

เอกสารประกอบการบรรยาย: วิชา 2304102 ฟิสิกส์ทั่วไป 2
 ครั้งที่ 13 ภาคการศึกษาปลาย พ.ศ. 2551
 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2551

สารบัญ

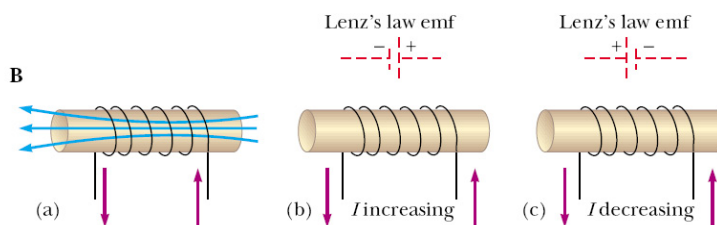
1 ขดลวดเหนี่ยวนำ

1

1 ขดลวดเหนี่ยวนำ

การเหนี่ยวนำตัวเอง

การเหนี่ยวนำตัวเอง (self-inductance): เกิดจากการที่กระแสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ซึ่งจากกฎของเลนส์การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น



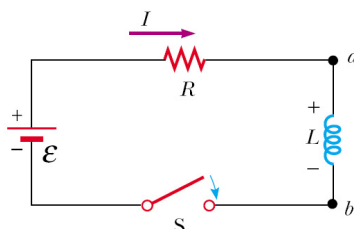
$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$$

ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า

ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (inductance, L): อัตราส่วนระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำกับอัตราของกระแสไฟฟ้าต่อเวลา มีหน่วยเป็น เฮนรี (H, V.s/A)

$$L = \frac{\varepsilon_L}{dI/dt}$$

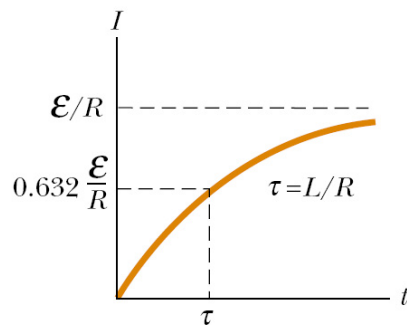
วงจร RL 1



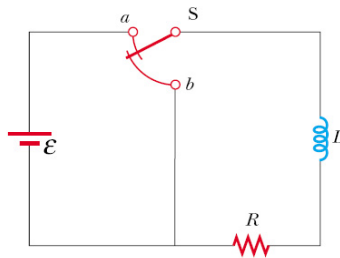
จากกฎของเคิร์ชฮอฟ

$$\begin{aligned}\varepsilon - IR - L \frac{dI}{dt} &= 0 \\ I &= \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-t/\tau}) \\ \tau &= \frac{L}{R}\end{aligned}$$

กราฟระหว่างกระแสกับเวลาในวงจร RL 1



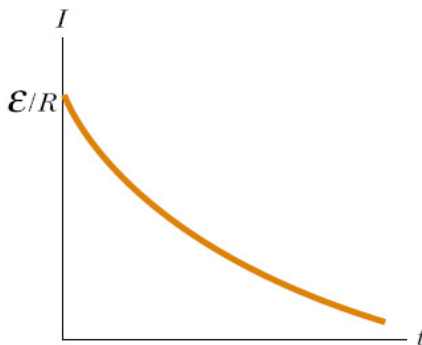
วงจร RL 2



จากกฎของเคิร์ชฮอฟ

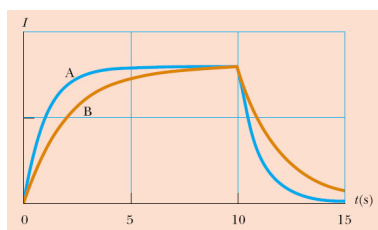
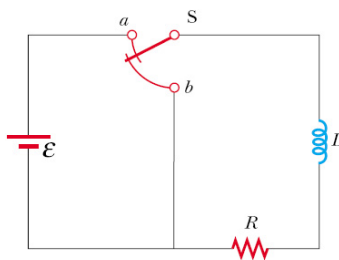
$$\begin{aligned}IR + L \frac{dI}{dt} &= 0 \\ I &= \frac{\varepsilon}{R} (e^{-t/\tau}) \\ &= I_0 (e^{-t/\tau}) \\ \tau &= \frac{L}{R}\end{aligned}$$

กราฟระหว่างกระแสกับเวลาในวงจร RL 2

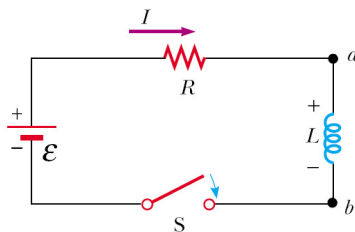


ตัวอย่าง

วงจรสองอันมีลักษณะทุกอย่างเหมือนกันยกเว้นค่าของ L ถ้าที่ $t = 0$ สวิตช์ S อยู่ที่ตำแหน่ง a และที่ $t = 10$ s สวิตช์ S ถูกโยกไปที่ตำแหน่ง b จะได้กราฟดังรูป จงหาค่า L ในวงจรทั้งสอง เหมือนหรือต่างกันอย่างไร



พลังงานในสนามแม่เหล็ก



$$I\varepsilon = I^2R + LI\frac{dI}{dt}$$

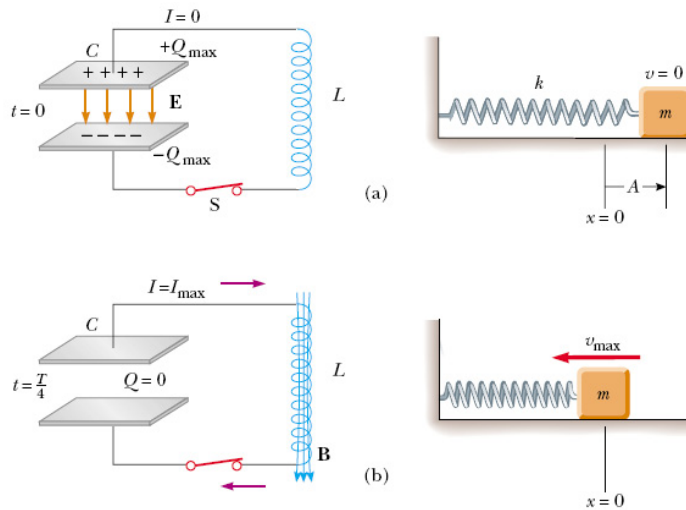
จาก $I\varepsilon$ คือ อัตราพลังงานที่จ่ายโดยแบตเตอรี่ I^2R คือ อัตราพลังงานที่มาถึงตัวต้านทาน $LI\frac{dI}{dt}$ ก็คือ อัตราการสะสมพลังงานของตัวเหนี่ยวนำ

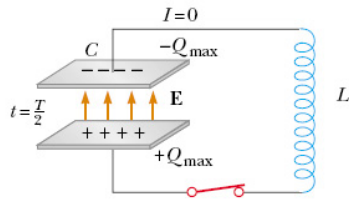
$$dU = LI dI$$

$$U = \int_0^I LI dI$$

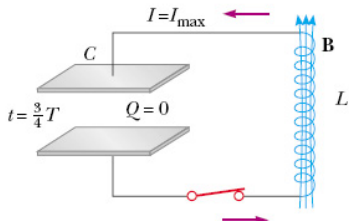
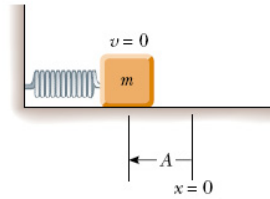
$$= \frac{1}{2}LI^2$$

ออสซิลเลชันในวงจร LC

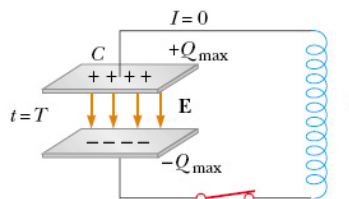
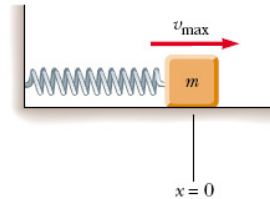




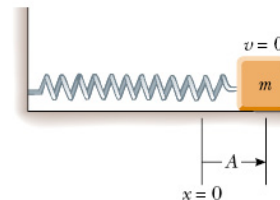
(c)



(d)



(e)



เมื่อเก็บประจุในตัวเก็บประจุไว้เต็มที่แล้วปิดสวิตช์ ในวงจร LC (ไม่คิดความต้านทานของลวดตัวนำ) จะพบว่า ตัวเก็บประจุจะคายประจุทำให้เกิดไฟฟ้า ระหว่างที่คายประจุหมายความว่าพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุจะลดลง เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น นั่นหมายความว่าพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุในรูปของสนามไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานของขดลวดเหนี่ยวนำในรูปของสนามแม่เหล็ก เมื่อพลังงานของตัวเก็บประจุเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในขดลวดเหนี่ยวนำจนหมด ตัวเก็บประจุก็จะว่างอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งตัวเก็บประจุจะพร้อมที่จะจุประจุใหม่ ในเวลาดังกล่าวกระแสไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปในทิศเดิมและไปสะสมที่ตัวเก็บประจุอีกครั้ง เกิดการกลับหัวของตัวเก็บประจุขึ้น เมื่อตัวเก็บประจุสะสมประจุจนเต็ม หรือ พลังงานในขดลวดเปลี่ยนเป็นพลังงานในตัวเก็บประจุจนหมด ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับไปทำให้พลังงานเริ่มสะสมในขดลวดอีกครั้ง

หนึ่ง เป็นอย่างนี้กลับไปกลับมา

ปริมาณประจุที่เวลาใดๆ

จากพลังงานรวมในวงจร

$$U = U_C + U_L = \frac{1}{2}C(\Delta V)^2 + \frac{1}{2}LI^2$$
$$\frac{dU}{dt} = \frac{Q}{C} \frac{dQ}{dt} + LI \frac{dI}{dt} = 0$$

และ $I = \frac{dQ}{dt}$

$$\frac{Q}{C}I + LI \frac{d^2Q}{dt^2} = 0$$
$$\frac{Q}{C} + L \frac{d^2Q}{dt^2} = 0$$

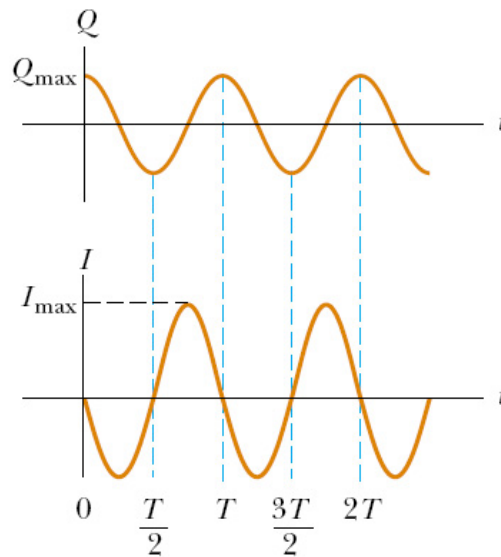
$$\frac{d^2Q}{dt^2} = -\frac{1}{LC}Q$$

$$Q = Q_{max} \cos(\omega t + \phi)$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega Q_{max} \sin(\omega t + \phi)$$

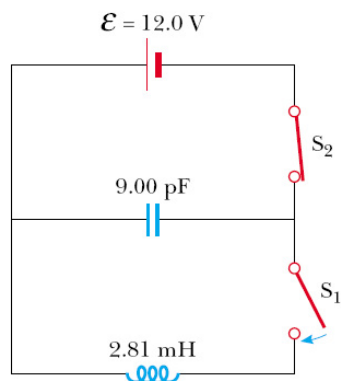
$$= -I_{max} \sin(\omega t + \phi)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



ตัวอย่าง

จงหาความถี่ของออสซิลเลชัน ค่าประจุสูงสุด และค่ากระแสสูงสุดของวงจรนี้



หาความถี่ของออสซิลเลชัน

$$\begin{aligned} f &= \frac{\omega}{2\pi} \\ &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ &= 1.00 \times 10^{-6} \text{ Hz} \end{aligned}$$

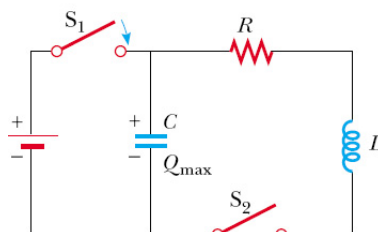
ประจุสูงสุดหาได้

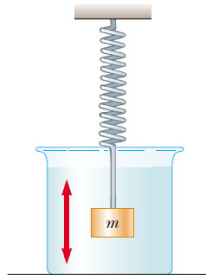
$$\begin{aligned} Q_{max} &= C(\Delta V) \\ &= 1.08 \times 10^{-10} \text{ C} \end{aligned}$$

กระแสสูงสุดหาได้จาก

$$\begin{aligned} I_{max} &= \omega Q_{max} \\ &= 6.79 \times 10^{-4} \text{ A} \end{aligned}$$

วงจร RLC



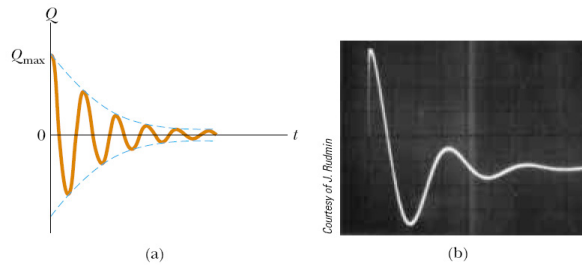


สมการของวงจร RLC

จากพลังงานรวมของวงจร

$$LI \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} \frac{dQ}{dt} = -I^2 R$$

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = 0$$



ในวงจร RLC ตัว R จะทำหน้าที่เหมือนตัวหน่วงของระบบทำให้แอมพลิจูดของระบบค่อยๆ ลดลงไป ประโยชน์ของวงจร LC, RLC อย่างหนึ่งก็คือการเลือกสัญญาณที่มีความถี่ที่ต้องการไปใช้งาน โดยเลือกค่า LC ให้เหมาะสมกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร ซึ่งสัญญาณที่มีความถี่เดียวกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร วงจรจะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณสูงที่สุด