant

คุณสมบัติของ RC ในวงจรตัวอย่างที่ 12.1 เรียกว่า เวลาคงที่ (Time constant) มีหน่วยเป็นวินาที สัญลักษณ์ของ เวลาคงที่ คือ τ (ตัวอักษรกรีก อ่านว่า Tua)

$$\tau = RC \qquad \text{.....สมการที่ (12.3)}$$

แทนค่า สมการที่ (12.3) ลงในสมการที่ (12.2)

$$i(t) = \frac{E}{R}e^{-t/\tau} \qquad \text{.....สมการที่(12.4)}$$

Time constant บ่งบอกถึง ระยะเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้เวลาในการ Charge ประจุ จากตัวอย่างที่ 12.1 เมื่อ ปิด สวิทช์ ที่ t = 0 จะพบว่า

$$i(0) = \frac{E}{R}e^{-t/RC} = \frac{E}{R}e^{-0} = (1)\frac{E}{R} = (1)\frac{100\,\text{V}}{1\,\text{k}\Omega} = 100 \text{ mA}$$

กระแสจะมีค่าสูงสุด คือ $(1)\frac{E}{R}$ หรือ 100% ของ $\frac{E}{R}$ หมายความว่า ปิดสวิตช์ มีกระแสไหลผ่านวงจร ตัวเก็บประจุ ก่อนหน้านี้ยังไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ในตัว แล้วเริ่ม Charge ประจุ ตัวเก็บประจุใน

ขณะนี้(t = 0) สเมื่อนลัดวงจร กระแสจึงไหลได้สูงสุด และถูกจำกัดไว้ที่ ตัวต้านทาน และเมื่อเวลาผ่านไป 1τ หรือ 0.1 s กระแสที่ไหลในวงจรจะเป็น

$$i(\tau) = \frac{E}{R}e^{-\tau/\tau} = \frac{E}{R}e^{-1} = (0.368)\frac{E}{R} \qquad \text{.....สมการที่(12.4 – 1)}$$

$$i(2\tau) = \frac{E}{R}e^{-2\tau/\tau} = \frac{E}{R}e^{-2} = (0.135)\frac{E}{R} \qquad \text{.....สมการที่(12.4 – 2)}$$

$$i(3\tau) = \frac{E}{R}e^{-3\tau/\tau} = \frac{E}{R}e^{-3} = (0.049)\frac{E}{R} \qquad \text{.....สมการที่(12.4 – 3)}$$

และเมื่อเวลาผ่านไป 5τ หรือ 0.5 s กระแสที่ไหลในวงจร จะเป็น

$$i(5\tau) = \frac{E}{R}e^{-5\tau/\tau} = \frac{E}{R}e^{-5} = (0.0067)\frac{E}{R} \qquad \text{.....สมการที่(12.4 – 4)}$$

เมื่อเวลาผ่านไป ถึง 5τ กระแสจะไหลได้น้อยมาก ปริมาณ 0.67% ของค่าปกติ ในทางปฏิบัติถือว่าเป็น 0 คือไม่มีกระแสไหล ทั้งนี้เพราะ เมื่อปิดสวิตซ์ ตัวเก็บประจุ เริ่มทำการ Charge ประจุ สะสมขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง เก็บประจุสะสมพลังงานได้เต็มที่เท่ากับแหล่งจ่ายที่จ่ายแรงดันให้ ในวงจร ทำให้ศักย์ไฟฟ้า ของตัวเก็บประจุ เท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย เมื่อไม่มีความต่างศักย์ในวงจร จึงไม่มีกระแสไหล นั่นเอง เมื่อเวลา $t \geq 5\tau$ เป็นต้นไป

12.1.3 Transient Voltage

จากตัวอย่างที่ 12.1 ถ้าต้องการหาแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ทำได้โดยใช้กฎของโอห์ม โดยการ คูณค่า Transient Current กับค่า R ในวงจร ดังนี้

$$V_R(t) = i(t)R \qquad \text{.....สมการที่(12.5)}$$

แทนค่าสมการ(12.2) ลงในสมการ (12.5)

จะได้ $i(t)R = (R)\frac{E}{R}e^{-t/RC}$

หรือ $V_R(t) = Ee^{-t/\tau}$ .....สมการที่(12.6)

เมื่อแทนค่า t = 0 จะพบว่า แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าสูงสุดเท่า แหล่งจ่าย E ดังนั้น ลักษณะของ Transient Voltage ของ $V_R(t)$ จึงมีลักษณะเช่นเดียวกับ Transient Current $i(t)$ คือ ลักษณะของกราฟจะเป็น กราฟเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบ สลาย (ค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป)

ส่วน Transient Voltage ของตัวเก็บประจุ $V_C(t)$ หาได้โดยใช้ กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ดังนี้ จากสมากร $V_R + V_C = E$

ดังนั้น $V_C(t) = E - V_R(t)$ .....สมการที่(12.7)

แทนค่าสมการที่ (12.7) ลงในสมการที่ (12.6)

จะได้ $V_C(t) = E - Ee^{-t/RC}$

$V_C(t) = E(1-e^{-t/RC})$ .....สมการที่(12.8)

หรือ $V_C(t) = E(1-e^{-t/\tau})$ .....สมการที่(12.9)

ตัวอย่างที่ 12.2 จากวงจรในตัวอย่างที่ 12.1 จงหา (1) Transient Voltage ของ $V_R(t)$ และ Transient Voltage ของ $V_C(t)$ ที่เวลา t = 0 , τ , 2τ , 3τ และ 5τ (2) เขียนกราฟของ $V_C(t)$ และ $V_R(t)$

วิธีทำ (1) $V_R(t)$ และ $V_C(t)$

จากสมการ ที่ (12.6) และ (12.9) : $V_R(t) = Ee^{-t/\tau}$ และ $V_C(t) = E(1-e^{-t/\tau})$

ที่เวลา t = 0 : $V_R(0) = 100\,\text{V}\,e^{0} = 100\,\text{V}(1) = 100\,\text{V}$

$V_C(0) = 100\,\text{V}(1-e^{0}) = 100\,\text{V}(1-1) = 0\,\text{V}$

ที่เวลา $t=\tau$: $V_R(\tau) = 100\,\text{V}\,e^{-1} = 100\,\text{V}(0.368) = 36.8\,\text{V}$

$V_C(\tau) = 100\,\text{V}(1-e^{-1}) = 100\,\text{V}(1-0.368) = 63.2\,\text{V}$

ที่เวลา $t=2\tau$: $V_R(2\tau) = 100\,\text{V}\,e^{-2} = 100\,\text{V}(0.135) = 13.5\,\text{V}$

$V_C(2\tau) = 100\,\text{V}(1-e^{-2}) = 100\,\text{V}(1-0.135) = 86.5\,\text{V}$

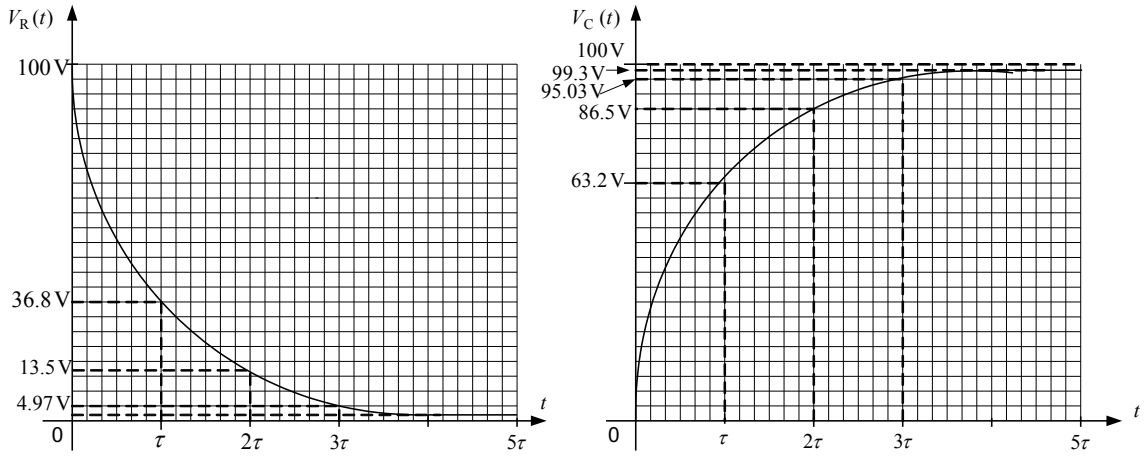
ที่เวลา $t=3\tau$: $V_R(3\tau) = 100\,\text{V}\,e^{-3} = 100\,\text{V}(0.0497) = 4.97\,\text{V}$

$V_C(3\tau) = 100\,\text{V}(1-e^{-3}) = 100\,\text{V}(1-0.0497) = 95.03\,\text{V}$

ที่เวลา $t=5\tau$: $V_R(5\tau) = 100\,\text{V}\,e^{-5} = 100\,\text{V}(0.0067) = 0.67\,\text{V}$

$V_C(5\tau) = 100\,\text{V}(1-e^{-5}) = 100\,\text{V}(1-0.0067) = 99.33\,\text{V}$

(2) เขียนกราฟของ $V_C(t)$ และ $V_R(t)$



รูปที่ 12.4 แสดงกราฟของ $V_R(t)$ และ $V_C(t)$

จากกราฟในรูปที่ 12.4 จะพบว่า กราฟของ $V_C(t)$ จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับกราฟของ $V_R(t)$ กล่าวคือ กราฟของ $V_C(t)$ จะเป็นกราฟ เอ็กซ์โพเนนเชียลแบบเพิ่ม

ซึ่ง $V_C(\tau) = E(1-e^{-1}) = E(1-0.368) = 0.632E$ .....สมการที่(12.9 – 1)

$V_C(2\tau) = E(1-e^{-2}) = E(1-0.135) = 0.865E$ .....สมการที่(12.9 – 2)

$V_C(3\tau) = E(1-e^{-3}) = E(1-0.0497) = 0.95E$ .....สมการที่(12.9 – 3)

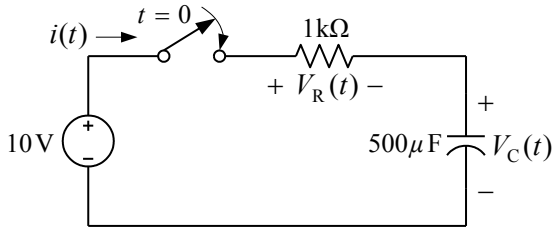
$V_C(5\tau) = E(1-e^{-5}) = E(1-0.0067) = 0.993E$ .....สมการที่(12.9 – 4)

ตัวอย่างที่ 12.3 จากวงจรในรูปที่ 12.5 จงหา (1) ค่า Time constant ของวงจร

(2) Transient Current ของ $i(t)$ ที่เวลา t = 0 , τ , 2τ , 3τ และ 5τ

(3) Transient Voltage ของ $V_C(t)$ ที่เวลา t = 0 , τ , 2τ , 3τ และ 5τ

(4) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$



รูปที่ 12.5 วงจร RC สำหรับตัวอย่างที่ 12.3

วิธีทำ (1) ค่า Time constant ของวงจร

จากสมการที่ (12.3) $\tau = RC = (1{,}000\,\Omega)(500\times10^{-6}\,\text{F}) = 0.5\ \text{s}$ .....**ตอบ**

(2) Transient Current ของ $i(t)$ ที่เวลา t = 0 , τ , 2τ , 3τ และ 5τ

จากสมการที่ (12.4) : $i(t) = \dfrac{E}{R}e^{-t/\tau} = \dfrac{10\,\text{V}}{1\,\text{k}\,\Omega}e^{-t/\tau} = 10e^{-t/\tau}\ \text{mA}$

$i(0) = (10\,\text{mA})e^{0} = 10(1)\,\text{mA} = 10\ \text{mA}$ .....**ตอบ**

$i(\tau) = (10\,\text{mA})e^{-1} = 10(0.368)\,\text{mA} = 3.68\ \text{mA}$ .....**ตอบ**

$i(2\tau) = (10\,\text{mA})e^{-2} = 10(0.135)\,\text{mA} = 1.35\ \text{mA}$ .....**ตอบ**

$i(3\tau) = (10\,\text{mA})e^{-3} = 10(0.049)\,\text{mA} = 0.49\ \text{mA}$ .....**ตอบ**

$i(5\tau) = (10\,\text{mA})e^{-5} = 10(0.0067)\ \text{mA} = 0.06\ \text{mA}$ .....**ตอบ**

(3) Transient Voltage ของ $V_C(t)$ ที่เวลา t = 0 , τ , 2τ , 3τ และ 5τ

จากสมการที่ (12.9) : $V_C(t) = E(1-e^{-t/\tau}) = 10(1-e^{-t/\tau})\ \text{V}$

$V_C(0) = 10\,\text{V}(1-e^{0}) = 10\,\text{V}(0) = 0\,\text{V}$ .....**ตอบ**

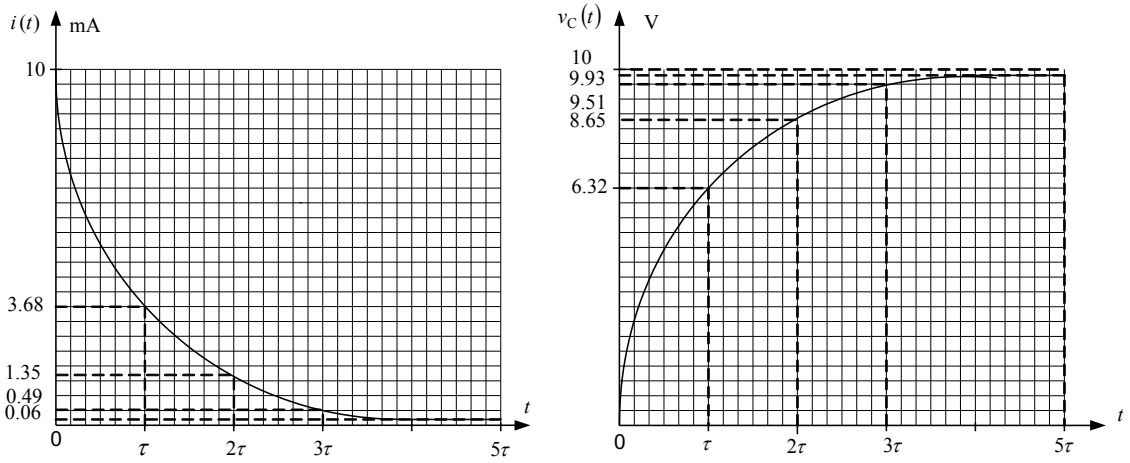
$V_C(\tau) = 10\,\text{V}(1-e^{-1}) = 10\,\text{V}(1-0.368) = 6.32\,\text{V}$ .....**ตอบ**

$V_C(2\tau) = 10\,\text{V}(1-e^{-2}) = 10\,\text{V}(1-0.135) = 8.65\,\text{V}$ .....**ตอบ**

$V_C(3\tau) = 10\,\text{V}(1-e^{-3}) = 10\,\text{V}(1-0.049) = 9.51\,\text{V}$ .....**ตอบ**

$V_C(5\tau) = 10\,\text{V}(1-e^{-5}) = 10\,\text{V}(1-0.0067) = 9.93\,\text{V}$ .....**ตอบ**

(4) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$



รูปที่ 12.6 แสดงกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$

ตัวอย่างที่ 12.4 จากวงจรในตัวอย่างที่ 12.3 (รูปที่ 12.5) จงหา

(1) สมการของ $i(t)$ ในเทอมของ Time constant

(2) Transient Voltage ของ $V_C(t)$ ที่เวลา t = 0.2 วินาที

(3) เวลาที่ วงจรอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady-State)

วิธีทำ (1) สมการของ $i(t)$ ในเทอมของ Time constant

จากสมการที่ (12.4) : $i(t) = \frac{E}{R}e^{-t/\tau}$

สมการของ $i(t)$ ในเทอมของ Time constant คือ $i(t) = \frac{E}{R}e^{-t/0.5}$ .....**ตอบ**

โดยการแทนค่า RC ลงไป

(2) Transient Voltage ของ $V_C(t)$ ที่เวลา t = 0.2 วินาที

จากสมการที่ (12.9) : $V_C(t) = E(1-e^{-t/\tau})$

แทนค่า t ลงไป จะได้ $V_C(0.2) = 10\,\text{V}(1-e^{-0.2/0.5}) = 10\,\text{V}(1-e^{-0.4})$

$V_C(0.2) = 10\,\text{V}(1-0.67) = 3.3\ \text{V}$ .....**ตอบ**

(3) เวลาที่ วงจรอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady – State)

เวลาที่ วงจรอยู่ในสภาวะคงตัว ก็คือ เวลาที่เลย ช่วง Transient ไปแล้ว คือ $t > 5\tau$

$$t > 5\tau = 5(0.5\,\text{s}) = 2.5\,\text{s}$$

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 2.5 วินาที วงจรจะอยู่ ในสภาวะคงตัว (Steady – State).....**ตอบ**

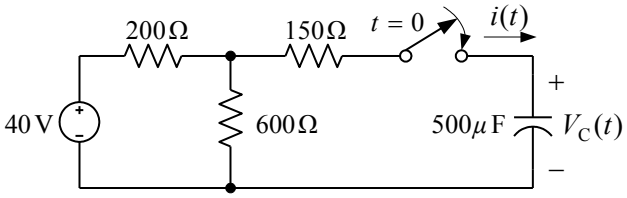
12.2 วงจร Transient RC ผสม

การหาค่า Transient Current และ Transient Voltage ในวงจร RC ผสม ใช้หลักและวิธีการเช่นเดียวกับ ในวงจร Transient RC อนุกรม โดยจะต้องแปลงวงจร RC ผสม ให้เป็นวงจร RC อนุกรม กล่าวคือ จะต้องแปลงวงจร RC ผสม ให้มีแหล่งจ่ายเพียง 1 ตัว และตัวต้านทาน 1 ตัว แล้วจึงนำ ตัวเก็บประจุมาต่อเข้ากับวงจร เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป นั่นคือ แปลงวงจร RC ผสม ให้เป็นวงจรสมมูลย์ เทวินิน นั่นเอง

ตัวอย่างที่ 12.5 จากวงจรในรูปที่ 12.7 จงหา

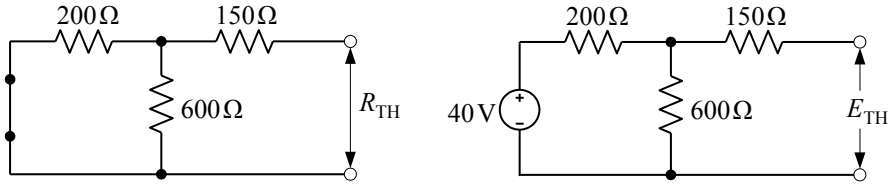
(1) สมการของ $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time constant

(2) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$



รูปที่ 12.7 วงจร RC ผสมสำหรับตัวอย่างที่ 12.5

วิธีทำ ปลดตัวเก็บประจุออก แล้วลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน เพื่อหาค่า R_{TH} ดังรูปที่ 12.8(ก)



(ก) ขณะหาค่า R_{TH} (ข) ขณะหาค่า E_{TH}

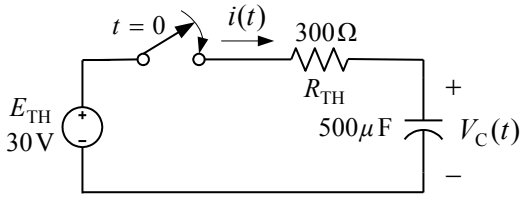
รูปที่ 12.8 วงจร RC ผสมแปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน

จากรูปที่ 12.8(ก) $$R_{TH} = 150\Omega + (200||600)\Omega = 150\Omega + \left(\frac{200\times 600}{200+600}\right)\frac{\Omega^2}{\Omega}$$

$$R_{TH} = 150\Omega + 150\Omega = 300\Omega$$

และ จากรูปที่ 12.8(ข) $$E_{TH} = \left(\frac{600\Omega}{600\Omega + 200\Omega}\right)(40\,\text{V}) = \left(\frac{6}{8}\right)(40\,\text{V}) = 30\,\text{V}$$

นำค่า R_{TH} และ E_{TH} มาเขียนวงจรสมมูลย์เทวินิน แล้วนำ สวิทซ์และตัวเก็บประจุ ต่อเข้ากับวงจร



รูปที่ 12.9 วงจรสมมูลย์ ของวงจรในรูปที่ 12.7

(1) สมการของ $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time constant

ค่าคงที่ของวงจร $\tau = RC = (300\Omega)(500\times10^{-6}\,\text{F}) = (3\times10^{2})(5\times10^{-4}) = 0.15\,\text{s}$

จากสมการที่ (12.4) : $i(t) = \dfrac{E}{R}e^{-t/\tau} = \dfrac{E_{\text{TH}}}{R_{\text{TH}}}e^{-t/\tau} = \dfrac{30\,\text{V}}{300\,\Omega}e^{-t/\tau}\ \text{mA}$

สมการของ $i(t)$ ในเทอมของ Time constant จะเป็น $i(t) = 30e^{-t/0.15}\ \text{mA}$ .....**ตอบ**

จากสมการที่ (12.9) : $V_{\text{C}}(t) = E(1-e^{-t/\tau})$

สมการของ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time constant จะเป็น $V_{\text{C}}(t) = 30(1-e^{-t/0.15})\,\text{V}$ .....**ตอบ**

(2) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$

ค่ากระแสสูงสุดของวงจรคือ $i(0) = \dfrac{30\,\text{V}}{300\,\Omega}e^{0} = 100\ \text{mA}$ จากสมการที่ (12.4 – 1) ถึง (12.4 – 4)

$$i(\tau) = (0.368)\frac{E}{R} = (0.368)100\,\text{mA} = 36.8\ \text{mA}$$

$$i(2\tau) = (0.135)\frac{E}{R} = (0.135)100\,\text{mA} = 13.5\,\text{mA}$$

$$i(3\tau) = (0.049)\frac{E}{R} = (0.049)100\,\text{mA} = 4.9\,\text{mA}$$

$$i(5\tau) = (0.0067)\frac{E}{R} = (0.0067)100\,\text{mA} = 0.67\ \text{mA}$$

ค่าแรงดันสูงสุดของวงจร คือ 30 V จากสมการที่ (12.9 – 1) ถึง (12.9 – 4)

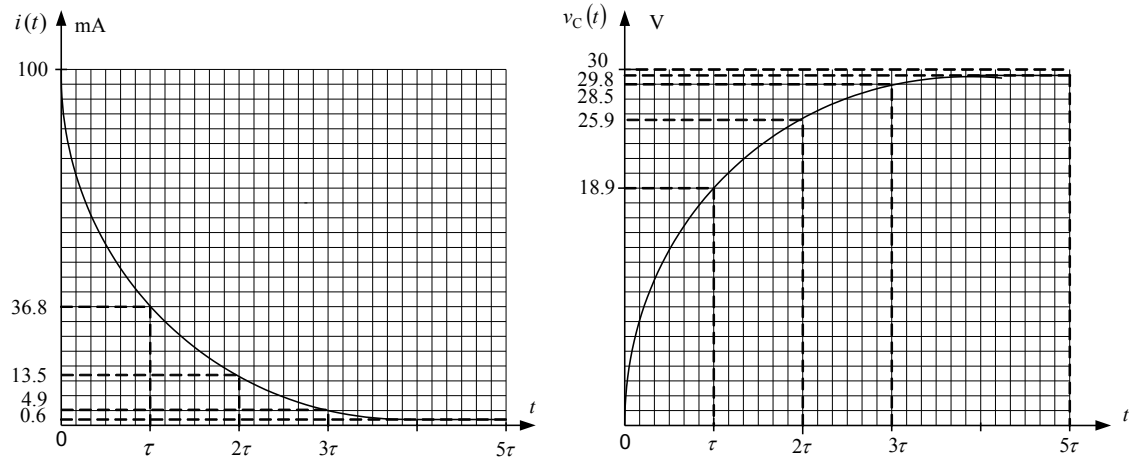
$$V_{\text{C}}(\tau) = 0.632\,E = 0.632(30\,\text{V}) = 18.96\,\text{V}$$

$$V_{\text{C}}(2\tau) = 0.865\,E = 0.865(30\,\text{V}) = 25.95\,\text{V}$$

$$V_{\text{C}}(3\tau) = 0.950\,E = 0.950(30\,\text{V}) = 28.5\,\text{V}$$

$$V_{\text{C}}(5\tau) = 0.993\,E = 0.993(30\,\text{V}) = 29.8\,\text{V}$$

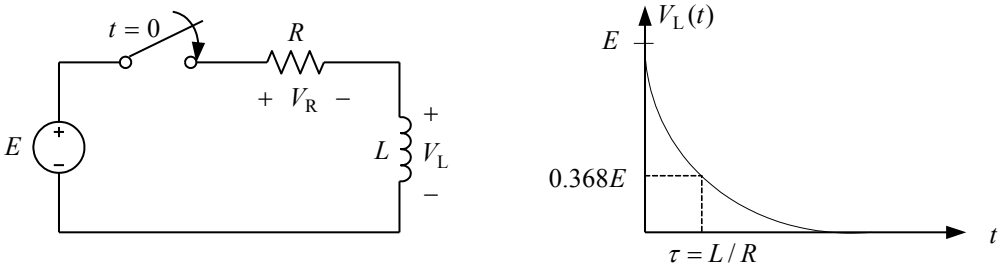
นำค่าที่ได้จากข้างบน มาวาดกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 12.10 เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$

12.3 วงจร Transient RL อนุกรม

วงจร Transient RL อนุกรม แสดงดังรูปที่ 12.11 ขณะปิดสวิทซ์ (t = 0) ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ ที่สะสมพลังงานอีกชนิดหนึ่ง เมื่อมีการจ่ายแรงดันให้ จะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้น ทำให้มีความพยายาม ต้านทานการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่าน ตัวเหนี่ยวนำ จึงเกิดแรงดันเหนี่ยวนำ ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ $V_L(t)$ มีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายแต่มีขั้วต้านกัน (เนื่องจากเป็นแรงดันเหนี่ยวนำ เช่นเดียวกับ กรณี ขั้วแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า) หลังจากเวลาผ่านไป แรงดัน $V_L(t)$ จะค่อยๆ ลดค่าลง จนเป็นศูนย์ แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำนี้ ก็คือ Transient Voltage



รูปที่ 12.11 วงจร RL อนุกรม และ แรงดันตกคร่อม ตัวเหนี่ยวนำ

จากวงจร RL อนุกรม ในรูปที่ 12.11 เมื่อปิดสวิทซ์ที่เวลา t = 0 จากกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ เขียนสมการ KVL ได้ดังนี้ $V_R + V_L = E$ .....สมการที่(12.10)

จากกฎของโอห์ม แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน คือ iR และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ คือ $L\frac{di}{dt}$

เมื่อแทนค่าลงไปในสมการที่ (12.10) จะได้ $Ri + L\frac{di}{dt} = E$

เช่นเดียวกันกับกรณี วงจร RC ใช้วิธีการ ของแคลคูลัส แก้สมการ

จะได้ $i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-tR/L}\right)$

หรือ $i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$ .....สมการที่(12.11)

เมื่อ $\tau = L/R$ คือค่าเวลาคงตัว (Time Constant) ของวงจรอนุกรม RL

สมการที่(12.10) หรือ(12.11) เป็นสมการที่แสดง Transient Current ของวงจรอนุกรม RL โดยการใช้กฎของโอห์ม หาแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานได้โดยการ นำสมการที่(12.10) หรือ(12.11) คูณ กับค่าความต้านทานในวงจร ดังนั้น Transient Voltage ที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะเป็น

$$i(t)R = R\frac{E}{R}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

เพราะฉะนั้น $V_R(t) = E\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$ .....สมการที่(12.12)

ดังนั้น Transient Voltage ที่ตัวต้านทาน R : $V_R(t)$ จึงมีลักษณะเช่นเดียวกับ Transient Current : $i(t)$ คือ เป็นกราฟเอ็กซ์โพเนนเชียนแบบเพิ่ม

และหาค่า Transient Voltage ของตัวเหนี่ยวนำ คือ $V_{\mathrm{L}}(t)$ ได้โดยใช้ กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ดังนี้ จากสมการที่(12.10) $V_{\mathrm{R}} + V_{\mathrm{L}} = E$

ดังนั้น $V_{\mathrm{L}}(t) = E - V_R(t)$ .....สมการที่(12.13)

แทนค่า สมการที่(12.12) ลงใน สมการที่(12.13) จะได้

$V_{\mathrm{L}}(t) = E e^{-t/\tau}$ .....สมการที่(12.14)

จากกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ผลรวมของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานกับแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ เท่ากับแหล่งจ่าย (E) ดังนั้น กราฟของ $V_{\mathrm{L}}(t)$ จึงมีลักษณะตรงกันข้าม กับกราฟของ $V_{\mathrm{R}}(t)$ คือ กราฟของ $V_{\mathrm{L}}(t)$ เป็นกราฟเอ็กซ์โพเนนเชียนแบบลด

พิจารณาสมการที่ (12.11) $i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$

เมื่อ $t = 0$, $i(0) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{0}\right) = \frac{E}{R}(1-1) = 0$

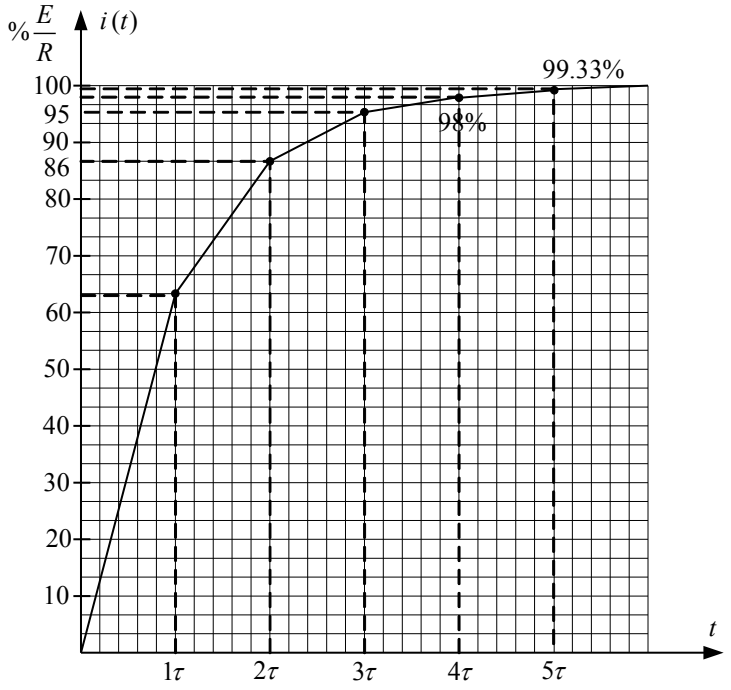
เมื่อ $t = \tau$, $i(\tau) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-1}\right) = \frac{E}{R}(1 - 0.368) = (0.632)\frac{E}{R}$ .....สมการที่(12.11 – 1)

เมื่อ $t = 2\tau$, $i(2\tau) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-2}\right) = \frac{E}{R}(1 - 0.135) = (0.865)\frac{E}{R}$ .....สมการที่(12.11 – 2)

เมื่อ $t = 3\tau$, $i(3\tau) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-3}\right) = \frac{E}{R}(1 - 0.0497) = (0.950)\frac{E}{R}$ .....สมการที่(12.11 – 3)

เมื่อ $t = 5\tau$, $i(5\tau) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-5}\right) = \frac{E}{R}(1 - 0.0067) = (0.993)\frac{E}{R}$ .....สมการที่(12.11 – 4)

เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 12.12



รูปที่ 12.12 กราฟแสดง Transient Current ของวงจร RL (กราฟเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบเพิ่ม)

พิจารณา สมการที่(12.14) $V_{\mathrm{L}}(t) = E\,e^{-t/\tau}$

เมื่อ $t = 0$, $V_{\mathrm{L}}(0) = Ee^{0} = E(1) = E$ .....สมการที่(12.14 – 1)

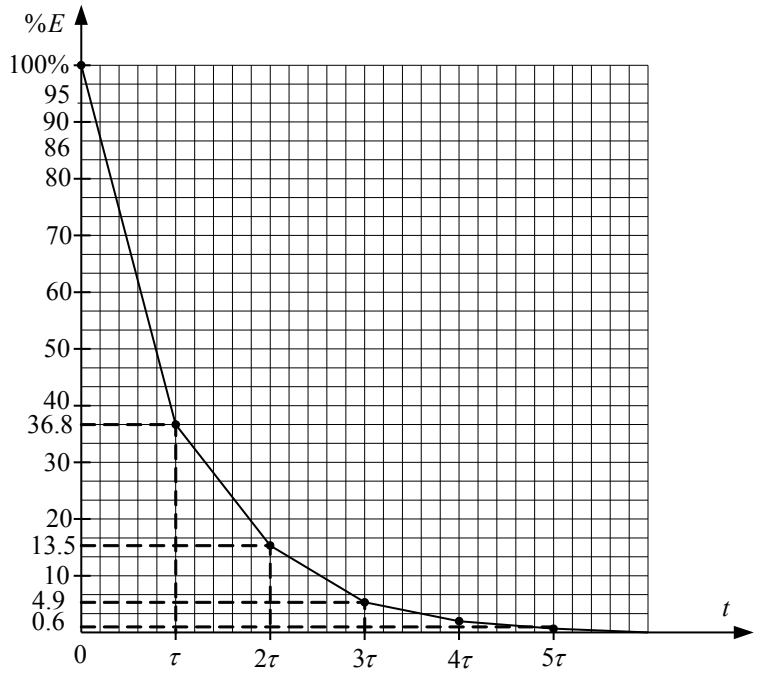
เมื่อ $t = 1\tau$, $V_{\mathrm{L}}(\tau) = Ee^{-1} = E(0.368) = 0.368E$ .....สมการที่(12.14 – 2)

เมื่อ $t = 2\tau$, $V_{\mathrm{L}}(2\tau) = Ee^{-2} = E(0.135) = 0.135E$ .....สมการที่(12.14 – 3)

เมื่อ $t = 3\tau$, $V_{\mathrm{L}}(3\tau) = Ee^{-3} = E(0.0497) = 0.0497E$ .....สมการที่(12.14 – 4)

เมื่อ $t = 5\tau$, $V_{\mathrm{L}}(5\tau) = Ee^{-5} = E(0.0067) = 0.0067E$ .....สมการที่(12.14 – 5)

เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 12.13



รูปที่ 12.13 กราฟแสดง Transient Voltage ของ $V_{\mathrm{L}}(t)$

ตัวอย่างที่ 12.6 จากวงจรในรูปที่ 12.14 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

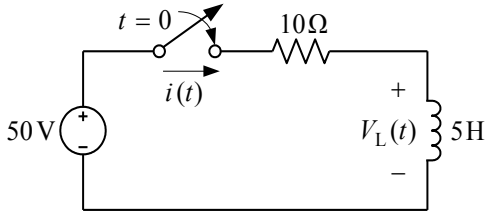
(1) ค่าเวลาคงที่ ของวงจร

(2) สมการ $V_{\mathrm{L}}(t)$ และ $i(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) ค่า Transient Voltage $V_{\mathrm{L}}(t)$ ที่ $t = 0$, $t = 0.4\,\mathrm{s}$, $t = \tau$, 2τ , 3τ , 5τ

(4) ค่า Transient Current $i(t)$ ที่ $t = 0$, $t = 0.4\,\mathrm{s}$, $t = \tau$, 2τ , 3τ , 5τ

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\mathrm{L}}(t)$



รูปที่ 12.14 วงจร RL สำหรับตัวอย่างที่ 12.6

วิธีทำ (1) หา Time Constant (τ) ; $\tau = \frac{L}{R} = \frac{5\text{ H}}{10\ \Omega} = 0.5\text{ s}$ .....**ตอบ**

(2) สมการ $V_L(t)$ และ $i(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E}{R}(1-e^{-t/0.5})$$ .....**ตอบ**

และ $V_L(t) = E\,e^{-t/0.5}$ .....**ตอบ**

(3) ค่า Transient Voltage $V_L(t)$ ที่ $t = 0$, $t = 0.4\text{s}$, $t = \tau$, 2τ , 3τ , 5τ

$$V_L(0) = E\,e^{0} = 50\text{ V}(1) = 50\text{ V}$$ .....**ตอบ**

$$V_L(0.4\text{s}) = E\,e^{-0.4/0.5} = 50\text{ V}\,e^{-0.8} = 50\text{ V}(0.449) = 22.46\text{ V}$$ .....**ตอบ**

จากสมการที่ (12.14 – 2) ถึง (12.14 – 5)

$$V_L(\tau) = Ee^{-1} = E(0.368) = 0.368(50\text{ V}) = 18.4\text{ V}$$ .....**ตอบ**

$$V_L(2\tau) = Ee^{-2} = E(0.135) = 0.135(50\text{ V}) = 6.75\text{ V}$$ .....**ตอบ**

$$V_L(3\tau) = Ee^{-3} = E(0.0497) = 0.0497(50\text{ V}) = 2.48\text{ V}$$ .....**ตอบ**

$$V_L(5\tau) = Ee^{-5} = E(0.0067) = 0.0067(50\text{ V}) = 0.33\text{ V}$$ .....**ตอบ**

(4) ค่า Transient Current $i(t)$ ที่ $t = 0$, $t = 0.4\text{s}$, $t = \tau$, 2τ , 3τ , 5τ

$$i(0) = \frac{E}{R}(1-e^{0}) = \frac{E}{R}(1-1) = 0\text{ A}$$ .....**ตอบ**

$$i(0.4) = \frac{E}{R}(1-e^{-0.4/0.5}) = \frac{50\text{ V}}{10\Omega}(1-e^{-0.8}) = 5\text{A}(1-0.449)$$

$$i(0.4) = 5\text{A}(1-0.449) = 5\text{A}(0.511) = 2.75\text{A}$$ .....**ตอบ**

จากสมการที่ (12.11 – 1) ถึง (12.11 – 4)

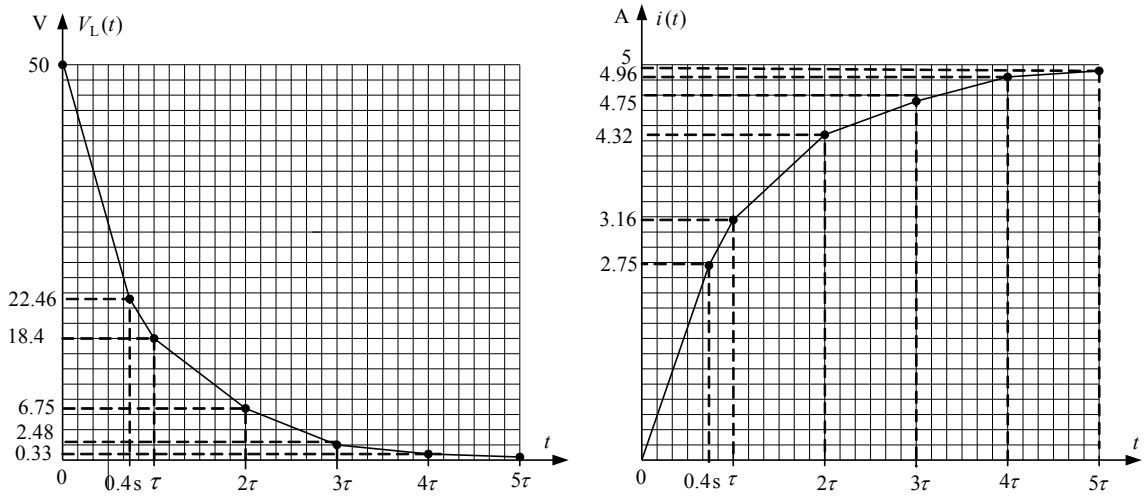
$$i(\tau) = \frac{E}{R}\left(1-e^{-1}\right) = (5\text{A})\left(1-0.368\right) = (5\text{A})(0.632) = 3.16\text{ A}$$ .....**ตอบ**

$$i(2\tau) = \frac{E}{R}\left(1-e^{-2}\right) = (5\text{A})\left(1-0.135\right) = (5\text{A})(0.865) = 4.32\text{A}$$ .....**ตอบ**

$$i(3\tau) = \frac{E}{R}\left(1-e^{-3}\right) = (5\text{A})\left(1-0.0497\right) = (5\text{A})(0.950) = 4.75\text{A}$$ .....**ตอบ**

$$i(5\tau) = \frac{E}{R}\left(1-e^{-5}\right) = (5\text{A})\left(1-0.0067\right) = (5\text{A})(0.993) = 4.96\text{A}$$ .....**ตอบ**

(5) เขียนกราฟของ $V_L(t)$ และ $i(t)$



รูปที่ 12.15 กราฟของ $V_L(t)$ และ $i(t)$

ตัวอย่างที่ 11.7 จากวงจรในรูปที่ 12.16 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

(1) ค่าเวลาคงที่ ของวงจร

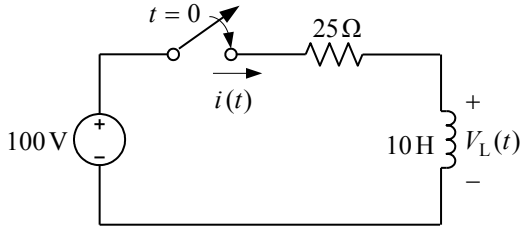
(2) สมการ $i(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) ระยะเวลาที่ วงจรเข้าสู่สภาวะคงที่

(4) Transient Current $i(t)$ ที่ $t = 0, 0.8\text{s}$

(5) Transient Voltage $V_L(t)$ ที่ $t = 0, 0.8\text{s}$

(6) วาดกราฟของ $i(t)$ และ $V_L(t)$



รูปที่ 12.16 วงจร RL สำหรับตัวอย่างที่ 12.7

วิธีทำ (1) หาค่า Time Constant (τ)

จากสมการ $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{10\text{H}}{25\Omega} = 0.4\text{ s}$ .....**ตอบ**

(2) สมการ $i(t)$ ในเทอมของ Time Constant

ดังนั้น $i(t) = \dfrac{E}{R}(1 - e^{-t/0.4})$ .....**ตอบ**

(3) ระยะเวลาที่ วงจรเข้าสู่สภาวะคงที่

ระยะเวลาที่ วงจรเข้าสู่สภาวะคงที่ คือ เวลาที่มากกว่า 5τ เป็นต้นไป

ดังนั้น $t \geq 5\tau \geq 5(0.4\text{s}) \geq 2.0\text{s}$ .....**ตอบ**

(4) Transient Current $i(t)$ ที่ $t = 0, 0.8\text{s}$

จากสมการ $i(t) = \dfrac{E}{R}(1-e^{-t/\tau})$

$$i(0) = \frac{100\,\text{V}}{25\Omega}(1-e^{0}) = 4\,\text{A}(1-1) = 0\,\text{A}$$ .....**ตอบ**

$$i(0.8) = \frac{100\,\text{V}}{25\Omega}(1-e^{-0.8/0.4}) = 4\,\text{A}(1-e^{-2})$$

$$i(0.8) = 4\,\text{A}(1-0.135) = 3.46\,\text{A}$$ .....**ตอบ**

(5) Transient Voltage $V_{\text{L}}(t)$ ที่ $t = 0, 0.8\text{s}$

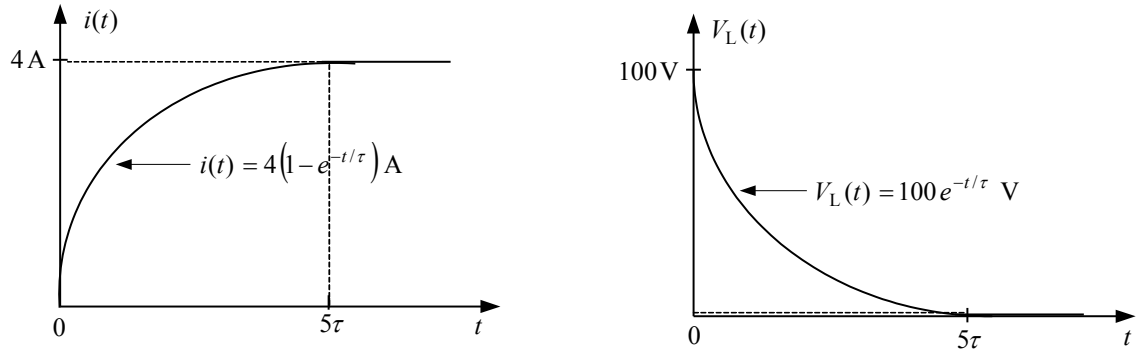
จากสมการ $V_{\text{L}}(t) = E\,e^{-t/\tau}$

$$V_{\text{L}}(0) = (100\,\text{V})e^{0} = 100\,\text{V}(1) = 100\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_{\text{L}}(0.8) = (100\,\text{V})e^{-0.8/0.4} = 100\,\text{V}(e^{-2})$$

$$V_{\text{L}}(0.8) = 100\,\text{V}(0.135) = 13.5\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

(6) วาดกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$



รูปที่ 12.17 กราฟของ $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$ ของตัวอย่างที่ 12.7

12.4 วงจร Transient RL ผสม

การหาค่า Transient Voltage ที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ และ Transient Current ที่ไหลผ่านวงจร RL ผสม จะต้องแปลงวงจร RL ผสม ให้เป็นวงจร สมมูลย์ เทวินินเสียก่อน เช่นเดียวกันกับ กรณีวงจร RC ผสม

ตัวอย่างที่ 11.8 จากวงจรในรูปที่ 12.18 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

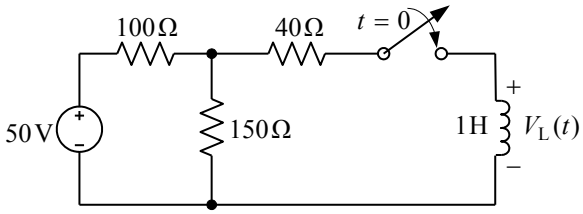
(1) ค่าเวลาคงที่ ของวงจร

(2) สมการ $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) Transient Current $i(t)$ ที่ $t = 0\,,\,5\text{ms}\,,\,20\text{ms}$

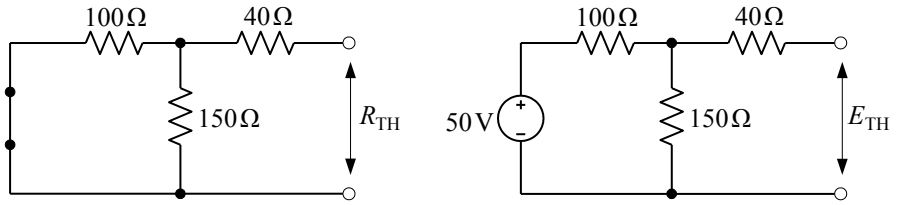
(4) Transient Voltage $V_{\text{L}}(t)$ ที่ $t = 0\,,\,5\text{ms}\,,\,20\text{ms}$

(5) วาดกราฟของ $V_{\text{L}}(t)$ และ $i(t)$



รูปที่ 12.18 วงจร RL สำหรับตัวอย่างที่ 12.8

วิธีทำ ปลด ตัวเหนี่ยวนำออก แล้วหาวงจรสมมูลย์เทวินิน ดังรูปที่ 12.19



(ก) แสดงการหาค่า R_{TH} (ข) แสดงการหาค่า E_{TH}

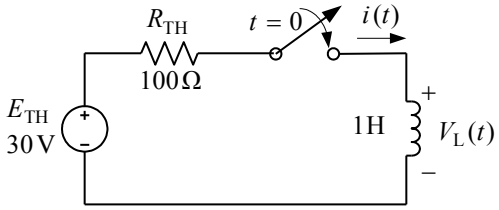
รูปที่ 12.19 วงจร RL ผสมทำการแปลงเป็นวงจรสมมูลย์ เทวินิน

จากรูปที่ 12.19 (ก) $R_{\text{TH}} = 40\Omega + (100\,||\,150)\Omega$

$$R_{\text{TH}} = 40\Omega + \left(\frac{100\times150}{100+150}\right)\Omega = 40\Omega + \left(\frac{15{,}000}{250}\right)\Omega = 100\Omega$$

จากรูปที่ 12.19 (ข) $$E_{\text{TH}} = \left(\frac{150\Omega}{100\Omega+150\Omega}\right)(50\,\text{V}) = \left(\frac{150}{250}\right)(50\,\text{V}) = 30\,\text{V}$$

เขียนวงจรสมมูลย์เทวินินแล้วนำ ตัวเหนี่ยวนำมาต่อเข้ากับวงจร ดังรูปที่ 12.20



รูปที่ 12.20 วงจรสมมูลย์เทวินิน ของวงจรในรูปที่ 12.18

(1) ค่าเวลาคงที่ ของวงจร

จากสมการ $$\tau = \frac{L}{R} = \frac{1\text{H}}{100\Omega} = 0.01\text{ s} = 10\text{ ms}$$ .....**ตอบ**

(2) สมการ $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$ ในเทอมของ Time Constant

จากสมการ $$i(t) = \frac{E}{R}(1-e^{-t/\tau}) = \frac{E_{\text{TH}}}{R_{\text{TH}}}(1-e^{-t/10\,\text{ms}})$$

$$\therefore\ i(t) = 300(1-e^{-t/10\,\text{ms}})\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

จากสมการ $V_L(t) = E e^{-t/\tau} = E_{TH} e^{-t/\tau}$

$\therefore\ V_L(t) = 30 e^{-t/10\,\text{ms}}\ \text{V}$ .....**ตอบ**

(3) Transient Current $i(t)$ ที่ $t = 0\,,\,5\,\text{ms}\,,\,20\,\text{ms}$

จากสมการ $i(t) = \dfrac{E}{R}(1-e^{-t/\tau})$

$i(0) = \dfrac{E_{TH}}{R_{TH}}(1-e^{0}) = \dfrac{30\,\text{V}}{100\,\Omega}(1-1) = 0.3\,\text{A}(0) = 0\,\text{A}$ .....**ตอบ**

$i(5\,\text{ms}) = (0.3\,\text{A})(1-e^{-5\,\text{ms}/10\,\text{ms}}) = (0.3\,\text{A})(1-e^{-0.5})$

$i(5\,\text{ms}) = (0.3\,\text{A})(1-0.606) = 118\ \text{mA}$ .....**ตอบ**

$i(20\,\text{ms}) = (0.3\,\text{A})(1-e^{-20\,\text{ms}/10\,\text{ms}}) = (0.3\,\text{A})(1-e^{-2})$

$i(20\,\text{ms}) = (0.3\,\text{A})(1-0.135) = 259.5\ \text{mA}$ .....**ตอบ**

(4) Transient Voltage $V_L(t)$ ที่ $t = 0\,,\,5\,\text{ms}\,,\,20\,\text{ms}$

จากสมการ $V_L(t) = E e^{-t/\tau}$

$V_L(0) = (E_{TH})e^{0} = 30\,\text{V}(1) = 30\,\text{V}$ .....**ตอบ**

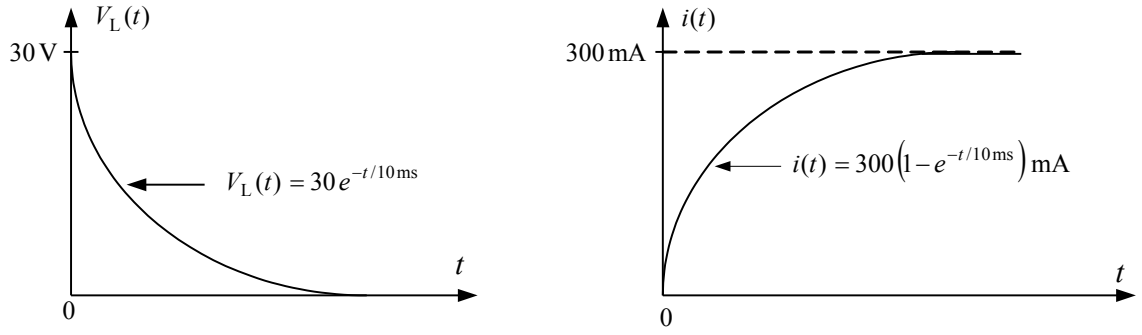
$V_L(5\,\text{ms}) = (30\,\text{V})e^{-5\,\text{ms}/10\,\text{ms}} = 30\,\text{V}(e^{-0.5})$

$V_L(5\,\text{ms}) = 30\,\text{V}(0.606) = 18.18\ \text{V}$ .....**ตอบ**

$V_L(20\,\text{ms}) = (30\,\text{V})e^{-20\,\text{ms}/10\,\text{ms}} = 30\,\text{V}(e^{-2})$

$V_L(20\,\text{ms}) = 30\,\text{V}(0.135) = 4.06\ \text{V}$ .....**ตอบ**

(5) วาดกราฟของ $V_L(t)$ และ $i(t)$



รูปที่ 12.21 กราฟของ $V_L(t)$ และ $i(t)$ ของตัวอย่างที่ 12.8

สรุปสาระสำคัญ

วงจรที่ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่สะสมพลังงานได้ เช่น ตัวเก็บประจุ (C) และตัวเหนี่ยวนำ (L) อุปกรณ์เหล่านี้ ไม่สามารถที่จะต่อเข้าโดยตรงกับ แหล่งจ่ายกำลังได้ ต้องมีตัวต้านทานต่อร่วมด้วย เพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ดังนั้น วงจร RC และ วงจร RL เมื่อได้รับแหล่งจ่ายแรงดัน หรือกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายอย่างทันทีทันใด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันหรือกระแสที่ไหลในวงจร มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ การเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ นี้ เรียกว่า Transient หรือ ปรากฏการณ์ชั่วขณะ เมื่อเลยช่วงเวลา Transient ไปแล้ว วงจรจะอยู่ในสภาวะคงตัว

การหา Transient ต่างๆ ในวงจรอนุกรม RC และ RL สรุปได้ดังนี้

วงจร RC : $i(t) = \frac{E}{R}e^{-t/\tau}$

$V_R(t) = Ee^{-t/\tau}$

และ $V_C(t) = E\left(1-e^{-t/\tau}\right)$

วงจร RL : $i(t) = \frac{E}{R}\left(1-e^{-t/\tau}\right)$

$V_R(t) = E\left(1-e^{-t/\tau}\right)$

และ $V_L(t) = Ee^{-t/\tau}$

ส่วนวงจร ผสม RC และ RL ผสม นั้น จะต้องยุบวงจรให้เป็นวงจรสมมูลย์เทวินินเสียก่อน แล้วจึง นำ ตัวเก็บประจุ หรือ ตัวเหนี่ยวนำที่ปลดออกไปในขั้นตอน การหาค่าวงจรสมมูลย์เทวินิน มาต่อเข้าเหมือนเดิม แล้วใช้สมการ ในหัวข้อ วงจรอนุกรม RC และ วงจรอนุกรม RL มาหาค่า Transient ต่างๆ

แบบฝึกหัด

หน่วยที่ 12 การวิเคราะห์วงจร Transient เบื้องต้น

1. จากวงจรในรูปที่ 12.22 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

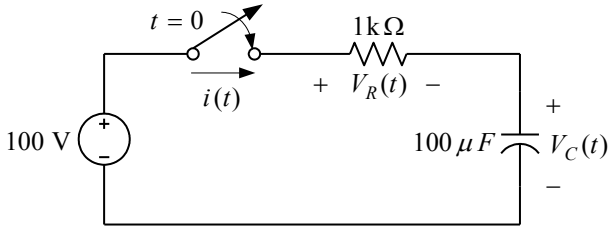
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ที่ $t = 0$, 0.05s , τ , $3\tau, 5\tau$ (4) $V_C(t)$ที่ $t = 0$, 0.05s , τ , $3\tau, 5\tau$

(5) ใช้ KVL หา $V_R(t)$ ที่ $t = 0$, τ (6) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$

ตอบ (1) 0.1 s (2) $i(t) = 100e^{-t/0.1}$ mA และ $V_C(t) = 100(1-e^{-t/0.1})$ V

(3) 100 , 60.65 , 36.8 , 4.9 , 0.67 mA (4) 0 , 39.4 , 63.2 , 95 , 99.33 V (5) 100 , 36.8 V



รูปที่ 12.22 วงจร RC อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 1

2. จากวงจรในรูปที่ 12.23 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

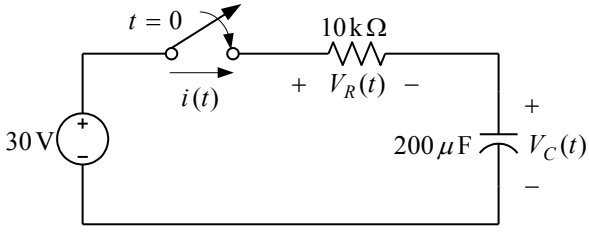
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ที่ $t = 0$, 1s (4) $V_C(t)$ที่ $t = 0$, 1s

(5) ใช้ KVL หา $V_R(t)$ ที่ $t = 0$, 1s (6) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$

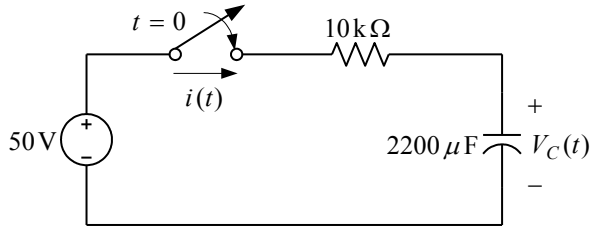
ตอบ (1) 2 s (2) $i(t) = 3e^{-t/2}$ mA และ $V_C(t) = 30(1-e^{-t/2})$ V (3) 3 , 1.8 mA (4) 0 , 11.82 V

(5) 30, 18.18 V



รูปที่ 12.23 วงจร RC อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

3. จากวงจรในรูปที่ 12.24 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา ค่าเวลาคงที่ของวงจร และ เวลาที่ ตัวเก็บประจุ จะ Charge ประจุจนเต็ม เท่ากับแหล่งจ่าย **ตอบ** 22 วินาที และ 110 วินาที



รูปที่ 12.24 วงจร RC อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

4. จากวงจรในรูปที่ 12.25 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

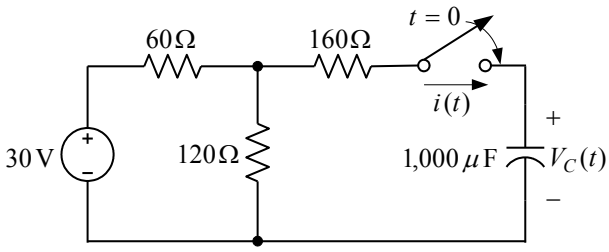
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 0.5s , 1s (4) $V_C(t)$ ที่ $t = 0$, 0.5s , 1s

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$

ตอบ (1) 0.2 s (2) $i(t) = 100e^{-t/0.2}$ mA และ $V_C(t) = 20(1-e^{-t/0.2})$ V

(3) 100 , 8.2 , 0.67 mA (4) 0 , 18.36 , 19.86 V



รูปที่ 12.25 วงจร RC ผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

5. จากวงจรในรูปที่ 12.26 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

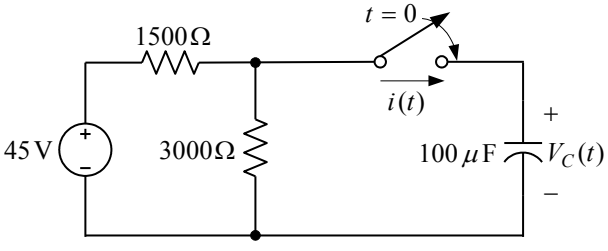
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 0.05s , 0.2s (4) $V_C(t)$ ที่ $t = 0$, 0.05s , 0.2s

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$

ตอบ (1) 0.1 s (2) $i(t) = 30e^{-t/0.1}$ mA และ $V_C(t) = 30(1-e^{-t/0.1})$ V

(3) 30 , 18.19 , 4.06 mA (4) 0 , 11.82 , 25.95 V



รูปที่ 12.26 วงจร RC ผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

6. จากวงจรในรูปที่ 12.27 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

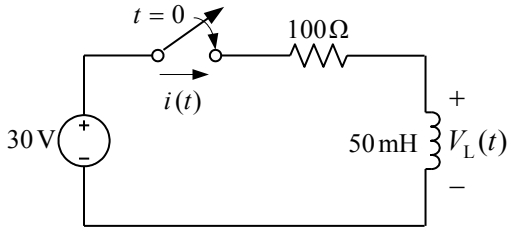
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 0.4 ms , 1.5 ms (4) $V_L(t)$ ที่ $t = 0$, 0.4 ms , 1.5 ms

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\mathrm{L}}(t)$

ตอบ (1) 0.5 ms (2) $i(t) = 30(1-e^{-t/0.5\,\mathrm{ms}})\,\mathrm{mA}$ และ $V_{\mathrm{L}}(t) = 30e^{-t/0.5\,\mathrm{ms}}$ V

(3) 0 , 16.53 , 28.5 mA (4) 30 , 13.48 , 1.49 V



รูปที่ 12.27 วงจร RL อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

7. จากวงจรในรูปที่ 12.28 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

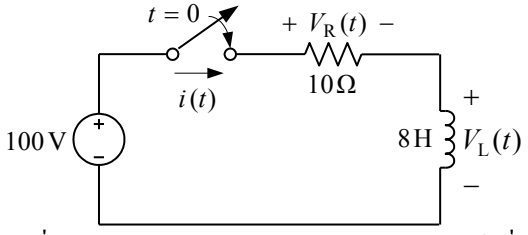
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_{\mathrm{R}}(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ที่ $t = 0 , 1.5\tau$ (4) $V_{\mathrm{R}}(t)$ ที่ $t = 0 , 0.1$ s

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\mathrm{R}}(t)$

ตอบ (1) 0.8 s (2) $i(t) = 10(1-e^{-t/0.8})\,\mathrm{mA}$ และ $V_{\mathrm{R}}(t) = 100(1-e^{-t/0.8})\,\mathrm{V}$

(3) 0 , 7.77 A (4) 0 , 11.8 V



รูปที่ 12.28 วงจร RL อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

8. จากวงจรในรูปที่ 12.29 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

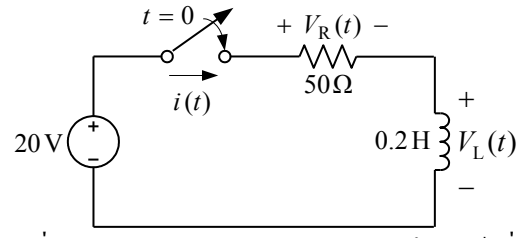
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_{\mathrm{L}}(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ที่ $t = 0 , 10\,\mathrm{ms}$ (4) $V_{\mathrm{L}}(t)$ ที่ $t = 0 , 10$ ms

(5) $V_{\mathrm{R}}(t)$ที่ $t = 0 , 10$ ms (6) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\mathrm{R}}(t)$

ตอบ (1) 4 ms (2) $i(t) = 400(1-e^{-t/4\,\mathrm{ms}})\,\mathrm{mA}$ และ $V_{\mathrm{L}}(t) = 20e^{-t/4\,\mathrm{ms}}$ V

(3) 0 , 367.2 mA (4) 20 , 1.64 V (5) 0 , 18.36 V



รูปที่ 12.29 วงจร RL อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

9. จากวงจรในรูปที่ 12.30 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

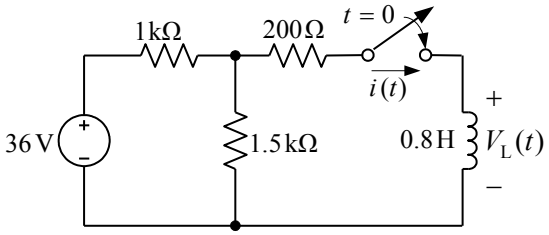
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 3 ms (4) $V_L(t)$ ที่ $t = 0$, 3 ms

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_L(t)$

ตอบ (1) 1 ms (2) $i(t) = 27(1-e^{-t/1\text{ms}})$ mA และ $V_L(t) = 21.6e^{-t/1\text{ms}}$ V

(3) 0 , 25.67 mA (4) 21.6 , 1.07 V



รูปที่ 12.30 วงจร RL ผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

10. จากวงจรในรูปที่ 12.31 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

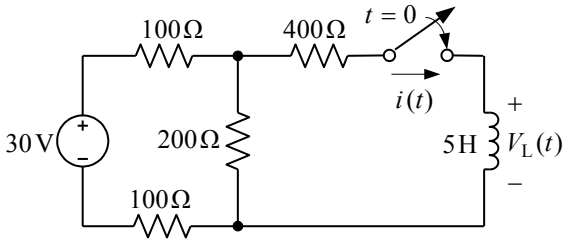
(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 20 ms (4) $V_L(t)$ ที่ $t = 0$, 15 ms

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_L(t)$

ตอบ (1) 10 ms (2) $i(t) = 30(1-e^{-t/10\text{ms}})$ mA และ $V_L(t) = 15e^{-t/10\text{ms}}$ V

(3) 0 , 25.95 mA (4) 15 , 3.34 V



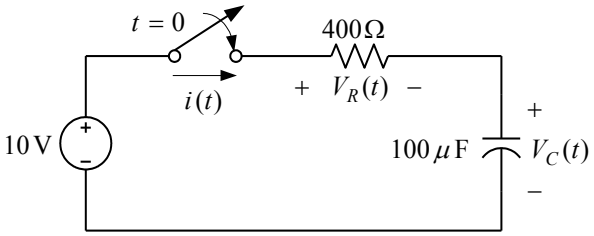
รูปที่ 12.31 วงจร RL ผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 12 การวิเคราะห์วงจร Transient เบื้องต้น

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

จงใช้วงจรในรูปที่ 1 สำหรับคำถามข้อ 1 – 3



รูปที่ 1 วงจร RC อนุกรมสำหรับคำถามข้อ 1-3

1. ค่า Time Constant ของวงจรมีค่าเท่าใด

ก. 4 s ข. 4 ms

ค. 400 ms ง. 40 ms

2. ค่า $i(t)$ ที่เวลา 0.05 s เป็นเท่าใด

ก. 71.6 mA ข. 9.19 mA

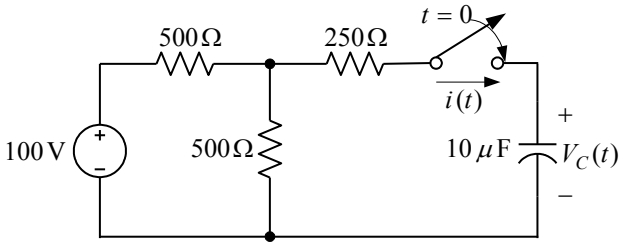
ค. 7.16 mA ง. 91.9 mA

3. ค่า $V_C(t)$ ที่เวลา 0.05 s เป็นเท่าใด

ก. 2.86 V ข. 6.32 V

ค. 3.68 V ง. 7.14 V

จงใช้วงจรในรูปที่ 2 สำหรับคำถามข้อ 4 – 5



รูปที่ 2 วงจร RC ผสมสำหรับคำถามข้อ 4 – 5

4. ค่า $V_C(t)$ ที่เวลา 10 ms เป็นเท่าใด มีค่าเท่าใด

ก. 43.25 V ข. 49.08 V

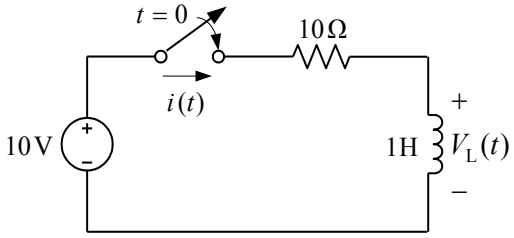
ค. 31.6 V ง. 25.15 V

5. ค่า $i(t)$ ที่เวลา 10 ms เป็นเท่าใด

ก. 36.8 mA ข. 13.5 mA

ค. 4.97 mA ง. 60.65 mA

จงใช้วงจรในรูปที่ 3 สำหรับคำถามข้อ 6 – 8



รูปที่ 3 วงจร RL อนุกรมสำหรับคำถามข้อ 6 – 8

6. ค่า Time Constant ของวงจร มีค่าเท่าใด

ก. 0.01 s ข. 10 s

ค. 1 s ง. 0.1 s

7. $V_L(t)$ ที่เวลา 0.3 ms มีค่าเท่าใด

ก. 2.23 V ข. 3.68 V

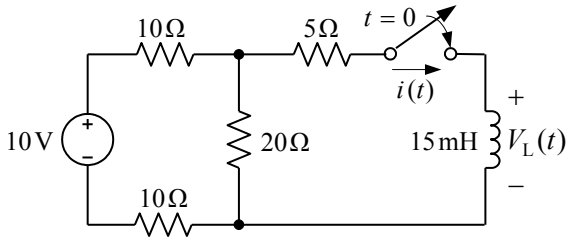
ค. 0.49 V ง. 1.35 V

8. $V_R(t)$ ที่เวลา 0.2 ms มีค่าเท่าใด

ก. 3.68 V ข. 6.32 V

ค. 1.35 V ง. 8.65 V

จงใช้วงจรในรูปที่ 4 สำหรับคำถามข้อ 9 – 10



รูปที่ 4 วงจร RL ผสมสำหรับคำถามข้อ 10 – 12

9. ค่า Time Constant ของวงจร คือข้อใด

ก. 10ms ข. 1 ms

ค. 0.1s ง. 1s

10. ค่า $i(t)$ ที่เวลา 2 ms มีค่าเท่าใด

ก. 632 mA ข. 950 mA

ค. 865 mA ง. 368 mA

เอกสารอ้างอิง

กิติพล ชิตสกุล. ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์ คณิตศาสตร์พื้นฐาน สำหรับไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพร์ส , อิงค์ , 1997

มงคล ทองสงคราม . ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า1. กรุงเทพฯ : หจก. วี.เจ.พริ้นติ้ง , 2540

มงคล ทองสงคราม . พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า1. กรุงเทพฯ : บริษัท รามาการพิมพ์ จำกัด , 2542

มงคล ทองสงคราม . พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า2. กรุงเทพฯ : บริษัท รามาการพิมพ์ จำกัด , 2542

สุภาภรณ์ แก้วศักดา. อิเล็กทรอนิกส์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 9 . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง , 2548

Charles K. Alexander Matthew N.O. Sadiku. **Fundamentals of Electric Circuits**. Second Edition Singapore. McGraw-Hill. 2004

Thomas L. Floyd . **Principles of Electric Circuits Conventional Current** Version. 7th. Ed. New Jersey. Prentice-Hall. 2003

ภาคผนวก

- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
- เฉลยแบบฝึกหัดท้ายหน่วย

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน

1. ค.	2. ข.	3. ค.	4. ง.	5. ก.	6. ค.	7. ข.	8. ค.	9. ก.	10. ข.

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

1. ง.	2. ค.	3. ง.	4. ก.	5. ข.	6. ง.	7. ค.	8. ง.	9. ข.	10. ค.

เฉลยแบบฝึกหัด

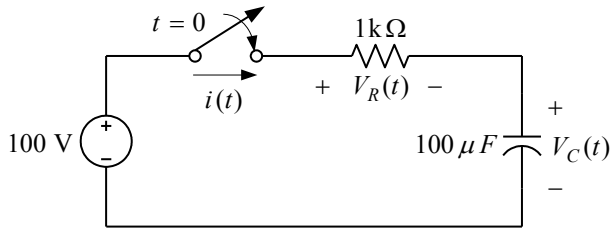
หน่วยที่ 12 การวิเคราะห์วงจร Transient เบื้องต้น

1. จากวงจรในรูปที่ 12.22 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0\,,\ 0.05\text{s}\,,\ \tau\ ,\ 3\tau, 5\tau$ (4) $V_C(t)$ ที่ $t = 0\,,\ 0.05\text{s}\,,\ \tau\ ,\ 3\tau, 5\tau$

(5) ใช้ KVL หา $V_R(t)$ ที่ $t = 0\,,\ \tau$ (6) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$



รูปที่ 12.22 วงจร RC อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 1

วิธีทำ (1) Time Constant ของ วงจร

$$\tau = RC = (1\times10^{3}\,\Omega)(100\times10^{-6}\,\text{F}) = 0.1\,\text{s}$$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E}{R}e^{-t/\tau} = \frac{100\,\text{V}}{1\,\text{k}\Omega}e^{-t/0.1}$$

$$\therefore\ i(t) = 100e^{-t/0.1}\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

และ $V_C(t) = E(1-e^{-t/\tau})$

$$\therefore\ V_C(t) = 100(1-e^{-t/0.1})\ \text{V}$$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0\,,\ 0.05\text{s}\,,\ \tau\ ,\ 3\tau, 5\tau$

จากสมการ $i(t) = 100e^{-t/0.1}\ \text{mA}$

$$i(0) = (100\,\text{mA})e^{0} = 100(1)\,\text{mA} = 100\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(0.05\text{s}) = (100\,\text{mA})e^{-0.05/0.1} = (100\,\text{mA})e^{-0.5} = 60.65\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(\tau) = (100\,\text{mA})e^{-1} = 100\,\text{mA}\,(0.368) = 36.8\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(3\tau) = (100\,\text{mA})e^{-3} = 100\,\text{mA}\,(0.049)\,\text{mA} = 4.9\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(5\tau) = (100\,\text{mA})e^{-5} = 100\,\text{mA}\,(0.0067) = 0.67\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

(4) $V_C(t)$ ที่ $t = 0\,,\ 0.05\text{s}\,,\ \tau\ ,\ 3\tau, 5\tau$

จากสมการ : $V_C(t) = 100(1-e^{-t/0.1})\ \text{V}$

$V_C(0) = 100\,\text{V}(1-e^{0}) = 100\,\text{V}(0) = 0\,\text{V}$ .....**ตอบ**

$V_C(0.05\,\text{s}) = 100\,\text{V}(1-e^{-0.05/0.1}) = 100\,\text{V}(1-e^{-0.5}) = 100\,\text{V}(0.394) = 39.4\,\text{V}$ .....**ตอบ**

$V_C(\tau) = 100\,\text{V}(1-e^{-1}) = 100\,\text{V}(1-0.368) = 100\,\text{V}(0.632) = 63.2\,\text{V}$ .....**ตอบ**

$V_C(3\tau) = 100\,\text{V}(1-e^{-3}) = 100\,\text{V}(1-0.049) = 100\,\text{V}(0.9503) = 95.03\,\text{V}$ .....**ตอบ**

$V_C(5\tau) = 100\,\text{V}(1-e^{-5}) = 100\,\text{V}(1-0.0067) = 100\,\text{V}(0.9933) = 99.33\,\text{V}$ .....**ตอบ**

(5) ใช้ KVL หา $V_R(t)$ ที่ $t = 0\,,\ \tau$

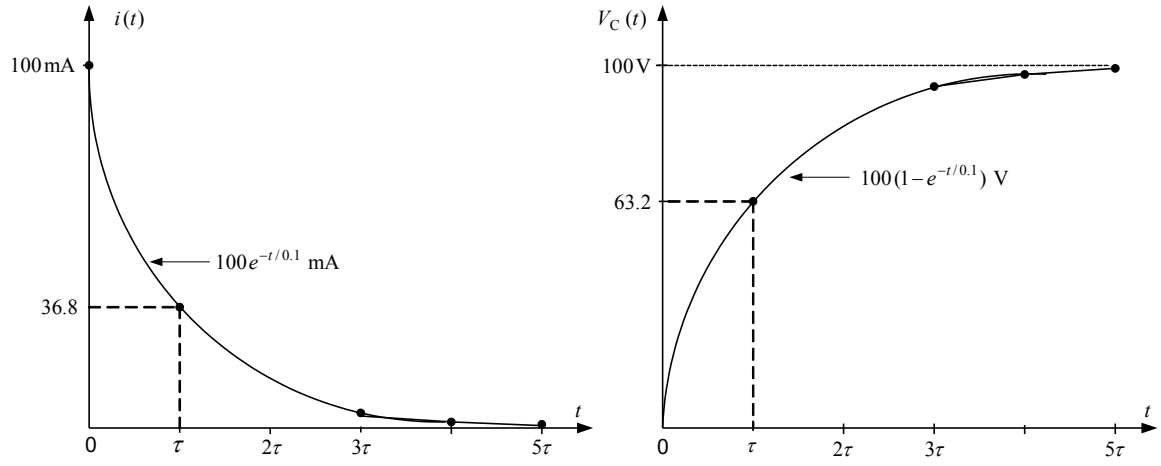
$$V_R(0) = E - V_C(0)$$

$V_R(0) = 100\,\text{V} - 0\,\text{V} = 100\ \text{V}$ .....**ตอบ**

$$V_R(\tau) = E - V_C(\tau)$$

$V_R(\tau) = 100\,\text{V} - 63.2\,\text{V} = 36.8\,\text{V}$ .....**ตอบ**

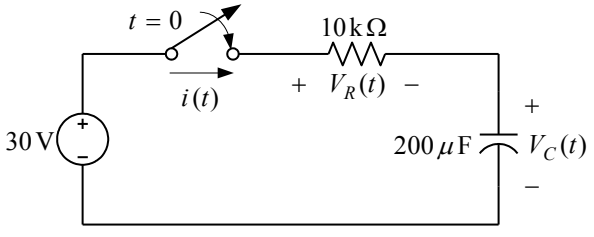
(6) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$



---

2. จากวงจรในรูปที่ 12.23 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

(1) Time Constant ของ วงจร
(2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant
(3) $i(t)$ ที่ $t = 0\,,\,1\text{s}$
(4) $V_C(t)$ ที่ $t = 0\,,\,1\text{s}$
(5) ใช้ KVL หา $V_R(t)$ ที่ $t = 0\,,\,1\text{s}$
(6) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$



รูปที่ 12.23 วงจร RC อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

วิธีทำ (1) Time Constant ของ วงจร

$$\tau = RC = (10\times10^{3}\Omega)(200\times10^{-6}\,\text{F}) = 2\,\text{s}$$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E}{R}e^{-t/\tau} = \frac{30\,\text{V}}{10\,\text{k}\Omega}e^{-t/2}$$

$$\therefore\ i(t) = 3e^{-t/2}\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

และ $V_C(t) = E(1-e^{-t/\tau})$

$$\therefore\ V_C(t) = 30(1-e^{-t/2})\ \text{V}$$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0\,,1\text{s}$

จากสมการ $i(t) = 3e^{-t/2}\ \text{mA}$

$$i(0) = (3\,\text{mA})e^{0} = 3(1)\,\text{mA} = 3\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(1\text{s}) = (3\,\text{mA})e^{-1/2} = (3\,\text{mA})e^{-0.5} = 3\,\text{mA}(0.606) = 1.8\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

(4) $V_C(t)$ ที่ $t = 0\,,1\text{s}$

จากสมการ $V_C(t) = 30(1-e^{-t/2})\ \text{V}$

$$V_C(0) = 30\,\text{V}(1-e^{0}) = 30\,\text{V}(0) = 0\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_C(1\text{s}) = 30\,\text{V}(1-e^{-1/2}) = 30\,\text{V}(1-e^{-0.5}) = 30\,\text{V}(1-0.606)$$

$$V_C(1\text{s}) = 30\,\text{V}(0.394) = 11.82\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

(5) ใช้ KVL หา $V_R(t)$ ที่ $t = 0\,,1\text{s}$

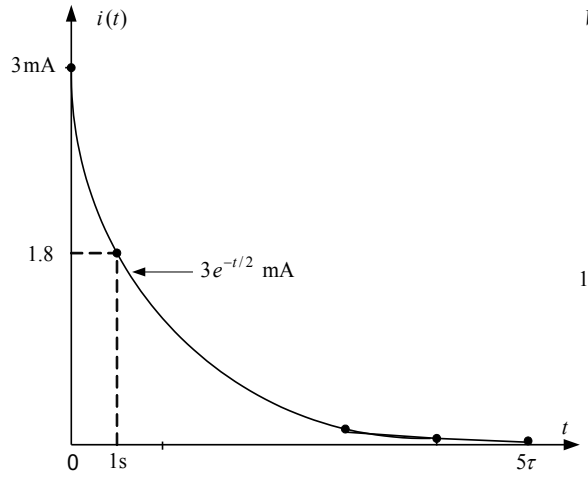
$$V_R(0) = E - V_C(0)$$

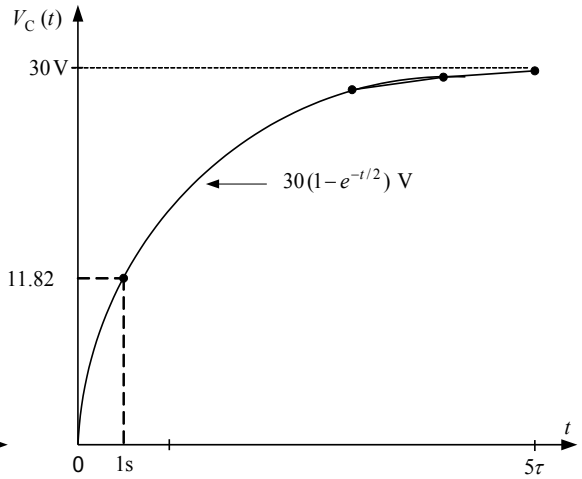
$$V_R(0) = 30\,\text{V} - 0\,\text{V} = 30\ \text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_R(1\text{s}) = E - V_C(1\text{s})$$

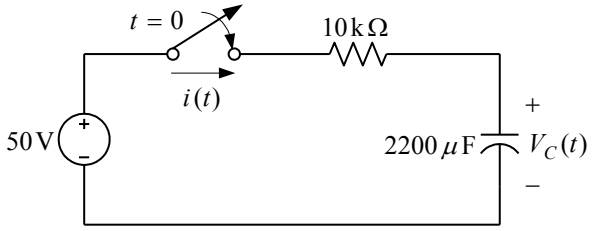
$$V_R(1\text{s}) = 30\,\text{V} - 11.82\,\text{V} = 18.18\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

(6) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$





3. จากวงจรในรูปที่ 12.24 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา ค่าเวลาคงที่ของวงจร และ เวลาที่ ตัวเก็บประจุ จะ Charge ประจุจนเต็ม เท่ากับแหล่งจ่าย



รูปที่ 12.24 วงจร RC อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

วิธีทำ (1) Time Constant ของ วงจร

$$\tau = RC = (10\times10^{3}\Omega)(2{,}200\times10^{-6}\,\text{F}) = 22\,\text{s} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

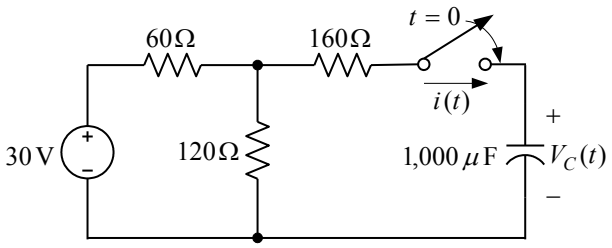
(2) เวลาที่ ตัวเก็บประจุ จะ Charge ประจุจนเต็ม คือ เวลาที่ผ่านไปมากกว่า 5τ นั่นเอง

$$t = \geq 5\tau = 5(22\,\text{s}) = 110\,\text{s} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

---

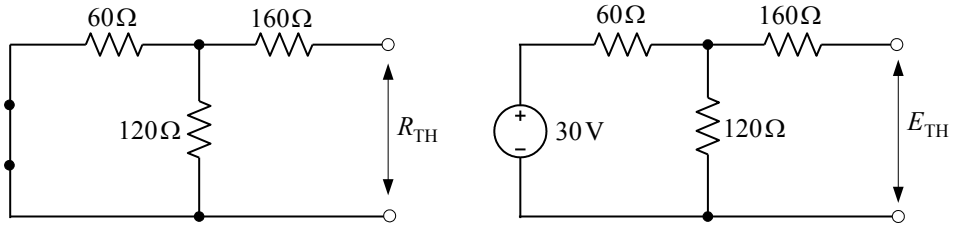
4. จากวงจรในรูปที่ 12.25 (ก) เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

(1) Time Constant ของ วงจร
(2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant
(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 0.5s , 1s
(4) $V_C(t)$ ที่ $t = 0$, 0.5s , 1s
(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$



รูปที่ 12.25 (ก) วงจร RC ผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

วิธีทำ แปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน ดังนี้



(ข) แสดงการหาความต้านทานเทวินิน (ค) แสดงหาแรงดันเทวินิน

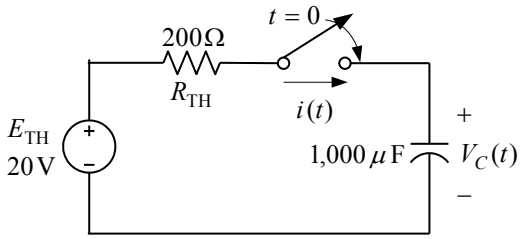
รูปที่ 12.25 วงจร RC ผสมขณะแปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน

จากรูปที่ 12.25 (ข) $R_{TH} = 160\Omega + (60\,||\,120)\Omega$

$$R_{TH} = 160\Omega + \frac{(60\times120)}{(60+120)}\frac{\Omega^2}{\Omega} = 160\Omega + 40\Omega = 200\Omega$$

จากรูปที่ 12.25 (ค) $E_{\text{TH}} = \dfrac{(120\Omega)}{(60+120)\Omega}(30\,\text{V}) = \dfrac{120}{180}(30\,\text{V}) = 20\,\text{V}$

เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



(1) Time Constant ของ วงจร $\tau = RC = (200\Omega)(1{,}000\times10^{-6}\,\text{F}) = 0.2\,\text{s}$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_{\text{C}}(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E_{\text{TH}}}{R_{\text{TH}}}e^{-t/\tau} = \frac{20\,\text{V}}{200\,\Omega}e^{-t/0.2}$$

$$\therefore\ i(t) = 100e^{-t/0.2}\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

และ $V_{\text{C}}(t) = E_{\text{TH}}(1-e^{-t/\tau})$

$$\therefore\ V_{\text{C}}(t) = 20(1-e^{-t/0.2})\ \text{V}$$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0\,,\ 0.5\text{s}\,,\ 1\text{s}$ จากสมการ $i(t) = 100e^{-t/0.2}\ \text{mA}$

$$i(0) = (100\,\text{mA})e^{0} = 100(1)\,\text{mA} = 100\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(0.5\text{s}) = (100\,\text{mA})e^{-0.5/0.2} = (100\,\text{mA})e^{-2.5} = 100\,\text{mA}(0.082) = 8.2\,\text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(1\text{s}) = (100\,\text{mA})e^{-1/0.2} = (100\,\text{mA})e^{-5} = 100\,\text{mA}(0.0067) = 0.67\,\text{mA}$$ .....**ตอบ**

(4) $V_{\text{C}}(t)$ ที่ $t = 0\,,\ 0.5\text{s}\,,\ 1\text{s}$ จากสมการ $V_{\text{C}}(t) = 20(1-e^{-t/0.2})\ \text{V}$

$$V_{\text{C}}(0) = 20\,\text{V}(1-e^{0}) = 20\,\text{V}(0) = 0\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

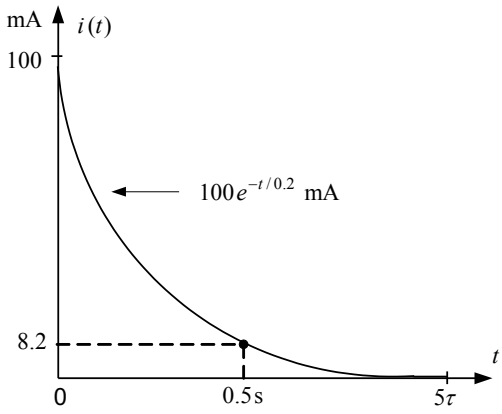
$$V_{\text{C}}(0.5\text{s}) = 20\,\text{V}(1-e^{-0.5/0.2}) = 20\,\text{V}(1-e^{-2.5}) = 30\,\text{V}(1-0.082)$$

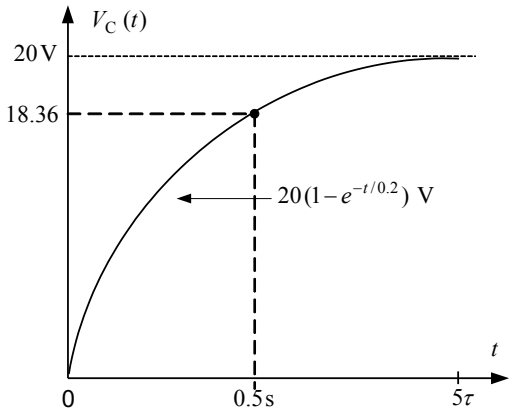
$$V_{\text{C}}(0.5\text{s}) = 20\,\text{V}(0.918) = 18.36\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_{\text{C}}(1\text{s}) = 20\,\text{V}(1-e^{-1/0.2}) = 20\,\text{V}(1-e^{-0.5}) = 30\,\text{V}(1-0.0067)$$

$$V_{\text{C}}(1\text{s}) = 20\,\text{V}(0.9933) = 19.86\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\text{C}}(t)$



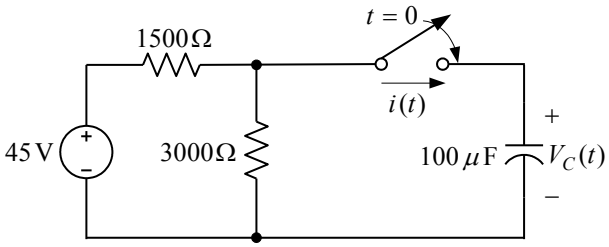


5. จากวงจรในรูปที่ 12.26 (ก) เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

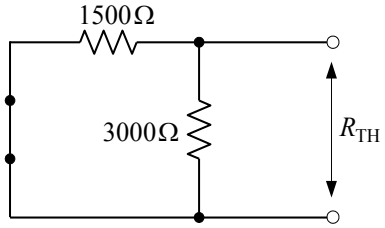
(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 0.05s , 0.2s (4) $V_C(t)$ ที่ $t = 0$, 0.05s , 0.2s

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_C(t)$

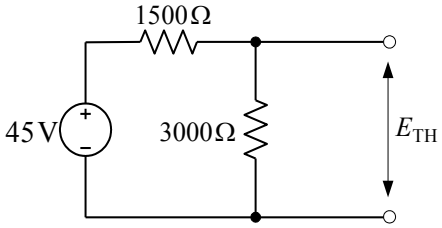


รูปที่ 12.26 (ก) วงจร RC ผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

วิธีทำ แปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน ดังนี้



(ข) แสดงการหาความต้านทานเทวินิน



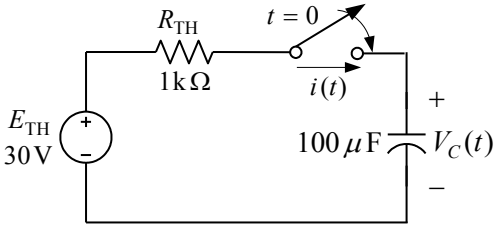
(ค) แสดงหาแรงดันเทวินิน

รูปที่ 12.26 วงจร RC ผสมขณะแปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน

จากรูปที่ 12.26 (ข) $R_{TH} = (1.5||3)\,\text{k}\Omega = \dfrac{(1.5\times 3)}{(1.5+3)}\dfrac{\text{k}\Omega^2}{\text{k}\Omega} = 1\,\text{k}\Omega$

จากรูปที่ 12.26 (ค) $E_{TH} = \dfrac{(3\,\text{k}\Omega)}{(1.5+3)\,\text{k}\Omega}(45\,\text{V}) = \dfrac{3}{4.5}(45\,\text{V}) = 30\,\text{V}$

เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



(1) Time Constant ของ วงจร $\tau = RC = (1{,}000\Omega)(100\times 10^{-6}\,\text{F}) = 0.1\,\text{s}$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_C(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E_{TH}}{R_{TH}}e^{-t/\tau} = \frac{30\,\text{V}}{1\,\text{k}\Omega}e^{-t/0.1}$$

$$\therefore\ i(t) = 30e^{-t/0.1}\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

และ $V_C(t) = E_{TH}(1-e^{-t/\tau})$

$$\therefore\ V_C(t) = 30(1-e^{-t/0.1})\ \text{V}$$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ที่ $t = 0\,,\ 0.05\text{s}\,,\ 0.2\text{s}$ จากสมการ $i(t) = 30e^{-t/0.1}$ mA

$i(0) = (30\text{mA})e^{0} = 30(1)\text{mA} = 30$ mA .....**ตอบ**

$i(0.05\text{s}) = (30\text{mA})e^{-0.05/0.1} = (30\text{mA})e^{-0.5} = 30\text{mA}(0.606) = 18.19\text{mA}$ .....**ตอบ**

$i(0.2\text{s}) = (30\text{mA})e^{-0.2/0.1} = (30\text{mA})e^{-2} = 30\text{mA}(0.135) = 4.06\text{mA}$ .....**ตอบ**

(4) $V_{\text{C}}(t)$ที่ $t = 0\,,\ 0.05\text{s}\,,\ 0.2\text{s}$ จากสมการ $V_{\text{C}}(t) = 30(1-e^{-t/0.1})$ V

$V_{\text{C}}(0) = 30\text{V}(1-e^{0}) = 30\text{V}(0) = 0\text{V}$ .....**ตอบ**

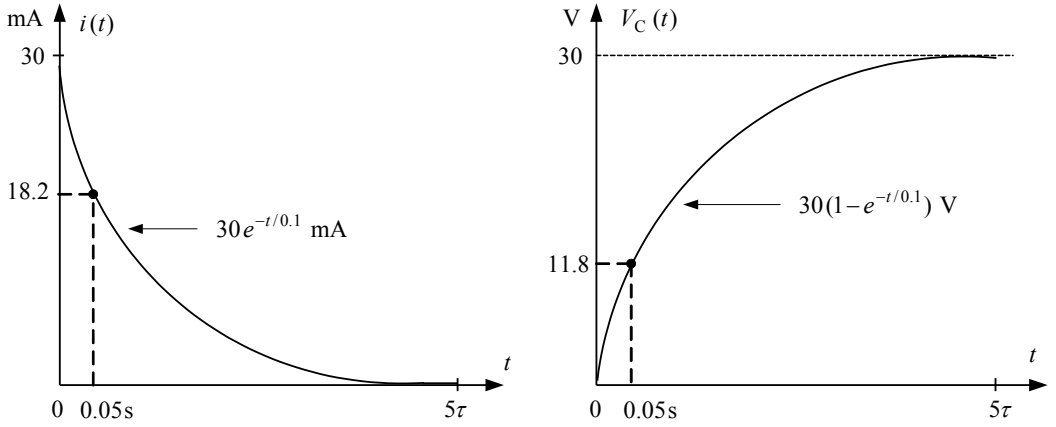
$V_{\text{C}}(0.05\text{s}) = 30\text{V}(1-e^{-0.05/0.1}) = 30\text{V}(1-e^{-0.5}) = 30\text{V}(1-0.606)$

$V_{\text{C}}(0.05\text{s}) = 30\text{V}(0.394) = 11.82\text{V}$ .....**ตอบ**

$V_{\text{C}}(0.2\text{s}) = 30\text{V}(1-e^{-0.2/0.1}) = 30\text{V}(1-e^{-2}) = 30\text{V}(1-0.135)$

$V_{\text{C}}(0.2\text{s}) = 30\text{V}(0.865) = 25.95\text{V}$ .....**ตอบ**

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\text{C}}(t)$



---

6. จากวงจรในรูปที่ 12.27 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

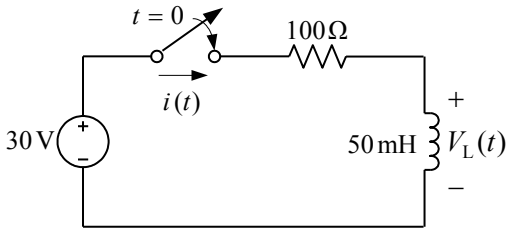
(1) Time Constant ของ วงจร

(2) $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ที่ $t = 0$, 0.4 ms , 1.5 ms

(4) $V_{\text{L}}(t)$ ที่ $t = 0$, 0.4 ms , 1.5 ms

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$



รูปที่ 12.27 วงจร RL อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

วิธีทำ (1) หา Time Constant (τ) ; $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{50\times10^{-3}\ \text{H}}{100\ \Omega} = 0.5\ \text{ms}$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E}{R}(1-e^{-t/\tau}) = \frac{30\,\text{V}}{100\,\Omega}(1-e^{-t/0.5\,\text{ms}})$$

$$\therefore\ i(t) = 30(1-e^{-t/0.5\,\text{ms}})\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

และ $V_{\text{L}}(t) = E\,e^{-t/\tau} = 30e^{-t/0.5\,\text{ms}}\ \text{V}$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 0.4 ms , 1.5 ms

จากสมการ $i(t) = 30(1-e^{-t/0.5\,\text{ms}})\ \text{mA}$

$$i(0) = 30(1-e^{0})\ \text{mA} = 30(1-1)\ \text{mA} = 0\,\text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(0.4\,\text{ms}) = 30\,\text{mA}(1-e^{-0.4/0.5}) = 30\,\text{mA}(1-e^{-0.8})$$

$$i(0.4\,\text{ms}) = 30\,\text{mA}(1-0.449) = 30\,\text{mA}(0.551) = 16.53\,\text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(1.5\,\text{ms}) = 30\,\text{mA}(1-e^{-1.5/0.5}) = 30\,\text{mA}(1-e^{-3})$$

$$i(1.5\,\text{ms}) = 30\,\text{mA}(1-0.0497) = 30\,\text{mA}(0.9503) = 28.5\,\text{mA}$$ .....**ตอบ**

(4) $V_{\text{L}}(t)$ ที่ $t = 0$, 0.4 ms , 1.5 ms

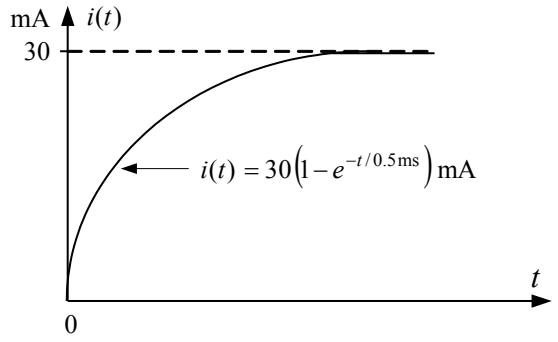
จากสมการ $V_{\text{L}}(t) = 30e^{-t/0.5\,\text{ms}}\ \text{V}$

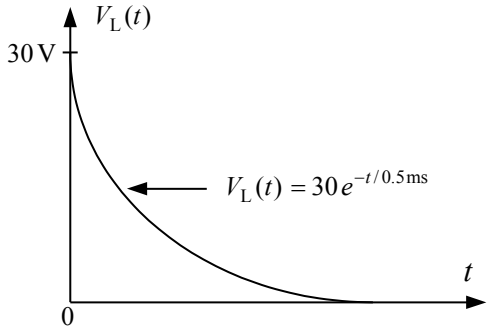
$$V_{\text{L}}(0) = 30e^{0}\ \text{V} = 30(1)\,\text{V} = 30\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_{\text{L}}(0.4\,\text{ms}) = 30e^{-0.4/0.5}\,\text{V} = 30e^{-0.8}\ \text{V} = 30\,\text{V}(0.449) = 13.48\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_{\text{L}}(1.5\,\text{ms}) = 30e^{-1.5/0.5}\,\text{V} = 30e^{-3}\ \text{V} = 30\,\text{V}(0.0497) = 1.49\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$





---

7. จากวงจรในรูปที่ 12.28 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

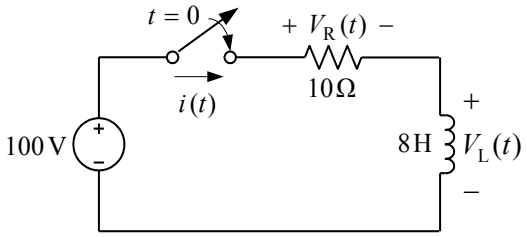
(1) Time Constant ของ วงจร

(2) $i(t)$ และ $V_{\text{R}}(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 1.5τ

(4) $V_{\text{R}}(t)$ ที่ $t = 0$, 0.1 s

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\text{R}}(t)$



รูปที่ 12.28 วงจร RL อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

วิธีทำ (1) หา Time Constant (τ) ; $\tau = \frac{L}{R} = \frac{8\text{ H}}{10\ \Omega} = 0.8\text{ s}$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_R(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E}{R}(1-e^{-t/\tau}) = \frac{100\text{ V}}{10\Omega}(1-e^{-t/0.8})$$

$$\therefore\ i(t) = 10(1-e^{-t/0.8})\text{ A}$$ .....**ตอบ**

และ $V_R(t) = E(1-e^{-t/\tau}) = 100(1-e^{-t/0.8})\text{ V}$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0\ ,\ 1.5\tau$

จากสมการ $i(t) = 10(1-e^{-t/0.8})\text{ A}$

$$i(0) = 10(1-e^{0})\text{ A} = 10(1-1)\text{ A} = 0\text{ A}$$ .....**ตอบ**

$$i(1.5\tau) = 10\text{ A}(1-e^{-1.5}) = 10\text{ A}(1-0.223) = 10\text{ A}(0.777) = 7.77\text{ A}$$ .....**ตอบ**

(4) $V_R(t)$ ที่ $t = 0\ ,\ 0.1\text{ s}$

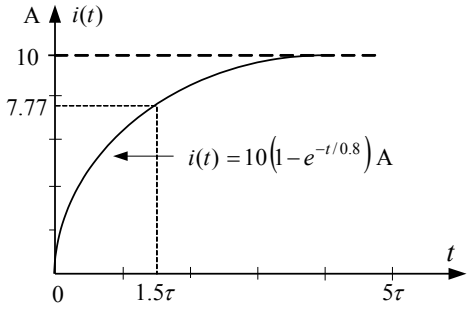
จากสมการ $V_R(t) = 100(1-e^{-t/0.8})\text{ V}$

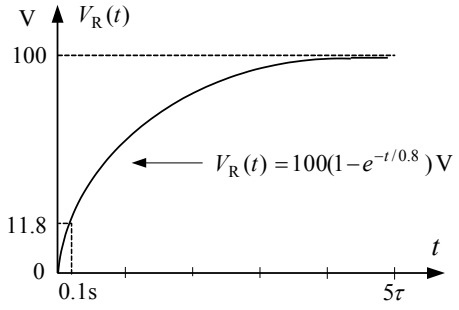
$$V_R(0) = 100(1-e^{0})\text{ V} = 100(1-1)\text{V} = 0\text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_R(0.1\text{s}) = 100(1-e^{-0.1/0.8})\text{ V} = 100(1-e^{-0.125})\text{V} = 100(1-0.882)\text{V}$$

$$V_R(0.1\text{s}) = 100(1-0.882)\text{V} = 100(0.118)\text{V} = 11.8\text{V}$$ .....**ตอบ**

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_R(t)$



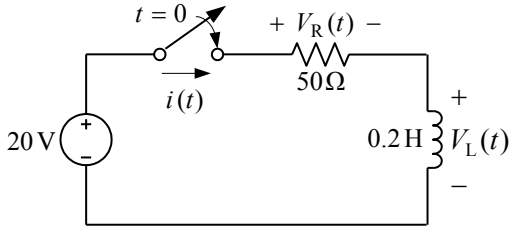


8. จากวงจรในรูปที่ 12.29 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 10 ms (4) $V_L(t)$ ที่ $t = 0$, 10 ms

(5) $V_R(t)$ ที่ $t = 0$, 10 ms (6) เขียนกราฟของ $V_L(t)$ และ $V_R(t)$



รูปที่ 12.29 วงจร RL อนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

วิธีทำ (1) หา Time Constant (τ) ; $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{0.2\ \text{H}}{50\ \Omega} = 4\ \text{ms}$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E}{R}(1-e^{-t/\tau}) = \frac{20\,\text{V}}{50\,\Omega}(1-e^{-t/4\,\text{ms}})$$

$$\therefore\ i(t) = 400(1-e^{-t/4\,\text{ms}})\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

และ $V_L(t) = E\,e^{-t/\tau} = 20e^{-t/4\,\text{ms}}\ \text{V}$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 10 ms

จากสมการ $i(t) = 400(1-e^{-t/4\,\text{ms}})\ \text{mA}$

$$i(0) = 400(1-e^{0})\ \text{mA} = 400(1-1)\,\text{mA} = 0\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(10\,\text{ms}) = 400(1-e^{-10/4})\ \text{mA} = 400(1-e^{-2.5})\,\text{mA} = 400(1-0.082)\ \text{mA}$$

$$i(10\,\text{ms}) = 400(1-0.082)\ \text{mA} = 400(0.918)\,\text{mA} = 367.2\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

(4) $V_L(t)$ ที่ $t = 0$, 10 ms

จากสมการ $V_L(t) = 20e^{-t/4\,\text{ms}}\ \text{V}$

$$V_L(0) = 20e^{0}\ \text{V} = 20(1)\ \text{V} = 20\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_L(10\,\text{ms}) = 20e^{-10/4}\ \text{V} = 20(e^{-2.5})\ \text{V} = 20(0.082)\,\text{V} = 1.64\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

(5) $V_R(t)$ ที่ $t = 0$, 10 ms

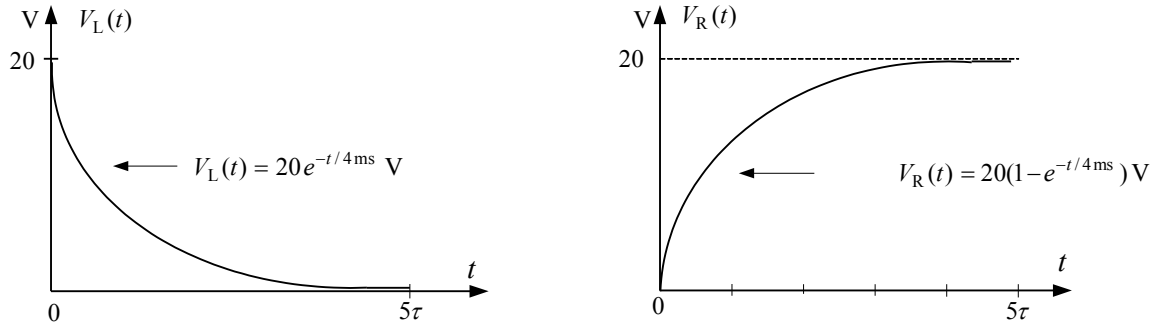
จาก KVL $V_R(0) = E - V_L(0)$

$$V_R(0) = 20\,\text{V} - 20\,\text{V} = 0\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

$$V_R(10\,\text{ms}) = E - V_L(10\,\text{ms})$$

$$V_R(10\,\text{ms}) = 20\,\text{V} - 1.64\,\text{V} = 18.36\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

(6) เขียนกราฟของ $V_L(t)$ และ $V_R(t)$



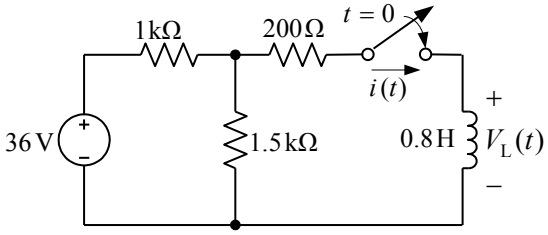
---

9. จากวงจรในรูปที่ 12.30 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

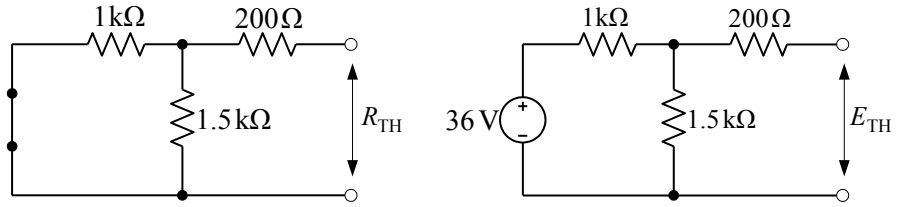
(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 3ms (4) $V_L(t)$ ที่ $t = 0$, 3ms

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_L(t)$



รูปที่ 12.30 วงจร RL ผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

วิธีทำ แปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน ดังนี้



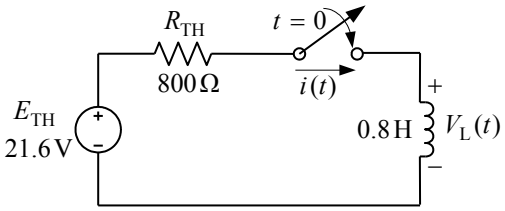
(ข) แสดงการหาความต้านทานเทวินิน (ค) แสดงหาแรงดันเทวินิน

รูปที่ 12.30 วงจร RL ผสมขณะแปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน

จากรูปที่ 12.30 (ข) $R_{TH} = 200\Omega + (1.5||1)\,\text{k}\Omega = 200\Omega + \dfrac{(1.5\times1)}{(1.5+1)}\dfrac{\text{k}\Omega^2}{\text{k}\Omega} = 800\ \Omega$

จากรูปที่ 12.30 (ค) $E_{TH} = \dfrac{(1.5\,\text{k}\Omega)}{(1.5+1)\,\text{k}\Omega}(36\,\text{V}) = \dfrac{1.5}{2.5}(36\,\text{V}) = 21.6\,\text{V}$

เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



(1) หา Time Constant (τ) ; $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{0.8\text{ H}}{800\ \Omega} = 1\text{ ms}$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E_{TH}}{R_{TH}}(1-e^{-t/\tau}) = \frac{21.6\text{ V}}{800\,\Omega}(1-e^{-t/1\text{ms}})$$

$$\therefore\ i(t) = 27(1-e^{-t/1\text{ms}})\text{ mA}$$ .....**ตอบ**

และ $V_L(t) = E_{TH}\,e^{-t/\tau}$

$$\therefore\ V_L(t) = 21.6(e^{-t/1\text{ms}})\text{ V}$$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0\text{ , }3\text{ms}$

จากสมการ $i(t) = 27(1-e^{-t/1\text{ms}})\text{ mA}$

$$i(0) = 27(1-e^{0})\text{ mA} = 27(1-1)\text{mA} = 0\text{ mA}$$ .....**ตอบ**

$$i(3\text{ms}) = 27(1-e^{-3/1})\text{ mA} = 27(1-e^{-3})\text{mA} = 27(1-0.049)\text{ mA}$$

$$i(3\text{ms}) = 27(1-0.049)\text{ mA} = 27(0.951)\text{mA} = 25.67\text{ mA}$$ .....**ตอบ**

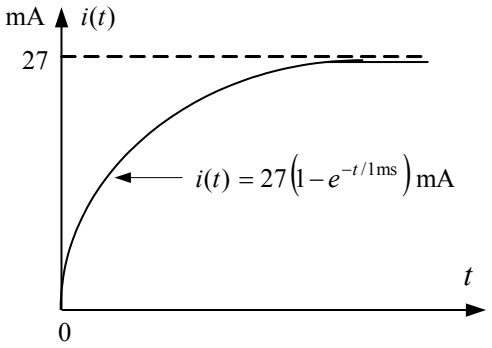
(4) $V_L(t)$ ที่ $t = 0\text{ , }3\text{ms}$

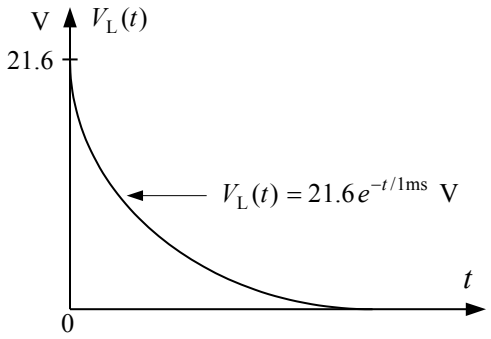
จากสมการ $V_L(t) = 21.6(e^{-t/1\text{ms}})\text{ V}$

$$V_L(0) = 21.6(e^{0})\text{V} = 21.6(1)\text{V} = 21.6\text{ V}$$ .....**ตอบ**

$$V_L(3\text{ms}) = 21.6(e^{-3/1})\text{V} = 21.6(e^{-3})\text{V} = 21.6(0.0497)\text{V} = 1.07\text{V}$$ .....**ตอบ**

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_L(t)$



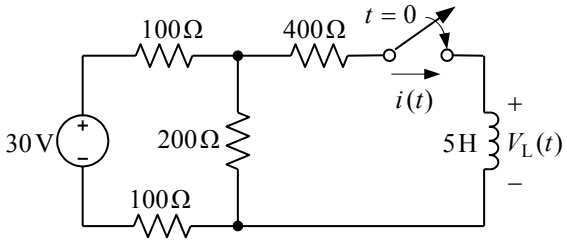


10. จากวงจรในรูปที่ 12.31 เมื่อสวิทซ์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหา

(1) Time Constant ของ วงจร (2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

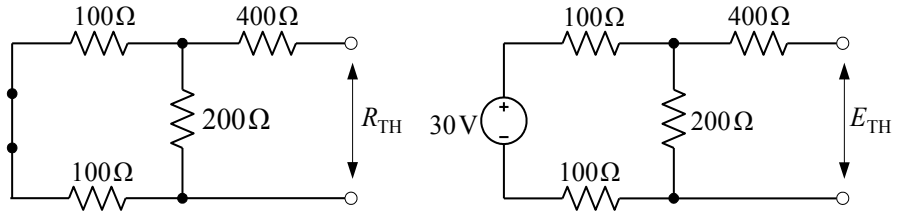
(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, 20 ms (4) $V_L(t)$ ที่ $t = 0$, 15 ms

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_L(t)$



รูปที่ 12.31 วงจร RL ผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

วิธีทำ แปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน ดังนี้



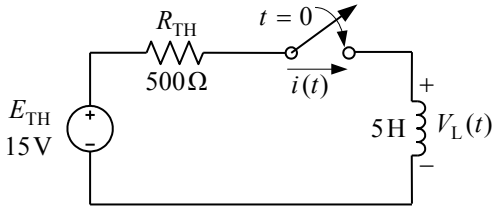
(ข) แสดงการหาความต้านทานเทวินิน (ค) แสดงหาแรงดันเทวินิน

รูปที่ 12.31 วงจร RL ผสมขณะแปลงเป็นวงจรสมมูลย์เทวินิน

จากรูปที่ 12.31 (ข) $R_{TH} = 400\Omega + (200 \,||\, 200)\Omega = 400\Omega + \dfrac{(200 \times 200)}{(200 + 200)} \dfrac{\Omega^2}{\Omega} = 500\ \Omega$

จากรูปที่ 12.31 (ค) $E_{TH} = \dfrac{(200\Omega)}{(200 + 200)\Omega}(30\,\text{V}) = \dfrac{2}{4}(30\,\text{V}) = 15\,\text{V}$

เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



(1) หา Time Constant (τ) ; $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{5\ \text{H}}{500\ \Omega} = 10\ \text{ms}$ .....**ตอบ**

(2) $i(t)$ และ $V_L(t)$ ในเทอมของ Time Constant

$$i(t) = \frac{E_{TH}}{R_{TH}}(1 - e^{-t/\tau}) = \frac{15\,\text{V}}{500\Omega}(1 - e^{-t/10\,\text{ms}})$$

$$\therefore\ i(t) = 30(1 - e^{-t/10\,\text{ms}})\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

และ $V_L(t) = E_{TH}\, e^{-t/\tau}$

$$\therefore\ V_L(t) = 15(e^{-t/10\,\text{ms}})\ \text{V}$$ .....**ตอบ**

(3) $i(t)$ ที่ $t = 0$, $20\,\text{ms}$

จากสมการ $i(t) = 30(1-e^{-t/10\,\text{ms}})$ mA

$i(0) = 30(1-e^{0})$ mA $= 30(1-1)\,\text{mA} = 0$ mA .....**ตอบ**

$i(20\,\text{ms}) = 30(1-e^{-20/10})$ mA $= 30(1-e^{-2})\,\text{mA} = 30(1-0.135)$ mA

$i(20\,\text{ms}) = 30(1-0.135)$ mA $= 30(0.865)\,\text{mA} = 25.95$ mA .....**ตอบ**

(4) $V_{\text{L}}(t)$ ที่ $t = 0$, $15\,\text{ms}$

จากสมการ $V_{\text{L}}(t) = 15(e^{-t/10\,\text{ms}})$ V

$V_{\text{L}}(0) = 15(e^{0})\,\text{V} = 15(1)\,\text{V} = 15$ V .....**ตอบ**

$V_{\text{L}}(15\,\text{ms}) = 15(e^{-15/10})\,\text{V} = 15(e^{-1.5})\,\text{V} = 15(0.223)\,\text{V} = 3.34\,\text{V}$ .....**ตอบ**

(5) เขียนกราฟของ $i(t)$ และ $V_{\text{L}}(t)$