

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง ชุดทดลองไฟฟ้ากระแสสลับ แบบลงมือปฏิบัติ เป็นงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2557 ซึ่งได้แล้วเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทางคณะผู้วิจัย ประกอบด้วย นายศุภศิลป์ เพ็ญฟู้ง หัวหน้าโครงการวิจัย และ นายอภิชาติ พองพลา ผู้ช่วยวิจัย ขอขอบพระคุณทางสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้ดูแลตั้งแต่การรับสมัครทุนวิจัย การทำสัญญา การติดตามความก้าวหน้าของงานวิจัย และ ทางกองคลังที่ช่วยดูแลการเบิกจ่าย และ ให้คำแนะนำในการใช้จ่ายเงินวิจัยให้มีประสิทธิภาพสำหรับงานวิจัยมากที่สุด

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยเรื่อง ชุดทดลองไฟฟ้ากระแสสลับ แบบลงมือปฏิบัติ เป็นชุดทดลองเพื่อช่วยให้นักศึกษามีความเข้าใจในเรื่องไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วย (1) การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า เมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และศึกษาผลของความถี่จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน ความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ (X_L) และ ความต้านทานเชิงความจุ (X_C) โดยผลจากการทดลองพบว่า ความถี่ไม่มีผลต่อค่าความต้านทาน ความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ (X_L) มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความถี่จากแหล่งกำเนิด และความต้านทานเชิงความจุ (X_C) มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่าความถี่จากแหล่งกำเนิด (2) การวัดมุมเฟสของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (3) การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของวงจรอนุกรม RLC และ มุมเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวมและความต่างศักย์รวม โดยผลจากการวัดค่าจากชุดทดลองได้ผลดังนี้ $I_{รวม} = 3.98 \text{ mA}$, $V_R = 3.85 \text{ V}$, $V_L = 2.43 \text{ V}$, $V_C = 4.41 \text{ V}$ และ มุมเฟส = 27.27 องศา และ (4) การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของวงจรขนาน RLC และ มุมเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวมและความต่างศักย์รวมโดยผลจากการวัดค่าจากชุดทดลองได้ผลดังนี้ โดยผลจากการวัดค่าจากชุดทดลองได้ผลดังนี้ $I_{รวม} = 11.93 \text{ mA}$, $I_R = 4.94 \text{ A}$, $I_L = 7.89 \text{ A}$, $I_C = 17.57 \text{ A}$ และ มุมเฟส = 67.50 องศา

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

The Alternating Circuit modules base on Hands -on activities is the board for help student understanding in alternating circuit. The experiment on circuit modules consist of (1) measuring alternating voltage and current of resistor, inductor and capacitor. Later, studying frequency from AC source with resistance (R), inductive reactance (X_L) and capacitive reactance (X_C). For result, frequencies from AC source do not effect to resistance (R). However, inductive reactance (X_L) and capacitive reactance (X_C) depends on frequency from AC source: frequency increase and inductive reactance (X_L) increase, frequency increase and capacitive reactance (X_C) decrease. (2) Phase angle of alternating voltage and current of resistor, inductor and capacitor. (3) Measuring alternating voltage and current of RLC series circuit, phase angle between total alternating voltage and current. The results are $I_{total} = 3.98$ mA, $V_R = 3.85$ V, $V_L = 2.43$ V, $V_C = 4.41$ V and phase anlge = 27.27 degree. Finally, (4) Measuring alternating voltage and current of RLC parallel circuit, phase angle between total alternating voltage and current, phase angle between total alternating voltage and current. The results are $I_{total} = 11.93$ mA, $I_R = 4.94$ A, $I_L = 7.89$ A, $I_C = 17.57$ A and phase anlge = 67.50 degree.

สารบัญเรื่อง

บทที่ 1 บทนำ	หน้า
1.1 ความสำคัญของปัญหา	11
1.2 ปัญหาที่ทำการวิจัย	11
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	13
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	13
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	13
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสอนแบบลงมือปฏิบัติ	14
2.2 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	17
2.2.1 ค่ายังผลของกระแสและความต่างศักย์ (Root Mean Square, RMS)	18
2.2.2 การต่ออุปกรณ์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	19
2.3 วงจร RLC แบบอนุกรมและขนาน	20
2.3.1 วงจร RLC แบบอนุกรม	20
2.3.2 วงจร RLC แบบขนาน	22
2.4 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	29
3.1.1 คำนคว้า รวบรวม ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
3.1.2 ออกแบบการทดลอง	29
3.1.3 สร้างชุดทดลองและศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ	30
3.1.4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	31

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทานของตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวขดลวดเหนี่ยวนำ	33
การทดลองที่ 2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	34
การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ห้วงจร RLC แบบอนุกรมในไฟฟ้ากระแสสลับ	36
การทดลองที่ 4 การวิเคราะห์ห้วงจร RLC แบบขนานในไฟฟ้ากระแสสลับ	37

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการทดลองตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน ความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ และ ความต้านทานเชิงความจุ	39
ผลการทดลองตอนที่ 2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	43
ผลการทดลองตอนที่ 3 วงจร RLC อนุกรม	44
ผลการทดลองตอนที่ 4 วงจร RLC ขนาน	46

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลองตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน ความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ และ ความต้านทานเชิงความจุ	49
สรุปผลการทดลองตอนที่ 2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	51
สรุปผลการทดลองตอนที่ 3 วงจร RLC อนุกรม	52
สรุปผลการทดลองตอนที่ 4 วงจร RLC ขนาน	52
บรรณานุกรม	53

สารบัญตาราง

<p>ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความต้านทาน (ใช้ตัวต้านทาน 330 โอห์ม)</p>	39
<p>ตารางที่ 4.2 แสดงความต้านทานหลายค่ากับความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณคงที่ (ใช้ความถี่ 1000 เฮิรตซ์)</p>	40
<p>ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ (ใช้ $L = 300 \text{ mH}$)</p>	40
<p>ตารางที่ 4.4 แสดงความเหนี่ยวนำหลายค่ากับความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณคงที่ (ใช้ความถี่ 600 เฮิรตซ์)</p>	41
<p>ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ (ใช้ $C = 0.47 \text{ ไมโครฟารัด}$)</p>	42
<p>ตารางที่ 4.6 แสดงความจุไฟฟ้าหลายค่ากับความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณคงที่ (ใช้ความถี่ 600 เฮิรตซ์)</p>	42
<p>ตารางที่ 4.7 แสดงกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และ มุมเฟสระหว่าง $V - I$ ของวงจร RLC แบบอนุกรม</p>	44
<p>ตารางที่ 4.8 แสดงกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และ มุมเฟสระหว่าง $V - I$ ของวงจร RLC แบบขนาน</p>	46
<p>ตารางที่ 5.1 แสดงผลของค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำเมื่อคำนวณด้วยกฎของโอห์ม และ $X_L = 2\pi fL$</p>	50
<p>ตารางที่ 5.2 แสดงผลของค่าความต้านทานเชิงความจุไฟฟ้าเมื่อคำนวณด้วย กฎของโอห์ม และ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ โดยที่ค่าความจุไฟฟ้าคงตัว</p>	50
<p>ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความต้านทานเชิงความจุไฟฟ้า (X_C) เมื่อคำนวณโดยใช้กฎของโอห์ม และ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ เมื่อใช้ความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 600 เฮิรตซ์</p>	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และ ความต่างเฟส สำหรับวงจร RLC แบบอนุกรม	52
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และ ความต่างเฟส สำหรับวงจร RLC แบบขนาน	52

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 แสดงแผงทดลอง ไฟฟ้ากระแสสลับ (ซ้าย) และ แสดงจุดเชื่อมต่อของสายไฟ ใต้แผงวงจร (ขวา)	12
รูปที่ 2.1 แสดงพีรามิดของการเรียน (Learning Pyramid)	15
รูปที่ 2.2 แสดงพีรามิดของการเรียน (Learning Pyramid) แบบภาพรวม	16
รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC generator) ประกอบด้วยขดลวด หมุนผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก	17
รูปที่ 2.4 ความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC source) มีลักษณะ เป็นรูป sine และ T คือ เวลาที่ครบ 1 รอบของสัญญาณ	18
รูปที่ 2.5 กราฟของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานยกกำลังสองเป็นฟังก์ชันกับค่าเวลา โดยที่ $i^2 = \frac{I_{\max}^2}{2}$	19
รูปที่ 2.6 แสดงการต่อ RLC แบบอนุกรม กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	20
รูปที่ 2.7 (ก) แสดงแผนภาพ Phasor diagram ระหว่างความต่างศักย์คร่อมอุปกรณ์แต่ละตัว กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร และ (ข) แสดงการหาค่ามูฟเฟสของวงจร RLC อนุกรม	21
รูปที่ 2.8 แสดงการต่อ RLC แบบขนาน กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	22
รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพ Phasor Diagram ระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจร RLC แบบขนาน	22
รูปที่ 2.10 แสดงหน้าปกของหนังสือ Physics for scientists and engineers with modern physics แต่งโดย Raymond A. Serway และ John W. Jewett, Jr.	24
รูปที่ 2.11 แสดงหน้าปกของหนังสือ Experiments In DC/AC Circuits With Concepts แต่งโดย Time Baker (2001)	25
รูปที่ 2.12 แสดงภาพที่เห็นของ LED เมื่อแควงวงจรไปมา รูป (a) เมื่อแผง LED ต่อเข้ากับ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และ (b) เมื่อแผง LED ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	26

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.13 แสดงชุดสาริตวงจร RLC ของ Yaakov Kraftmakher	27
รูปที่ 2.14 แสดงการต่อชุดอุปกรณ์ RLC เข้ากับเครื่อง Oscilloscope	27
รูปที่ 3.1 แสดงลายพิมพ์วงจร สำหรับการทดลอง	30
รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ	31
รูปที่ 3.3 แสดงมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัลวัดค่า RLC	31
รูปที่ 3.4 แสดงขดลวดเหนี่ยวนำ ปรับค่าความเหนี่ยวนำด้วยแท่งแกรไฟต์	32
รูปที่ 3.5 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งติดตั้งในกล่องพลาสติกพร้อมช่องเสียบสายไฟ	32
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรการต่อความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	33
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรการต่อขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	33
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรการต่อตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	34
รูปที่ 3.9 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส (ของ $I-V$) ในตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	34
รูปที่ 3.10 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส(ของ $I-V$) ในตัวขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	35
รูปที่ 3.11 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส(ของ $I-V$) ในตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	35
รูปที่ 3.12 แสดงการต่อวงจร RLC แบบอนุกรมเพื่อตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์	36
รูปที่ 3.13 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส ($I-V$) ของ RLC แบบอนุกรมในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	37
รูปที่ 3.14 แสดงการต่อวงจร RLC แบบขนานเพื่อตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์	37
รูปที่ 3.15 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส ($I-V$) ของ RLC แบบขนานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	38

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.1 แสดงการต่อตัวต้านทานกับแผงวงจรเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์	39
รูปที่ 4.2 แสดงการต่อขดลวดเหนี่ยวนำกับแผงวงจรเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์	40
รูปที่ 4.3 แสดงการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้ากับแผงวงจรเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์	41
รูปที่ 4.4 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานกับกระแสไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้า	43
รูปที่ 4.5 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับกระแสไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้า	43
รูปที่ 4.6 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้า	44
รูปที่ 4.7 แสดงแผนภาพความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม กับ ความต่างศักย์ของ วงจร RLC อนุกรม	46
รูปที่ 4.8 แสดงแผนภาพความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม กับ ความต่างศักย์ สำหรับวงจรขนาน	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เนื้อหาเรื่องไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ปรากฏในบทเรียนทั้งในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และ ในระดับมหาวิทยาลัย (เทอมที่ 2 ของปีการศึกษา) สำหรับนักศึกษาที่ต้องเรียนวิชาฟิสิกส์เป็นพื้นฐาน เนื้อหาไฟฟ้ากระแสสลับจะประกอบด้วย การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ นิยามคำศัพท์เฉพาะไฟฟ้ากระแสสลับ ได้แก่ V_{rms} I_{rms} ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับกับอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า) การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรไฟฟ้ากระแสสลับแบบอนุกรม แบบขนาน แบบผสม และ ความต่างศักย์ที่คร่อมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับแบบอนุกรม แบบขนาน แบบผสม

1.2 ปัญหาที่ทำการวิจัย ประกอบด้วย

1.2.1 ในด้านเนื้อหานี้ นักศึกษามีความไม่เข้าใจในการคำนวณค่าต่าง ๆ ในวงจรแบบต่าง ๆ และ ค่า V_{rms} I_{rms} โดยไม่สามารถแยกความแตกต่างของค่าดังกล่าวกับค่าที่มากที่สุดของความต่างศักย์ และ กระแสไฟฟ้าที่มากที่สุดได้ รวมทั้ง การหาความต้านทานเชิงซ้อน (Impedance) การหาค่ามุมเฟสของวงจร RLC อนุกรม ขนาน และ ผสม ได้อย่างถูกต้อง

1.2.2 การทดลองในส่วนของไฟฟ้ากระแสสลับในระดับมหาวิทยาลัยยังมีน้อย หรือ มีแต่ไม่ครอบคลุมเนื้อหาของไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น หาความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมหรือขนานสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น และ ในบางสถาบันการศึกษาชุดทดลองไม่เพียงพอกับนักศึกษา ทำให้นักศึกษาขาดทักษะในการวัดผล วิเคราะห์ผล และ สรุปผลการทดลอง

1.2.3 ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองเรื่อง ไฟฟ้ากระแสสลับ ในที่ทำงานปัจจุบันมีลักษณะ ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 1.1 แสดงแผงทดลอง ไฟฟ้ากระแสสลับ (ซ้าย) และ แสดงจุดเชื่อมต่อของสายไฟใต้แผงวงจร (ขวา)

จากลักษณะของแผงการทดลอง จะมีขนาดใหญ่ใช้พื้นที่ในการเก็บ และ การเชื่อมสายไฟฟ้า ระหว่างจุดสำหรับใส่อุปกรณ์จะเกิดการหลุดของสายไฟฟ้าได้ง่าย เมื่อเสียบอุปกรณ์ลงไปจะไม่สามารถวัดค่าความต่างศักย์หรือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรได้

ดังนั้นผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่านักศึกษาที่เรียนฟิสิกส์เป็นพื้นฐานในการต่อยอดของการเรียนในสาขาต่าง ๆ ควรจะได้ทำการทดลองที่สอดคล้องกับเนื้อหาทั้งหมดของไฟฟ้ากระแสสลับมีทักษะในการวิเคราะห์ผลจากการทดลองกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี การใช้เครื่องมือวัด (มัลติมิเตอร์) โดยในส่วนของ การใช้เครื่องมือนักศึกษาจะได้ทดลองวัดค่าความต่างศักย์คร่อมอุปกรณ์แต่ละชนิดในวงจรแบบอนุกรม และ ขนาน กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งการวัดค่าเฉพาะตัวของตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำ ผ่านอุปกรณ์เฉพาะ เพื่อให้ นักศึกษามีความชำนาญเป็นนักปฏิบัติที่เชี่ยวชาญ ขณะเดียวกันเป็นการสร้างทัศนคติที่ดีในการเรียนวิชาฟิสิกส์ เพราะนักศึกษาเห็นภาพรวมและประโยชน์ของการเรียน

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อสร้างชุดทดลอง เรื่อง ไฟฟ้ากระแสสลับ แบบปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียน
- 1.3.2 เพื่อศึกษาสมบัติของวงไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับ อนุกรม ขนาน
- 1.3.3 เพื่อให้ให้นักศึกษาได้มีความร่วมมือ และ แก้ไขปัญหาผ่านกิจกรรมที่ทำร่วมกันในบทเรียน
- 1.3.4 เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาในการเรียน เรื่อง ไฟฟ้ากระแสสลับ

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย งานวิจัยมีขอบเขตของโครงการดังนี้

- 1.4.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่สอดคล้องกับบทเรียนเชิงปฏิบัติการของไฟฟ้ากระแสสลับ ในวารสารต่างประเทศ หรือ ภายในประเทศ พร้อมทั้งพิจารณาข้อดีและข้อเสียของแต่ละงานที่ได้ระบุไว้ในวารสาร
- 1.4.2 จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์สำหรับสร้างบทเรียน และ คู่มือการใช้งานให้เหมาะสม โดยผ่านความเห็นชอบของผู้เชี่ยวชาญ
- 1.4.3 นำบทเรียนใช้ในการเรียนการสอน เพื่อทราบข้อดีและข้อเสีย เพื่อทำการปรับปรุงเนื้อหาให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ผลงานวิจัยซึ่งสามารถเผยแพร่ในวารสารวิชาการได้ เช่น วารสาร Physics Teacher หรือ Physics Education
- 1.5.2 ได้เผยแพร่ชุดทดลอง เรื่อง ไฟฟ้ากระแสสลับ แบบปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียน ให้กับโรงเรียนที่มีโครงการห้องเรียนพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์ หรือ โรงเรียนที่ขาดแคลนโอกาสได้ทดลองจริง ๆ กับชุดทดลอง

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสอนแบบลงมือปฏิบัติ (Hands – on Activities)

การเรียนของนักเรียน นักศึกษาหรือบุคคลทั่วไป ทั้งลูกจ้าง นายจ้าง หรือเจ้าของกิจการใด ๆ เมื่อต้องการเรียนรู้เรื่องราวใด ๆ จะต้องประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- (1) การจำ (Remember)
- (2) การเข้าใจ (Comprehension) และ การประยุกต์
- (3) การวิเคราะห์ (Analysis)
- (4) การสังเคราะห์ (Synthesis)
- (5) การประเมินคุณค่าและการตัดสินใจ (Evaluation and decision value)

การเรียนในห้องเรียนปัจจุบันเน้นไปที่ข้อที่ (1) มากที่สุด คือ การจำ เมื่อจำได้สามารถสอบได้ หรือ เรียนเพียงเพื่อนำไปสอบ หรือ ทางด้านหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเห็นว่านักเรียนสามารถมาถึงข้อ (3) คือ การวิเคราะห์ได้ เช่น สามารถทำโจทย์ที่ซับซ้อนขึ้น แก้ปัญหาที่ยากขึ้นจากเนื้อหาที่เรียนในบทเรียน ซึ่งในปัจจุบันไม่เพียงพอกับการขับเคลื่อนประเทศชาติได้ เนื่องจากนักเรียน นักศึกษาไม่สามารถคิดสิ่งใหม่ ๆ จากองค์ความรู้ที่ได้รับ คือ การสังเคราะห์ และ ขณะเดียวกันเมื่อมีข้อมูลรอบข้างเข้ามาเพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าจะนำมาใช้หรือไม่ ไม่สามารถตัดสินใจลงไปได้ ดังนั้นควรจะมีการเพิ่มกระบวนการสังเคราะห์ และการประเมินคุณค่ารวมทั้งการตัดสินใจได้

เมื่อพิจารณาการเรียนการสอนในปัจจุบันจะเน้นไปทางด้านครู อาจารย์ ในสถานศึกษาเป็นผู้ให้ความรู้จากการบอก แก่โจทย์ปัญหาให้ดู และ นักเรียน นักศึกษาเป็นเพียงผู้ทำตามที่อาจารย์แนะนำสอน และ ทำงานที่มอบหมายเท่านั้น ทำให้นักเรียน นักศึกษา ไม่ทราบถึงวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ ขาดการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่เรียนในห้องกับชีวิตประจำวันภายนอก จึงทำให้การเรียนรู้ไม่มีสัมฤทธิ์ผลเท่าที่ควร ซึ่งการถ่ายทอดความรู้สามารถทราบได้จากพีรามิดการเรียน ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้

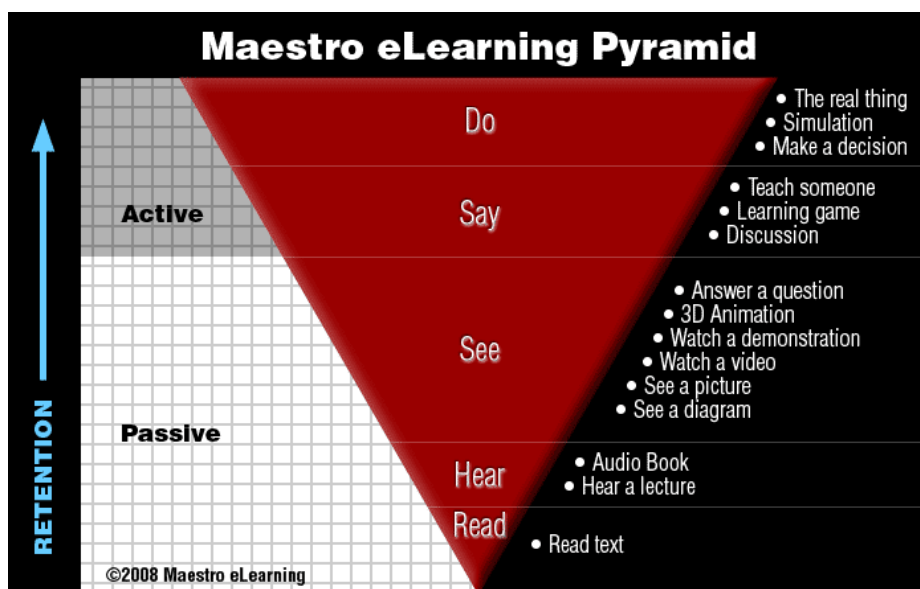


รูปที่ 2.1 แสดงพีรามิดของการเรียน (Learning Pyramid)

ที่มา: ratnaree.wordpress.com

จากพีรามิดการเรียนจะแบ่งการสอนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก Traditional Passive เป็นการสอนที่แบบเดิม ๆ ที่ใช้ในการเรียนการสอน โดยครูเป็นผู้ถ่ายทอดเพียงฝ่ายเดียว ได้แก่ การบรรยาย การอ่านให้ฟัง การให้นักเรียนชมวีดิทัศน์ และ การสาธิตหน้าชั้นเรียน (Demonstration) และ กลุ่มที่ 2 คือ Teaming Active เป็นการสอนที่ผู้สอนในแบบเดิมจะทำหน้าที่ชี้แนะแนวทาง (Coaching) และ นักเรียน นักศึกษาทำงานเป็นทีม หรือ กลุ่มย่อย ประกอบด้วย การแลกเปลี่ยนภายในกลุ่ม (Discussion group) การลงมือปฏิบัติจริง (Practice by doing) การสอนผู้อื่น (Teaching) เช่น การติวหนังสือให้เพื่อน จะพบว่าผลสัมฤทธิ์ของการเรียนในลักษณะของกลุ่มที่ 2 จะได้ผลที่มากกว่า เนื่องจากเป็นการเรียนที่ต้องทำความเข้าใจด้วยตนเอง แล้วลงมือปฏิบัติกับเครื่องมือ เป็นการเข้าใจจากข้างในตัวนักเรียน นักศึกษาเองก่อน แล้วจึงแลกเปลี่ยนกันภายในกลุ่ม

ในการทำงานเดียวกัน เมื่อพิจารณาพีระมิดการเรียนรู้อีกลักษณะหนึ่ง ดังแสดงข้างล่างนี้



รูปที่ 2.2 แสดงพีระมิดของการเรียน (Learning Pyramid) แบบภาพรวม

ที่มา: krofonnaja.wordpress.com

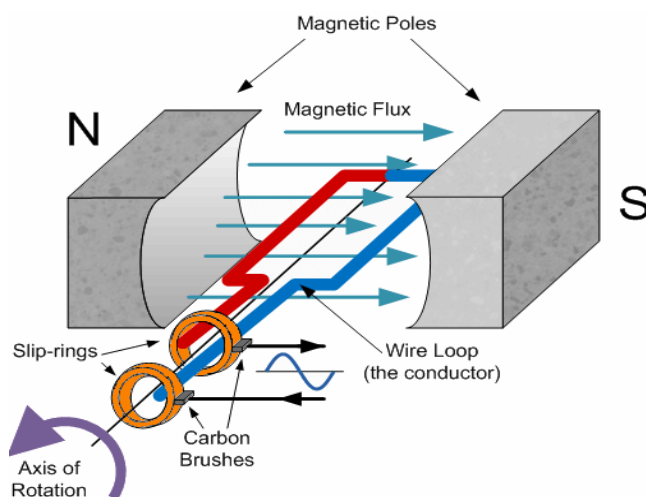
จากพีระมิดพบว่า การได้ลงมือทำ (DO) ได้แก่ การเรียนรู้จากของจริง (The real thing) การจำลองสถานการณ์ (Simulation) และ การอภิปรายกลุ่ม (Make a decision) จะทำให้นักเรียน นักศึกษา เข้าใจมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการเรียนรู้จากของจริงให้ผลมากที่สุด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า การที่นักเรียน นักศึกษาได้ลงมือปฏิบัติกับชุดทดลอง การวัดจากอุปกรณ์เฉพาะทาง จะทำให้นักเรียนเห็นภาพ แก้ปัญหาได้ ทำความเข้าใจด้วยตนเอง และสามารถสรุปผลกันภายในกลุ่ม จะเป็นแนวทางที่ช่วยให้เกิดสัมฤทธิ์ผลมากยิ่งขึ้น กิจกรรมที่สร้างสำหรับเรื่องไฟฟ้ากระแสสลับ ในชื่อของงานวิจัย จะเน้นไปที่ Hands - on เนื่องจาก คำว่า **Hands - on** แปลว่า **ลงมือปฏิบัติจริง (Learning by doing)** และ การเรียนแบบ Hands - on จะทำให้เกิดความเข้าใจกับสิ่งต่าง ๆ ขณะที่ลงมือทำและทำให้เกิดประสบการณ์ ในด้านอาชีวศึกษา (Vocational Education) จะมีความเข้าใจในเรื่อง Hands - on เป็นพิเศษ เช่น ถ้าต้องการให้นักเรียนรู้เรื่องการซ่อมรถยนต์ นักเรียนจะต้องอยู่ในอู่หรือสถานที่ที่มีรถให้ซ่อม (มีรถยนต์มาให้บริการ) หรือ ถ้าต้องการให้นักเรียนทำอาหารเป็น จะต้องให้นักเรียนอยู่ในครัว

ดังนั้นกลุ่มวิจัยมีความเห็นว่า ควรจะมีกิจกรรมที่เป็นลักษณะ Hands-on ในสถานศึกษา เนื่องจากหลังจากที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาแล้ว อาจเกิดข้อสงสัยว่าสิ่งที่ได้เรียนห้องเรียนแล้วเมื่อลงปฏิบัติจริงจะได้ผลเหมือนกันหรือไม่ โดยนักเรียนเป็นผู้ทำกิจกรรมทั้งหมด ครู อาจารย์ที่ควบคุม เป็นเพียงผู้แนะนำเมื่อนักเรียนมีปัญหา หรือ อาจจะเป็นผู้ตรวจสอบการต่อวงจร การใช้ชุดเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นการสร้างบรรยากาศในการเรียนรู้

2.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้าและแหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งให้ความต่างศักย์ของ ไฟฟ้ากระแสสลับดังแสดงในภาพข้างล่างนี้



รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC generator) ประกอบด้วยขดลวดหมุนผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก (ที่มา: www.electronics-tutorials.ws)

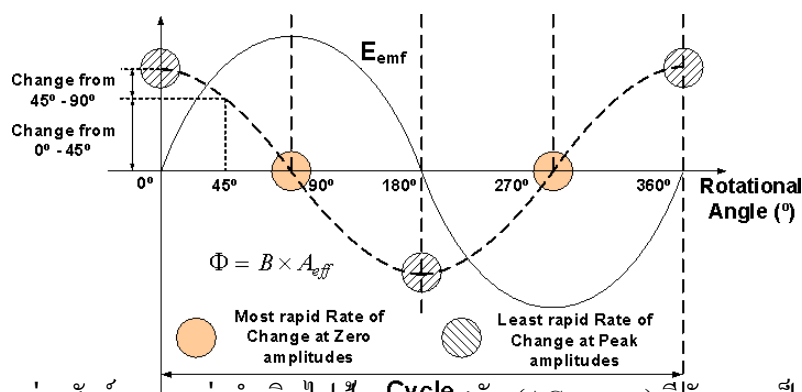
โดยค่าความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงตามค่าเวลา และ สมการคือ

$$\Delta V = \Delta V_{\max} \sin \omega t \quad (2.1)$$

เมื่อ ค่า ΔV_{\max} คือ ความต่างศักย์ที่มากที่สุดที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงจร หรือ Voltage Amplitude แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยตัวสร้างสัญญาณไฟฟ้า (Generator) และ ค่า ω คือ ความถี่เชิงมุมของความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ มีค่าเท่ากับ

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (2.2)$$

โดยที่ f คือ ความถี่ของแหล่งกำเนิด และ T คือ คาบ ค่าความถี่ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในประเทศไทยคือ 50 Hz และ ค่าต่าง ๆ ในสมการที่ (1) และ (2) สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้

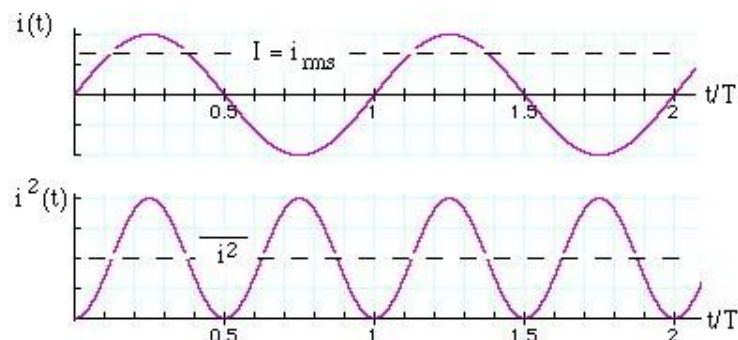


รูปที่ 2.4 ความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC source) มีลักษณะเป็นรูป sine และ T คือ เวลาที่ครบ 1 รอบของสัญญาณ (ที่มา: macao.communications.museum)

2.2.1 ค่ายังผลของกระแสและความต่างศักย์ (Root Mean Square, RMS)

เนื่องจากกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นการคำนวณหรือการวัดค่าที่เวลาต่าง ๆ จึงไม่คงที่ จึงต้องกำหนดค่าเฉลี่ยของกระแสและความต่างศักย์

ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จะคิดเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากระแสสลับกับกระแสตรง โดยใช้ลวดความร้อน 2 ชุด ที่มีความต้านทาน (R) เท่ากัน ชุดหนึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (เช่น ถ่านไฟฉาย) และ อีกชุดหนึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้เกิดความร้อนกับขดลวดในอัตราเท่ากัน วัดค่าของกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด และ วัดค่าความต่างศักย์ระหว่างปลายขดลวดในวงจรกระแสตรงได้ I และ V ตามลำดับ ค่าที่วัดได้นี้จะมาใช้เป็นค่าของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรกระแสสลับ โดยค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ใช้สำหรับวงจรกระแสสลับนี้ เรียกว่า ค่ายังผล (ในทางปฏิบัติจะใช้มิเตอร์ที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าสลับ ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์เป็นค่ายังผล จึงเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ค่ามิเตอร์) พิจารณาได้จากกราฟข้างล่างนี้



รูปที่ 2.5 กราฟของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานยกกำลังสองเป็นฟังก์ชันกับค่าเวลา โดยที่ $i^2 = \frac{I_{\max}^2}{2}$

(ที่มา: www.animations.physics.unsw.edu.au)

ค่ายังผลของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับคือ $I_{rms} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$

และ ค่าความต่างศักย์ของกระแสสลับคือ $V_{rms} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$

ดังนั้นการกล่าวถึงกระแสไฟฟ้า หรือ ความต่างศักย์จากแหล่งจ่าย จะหมายถึงค่ายังผลของกระแสไฟฟ้าหรือค่ายังผลของความต่างศักย์ เช่น เมื่อกล่าวถึงความต่างศักย์ในบ้านเท่ากับ 220 โวลต์ ค่าของ 220 โวลต์ คือค่ายังผลของความต่างศักย์แสดงว่า ความต่างศักย์ที่มากที่สุดของไฟบ้านคือ $V_{\max} = 220(\sqrt{2}) = 311$ โวลต์

2.2.2 การต่ออุปกรณ์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่กล่าวถึงจะประกอบด้วย ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และแต่ละตัวต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีค่าประจำตัว คือ ความต้านทาน (R) ความเหนี่ยวนำ (L) และ ค่าความจุไฟฟ้า (C) ตามลำดับ แต่ เพื่อให้ค่าที่ได้มีหน่วยเดียวกัน เพราะ ความต้านทานมีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω) แต่ ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี (Henry, H) และ ความจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็น ฟารัด (Farad, F) จึงมีการเปลี่ยนรูปดังนี้

$$\left. \begin{array}{l} \text{ค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ} \\ \text{ค่าความต้านทานเชิงความจุไฟฟ้า} \end{array} \right\} \begin{array}{l} X_L = \omega L = 2\pi fL \\ X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \end{array} \quad \text{มีหน่วยเป็น โอห์ม } (\Omega)$$

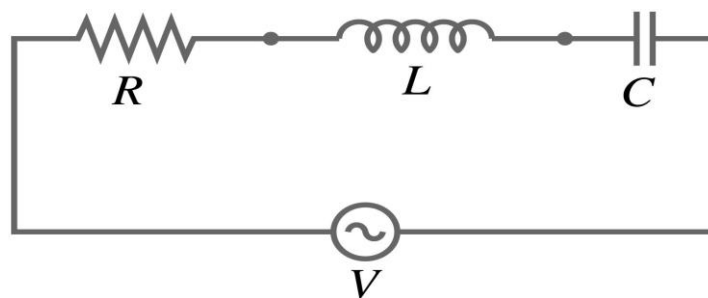
ปริมาณและความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัว กับ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ สรุปดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดกับ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

อุปกรณ์ไฟฟ้า	สัญลักษณ์	ความต้านทาน	มุมเฟสของกระแส	Phase constant (ϕ)	ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์
ตัวต้านทาน	R	R	เฟสตรงกับ V_R	0°	$V_R = I_R R$
ตัวเก็บประจุ	C	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	เฟสนำ V_C 90°	-90°	$V_C = I_C X_C$
ตัวเหนี่ยวนำ	L	$X_L = \omega L$	เฟสตาม V_L 90°	$+90^\circ$	$V_L = I_L X_L$

2.3 วงจร RLC อนุกรม และ ขนาน

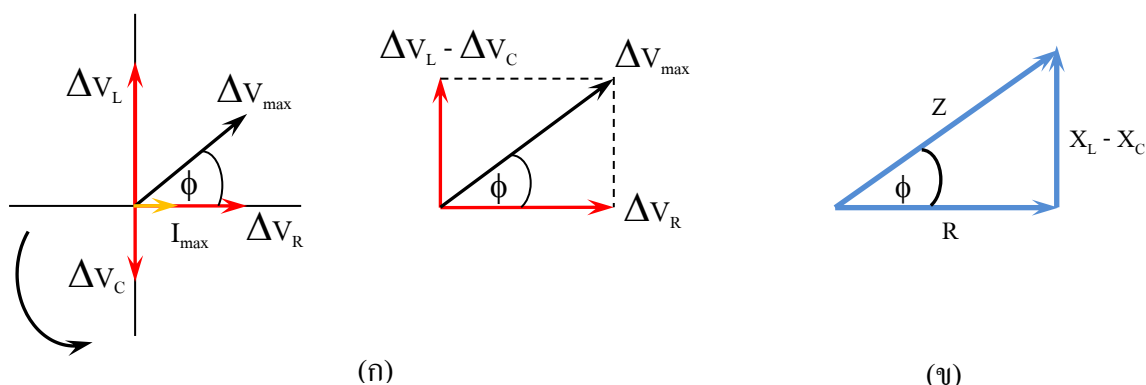
2.3.1 วงจร RLC แบบอนุกรม มีลักษณะดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.6 แสดงการต่อ RLC แบบอนุกรม กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา: helios.augustana.edu

ความสัมพันธ์ของวงจร RLC แบบอนุกรมจะพิจารณาในรูปของแผนภาพ Phasor Diagram ของ กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ดังนี้



รูปที่ 2.7 (ก) แสดงแผนภาพ Phasor diagram ระหว่างความต่างศักย์คร่อมอุปกรณ์แต่ละตัวกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร และ (ข) แสดงการหาค่ามุมเฟสของวงจร RLC อนุกรม

ค่าความต่างศักย์รวมหรือความต่างศักย์มากที่สุดของวงจร RLC จาก Phasor Diagram คือ

$$\Delta V_{\max} = \sqrt{\Delta V_R^2 + (\Delta V_L - \Delta V_C)^2} \quad (2.3)$$

หรือ

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

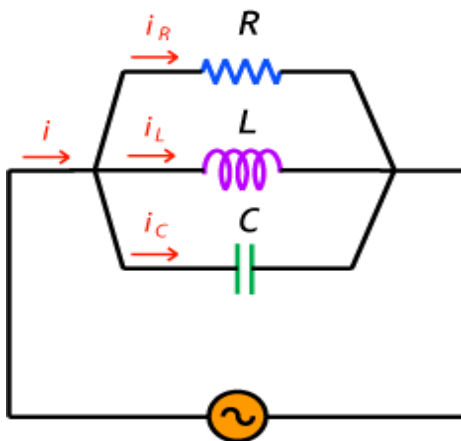
ค่าใน Square root เรียกว่า ความต้านทานเชิงซ้อน (Impedance) ใช้สัญลักษณ์ Z และมีหน่วยเป็น โอห์ม(Ω) ดังนั้น จะได้

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.4)$$

มุมเฟส (Phase Constant, ϕ) ของวงจร RLC อนุกรม คือ

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) \quad (2.5)$$

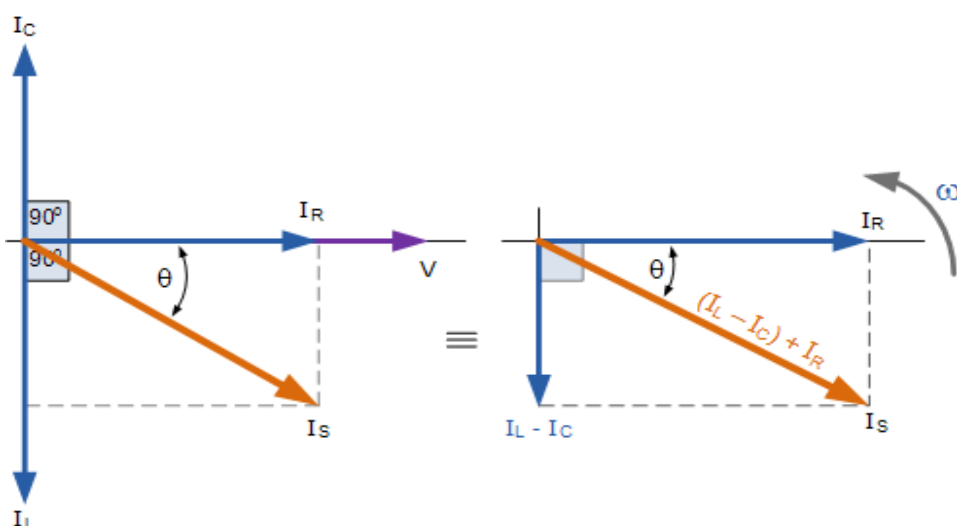
2.3.2 วงจร RLC แบบขนาน มีลักษณะดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.8 แสดงการต่อ RLC แบบขนาน กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา : <http://www.caraudio-club.com/forum/showthread.php>

ความสัมพันธ์ของวงจร RLC แบบขนานจะพิจารณาในรูปของแผนภาพ Phasor Diagram ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ดังนี้



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพ Phasor Diagram ระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจร RLC แบบขนาน (ที่มา: <http://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/parallel-circuit.html>)

ค่ากระแสไฟฟ้ารวมหรือกระแสไฟฟ้าที่มากที่สุดในช่วงจร RLC แบบขนาน เมื่อพิจารณาจากแผนภาพ Phasor Diagram จะได้

$$I_{\max} = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} \quad (2.6)$$

ความต้านทานเชิงซ้อน (Impedance, Z) ของวงจร RLC แบบขนานหาได้จาก

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2} \quad (2.7)$$

และ ค่ามุมเฟสของวงจร RLC แบบขนานคือ

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{I_C - I_L}{I_R} \right) \quad (2.8)$$

2.4 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

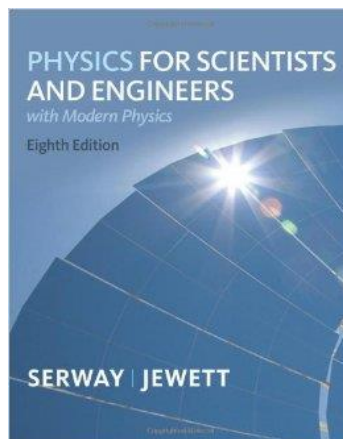
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ รับผิดชอบสอนวิชาฟิสิกส์สำหรับวิศวกร 1 และ 2 ให้กับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ วิชาฟิสิกส์เบื้องต้น สำหรับนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ สำหรับส่วนองงานวิจัยจะเน้นไปที่ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ เมื่อพิจารณาจากเนื้อหาที่ทางสภาวิศวกรกำหนดใน ส่วนของกลุ่มวิชาพื้นฐานทางฟิสิกส์ ตามระบบทวิภาค จะประกอบไปด้วย

Mechanics of particles and rigid bodies; properties of matter; fluid mechanics; heat; vibrations and waves; elements of electromagnetism. A. C. circuits; fundamental electronics; optics; modern physics.

พบว่าในเนื้อหาที่ทางสภาวิศวกรกำหนดให้สำหรับในส่วนของกระแสไฟฟ้าจะเน้นไปที่ A.C. circuits (วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ) ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผู้วิจัยสนใจและจะช่วย นักศึกษาเข้าใจเนื้อหามากขึ้น

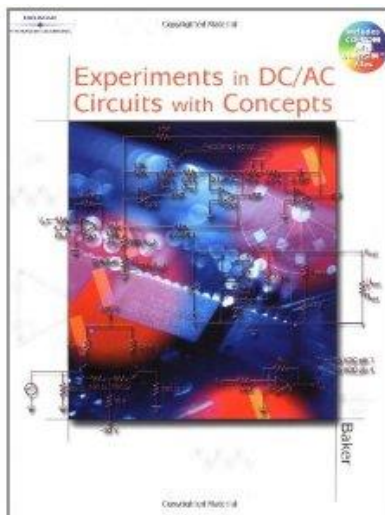
จากที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย พบว่าเนื้อหาในหนังสือเรียนที่เป็น มาตรฐานใช้สำหรับการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัยจะกล่าวถึงสมการสำหรับความต่างศักย์ที่ คร่อมและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัวที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ เมื่อนำอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และ ตัวเหนี่ยวนำ มาต่อกันจะเพียงการนำ RLC มาต่อกันแบบอนุกรมและต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น โดยหนังสือเรียนที่ใช้

เป็นมาตรฐานได้แก่ Physics for scientists and engineers with modern physics ผู้แต่งคือ Raymond A.Serway และ John W.Jewett, Jr. สำนักพิมพ์ Brook and Cole (2010) (ดังภาพข้างล่าง)



รูปที่ 2.10 แสดงหน้าปกของหนังสือ Physics for scientists and engineers with modern physics แต่งโดย Raymond A.Serway และ John W.Jewett, Jr.

เนื้อหาจะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ การต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า (R , L และ C) เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ วงจร RLC แบบอนุกรม กำลังของวงจรกระแสสลับ เรโซแนนซ์ในวงจร RLC แบบขนาน หม้อแปลงไฟฟ้าและกำลังของหม้อแปลง วงจรขยายและกรองกระแส (Rectifiers and filters) เนื้อหาโดยภาพรวมครบและมีโจทย์ให้นักศึกษาได้ทำแบบฝึกหัด แต่ไม่ครอบคลุมในส่วนของวงจร RLC แบบขนาน สำหรับในส่วนของหนังสือปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ามีหนังสือที่เกี่ยวข้องและใช้กันแพร่หลายคือ Experiments In DC/AC Circuits With Concepts (ดังรูปหน้าปกข้างล่างนี้) แต่งโดย Tim Baker จากสำนักพิมพ์ Delmar ปี 2001



รูปที่ 2.11 แสดงหน้าปกของหนังสือ Experiments In DC/AC Circuits With Concepts แต่งโดย Time Baker (2001)

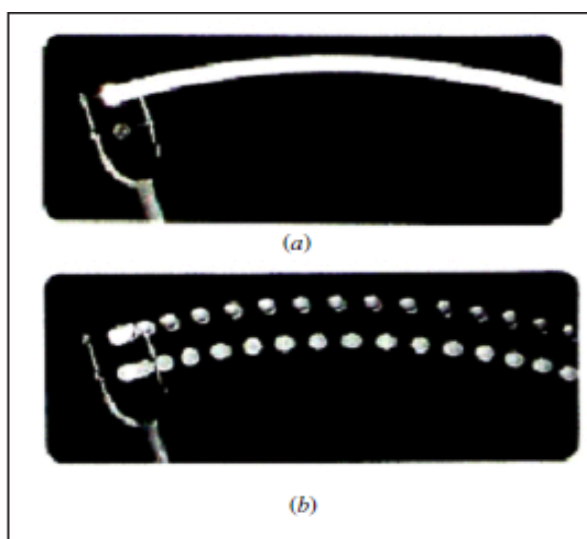
ภายในหนังสือเล่มนี้จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 35 การทดลองที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้า กระแสตรงและกระแสสลับ พิจารณาเฉพาะในส่วนของกระแสสลับจะมี 8 การทดลอง ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาในส่วนของทฤษฎี (ในส่วนของอุปกรณ์ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ) และ วงจร RLC แบบอนุกรม

เมื่อพิจารณาจากหนังสือเรียนและหนังสือสำหรับปฏิบัติการที่ใช้แพร่หลาย พบว่าขาดในส่วนของวงจร RLC แบบขนาน ซึ่งกลุ่มวิจัยได้มีความเห็นว่าควรมีเนื้อหาในส่วนนี้เพิ่มลงไป เนื้อหาและควรมีปฏิบัติการตรงส่วนนี้ด้วย เพื่อให้นักศึกษาเห็นภาพรวมที่เป็นพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับครบ

ในส่วนของงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติและเกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีดังนี้

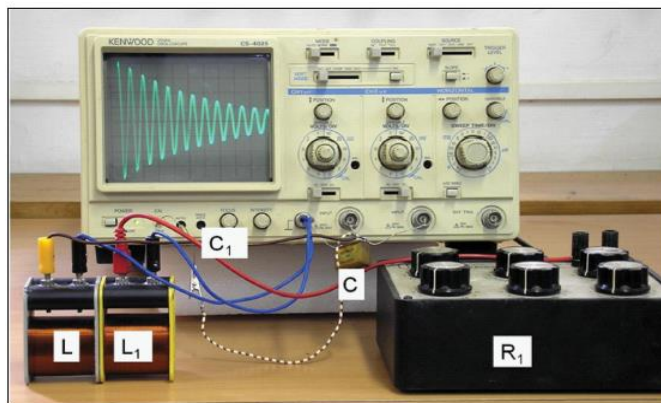
- **Revisiting the LCR circuit** เขียน โดย V. Ramachandran จาก Department of Physics, University of Botswana, Gaborone, Botswana ตีพิมพ์ในวารสาร Physics Education Vol.26, No.318 1991 ในเนื้อหาจะเป็นการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือ วงจร LCR circuits เพื่อใช้อธิบายและสาธิตการเคลื่อนที่แบบ Damped simple harmonic motion and Oscillations ในวงจรไฟฟ้าเท่านั้น

- **Simple equipment for imaging AC** เขียนโดย Masahiro Kamata and Takayuki Anayama จาก Department of Science Education, Faculty of Education, Tokyo Gakugei University, Japan ตีพิมพ์ในวารสาร Physics Education ในเดือน กรกฎาคม 2003 ในเนื้อหาจะใช้แผงวงจร LED แสดงความแตกต่างของวงจรไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ โดยเมื่อให้ความต่างศักย์แบบ DC กับวงจร LED ตัว LED จะสว่างคงที่ แต่เมื่อให้ความต่างศักย์แบบ AC กับวงจร LED ตัว LED จะมีส่วนที่สว่างและไม่สว่าง ดังแสดงรูปข้างล่างนี้



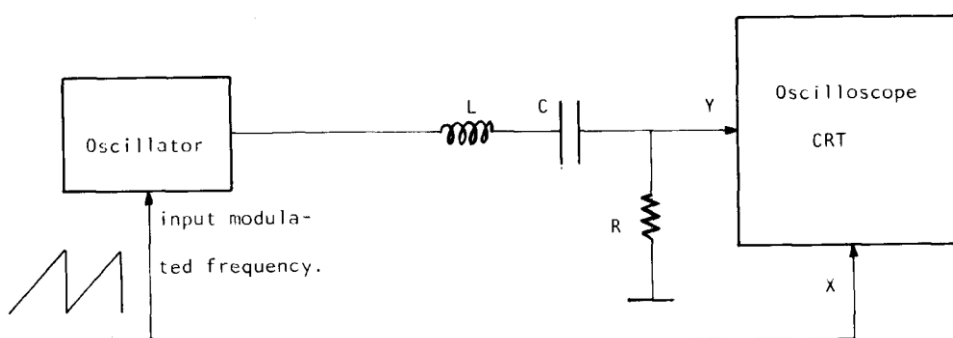
รูปที่ 2.12 แสดงภาพที่เห็นของ LED เมื่อแคว้งวงจรไปมา รูป (a) เมื่อแผง LED ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และ (b) เมื่อแผง LED ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

- **Demonstrations with an LCR circuit** แต่งโดย Yaakov Kraftmakher จาก Bar – Ilan University, Ramat – Gan 52900, Israel ตีพิมพ์ในวารสาร Physics Teacher Vol.49 March 2011 ในเนื้อหาจะประกอบด้วยสาระ 3 การสาธิต (1) แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่และการสั่นแบบอิสระของสัญญาณแรงดันกระแสสลับโดยการเปลี่ยนค่า C และ R (2) ใช้แท่ง Ferrite หรือ แท่งอะลูมิเนียมใส่เข้าไปในตัวเหนี่ยวนำ เพื่อแสดง Free Oscillations decreases และ (3) แสดง Positive and Negative feedback ของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (ชุดเครื่องมือเป็นเพียงชุดสาธิตหน้าชั้นเรียน) ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.13 แสดงชุดสาริตวงจร RLC ของ Yaakov Kraftmakher

- **Electronic device of didactic and electrometric interest for the study of *RLC* circuits** แต่งโดย Angel L. Pérez Rodríguez, Juan José Peña Bernal, and Benito Mahedero Balsera จาก University of Extremadura, Badajoz, Spain ตีพิมพ์ในวารสาร American Journal of Physics February 1979 Volume 47, Issue 2, pp. 178 ในเนื้อหาจะใช้ Oscilloscope ช่วยในการศึกษา electronic resonance โดยใช้วงจร RLC เพิ่มเข้ามาในวงจร ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.14 แสดงการต่อชุดอุปกรณ์ RLC เข้ากับเครื่อง Oscilloscope

- **Chronicling a successful secondary implementation of Studio Physics** แต่งโดย Patrick B. Kohl and H. Vincent Kuo จาก Department of Physics, Colorado School of Mines, Golden, Colorado 80401 ตีพิมพ์ในวารสาร American Journal of Physics ประจำเดือน September 2012, Volume 80, Issue 9, pp. 832 ได้กล่าวถึงวิธีการสอนแบบ Studio Physics สำหรับการเรียนวิชาฟิสิกส์ 2 โดยคณะวิจัยได้ทำการวิจัยสำหรับปี 2007 โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาวิธีการสอน Studio Physics ให้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม ในบทความจะกล่าวถึง ข้อสอบก่อนและหลังเรียน โดยใช้ข้อสอบ Conceptual Survey of Electricity and Magnetism (CSEM) ซึ่งเป็นข้อสอบแบบมาตรฐาน การคิดคะแนน Colorado

Learning About Science Survey scores (CLASS) และผลการสอนโดยใช้วิธีแบบ Studio Physics ทำให้ผลการเรียนของนักเรียนเพิ่มขึ้น โดยผลการเรียนดูจากนักเรียนแก้ปัญหา (Problem solving) และ ประสิทธิภาพในการสอบ

- **The RLC system: An invaluable test bench for students** แต่ง โดย Pierre Cafarelli, Jean-Philippe Champeaux, Martine Sence, and Nicolas Roy จาก Université Paul Sabatier, France ตีพิมพ์ในวารสาร American Journal of Physics ประจำเดือน September 2012 ,Volume 80, Issue 9, pp. 789 ได้สร้างปฏิบัติการวงจร RLC เพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนด้านทฤษฎีและปฏิบัติ โดยปฏิบัติการประกอบด้วย การวิเคราะห์ค่า Impedance การวิเคราะห์ค่า สัญญาณในรูปของคาบและความถี่ การใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขซึ่งอาศัย Fourier transform และ การวัดผลการเรียนดูจากการใช้เครื่องมือ และ นำเสนอ และ การแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยโดยส่วนใหญ่ที่ใช้อ้างอิงมาจากวารสาร 3 วารสาร คือ American Journal of Physics, Physics Education และ Physics Teacher โดยวารสาร American Journal of Physics จะนำเสนอการค้นพบทางด้านฟิสิกส์สาขาต่าง ๆ รวมทั้งการสร้างเครื่องมือในการเรียนการสอน วารสาร Physics Education จากประเทศอังกฤษ เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสอนฟิสิกส์เรื่องต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การเรียนการสอนในชั้นเรียนน่าสนใจ การสร้างเครื่องมือช่วยสื่อเรื่องต่าง ๆ ในวิชาฟิสิกส์ให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น และ Physics Teacher ของสมาคมครูฟิสิกส์ของประเทศอเมริกา จะเน้นไปที่การสร้างเครื่องมือช่วยในการสอนฟิสิกส์

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1.1 **ค้นคว้า รวบรวม ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลของการทำชุดทดลอง การทำวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาผลดีและผลเสียที่เกิดขึ้น รวมทั้งวิธีการเก็บ วิเคราะห์เชิงสถิติ และ สรุปผลของการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 ออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย

ชุดทดลอง หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของตัวต้านทานค่าต่าง ๆ กับ ค่าความถี่ที่คงที่ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และ ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ย่านต่าง ๆ กับค่าความต้านทานที่คงที่

ชุดทดลอง หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าต่าง ๆ กับ ค่าความถี่ที่คงที่ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และ ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ย่านต่าง ๆ กับค่าความเหนี่ยวนำที่คงที่

ชุดทดลอง หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้า (C) ค่าต่าง ๆ กับ ค่าความถี่ที่คงที่ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และ ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ย่านต่าง ๆ กับค่าความจุไฟฟ้า (C) ที่คงที่

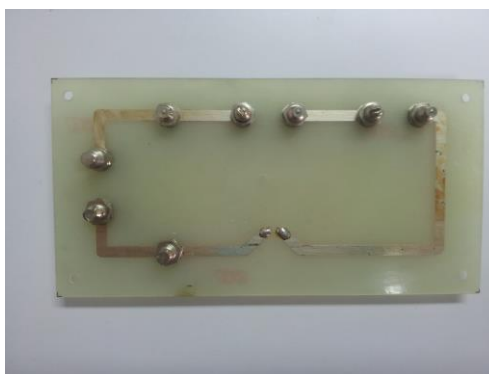
ชุดทดลอง หาความสัมพันธ์ระหว่างมุมเฟสของความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ กับมุมเฟสของความต่างศักย์ที่คร่อม ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำ

ชุดทดลอง วงจร RLC แบบอนุกรม เพื่อหาค่าความต่างศักย์รวมของวงจร หาค่าความต่างศักย์ที่คร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า หาค่ากระแสไฟฟ้ารวม หาค่าความต่างศักย์รวม และ มุมเฟสของ $V - I$ ของวงจร

ชุดทดลอง วงจร RLC แบบขนาน เพื่อหาค่าความต่างศักย์รวม หาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า หาค่ากระแสไฟฟ้ารวม หาค่าความต่างศักย์รวม และ มุมเฟสของ $V - I$ ของวงจร

3.1.3 สร้างชุดทดลองและศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ

สร้างชุดทดลองจากขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้แผงวงจรที่เป็นลายพิมพ์ของวงจร ดังตัวอย่างในภาพ



รูปที่ 3.1 แสดงลายพิมพ์วงจร สำหรับการทดลอง

เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการทดลองจากการใช้สายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับวงจร และศึกษาผลต่างๆ ได้แก่

- (1) ผลของความถี่จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ต่อความต้านทานของตัวต้านทาน (R) ความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ (X_L) และ ความต้านทานเชิงความจุ (X_C)
- (2) มุมเฟสระหว่างความต่างศักย์ที่คร่อมตัวแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับกับความต่างศักย์ที่คร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า
- (3) วงจร RLC แบบอนุกรม ค่าที่ต้องการศึกษา คือ ค่ากระแสไฟฟ้ารวม ความต่างศักย์ที่คร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า มุมเฟสระหว่าง $V-I$ ค่าความต้านทานเชิงซ้อน (Z)
- (4) วงจร RLC แบบขนาน ค่าที่ต้องการศึกษา คือ ค่าความต่างศักย์รวม กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า มุมเฟสระหว่าง $V-I$ ค่าความต้านทานเชิงซ้อนของวงจร (Z)

เมื่อบันทึกผลการทดลองแล้ว จะต้องมีการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจากทฤษฎีที่มีค่าผิดพลาดเล็กน้อยเพียงใด ถ้าเกิดข้อผิดพลาดจะต้องตรวจสอบและซ่อมแซม จากนั้นทำการทดลองเพื่อบันทึกค่าอีกครั้ง เมื่อปราศจากข้อผิดพลาดแล้ว จัดทำคู่มือ จัดให้มีการทดลองในห้องปฏิบัติการ และ จัดสัมมนาให้กับนักเรียนจากโรงเรียนที่สนใจ

3.1.4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เครื่อง (แหล่งจ่ายไฟฟ้าปรับความถี่ได้) และ แผงทดลอง



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล 3 เครื่อง (วัดค่าพื้นฐานทางไฟฟ้า)

มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัลวัดค่า RLC



รูปที่ 3.3 แสดงมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัลวัดค่า RLC

ตัวต้านทาน 50Ω , 470Ω , 560Ω , 820Ω , $1k\Omega$, $2.2k\Omega$, $2.7 k\Omega$ อย่างละ 1 ตัว

ตัวขดลวดเหนี่ยวนำปรับค่าได้ 1 ตัว (ใช้ศึกษาความต้านทานขดลวดเหนี่ยวนำกับความถี่)



รูปที่ 3.4 แสดงขดลวดเหนี่ยวนำ ปรับค่าความเหนี่ยวนำด้วยแท่งแกรไฟต์

ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้า $0.47 \mu\text{F}$ 4 ตัว (ใช้ศึกษาความต้านทานตัวเก็บประจุกับความถี่)



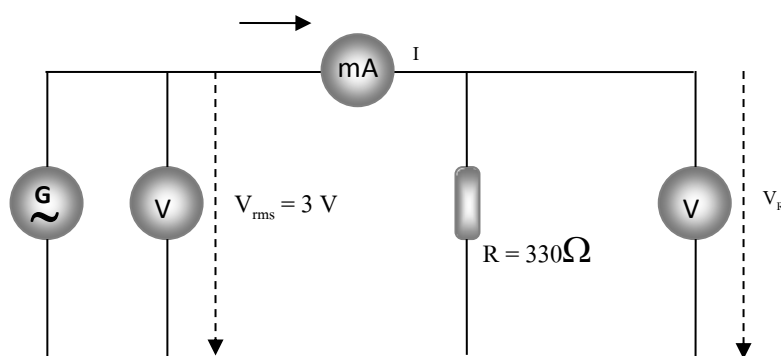
รูปที่ 3.5 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งติดตั้งในกล่องพลาสติกพร้อมช่องเสียบสายไฟ

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน ของตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวขดลวดเหนี่ยวนำ

ตอนที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 1 แล้วปรับแอมป์ลิจูดให้ค่าความต่างศักย์ยังผลเป็น $3 V_{rms}$ บันทึกค่ากระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน โดยเปลี่ยนความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ค่าต่าง ๆ กันประมาณ 5 ค่า (400 เฮิร์ต – 1500 เฮิร์ต)

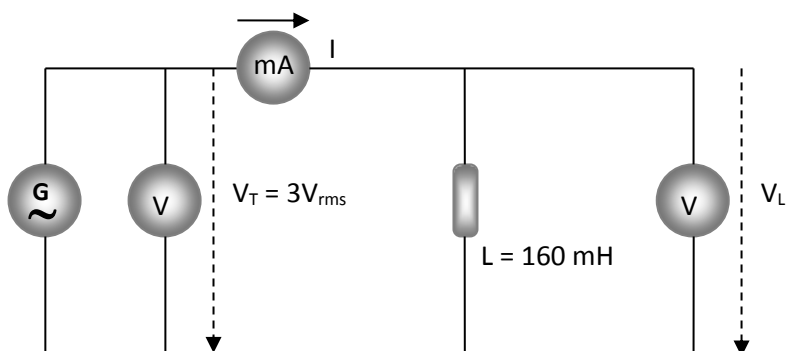


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรการต่อความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

2. จากวงจรรูปที่ 3.6 ตั้งความถี่ไว้ที่ค่าคงที่ค่าหนึ่งและค่าความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไว้ที่ 3 V หลังจากนั้นเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ค่าต่าง ๆ กันประมาณ 5 ค่า (400 โอห์ม – 3 กิโลโอห์ม) เพื่อวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ที่ผ่านตัวต้านทาน
3. คำนวณค่าความต้านทานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละค่า

ตอนที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำ

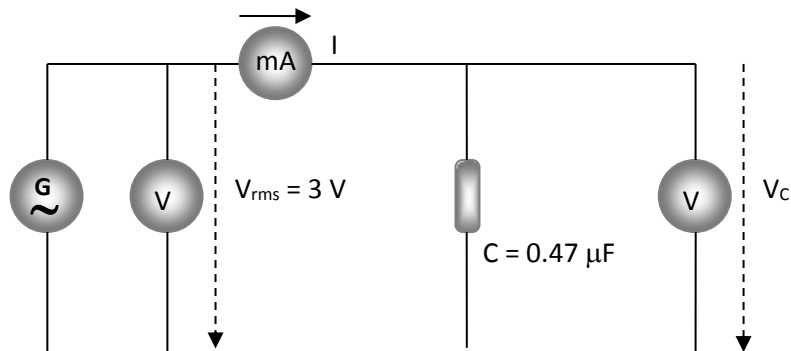
1. ทำการทดลองแบบเดียวกับตอนที่ 1.1 แต่เปลี่ยนจากตัวต้านทานเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรการต่อขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ตอนที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุ

1. ทำการทดลองแบบเดียวกับตอนที่ 1.1 แต่เปลี่ยนจากตัวต้านทานเป็นตัวเก็บประจุ

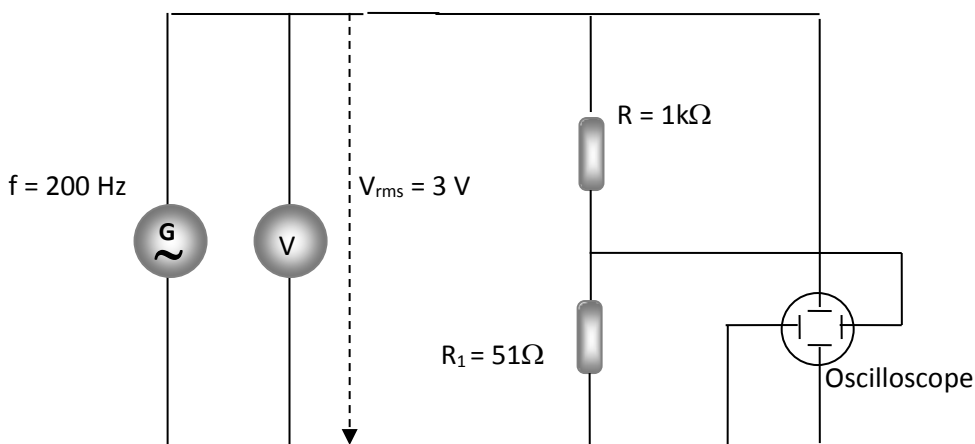


รูปที่ 3.8 แสดงวงจรการต่อตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การทดลองที่ 2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ตอนที่ 2.1 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

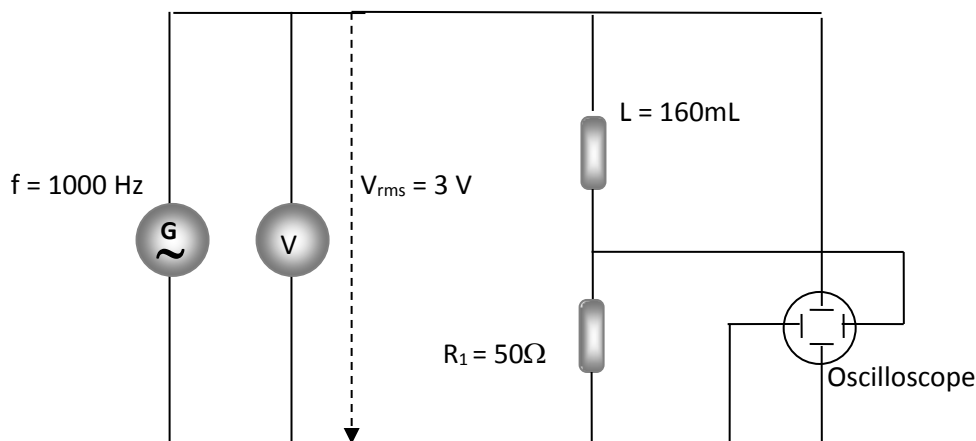
1. ใช้ โพรโตบอร์ด ต่อวงจรดังรูปที่ 3.9 และใช้ออสซิลโลสโคปตรวจวัดความต่างเฟส โดยปรับออสซิลโลสโคป เพื่อให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนและเขียนรูปได้ง่าย เพื่อบันทึกผลการทดลองรวมทั้งคำนวณความต่างเฟสที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 3.9 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส (ของ I – V) ในตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ตอนที่ 2.2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวขดลวดเหนี่ยวนำกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

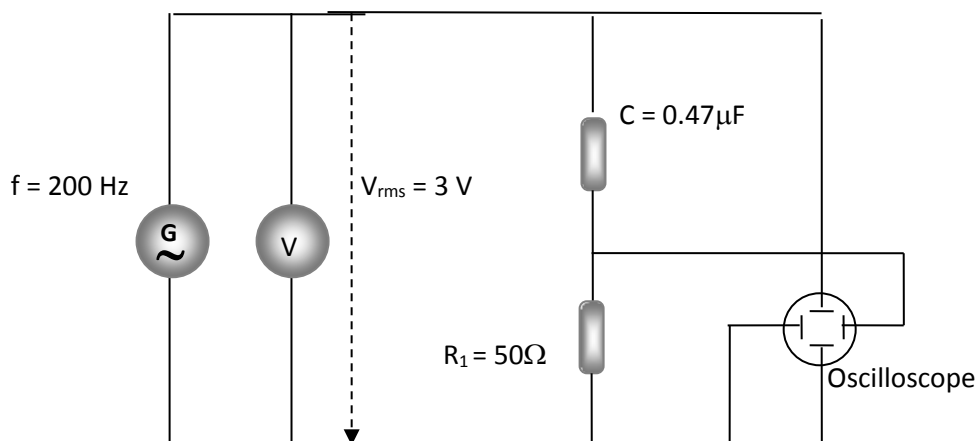
1. ทำการทดลองในแบบเดียวกับตอนที่ 2.1 เพียงแต่เปลี่ยนตัวต้านทานเป็นตัวขดลวดเหนี่ยวนำดังรูปที่ 5 แล้วบันทึกค่าที่ได้จากออสซิลโลสโคปและคำนวณค่าความต่างเฟสที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.10 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส(ของ $I-V$) ในตัวขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ตอนที่ 2.3 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

1. ทำการทดลองในแบบเดียวกับตอนที่ 2.1 เพียงแต่เปลี่ยนตัวต้านทานเป็นตัวเก็บประจุดังรูปที่ 6 แล้วบันทึกค่าที่ได้จากออสซิลโลสโคปและคำนวณค่าความต่างเฟสที่เกิดขึ้น

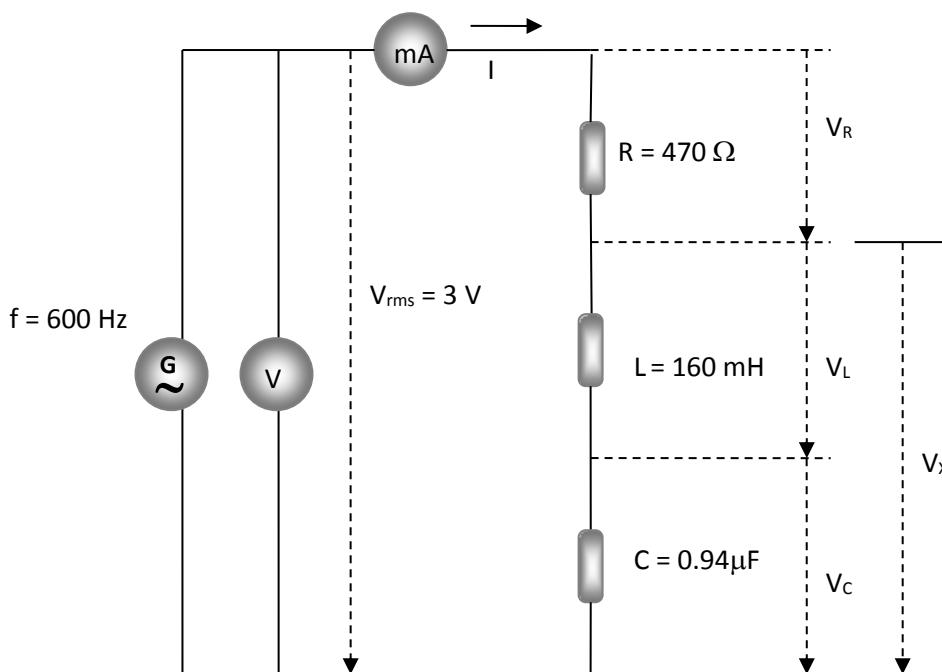


รูปที่ 3.11 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส(ของ $I-V$) ในตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์วงจร RLC แบบอนุกรมในไฟฟ้ากระแสสลับ

ตอนที่ 3.1 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจร RLC แบบอนุกรม

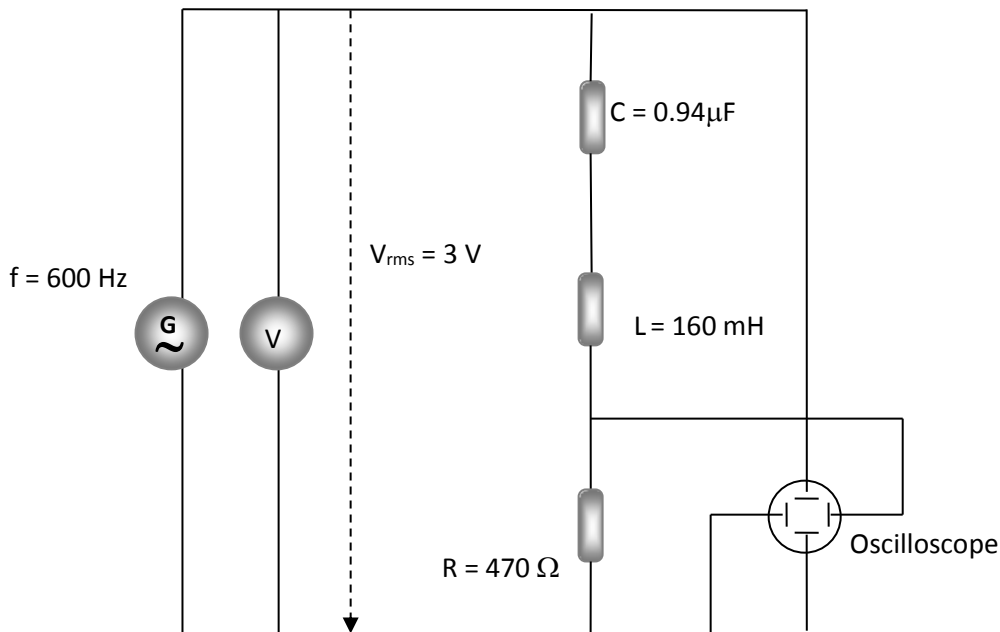
1. ใช้โปรโตบอร์ดต่อวงจรดังรูปที่ 3.12 เพื่อตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ได้ ณ จุดต่าง ๆ แล้วทำการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 3.12 แสดงการต่อวงจร RLC แบบอนุกรมเพื่อตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

ตอนที่ 3.2 การหาความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าในวงจรกับความต่างศักย์รวมในวงจร RLC แบบอนุกรม โดยใช้ออสซิลโลสโคป

1. ใช้ โปรโตบอร์ด ต่อวงจรดังรูปที่ 3.13 และใช้ออสซิลโลสโคปตรวจวัดความต่างเฟส โดยปรับออสซิลโลสโคป เพื่อให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนและเขียนรูปได้ง่าย เพื่อบันทึกผลการทดลองรวมทั้งคำนวณความต่างเฟสที่เกิดขึ้นจากออสซิลโลสโคปเทียบกับทฤษฎีการคำนวณ

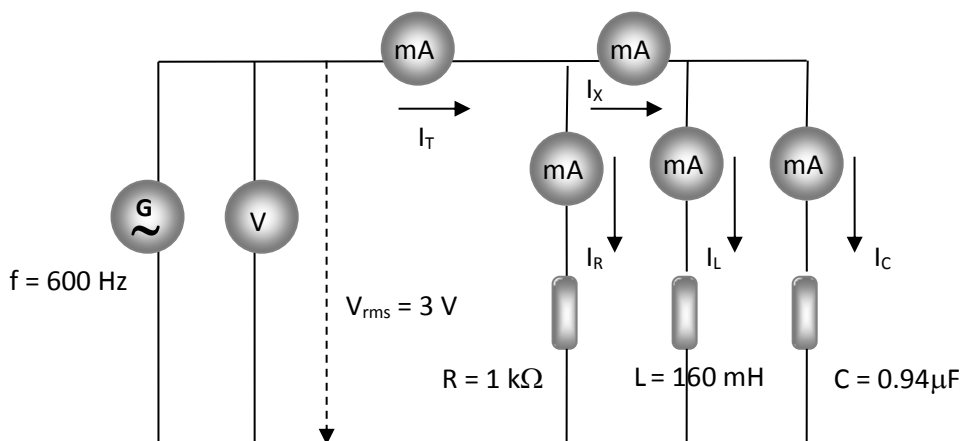


รูปที่ 3.13 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส (I–V) ของ RLC แบบอนุกรมในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การทดลองที่ 4 การวิเคราะห์วงจร RLC แบบขนานในไฟฟ้ากระแสสลับ

ตอนที่ 4.1 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจร RLC แบบขนาน

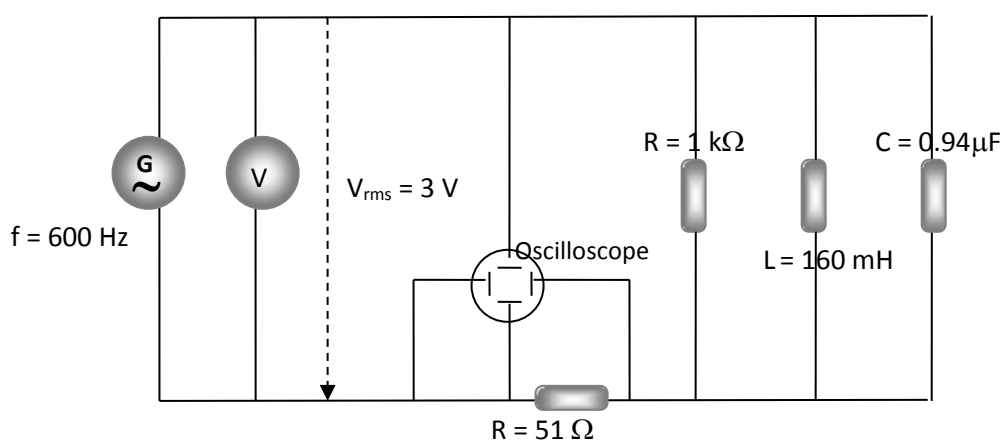
1. ใช้แผงวงจรต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.14 เพื่อตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ได้ ณ จุดต่าง ๆ แล้วทำการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 3.14 แสดงการต่อวงจร RLC แบบขนานเพื่อตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

ตอนที่ 4.2 การหาความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าในวงจรกับความต่างศักย์รวมในวงจร RLC แบบขนาน โดยใช้ออสซิลโลสโคป

1. ใช้บอร์ด ต่อดังรูปที่ 3.15 และใช้ออสซิลโลสโคปตรวจวัดความต่างเฟส โดยปรับออสซิลโลสโคป เพื่อให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนและเขียนรูปได้ง่าย เพื่อบันทึกผลการทดลองรวมทั้งคำนวณความต่างเฟสที่เกิดขึ้นจากออสซิลโลสโคปเทียบกับทฤษฎีการคำนวณ



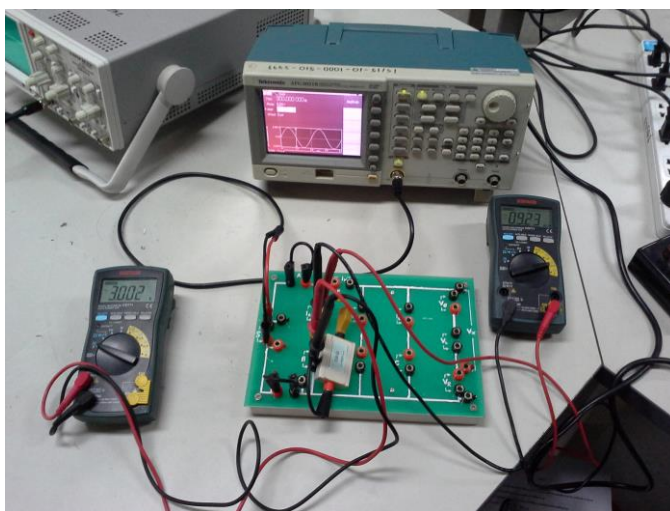
รูปที่ 3.15 แสดงการตรวจวัดค่าความต่างเฟส (I-V) ของ RLC แบบขนานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การทดลองตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน ความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ และ ความต้านทานเชิงความจุ

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน



รูปที่ 4.1 แสดงการต่อตัวต้านทานกับแผงวงจรเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

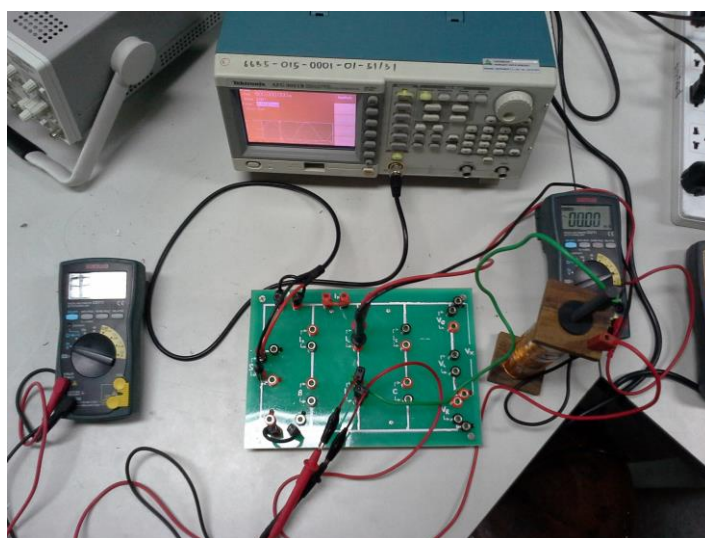
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความต้านทาน (ใช้ตัวต้านทาน 330 โอห์ม)

	f(Hz)	200	400	600	800	1000	1200
ค่าที่ได้จากการวัด	I(mA)	9.22	9.22	9.22	9.21	9.20	9.19
	$V_R(V)$	3.005	3.001	3.00	2.982	2.968	2.953
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	$R=V_R/I$ (Ω)	325.92	325.48	325.38	323.78	322.61	321.33

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์หลายค่ากับความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณคงที่ (ใช้ความถี่ 1000 เฮิรตซ์)

	$R(\Omega)$	330	550	680	1000	2000	2780
ค่าที่ได้จากการวัด	$I(\text{mA})$	9.73	5.50	5.01	3.06	1.53	1.11
	$V_R(\text{V})$	3.05	3.011	3.006	3.00	3.00	3.04
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	$R=V_R/I$ (Ω)	311.86	547.45	600	980.39	1960.78	2738.73

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.2 แสดงการต่อขดลวดเหนี่ยวนำกับแผงวงจรเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ (ใช้ $L = 300 \text{ mH}$)

	$f(\text{Hz})$	600	800	1000	1200	1400	1600
ค่าที่ได้จากการวัด	$I(\text{mA})$	2.69	2.02	1.60	1.32	1.11	0.96
	$V_L(\text{V})$	3.005	3.003	2.994	2.98	2.963	2.944
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	$X_L=V_L/I$ (Ω)	1117.10	1486.63	1871.25	2257.57	2669.36	3066.66
	$X_L = 2\pi fL$ (Ω)	1130.97	1507.96	1884.95	2261.95	2638.94	3015.93

ตารางที่ 4.4 แสดงความความเหนี่ยวนำหลายค่ากับความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณคงที่
(ใช้ความถี่ 600 เฮิรตซ์)

	L(mH)	110	120	150	200	240	300
ค่าที่ได้จากการวัด	I(mA)	6.97	6.51	5.32	4.05	3.44	2.78
	$V_L(V)$	3.004	3.023	3.041	3.077	3.090	3.101
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	$X_L = V_L/I$ (Ω)	430.98	464.36	571.62	759.75	898.25	1115.46
	$X_L = 2\pi fL$ (Ω)	414.69	452.38	565.48	753.98	904.78	1130.97

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทานเชิงความจุ



รูปที่ 4.3 แสดงการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้ากับแผงวงจรเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำความจุ

(ใช้ $C = 0.47$ ไมโครฟารัด)

	f(Hz)	200	300	400	500	600	800
ค่าที่ได้จากการวัด	I(mA)	1.73	2.60	3.47	4.33	5.19	6.89
	V_L (V)	3.002	2.998	2.992	2.984	2.975	2.953
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	$X_C = V_C / I$ (Ω)	1735.26	1153.07	862.25	689.15	573.22	428.59
	X_C $= 1 / (2\pi fC)$ (Ω)	1693.14	1128.76	846.56	677.25	564.38	423.28

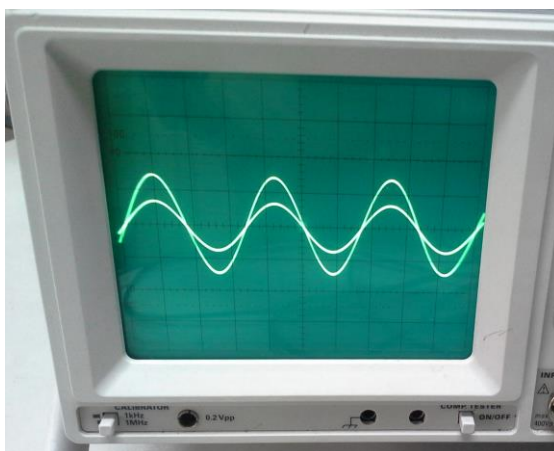
ตารางที่ 4.6 แสดงความจุไฟฟ้าหลายค่ากับความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณคงที่ (ใช้ความถี่

600 เฮิรตซ์)

	C(μ F)	0.117	0.235	0.470	0.940	1.41	1.88
ค่าที่ได้จากการวัด	I(mA)	1.74	2.60	5.19	10.24	15.17	19.60
	V_C (V)	2.988	2.986	2.975	2.904	2.858	2.767
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	$X_C = V_C / I$ (Ω)	1717.24	1148.46	573.22	283.59	188.40	141.17
	X_C $= 1 / (2\pi fC)$ (Ω)	2267.16	1128.75	564.38	282.19	188.13	141.09

การทดลองตอนที่ 2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

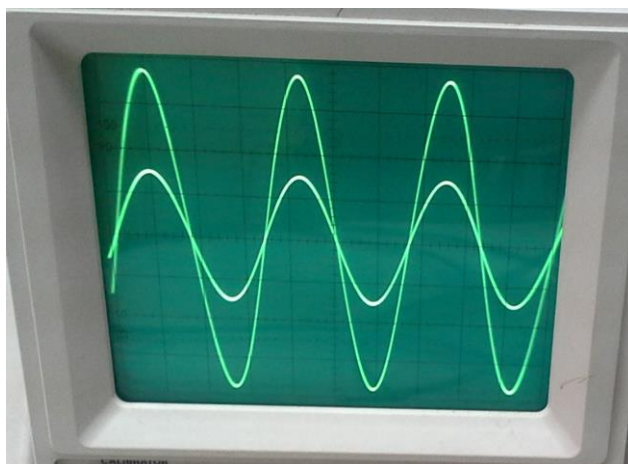
2.1 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 4.4 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า

ความต่างเฟสระหว่างคลื่นรูปไซน์ทั้งสอง =90.....องศา

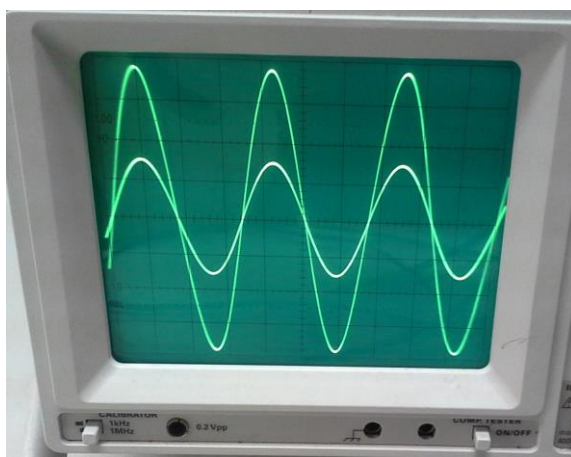
2.2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 4.5 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า

ความต่างเฟสระหว่างคลื่นรูปไซน์ทั้งสอง =90.....องศา

2.3 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า
กระแสสลับ



รูปที่ 4.6 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า

ความต่างเฟสระหว่างคลื่นรูปไซน์ทั้งสอง =90.....องศา

การทดลองตอนที่ 3 วงจร RLC อนุกรม

3.1 การวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

ตารางที่ 4.7 แสดงกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และ มุมเฟสระหว่าง V – I ของวงจร RLC แบบ
อนุกรม

	$V_T(V_{rms})$	I(mA)	$V_R(V)$	$V_L(V)$	$V_C(V)$	$V_X(V)$	ϕ (องศา)
ค่าที่ได้จากการวัด	4.88	3.98	3.85	2.43	4.41	2.12	27.27
ค่าได้จากการคำนวณ	4.88	4.32	4.32	2.61	4.87	2.26	27.62

การคำนวณ

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

ค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ	$X_L = 2\pi f L$	
แทนค่า	$X_L = 2\pi(600)(160 \times 10^{-3}) = 603.18$	โอห์ม
ความต้านทานเชิงความจุ	$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$	
แทนค่า	$X_C = \frac{1}{2\pi(600)(0.235 \times 10^{-6})} = 1128.75$	โอห์ม
ดังนั้น	$Z = \sqrt{(1000)^2 + (603.18 - 1128.75)^2} = 1130$	โอห์ม
หาค่ากระแสไฟฟ้ารวม	$I = \frac{V}{Z} = \frac{4.88}{1130} = 4.32 \times 10^{-3}$	แอมแปร์

วงจรอนุกรม กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์แต่ละชนิดมีค่าเท่ากันและเท่ากับกระแสไฟฟ้ารวม = 4.32 มิลลิแอมแปร์

ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน	$V_R = IR$	
แทนค่า	$V_R = (4.32 \times 10^{-3})(1000) = 4.32$	โวลต์
ความต่างศักย์คร่อมตัวเหนี่ยวนำ	$V_L = IX_L$	
แทนค่า	$V_L = (4.32 \times 10^{-3})(603.18) = 2.61$	โวลต์
ความต่างศักย์คร่อมตัวเหนี่ยวนำ	$V_C = IX_C$	
แทนค่า	$V_C = (4.32 \times 10^{-3})(1128.75) = 4.87$	โวลต์

ความต่างศักย์คร่อมตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุไฟฟ้า

$$V_x = V_C - V_L = 4.87 - 2.61 = 2.26 \text{ โวลต์}$$

ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม $V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$

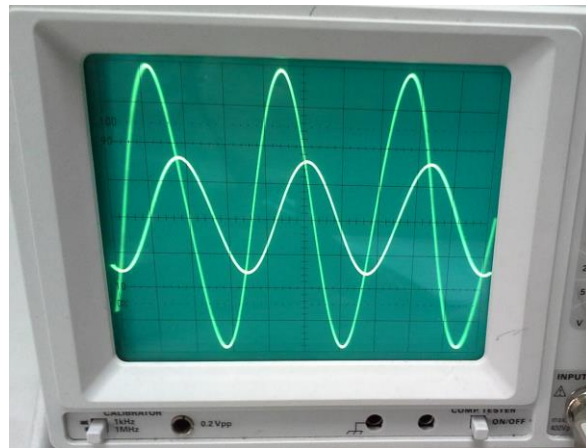
$$\text{แทนค่า} \quad V = \sqrt{(4.32)^2 + (2.26)^2} = 4.88 \text{ โวลต์}$$

$$\text{มุมเฟส} \quad \tan \phi = \frac{V_C - V_L}{V_R}$$

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

$$\text{แทนค่า} \quad \phi = \tan^{-1} \left(\frac{2.26}{4.32} \right) = 27.62^\circ$$

3.2 การหาความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม กับ ความต่างศักย์โดยใช้ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.7 แสดงแผนภาพความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม กับ ความต่างศักย์ของวงจร RLC อนุกรม

ความต่างเฟสระหว่างคลื่นรูปไซน์ทั้งสอง =27.27.....องศา

จากแผนภาพ ความยาวคลื่น 3.3 ช่อง = 360 องศา

$$\text{ความต่างเฟส } 0.25 \text{ ช่อง} = \frac{0.25 \times 360}{3.3} = 27.27 \text{ องศา}$$

การทดลองตอนที่ 4 วงจร RLC ขนาน

4.1 การวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

ตารางที่ 4.8 แสดงกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และ มุมเฟสระหว่าง V – I ของวงจร RLC แบบ ขนาน

	$V_T(V_{rms})$	$I_T(mA)$	$I_R(V)$	$I_L(V)$	$I_C(V)$	$I_X(V)$	$\phi(\text{องศา})$
ค่าที่ได้จากการวัด	4.83	11.93	4.94	7.89	17.57	9.93	67.5
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	4.83	10.31	4.83	8.01	17.12	9.11	62.1

วงจรมีค่าความต่างศักย์ที่คร่อมอุปกรณ์แต่ละตัวมีค่าเท่ากันและเท่ากับความต่างศักย์รวม = 4.83 โวลต์

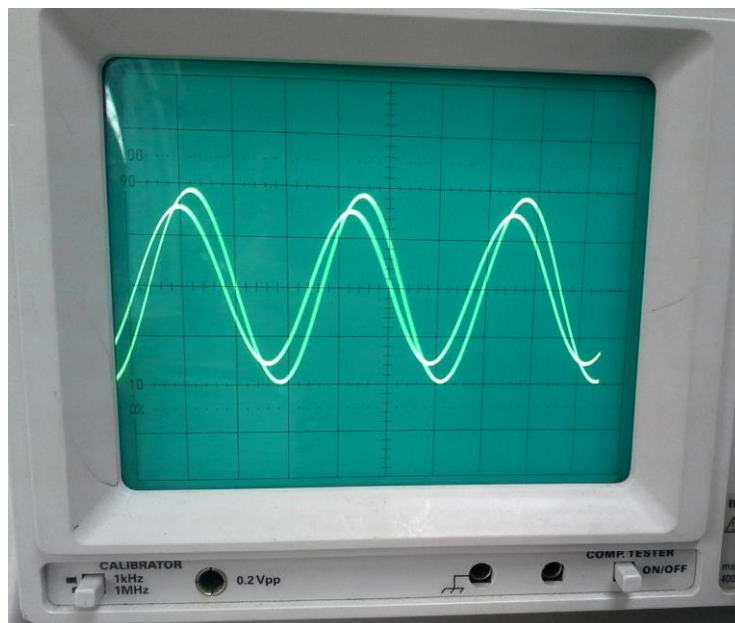
ความต้านทานเชิงซ้อน	$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}$	
ค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ	$X_L = 2\pi f L$	
แทนค่า	$X_L = 2\pi(600)(160 \times 10^{-3}) = 603.18$	โอห์ม
ความต้านทานเชิงความจุ	$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$	
แทนค่า	$X_C = \frac{1}{2\pi(600)(0.94 \times 10^{-6})} = 282.12$	โอห์ม
ดังนั้น	$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}$	
แทนค่า	$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{(1000)^2} + \left(\frac{1}{282.12} - \frac{1}{603.18}\right)^2}$	
	$\frac{1}{Z} = 2.135 \times 10^{-3}$	
เพราะฉะนั้น	$Z = 468.31$	โอห์ม
หาค่ากระแสไฟฟ้ารวม	$I = \frac{V}{Z} = \frac{4.83}{468.31} = 10.31 \times 10^{-3}$	แอมแปร์
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน	$I_R = \frac{V}{R} = \frac{4.83}{1000} = 4.83 \times 10^{-3}$	แอมแปร์
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ	$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{4.83}{603.18} = 8.01 \times 10^{-3}$	แอมแปร์
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ	$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{4.83}{282.12} = 17.12 \times 10^{-3}$	แอมแปร์
กระแสไฟฟ้า I_X	$I_X = I_C - I_L = (17.12 - 8.01) \times 10^{-3}$	
เพราะฉะนั้น	$I_X = 9.11 \times 10^{-3}$	แอมแปร์
มุมเฟสระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า	$\tan \phi = \frac{I_C - I_L}{I_R}$	

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{I_C - I_L}{I_R} \right)$$

แทนค่า

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{17.12 - 8.01}{4.83} \right) = 62.1 \quad \text{องศา}$$

4.2 การหาความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม กับ ความต่างศักย์โดยใช้ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.8 แสดงแผนภาพความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม กับ ความต่างศักย์สำหรับวงจรขนาน

ความต่างเฟสระหว่างคลื่นรูปไซน์ทั้งสอง =67.5.....องศา

จากแผนภาพ ความยาวคลื่น 3.2 ช่อง = 360 องศา

ความต่างเฟส 0.6 ช่อง = $\frac{0.6 \times 360}{3.2} = 67.5$ องศา

หน่วยที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทดลองตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน ความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ และ ความต้านทานเชิงความจุ

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทาน

ตอนที่ 1 เมื่อใช้ตัวต้านทาน 330 โอห์ม

จากผลการทดลองเมื่อปรับค่าความถี่เป็น 200, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 เฮิรตซ์ ตามลำดับ ค่าความต้านทานที่คำนวณจะคงตัวคือประมาณ 320 โอห์ม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งพบว่าค่าความถี่ไม่มีผลต่อค่าความต้านทาน

ตอนที่ 2 เมื่อใช้ความถี่ 1000 เฮิรตซ์

จากการทดลองเมื่อตั้งค่าความถี่จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ 1000 เฮิรตซ์ โดยเปลี่ยนค่าความต้านทานเป็นค่าต่าง ๆ คือ 330, 550, 680, 1000, 2000 และ 2780 โอห์ม ค่าความต้านทานที่คำนวณได้จากกฎของโอห์มสำหรับค่าความต้านทานแต่ละตัวคือ 311.86, 547.45, 600, 980.39, 1960.78 และ 2738.73 โอห์ม ตามลำดับ

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ

ตอนที่ 3 เมื่อใช้ค่าความเหนี่ยวนำ (L) = 300 มิลลิเฮนรี

จากผลการทดลองเมื่อปรับค่าความถี่เป็น 600, 800, 1000, 1200, 1400 และ 1600 เฮิรตซ์ ตามลำดับ โดยที่ค่าความเหนี่ยวนำคงที่คือ 300 มิลลิเฮนรี ผลปรากฏว่าค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ (X_L) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตามความถี่ โดยได้ผลการทดลองดังนี้ 1130.97, 1507.96, 1884.95, 2261.95, 2638.94 และ 3015.93 โอห์ม ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

ตอนที่ 4 เมื่อใช้ความถี่ 600 เฮิรตซ์

การทดลองในตอนที 4 เปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำเป็นค่าต่าง ๆ คือ 110, 120, 150, 200, 240, 300 โดยที่ใช้ค่าความถี่จากแหล่งกำเนิดคงตัวคือ 600 เฮิรตซ์ จากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำเมื่อคำนวณ โดยใช้กฎของโอห์มและค่า $X_L = 2\pi fL$ ผลปรากฏดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลของค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำเมื่อคำนวณด้วยกฎของโอห์ม และ $X_L = 2\pi fL$

$X_L = V_L / I \text{ (}\Omega\text{)}$	430.98	464.36	571.62	759.75	898.25	1115.46
$X_L = 2\pi fL \text{ (}\Omega\text{)}$	414.69	452.38	565.48	753.98	904.78	1130.97

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าความต้านทานเชิงความจุ

ตอนที่ 5 (ใช้ $C = 0.47$ ไมโครฟารัด)

จากผลการทดลองเมื่อปรับค่าความถี่เป็น 200, 300, 400, 500, 600 และ 800 เฮิรตซ์ ตามลำดับ โดยใช้ค่าความจุไฟฟ้า 0.47 ไมโครฟารัด คงที่ ค่าของความต้านทานเชิงความจุ (X_C) เมื่อคำนวณโดยใช้กฎของโอห์ม และ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ได้ผลดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลของค่าความต้านทานเชิงความจุไฟฟ้าเมื่อคำนวณด้วยกฎของโอห์ม และ

$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ โดยที่ค่าความจุไฟฟ้าคงตัว

$X_C = V_C / I \text{ (}\Omega\text{)}$	1735.26	1153.07	862.25	689.15	573.22	428.59
$X_C = 1/(2\pi fC) \text{ (}\Omega\text{)}$	1693.14	1128.76	846.56	677.25	564.38	423.28

จากตารางที่ 5.2 พบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่าความต้านทานเชิงความจุไฟฟ้าจะมีค่าลดลง

ตอนที่ 6 เมื่อใช้ความถี่ 600 เฮิรตซ์

การทดลองใช้ค่าความถี่จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ 600 เฮิรตซ์ แต่เปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าเป็น 0.117, 0.235, 0.470, 0.940, 1.41, 1.88 ไมโครฟารัดตามลำดับ จากการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานเชิงความจุไฟฟ้า (X_C) โดยใช้กฎของโอห์มและจาก $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ จะได้ผลดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความต้านทานเชิงความจุไฟฟ้า (X_C) เมื่อคำนวณโดยใช้กฎของโอห์มและ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ เมื่อใช้ความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 600 เฮิรตซ์

$X_C = V_C / I$ (Ω)	1717.24	1148.46	573.22	283.59	188.40	141.17
$X_C = 1/(2\pi fC)$ (Ω)	2267.16	1128.75	564.38	282.19	188.13	141.09

ตอนที่ 2

การทดลองตอนที่ 2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากการทดลองพบว่าความต่างเฟสระหว่างคลื่นรูปไซน์ทั้งสอง = 90 องศา

2.2 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากการทดลองพบว่าความต่างเฟสระหว่างคลื่นรูปไซน์ทั้งสอง = 90 องศา

2.3 ความต่างเฟสระหว่างความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากการทดลองพบว่าความต่างเฟสระหว่างคลื่นรูปไซน์ทั้งสอง = 90 องศา

การทดลองตอนที่ 3 วงจร RLC อนุกรม

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และ ความต่างเฟส สำหรับวงจร RLC แบบอนุกรม

	$V_T(V_{rms})$	$I(mA)$	$V_R(V)$	$V_L(V)$	$V_C(V)$	$V_X(V)$	$\phi(องศา)$
ค่าที่ได้จากการวัด	4.88	3.98	3.85	2.43	4.41	2.12	27.27
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	4.88	4.32	4.32	2.61	4.87	2.26	27.62

จากผลการทดลองพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า จะมีค่าเท่ากัน ส่วนค่าความต่างศักย์ที่คร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้า ตัวต้านทาน และ ตัวเหนี่ยวนำ จะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งการวัดและการคำนวณจากการใช้กฎของโอห์ม ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ในส่วนของความต่างเฟสของวงจร RLC อนุกรม จากการวัดโดยใช้ Oscilloscope และ การคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังตาราง 5.4

การทดลองตอนที่ 4 วงจร RLC ขนาน

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และ ความต่างเฟส สำหรับวงจร RLC แบบขนาน

	$V_T(V_{rms})$	$I_T(mA)$	$I_R(V)$	$I_L(V)$	$I_C(V)$	$I_X(V)$	$\phi(องศา)$
ค่าที่ได้จากการวัด	4.83	11.93	4.94	7.89	17.57	9.93	67.5
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	4.83	10.31	4.83	8.01	17.12	9.11	62.1

จากผลการทดลองพบว่าความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะมีค่าเท่าแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 5.5 ส่วนค่าความต่างศักย์ที่คร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้า ตัวต้านทาน และ ตัวเหนี่ยวนำ จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่ทำการวัดค่าความต่างศักย์ และ ความต่างเฟสที่ได้จากการวัดจาก Oscilloscope กับการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกัน

บรรณานุกรม

1. Gibilisco, Stan. **Electricity Experiments: You can do at home**. New York : McGraw Hill, 2010
2. Jepson, Brian, Moskowite, Tyler and Hayes, Gregory. **Learn to Solder**. O’Rally Media, USA, 2012
3. Whitaker, Jerry C. **Handbook of Electronics**. Second edition, Taylor & Francis Group, LLC, USA, 2005
4. Gates, Earl D. **Introduction to Electronics**. Fifth edition, Delmar Cengage learning, USA, 2007
5. Hayt, William H., Kemmerly, Jack E. and Durbin, Steven M. **Engineering Circuit Analysis**. Eighth edition, New York: McGraw Hill, 2007
6. Patrick B. Kohl and H. Vincent Kuo., **Chronicling a successful secondary implementation of Studio Physics**. American Journal of Physics , September 2012 , Volume 80, Issue 9, pp. 832
7. Angel L. Pérez Rodríguez, Juan José Peña Bernal, and Benito Mahedero Balsera, **Electronic device of didactic and electrometric interest for the study of RLC circuits**, American Journal of Physics, February 1979 Volume 47, Issue 2, pp. 178
8. Yaakov Kraftmakher, **Demonstrations with an LCR circuit**, Physics Teacher Vol.49 March 2011
9. Ramachandran, V. **Revisiting the LCR circuit**, Physics Education Vol.26, No.318 1991
10. สุชน แก่นตัน ปฏิบัติการวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ 2540