

เอกสารประกอบการบรรยาย: วิชา 2304102 ฟิสิกส์ทั่วไป 2

ครั้งที่ 14 ภาคการศึกษาปลาย พ.ศ. 2551

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2551

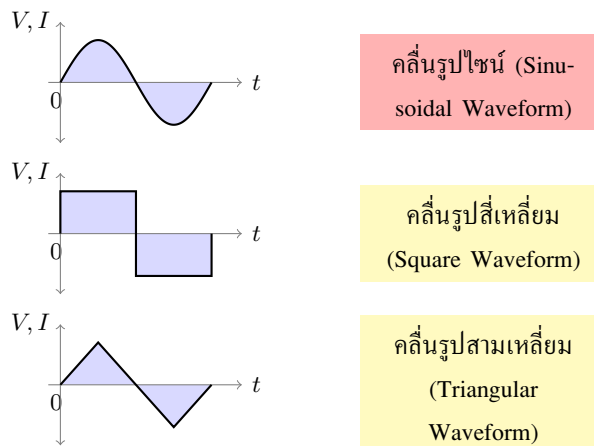
สารบัญ

1 ไฟฟ้ากระแสสลับ	1
2 วงจร AC	3

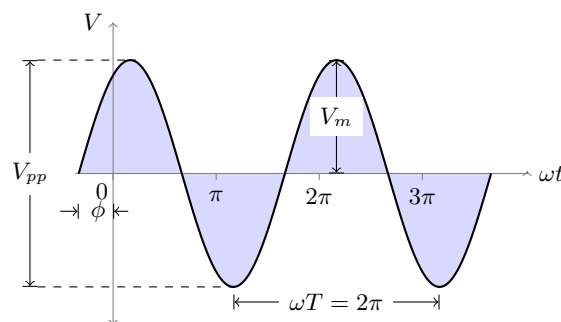
1 ไฟฟ้ากระแสสลับ

ลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ

ไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating circuit, AC): กระแสไฟฟ้าในวงจรจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบอย่างต่อเนื่อง



คลื่นรูปไซน์



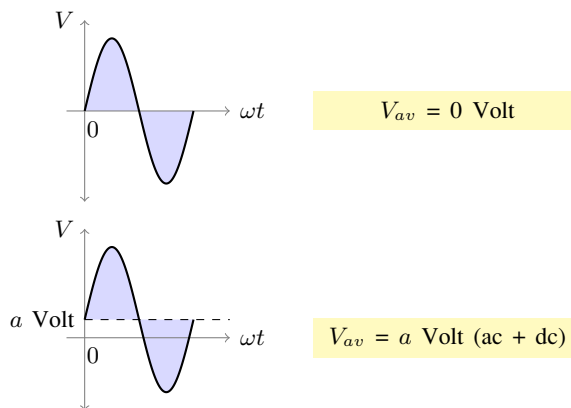
$$V(t) = V_m \sin(\omega t + \phi); V_m : \text{ ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด}; \phi \text{ มุมเฟส}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}; T : \text{ คาบ}; f : \text{ ความถี่}; \omega \text{ ความถี่เชิงมุม}$$

$$V_{pp} = 2V_m; V_{pp} : \text{ ศักย์ไฟฟ้าจากยอดถึงยอด}$$

ศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย

$$\text{ศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Voltage)} = \frac{\text{พื้นที่รวม(คิดเครื่องหมาย)}}{T(\text{คาบ})}$$



นิยามของศักย์ไฟฟ้ายังผล

พลังงานที่ทำให้ตัวต้านทานในวงจรร้อนขึ้นไม่ขึ้นกับทิศทางของกระแส เพราะไม่ว่าทิศไหนก็ทำให้เกิดการสะสมของพลังงานในตัวต้านทานเหมือนกัน ซึ่งเห็นได้จาก กำลังทางไฟฟ้าหาจาก

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

แต่ไฟ AC นั้นค่าของกระแสไฟฟ้า และ ศักย์ไฟฟ้าไม่คงที่ ทำให้กำลังไฟฟ้าไม่คงที่ด้วย การพูดถึงกำลังไฟฟ้าที่เกิดในไฟ AC จึงเป็นเพียงค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าในหนึ่งรอบของสัญญาณนั่นเอง

ศักย์ไฟฟ้ายังผลของสัญญาณรูปไซน์

ศักย์ไฟฟ้ายังผล (effective[rms] voltage, V_{rms}): ศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำให้เกิดกำลังที่ตัวต้านทานเท่ากับกำลังที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับในหนึ่งรอบคลื่น (เช่นเดียวกับ

กระแสยังผล) ในช่วงของคาบ T ;

$$P = \frac{V_{dc}^2}{R} T = \int_0^T dP_{ac} = \int_0^T \frac{(V_m \sin \omega t)^2}{R} dt$$

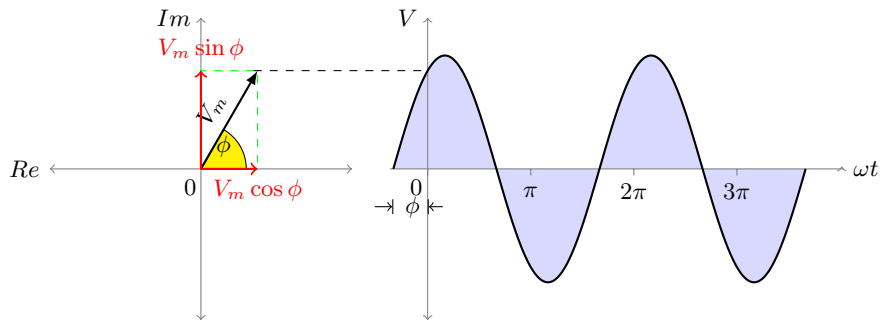
$$V_{dc}^2 = V_{eff}^2 = \int_0^T \frac{(V_m \sin \omega t)^2}{T} dt = V_{rms}^2$$

$$V_{rms}^2 = \frac{V_m^2}{2}; \quad V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m$$

$$V_m = \sqrt{2}V_{rms} = 1.414V_{rms}$$

ศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลต์มิเตอร์ V_{rms} . $V_{ac} = 220 \text{ V} \approx 311 \text{ V}$ of V_m .

นิยามเฟสเซอร์ (Phasor)



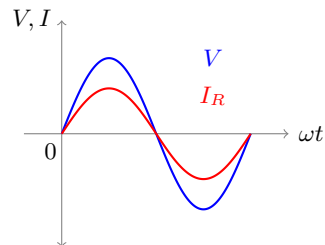
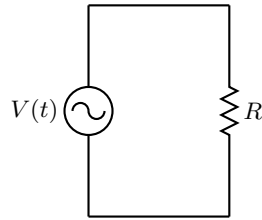
รูปซ้ายมือ: แผนภาพเฟสเซอร์ (Phasor Diagram)

$$V(t) = V_m \sin(\omega t + \phi) = a + jb$$

$$= V_m \cos \phi + jV_m \sin \phi \quad ; \quad j = \sqrt{-1}; \phi = \arctan \frac{b}{a}$$

2 วงจร AC

ตัวต้านทานในวงจร AC



$$V_R = V(t) = V_m \sin \omega t$$

$$V(t) = I_R R$$

$$I_R = \frac{V(t)}{R} = \frac{V_m}{R} \sin \omega t$$

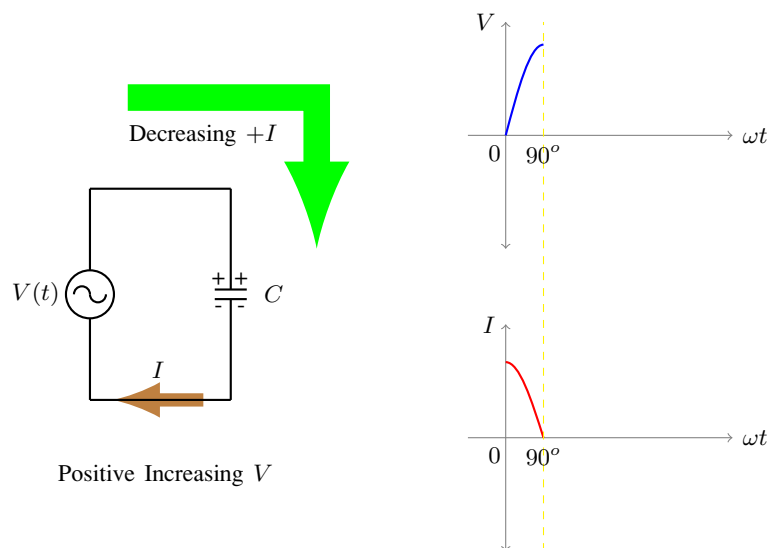
$$= I_m \sin \omega t$$

$V(t)$ and I_R มีเฟสตรงกัน. (ความต่างเฟส = 0)

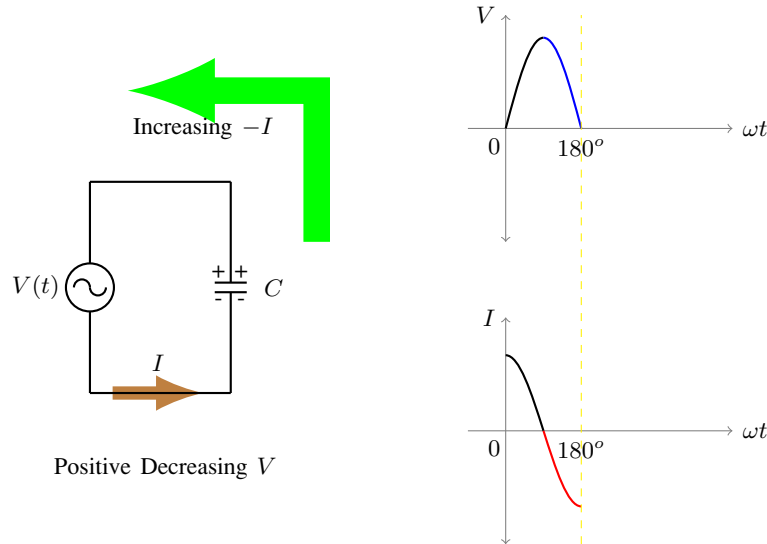
$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

$$I_m = \sqrt{2} I_{rms} = 1.414 I_{rms}$$

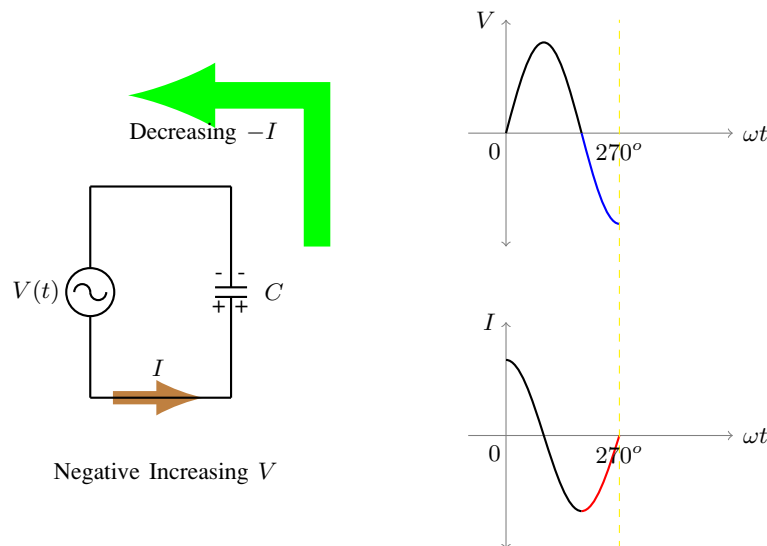
ตัวเก็บประจุในวงจร AC



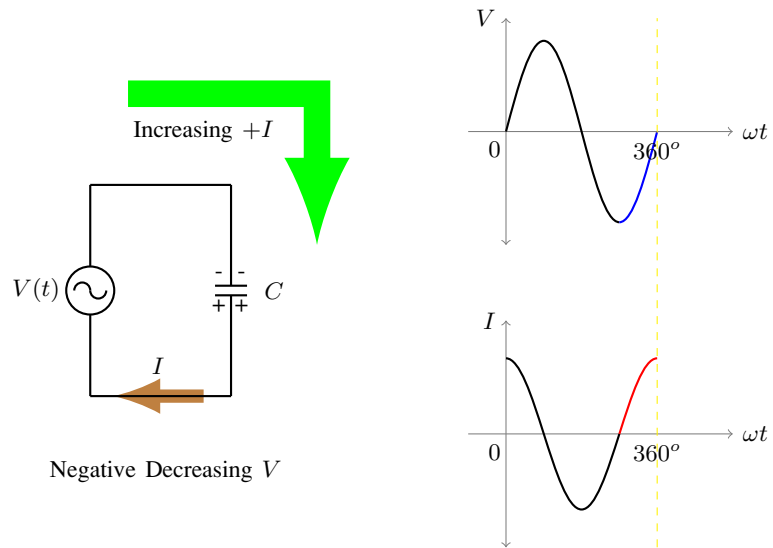
เมื่อปิดสวิตช์ประจุเคลื่อนที่ไปยังตัวเก็บประจุมากที่สุด (กระแสสูงที่สุด) หรือเริ่มพิจารณาที่ศักย์ไฟฟ้าคล่อม C เป็นศูนย์ เมื่อเวลาผ่านไปประจุไปสะสมที่ตัว C มากขึ้น ทำให้จำนวนประจุที่เคลื่อนที่ได้ลดลง (กระแสลดลง) เมื่อกระแสหยุดไหลทำให้ศักย์ไฟฟ้ามีค่ามากที่สุด (จาก 0 ถึง 90°)



เมื่อศักย์บวกเริ่มลดลง ประจุบวกเริ่มเคลื่อนที่ย้อนกลับ หรือ กระแสไฟฟ้าไหลกลับทิศ นั้นหมายถึงกระแสไฟฟ้าที่เป็นลบเริ่มเพิ่มขึ้น จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ (มุมของศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 180°)

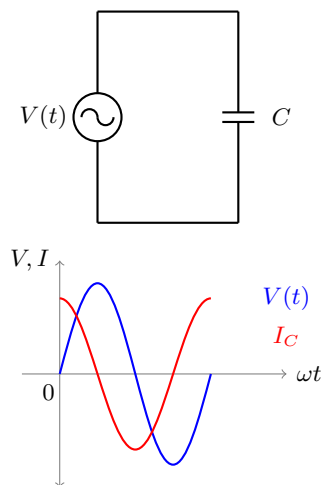


ที่ 180° ศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นค่าลบ ประจุลบของตัวเก็บประจุแผ่นล่างเริ่มเคลื่อนที่มาที่แผ่นบน ทำให้กระแสเคลื่อนที่ในทิศทวนเข็มนาฬิกาทำให้กระแสค่าลบมีค่าลดลง จนกระทั่งศักย์ค่าลบมีค่าสูงสุด (มุมระหว่างสัญญาณศักย์ไฟฟ้ามีค่า 270°) ประจุในวงจรจึงไม่เคลื่อนที่หรือกระแสมีค่าเป็นศูนย์



เมื่อศักย์ไฟฟ้าลบมีค่าลดลง ประจุบวกเคลื่อนที่ในทิศทางเข็มนาฬิกาอีกครั้ง ทำให้กระแสบวกเพิ่มขึ้นจนกระทั่งศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ (ที่ 360°)

ความจุประจุในวงจร AC



$$\begin{aligned}
V(t) &= V_C = \frac{Q}{C} \\
Q &= CV_m \sin \omega t \\
I_C &= \frac{dQ}{dt} = CV_m \frac{d(\sin \omega t)}{dt} \\
&= \omega CV_m \cos \omega t \\
&= \omega CV_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \\
&= I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \\
I_m &= \omega CV_m
\end{aligned}$$

I_C นำ $V(t)$ อยู่ 1 ใน 4 รอบ

$V(t)$ ตาม I_C อยู่ 1 ใน 4 รอบ (ความต่างเฟส = 90°)

$$\begin{aligned}
I_m &= \frac{V_m}{1/\omega C} \\
&= \frac{V_m}{X_C}
\end{aligned}$$

X_C : ความต้านแห่งความจุ (Capacitive Reactance, หน่วย Ω)

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Example 1. พิจารณาวจรที่มีตัวเก็บประจุหนึ่งตัวและมีค่า $V(t) = (6.0 \text{ V}) \sin \omega t$ และ $C = 0.1 \mu\text{F}$

a) I_m ที่ความถี่ 60 Hz b) $I, V = ?$ ที่ $t = 2.0 \text{ ms}$ และความถี่ 60 Hz (Fishbone, Gasiorowicz)

a) จาก

$$\begin{aligned}
I_m &= \frac{V_m}{X_C} \\
&= 2\pi f C V_m \\
I_m(f = 60 \text{ Hz}) &= (2\pi)(60 \text{ Hz})(1.0 \times 10^{-6} \text{ F})(6 \text{ V}) \\
&= 2.3 \text{ mA}
\end{aligned}$$

b) จาก

$$\begin{aligned}
V &= V_m \sin \omega t = V_m \sin(2\pi f t) \\
V(t = 2 \text{ ms}, f = 60 \text{ Hz}) &= (6 \text{ V}) \sin[(2\pi)(60 \text{ Hz})(2 \times 10^{-3} \text{ s})] \\
&= 4.1 \text{ V}
\end{aligned}$$

$$I_C = I_m \sin(2\pi ft + 90^\circ)$$

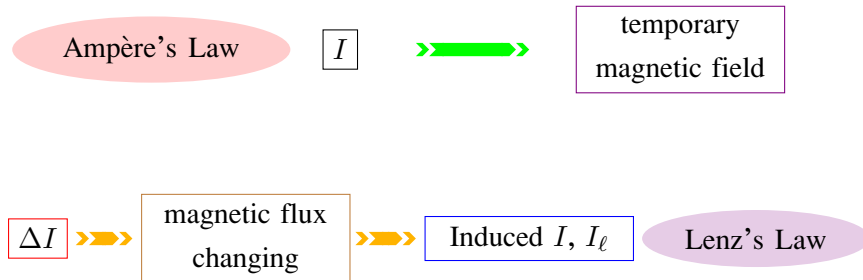
$$I_C(t = 2 \text{ ms}, f = 60 \text{ Hz}) = (2.3 \text{ mA}) \sin[(2\pi)(60 \text{ Hz})(2 \times 10^{-3} \text{ s}) + 90^\circ]$$

$$= 1.7 \text{ mA}$$

เมื่อมีขดลวดเหนี่ยวนำในวงจร AC

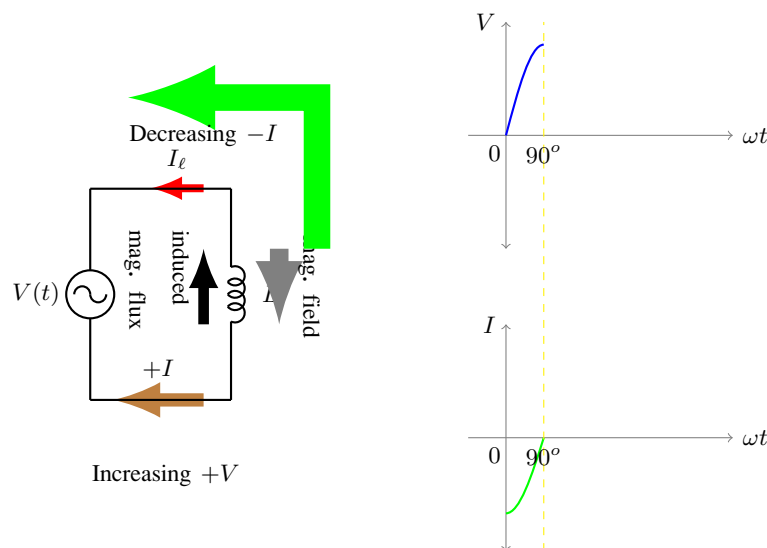
Basis Theories

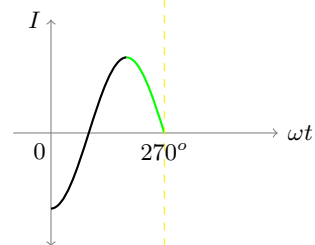
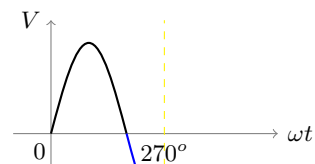
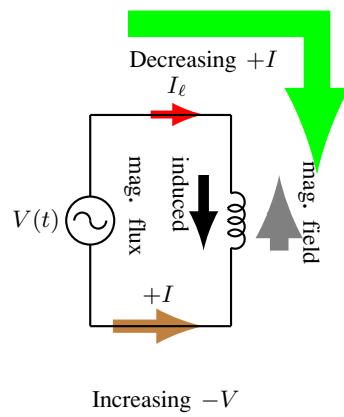
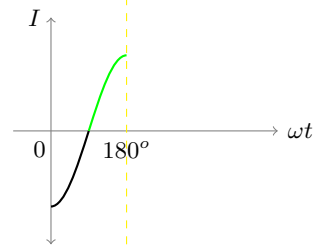
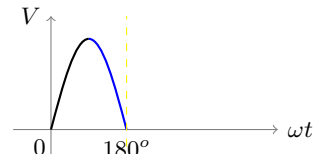
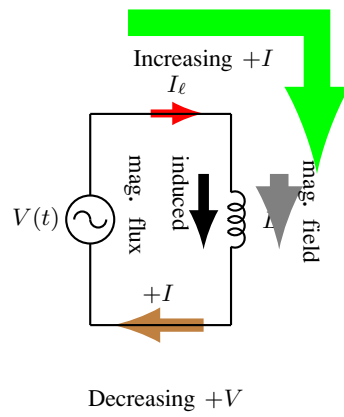
- Ampère's Law
- Lenz's Law

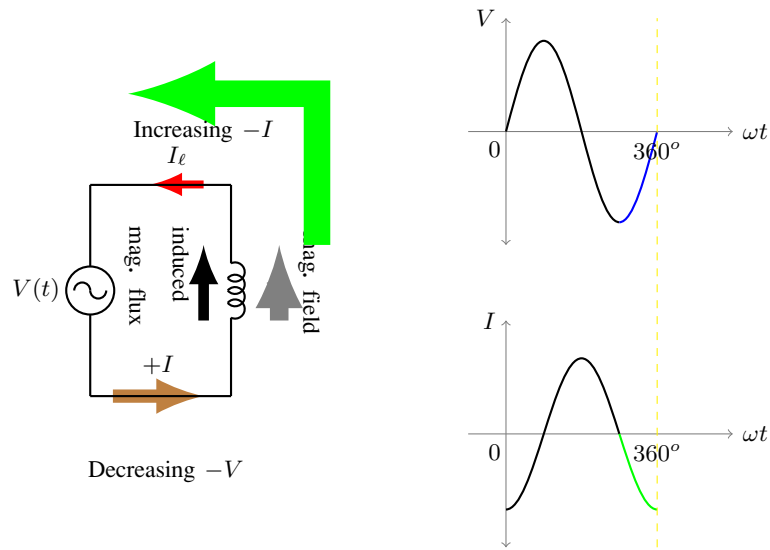


จากกฎของแอมแปร์ เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์จะเกิดสนามแม่เหล็ก และกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์และกฎของเลนส์ที่ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กขดลวดจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส ทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลสวนทิศทางในขดลวดเหนี่ยวนำ

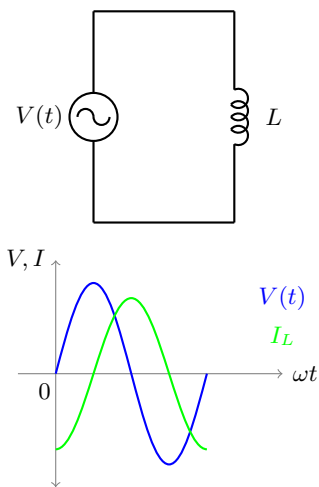
ขดลวดเหนี่ยวนำในวงจร AC







ความเหนี่ยวนำในวงจร AC



$$\begin{aligned}
V(t) &= V_L = L \frac{dI}{dt} \\
dI &= \frac{V_m}{L} \sin \omega t dt \\
I_L &= \int_0^t \frac{V_m}{L} \sin \omega t dt \\
&= \frac{V_m}{L} \int_0^t \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d(\omega t) \\
&= \frac{V_m}{\omega L} (-\cos \omega t) \\
&= \frac{V_m}{\omega L} \sin(\omega t - 90^\circ) \\
I_m &= \frac{V_m}{\omega L}
\end{aligned}$$

I_L ตาม $V(t)$ 1 ใน 4 รอบ

$V(t)$ นำ I_L 1 ใน 4 รอบ(ความต่างเฟส = 90°)

$$\begin{aligned}
I_m &= \frac{V_m}{\omega L} \\
&= \frac{V_m}{X_L}
\end{aligned}$$

X_L : ความต้านแห่งความเหนี่ยวนำ (Inductive Reactance, หน่วย Ω)

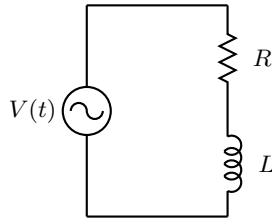
$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

Example 2. กำหนดให้วงจร AC มีขดลวดเหนี่ยวนำ $L = 1.00$ mH จงหา X_L เมื่อสัญญาณมีความถี่ 60-Hz

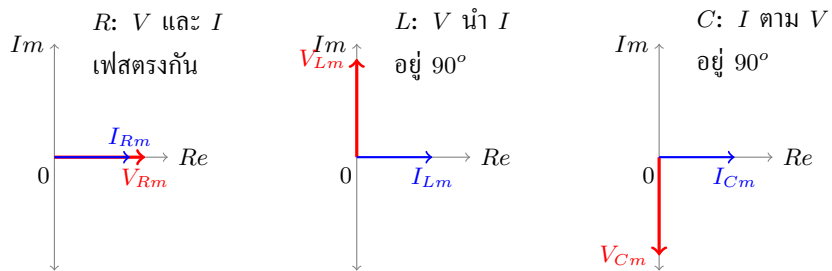
จาก

$$\begin{aligned}
X_L &= 2\pi f L \\
X_L(f = 60 \text{ Hz}) &= (2\pi)(60 \text{ Hz})(1.0 \times 10^{-3} \text{ H}) \\
&= 0.377 \Omega
\end{aligned}$$

แผนภาพเฟสเซอร์ของ R L และ C



รูปที่ 1 $R-L$ Series



วงจรอนุกรม $R L$ ของ AC

$$I(t) = I_m \sin \omega t$$

$$V(t) = V_m \sin(\omega t + \Phi)$$

$$V_R(t) = V_{Rm} \sin \omega t$$

$$V_L(t) = V_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Kirchhoff's Voltage Law:

$$V(t) = V_R + V_L$$

$$V_m \sin(\omega t + \Phi) = V_{Rm} \sin \omega t$$

$$+ V_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$= V_{Rm} \sin \omega t$$

$$+ V_{Lm} \cos \omega t$$

Given: $\tan \theta = \frac{V_{Lm}}{V_{Rm}}$

$$V_{Rm} = \sqrt{V_{Rm}^2 + V_{Lm}^2} \cos \theta$$

$$V_{Lm} = \sqrt{V_{Rm}^2 + V_{Lm}^2} \sin \theta$$

$$\begin{aligned} V_m \sin(\omega t + \Phi) &= \sqrt{V_{Rm}^2 + V_{Lm}^2} \cos \theta \sin \omega t \\ &+ \sqrt{V_{Rm}^2 + V_{Lm}^2} \sin \theta \cos \omega t \\ &= \sqrt{V_{Rm}^2 + V_{Lm}^2} [\cos \theta \sin \omega t \\ &+ \sin \theta \cos \omega t] \\ &= \sqrt{V_{Rm}^2 + V_{Lm}^2} \sin(\omega t + \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_m &= \sqrt{V_{Rm}^2 + V_{Lm}^2} \\ &= \sqrt{(I_m R)^2 + (I_m \omega L)^2} \end{aligned}$$

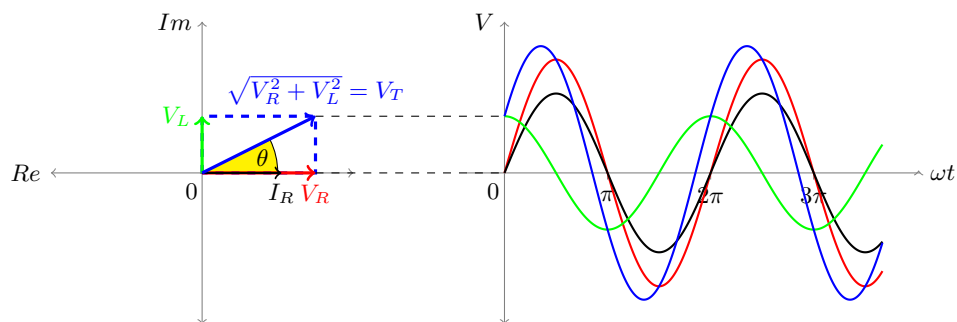
$V(t)$ leads V_R by $\theta = \arctan \frac{\omega L}{R}$

$$V_m = I_m Z$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

Z : ความต้าน (Impedance) ของวงจร (หน่วยเป็น Ω)

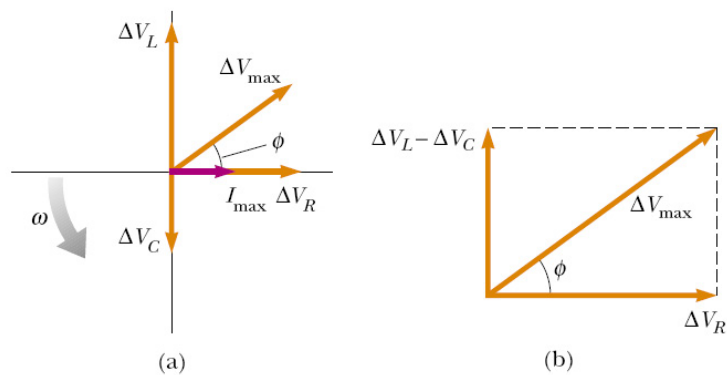
แผนภาพเฟสเซอร์ของวงจรอนุกรม R-L



From phasor diagram:

$$\begin{aligned} V_m &= \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \\ \theta &= \arctan \frac{V_L}{V_R} \end{aligned}$$

Example 3. จงวาดแผนภาพเฟสเซอร์ของวงจรอนุกรม R L C ของไฟ AC พร้อมทั้งหาความต้านรวมของวงจร



$$\begin{aligned}
 V_m &= \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \\
 &= \sqrt{I_m R^2 + (I_m X_L - I_m X_C)^2} \\
 &= I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \\
 Z &= \frac{V_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}
 \end{aligned}$$

Example 4. จงวาดแผนภาพเฟสเซอร์ของวงจรขนาน R L ของไฟ AC พร้อมทั้งหาความต้านรวมของวงจร

ข้อเสนอแนะ กรณีวงจรขนานความต่างศักย์ของ R และ L เท่ากัน (เฟสเดียวกัน)