การทดลองที่ 21
แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการรวมแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีเฟสต่างกัน
2. ศึกษาการคิดค่าความต้านทานในวงจร RLC อนุกรม
3. ศึกษาการคิดหาค่ามุมระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดัน

อุปกรณ์

1. ชุดการทดลอง RLC อนุกรม 1 วงจร
2. VOM

ทฤษฎี

ไฟฟ้ากระแสสลับนับเป็นนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันที่ใช้กันโดยทั่วไป การใช้งานควรใช้อย่างระมัดระวังและใช้งานอย่างถูกต้องเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับจะมีผลการตอบสนองต่อความถี่ไฟฟ้าที่เข้าไปยังวงจรต่างกันเนื่องจากในวงจรที่ใช้ประกอบไปด้วยความต้านทานตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำ ความเข้าใจทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับผู้ใช้งาน โดยปกติแล้วผลที่เกิดขึ้นกับไฟฟ้ากระแสสลับกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในชนิดเดียวจะมีอยู่ 3 ประเภท ดังนี้

1. ผลของไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นกับวงจรที่มีความต้านทานเพียงอย่างเดียว
2. ผลของไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นกับวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว
3. ผลของไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นกับวงจรที่มีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีลักษณะของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นไปตามฟังก์ชั่นของไซน์ มีสมการดังนี้

$$v = V_{max} \sin \omega t$$

เมื่อ

v คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แปรผันตามเวลา (โวลต์)

V_{max} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด (โวลต์)

ω คือ ความถี่เชิงมุมของแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (เรเดียนต่อวินาที)

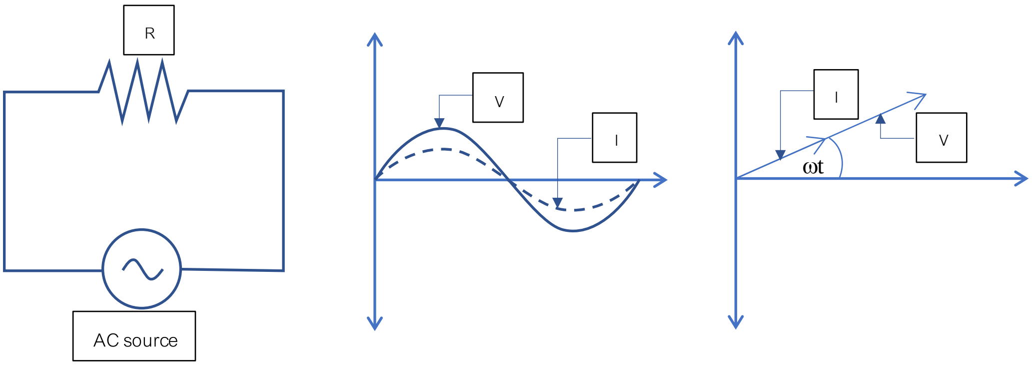
t คือ เวลา (วินาที)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด V_{max} สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดสัญญาณคลื่น (oscilloscope) ซึ่งจะเป็นค่าที่มีค่าสูงสุดในฝั่งสัญญาณบวกหรือลบ หากใช้เครื่องวัดชนิดไม่เทียบกับเวลาเช่นมัลติมิเตอร์ชนิดเข็มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับที่อ่านได้จะเรียกว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับแบบรากที่สองของกำลังเฉลี่ยของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V_{rms}) โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$V_{max} = V_{rms} \times \sqrt{2}$$

- ผลของไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นกับวงจรที่มีตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว

ผลของไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดกับวงจรที่มีความต้านทานเพียงอย่างเดียวจะพบว่าไฟฟ้ากระแสสลับไม่รบกวนการทำงานของระบบ ซึ่งการคำนวณกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ทั้งหมดสามารถใช้หลักการเดียวกันการคำนวณทางไฟฟ้ากระแสตรงได้เนื่องจากเฟสของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าตรงกัน (in-phase) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เฟสของกระแสไฟฟ้าและเฟสของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในวงจรที่มีความต้านทานเพียงอย่างเดียว

สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นลักษณะของความต้านทานเพียงอย่างเดียวที่พบได้ในบ้านหรือโดยทั่วไป คือ หลอดไฟประเภทหลอดไส้ เตารีด เครื่องทำน้ำอุ่น หรืออุปกรณ์ประเภทให้ความร้อน เป็นต้น

รูปที่ 2 อุปกรณ์ประเภทที่มีความต้านทานเพียงอย่างเดียว

จากอุปกรณ์ประเภทความต้านทาน เมื่อ $v = V_{max} \sin \omega t$ จะได้ว่า

$$i = \frac{v}{R}$$

$$i = \frac{V_{max} \sin \omega t}{R}$$

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

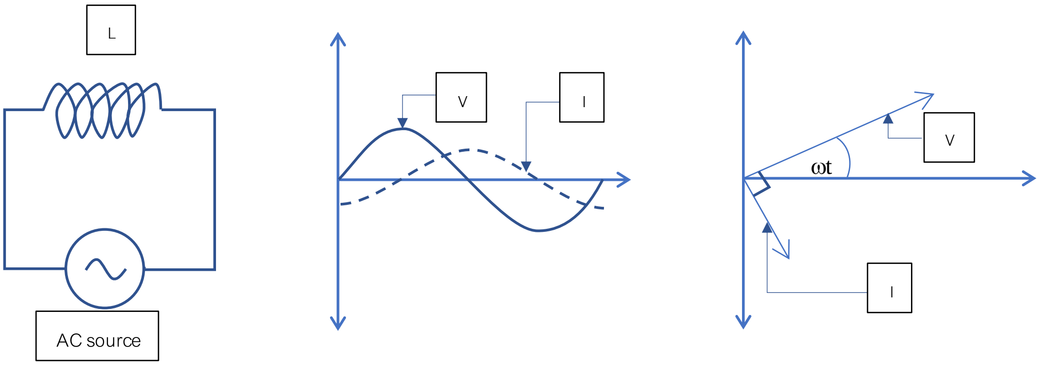
เมื่อ

i	คือ กระแสที่ผันแปรตามเวลา
R	คือ ความต้านทาน
I_{max}	คือ กระแสสูงสุด

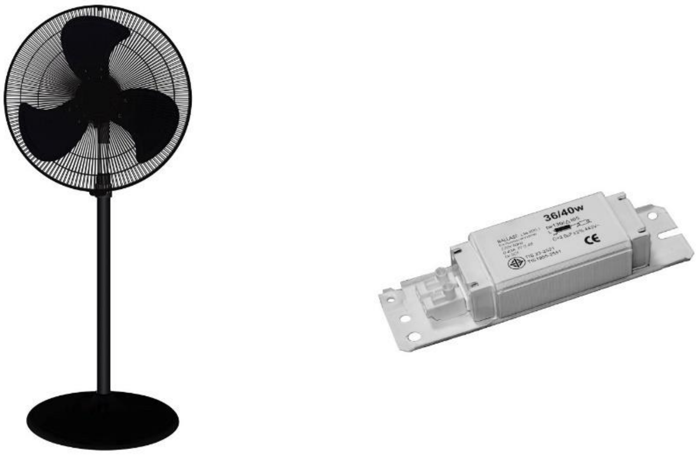
จะพบว่าเฟสของกระแสไฟฟ้าและเฟสของแรงดันไฟฟ้าตรงกัน

- ผลของไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นกับวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่วงจรไฟฟ้าที่มีตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียวจะพบว่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จะมีเฟสต่างกัน (out of phase) ซึ่งจะมีลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่มีเฟสนำกระแสไฟฟ้าอยู่ 90 องศา (I lack V or V Lead I) หรือกระแสไฟฟ้ามีเฟสตามแรงดันไฟฟ้าดังรูป 3 ลักษณะเช่นนี้จะพบได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟรุ่นเก่าที่มีบัลลาสต์ หรือมอเตอร์พัดลม เมื่อมีการทำงานของวงจรไฟฟ้าเช่นนี้ จะสังเกตเห็นลักษณะของความหน่วง เช่นพัดลมจะค่อยๆ หมุนเมื่อตอนเปิดเครื่องครั้งแรก



รูปที่ 3 เฟสของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4 อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทตัวเหนี่ยวนำ

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียวจะพบว่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าดังนี้

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

เมื่อ L คือค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (เฮนรี)

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

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

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

โดยที่ $I_{max} = \frac{V_{max}}{L\omega}$

$$i = -I_{max} \cos \omega t$$

$$i = I_{max} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

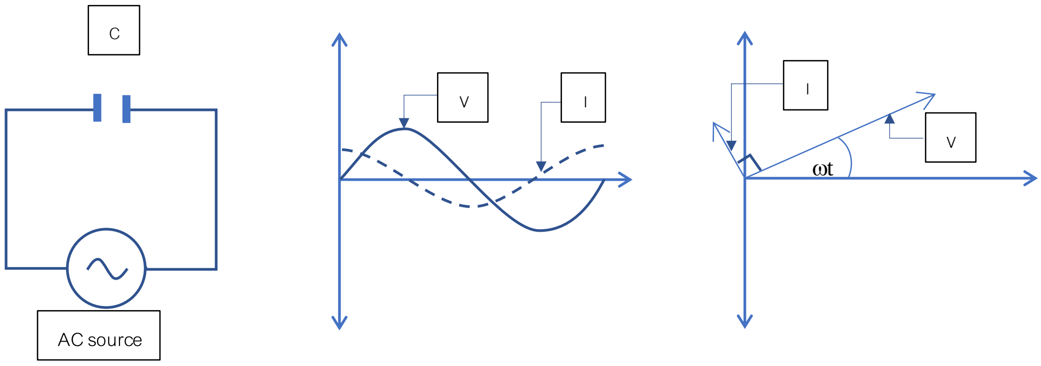
ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเฟสของกระแสและแรงดันแล้วจะพบว่าเฟสของกระแสจะตามแรงดันอยู่ $\frac{\pi}{2}$ หรือ 90 องศา

เมื่อพิจารณากระแสและแรงดันสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะพบว่าค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำบนวงจรกระแสสลับที่เรียกว่า reactance (X_L) จะมีค่าดังนี้

$$X_L = \frac{V_{max}}{I_{max}} = L\omega$$

- ผลของไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นกับวงจรที่มีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียวในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับอาจไม่ได้พบเห็นได้บ่อยมากเหมือนอย่างวงจรไฟฟ้ากระแสตรง แต่อย่างไรก็ตามตัวเก็บประจุมักจะถูกใช้ร่วมกับอุปกรณ์อย่างอื่นมอเตอร์พัดลมเพื่อช่วยให้พัดลมสามารถหมุนออกตัวได้ หรือใช้ในการปรับปรุงกระแสไฟฟ้าสลับเพื่อให้เฟสของกระแสรวมในระบบมีลักษณะที่ดีขึ้น หากวงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียวจะพบว่าเฟสของกระแสไฟฟ้าจะต่างกันในลักษณะที่ กระแสจะนำแรงดันอยู่ 90 องศา (I lead V or V lack I) ดังรูปที่ .... ตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้ตัวเก็บประจุ เช่น มอเตอร์กำลัง ต้องการตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการออกตัวของมอเตอร์



รูปที่ 5 เฟสของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรที่มีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว

รูปที่ 6 อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทที่มีการใช้ตัวเก็บประจุ

เมื่อนำเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียวมาต่อกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้มีการอัดหรือคายประจุ โดยที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงประจุคือกระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะได้ว่า

$$i = \frac{dq}{dt}$$

เมื่อประจุที่เวลาใดๆ มีค่าดังนี้

$$C = \frac{q}{V}$$

เมื่อ C คือ ค่าความจุไฟฟ้า (ฟารัด)

q คือ ประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์)

$$q = CV$$
$$q = CV_{max} \sin \omega t$$
$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CV_{max} \sin \omega t)}{dt}$$
$$i = CV_{max} \omega \cos \omega t$$

กำหนดให้ $I_{max} = CV_{max}\omega$

$$i = I_{max} \cos \omega t$$
$$i = I_{max} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

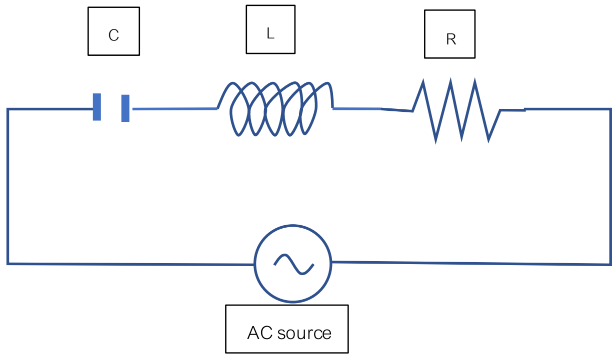
จะเห็นว่าเฟสของกระแสในวงจรที่มีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียวจะนำเฟสของแรงดันอยู่ $\frac{\pi}{2}$ หรือ 90 องศา

เมื่อพิจารณา กระแสและแรงดันสูงสุดตามสมการ $I_{max} = CV_{max}\omega$ จะพบว่าความต้านทานที่ขึ้นกับความจุของตัวเก็บประจุซึ่งเรียกว่า reactance (X_C) มีค่าดังนี้

$$X_C = \frac{V_{max}}{I_{max}} = \frac{1}{\omega C}$$

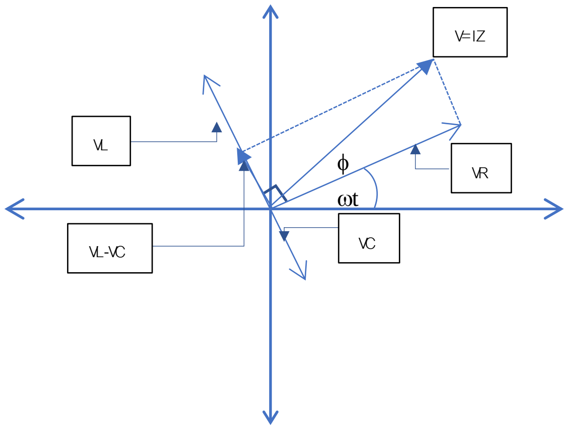
- ผลของไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นกับวงจรรวม RLC

เมื่อนำอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายๆ ชนิดมาต่อรวมกันจะทำให้เกิดความต่างเฟสของกระแสและแรงดันในระบบ ซึ่งจะทำให้ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ประเภทตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดลงและส่งผลให้เฟสของกระแสและแรงดันในระบบเปลี่ยนไป โดยแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 7 วงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วย R L C

ผลของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรรวม RLC นี้จะก่อให้เกิดความต่างเฟสของกระแสและแรงดันขึ้นอยู่กับการแสดงผลของตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุมากกว่ากัน โดยผลที่เกิดขึ้นสามารถบอกได้ว่าวงจรเป็นวงจรประเภทตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาจากการนำของกระแสหรือแรงดัน



รูปที่ 8 เฟเซอร์ไดอะแกรมของวงจรอนุกรม RLC

- ความต้านทานรวมของไฟฟ้ากระแสสลับ (Impedance)

ความต้านรวมของไฟฟ้ากระแสสลับ (Impedance, Z) เกิดขึ้นเนื่องจากความถี่ของแหล่งกำเนิดกับค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ และค่าความต้านทาน ที่อยู่ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_R = I_{max} R$$
$$V_C = I_{max} X_C$$
$$V_L = I_{max} X_L$$

จากเฟเซอร์ไดอะแกรมของวงจรอนุกรมจะได้แรงดันรวมจากแผนภาพเฟเซอร์ดังนี้

$$V_{max} = \sqrt{(V_L - V_C)^2 + V_R{}^2}$$
$$V_{max} = \sqrt{(I_{max} X_L - I_{max} X_C)^2 + (I_{max} R)^2}$$
$$V_{max} = I_{max} \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$$
$$Z = \frac{V_{max}}{I_{max}} = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$$

โดยที่ค่ามุมเฟสระหว่างความต่างศักย์กับกระแสจากแผนภาพเฟเซอร์สามารถหาได้ดังนี้

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{V_L - V_C}{V_R}\right)$$

หรือ

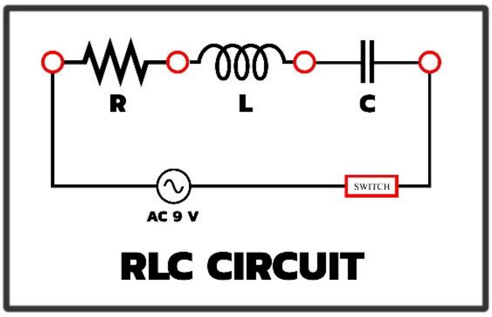
$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)$$

เมื่อ V_L คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

V_C คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุ

V_R คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน

วิธีการดำเนินการทดลอง



รูปที่ 9 ภาพชุดทดลองแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ตอนที่ 1 คำนวณแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับ

1. ตั้งสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง OFF ทำการวัดค่าความต้านทานที่ตัวต้านทานในวงจร จากนั้นบันทึกค่าความต้านทานที่ได้
2. จากความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz คำนวณหาความถี่เชิงมุม
3. ตั้งสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง ON ทำการวัดค่า V_R, V_L, V_C และ Vsource
4. หาผลรวมของความต่างศักย์จากวงจรไฟฟ้าอนุกรม โดยนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก V_R, V_L V_C มารวมกันโดยการหาผลรวมจากวงจรอนุกรมตามวิธีการปกติ แล้วเปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้จากแหล่งจ่าย Vsource วิจารณ์ผลที่ได้
5. หาผลรวมของความต่างศักย์จากวงจรไฟฟ้าอนุกรม โดยกระบวนการรวมแบบเวกเตอร์ โดยใช้ เฟเซอร์ไดอะแกรม แล้วเปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้จากแหล่งจ่าย Vsource
6. นำค่า V_R, V_L, V_C มาเขียนกราฟและคำนวณหามุมเฟเซอร์ $\phi = \tan^{-1}\left(\dfrac{V_L - V_C}{V_R}\right)$
7. วิจารณ์ผลที่ได้

ตอนที่ 2 คำนวณความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

1. คำนวณหากระแสรวมในวงจรจาก $I_t = V_R/R$
2. คำนวณหา reactance X_L จาก $X_L = V_L/I_t$
3. คำนวณหา reactance X_C จาก $X_C = V_C/I_t$
4. นำค่าความต้านทานไปคำนวณหาความต้านทานรวมของไฟฟ้ากระแสสลับ (impedance) พร้อมทั้งวาดกราฟ
5. คำนวณหามุมเฟเซอร์ $\phi = \tan^{-1}\left(\dfrac{X_L - X_C}{R}\right)$
6. คำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำในวงจร
7. คำนวณหาค่าความจุของตัวเก็บประจุในวงจร
8. วิจารณ์ผลที่ได้