

บทที่ 8

ไฟฟ้ากระแสสลับ

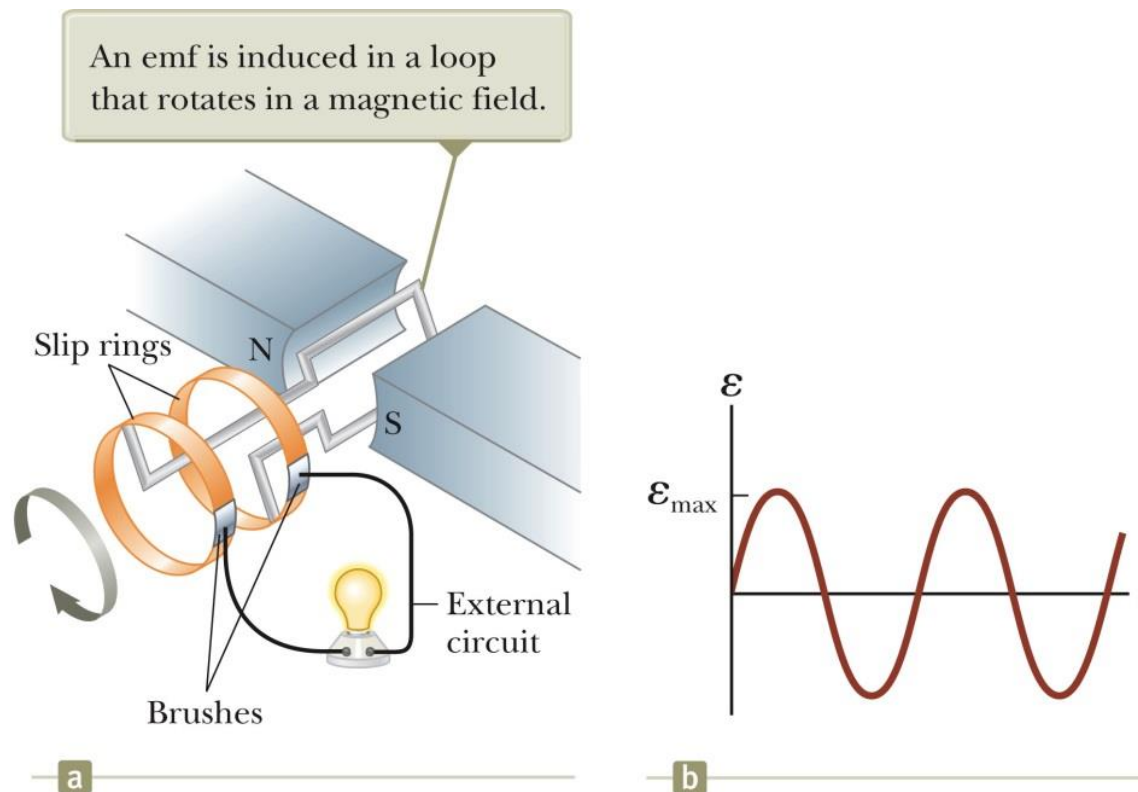
General Physics II

01420112

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิศร์ ตั้งเจริญ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- การค้นพบของฟาราเดย์ทำให้สามารถพัฒนาวิธีเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้เป็นผลสำเร็จ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)



เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

$$\phi_B = BA \cos \theta$$

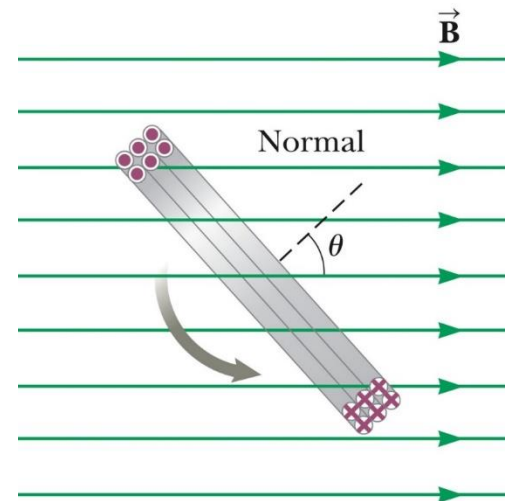
θ คือมุมระหว่างสนามแม่เหล็กกับพื้นที่ของวงขดลวดตัวนำ โดยที่เวลา t ใดๆ เมื่อขดลวดหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω จะได้

$$\theta = \theta_0 + \omega t \quad (\text{เมื่อ } \theta_0 \text{ คือมุม } \theta \text{ ที่เวลา } t = 0)$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\phi_B}{dt} = -N \frac{d}{dt} (BA \cos \omega t)$$

$$\mathcal{E} = NBA \sin \omega t$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega t$$



แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ) จะให้แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในรูปแบบของคลื่นรูปไซน์ดังสมการ

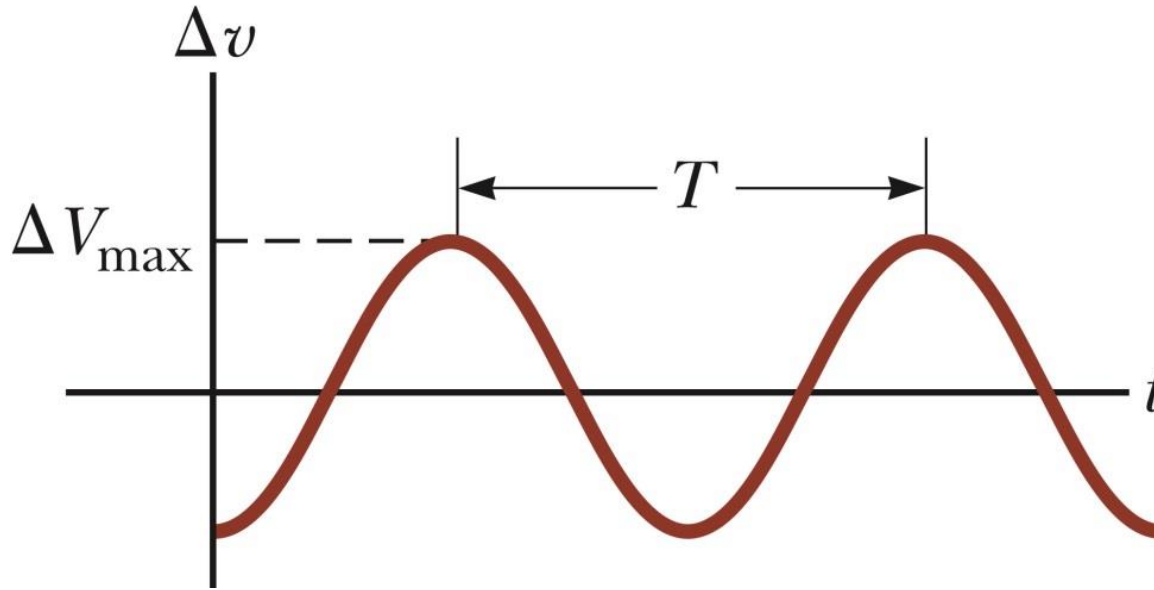
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega t$$

ซึ่ง \mathcal{E}_{\max} คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแหล่งกำเนิด หรือแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า (voltage amplitude) ซึ่งเป็นค่าคงตัว โดยสมการข้างต้นนิยมแสดงในอีกรูปแบบคือ

$$\Delta V = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$


ในการกล่าวต่อไปจะใช้ ΔV แทน \mathcal{E} และ ΔV_{\max} แทน \mathcal{E}_{\max}

แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

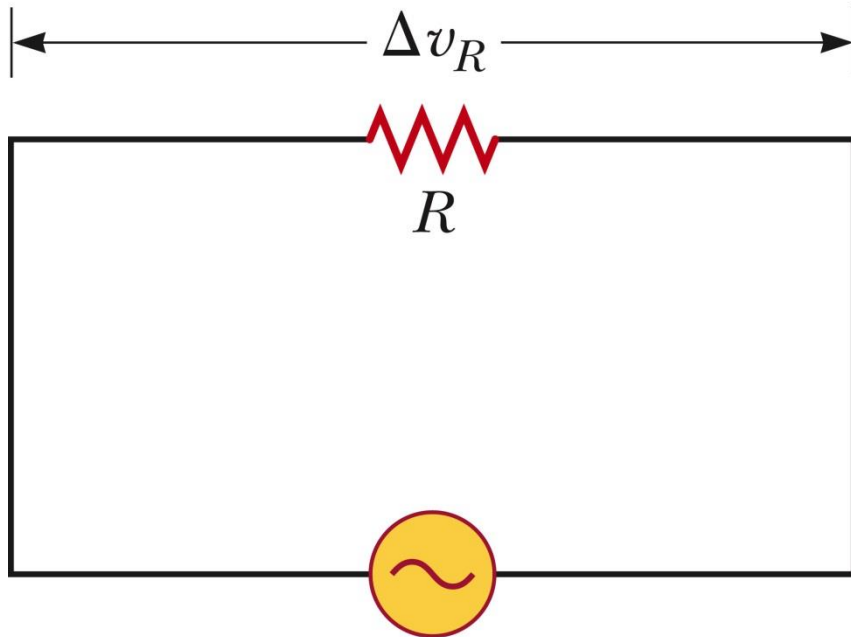


$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

(ประเทศไทยใช้ความถี่ 50-60 Hz)

- ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาคือแอมพลิจูด
- สัญลักษณ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 
- ω คือความถี่เชิงมุมของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิด

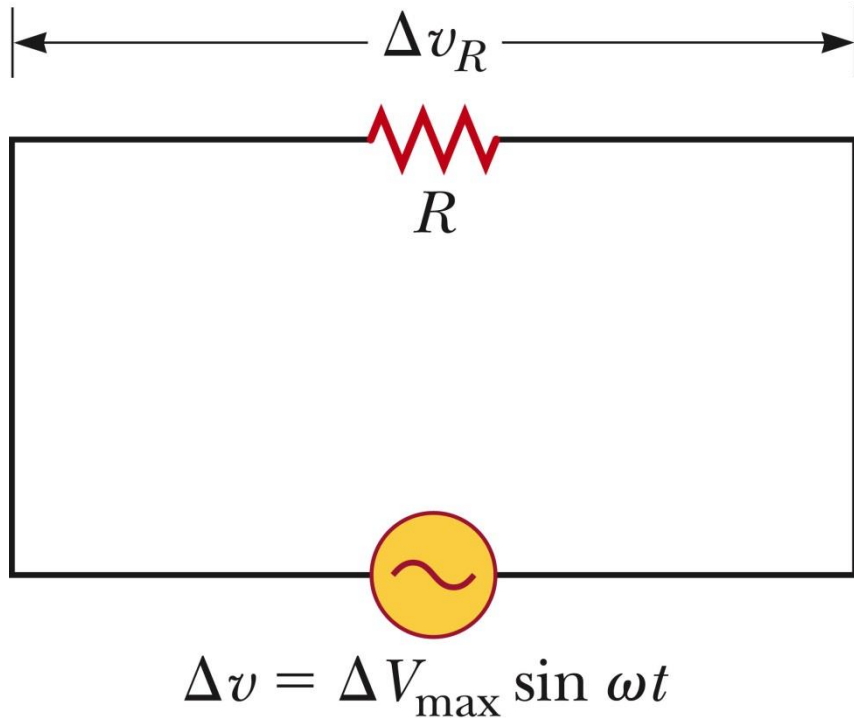
$$\Delta v_R = \Delta v$$

$$\Delta v_R = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

กระแสไฟฟ้าที่เวลาขณะใดขณะหนึ่งในตัวต้านทานคือ

$$i_R = \frac{\Delta v}{R} = \frac{\Delta V_{\max} \sin \omega t}{R} = I_{\max} \sin \omega t$$

ตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



เมื่อกระแสไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ

$$I_{\max} = \frac{\Delta V_{\max}}{R}$$

จากสมการ

$$\Delta v_R = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

จึงสรุปได้ว่า

$$\Delta v_R = I_{\max} R \sin \omega t$$

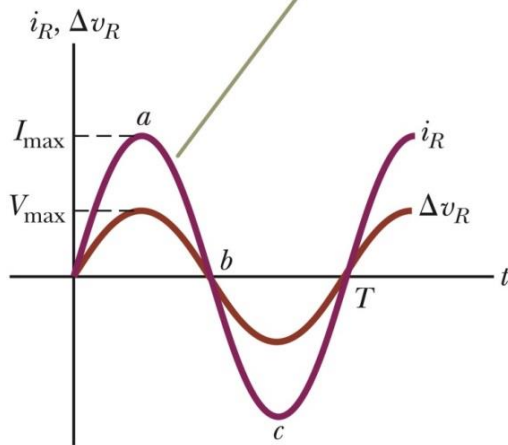
ตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

$$\Delta v_R = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

$$i_R = I_{\max} \sin \omega t$$

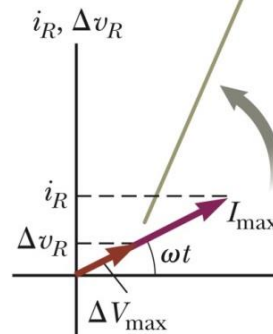
เมื่อนำทั้ง 2 สมการข้างต้นมาวาดกราฟเทียบกับเวลาจะได้กราฟคล้ายกันแต่แอมพลิจูดต่างกัน โดยที่ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่ามากหรือน้อย แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่ามากหรือน้อยตามไปด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเรียกการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวว่า “กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีเฟสตรงกัน” และเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

The current and the voltage are in phase: they simultaneously reach their maximum values, their minimum values, and their zero values.



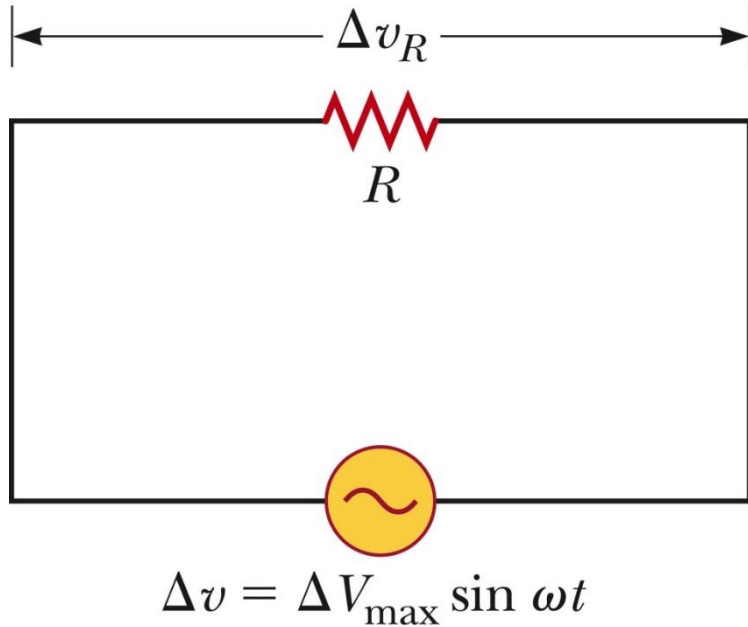
a

The current and the voltage phasors are in the same direction because the current is in phase with the voltage.



b

ตัวอย่างที่ 8.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปประกอบด้วยตัวต้านทานขนาด $100\ \Omega$ ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า Δv_{\max} เท่ากับ $20\ \text{V}$ ที่ความถี่ $50\ \text{Hz}$ จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า แอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า ที่ตกคร่อมและไหลผ่านตัวต้านทานดังกล่าว

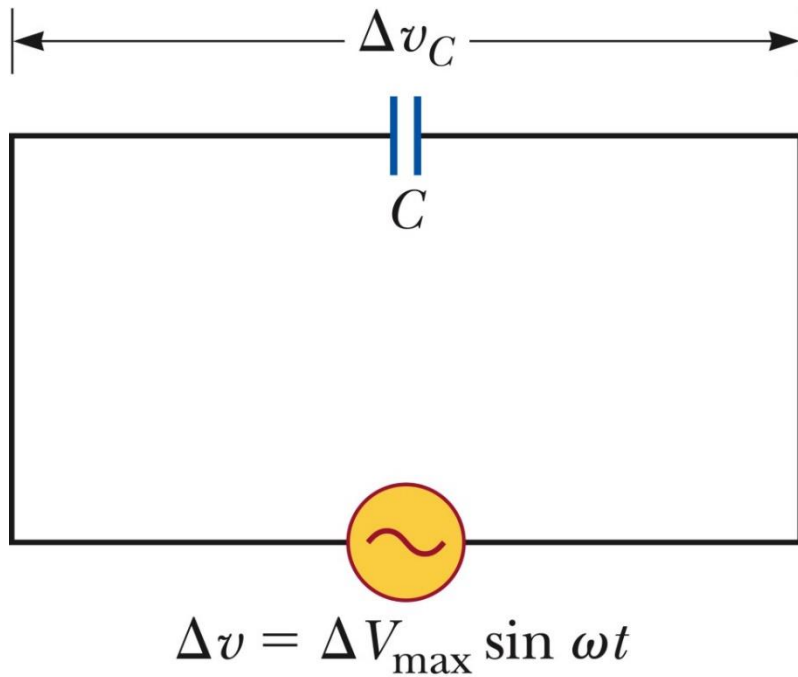


ค่ายังผลของกระแส

- เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าในวงจรกระแสไฟฟ้าสลับมีค่าที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงอาจกำหนดให้มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าดังกล่าวขึ้นมา ซึ่งเรียกว่า **ค่ายังผล** (effective value) หรือมักเรียกว่า **รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกระแยกกำลังสอง** (root mean square current, rms current)

$$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707I_{max} \quad \Delta V_{rms} = \frac{\Delta V_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707V_{max}$$

ตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



กำหนดให้ q เป็นประจุขณะใดขณะหนึ่งบนตัวเก็บประจุ C แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าดังสมการ

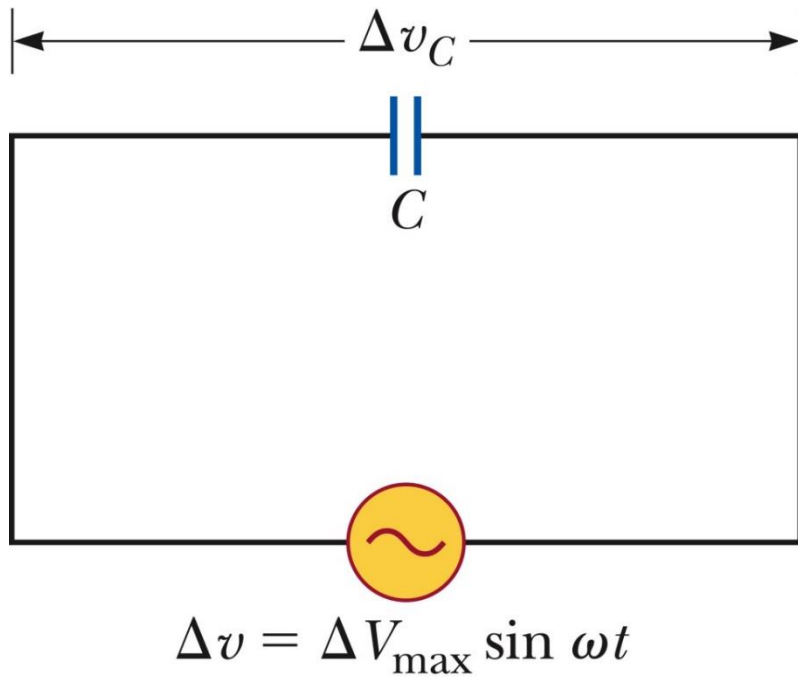
$$\Delta v_C = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

$$\frac{q}{C} = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของประจุเทียบกับเวลา

$$\frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} (C \Delta V_{\max} \sin \omega t)$$

ตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



$$\frac{dq}{dt} = (\omega C) \Delta V_{\max} \cos \omega t$$

เมื่อ $\frac{dq}{dt} = i$

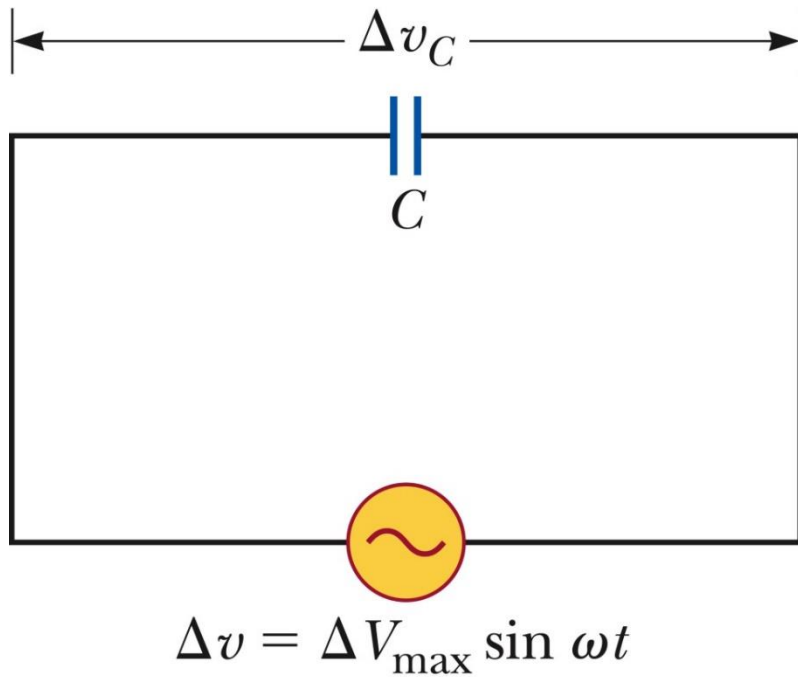
$$i_C = \frac{\Delta V_{\max}}{(1/\omega C)} \cos \omega t$$

เรียกปริมาณ $1/\omega C$ ว่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ (capacitive reactance)

นิยมเขียนแทนด้วย X_C ซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

ตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



$$i_C = \frac{\Delta V_{\max}}{(1/\omega C)} \cos \omega t$$

เมื่อใช้สัญลักษณ์ตรีโกณมิติ

$$\cos \omega t = \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

จึงได้ว่า $i_C = \omega C \Delta V_{\max} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$

เมื่อ $\omega C \Delta V_{\max}$ คือกระแสไฟฟ้าสูงสุดในวงจร

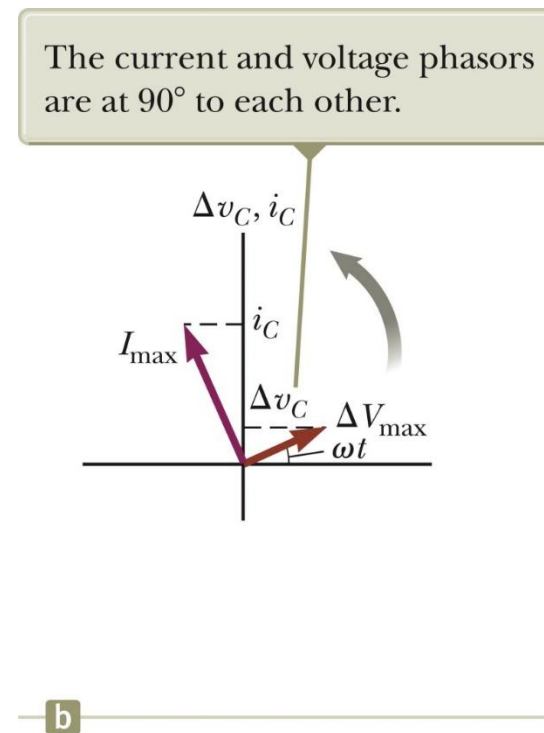
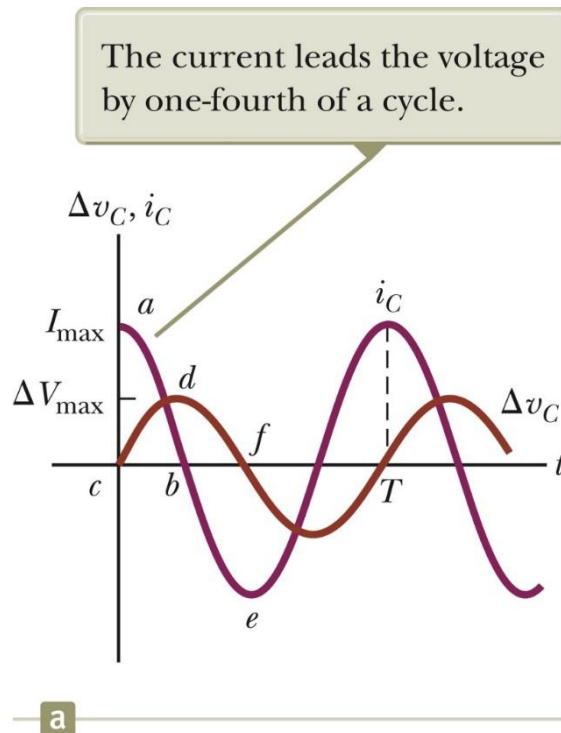
ซึ่งเขียนแทนด้วย I_{\max} จึงได้ว่า

$$i_C = I_{\max} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

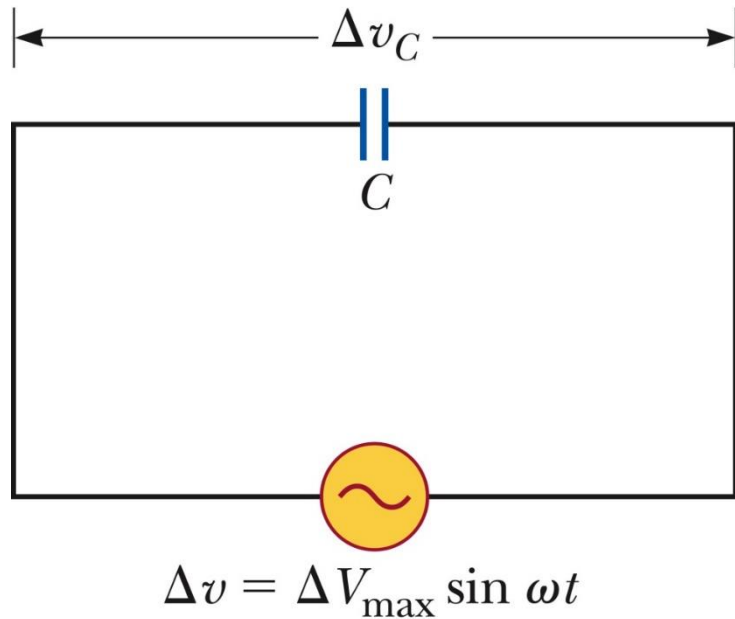
ตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

$$\Delta v_C = \Delta V_{\max} \sin \omega t \qquad i_C = I_{\max} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

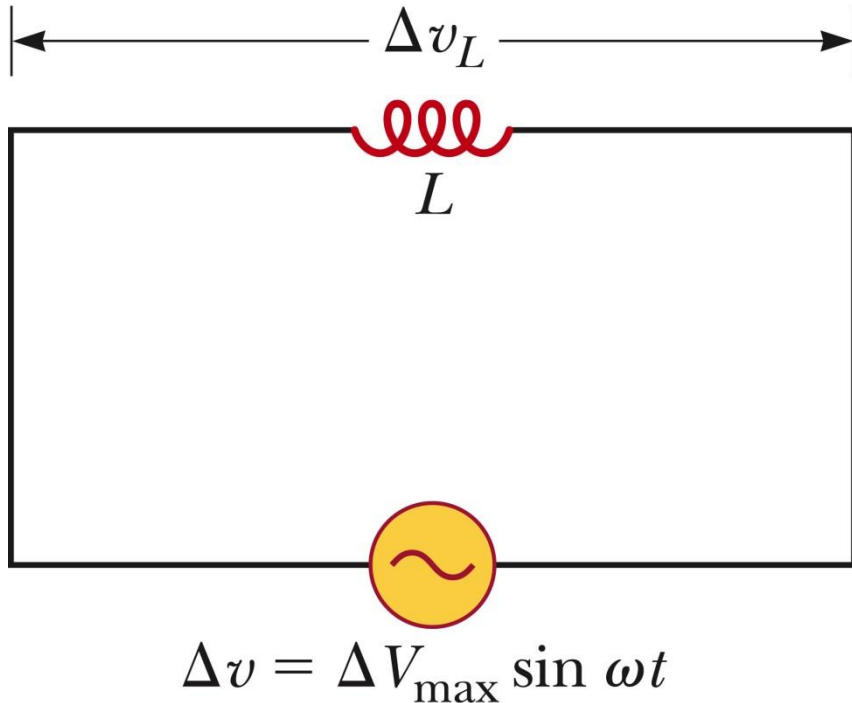
เมื่อนำทั้ง 2 สมการข้างต้นมาวาดกราฟเทียบกับเวลาจะพบว่ากระแสไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน $\pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$ กับศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ รวมทั้งกราฟดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่ากระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดก่อนการเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดของศักย์ไฟฟ้าเป็นเวลาหนึ่งในสี่ของรอบ



ตัวอย่างที่ 8.2 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปประกอบด้วยตัวเก็บประจุขนาด $4\ \mu\text{F}$ ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า Δv_{max} เท่ากับ $20\ \text{V}$ ที่ความถี่ $50\ \text{Hz}$ จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า แอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า ที่ตกคร่อมและไหลผ่านตัวเก็บประจุดังกล่าว



ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



กำหนดให้ L เป็นตัวเหนี่ยวนำที่ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

$$\Delta v + \Delta v_L = 0$$

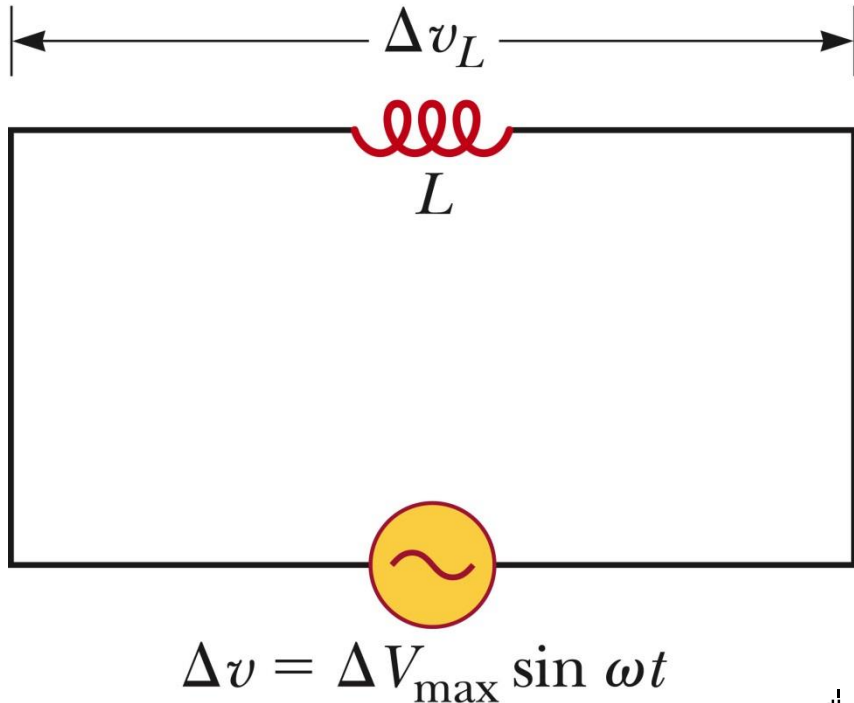
เนื่องจาก $\Delta v_L = -L(di_L/dt)$

จึงได้ว่า

$$\Delta v = L \frac{di}{dt} = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{\Delta V_{\max}}{L} \sin \omega t$$

ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



อินทิเกรตสมการข้างต้นจะได้กระแสไฟฟ้า
ในขณะใดขณะหนึ่ง i_L ในตัวเหนี่ยวนำที่เป็น
ฟังก์ชันของเวลาดังสมการ

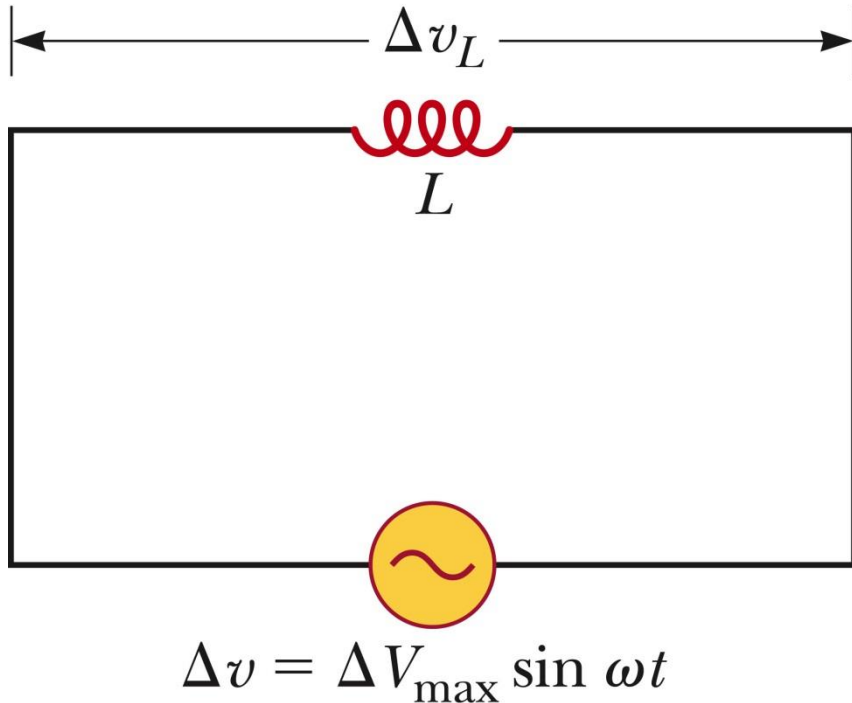
$$i_L = \frac{\Delta V_{\max}}{L} \int \sin \omega t dt$$

$$i_L = -\frac{\Delta V_{\max}}{\omega L} \cos \omega t$$

เมื่อใช้สัญลักษณ์ตรีโกณมิติ $\cos \omega t = -\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

จึงได้ว่า
$$i_L = \frac{\Delta V_{\max}}{\omega L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



$$i_L = \frac{\Delta V_{\max}}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

เรียกปริมาณ ωL ว่าความต้านทานไฟฟ้าของ
ตัวเหนี่ยวนำ (capacitive inductance)

นิยมเขียนแทนด้วย X_L ซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม

$$X_L = \omega L$$

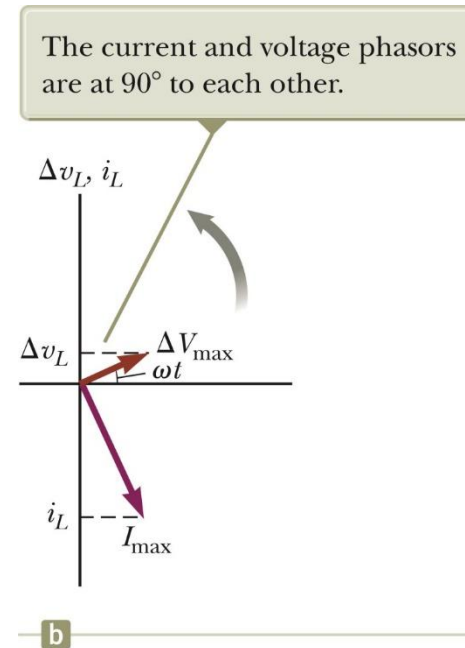
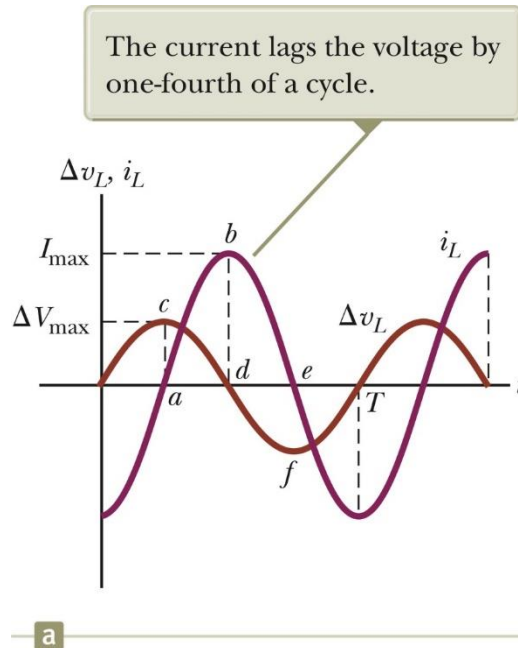
นอกจากนั้นจากสมการ $i_L = -\frac{\Delta V_{\max}}{\omega L} \cos \omega t$ จะพบว่ากระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่าสูงสุด

เมื่อ $\cos \omega t = \pm 1$ จึงได้ว่า $I_{\max} = \frac{\Delta V_{\max}}{\omega L}$

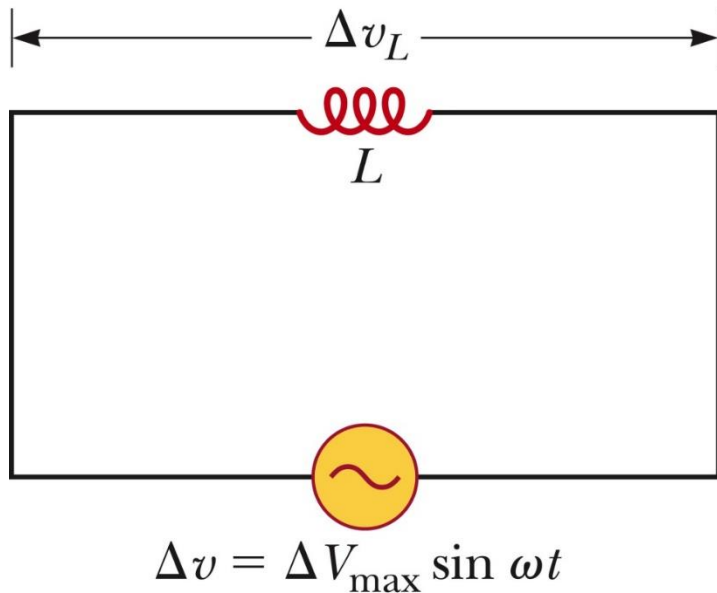
ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

$$\Delta v_L = \Delta V_{\max} \sin \omega t \qquad i_L = \frac{\Delta V_{\max}}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

เมื่อนำทั้ง 2 สมการข้างต้นมาวาดกราฟเทียบกับเวลาจะพบว่ากระแสไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน $\pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$ กับศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำตามหลังศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังกล่าว 90 องศาเสมอ) รวมทั้งกราฟดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุดนั้น กระแสไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงชั่วครู่หนึ่ง ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจึงเป็นศูนย์

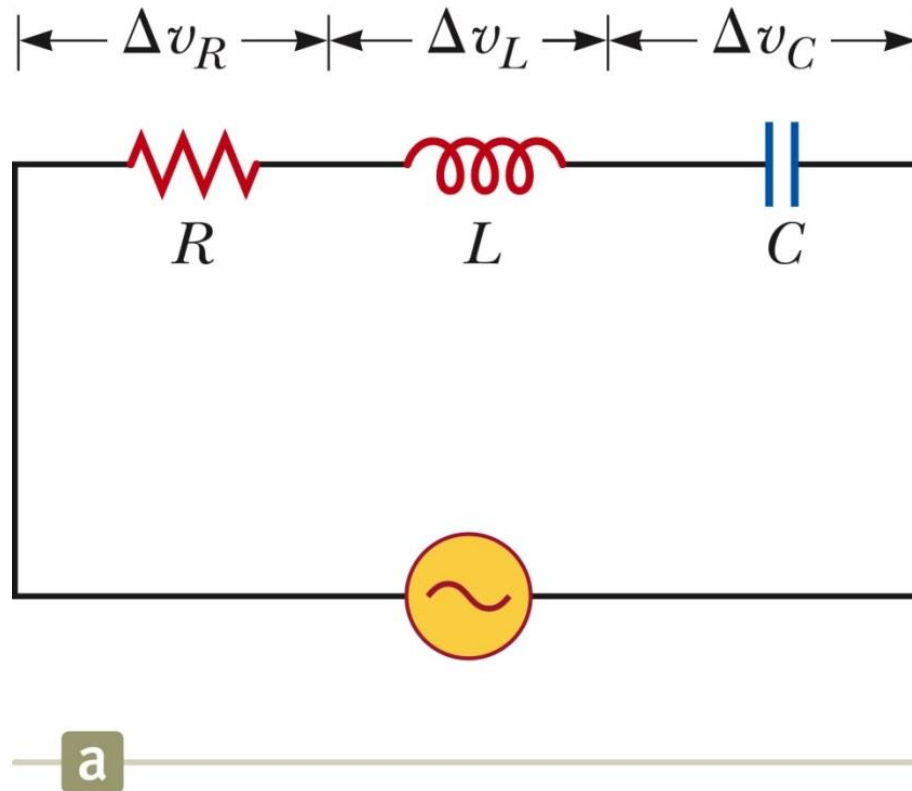


ตัวอย่างที่ 8.3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำขนาด 400 mH ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า Δv_{\max} เท่ากับ 20 v ที่ความถี่ 50 Hz จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า แอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า ที่ตกคร่อมและไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ดังกล่าว



วงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

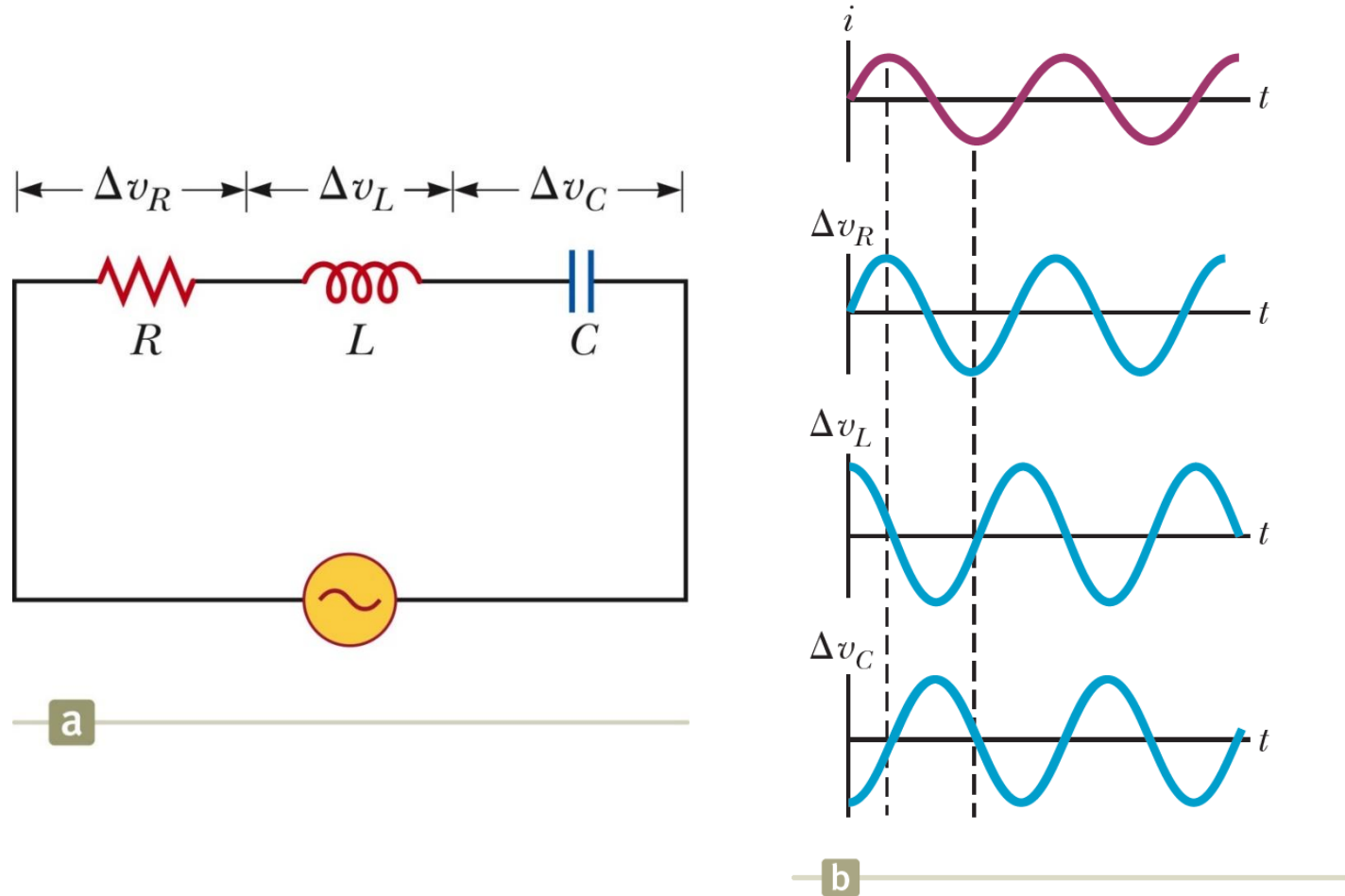
(The RLC Series Circuit)



- กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) จะมีค่าเท่ากัน
- ศักย์ไฟฟ้ารวม (V_{total}) จะมีค่าเท่ากับเวกเตอร์ผลรวมของ V_R V_L และ V_C
- ผลรวมของ R X_L และ X_C จะถูกเรียกว่า **ความต้านทานอิมพีแดนซ์ (impedance, Z)**

วงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

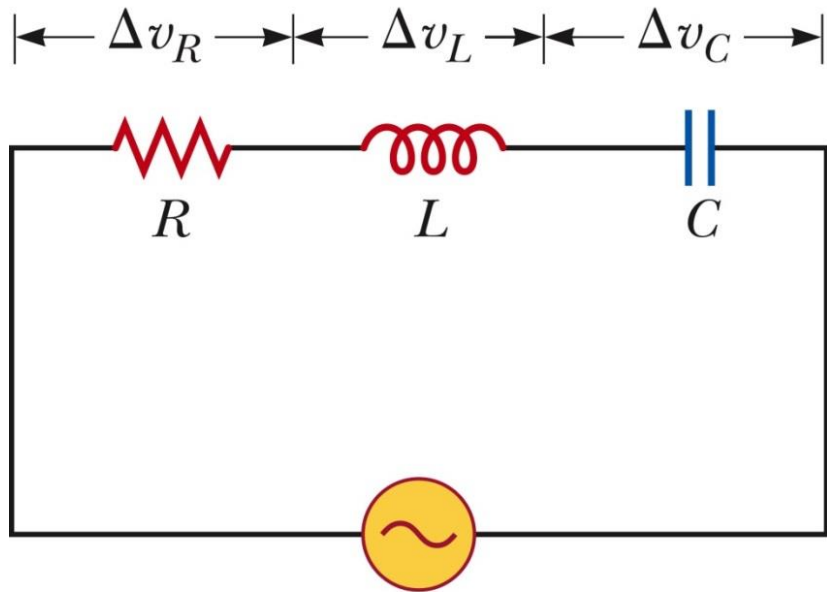
(The RLC Series Circuit)



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาที่ตกคร่อมอุปกรณ์แต่ละส่วนในวงจรและความสัมพันธ์ของเฟสกับกระแส ถ้าอุปกรณ์แต่ละส่วนต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

(The RLC Series Circuit)



ศักย์ไฟฟ้าขณะใดขณะหนึ่งที่ตกคร่อมอุปกรณ์
ไฟฟ้าทั้งสามชนิดแสดงได้ดังสมการ

$$\Delta v_R = I_{\max} R \sin \omega t = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

$$\Delta v_L = I_{\max} X_L \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \Delta V_{\max} \cos \omega t$$

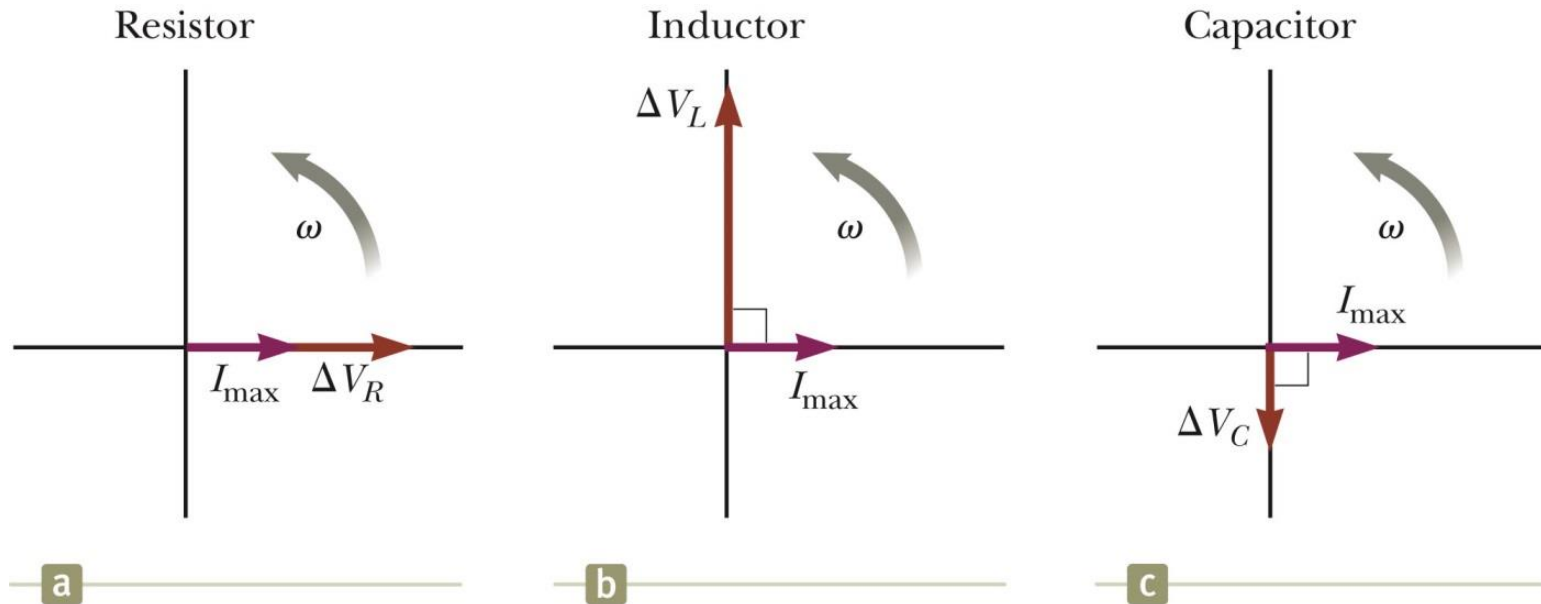
$$\Delta v_C = I_{\max} X_C \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = -\Delta V_{\max} \cos \omega t$$

a

โดยศักย์ไฟฟ้ารวมจะมีค่าเท่ากับ $\Delta V_{total} = \Delta v_R + \Delta v_L + \Delta v_C$

ซึ่งก็คือแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในวงจรดังกล่าว

วงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (The RLC Series Circuit)

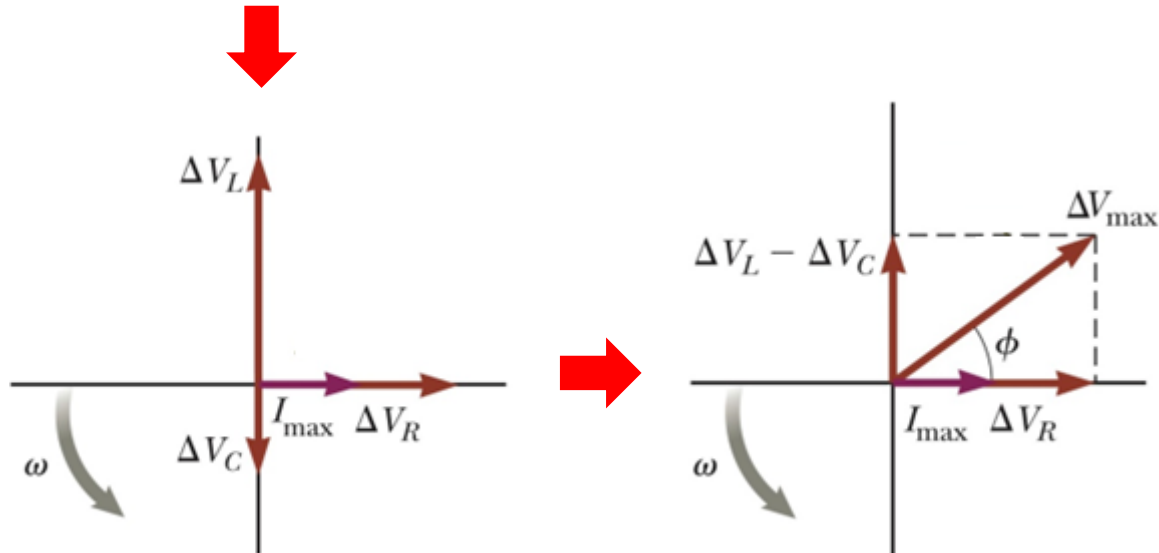
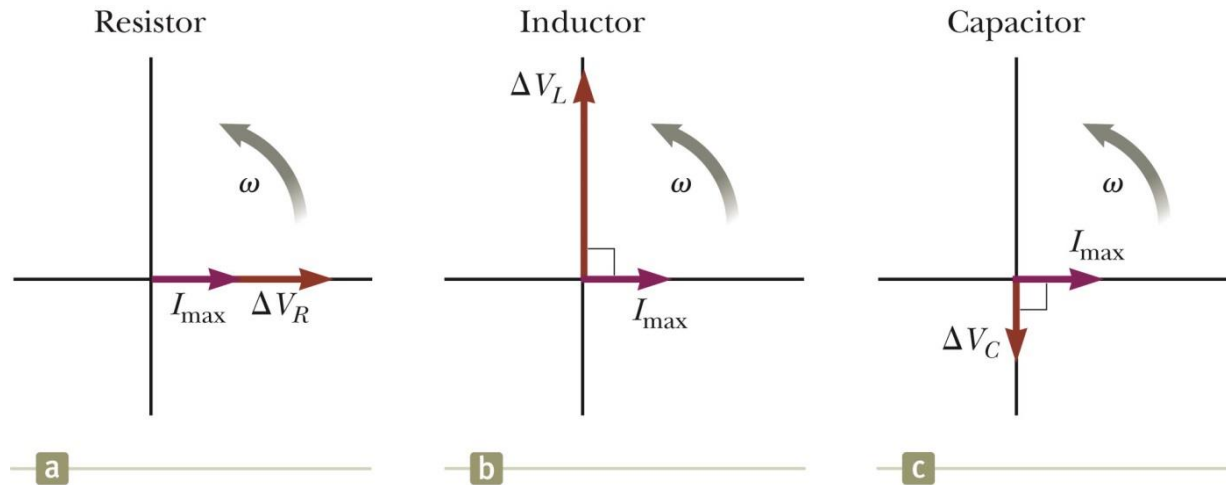


$$\Delta v_R = I_{\max} R \sin \omega t = \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

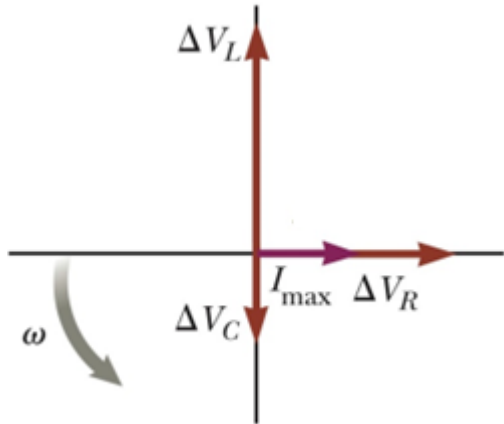
$$\Delta v_L = I_{\max} X_L \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \Delta V_{\max} \cos \omega t$$

$$\Delta v_C = I_{\max} X_C \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = -\Delta V_{\max} \cos \omega t$$

วงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (The RLC Series Circuit)



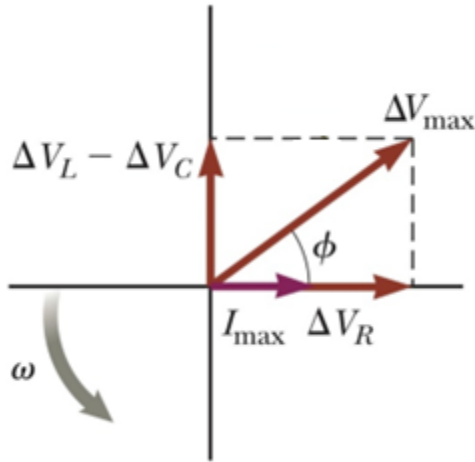
วงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (The RLC Series Circuit)



$$\Delta V_{\max} = \sqrt{(\Delta v_R)^2 + [(\Delta v_L)^2 - (\Delta v_C)^2]}$$

$$\Delta V_{\max} = \sqrt{(I_{\max}R)^2 + [(I_{\max}X_L)^2 - (I_{\max}X_C)^2]}$$

$$\Delta V_{\max} = I_{\max}\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$



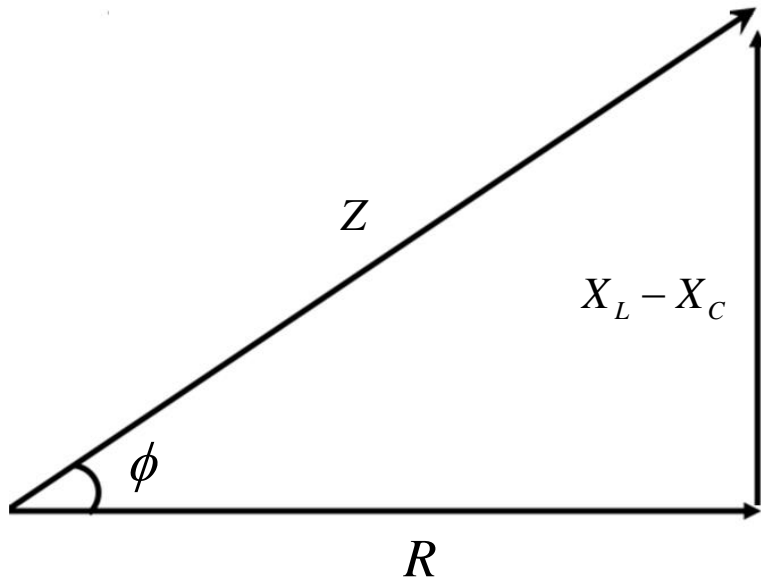
เมื่อ $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$$\Delta V_{\max} = I_{\max}Z$$

วงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

(The RLC Series Circuit)

- สามารถหาค่ามุม ϕ จากค่าศักย์ไฟฟ้าหรือความต้านทานอิมพีแดนซ์ได้ดังสมการ



$$\tan \phi = \frac{\Delta v_L - \Delta v_C}{\Delta v_R}$$

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta v_L - \Delta v_C}{\Delta v_R} \right)$$







$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right)$$

วงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

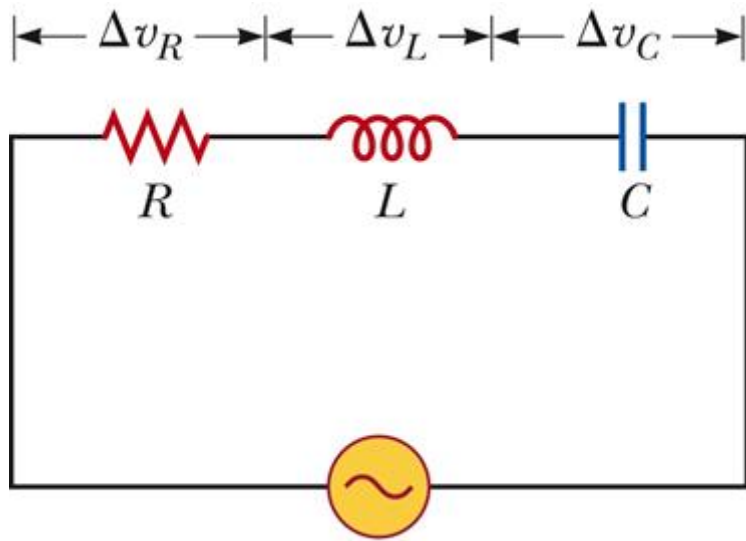
(The RLC Series Circuit)

หากในวงจรมีอุปกรณ์ชนิดใดมากกว่า 1 ตัว ให้พิจารณาคิดทีละอุปกรณ์และหาผลรวมของอุปกรณ์ดังกล่าวก่อน จากนั้นจึงเริ่มคำนวณอุปกรณ์ถัดไปโดยที่

- ตัวต้านทาน \rightarrow รวมแบบอนุกรมหรือขนาน
- ตัวเหนี่ยวนำ \rightarrow รวมโดยใช้วิธีเดียวกับความต้านทาน
- ตัวเก็บประจุ \rightarrow รวมแบบอนุกรมหรือขนาน

Impedance Values and Phase Angles for Various Circuit-Element Combinations ^a		
Circuit Elements	Impedance Z	Phase Angle ϕ
	R	0°
	X_C	-90°
	X_L	$+90^\circ$
	$\sqrt{R^2 + X_C^2}$	Negative, between -90° and 0°
	$\sqrt{R^2 + X_L^2}$	Positive, between 0° and 90°
	$\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	Negative if $X_C > X_L$ Positive if $X_C < X_L$

ตัวอย่างที่ 8.4 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปประกอบด้วยตัวต้านทาน $R = 100\ \Omega$ ตัวเหนี่ยวนำ $L = 200\ \text{mH}$ และตัวเก็บประจุ $C = 5.0\ \mu\text{F}$ ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า Δv_{max} เท่ากับ $150\ \text{V}$ และมีความถี่เชิงมุม $\omega = 350\ \text{s}^{-1}$ จงหา



- ก) ความต้านทานไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ (X_L) และของตัวเก็บประจุ (X_C)
- ข) ความต้านทานอิมพีแดนซ์ (Z) และกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max}) ของวงจร
- ค) มุมเฟส Φ ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

กำลังไฟฟ้าในขณะใดขณะหนึ่งมีค่าเท่ากับ

$$P = i\Delta v = I_{\max} \sin(\omega t - \phi) \Delta V_{\max} \sin \omega t$$

$$P = I_{\max} \Delta V_{\max} \sin \omega t \sin(\omega t - \phi)$$

เมื่อใช้สัญลักษณ์ตรีโกณมิติ $\sin(\omega t - \phi) = \sin \omega t \cos \phi - \cos \omega t \sin \phi$

$$P = I_{\max} \Delta V_{\max} \sin^2 \omega t \cos \phi - I_{\max} \Delta V_{\max} \sin \omega t \cos \omega t \sin \phi$$

เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย $P_{avg} = \frac{1}{2} I_{\max} \Delta V_{\max} \cos \phi = I_{rms} \Delta V_{rms} \cos \phi$

เมื่อ $\cos \phi$ คือตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (power factor) ซึ่งจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\phi = 0^\circ$ ดังนั้น

$$P_{avg(\max)} = I_{rms}^2 R = I_{rms} \Delta V_{rms}$$

กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

กรณีที่มีตัวเก็บประจุ: V_C และ i จะมีค่าความต่างเฟส $\phi = 90^\circ$ จะได้ว่า

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos 90^\circ = 0$$

กรณีที่มีตัวเหนี่ยวนำ: V_L และ i จะมีค่าความต่างเฟส $\phi = 90^\circ$ จะได้ว่า

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos 90^\circ = 0$$

กรณีที่มีตัวต้านทาน: V_R และ i จะมีค่าความต่างเฟส $\phi = 0^\circ$ จะได้ว่า

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos 0^\circ = V_{rms} I_{rms}$$

กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

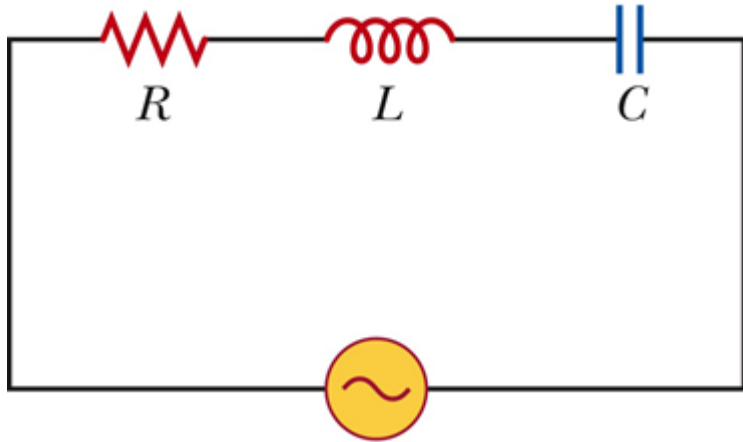
จึงสรุปได้ว่าสำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ต่อกันอยู่ ไม่ว่าจะเป็นการต่อในรูปแบบใดก็ตาม กำลังไฟฟ้าของวงจรจะคิดที่ตัวต้านทาน (R) เท่านั้น

$$P = V_{rms} I_{rms}$$

$$P = (I_{rms} R) I_{rms} = I_{rms}^2 R$$

$$P = V_{rms} \left(\frac{V_{rms}}{R} \right) = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

ตัวอย่างที่ 8.5 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ต่อกันอยู่แบบอนุกรม โดยมีค่าความต้านทาน $R = 75 \, \Omega$ ความต้านทานอิมพีแดนซ์ $Z = 150 \, \Omega$ และศักย์ไฟฟ้า $V = 120 \, \text{V}$ จงหากำลังเฉลี่ย P_{avg} ของวงจรนี้



การกำทอนในวงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

(Resonance in a Series RLC Circuit)

วงจรไฟฟ้าอนุกรม RLC เปรียบเสมือนระบบการอสซิลเลตทางไฟฟ้าที่จะเกิดการกำทอนเมื่อความถี่ที่ใช้ขับเคลื่อนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า rms ที่มีค่าสูงสุดดังสมการ

$$I_{rms} = \frac{\Delta V_{rms}}{Z}$$

เมื่อ Z คือความต้านทานอิมพีแดนซ์ $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$$\text{ดังนั้น } I_{rms} = \sqrt{\frac{\Delta V_{rms}}{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

เนื่องจากความต้านทานอิมพีแดนซ์ขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งกำเนิด จึงส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจร RLC ขึ้นอยู่กับความถี่ด้วย

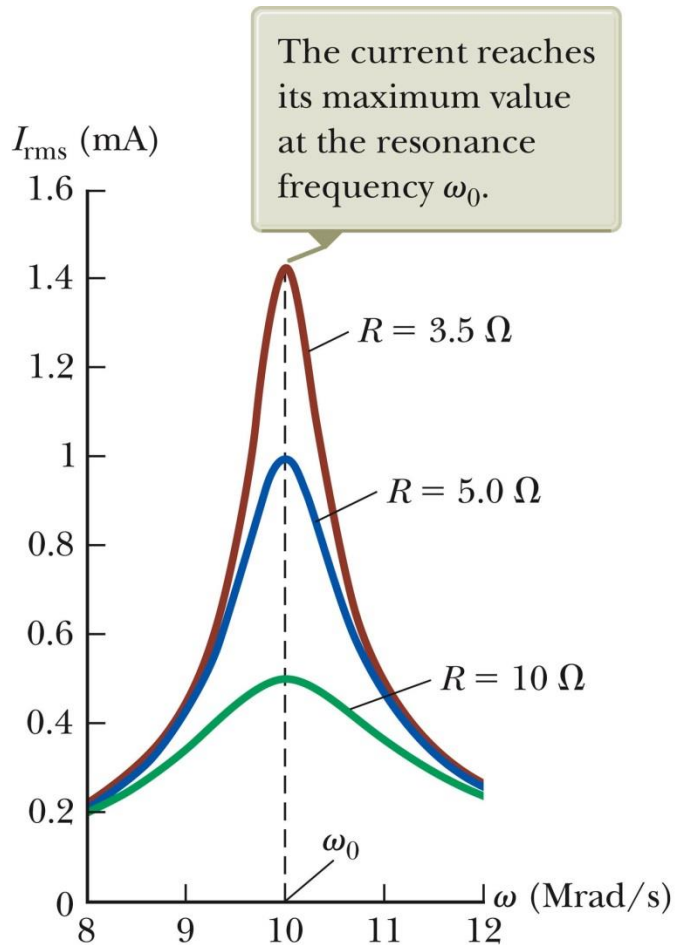
การกำหนดในวงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (Resonance in a Series RLC Circuit)

ความถี่เชิงมุม ω_0 ที่ทำให้ $X_L - X_C = 0$ จะถูกเรียกว่า **ความถี่กำหนด** ของวงจรไฟฟ้า และเพื่อที่จะหาค่า ω_0 จึงกำหนดให้ $X_L = X_C$ ซึ่งจะทำให้ $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$ หรือ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

ความถี่ดังกล่าวตรงกับความถี่ธรรมชาติของการออสซิลเลตของวงจร LC ดังนั้นกระแส rms ในวงจรไฟฟ้าอนุกรม RLC จึงมีค่าสูงสุดเมื่อความถี่ของศักย์ไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปตรงกับความถี่ธรรมชาติของการออสซิลเลต ซึ่งขึ้นอยู่กับ L และ C เท่านั้น นอกจากนั้น ที่ความถี่กำหนด กระแสไฟฟ้าจะมีเฟสตรงกับศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจรด้วย

การกำหนดในวงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (Resonance in a Series RLC Circuit)



- กราฟของกระแสไฟฟ้า rms กับความถี่เชิงมุมสำหรับวงจรไฟฟ้าอนุกรม RLC แสดงดังรูป ซึ่งเส้นโค้งทั้งสามสอดคล้องตรงกับค่าทั้งสามของ R ในแต่ละกรณี โดยกระแสไฟฟ้า rms มีค่าสูงที่สุดที่ความถี่กำหนด ω_0 รวมทั้งความกว้างของเส้นโค้งจะแคบลงและสูงขึ้นเมื่อความต้านทานไฟฟ้าลดลง

การกำหนดในวงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (Resonance in a Series RLC Circuit)

สามารถคำนวณหา กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในรูปของฟังก์ชันของความถี่ของวงจรไฟฟ้าอนุกรม

RLC ได้โดยใช้สมการ $P_{avg} = I_{rms}^2 R$ $I_{rms} = \frac{\Delta V_{rms}}{Z}$ และ $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$$P_{avg} = I_{rms}^2 R = \frac{(\Delta V_{rms})^2}{Z^2} R = \frac{(\Delta V_{rms})^2 R}{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

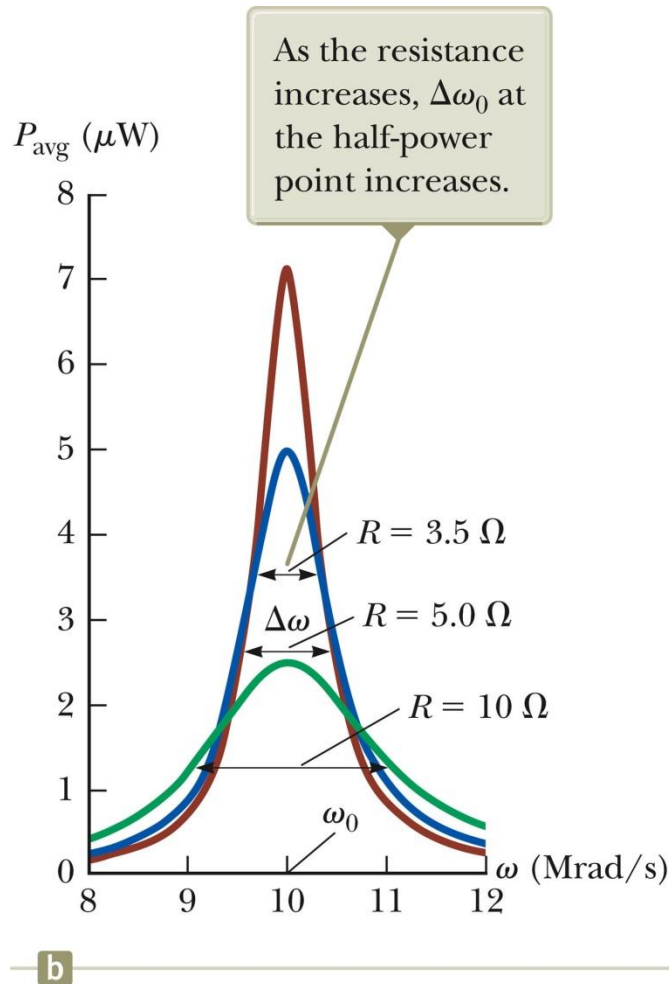
เนื่องจาก $X_L = \omega L$ $X_C = 1/\omega C$ และ $\omega_0^2 = 1/LC$ ดังนั้นเทอม $(X_L - X_C)^2$ จึงสามารถ

เขียนได้เป็น $(X_L - X_C)^2 = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 = \frac{L^2}{\omega^2} (\omega^2 - \omega_0^2)^2$

เมื่อนำไปแทนลงในสมการข้างต้นจึงกลายเป็น $P_{avg} = \frac{(\Delta V_{rms})^2 R \omega^2}{R^2 \omega^2 + L^2 (\omega^2 - \omega_0^2)^2}$

การกำทอนในวงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

(Resonance in a Series RLC Circuit)

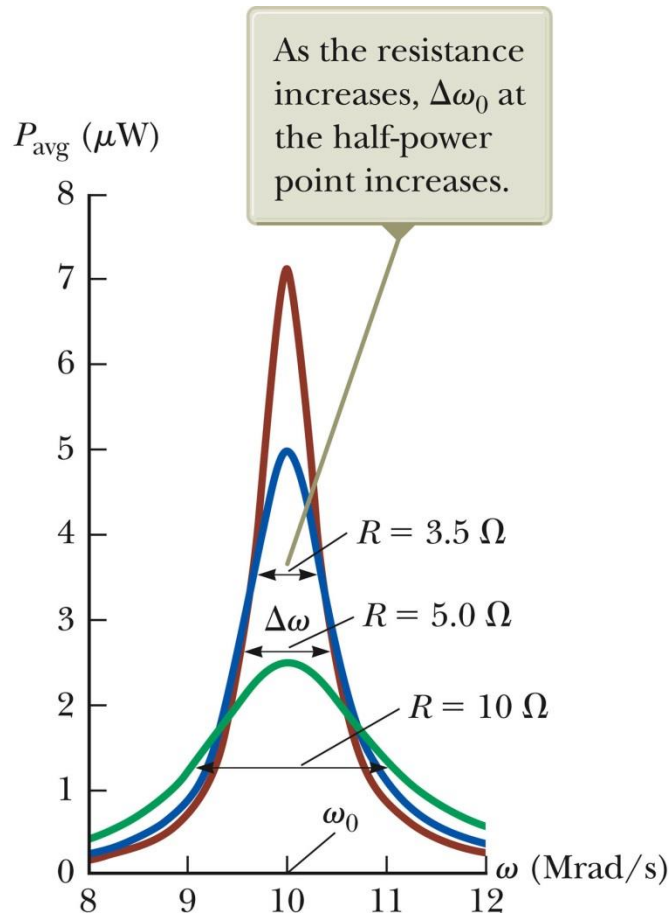


$$P_{avg} = \frac{(\Delta V_{rms})^2 R \omega^2}{R^2 \omega^2 + L^2 (\omega^2 - \omega_0^2)^2}$$

ณ จุดกำทอน เมื่อ $\omega = \omega_0$ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีค่าสูงที่สุดและมีค่าเท่ากับ $(\Delta V_{rms})^2 / R$ โดยรูปด้านข้างคือกราฟของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยกับความถี่สำหรับค่า R ที่แตกต่างกันสามค่าในวงจรไฟฟ้าอนุกรม RLC เมื่อความต้านทานมีค่าน้อยลง เส้นโค้งในบริเวณที่ใกล้เคียงกับความถี่กำทอนจะมีความโค้งแคบลงและแหลมยิ่งขึ้น

การกำหนดในวงจรไฟฟ้าอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

(Resonance in a Series RLC Circuit)



การที่เส้นโค้งมีความแหลมมากขึ้นนี้มักถูกอธิบายโดยตัวแปรที่ไม่มีหน่วยซึ่งรู้จักกันในชื่อว่าปัจจัยของประสิทธิภาพ (quality factor)² หรือ Q

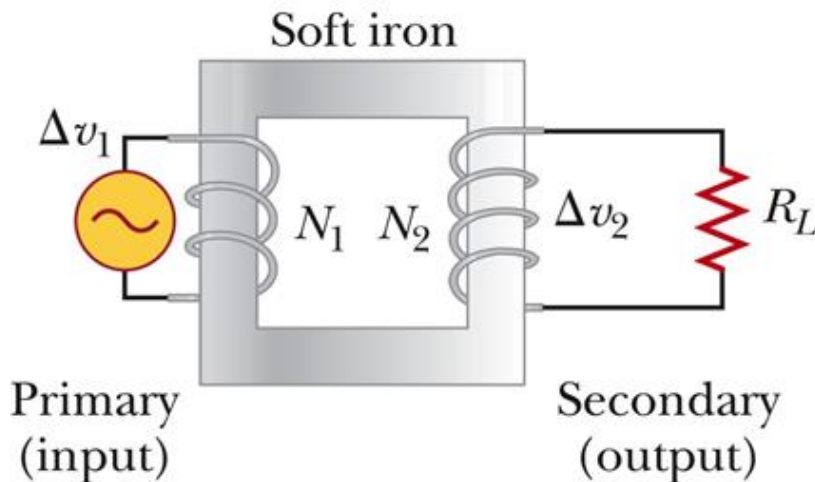
$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$$

เมื่อ $\Delta\omega$ คือความกว้างของเส้นโค้งที่วัดระหว่างค่าทั้งสองของ ω ซึ่ง P_{avg} มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่ามากที่สุด เรียกว่า จุดที่กำลังไฟฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งดังสมการ

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R}$$

หม้อแปลงไฟฟ้า

- เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับให้สูงขึ้นหรือต่ำกว่าเดิม โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า
- ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด โดยชุดแรกเรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ (primary) ขดลวดที่สองเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ (secondary)
- เมื่อปล่อยกระแสสลับเข้าไปจะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งแปรเปลี่ยนตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ในขดลวดอีกอันด้วย ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดที่สอง หรือเกิดการถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากขดลวดปฐมภูมิ ไปยังขดลวดทุติยภูมิ



$$\Delta v_2 = \frac{N_2}{N_1} \Delta v_1$$

หม้อแปลงไฟฟ้า

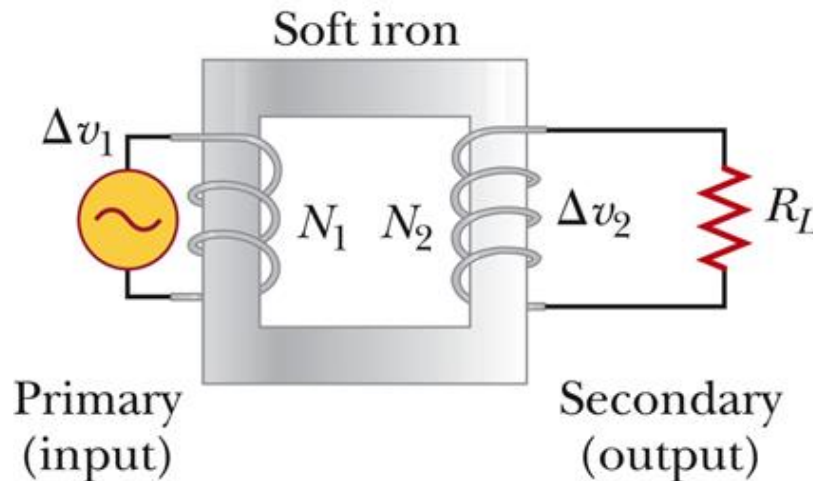
เมื่อ N_1 และ N_2 คือจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ตามลำดับ

- ถ้า $N_2 > N_1$ จะทำให้ค่า $E_2 > E_1$ แบบนี้เรียกว่าหม้อแปลงขึ้น (step up transformer)
- ถ้า $N_2 < N_1$ จะทำให้ค่า $E_2 < E_1$ แบบนี้เรียกว่าหม้อแปลงลง (step down transformer)

กำลังปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าเท่ากันเสมอจึงได้ว่า

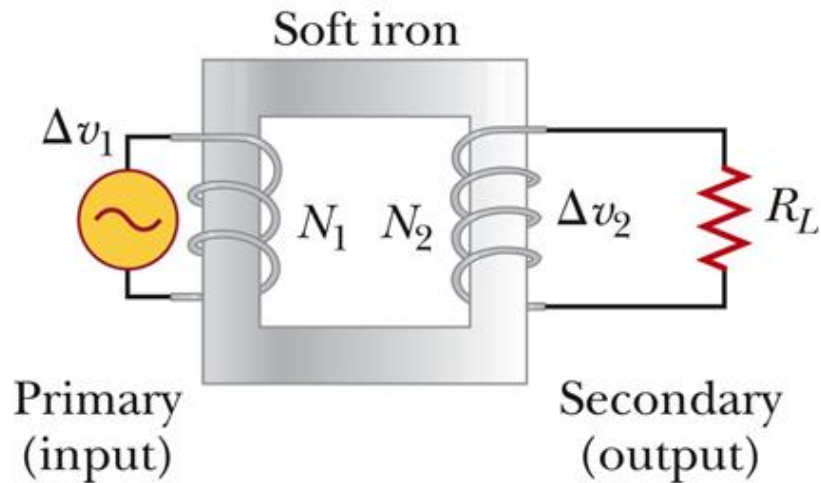
$$\Delta v_2 = \frac{N_2}{N_1} \Delta v_1$$

$$I_1 \Delta v_1 = I_2 \Delta v_2$$

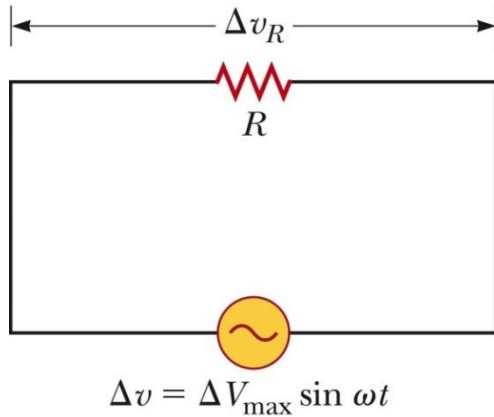


$$\frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

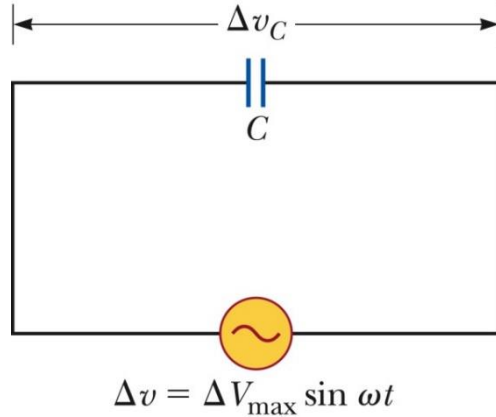
ตัวอย่างที่ 8.6 หม้อแปลงไฟฟ้าดังรูปมีอัตราส่วนระหว่างขดลวด $N_1 : N_2$ คือ 10 : 5 ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า Δv_{\max} เท่ากับ 80 V ถ้านำเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 1000 W มาต่อเป็นโหลด R_L จงหากระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิและความต้านทานของโหลด



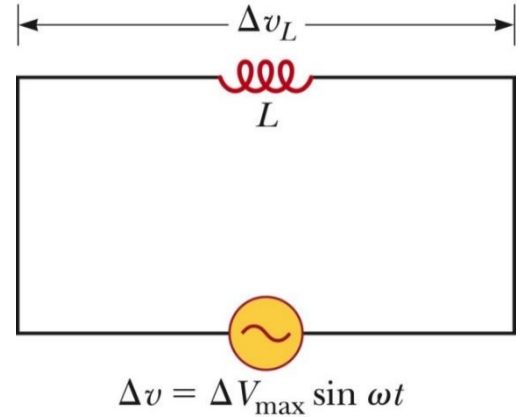
การบ้านครั้งที่ 8



(a)



(b)



(c)

ข้อที่ 1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังรูป (a) ประกอบด้วยตัวต้านทานขนาด $50 \, \Omega$ ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า ΔV_{\max} เท่ากับ $10 \, \text{V}$ ที่ความถี่ $50 \, \text{Hz}$ จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า แอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า ที่ตกคร่อมและไหลผ่านตัวต้านทานดังกล่าว

ข้อที่ 2 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังรูป (b) ประกอบด้วยตัวเก็บประจุขนาด $2 \, \mu\text{F}$ ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า ΔV_{\max} เท่ากับ $10 \, \text{V}$ ที่ความถี่ $50 \, \text{Hz}$ จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า แอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า ที่ตกคร่อมและไหลผ่านตัวเก็บประจูดังกล่าว

ข้อที่ 3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับดังรูป (c) ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำขนาด $500 \, \text{mH}$ ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า ΔV_{\max} เท่ากับ $10 \, \text{V}$ ที่ความถี่ $50 \, \text{Hz}$ จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า แอมพลิจูดของศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า ที่ตกคร่อมและไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำดังกล่าว