



แผนการจัดการเรียนรู้

หลักสูตรหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567
สาขาวิชาไฟฟ้า
กลุ่มอาชีพพลังงาน ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์
ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

รหัสวิชา 30104-2002 วิชา วงจรไฟฟ้า

ผู้จัดทำ
นายรัชตะ ใจตรง
ตำแหน่ง ครู
หัวหน้าแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

วิทยาลัยเทคนิคบ้านค่าย

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะอาชีพ วิชาวงจรไฟฟ้า (รหัสวิชา 30104-2002) ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาไฟฟ้า ชั้นปีที่ 1 จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาผู้เรียน โดยได้จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับวัตกรรมการเรียนรู้ จำนวนทั้งสิ้น 12 หน่วยประกอบด้วย

- หน่วยที่ 1 เรื่อง งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน
- หน่วยที่ 2 เรื่อง งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์
- หน่วยที่ 3 เรื่อง งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป
- หน่วยที่ 4 เรื่อง งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ
- หน่วยที่ 5 เรื่อง งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีออพแอมป์
- หน่วยที่ 6 เรื่อง งานวงจรอันดับหนึ่ง
- หน่วยที่ 7 เรื่อง งานวงจรอันดับสอง
- หน่วยที่ 8 เรื่อง งานวงจรเรโซแนนซ์
- หน่วยที่ 9 เรื่อง งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม
- หน่วยที่ 10 เรื่อง งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์
- หน่วยที่ 11 เรื่อง งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
- หน่วยที่ 12 เรื่อง วงจรไฟฟ้าสามเฟส

ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้สอนแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบ้านค่าย ที่ให้กำลังใจส่งเสริมและสนับสนุนตลอดจนชี้แนะให้คำแนะนำที่ดีตลอดมาขอขอบคุณคณะครูวิทยาลัยเทคนิคบ้านค่ายที่ให้การช่วยเหลือในการตรวจสอบ และให้ข้อเสนอแนะจนงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงด้วยดี หวังเป็นอย่างยิ่งว่าแผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะอาชีพ วิชาวงจรไฟฟ้า (รหัสวิชา 30104-2002) ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาไฟฟ้า ชั้นปีที่ 1 จะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณภาพการศึกษาในภาพรวมในโอกาสต่อไป

(.....)

นายรัชตะ ใจตรง
ตำแหน่ง ครู

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
คำนำ.....	ก
สารบัญ.....	ข
โครงการสอน.....	ง
ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา.....	ง
จุดประสงค์รายวิชา.....	ง
สมรรถนะรายวิชา.....	ง
คำอธิบายรายวิชา.....	ง
ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้.....	จ
หน่วยการเรียนรู้.....	ญ
ตารางวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเรียนรู้.....	ฉ
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน.....	1
ใบความรู้หน่วยที่ 1.....	5
ใบงานหน่วยที่ 1	14
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 1.....	22
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 1.....	24
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์.....	25
ใบความรู้หน่วยที่ 2.....	29
ใบงานหน่วยที่ 2.....	41
ใบมอบหมายงานที่ 2.....	48
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 2.....	50
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป.....	51
ใบความรู้หน่วยที่ 3.....	55
ใบงานหน่วยที่ 3.....	75
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 3.....	80
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 3.....	82
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ.....	83
ใบความรู้หน่วยที่ 4.....	87
ใบงานหน่วยที่ 4.....	95
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 4.....	100
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 4.....	102
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีโอปแอมป์.....	103
ใบความรู้หน่วยที่ 5.....	107
ใบงานหน่วยที่ 5.....	116
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 5.....	120
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 5.....	122

สารบัญ(ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 งานวงจรอันดับหนึ่ง.....	123
ใบความรู้หน่วยที่ 6.....	127
ใบงานหน่วยที่ 6.....	136
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 6.....	141
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 6.....	143
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7 งานวงจรอันดับสอง.....	144
ใบความรู้หน่วยที่ 7.....	148
ใบงานหน่วยที่ 7.....	156
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 7.....	160
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 7.....	162
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8 งานวงจรเรโซแนนซ์.....	163
ใบความรู้หน่วยที่ 8.....	167
ใบงานหน่วยที่ 8.....	181
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 8.....	186
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 8.....	188
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9 งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม.....	189
ใบความรู้หน่วยที่ 9.....	193
ใบงานหน่วยที่ 9.....	202
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 9.....	206
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 9.....	208
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10 งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์.....	209
ใบความรู้หน่วยที่ 10.....	213
ใบงานหน่วยที่ 10.....	221
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 10.....	225
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 10.....	227
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 11 งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง.....	228
ใบความรู้หน่วยที่ 11.....	232
ใบงานหน่วยที่ 11.....	244
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 11.....	249
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 11.....	251
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 12 งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส.....	252
ใบความรู้หน่วยที่ 12.....	256
ใบงานหน่วยที่ 12.....	265
ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 12.....	269
ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 12.....	271
ภาคผนวก	



โครงการสอน ภาคเรียนที่ 1/2568

ลักษณะรายวิชา

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

กลุ่มอาชีพพลังงานไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

สาขาวิชาไฟฟ้า

ชื่อวิชาวงจรไฟฟ้า

รหัสวิชา 30104 - 2002

ทฤษฎี 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง/สัปดาห์

จำนวน 3 หน่วยกิต

อ้างอิงมาตรฐาน

ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา

คำนวณหาค่าปริมาณไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จำลองการทำงานวงจรไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และตรวจสอบแก้ไขหาข้อบกพร่องของวงจรไฟฟ้าด้วยความประณีตรอบคอบ และปลอดภัย

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักการและทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ
2. คำนวณหาค่าความต้านทาน กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้าและตรวจสอบแก้ไขหาข้อบกพร่องของวงจร
3. มีกิจนิสัยในการทำงานร่วมกับผู้อื่นด้วยความประณีต รอบคอบ และปลอดภัย
4. มีความสามารถหาค่าปริมาณต่าง ๆ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

สมรรถนะรายวิชา

1. ประมวลความรู้เกี่ยวกับกฎ ทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับคำนวณและวัดค่าปริมาณต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ
2. ทดสอบ จำลองการทำงานวงจรไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. ประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับการหาค่าปริมาณต่าง ๆ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับองค์ประกอบของวงจร วงจรแบบตัวต้านทาน แหล่งกำเนิดแบบอิสระและไม่อิสระ วิเคราะห์วงจรด้วยกฎแรงดันและกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ ทฤษฎีการวางซ้อน ทฤษฎีการแปลงแหล่งกำเนิด ทฤษฎีของเทวินินและนอร์ตัน วงจรออปแอมป์ คาปาซิเตอร์ อินดักเตอร์ วงจรลำดับที่หนึ่ง วงจรลำดับที่สอง ผลตอบสนองในสถานะทรานเซียนต์ต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรแม่เหล็กไฟฟ้า ความเหนี่ยวนำร่วม วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ รูปคลื่นไซน์และแผนผังเฟสเซอร์ อิมพีแดนซ์ แอดมิตแตนซ์ วงจรเรโซแนนซ์งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าเฟสเดียวและหลายเฟส การจำลองการทำงานของวงจรไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้

ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า

รหัสวิชา 30104 - 2002

ทฤษฎี 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง/สัปดาห์

จำนวน 3 หน่วยกิต

ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา(Job) ผู้เรียนสามารถประยุกต์องค์ความรู้ต่อวงจรไฟฟ้าในอาคารได้				
งานหลัก (Duty)	งานย่อย (Task)	สมรรถนะย่อย (มาตรฐานอาชีพ)	ความรู้ ในการปฏิบัติงาน	ทักษะ ในการปฏิบัติงาน
งานหลัก 1. งาน วิเคราะห์ วงจรไฟฟ้า	1.1 งานความคิด รวบยอดพื้นฐาน		- ความรู้พื้นฐานระบบของหน่วย (System of Units) - ความรู้ปริมาณพื้นฐาน (Basic Quantities) - ความรู้องค์ประกอบวงจร (Circuit Elements) - ความรู้วงจรแบบตัวต้านทาน (Resistor Circuits)	- ทักษะในการประยุกต์ความคิดรวบยอดพื้นฐาน
	1.2 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์		- ความรู้พื้นฐานกฎของโอห์ม (Ohm's Law) - ความรู้หลักการของกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Laws) - ความรู้หลักการของวงจรที่มีลูปเดียว (Single-Loop Circuits) - ความรู้หลักการของวงจรที่มีคุโนดเดียว	- ทักษะในงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์

			(Single-Node-Pair Circuits) -ความรู้หลักการของวงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม้อิสระ (Circuits with Dependent Source)	
	1.3 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป		- ความรู้พื้นฐานการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนด (Nodal Analysis) - ความรู้หลักการของการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีลูป (Loop Analysis) - วงจรที่มีออปแอมป์ (Circuit with Operational Amplifiers)	- ทักษะในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนด (Nodal Analysis) - ทักษะในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีลูป (Loop Analysis)
	1.4 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ		- ความรู้พื้นฐานทฤษฎีบทการซ้อนทับ (Superposition Theorem) - ความรู้หลักการของทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน (Thevenin's and Norton's Theorem) - ความรู้หลักการของทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด	- ทักษะในการวิเคราะห์ทฤษฎีบทการซ้อนทับ (Superposition Theorem) - ทักษะในการวิเคราะห์ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน (Thevenin's and Norton's Theorem)

			(Maximum Power Transfer Theorem)	
	1.5 งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และวงจรอาร์ซีโอปแอมป์		- ความรู้หลักการของตัวเก็บประจุ (Capacitors) - ความรู้หลักการของตัวเหนี่ยวนำ (Inductors) - ความรู้หลักการของการรวมกันของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ (Capacitor and Inductor Combinations) - ความรู้หลักการของวงจรอาร์ซีโอปแอมป์ (RC Operational Amplifier Circuits)	- ทักษะในการประยุกต์ใช้งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีโอปแอมป์
	1.6 งานวงจรอันดับหนึ่ง		- ความรู้หลักการของบทนำงานวงจรอันดับหนึ่ง - ความรู้หลักการของรูปแบบทั่วไปของสมการตอบสนอง - ความรู้หลักการของผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RC ต่อแรงดันกระแสตรง - ความรู้หลักการของผลตอบสนองใน	- ทักษะในการประยุกต์การวิเคราะห์งานวงจรอันดับหนึ่ง

			ภาวะชั่วคราวของวงจร RL ต่อแรงดัน กระแสตรง	
	1.7 งานวงจร อันดับสอง		-ความรู้หลักการของ บทนำวงจรอันดับ สอง -ความรู้หลักการของ การตอบสนอง ธรรมชาติของวงจร อันดับสอง -ความรู้หลักการของ การตอบสนองบังคับ ของวงจรอันดับสอง	-ทักษะในการประยุกต์ การวิเคราะห์วิเคราะห์ วงจรอันดับสอง
	1.8 งานวงจรเร โซแนนซ์		-ความรู้หลักการของ สัญญาณรูปคลื่นไซน์ -ความรู้หลักการของ เฟสเซอร์ -ความรู้หลักการของ ความสัมพันธ์ทาง เฟสเซอร์สำหรับ องค์ประกอบวงจร -ความรู้หลักการของ อิมพีแดนซ์และแอด มิตแดนซ์ -ความรู้หลักการของ เฟสเซอร์ไดอะแกรม และล็อกส์ไดอะแกรม	-เทคนิคการวิเคราะห์ วงจรไฟฟ้า
	1.9 งานวงจร แม่เหล็กไฟฟ้าและ ความเหนี่ยวนำ ร่วม		-ความรู้หลักการของ สนามแม่เหล็ก -ความรู้หลักการของ ความหนาแน่นฟลักซ์ แม่เหล็ก -ความรู้หลักการของ ความขั้วซึมได้ -ความรู้หลักการของ ความต้านทาน แม่เหล็ก -ความรู้หลักการของ กฎของโอห์มสำหรับ วงจรแม่เหล็ก	-ทักษะในการประยุกต์ ความเหนี่ยวนำร่วม -ทักษะในการประยุกต์ วงจรแม่เหล็กอนุกรม- ขนาน -ทักษะในการประยุกต์ วงจรแม่เหล็กอนุกรม

			-ความรู้หลักการของแรงทำแม่เหล็ก -ความรู้หลักการของฮิสเทอรีซิส -ความรู้หลักการของกฎของแอมแปร์ -ความรู้หลักการของช่องว่างอากาศ	
	1.10 งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์		-ความรู้หลักการของภาวะการเกิดเรโซแนนซ์	-ทักษะในการประยุกต์วงจรเรโซแนนซ์
	1.11 งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง		-ความรู้หลักการของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ -ความรู้หลักการของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย -ความรู้หลักการของค่าประสิทธิภาพหรือค่าอาร์เอ็มเอส -ความรู้หลักการของตัวประกอบกำลัง -ความรู้หลักการของกำลังเชิงซ้อน	-ทักษะในการประยุกต์การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด -ทักษะในการประยุกต์การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง -ทักษะในการประยุกต์การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบหนึ่งเฟส
	1.12 งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส		-ความรู้หลักการของบทนิยามวงจรไฟฟ้าสามเฟส -ความรู้หลักการของความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า -ความรู้หลักการของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	-ทักษะในการประยุกต์การต่อสามเฟส -ทักษะในการประยุกต์การต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลด -ทักษะในการประยุกต์การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบสามเฟส

หน่วยการเรียนรู้

ชื่อวิชาวงจรไฟฟ้า

รหัสวิชา 30104 - 2002

ทฤษฎี 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง/สัปดาห์

จำนวน 3 หน่วยกิต

หน่วยที่	หน่วยการเรียนรู้	เวลาเรียน (ชม.)		
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ	รวม
1	งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน -ระบบของหน่วย (System of Units) -ปริมาณพื้นฐาน (Basic Quantities) -องค์ประกอบวงจร (Circuit Elements) -วงจรแบบตัวต้านทาน (Resistor Circuits)	4	6	10
2	งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ -กฎของโอห์ม (Ohm's Law) -กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Laws) -วงจรที่มีลูปเดียว (Single-Loop Circuits) -วงจรที่มีคู่ โหนดเดียว (Single-Node-Pair Circuits) -วงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม่อิสระ Circuits with Dependent Source	4	6	10
3	งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโหนดและวิธีลูป -การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโหนด (Nodal Analysis) -การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีลูป (Loop Analysis) -วงจรที่มีออปแอมป์ (Circuit with Operational Amplifiers)	4	6	10
4	งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ -บทนำ (Introduction) -ทฤษฎีบทการซ้อนทับ (Superposition Theorem) -ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน (Thevenin's and Norton's Theorem) -ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer Theorem)	2	3	5
5	งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีออพแอมป์ -ตัวเก็บประจุ (Capacitors) -ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors) -การรวมกันของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ (Capacitor and Inductor Combinations) -วงจรอาร์ซีออพแอมป์ (RC Operational Amplifier Circuits)	2	3	10
6	งานวงจรอันดับหนึ่ง -บทนำงานวงจรอันดับหนึ่ง -รูปแบบทั่วไปของสมการตอบสนอง -ผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RC ต่อแรงดันกระแสตรง -ผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RL ต่อแรงดันกระแสตรง	2	3	5
7	งานวงจรอันดับสอง -บทนำวงจรอันดับสอง	2	3	5

	-การตอบสนองธรรมชาติของวงจรอันดับสอง -การตอบสนองบังคับของวงจรอันดับสอง			
8	วงจรเรโซแนนซ์ -สัญญาณรูปคลื่นไซน์ -เฟสเซอร์ -ความสัมพันธ์ทางเฟสเซอร์สำหรับองค์ประกอบวงจร -อิมพีแดนซ์และแอดมิตแตนซ์ -เฟสเซอร์ไดอะแกรมและล็อกส์ไดอะแกรม -เทคนิคการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า	2	3	5
9	งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม -สนามแม่เหล็ก -ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก -ความซาบซึมได้ -ความต้านทานแม่เหล็ก -กฎของโอห์มสำหรับวงจรแม่เหล็ก -แรงทำแม่เหล็ก -ฮิสเทอรีซิส -กฎของแอมแปร์ -วงจรแม่เหล็กอนุกรม -ช่องว่างอากาศ -วงจรแม่เหล็กอนุกรม-ขนาน -ความเหนี่ยวนำร่วม	2	3	5
10	งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์ -ภาวะการเกิดเรโซแนนซ์ -วงจรเรโซแนนซ์	2	3	5
11	งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง -กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ -กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย -การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด -ค่าประสิทธิภาพหรือค่าอาร์เอ็มเอส -ตัวประกอบกำลัง	2	3	5
12	งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส -บทนางานวงจรไฟฟ้าสามเฟส -การต่อสามเฟส -การต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลด -ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า -การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง -การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบสามเฟส	2	3	5
	ประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา ผู้เรียนสามารถประยุกต์องค์ความรู้ต่อวงจรไฟฟ้าในอาคารได้	-	-	-
	รวม	30	45	75

ตารางวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้

วิชาวงจรไฟฟ้า

รหัสวิชา 30104 - 2002

(ท-ป- น) 2-3-3

เวลาเรียน 5 ชั่วโมง/สัปดาห์

รวม 75 ชั่วโมง/ภาคเรียน

หน่วยการเรียนรู้	ความสามารถที่คาดหวัง									รวม	จำนวน ชั่วโมง ท/ป
	พุทธิพิสัย						ทักษะ พิสัย	จิต พิสัย	ประยุกต์ ใช้		
	ความรู้	ความเข้าใจ	การนำไปใช้	การวิเคราะห์	การประเมินค่า	การสร้างสรรค์					
1.งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน	1	1	1	1	-	-	1	2	2	9	4/6
2.งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์	1	1	1	1	-	-	1	2	2	9	4/6
3.งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป	1	1	1	1	-	-	1	2	2	9	4/6
4.งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ	1	1	1	1	-	-	1	2	2	9	2/3
5.งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และวงจรอาร์ชีออปแอมป์	1	1	1	1	-	-	1	2	2	9	2/3
6.งานวงจรอันดับหนึ่ง	1	1	1	1	-	-	1	2	2	9	2/3
7.วงจรอันดับสอง	1	1	1	1	-	-	1	2	2	9	2/3
8.วงจรเรโซแนนซ์	1	1	1	1	-	-	1	2	1	8	2/3
9.งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม	1	1	1	1	-	-	1	1	2	8	2/3
10.งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์ และวงจรเรโซแนนซ์	1	1	1	1	-	-	1	1	2	8	2/3
11.งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	1	1	1	1	-	-	1	1	1	7	2/3
12.งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส	1	1	1	1	-	-	1	1	-	6	2/3
รวม	12	12	12	12	-	-	12	20	20		30/45
ผู้เรียนสามารถประยุกต์องค์ความรู้ต่อวงจรไฟฟ้าในอาคารได้										-	-
รวมทั้งรายวิชา										100	75

กิจกรรมการเรียนการสอน

1. การนำเข้าสู่หน่วยการเรียนรู้

- ทบทวนเนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้ของสัปดาห์ก่อนหน้า
- กิจกรรมถามตอบเกี่ยวกับหน่วยการเรียนรู้
- สรุปกิจกรรมถามตอบเพื่อนำเข้าสู่หน่วยการเรียนรู้

2. การสอนในหน่วยการเรียนรู้

- อธิบายเนื้อหา บทเรียน ในหน่วยการเรียนรู้
- กิจกรรมถามตอบเกี่ยวกับเนื้อหาที่เรียน และใบงาน
- ทดลองปฏิบัติจริงตามใบงาน

3. การสรุปหน่วยการเรียนรู้

- ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาในบทเรียน และใบงาน

การวัดผลประเมินผล/ระดับคะแนน

รายละเอียดการวัดผล		
การระหว่างหน่วยการเรียนรู้	20	คะแนน
การสอบกลางภาค	-	คะแนน
การสอบปลายภาค	-	คะแนน
บูรณาการคุณธรรม จริยธรรม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์	20	คะแนน
งานมอบหมาย/ รายงาน/กิจกรรม	60	คะแนน
อื่น ๆ	-	คะแนน
รวม	100	คะแนน

ระดับคะแนน

คะแนน 80 - 100	ระดับผลการเรียนระดับ	4
คะแนน 75 - 79	ระดับผลการเรียนระดับ	3
คะแนน 65 - 69	ระดับผลการเรียนระดับ	2.5
คะแนน 60 - 64	ระดับผลการเรียนระดับ	2
คะแนน 55 - 59	ระดับผลการเรียนระดับ	1.5
คะแนน 50 - 54	ระดับผลการเรียนระดับ	1
คะแนน 0 - 49	ระดับผลการเรียนระดับ	0

สื่อการเรียนการสอน/หนังสือเรียน/หนังสือประกอบ

1. วงจรไฟฟ้า, ดร.ชิต อินทะลี, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น บมจ.
2. สื่อการเรียนการสอน Power point วงจรไฟฟ้าและ ใบงานวงจรไฟฟ้า
3. สื่อการเรียนการสอนทางอินเทอร์เน็ต

แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. ห้องสมุด
2. เว็บไซต์ และเครื่องมือค้นหาในอินเทอร์เน็ต

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการได้ทราบนิยามความหมายของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงกับไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับระบบของหน่วย ปริมาณพื้นฐาน องค์ประกอบวงจรและวงจรแบบตัวต้านทาน

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายปริมาณประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานได้
- 4.2. จำแนกองค์ประกอบวงจรแบบแอคทีฟและแบบพาสซีฟได้
- 4.3. บอกความต้านทานสมมูลของวงจรโดยพื้นฐานทั้ง 3 ชนิดได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

- 5.1 ระบบของหน่วย (System of Units)
- 5.2 ปริมาณพื้นฐาน (Basic Quantities)
- 5.3 องค์ประกอบวงจร (Circuit Elements)
- 5.4 วงจรแบบตัวต้านทาน (Resistor Circuits)

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 1/15, คาบที่ 1-5/75)

1. ครูชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับจุดประสงค์ สมรรถนะและคำอธิบายรายวิชา การวัดผลและประเมินผลการเรียน คุณลักษณะนิสัยที่ต้องการให้เกิดขึ้น และข้อตกลงในการเรียน
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 1
3. แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มๆ ละ 4-5 คน และครูให้หนังสือเรียน
4. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้

5. ครูสอนเนื้อหาสาระ
6. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเป็นกลุ่ม ขณะนักศึกษาทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงานกลุ่ม
7. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัด (บางข้อ) และมอบหมายให้ทำแบบฝึกหัดที่เหลือเป็น
การบ้าน

8. ครูให้นักศึกษาศึกษาโปรแกรมจำลองวงจร

9. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 1

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

สื่อสิ่งพิมพ์ 1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 1, PowerPoint ประกอบการสอน และ
แบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด

2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

ในสถานศึกษา : 1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า
รหัสวิชา 30104-2002

นอกสถานศึกษา : 2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 1	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบสังเกตการทำงานกลุ่มและนำเสนอผลงานกลุ่ม	เกณฑ์ผ่าน 60%
3. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 1	เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 1	เกณฑ์ผ่าน 50%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ตามสภาพจริง	เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 1
2. คะแนนแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 1
3. ผลการทำใบงานที่ 1

เอกสารอ้างอิง

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.
3. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice**.

10 บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องงานความคิดรวบยอดพื้นฐาน สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายรัชตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 1	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน	ทฤษฎี 2 ชม.
	ชื่อเรื่อง/งาน งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน	ปฏิบัติ 3 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการได้ทราบนิยามความหมายของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงกับไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับระบบของหน่วย ปริมาณพื้นฐาน องค์ประกอบวงจรและวงจรแบบตัวต้านทาน

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายปริมาณประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานได้
- 4.2. จำแนกองค์ประกอบวงจรแบบแอคทีฟและแบบพาสซีฟได้
- 4.3. บอกความต้านทานสมมูลของวงจรโดยพื้นฐานทั้ง 3 ชนิดได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

1.1 ระบบของหน่วย (System of Units)

ระบบของหน่วยใช้หาค่าปริมาณที่สามารถวัดได้เป็นตัวเลข ระบบของหน่วยที่เป็นสากลที่มีความสำคัญและใช้มากคือ ระบบของหน่วยนานาชาติ (international system of units: SI) ประกอบด้วยหน่วยพื้นฐาน เมตร (meter: m), กิโลกรัม (kilogram: kg), วินาที (second: s), แอมแปร์ (ampere: A), องศาเคลวิน (degree kelvin: °K) และแคนเดเลา (candela: cd)

หน่วยวัดทางไฟฟ้าพื้นฐาน (SI Base Units):

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage): มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt, V)
- กระแสไฟฟ้า (Current): มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampere, A)
- ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance): มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ohm, Ω)

- กำลังไฟฟ้า (Electric Power): มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt, W)
- พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy): มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมง (Watt-hour, Wh) หรือ ยูนิท (Unit)
- ความถี่ (Frequency): มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hertz, Hz)
- ประจุไฟฟ้า (Electric Charge): มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (Coulomb, C)

หน่วยวัดทางไฟฟ้าอื่นๆ ที่ควรรู้:

- กิโลวัตต์ (kW):

หน่วยของกำลังไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับ 1,000 วัตต์

- กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh):

หน่วยของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับ 1,000 วัตต์-ชั่วโมง หรือ 1 ยูนิท

- เมกะวัตต์ (MW):

หน่วยของกำลังไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับ 1,000,000 วัตต์

- มิลลิโวลต์ (mV):

หน่วยของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับ 1/1,000 โวลต์

- ไมโครโวลต์ (μ V):

หน่วยของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับ 1/1,000,000 โวลต์

การนำหน่วยวัดไปใช้งาน:

- แรงดันไฟฟ้า:

ใช้บอกถึงความต่างศักย์ของไฟฟ้าในวงจร

- กระแสไฟฟ้า:

ใช้บอกถึงปริมาณของประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านในวงจร

- ความต้านทานไฟฟ้า:

ใช้บอกถึงความสามารถของวัสดุในการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า

- กำลังไฟฟ้า:

ใช้บอกถึงอัตราการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ อุปกรณ์

- พลังงานไฟฟ้า:

ใช้บอกถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่งๆ

1.2 ปริมาณพื้นฐาน (Basic Quantities)

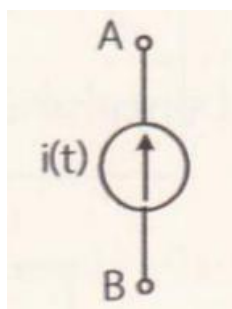
ปริมาณพื้นฐานที่ธรรมดาที่สุดในการวิเคราะห์วงจรคือ ประจุไฟฟ้า โดยเบื้องต้นประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ ประจุบวกจะเกี่ยวข้องกับโปรตอน และประจุลบจะเกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอน การเคลื่อนที่ของประจุมีความสำคัญที่ใช้ศึกษาให้เข้าใจการทำงานของอุปกรณ์ เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่มีผลต่อการถ่ายโอนพลังงาน และปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของประจุถูกจำกัดขอบเขตเป็นเส้นทางปิด ซึ่งการเคลื่อนที่ของประจุนี้เองเป็นตัวบ่งบอกถึงการไหลของกระแสไฟฟ้า ในระบบ SI หน่วยของปริมาณประจุคือ คูลอมบ์ (coulomb: C)

โดยประจุไฟฟ้า 1 C ได้จากการวัดปริมาณประจุในสายไฟฟ้าที่มีขนาดกระแสไฟฟ้า 1 A ในเวลา 1 s หรือ กระแสไฟฟ้า 1 A = 1 C/s (ประจุ 1 C มีอิเล็กตรอนจำนวน $1/(1.602 \times 10^{-19}) = 6.24 \times 10^{18}$ ตัว)

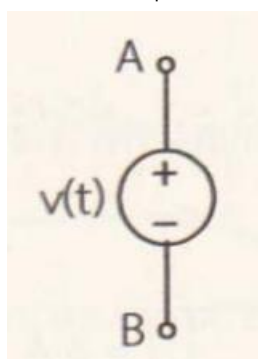
$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad \text{หรือ} \quad q(t) = \int_{-\infty}^t i(x) dx$$

1.3 องค์ประกอบวงจร (Circuit Elements)

1.3.1 แหล่งกำเนิดอิสระ (Independent Sources: IS)



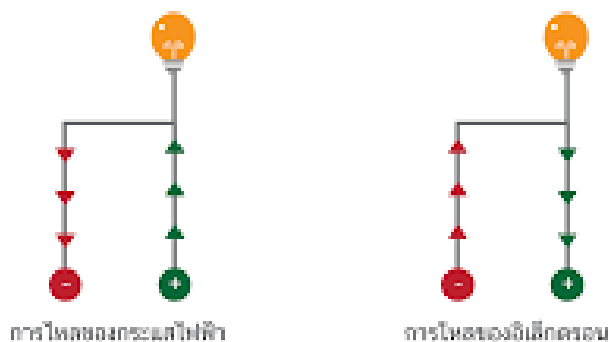
แหล่งกำเนิดกระแสอิสระ (independent current source)



แหล่งกำเนิดแรงดันอิสระ (independent voltage source)

1.3.2 แหล่งกำเนิดไม่อิสระ (Dependent Sources: DS)

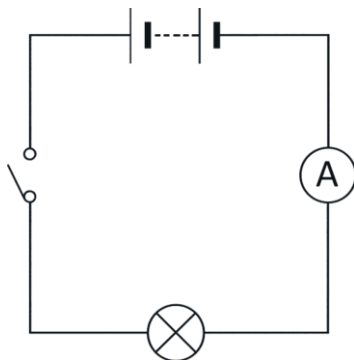
1. แหล่งกำเนิดแรงดันแปรตามแรงดันควบคุม (voltage-controlled voltage source: VCVS)
2. แหล่งกำเนิดแรงดันแปรตามกระแสควบคุม (current-controlled voltage source: CCVS)
3. แหล่งกำเนิดกระแสแปรตามแรงดันควบคุม (voltage-controlled current source: VCCS)
4. แหล่งกำเนิดกระแสแปรตามกระแสควบคุม (current-controlled current source: CCCS)



1.4 วงจรแบบตัวต้านทาน (Resistor Circuits)

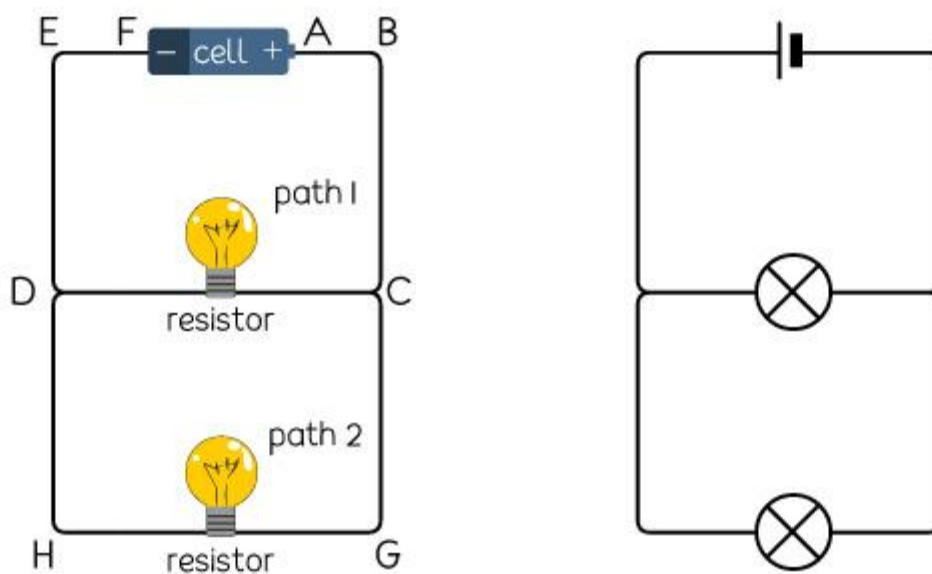
1.4.1 วงจรอนุกรม

วงจรอนุกรมคือวงจรที่ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ เรียงกันเป็นวง อิเล็กตรอนในวงจรเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงเท่ากันทั่วทั้งวงจร แอมมิเตอร์จะวัดกระแสไฟฟ้าเท่ากันในทุกจุดของวงจร หากคุณวัดสามจุด จะเขียนเป็น $I_1 = I_2 = I_3$ โดยกระแสไฟฟ้า (I) จะวัดเป็นแอมแปร์ (A)



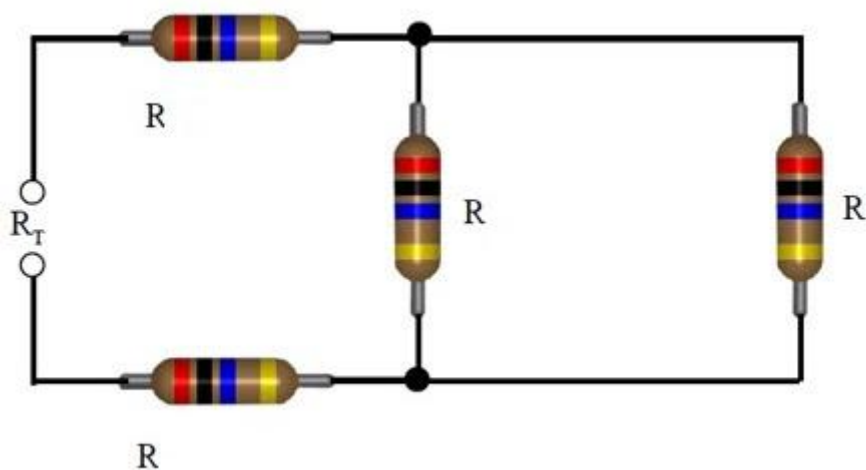
1.4.2 วงจรขนาน

ตัวต้านทาน เมื่อต่อขนานจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายออกมา ไหลแยก ไปสู่ตัวต้านทานแต่ละตัวที่ขนานกัน ผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานในวงจรขนาน รวมกัน จะเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายออกมา ($I_1 + I_2 = I$) ค่าความต้านทานรวม ของวงจรขนานจะลดลงน้อยกว่าค่าของตัวต้านทานตัวที่มีค่าน้อยที่สุด



1.4.3 วงจรผสม

วงจรไฟฟ้า มีรูปแบบการต่อวงจรไฟฟ้าหลายแบบ วงจรไฟฟ้าจะมีความเปลี่ยนแปลงและคุณสมบัติต่อกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันตามรูปแบบการต่อวงจรไฟฟ้า วันนี้จะมาแนะนำ การต่อวงจรไฟฟ้าแบบผสมการต่อวงจรทั้งแบบอนุกรมและแบบขนานเข้าไปในวงจรเดียว ภายในวงจรโหนดบางตัวต่อวงจรแบบอนุกรม และโหนดบางตัวต่อวงจรแบบขนาน เป็นการต่อวงจรที่ไม่มีมาตรฐานตายตัว สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม แต่การต่อแบบวงจรผสมอาจจะต้องอาศัยประสบการณ์หรือปรึกษาช่าง เพื่อความแน่นอนและความปลอดภัย โดยทั่วไปวงจรผสมไม่นิยมใช้กัน



รูปภาพ วงจรผสม

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน้าที่ 1 งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดเป็นปริมาณพื้นฐานในระบบหน่วยเอสไอ (SI)?

ก. กำลัง ข. มวล ค. แรง ง. พลังงาน

2. หน่วยใดต่อไปนี้เป็นหน่วยพื้นฐานของระบบ SI?

ก. องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ข. เมตร (m) ค. ลิตร (L) ง. ตัน (t)

3. หน่วยในระบบ SI สำหรับความต้านทานไฟฟ้าคืออะไร?

ก. โวลต์ (V) ข. แอมแปร์ (A) ค. วัตต์ (W) ง. โอห์ม (Ω)

4. องค์ประกอบวงจรใดที่ทำหน้าที่จำกัดการไหลของกระแสไฟฟ้า?

ก. สายไฟ ข. แบตเตอรี่ ค. สวิตช์ ง. ตัวต้านทาน

5. องค์ประกอบวงจรใดที่สามารถเก็บพลังงานในรูปของสนามไฟฟ้า?

ก. ตัวเหนี่ยวนำ ข. ตัวเก็บประจุ ค. ทรานซิสเตอร์ ง. ไดโอด

6. ในวงจรตัวต้านทานแบบอนุกรม ปริมาณใดมีค่าเท่ากันตลอดวงจร?

ก. วงจรผสม ข. วงจรขนาน ค. วงจรเปิด ง. วงจรอนุกรม

7. สำหรับวงจรตัวต้านทานแบบขนาน ปริมาณใดที่คงที่เท่ากันสำหรับแต่ละสาขา?

ก. กำลังไฟฟ้า ข. กระแสไฟฟ้า ค. แรงดันไฟฟ้า ง. ความต้านทานรวม

8. สูตรใดใช้คำนวณความต้านทานรวมของตัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรม?

ก. $R_{\text{รวม}} = R_1 / R_2$ ข. $1/R_{\text{รวม}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ ค. $R_{\text{รวม}} = R_1 * R_2$

ง. $R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

9. สมการใดคือกฎของโอห์ม?

ก. $P = IV$ ข. $V = IR$ ค. $E = mc^2$ ง. $F = ma$

10. ปริมาณพื้นฐานใดในระบบ SI ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของประจุไฟฟ้า?

ก. ความจุไฟฟ้า ข. ความถี่ ค. พลังงาน ง. กระแสไฟฟ้า

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

2. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.

3. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.

4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices:**

Theory and Practice.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน้าที่ 1 งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดเป็นปริมาณพื้นฐานในระบบหน่วยเอสไอ (SI)?

ก. กำลัง ข. มวล ค. แรง ง. พลังงาน

2. หน่วยใดต่อไปนี้เป็นหน่วยพื้นฐานของระบบ SI?

ก. องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ข. เมตร (m) ค. ลิตร (L) ง. ตัน (t)

3. หน่วยในระบบ SI สำหรับความต้านทานไฟฟ้าคืออะไร?

ก. โวลต์ (V) ข. แอมแปร์ (A) ค. วัตต์ (W) ง. โอห์ม (Ω)

4. องค์ประกอบวงจรใดที่ทำหน้าที่จำกัดการไหลของกระแสไฟฟ้า?

ก. สายไฟ ข. แบตเตอรี่ ค. สวิตช์ ง. ตัวต้านทาน

5. องค์ประกอบวงจรใดที่สามารถเก็บพลังงานในรูปของสนามไฟฟ้า?

ก. ตัวเหนี่ยวนำ ข. ตัวเก็บประจุ ค. ทรานซิสเตอร์ ง. ไดโอด

6. ในวงจรตัวต้านทานแบบอนุกรม ปริมาณใดมีค่าเท่ากันตลอดวงจร?

ก. วงจรผสม ข. วงจรขนาน ค. วงจรเปิด ง. วงจรอนุกรม

7. สำหรับวงจรตัวต้านทานแบบขนาน ปริมาณใดที่คงที่เท่ากันสำหรับแต่ละสาขา?

ก. กำลังไฟฟ้า ข. กระแสไฟฟ้า ค. แรงดันไฟฟ้า ง. ความต้านทานรวม

8. สูตรใดใช้คำนวณความต้านทานรวมของตัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรม?

ก. $R_{\text{รวม}} = R_1 / R_2$ ข. $1/R_{\text{รวม}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ ค. $R_{\text{รวม}} = R_1 * R_2$

ง. $R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

9. สมการใดคือกฎของโอห์ม?

ก. $P = IV$ ข. $V = IR$ ค. $E = mc^2$ ง. $F = ma$

10. ปริมาณพื้นฐานใดในระบบ SI ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของประจุไฟฟ้า?

ก. ความจุไฟฟ้า ข. ความถี่ ค. พลังงาน ง. กระแสไฟฟ้า

เรื่อง ระบบของหน่วยต่าง ๆ

1. จงแปลงค่าต่อไปนี้ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิศวกรรม (engineering notation)

ก) $1.172 \times 10^{-5} \text{ A}$

ข) 45,000 Ω

ค) 0.038 nA

ง) 13,540,000 Hz

จ) 0.0056 μm

ฉ) 3,600,000,000 bits

ช) 1130 Ω

ซ) 790 mJ

ณ) $1.3 \times 10^{-5} \text{ s}$

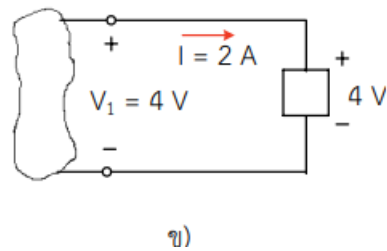
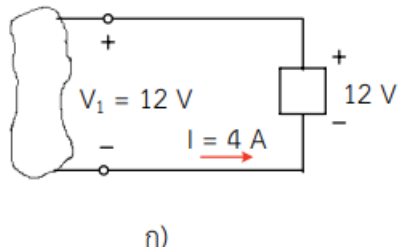
เรื่อง ปริมาณพื้นฐาน

2. จงหาค่าประจุของอิเล็กตรอน 4,600 ตัว (อิเล็กตรอนแต่ละตัวมีประจุ $-1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$)

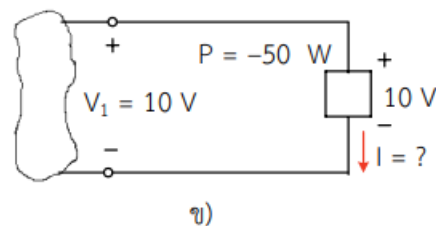
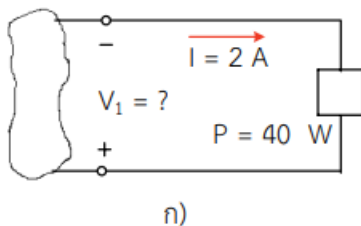
(ตอบ $-7.369 \times 10^{-16} \text{ C}$)

3. ถ้าประจุเคลื่อนที่เข้ามายังขั้วต่อของวงจรข้างหนึ่งเป็น $q = 5t \sin 4\pi t$ mC จงหาค่ากระแสที่ $t = 0.5$ s
(ตอบ $i = 31.42$ mA)

4. จากรูป จงหาว่าองค์ประกอบวงจรนั้นดูดซับกำลังไฟฟ้าหรือจ่ายกำลังไฟฟ้า
(ตอบ เฉพาะขนาด $P = -48$ W, ข) $P = 8$ W)



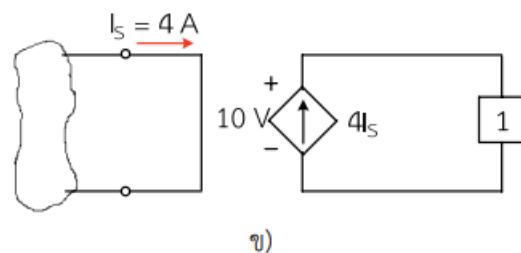
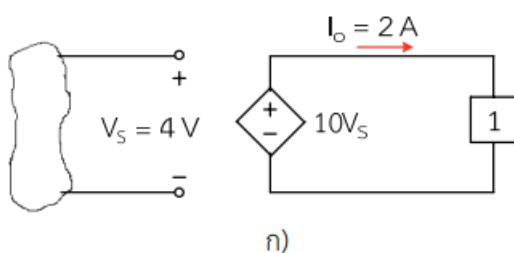
5. จากรูป จงหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า
(ตอบ ก) $V_1 = -20$ V, ข) $I = -5$ A)



6. จงหาค่าพลังงานที่หลอดไฟฟ้า 100 W ใช้งานนาน 2 ชั่วโมง มีค่าเป็นเท่าไร เมื่อ $1 \text{ Wh} = 3,600 \text{ J}$
(ตอบ 720 kJ หรือ 200 Wh)

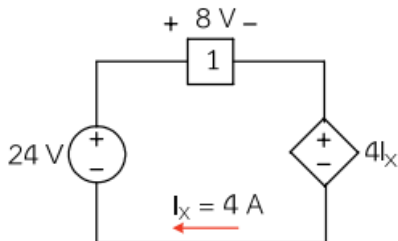
เรื่อง องค์ประกอบวงจร

7. จากรูป จงหาค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยแหล่งกำเนิดไม้อิสระ (Irwin, J. David. 2002: 10)
(ตอบ ก) กำลังไฟฟ้าที่จ่าย = 80 W, ข) กำลังไฟฟ้าที่จ่าย = 160 W)



8. จากรูป จงหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ดูดซับหรือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยองค์ประกอบวงจร

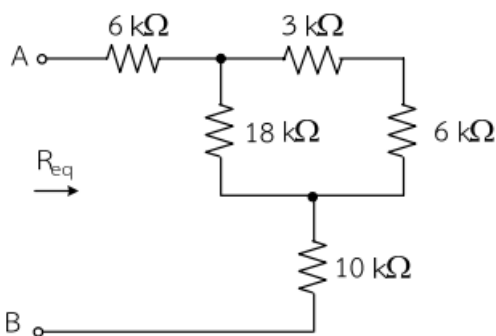
(ตอบ $P_{24V} = 96 \text{ W}$ จ่ายกำลังไฟฟ้า, $P_1 = 32 \text{ W}$ ดูดซับกำลังไฟฟ้า, $P_{4I_X} = 64 \text{ W}$ ดูดซับกำลังไฟฟ้า)



เรื่อง วงจรแบบตัวต้านทาน

9. จากรูป จงหาค่าความต้านทานสมมูลที่ขั้ว A-B

(ตอบ $R_{eq} = 22 \text{ k}\Omega$)



10. จากรูป จงหาค่าความต้านทานสมมูลที่ขั้ว A-B

(ตอบ $R_{eq} = 3 \text{ k}\Omega$)

	ใบงานหน่วยที่ 1	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการได้ทราบนิยามความหมายของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงกับไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -

2) วิธีประเมิน: -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับระบบของหน่วย ปริมาณพื้นฐาน องค์ประกอบวงจรและวงจรแบบตัวต้านทาน

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายปริมาณประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานได้

4.2. จำแนกองค์ประกอบวงจรแบบแอคทีฟและแบบพาสซีฟได้

4.3. บอกความต้านทานสมมูลของวงจรโดยพื้นฐานทั้ง 3 ชนิดได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิจนิสัยในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

ตัวต้านทานแบบค่าคงที่

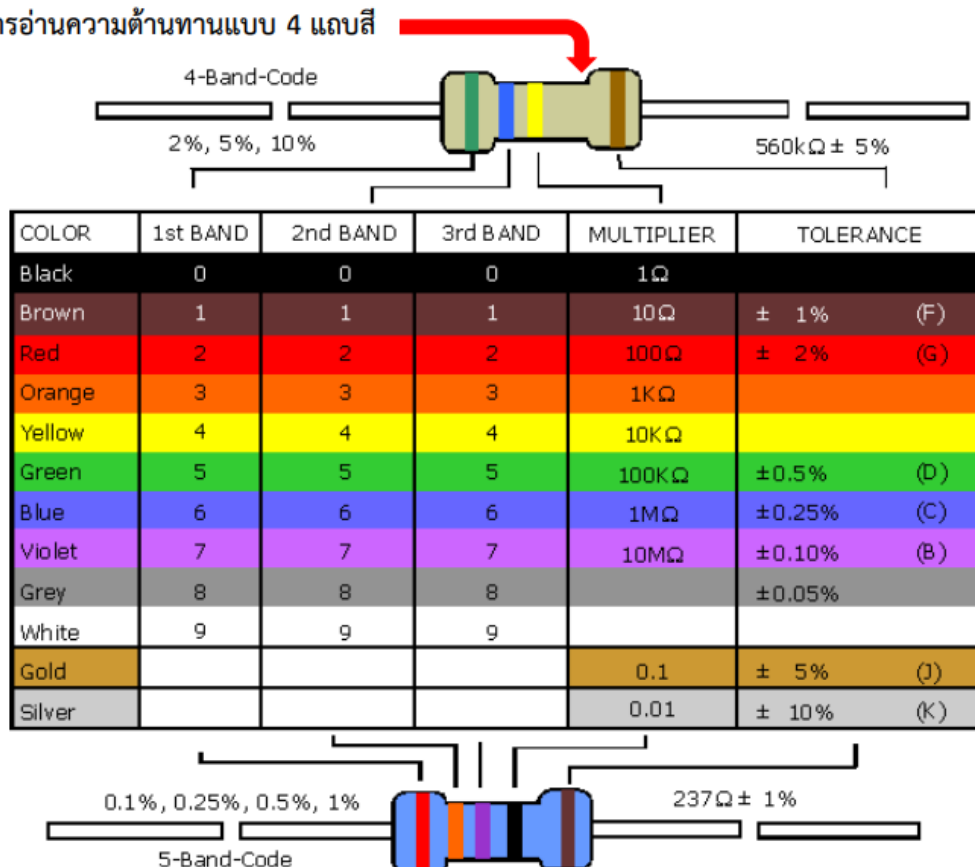
6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ปฏิบัติงานอ่านค่าตัวต้านทาน ด้วยความรอบคอบ มีกิจนิสัยในการทำงานมีระเบียบแบบแผน ความรับผิดชอบตนเองและสวณรวม

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

การอ่านค่าความต้านทานแบบ 4 แถบสี และ 5 แถบสี

การอ่านความต้านทานแบบ 4 แถบสี



การอ่านความต้านทานแบบ 5 แถบสี



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....



แถบสีที่	1	2	3	4
สี				
ค่า				

วิธีการอ่านค่าสี

.....

.....

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 1
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	การอ่านคำตัวด้านทานคงที่แบบแถบสี			วันที่เริ่มงาน	
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การอ่านคำตัวด้านทานคงที่แบบแถบสี)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 1	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการได้ทราบนิยามความหมายของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงกับไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับระบบของหน่วย ปริมาณพื้นฐาน องค์ประกอบวงจรและวงจรแบบตัวต้านทาน

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายปริมาณประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานได้
- 4.2. จำแนกองค์ประกอบวงจรแบบแอคทีฟและแบบพาสซีฟได้
- 4.3. บอกความต้านทานสมมูลของวงจรโดยพื้นฐานทั้ง 3 ชนิดได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนัก

ถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษาระบบของหน่วย ปริมาณพื้นฐาน องค์ประกอบวงจรและวงจรแบบตัวต้านทาน

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องปริมาณประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานได้

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญเรื่องปริมาณประจุไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า และพลังงานได้

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม

ฟังการอธิบายองค์ประกอบวงจรแบบแอคทีฟและแบบพาสซีฟได้

- ขั้นสาธิต
ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณองค์ประกอบวงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ
- ขั้นฝึกปฏิบัติ
นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ
- ขั้นตรวจสอบผล
ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณวงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง
ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ
- ขั้นสรุป
นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานวงจรไฟฟ้าวงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation
ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในวงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ
- ขั้น Information
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานวงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ
- ขั้น Application
Power point
- ขั้น Progress
ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานวงจรแบบแอกทีฟและแบบ

พาสซีฟได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม
เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานวงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟที่อย่างรอบครอบ
- ขั้นสอน
สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
- ขั้นสรุป
นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลกิจกรรมหน่วยที่ 1
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	วงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ	วันที่เริ่มงาน			
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (วงจรแบบแอกทีฟและแบบพาสซีฟ)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2-3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับกฎของโอห์มและกฎของเคอร์ชอฟฟ์ เป็นกฎพื้นฐานที่ใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า สำหรับวงจรที่มีลูปเดียว (วงจรอนุกรม)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ วงจรที่มีลูปเดียว วงจรที่มีคู่ โหนดเดียว และวงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม้อิสระ

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายกฎของโอห์มหาค่าในวงจรไฟฟ้าได้
- 4.2. ประยุกต์ใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์หาค่าในวงจรไฟฟ้าได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรที่มีลูปเดียวโดยใช้กฎการแบ่งแรงดันและกฎของเคอร์ชอฟฟ์ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

1. กฎของโอห์ม (Ohm's Law)
2. กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Laws)
3. วงจรที่มีลูปเดียว (Single-Loop Circuits)
4. วงจรที่มีคู่ โหนดเดียว (Single-Node-Pair Circuits)
5. วงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม้อิสระ (Circuits with Dependent Source)

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 2-3/15, คาบที่ 6-15/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอน

2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 2
3. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่มๆ ละ 4-5 คน
4. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
5. ครูสอนเนื้อหาสาระ
6. นักศึกษาทำแบบฝึกหัด (บางข้อ) เป็นกลุ่ม ขณะนี้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงานกลุ่ม
7. นักศึกษาลงฝึกปฏิบัติจำลองการทำงานวงจรในแบบฝึกหัด (เลือกกลุ่มละข้อ) ด้วยโปรแกรม
8. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 2

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

สื่อสิ่งพิมพ์ 1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 2, PowerPoint ประกอบการสอน และแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด

2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต
www.google.com

แหล่งการเรียนรู้

ในสถานศึกษา : 1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1
รหัสวิชา 30104-2002

นอกสถานศึกษา : 2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 2	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบสังเกตการทำงานกลุ่มและนำเสนอผลงานกลุ่ม	เกณฑ์ผ่าน 60%
3. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 2/เลือกแบบฝึกหัดจำลองโปรแกรม	เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 2	เกณฑ์ผ่าน 50%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ตามสภาพจริง	เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 2
2. คะแนนแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 2
3. ผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารอ้างอิง

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Baker, Tim. (2002). **Experiments in DC/AC Circuits with Concepts**.
3. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.
4. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.
5. _____. (2005). **Introductory DC/AC Circuits**
6. Floyd, Thomas L. (2001). **Electronic Fundamentals**.
7. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice**.

10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่องงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายระตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 2	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2-3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับกฎของโอห์มและกฎของเคอร์ชอฟฟ์ เป็นกฎพื้นฐานที่ใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า สำหรับวงจรที่มีลูปเดียว (วงจรอนุกรม)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ วงจรที่มีลูปเดียว วงจรที่มีคู่ โหนดเดียว และวงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม้อิสระ

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายกฎของโอห์มหาค่าในวงจรไฟฟ้าได้
- 4.2. ประยุกต์ใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์หาค่าในวงจรไฟฟ้าได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรที่มีลูปเดียวโดยใช้กฎการแบ่งแรงดันและกฎของเคอร์ชอฟฟ์ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

2.1 กฎของโอห์ม (Ohm's Law)

กฎของโอห์ม กล่าวว่า แรงดันตกคร่อมความต้านทานจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานนั้น มีหน่วยวัดเป็น โอห์ม (ohm: Ω)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ตามกฎของโอห์ม เป็นไปตามสมการที่ 2.1

$$v(t) = R \times i(t), \quad \text{เมื่อ } R \geq 0 \quad \dots\dots\dots 2.1$$

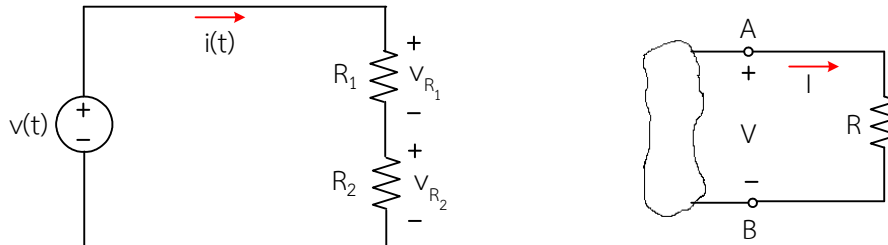
2.2 กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Laws)

2.2.1 กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Current Law)

2.2.2 กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Voltage Law)

2.3 วงจรที่มีลูปเดียว (Single-Loop Circuits)

2.3.1 การแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Division) การประยุกต์ใช้กฎที่กล่าวมาเพื่อการวิเคราะห์วงจรที่มีเส้นทางปิดเดียวหรือลูปเดียวขององค์ประกอบวงจร วงจรที่มีลูปเดียวกระแสที่ไหลผ่านองค์ประกอบทุกตัวมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า “วงจรที่มีลูปเดียวคือวงจรอนุกรม” และสามารถประยุกต์ใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ร่วมกับกฎของโอห์มเพื่อหาค่าปริมาณต่าง ๆ ในวงจร ดังรูป



ก) วงจรที่มีลูปเดียวหรือวงจรอนุกรม

ข) อธิบายการให้เครื่องหมาย +, - ($V = IR$)

รูป วงจรที่มีลูปเดียวหรือวงจรอนุกรมและอธิบายการให้เครื่องหมาย

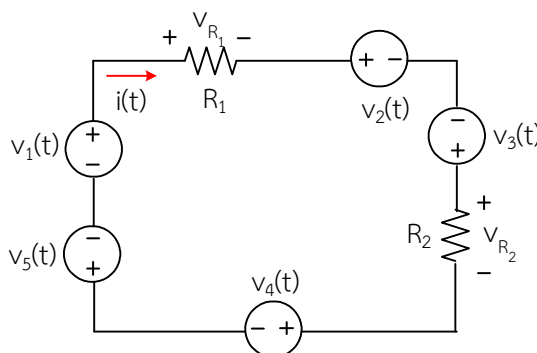
2.3.2 วงจรหลายแหล่งกำเนิดและหลายตัวต้านทาน การวิเคราะห์วงจรที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันหลายตัวและตัวต้านทานหลายตัว ต่อแบบเรียงลำดับหรือต่ออนุกรม ดังรูป ถ้าสมมติให้กระแส $i(t)$ ไหลในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและใช้ KVL ในวงจรได้เป็น

$$+v_{R_1} + v_2(t) - v_3(t) + v_{R_2} + v_4(t) + v_5(t) - v_1(t) = 0$$

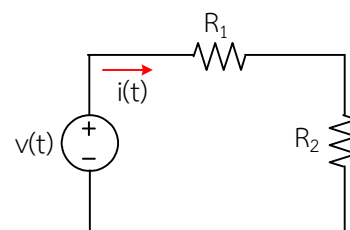
หรือใช้กฎของโอห์ม ได้เป็น

$$(R_1 + R_2)i(t) = v_1(t) - v_2(t) + v_3(t) - v_4(t) - v_5(t)$$

เขียนใหม่ได้เป็น $(R_1 + R_2)i(t) = v(t)$



ก) วงจรที่มีหลายแหล่งกำเนิด

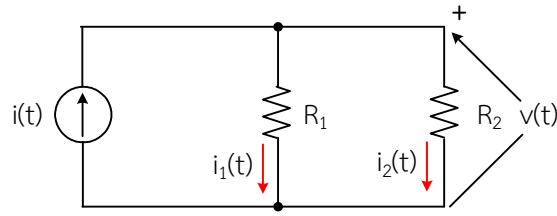


ข) วงจรสมมูลของรูป ก)

รูป วงจรที่มีหลายแหล่งกำเนิดและหลายตัวต้านทาน

2.4 วงจรที่มีคู่ โหนดเดียว (Single-Node-Pair Circuits)

2.4.1 การแบ่งกระแสไฟฟ้า (Current Division) ความสำคัญของวงจรที่มีคู่ โหนดเดียวคือเป็นวงจรที่มีแรงดันตกคร่อมองค์ประกอบวงจรเท่ากันทุกสาขา จึงเรียกได้ว่าเป็น “วงจรขนาน” จะประยุกต์ใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์และกฎของโอห์ม เพื่อหาตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในวงจร ดังรูป ประกอบด้วยแหล่ง กำหนดกระแสอิสระต่อขนานด้วยตัวต้านทาน 2 ตัว

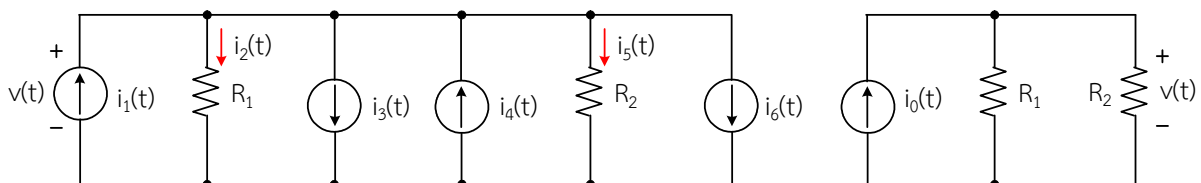


รูป วงจรขนาน

2.4.2 วงจรหลายแหล่งกำเนิดและหลายตัวต้านทาน เมื่อวิเคราะห์วงจรที่มีแหล่งกำเนิดกระแสหลายตัวและตัวต้านทานหลายตัวต่อขนานกัน ดังรูป ก) สมมติให้โหนดบน คือ $+v(t)$ เมื่อเทียบกับโหนดล่าง เมื่อประยุกต์ใช้ KCL ที่โหนดบน ได้เป็น

$$i_1(t) - i_2(t) - i_3(t) + i_4(t) - i_5(t) - i_6(t) = 0$$

หรือ
$$i_1(t) - i_3(t) + i_4(t) - i_6(t) = i_2(t) + i_5(t)$$



ก)

ข) วงจรสมมูลของรูป ก)

รูป วงจรที่มีแหล่งกำเนิดกระแสและตัวต้านทานหลายตัวต่อขนานและวงจรสมมูล

2.5 วงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม่อิสระ (Circuits with Dependent Source)

แหล่งกำเนิดที่แปรตามการควบคุมนี้มีความ สำคัญอย่างยิ่ง เพราะใช้สร้างแบบจำลอง อุปกรณ์เชิงฟิสิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ (bipolar junction transistors: BJTs) ชนิด npn และ pnp และทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า (field-effect transistors: FETs) เช่น มอสเฟต (metal-oxide-semiconductor field-effect transistors: MOSFETs) โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์เหล่านี้ได้ใช้ใน อุปกรณ์แอมพลิฟายเออร์และดิจิทัล ชนิดของอุปกรณ์แอมพลิฟายเออร์ที่ใช้คือ ออปแอมป์ (operational amplifier: OP-Amp) ชนิดของอุปกรณ์ดิจิทัล คือ แรม (random access memories: RAMs), รม (read-only memories: ROMs) และไมโครโปรเซสเซอร์

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน้าที่ 2 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. สมการคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องของกฎของโอห์มคือข้อใด?

ก. $V = IR$ ข. $F = ma$ ค. $P = IV$ ง. $E = mc^2$

2. กฎใดของเคอร์ชอฟฟ์ที่ระบุว่าผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่จุดร่วม (Node) ใดๆ ในวงจรมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากจุดนั้น?

ก. กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) ข. กฎของโอห์ม
ค. กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (KCL) ง. กฎการอนุรักษ์พลังงาน

3. กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) กล่าวถึงหลักการใด?

ก. ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและลดลงในวงจรปิดใดๆ มีค่าเป็นศูนย์
ข. กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก
ค. แรงดันไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า

ง. กำลังไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดจ่ายเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ส่วนประกอบต่างๆ ใช้ไป

4. ในการวิเคราะห์วงจรที่มีลูปเดียว (Single-Loop Circuit) โดยทั่วไปจะใช้กฎข้อใดเป็นหลัก?

ก. ใช้กฎการแบ่งแรงดัน
ข. ใช้กฎการแบ่งกระแส
ค. ใช้ KCL เพื่อหาผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่จุดร่วมเดียว
ง. ใช้ KVL เพื่อหาผลรวมของแรงดันไฟฟ้าในลูปเดียว

5. ในการวิเคราะห์วงจรที่มีคูโนดเดียว (Single-Node-Pair Circuits) โดยทั่วไปจะใช้หลักการใด?

ก. ความต้านทานรวมของวงจร
ข. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมส่วนประกอบแต่ละตัวในลูป
ค. กระแสที่ไหลออกจากแหล่งกำเนิดกระแสไปยังสาขาต่างๆ
ง. กำลังไฟฟ้าที่แต่ละตัวต้านทานใช้ไป

6. แหล่งกำเนิดไม่อิสระ (Dependent Source) ในวงจรไฟฟ้าหมายถึงอะไร?

ก. แหล่งกำเนิดที่สามารถจ่ายกำลังได้ไม่จำกัด
ข. แหล่งกำเนิดที่ไม่มีความต้านทานภายใน
ค. แหล่งกำเนิดที่มีค่าคงที่เสมอไม่ว่าจะเกิดอะไรขึ้นในวงจร
ง. แหล่งกำเนิดที่ค่าของมันขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่จุดอื่นในวงจร

7. หากคุณมีวงจรที่มีลูปเดียวประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน 10 V และตัวต้านทาน 5 Ω หากคุณเพิ่มตัวต้านทาน 5 Ω อีกตัวหนึ่งต่ออนุกรมในวงจร สิ่งใดจะเกิดขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 5 Ω ตัวแรก?

ก. ไม่มีข้อใดถูก
ข. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 5 Ω
ค. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 5 Ω
ง. กำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทาน 5 Ω ใช้ไป

8. ในวงจรที่มีคูโนดเดียว (Single-Node-Pair Circuits) ข้อใดเป็นจริงเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้า?

ก. ความต้านทานรวมของแต่ละสาขาเป็นศูนย์

ข. กำลังไฟฟ้าในแต่ละสาขาใช้ไปเท่ากัน

ค. แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานทุกตัวในสาขาเหล่านั้นเท่ากัน

ง. กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานทุกตัวในสาขาเหล่านั้นเท่ากัน

9. ข้อใดเป็นตัวอย่างของแหล่งกำเนิดไม้อิสระ?

ก. ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

ข. แหล่งจ่ายแรงดันคงที่และแหล่งจ่ายกระแสคงที่

ค. ไดโอดและทรานซิสเตอร์

ง. กระแสควบคุมกระแส (CCCS) และแรงดันควบคุมแรงดัน (VCCS)

10. ผลกระทบหลักของการมีแหล่งกำเนิดไม้อิสระในวงจรไฟฟ้าคืออะไร?

ก. วงจรจะทำงานได้เร็วขึ้น

ข. ต้องใช้การวิเคราะห์ที่ซับซ้อนขึ้น เช่น เมชอนาไลซิส หรือ โนดอนาไลซิส

ค. กฎของโอห์มใช้ไม่ได้อีกต่อไป

ง. วงจรจะง่ายต่อการแก้ไขปัญหา

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

2. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.

3. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.

4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices:**

Theory and Practice.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน้าที่ 2 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. สมการคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องของกฎของโอห์มคือข้อใด?

ก. $V = IR$ ข. $F = ma$ ค. $P = IV$ ง. $E = mc^2$

2. กฎใดของเคอร์ชอฟฟ์ที่ระบุว่าผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่จุดร่วม (Node) ใดๆ ในวงจรมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากจุดนั้น?

ก. กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) ข. กฎของโอห์ม

ค. กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (KCL) ง. กฎการอนุรักษ์พลังงาน

3. กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) กล่าวถึงหลักการใด?

ก. ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและลดลงในวงรอบปิดใดๆ มีค่าเป็นศูนย์

ข. กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก

ค. แรงดันไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า

ง. กำลังไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดจ่ายเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ส่วนประกอบต่างๆ ใช้ไป

4. ในการวิเคราะห์วงจรที่มีลูปเดียว (Single-Loop Circuit) โดยทั่วไปจะใช้กฎข้อใดเป็นหลัก?

ก. ใช้กฎการแบ่งแรงดัน

ข. ใช้กฎการแบ่งกระแส

ค. ใช้ KCL เพื่อหาผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่จุดร่วมเดียว

ง.ใช้ KVL เพื่อหาผลรวมของแรงดันไฟฟ้าในลูปเดียว

5.ในการวิเคราะห์วงจรที่มีคูโนดเดียว (Single-Node-Pair Circuits) โดยทั่วไปจะใช้หลักการใด?

ก.ความต้านทานรวมของวงจร

ข.แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมส่วนประกอบแต่ละตัวในลูป

ค.กระแสที่ไหลออกจากแหล่งกำเนิดกระแสไปยังสาขาต่างๆ

ง.กำลังไฟฟ้าที่แต่ละตัวต้านทานใช้ไป

6.แหล่งกำเนิดไม่อิสระ (Dependent Source) ในวงจรไฟฟ้าหมายถึงอะไร?

ก.แหล่งกำเนิดที่สามารถจ่ายกำลังได้ไม่จำกัด

ข.แหล่งกำเนิดที่ไม่มีความต้านทานภายใน

ค.แหล่งกำเนิดที่มีค่าคงที่เสมอไม่ว่าจะเกิดอะไรขึ้นในวงจร

ง.แหล่งกำเนิดที่ค่าของมันขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่จุดอื่นในวงจร

7.หากคุณมีวงจรที่มีลูปเดียวประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน 10 V และตัวต้านทาน 5 Ω หากคุณเพิ่มตัวต้านทาน 5 Ω อีกตัวหนึ่งต่ออนุกรมในวงจร สิ่งใดจะเกิดขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 5 Ω ตัวแรก?

ก.ไม่มีข้อใดถูก

ข.กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 5 Ω

ค.แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 5 Ω

ง.กำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทาน 5 Ω ใช้ไป

8.ในวงจรที่มีคูโนดเดียว (Single-Node-Pair Circuits) ข้อใดเป็นจริงเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้า?

ก.ความต้านทานรวมของแต่ละสาขาเป็นศูนย์

ข.กำลังไฟฟ้าที่แต่ละสาขาใช้ไปเท่ากัน

ค.แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานทุกตัวในสาขาเหล่านั้นเท่ากัน

ง.กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานทุกตัวในสาขาเหล่านั้นเท่ากัน

9.ข้อใดเป็นตัวอย่างของแหล่งกำเนิดไม่อิสระ?

ก.ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

ข.แหล่งจ่ายแรงดันคงที่และแหล่งจ่ายกระแสคงที่

ค.ไดโอดและทรานซิสเตอร์

ง.กระแสควบคุมกระแส (CCCS) และแรงดันควบคุมแรงดัน (VCVS)

10.ผลกระทบหลักของการมีแหล่งกำเนิดไม่อิสระในวงจรไฟฟ้าคืออะไร?

ก.วงจรจะทำงานได้เร็วขึ้น

ข.ต้องใช้การวิเคราะห์ที่ซับซ้อนขึ้น เช่น เมชอนาไลซิส หรือ โนดอนาไลซิส

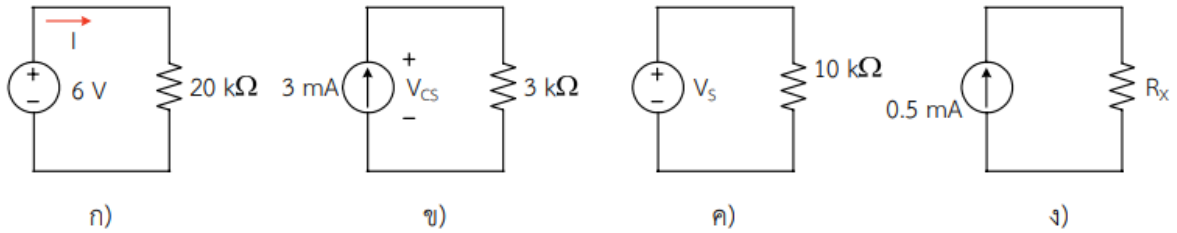
ค.กฎของโอห์มใช้ไม่ได้อีกต่อไป

ง.วงจรจะง่ายต่อการแก้ไขปัญหา

จงแสดงวิธีทำให้ถูกต้องและสมบูรณ์

เรื่อง กฎของโอห์ม

รูปวงจร ก) – ง) ใช้ตอบคำถามข้อ 1



1. จากรูป ก) จงหากระแส I และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยแหล่งกำเนิดแรงดัน จากรูป
 ข) จงหาแรงดันตกคร่อมแหล่งกำเนิดกระแสและกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานดูดซับ จากรูป
 ค) จงหา V_S ถ้าตัวต้านทาน $10\text{ k}\Omega$ ดูดซับกำลังไฟฟ้า 2.5 mW จากรูป
 ง) จงหา R_X ถ้า R_X ดูดซับกำลังไฟฟ้า 5 mW

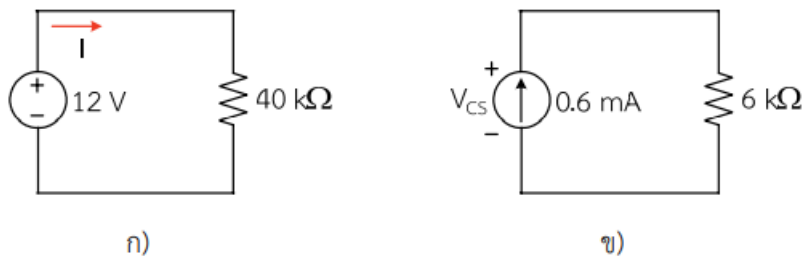
.....

.....

.....

.....

2. จากรูป ก) จงหากระแส I และกำลังไฟฟ้าบนตัวต้านทาน และรูป ข) จงหาแรงดันตกคร่อมแหล่งกำเนิดกระแสและกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยแหล่งกำเนิด [ตอบ ก) 0.3 mA , 3.6 mW และ ข) 3.6 V , 2.16 mW]



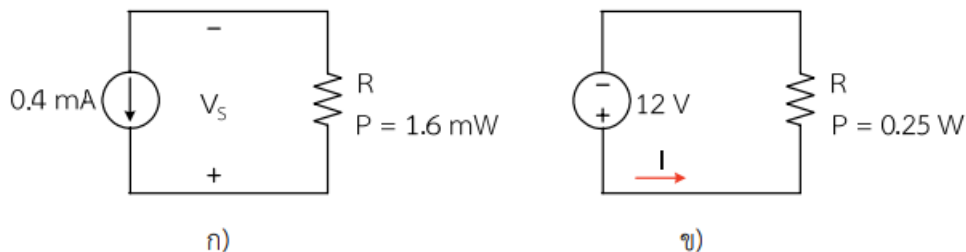
.....

.....

.....

.....

3. จากรูป ก) จงหาค่าความต้านทาน R และแรงดัน V_S และรูป ข) จงหากระแส I และความต้านทาน R [ตอบ ก) $10\text{ k}\Omega$, 4 V และ ข) 20.8 mA , $576\text{ }\Omega$]



.....

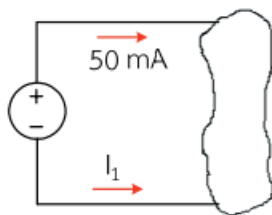
.....

.....

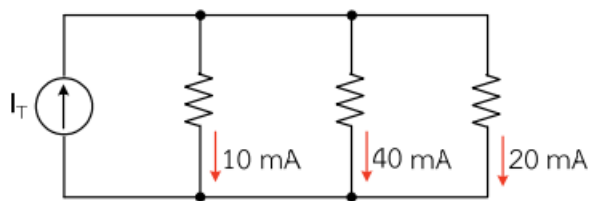
.....

4. จากรูป ก) จงหา I_1 และรูป ข) จงหาค่า I_T

[ตอบ ก) -50 mA และ ข) 70 mA]



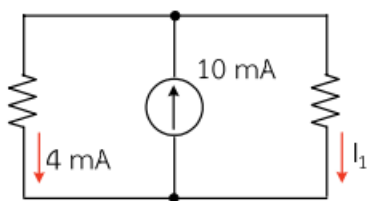
ก)



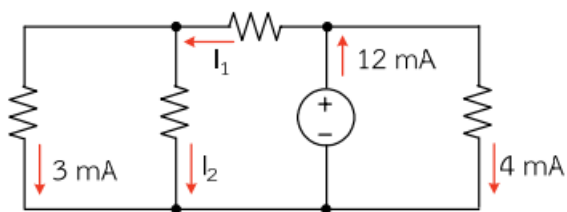
ข)

5. จากรูป ก) จงหา I_1 และรูป ข) จงหา I_1 และ I_2

[ตอบ ก) 6 mA และ ข) 8 mA , 5 mA ตามลำดับ]

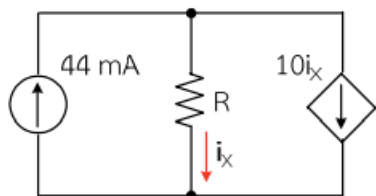


ก)

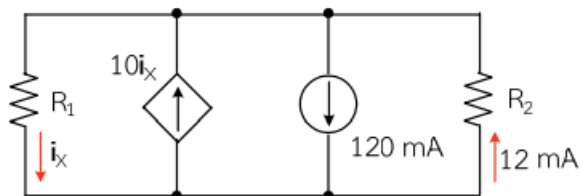


ข)

6. จากรูป ก) และ ข) จงหา I_X [ตอบ รูป ก) $I_X = 4 \text{ mA}$ และรูป ข) $I_X = 12 \text{ mA}$]

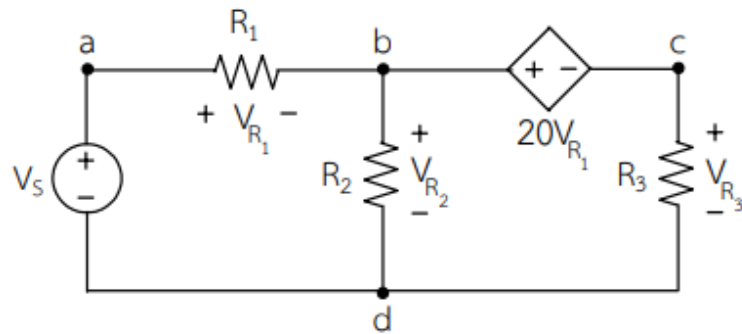


ก)



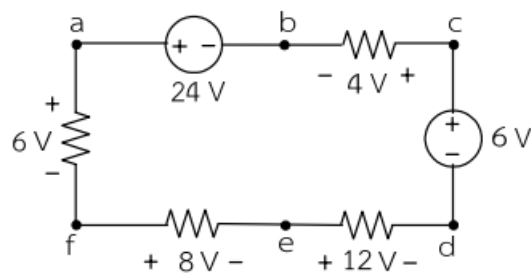
ข)

7. จากรูปวงจรขั้วประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไม้อิสระ จงเขียนสมการ KVL รอบเส้นทาง abda และ bcdb

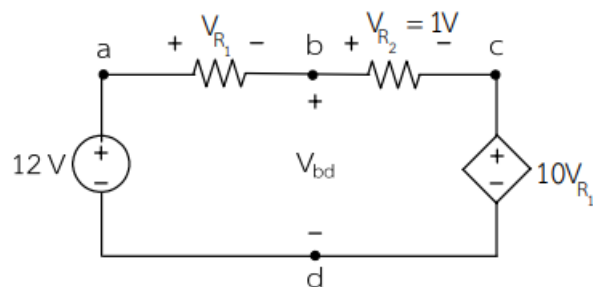


8. จากรูป จงหา V_{ad} และ V_{eb}

(ตอบ $V_{ad} = 26 \text{ V}$, $V_{eb} = 10 \text{ V}$)

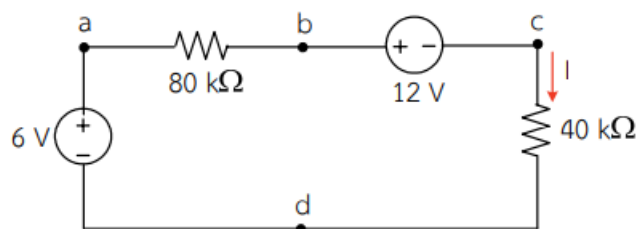


9. จากรูป จงหา V_{bd} (ตอบ 11 V)



เรื่อง วงจรที่มีรูปเดียว

10. จากรูป จงหากระแส I และแรงดัน V_{bd} (ตอบ $I = -0.05 \text{ mA}$, $V_{bd} = 10 \text{ V}$)



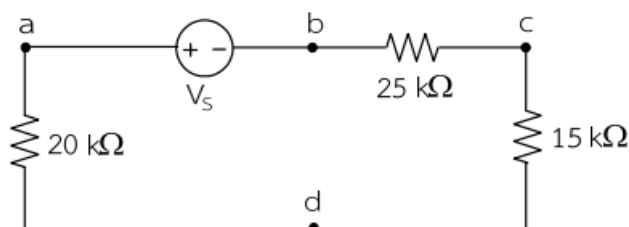
.....

.....

.....

.....

11. จากรูป จงหา V_S ถ้า $V_{ad} = 3 \text{ V}$ (ตอบ $V_S = 9 \text{ V}$)



.....

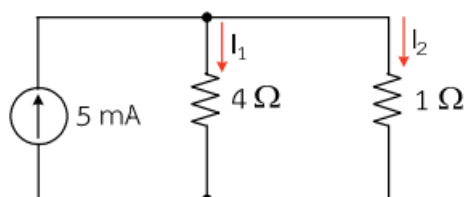
.....

.....

.....

เรื่อง วงจรที่มีคู่ โหนดเดียว

12. จากรูป จงหา I_1 และ I_2



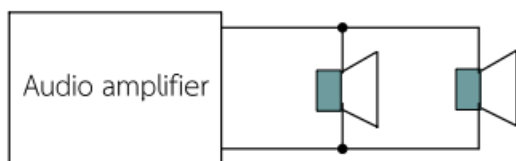
.....

.....

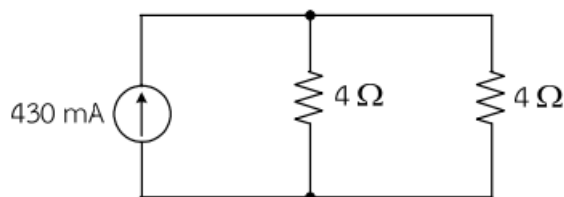
.....

.....

13. จากรูป ก) แผนภาพเครื่องขยายเสียงในรถยนต์ขนาด 2 W ต่อกับลำโพง 2 ตัว เครื่องขยายเสียงนี้เป็นแหล่งกำเนิดกระแส 430 mW ให้กับลำโพงที่มีความต้านทานตัวละ $4\ \Omega$ จงหากำลังไฟฟ้าที่ลำโพงดูดซับ (ตอบ ลำโพงดูดซับกำลังไฟฟ้าตัวละ 184.9 mW)

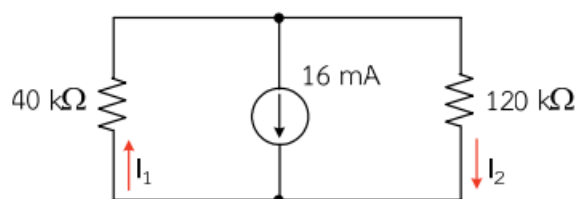


ก)

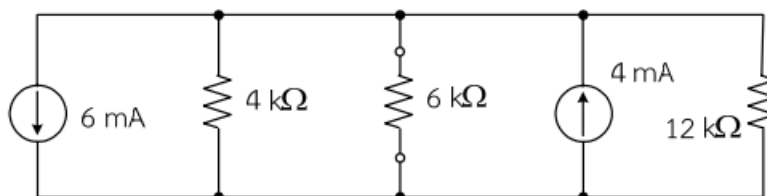


ข) วงจรสมมูลของรูป ก)

14. จากรูป จงหากระแส I_1 , I_2 และกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทาน $40\ \text{k}\Omega$ ดูดซับ (ตอบ $I_1 = 12\ \text{mA}$, $I_2 = -4\ \text{mA}$ และ $P_{40k} = 5.76\ \text{W}$)

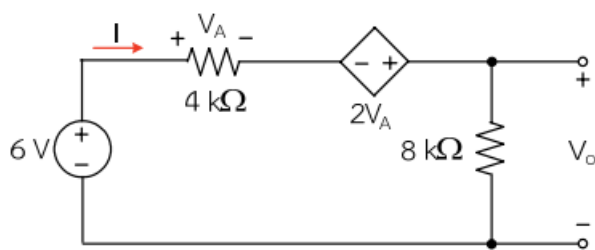


15. จากรูป จงหากำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทาน $6\ \text{k}\Omega$ ดูดซับ (ตอบ 2.67 mW)

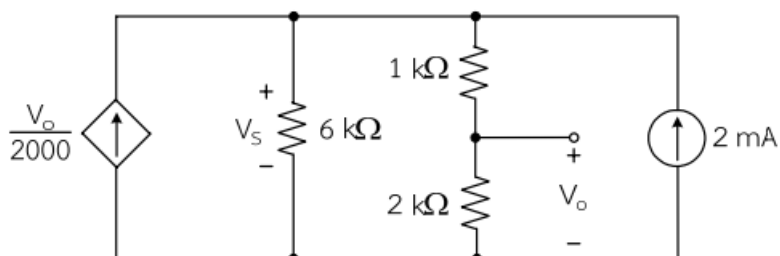


เรื่อง วงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม่อิสระ

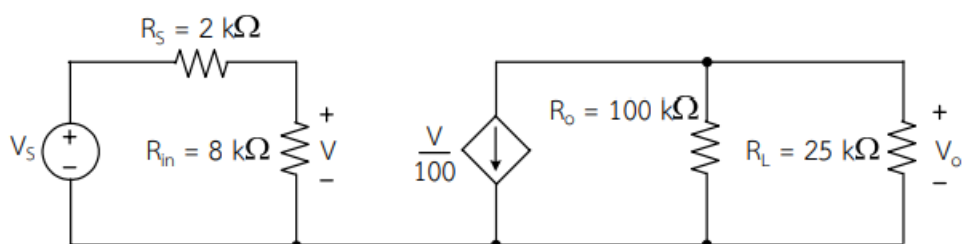
16. จากรูป จงหา V_o (ตอบ 12 V)



17. จากรูป จงหา V_o (ตอบ 8 V)



18. จากรูปเป็นวงจรสมมูลสำหรับวงจรขยายทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในเครื่องเล่นเทปแบบพกพา ให้ V_S เป็นแหล่งกำเนิดอิสระ และ R_S เป็นวงจรหัวอ่านแม่เหล็ก R_o และ R_{in} เป็นแบบจำลองทรานซิสเตอร์ R_L เป็นแบบจำลองของโหลด จงหาอัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย (ตอบ $AV = -160$)



	ใบงานหน่วยที่ 2	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2-3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับกฎของโอห์มและกฎของเคอร์ชอฟฟ์ เป็นกฎพื้นฐานที่ใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า สำหรับวงจรที่มีลูปเดียว (วงจรอนุกรม)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ วงจรที่มีลูปเดียว วงจรที่มีคู่ โหนดเดียว และวงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม้อิสระ

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายกฎของโอห์มหาค่าในวงจรไฟฟ้าได้
- 4.2. ประยุกต์ใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์หาค่าในวงจรไฟฟ้าได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรที่มีลูปเดียวโดยใช้กฎการแบ่งแรงดันและกฎของเคอร์ชอฟฟ์ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply): ปรับค่าแรงดันได้, 0-30 V หรือใกล้เคียง
- มัลติมิเตอร์ (Multimeter): ชนิดดิจิทัลอย่างน้อย 2-3 เครื่อง (สำหรับวัดแรงดันและกระแสพร้อมกัน จะช่วยให้สะดวกขึ้น)

โหมด DC Voltage (V)

โหมด DC Current (A หรือ mA)

โหมด Resistance (Ω)

- แผงวงจรต้นแบบ (Breadboard): สำหรับประกอบวงจร
- ตัวต้านทาน (Resistors): ชนิดคาร์บอนฟิล์ม หรือเมทัลฟิล์ม ค่าต่างๆ ดังนี้

R1: 220 Ω (1/4 W)

R2: 330 Ω (1/4 W)

R3: 470 Ω (1/4 W)

R4: 560 Ω (1/4 W)

R5: 1 k Ω (1/4 W)

(อาจเตรียมตัวต้านทานค่าอื่น ๆ เพิ่มเติมเผื่อกรณีเสียหายหรือต้องการเปลี่ยน)

- สายไฟจัมเปอร์ (Jumper Wires): สำหรับต่อวงจรบน Breadboard ทั้งแบบ Male-Male, Male-Female
- สายวัดสำหรับมัลติมิเตอร์: พร้อมคลิปปากจระเข้ (Alligator Clips) เพื่อความสะดวกในการวัด
- เครื่องคิดเลข: สำหรับคำนวณ

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

- ความปลอดภัยอันดับแรก:
 - ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ปิดแหล่งจ่ายไฟก่อนทำการต่อหรือถอดสายในวงจรทุกครั้ง
 - ระมัดระวังการต่อขั้วผิดพลาด ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์หรือตัวต้านทานได้
 - อย่าให้สายไฟเปลือยสัมผัสกันโดยตรงเมื่อแหล่งจ่ายไฟเปิดอยู่
- การเลือกค่าตัวต้านทาน: เลือกตัวต้านทานที่มีกำลังวัตต์เหมาะสม (ปกติ 1/4 W ก็เพียงพอสำหรับวงจรแรงดันต่ำ) เพื่อป้องกันความร้อนสูงเกินไป
- การวัดกระแส:
 - การวัดกระแสต้องต่อมัลติมิเตอร์แบบ อนุกรม กับจุดที่ต้องการวัดกระแส
 - ต้องเปลี่ยนย่านวัดของมัลติมิเตอร์เป็นโหมดกระแส (A หรือ mA) และต่อสายวัดเข้ากับช่องที่ถูกต้องสำหรับวัดกระแส (มักจะเป็นช่องสำหรับ A หรือ mA)
 - หากต่อมัลติมิเตอร์ในโหมดกระแสแบบขนานกับแหล่งจ่ายไฟหรือตัวต้านทาน อาจทำให้มัลติมิเตอร์เสียหายได้ (Short circuit)
- การวัดแรงดัน:
 - การวัดแรงดันต้องต่อมัลติมิเตอร์แบบ ขนาน คร่อมจุดที่ต้องการวัดแรงดัน
 - ต้องเปลี่ยนย่านวัดของมัลติมิเตอร์เป็นโหมดแรงดัน (V) และต่อสายวัดเข้ากับช่องที่ถูกต้อง (มักจะเป็นช่อง V Ω mA หรือ V)
- การอ่านค่าตัวต้านทาน: อ่านค่าสีของตัวต้านทานให้ถูกต้อง หรือใช้มัลติมิเตอร์ในโหมดโอห์มเพื่อวัดค่าจริงก่อนนำไปใช้งาน
- การจัดสายไฟ: จัดสายไฟบน Breadboard ให้เป็นระเบียบ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบและแก้ไข
- ปฏิบัติงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ด้วยความรอบคอบ มีจินตัยในการทำงานมีระเบียบแบบแผน ความรับผิดชอบตนเองและส่วนรวม

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ส่วนที่ 1: การวิเคราะห์วงจรอนุกรม (ใช้ KVL)

1. คำนวณล่วงหน้า:

- กำหนดแรงดันแหล่งจ่าย $V_S = 9\text{ V}$
- วาดวงจรอนุกรมประกอบด้วย $R_1 = 220\ \Omega$, $R_2 = 330\ \Omega$, $R_3 = 470\ \Omega$ และแหล่งจ่าย V_S
- คำนวณหา $R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + R_3$

- คำนวณหา $I_{รวม} = V_S / R_{รวม}$
- คำนวณหา $V_1 = I_{รวม} \times R_1$, $V_2 = I_{รวม} \times R_2$, $V_3 = I_{รวม} \times R_3$
- ตรวจสอบ KVL: $V_S = V_1 + V_2 + V_3$ หรือไม่

2. ประกอบวงจร:

- ปิดแหล่งจ่ายไฟ
- นำตัวต้านทาน R_1, R_2, R_3 มาต่อแบบอนุกรมบน Breadboard
- ต่อแหล่งจ่ายไฟ 9 V เข้ากับปลายทั้งสองของวงจรอนุกรมที่ประกอบไว้
- ตรวจสอบการต่อวงจรให้ถูกต้อง

3. การวัดค่า:

- **วัดกระแส:** ตั้งมัลติมิเตอร์เป็นโหมด DC Current (เช่น mA) ต่อมัลติมิเตอร์แบบอนุกรม ณ จุดใดจุดหนึ่งในวงจร (โดยการถอดสายเชื่อมต่อวงจรออกหนึ่งเส้นแล้วแทรกมิเตอร์เข้าไปแทน) บันทึกค่า I วัด
- **วัดแรงดัน:** ตั้งมัลติมิเตอร์เป็นโหมด DC Voltage (V) วัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว V_1, V_2, V_3 และแรงดันของแหล่งจ่าย V_S บันทึกค่า V วัด

4. บันทึกและเปรียบเทียบข้อมูล:

- บันทึกค่าที่ได้จากการวัดลงในตาราง
- เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการวัด
- ตรวจสอบว่าผลรวมของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวใกล้เคียงกับแรงดันแหล่งจ่ายหรือไม่ (ยืนยัน KVL)

ส่วนที่ 2: การวิเคราะห์วงจรขนาน (ใช้ KCL)

1. คำนวณล่วงหน้า:

- กำหนดแรงดันแหล่งจ่าย $V_S = 12\text{ V}$
- วาดวงจรขนานประกอบด้วย $R_4 = 560\ \Omega$, $R_5 = 1\text{ k}\Omega$ และแหล่งจ่าย V_S
- เนื่องจากต่อขนานกัน แรงดันที่ตกคร่อม R_4 และ R_5 จะเท่ากับ V_S ($V_4 = V_5 = V_S$)
- คำนวณหา $I_4 = V_S / R_4$ และ $I_5 = V_S / R_5$
- คำนวณหา $I_{รวม} = I_4 + I_5$ (ตาม KCL)

2. ประกอบวงจร:

- ปิดแหล่งจ่ายไฟ
- นำตัวต้านทาน R_4, R_5 มาต่อแบบขนานบน Breadboard
- ต่อแหล่งจ่ายไฟ 12 V เข้ากับวงจรขนาน
- ตรวจสอบการต่อวงจรให้ถูกต้อง

3. การวัดค่า:

- **วัดแรงดัน:** วัดแรงดันตกคร่อม R_4, R_5 และแหล่งจ่าย V_S บันทึกค่า V วัด (ควรมีค่าใกล้เคียงกัน)
- **วัดกระแส:** ตั้งมัลติมิเตอร์เป็นโหมด DC Current (mA) วัดกระแสที่ไหลผ่าน R_4 (I_4), R_5 (I_5) โดยการต่อมัลติมิเตอร์แบบอนุกรมในแต่ละสาขา
- **วัดกระแสรวม:** วัดกระแสรวมที่ออกจากแหล่งจ่าย $I_{รวม}$ โดยการต่อมัลติมิเตอร์แบบอนุกรมระหว่างแหล่งจ่ายกับจุดแยกกระแสเข้าวงจรขนาน

4. บันทึกและเปรียบเทียบข้อมูล:

- บันทึกค่าที่ได้จากการวัดลงในตาราง
- เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการวัด
- ตรวจสอบว่าผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านสาขา (I_4+I_5) ใกล้เคียงกับกระแสรวมที่ออกจากแหล่งจ่ายหรือไม่ (ยืนยัน KCL)

ส่วนที่ 3: การวิเคราะห์วงจรผสม (ใช้ KVL และ KCL)

1. คำนวณล่วงหน้า:

- กำหนดแรงดันแหล่งจ่าย $V_S=15\text{ V}$
- วาดวงจรผสม: $R_1=220\ \Omega$ ต่ออนุกรมกับกลุ่มตัวต้านทานขนาน ($R_2=330\ \Omega$ ขนานกับ $R_3=470\ \Omega$) และต่อทั้งหมดเข้ากับแหล่งจ่าย V_S
- คำนวณหา $R_{\text{ขนาน}}=(R_2 \times R_3)/(R_2+R_3)$
- คำนวณหา $R_{\text{รวม}}=R_1+R_{\text{ขนาน}}$
- คำนวณหา $I_{\text{รวม}}=V_S/R_{\text{รวม}}$
- คำนวณหา $V_1=I_{\text{รวม}} \times R_1$
- คำนวณหา $V_{\text{ขนาน}}=I_{\text{รวม}} \times R_{\text{ขนาน}}$ (ควรเท่ากับ V_2 และ V_3)
- คำนวณหา $I_2=V_{\text{ขนาน}}/R_2$ และ $I_3=V_{\text{ขนาน}}/R_3$
- ตรวจสอบ KCL: $I_{\text{รวม}}=I_2+I_3$ หรือไม่
- ตรวจสอบ KVL: $V_S=V_1+V_{\text{ขนาน}}$ หรือไม่

2. ประกอบวงจร:

- ปิดแหล่งจ่ายไฟ
- ประกอบวงจรผสมตามแผนผังที่วาดไว้
- ต่อแหล่งจ่ายไฟ 15 V
- ตรวจสอบการต่อวงจรให้ถูกต้อง

3. การวัดค่า:

- วัดกระแส: วัดกระแสรวม $I_{\text{รวม}}$ และกระแสในแต่ละสาขา I_2, I_3
- วัดแรงดัน: วัดแรงดันตกคร่อม V_1 และ $V_{\text{ขนาน}}$ (หรือ V_2, V_3)

4. บันทึกและเปรียบเทียบข้อมูล:

- บันทึกค่าที่ได้จากการวัดลงในตาราง
- เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการวัด
- ตรวจสอบความถูกต้องตาม KCL และ KVL

การบันทึกข้อมูล

ให้สร้างตารางเพื่อบันทึกข้อมูลสำหรับแต่ละส่วนของการทดลอง ดังตัวอย่าง:

ตารางที่ 1: การวิเคราะห์วงจรอนุกรม

ปริมาณ	สูตรที่ใช้คำนวณ	ค่าจากการคำนวณ	ค่าจากการวัด (วัดไม่ได้โดยตรง)	% ความคลาดเคลื่อน
Rรวม	$R_1+R_2+R_3$			
Iรวม	$V_S/R_{\text{รวม}}$			

V1	รวม×R1			
V2	รวม×R2			
V3	รวม×R3			
V1+V2+V3				
VS			9 V	

ตารางที่ 2: การวิเคราะห์วงจรขนาน

ปริมาณ	สูตรที่ใช้คำนวณ	ค่าจากการคำนวณ	ค่าจากการวัด	% ความคลาดเคลื่อน
VS			12 V	
V4	VS			
V5	VS			
I4	VS/R4			
I5	VS/R5			
รวม	I4+I5			

ตารางที่ 3: การวิเคราะห์วงจรผสม

ปริมาณ	สูตรที่ใช้คำนวณ	ค่าจากการคำนวณ	ค่าจากการวัด	% ความคลาดเคลื่อน
Rขนาน	$(R2 \times R3)/(R2 + R3)$			
Rรวม	$R1 + R_{\text{ขนาน}}$			
รวม	$VS/R_{\text{รวม}}$			
V1	รวม×R1			
Vขนาน	รวม×Rขนาน			
I2	$V_{\text{ขนาน}}/R2$			
I3	$V_{\text{ขนาน}}/R3$			
VS			15 V	

หมายเหตุ: % ความคลาดเคลื่อน (Percent Error) = $|(\text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่าที่คำนวณได้}) / \text{ค่าที่คำนวณได้}| \times 100\%$

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 2
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์			วันที่เริ่มงาน	
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 2	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2-3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับกฎของโอห์มและกฎของเคอร์ชอฟฟ์ เป็นกฎพื้นฐานที่ใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า สำหรับวงจรที่มีลูปเดียว (วงจรอนุกรม)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ วงจรที่มีลูปเดียว วงจรที่มีคู่ โหนดเดียว และวงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม้อิสระ

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายกฎของโอห์มหาค่าในวงจรไฟฟ้าได้
- 4.2. ประยุกต์ใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์หาค่าในวงจรไฟฟ้าได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรที่มีลูปเดียวโดยใช้กฎการแบ่งแรงดันและกฎของเคอร์ชอฟฟ์ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษากฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ วงจรที่มีลูปเดียว วงจรที่มีคู่ โหนดเดียวและวงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม้อิสระ

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ กฎของโอห์มหาค่าในวงจรไฟฟ้า

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องกฎของโอห์มหาค่าในวงจรไฟฟ้า

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญเรื่องกฎของโอห์มหาค่าในวงจรไฟฟ้า

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม
ฟังการอธิบายกฎของเคอร์ชอฟฟ์หาค่าในวงจรไฟฟ้า
- ขั้นสาธิต
ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณกฎของเคอร์ชอฟฟ์
- ขั้นฝึกปฏิบัติ
นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรกฎของเคอร์ชอฟฟ์
- ขั้นตรวจสอบผล
ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณกฎของเคอร์ชอฟฟ์
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง
ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรกฎของเคอร์ชอฟฟ์
- ขั้นสรุป
นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานกฎของเคอร์ชอฟฟ์

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation
ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในวงจรวงจรที่มีลูปเดียว
- ขั้น Information
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานวงจรวงจรที่มีลูปเดียว
- ขั้น Progress
ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับวงจรที่มีลูปเดียวได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม
เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานวงจรที่มีลูปเดียวอย่างรอบครอบ
- ขั้นสอน
สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
- ขั้นสรุป
นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 2
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน กฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ วงจรที่มีรูป วันที่เริ่มงาน เดียว วงจรที่มีคู่ โหนดเดียวและวงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม้อิสระ					
ผู้ปฏิบัติ		ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง			
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (กฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ วงจรที่มี รูปเดียว วงจรที่มีคู่ โหนดเดียวและวงจรที่มี แหล่งกำเนิดไม้อิสระ)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและด้วยวิธีลูปเป็นวิธีวิเคราะห์วงจรช่วยอีกวิธีหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาวงจรไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดได้
- 4.2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีลูปได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรที่มีออปแอมป์ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

3.1 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนด (Nodal Analysis)

- 3.1.1 วงจรที่มีเฉพาะแหล่งกำเนิดกระแสอิสระ
- 3.1.2 วงจรที่มีแหล่งกำเนิดกระแสไม่อิสระ
- 3.1.3 วงจรที่มีแหล่งกำเนิดแรงดันอิสระ

3.2 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีลูป (Loop Analysis)

- 3.2.1 วงจรที่มีเฉพาะแหล่งกำเนิดแรงดันอิสระ
- 3.2.2 วงจรที่มีแหล่งกำเนิดกระแสอิสระ
- 3.2.3 วงจรที่มีแหล่งกำเนิดไม่อิสระ

3.3 วงจรที่มีออปแอมป์ (Circuit with Operational Amplifiers)

3.3.1 โครงสร้างภายนอก สัญลักษณ์ และขาของออปแอมป์

3.3.2 วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier)

3.3.3 วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

3.3.4 วงจรขยายผลบวก (Summing Amplifier)

3.3.5 วงจรขยายผลต่าง (Differential Amplifier)

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 4-5/15, คาบที่ 16-25/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอน
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 3
3. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
4. ครูสอนเนื้อหาสาระ
5. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเป็นคนละ 1 ข้อ ขณะนักศึกษากำลังทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน
6. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
7. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่มๆ ละ 2-3 คน ทำการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
8. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 3

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 3, PowerPoint ประกอบการสอน และแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

- ในสถานศึกษา :**
1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2002

- นอกสถานศึกษา :**
2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 3	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 3	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 60%
3. แบบฝึกหัด (ข้อที่เลือกใช้จำลองด้วยโปรแกรม)	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 2	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 3
2. ผลการทำและนำเสนอแบบจำลองวงจร
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 3
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-2002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

10 บันทึกหลังการสอน

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่องงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายระตะ ใจตรง)

	ใบความรู้ หน่วยที่ 3	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและด้วยวิธีลูปเป็นวิธีวิเคราะห์วงจรช่วยอีกวิธีหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาทางวงจรไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดได้
- 4.2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีลูปได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรที่มีออปแอมป์ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

สาระการเรียนรู้

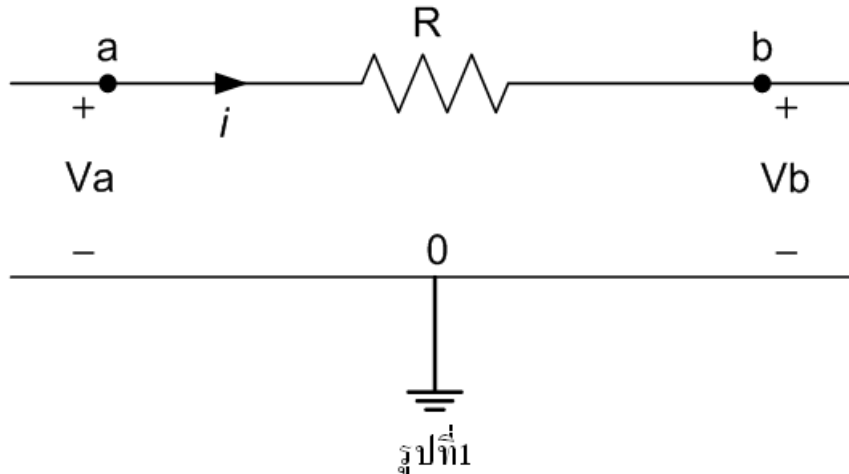
เทคนิคการวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีโนดและวิธีลูป(เมช)(Nodal and Loop (Mesh) Analysis Technique) เมื่อวงจรมีความซับซ้อนขึ้น กฎของเคอร์ชอฟฟ์ทั้ง KCL และ KVL แต่อย่างเดียว อาจจะไม่สะดวก ในการใช้งาน เทคนิคที่จะช่วยให้การวิเคราะห์วงจรง่ายขึ้นคือ การวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีโนดและวิธีลูป

การวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีโนด (Nodal Analysis)

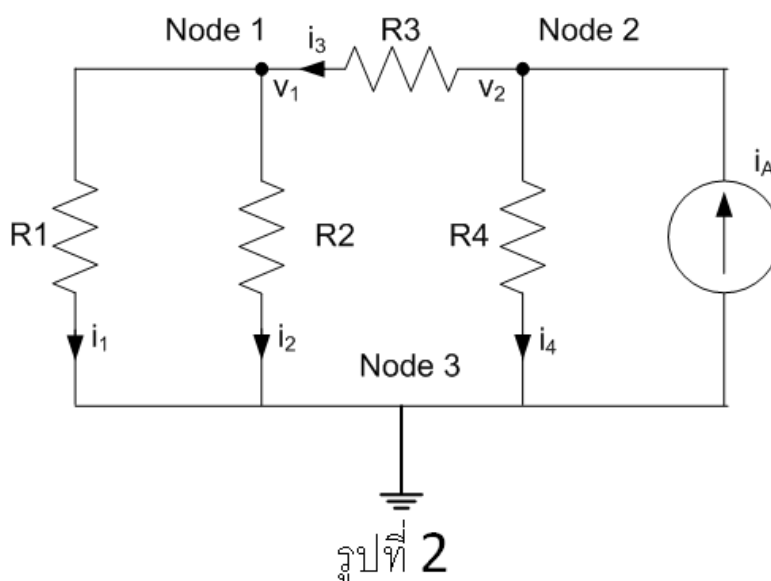
การวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีโนด อาศัยกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ KCL เป็นหลักในการพิจารณา วิธีนี้จะกำหนดตัวแปรของแรงดันที่โนด (Node voltage) เทียบกับจุดต่อร่วม หรือกราวด์ (Ground) ซึ่งมีสัญลักษณ์  จุดต่อร่วมหรือกราวด์ เป็นจุดที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ เราเรียกจุดนี้ว่า โหนดอ้างอิง

(Reference Node) กราวด์ เป็นจุดที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ เราเรียกจุดนี้ว่า โหนดอ้างอิง (Reference Node)

การวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีโหนด คือการใช้วิธี KCL เพื่อวิเคราะห์วงจร ดังนั้นเราจะต้องทราบทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าว่าเข้า หรือออกจากโหนด เช่น กำหนดให้โหนด a มีระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าโหนด b หรือ $V_a > V_b$ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากโหนด a ไปยังโหนด b ดังรูป

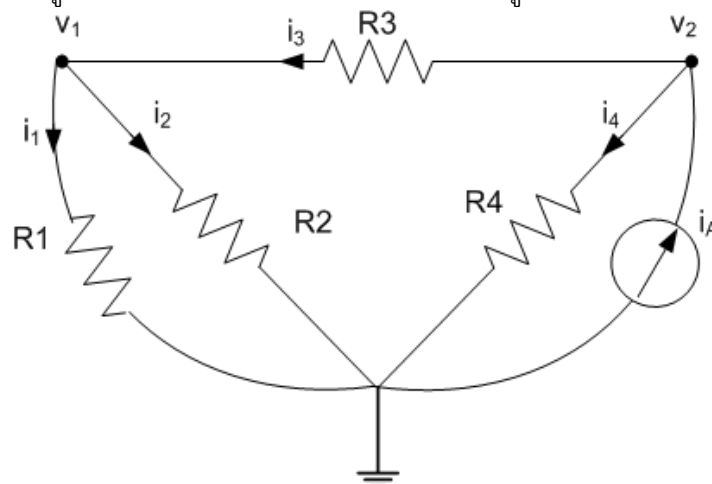


จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าวงจรนี้มีโหนด 2 โหนด เป็นโหนดอ้างอิง 1 โหนด ซึ่งต้องใช้สมการ 1 สมการ เพื่อหาแรงดันที่โหนดที่ไม่ทราบค่า ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ถ้าในกรณีวงจรมีโหนด n โหนด ต้องใช้สมการจำนวน n-1 สมการ เพื่อหาค่าแรงดันที่โหนดที่ไม่ทราบค่า n-1 ค่า หรือ เราต้องใช้ KCL เขียนสมการ n-1 สมการของโหนด n โหนด



จากรูป 2 กำหนดให้ โหนดด้านล่างเป็นโหนดอ้างอิงและกำหนดแรงดันไฟฟ้า V_1 และ V_2 เทียบกับโหนดนี้ ถ้า $V_2 > V_1 > 0$ โดยที่ $V_1 = 4V$ และ $V_2 = 16V$ แรงดันตกคร่อม R_1 และ R_2 คือ $V_1 - 0 = 4V$ แรงดันตกคร่อม R_4 และแหล่งจ่ายกระแส คือ $V_2 - 0 = 16V$ ส่วนแรงดันตกคร่อม R_3 คือ $V_2 - V_1 = 16 - 4 = 12V$ กรณีนี้ ขั้วด้านขวาของ R_3 เป็นบวกเทียบกับขั้วด้านซ้าย ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากด้านขวาผ่าน R_3 ไปยังด้านซ้าย ดังนั้นการใช้กฎของโอห์มเพื่อหากระแสที่ตัวต้านทานใดๆ จึงต้องหาผลต่างของระดับแรงดันที่โหนด แล้วหารด้วยค่าความต้านทานนั้น

ทิศทางของการไหลของกระแสที่สาขา (Branch) เป็นทิศทางสมมติ ถ้าสาขาใดมีทิศทางที่แท้จริงของการไหลของกระแสตรงข้ามกับทิศทางที่สมมติ เมื่อแก้สมการแล้วจะได้กระแสที่สาขานั้นเป็นลบ เมื่อเขียนวงจรในรูป 2 ใหม่ เพื่อให้เห็นโนดชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูป 3



รูปที่ 3

พิจารณา Node 1 เมื่อวิเคราะห์ด้วย KCL จะได้กระแสที่ไหลออกจากโนด ดังนี้

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$

โนดอ้างอิงมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น

$$\frac{V_1 - 0}{R_1} + \frac{V_1 - 0}{R_2} - \frac{V_2 - V_1}{R_3} = 0$$

หรือ

$$V_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - V_2 \frac{1}{R_3} = 0$$

พิจารณา **Node 2** เมื่อวิเคราะห์ด้วย **KCL** จะได้กระแสที่ไหลออกจากโนด ดังนี้

$$+i_3 + i_4 - i_A = 0$$

เขียนสมการใหม่ได้

$$+ \frac{V_2 - V_1}{R_3} + \frac{V_2 - 0}{R_4} - i_A = 0$$

หรือ

$$-V_1 \frac{1}{R_3} + V_2 \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) = i_A$$

ทำให้ได้แรงดันที่โหนด 2 สมการ ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} V_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - V_2 \frac{1}{R_3} &= 0 \\ -V_1 \frac{1}{R_3} + V_2 \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) &= i_A \end{aligned} \right\} \text{สมการ โหนด}$$

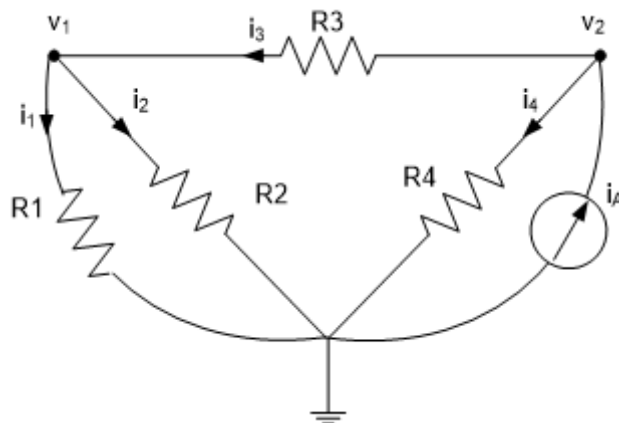
การแก้สมการ การวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีโหนดนิยมใช้วิธีการแก้โดยใช้ เมทริกซ์
เราสามารถนำสมการโหนดมาเขียนในรูปเมทริกซ์ได้

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_3} \\ -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ i_A \end{bmatrix}$$

แก้สมการเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_3} \\ -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ i_A \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างที่ 1 จากรูป ถ้า $R_1 = 0.5 \Omega$, $R_2 = 1 \Omega$, $R_3 = 1 \Omega$, $R_4 = 0.5 \Omega$ และ $i_A = 11 \text{ A}$
จงหาแรงดันที่โหนดที่ v_1 , แรงดันที่โหนด v_2 และกระแสต่างๆ



วิธีทำ

สร้างสมการโหนด

$$V_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - V_2 \frac{1}{R_3} = 0$$

$$-V_1 \frac{1}{R_3} + V_2 \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) = i_A$$

เราสามารถนำสมการโนดมาเขียนในรูปเมทริกซ์ได้

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_3} \\ -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ i_A \end{bmatrix}$$

แทนค่า

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{0.5} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} & -\frac{1}{1} \\ -\frac{1}{1} & \frac{1}{1} + \frac{1}{0.5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 11 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 4 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 11 \end{bmatrix}$$

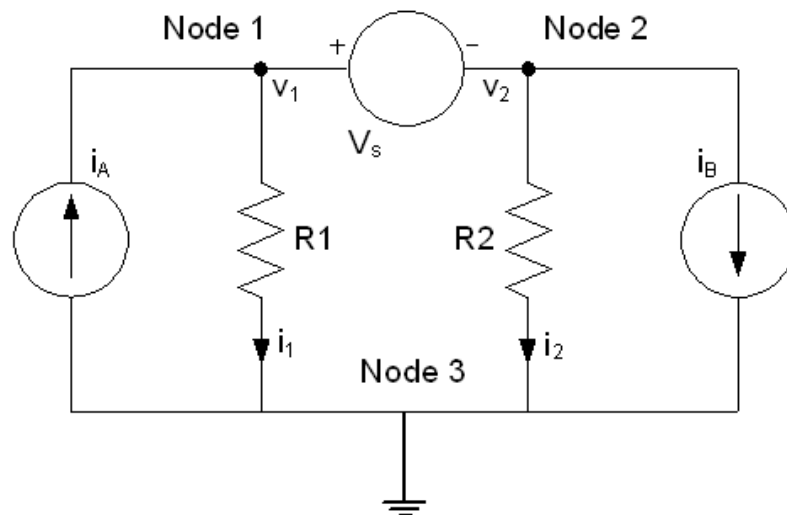
แก้สมการเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 11 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{11} & \frac{1}{11} \\ \frac{1}{11} & \frac{4}{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 11 \end{bmatrix}$$

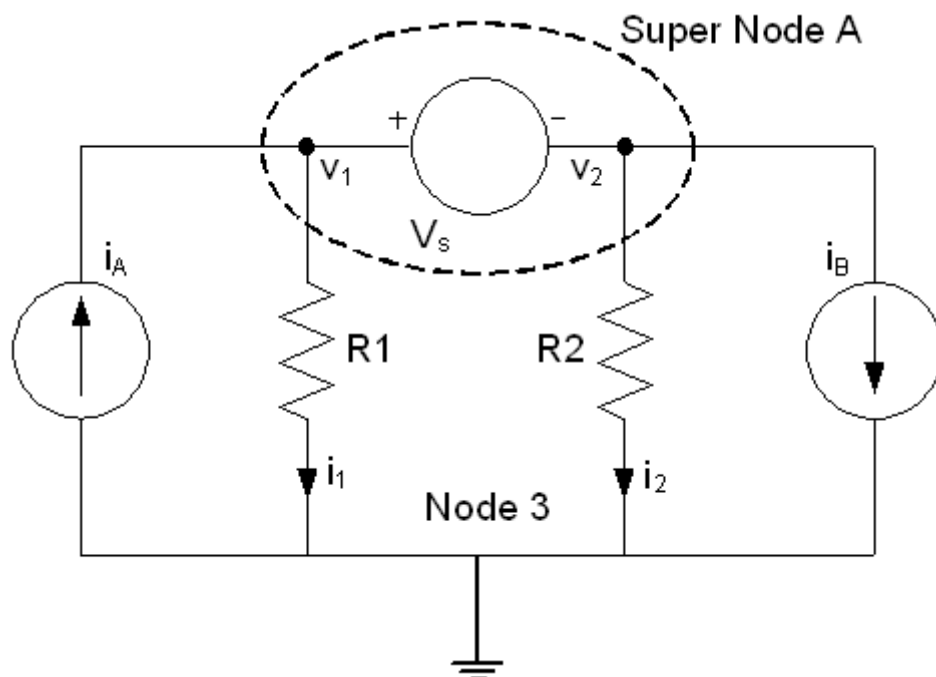
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 4 \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างวงจรที่มีโนด 3 โหนด มีทั้งแหล่งจ่ายกระแส และแรงดัน



รูปที่ 4

จากรูป 4 ในการวิเคราะห์วงจรนี้ เรามีอุปกรณ์ตรงที่ไม่ทราบกระแสที่ไหลผ่าน แหล่งจ่ายแรงดัน V_s ดังนั้นเราจะต้องสร้าง โหนดสมมติคือ Super Node A ขึ้นโดยรอบ V_s



รูปที่ 5

ที่ Super Node A ความสัมพันธ์ของ V_1 และ V_2 จะเป็น

$$V_1 - V_2 = V_s$$

เมื่อวิเคราะห์ด้วย KCL ที่ Super Node A จะได้กระแสที่ไหลออกจากโนด ดังนี้

$$i_A - \frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} - i_B = 0$$

$$-\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} = -i_A + i_B$$

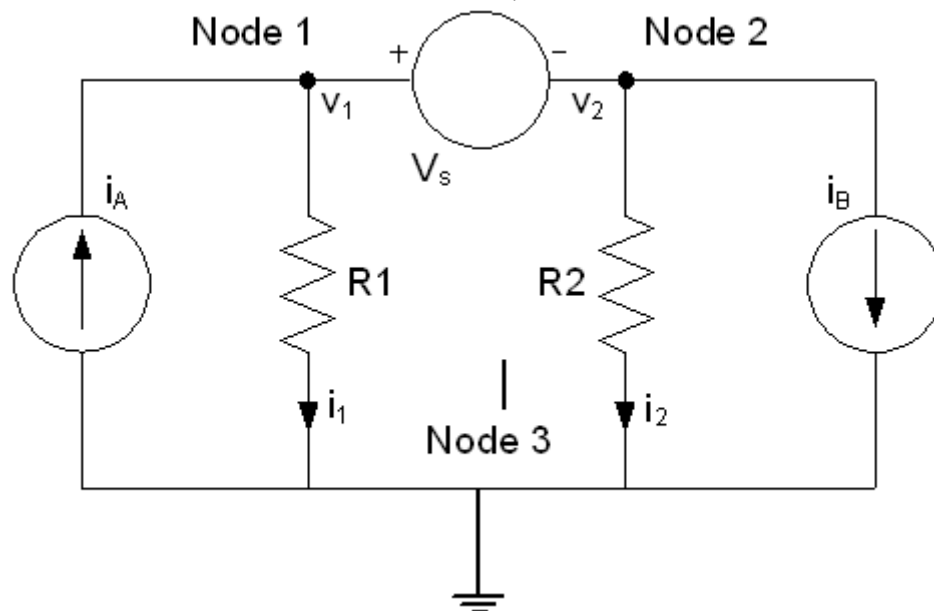
$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = i_A - i_B$$

นำสมการที่ได้ทั้ง 2 สมการมาเรียงกันได้

$$V_1 - V_2 = V_s$$

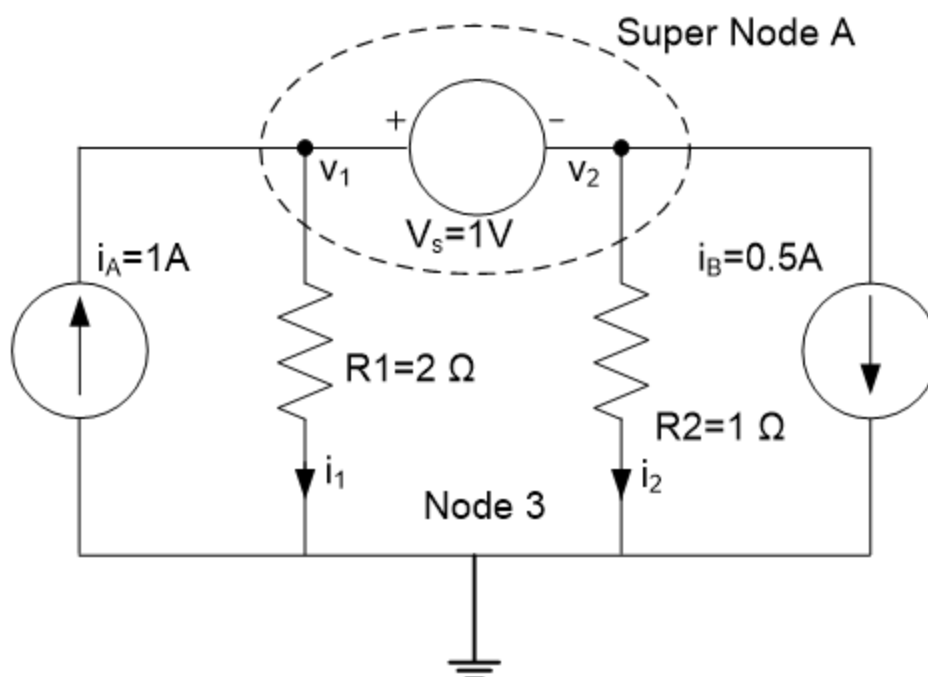
$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = i_A - i_B$$

ตัวอย่างที่ 2 จากรูป ถ้า $R_1 = 2 \, \Omega$, $R_2 = 1 \, \Omega$, $i_A = 1 \, \text{A}$, $i_B = 0.5 \, \text{A}$ และ $V_s = 1 \, \text{V}$
 จงหาแรงดันที่โหนดที่ v_1 , แรงดันที่โหนด v_2 และกระแสต่างๆ



วิธีทำ

สร้าง Super Node A



สร้าง KCL

$$V_1 - V_2 = V_s$$

$$V_1 - V_2 = 1 \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = i_A - i_B$$

$$\frac{V_1}{2} + V_2 = 1 - 0.5 = 0.5 \quad \text{สมการที่ 2}$$

เราสามารถนำสมการโนดมาเขียนในรูปเมทริกซ์ได้

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0.5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

แก้สมการโนด

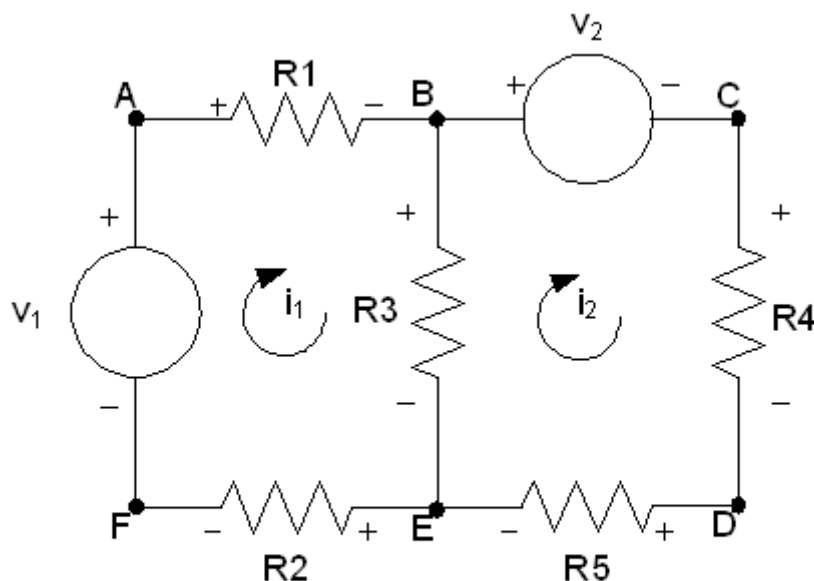
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0.5 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{2}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

เทคนิคการวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีโนด และวิธีลูป (เมช) (Nodal and Loop (Mesh) Analysis Technique) ตอนที่ 2

การวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีเมชหรือลูป จะใช้ KVL เพื่อหากระแสไฟฟ้าในวงจร เมื่อทราบกระแสไฟฟ้านี้ จะทำให้หาค่าแรงดันไฟฟ้าได้โดยใช้กฎของโอห์ม



รูปที่ 1 การวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีลูป

ในการหาค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรที่ประกอบด้วยลูปเดียว จะใช้สมการเพียงสมการเดียว ถ้าวงจรประกอบด้วยลูปอิสระกลุ่ม จะต้องใช้สมการหลายชั้นอิสระกสมการ สำหรับการวิเคราะห์วงจรซึ่งมีหลักการคิดคำนวณดังนี้

1. พิจารณาวงจรว่ามีลูปที่ภายในไม่มีลูปซ้อนอยู่เลยทั้งหมดกี่ลูป
2. สมมติกระแสในลูป $i_1, i_2, i_3, \dots$ ให้เป็นกระแสไหลเวียนในแต่ละลูป โดยกำหนดทิศตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา
3. ใช้ KVL สร้างสมการของแต่ละลูป (ถ้ามี n ลูป ก็จะมี n สมการ)

เครื่องหมายของ แรงดันในสมการ KVL จะมีค่าไปตามเครื่องหมายที่ กระแสเดินทางไปเจอ

1. แทนค่าความสัมพันธ์ระหว่าง i กับ V ในข้อ 3 ลงในสมการข้อ 4
2. จากสมการในข้อ 5 แก้สมการเมทริกซ์หา $i_1, i_2, i_3, \dots$

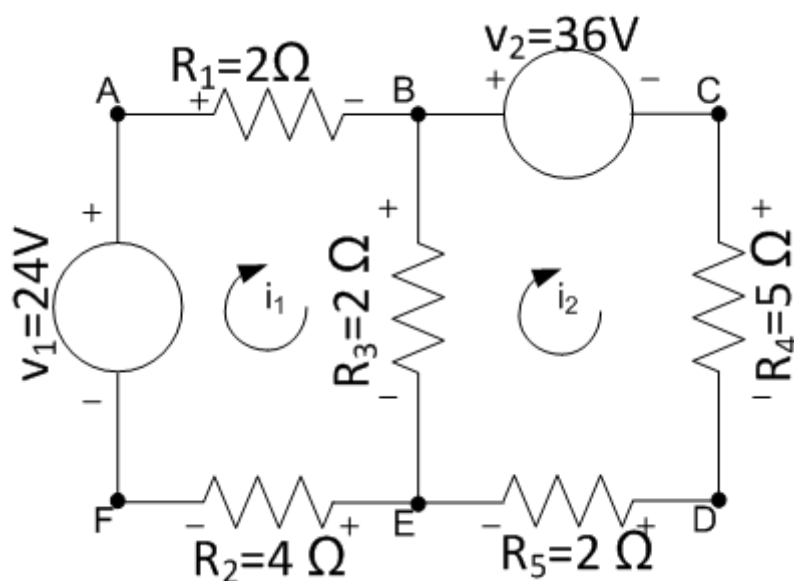
KVL ที่ลูป 1 $-v_1 + i_1 R_1 + i_1 R_3 - i_2 R_3 + i_1 R_2 = 0$

จัดรูป $i_1(R_1 + R_2 + R_3) - i_2 R_3 = v_1$

KVL ที่ลูป 2 $v_2 + i_2 R_4 + i_2 R_5 + i_2 R_3 - i_1 R_3 = 0$

จัดรูป $i_1 R_3 - i_2(R_3 + R_4 + R_5) = v_2$

ตัวอย่างจากรูป ถ้า $R_1=2\Omega$, $R_2=4\Omega$, $R_3=2\Omega$, $R_4=5\Omega$, $R_5=2\Omega$, $v_1=24V$, $v_2=36V$



จงหาค่ากระแสในวงจร?

วิธีทำ

KVL สร้างสมการของแต่ละลูป

รูป 1

$$i_1(R_1 + R_2 + R_3) - i_2 R_3 = v_1$$

แทนค่า

$$i_1(2 + 4 + 2) - i_2 \cdot 2 = 24$$

$$8i_1 - 2i_2 = 24$$

สมการที่ 1

รูป 2

$$i_1 R_3 - i_2(R_3 + R_4 + R_5) = v_2$$

แทนค่า

$$i_1 \cdot 2 - i_2(2 + 5 + 2) = 36$$

$$2i_1 - 9i_2 = 36$$

สมการที่ 2

นำสมการที่ 1 กับ 2

$$i_1 \cdot 8 - i_2 \cdot 2 = 24$$

$$i_1 \cdot 2 - i_2 \cdot 9 = 36$$

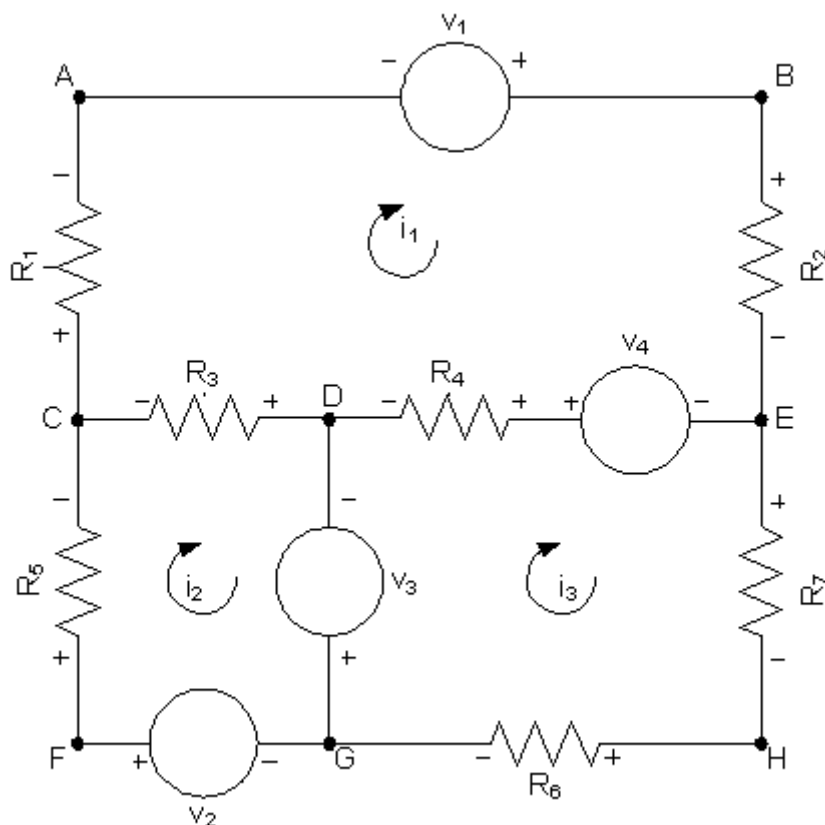
$$\begin{bmatrix} 8 & -2 \\ 2 & -9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 24 \\ 36 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & -2 \\ 2 & -9 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 24 \\ 36 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{68} \begin{bmatrix} 9 & -2 \\ 2 & 8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 24 \\ 36 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{144}{68} \\ \frac{-240}{68} \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างจากรูปจงเขียนสมการวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีเมช



วิธีทำ

KVL สร้างสมการของแต่ละลูป

$$i_1(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) - i_2R_3 - i_3R_4 = v_1 + v_4$$

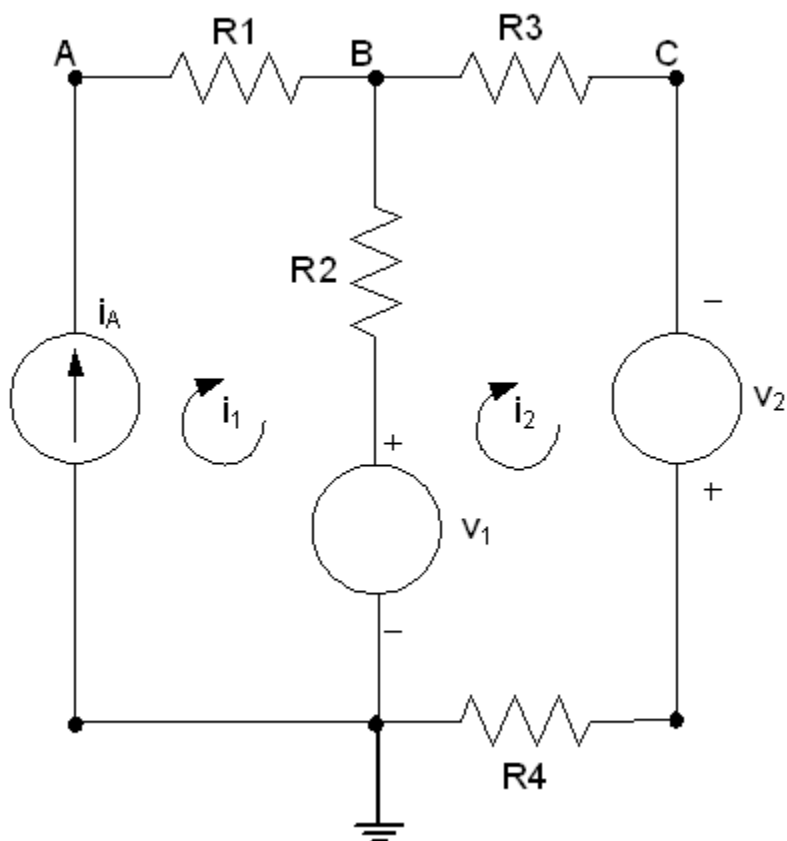
$$-i_1 + i_2(R_3 + R_5) = v_2 + v_3$$

$$-i_1R_4 + i_3(R_4 + R_6 + R_7) = -v_3 - v_4$$

เขียนได้ใหม่ในรูปเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 + R_3 + R_4 & -R_3 & -R_4 \\ -R_3 & R_3 + R_5 & 0 \\ -R_4 & 0 & R_4 + R_6 + R_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 + v_4 \\ v_2 + v_3 \\ -v_3 - v_4 \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างสมการเมซของวงจรที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าอิสระ



วิธีทำ

KVL สร้างสมการของแต่ละลูป

$$-i_1 R_2 + i_2 (R_2 + R_3 + R_4) = v_1 + v_2$$

เขียนสมการ KVL ได้แค่ลูป 2 ลูปเดียวเพราะ ลูปที่ 1 ไม่สามารถเขียน KVL เพราะมี แหล่งจ่ายกระแสอยู่

แทนค่า i_1 ลงในสมการ KVL

$$-i_A R_2 + i_2 (R_2 + R_3 + R_4) = v_1 + v_2$$

$$+i_2 (R_2 + R_3 + R_4) = v_1 + v_2 + i_A R_2$$

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน้าที่ 1 งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดเป็นปริมาณพื้นฐานในระบบหน่วยเอสไอ (SI)?

ก. กำลัง ข. มวล ค. แรง ง. พลังงาน

2. หน่วยใดต่อไปนี้เป็นหน่วยพื้นฐานของระบบ SI?

ก. องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ข. เมตร (m) ค. ลิตร (L) ง. ตัน (t)

3. หน่วยในระบบ SI สำหรับความต้านทานไฟฟ้าคืออะไร?

ก. โวลต์ (V) ข. แอมแปร์ (A) ค. วัตต์ (W) ง. โอห์ม (Ω)

4. องค์ประกอบวงจรใดที่ทำหน้าที่จำกัดการไหลของกระแสไฟฟ้า?

ก. สายไฟ ข. แบตเตอรี่ ค. สวิตช์ ง. ตัวต้านทาน

5. องค์ประกอบวงจรใดที่สามารถเก็บพลังงานในรูปของสนามไฟฟ้า?

ก. ตัวเหนี่ยวนำ ข. ตัวเก็บประจุ ค. ทรานซิสเตอร์ ง. ไดโอด

6. ในวงจรตัวต้านทานแบบอนุกรม ปริมาณใดมีค่าเท่ากันตลอดวงจร?

ก. วงจรผสม ข. วงจรขนาน ค. วงจรเปิด ง. วงจรอนุกรม

7. สำหรับวงจรตัวต้านทานแบบขนาน ปริมาณใดที่คงที่เท่ากันสำหรับแต่ละสาขา?

ก. กำลังไฟฟ้า ข. กระแสไฟฟ้า ค. แรงดันไฟฟ้า ง. ความต้านทานรวม

8. สูตรใดใช้คำนวณความต้านทานรวมของตัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรม?

ก. $R_{\text{รวม}} = R_1 / R_2$ ข. $1/R_{\text{รวม}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ ค. $R_{\text{รวม}} = R_1 * R_2$

ง. $R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

9. สมการใดคือกฎของโอห์ม?

ก. $P = IV$ ข. $V = IR$ ค. $E = mc^2$ ง. $F = ma$

10. ปริมาณพื้นฐานใดในระบบ SI ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของประจุไฟฟ้า?

ก. ความจุไฟฟ้า ข. ความถี่ ค. พลังงาน ง. กระแสไฟฟ้า

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

2. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.

3. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.

4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices:**

Theory and Practice.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน้าที่ 1 งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดเป็นปริมาณพื้นฐานในระบบหน่วยเอสไอ (SI)?

ก. กำลัง ข. มวล ค. แรง ง. พลังงาน

2. หน่วยใดต่อไปนี้เป็นหน่วยพื้นฐานของระบบ SI?

ก. องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ข. เมตร (m) ค. ลิตร (L) ง. ตัน (t)

3. หน่วยในระบบ SI สำหรับความต้านทานไฟฟ้าคืออะไร?

ก. โวลต์ (V) ข. แอมแปร์ (A) ค. วัตต์ (W) ง. โอห์ม (Ω)

4. องค์ประกอบวงจรใดที่ทำหน้าที่จำกัดการไหลของกระแสไฟฟ้า?

ก. สายไฟ ข. แบตเตอรี่ ค. สวิตช์ ง. ตัวต้านทาน

5. องค์ประกอบวงจรใดที่สามารถเก็บพลังงานในรูปของสนามไฟฟ้า?

ก. ตัวเหนี่ยวนำ ข. ตัวเก็บประจุ ค. ทรานซิสเตอร์ ง. ไดโอด

6. ในวงจรตัวต้านทานแบบอนุกรม ปริมาณใดมีค่าเท่ากันตลอดวงจร?

ก. วงจรผสม ข. วงจรขนาน ค. วงจรเปิด ง. วงจรอนุกรม

7. สำหรับวงจรตัวต้านทานแบบขนาน ปริมาณใดที่คงที่เท่ากันสำหรับแต่ละสาขา?

ก. กำลังไฟฟ้า ข. กระแสไฟฟ้า ค. แรงดันไฟฟ้า ง. ความต้านทานรวม

8. สูตรใดใช้คำนวณความต้านทานรวมของตัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรม?

ก. $R_{\text{รวม}} = R_1 / R_2$

ข. $1/R_{\text{รวม}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$

ค. $R_{\text{รวม}} = R_1 * R_2$

ง. $R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

9. สมการใดคือกฎของโอห์ม?

ก. $P = IV$

ข. $V = IR$

ค. $E = mc^2$

ง. $F = ma$

10. ปริมาณพื้นฐานใดในระบบ SI ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของประจุไฟฟ้า?

ก. ความจุไฟฟ้า

ข. ความถี่

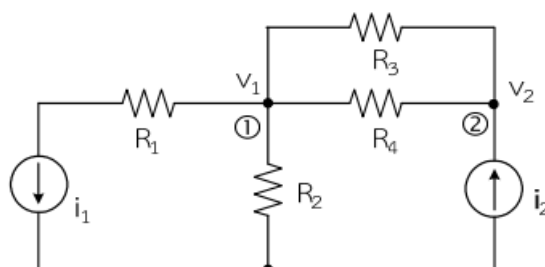
ค. พลังงาน

ง. กระแสไฟฟ้า

จงแสดงวิธีทำให้ถูกต้องและสมบูรณ์

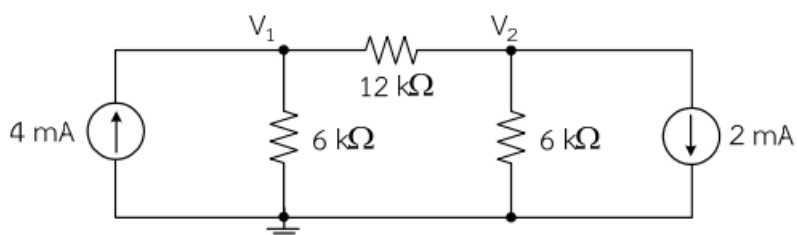
เรื่อง การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนด

1. จากรูป จงเขียนสมการ KCL สำหรับโนด 1 และโนด 2



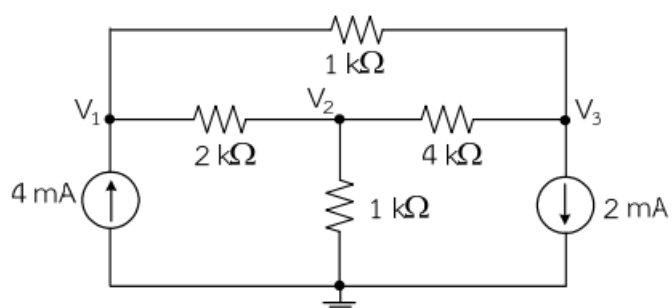
(ตอบ $i_1 + \frac{V_1}{R_2} + \frac{V_1 - V_2}{R_3} + \frac{V_1 - V_2}{R_4} = 0, i_2 + \frac{V_1 - V_2}{R_3} + \frac{V_1 - V_2}{R_4} = 0$)

2. จากรูป จงเขียนสมการโนด



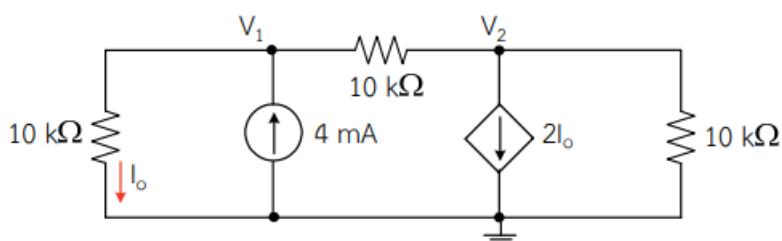
(ตอบ $\frac{1}{4k} V_1 - \frac{1}{12k} V_2 = 4 \times 10^{-3}$, $-\frac{1}{12k} V_1 + \frac{1}{4k} V_2 = -2 \times 10^{-3}$)

3. จากรูป จงหาแรงดันโนด (node voltage)

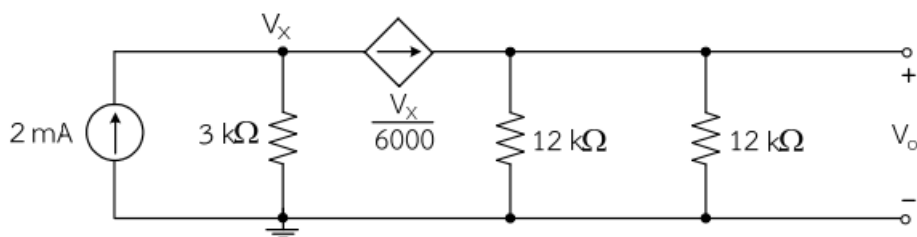


(ตอบ $V_1 = 5.23 \text{ V}$, $V_2 = 2 \text{ V}$, $V_3 = 3.143 \text{ V}$)

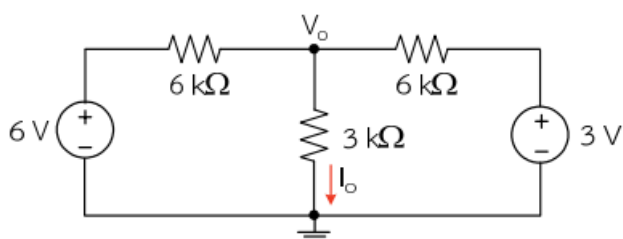
4. จากรูป จงหาแรงดันโนด (ตอบ $V_1 = 16 \text{ V}$, $V_2 = -8 \text{ V}$)



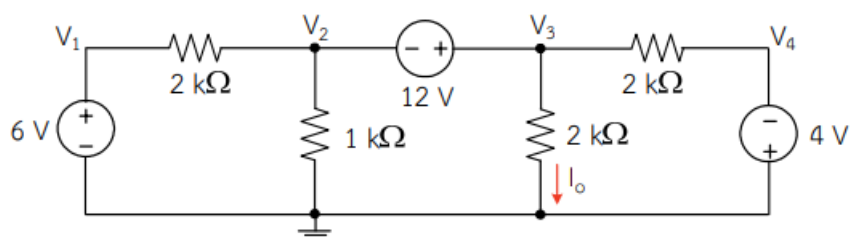
5. จากรูป จงหา V_o ของวงจรข้าง (ตอบ $V_o = 4 \text{ V}$)



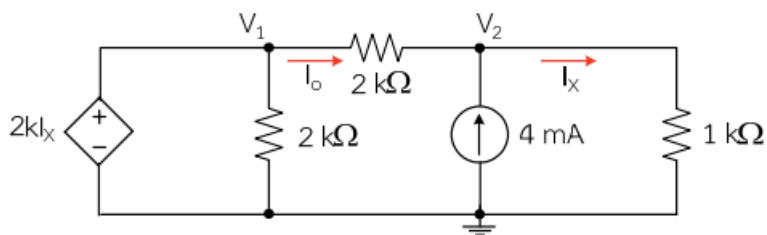
6. จากระบบ จงใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีโนดเพื่อหาค่า I_o (ตอบ $I_o = 0.75 \text{ mA}$)



7. จากระบบ จงใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีโนดเพื่อหาค่า I_o (ตอบ $I_o = 3.8 \text{ mA}$)

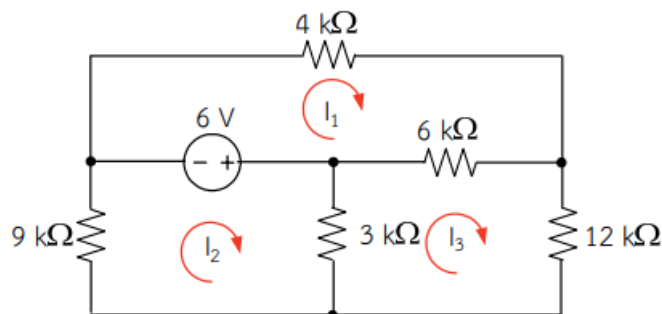


8. จากระบบ จงใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีโนดเพื่อหาค่า I_o (ตอบ $I_o = 4 \text{ mA}$)

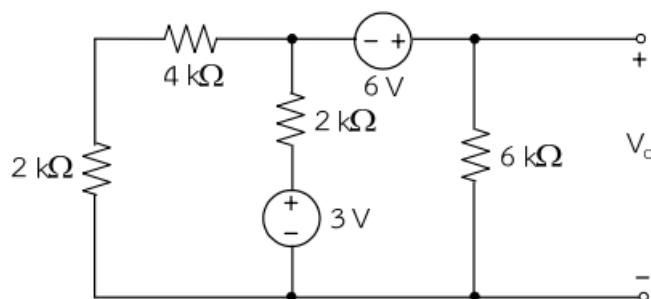


เรื่อง การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป

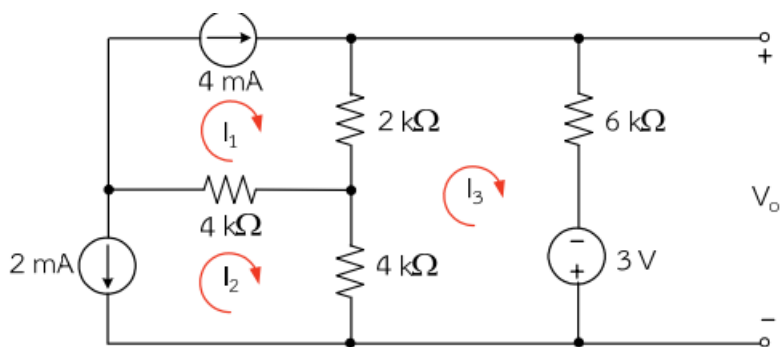
9. จากรูป จงเขียนสมการเมช [ตอบ แสดงเฉพาะเมช I_1 ; $(10k)I_1 - (0)I_2 - (6k)I_3 = -6$]



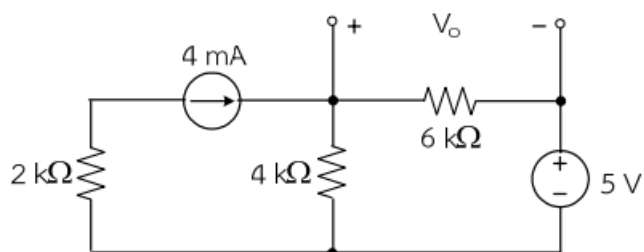
10. จากรูป จงใช้สมการเมชเพื่อหาค่า V_o (ตอบ $V_o = 6.6 \text{ V}$)



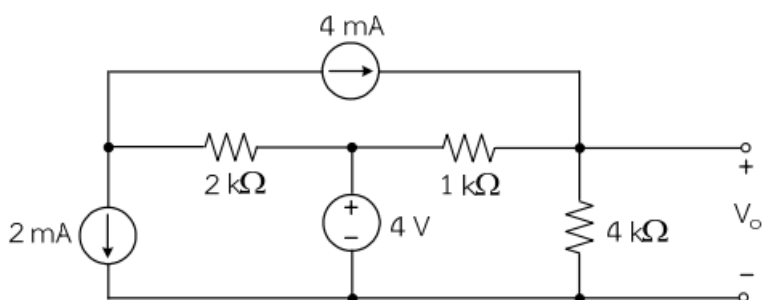
11. จากรูป จงหาค่า V_o (ตอบ $V_o = -1.5 \text{ V}$)



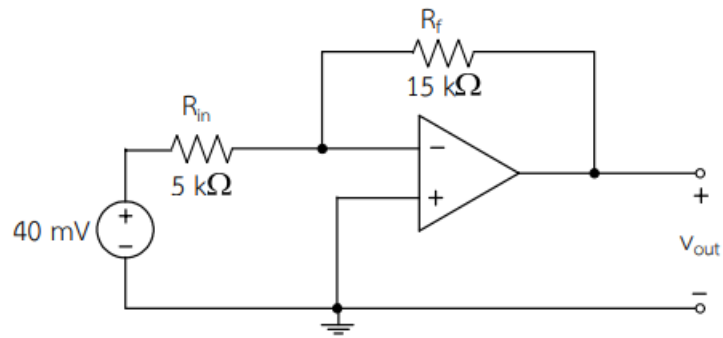
12. จากรูป จงหาค่า V_o (ตอบ $V_o = 6.6 \text{ V}$)



13. จากรูป จงหาค่า V_o (ตอบ $V_o = 6.4 \text{ V}$)



14. จากรูป จงหาค่าแรงดันขาออกของวงจรออปแอมป์และหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานป้อนกลับ (R_f)



(ตอบ 120 mV, 8 μ A)

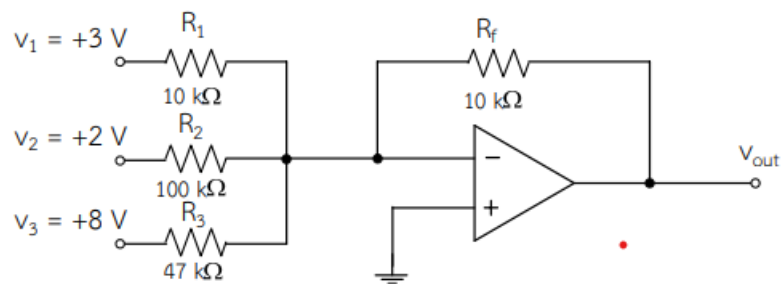
.....

.....

.....

.....

15. จากรูป จงหาค่าแรงดันขาออกของวงจรออปแอมป์ (ตอบ 4.9 V)



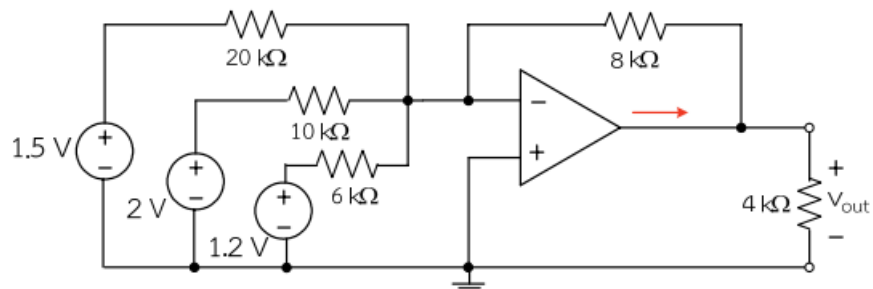
.....

.....

.....

.....

16. จากรูป จงหา v_o และ i_o (ตอบ -3.8 V, -1.425 mA)



.....

.....

.....

.....

	ใบงานหน่วยที่ 3	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน วงจรออปแอมป์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและด้วยวิธีลูปเป็นวิธีวิเคราะห์วงจรช่วยอีกวิธีหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาวงจรไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดได้
- 4.2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีลูปได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรที่มีออปแอมป์ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

- ออปแอมป์ (Operational Amplifier) เช่น เบอร์ LM741
- แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบคู่ (Dual DC Power Supply) (เช่น $\pm 12V$ หรือ $\pm 15V$)
- เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) (สำหรับสัญญาณไซน์, สี่เหลี่ยม, สามเหลี่ยม)
- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
- มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล (Digital Multimeter - DMM)
- เบริดบอร์ด (Breadboard)
- ตัวต้านทาน (Resistors) ค่าต่างๆ
- ตัวเก็บประจุ (Capacitors) (ถ้าจำเป็นสำหรับวงจรบางประเภท)
- สายไฟเชื่อมต่อ (Connecting Wires) / สายจัมเปอร์
- ซ็อกเก็ตไอซี (IC Socket) (แนะนำสำหรับการติดตั้งไอซี)

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

- ห้ามจ่ายแรงดันไฟฟ้าอินพุตเกินกว่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ (ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ)
- ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้เชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟทั้งขั้วบวกและขั้วลบเข้ากับออปแอมป์อย่างถูกต้องเสมอเมื่อเปิดใช้งาน
- ช่วงแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสมโดยทั่วไปคือ $\pm 5V$ ถึง $\pm 15V$
- เชื่อมต่อขั้วร่วม (Common) ของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับกราวด์บนเบรตบอร์ดเสมอ
- การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟเพียงด้านเดียว หรือการสลับขั้วบวกและขั้วลบอาจทำให้ออปแอมป์เสียหายได้
- ปฏิบัติตามขั้นตอนการเปิดเครื่องอย่างเคร่งครัด: ถอดสายไฟจากออปแอมป์, เปิดแหล่งจ่ายไฟ, ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ, ปิดแหล่งจ่ายไฟ, เชื่อมต่อสายไฟเข้ากับออปแอมป์, แล้วจึงเปิดแหล่งจ่ายไฟอีกครั้ง
- ตรวจสอบให้แน่ใจว่าขั้วกราวด์ของโพรบอสซิลโลสโคป, เอาต์พุตเครื่องกำเนิดสัญญาณ และขั้วร่วมของแหล่งจ่ายไฟเชื่อมต่อถึงกันตลอดการทดลอง
- กระแสไบอัสที่อินพุตของออปแอมป์มีค่าน้อยมาก แต่จำเป็นต้องมีเส้นทางให้กระแสไหลไปยังแหล่งจ่ายไฟหรือกราวด์
- การต่อขาไอซีผิดพลาดอาจทำให้ออปแอมป์เสียหายหรือระเบิดได้
- อย่าเพิ่งเปิดแหล่งจ่ายไฟจนกว่าจะตรวจสอบการเชื่อมต่อทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว
- ใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีการควบคุมและกรองสัญญาณรบกวนที่ดี เพื่อป้องกันผลกระทบต่อประสิทธิภาพของวงจร

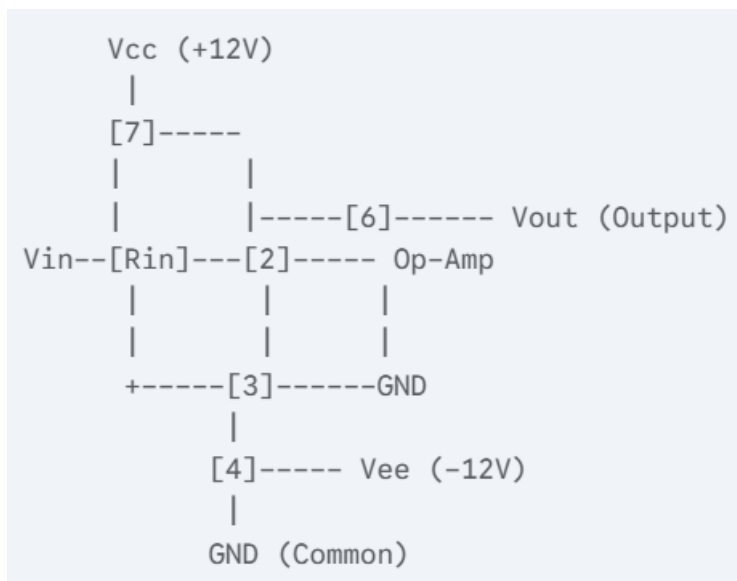
- เลือกใช้ออปแอมป์ที่มีแบนด์วิดท์และอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุต (Slew Rate) ที่เพียงพอต่อการใช้งาน
- คำนึงถึงค่าความจุอินพุต/เอาต์พุตของออปแอมป์เพื่อรักษาเสถียรภาพของวงจร โดยเฉพาะที่อัตราขยายและความถี่สูง

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

(ตัวอย่างสำหรับวงจรขยายสัญญาณกลับเฟส - Inverting Amplifier)

เตรียมวงจร:

- วาง **ออปแอมป์ (LM741)** ลงบนเบรตบอร์ด (โดยใช้ซ็อกเก็ตไอซี)
- ต่อแหล่งจ่ายไฟคู่ (เช่น $+12V$ ที่ขา 7 และ $-12V$ ที่ขา 4 สำหรับ LM741)
- ต่อ **ตัวต้านทานอินพุต (R_{in})** จากขั้วเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับขาอินพุตกลับเฟส (ขา 2) ของออปแอมป์
- ต่อ **ตัวต้านทานป้อนกลับ (R_f)** จากขาเอาต์พุต (ขา 6) กลับมายังขาอินพุตกลับเฟส (ขา 2)
- ต่อขาอินพุตไม่กลับเฟส (ขา 3) ของออปแอมป์ลงกราวด์
- ตรวจสอบการเชื่อมต่อทั้งหมดให้ถูกต้องตามผังวงจรด้านล่าง:



หมายเหตุ: นี่คือนิยามวงจรเชิงแนวคิด ไม่ใช่ผังขาจริงของ LM741 โปรดอ้างอิงผังขาจริงของไอซีที่ใช้

ตั้งค่าแหล่งกำเนิดสัญญาณ:

- เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับอินพุตของวงจร (ก่อน Rin)
- ตั้งค่าสัญญาณอินพุตเป็น สัญญาณไซน์ (Sine Wave) ที่ความถี่ 1 kHz และแรงดันไฟฟ้า 200 mVp-p (Peak-to-Peak)

เปิดใช้งานและสังเกตผล:

- ตรวจสอบการเชื่อมต่อทั้งหมดอีกครั้ง
- ปฏิบัติตามขั้นตอนการเปิดแหล่งจ่ายไฟอย่างระมัดระวัง (ตามข้อควรระวังในข้อ 2)
- เชื่อมต่อโพรบของ ออสซิลโลสโคป Channel 1 เข้ากับอินพุตของวงจร (ก่อน Rin) และ Channel 2 เข้ากับเอาต์พุตของออปแอมป์ (ขา 6)
- สังเกตและบันทึกรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุตที่แสดงบนออสซิลโลสโคป
- วัด แรงดันไฟฟ้า Peak-to-Peak ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต
- ลองเปลี่ยนค่า Rin และ/หรือ Rf แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุต

สิ้นสุดการทดลอง:

- ปิดแหล่งจ่ายไฟ
- ถอดสายไฟและอุปกรณ์ต่างๆ อย่างระมัดระวัง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

วงจร: ขยายสัญญาณกลับเฟส (Inverting Amplifier)

ออปแอมป์: LM741

แรงดันแหล่งจ่ายไฟ: $\pm 12V$

สัญญาณอินพุต: คลื่นไซน์, ความถี่ 1 kHz

ลำดับที่	R_{in} (k Ω)	R_f (k Ω)	V_{in} (mVp-p) (ที่วัดได้)	V_{out} (mVp-p) (ที่วัดได้)	อัตราขยาย ($A_v = V_{out}/V_{in}$) (ที่วัดได้)	อัตราขยายทาง ทฤษฎี ($A_v = -R_f/R_{in}$)	เฟส (องศา)	ข้อสังเกต / รูปคลื่น
วงจรขยาย สัญญาณ								

กลับเฟส (Inverting Amplifier)								
-------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 3
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	วงจรรอแฟ้ม	วันที่เริ่มงาน			
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (วงจรรอแฟ้ม)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานที่ 3	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและด้วยวิธีลูปเป็นวิธีวิเคราะห์วงจรช่วยอีกวิธีหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาวงจรไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: -
- 2) วิธีประเมิน: -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence): -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ: -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดได้
- 4.2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีลูปได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรที่มีออปแอมป์ได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษาวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและด้วยวิธีลูปเป็นวิธีวิเคราะห์วงจรช่วยอีกวิธีหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาวงจรไฟฟ้า

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนด

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนด

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญของเรื่องวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนด

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม
ฟังการอธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป
- ขั้นสาธิต
ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป
- ขั้นฝึกปฏิบัติ
นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป
- ขั้นตรวจสอบผล
ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง
ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป
- ขั้นสรุป
นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation
ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป
- ขั้น Information
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูป
- ขั้น Progress
ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูปได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม
เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีรูปอย่างรอบครอบ
- ขั้นสอน
สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
- ขั้นสรุป
นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 3
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป			วันที่เริ่มงาน	
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีโนดและวิธีลูป)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 6-7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นทฤษฎีที่นำมาใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้ามาก

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน และทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับได้
- 4.2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทของเทวินินได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทของนอร์ตันได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

1 บทนำ (Introduction)

1.1 การสมมูล (Equivalent)

1.2 ความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

2 ทฤษฎีบทการซ้อนทับ (Superposition Theorem)

3 ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน (Thevenin's and Norton's Theorem)

4 ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer Theorem)

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 6/15, คาบที่ 26-30/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอน
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 4
3. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
4. ครูสอนเนื้อหาสาระ หัวข้อ 4.1-4.2
5. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเป็นคณะ 1 ข้อ ขณะนักศึกษากำลังทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน
6. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
7. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่มๆ ละ 2-3 คน ทำการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม

คอมพิวเตอร์

8. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 7/15, คาบที่ 31-35/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอน
2. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
3. ครูสอนเนื้อหาสาระ หัวข้อ 4.3
4. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเป็นคณะ 1 ข้อ ขณะนักศึกษากำลังทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน
5. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
6. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่มๆ ละ 2-3 คน ทำการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม

คอมพิวเตอร์

7. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 4, PowerPoint ประกอบการสอน และแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

- ในสถานศึกษา :**
1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002

- นอกสถานศึกษา :**
2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 4	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 4	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 60%
3. แบบฝึกหัด (ข้อที่จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม)	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 4	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่จำลองการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 4
2. ผลการทำและนำเสนอการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 4
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Baker, Tim. (2002). **Experiments in DC/AC Circuits with Concepts**.
3. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.
4. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.
5. _____. (2005). **Introductory DC/AC Circuits**

10. บันทึกหลังการสอน

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่องงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....
(นายรัชตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 4	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 6-7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นทฤษฎีที่นำมาใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้ามาก

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน และทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับได้
- 4.2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทของเทวินินได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทของนอร์ตันได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

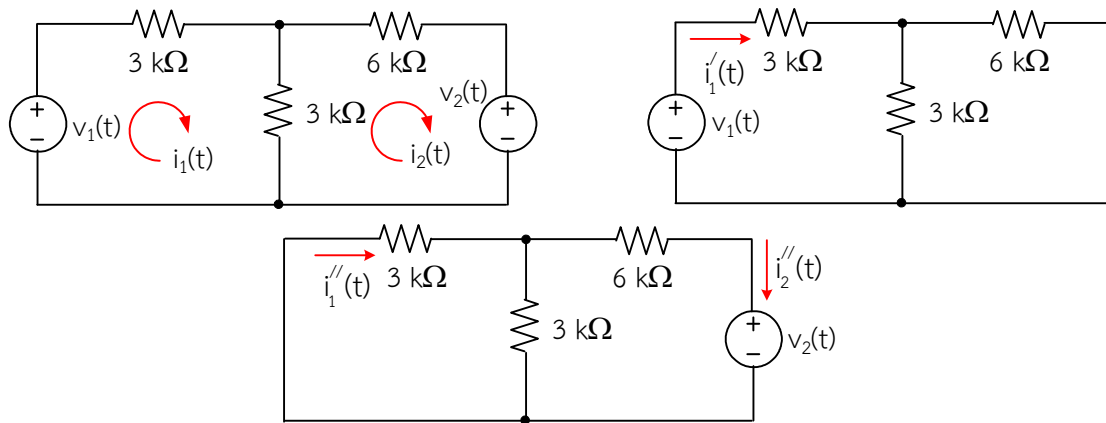
สาระการเรียนรู้

4.1 บทนำ (Introduction)

- 4.1.1 การสมมูล (Equivalent)
- 4.1.2 ความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

4.2 ทฤษฎีบทการซ้อนทับ (Superposition Theorem)

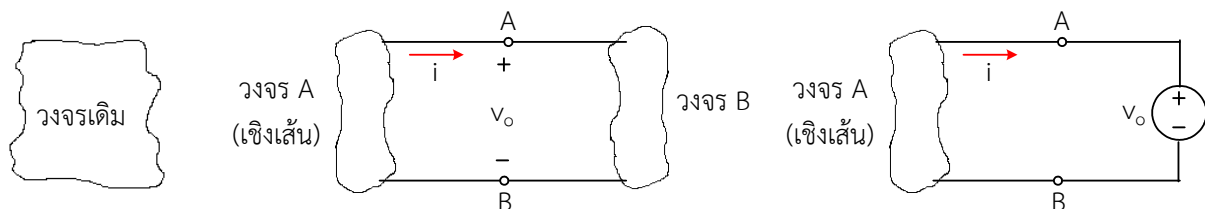
หลักการของทฤษฎีบทการซ้อนทับ (the principle of superposition theorem)¹ กล่าวว่า “ผลตอบ สนองของกระแสหรือแรงดันของวงจรเชิงเส้นที่มีแหล่งกำเนิดอิสระมากกว่า 1 ตัว สามารถหาได้จากการรวมผลตอบสนองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอิสระแต่ละตัว”



4.3 ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน (Thevenin's and Norton's Theorem)

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่เป็นวงจรเชิงเส้นอีก 2 ทฤษฎีให้ง่ายขึ้น ทฤษฎีแรกตั้งชื่อตาม M.L. Thevenin วิศวกรชาวฝรั่งเศส ทำงานด้านการสื่อสารผ่านสายส่ง ได้เผยแพร่เมื่อปี ค.ศ. 1883 เรียกสิ่งที่ค้นพบว่า ทฤษฎีบทของเทวินิน (Thevenin's theorem)² และอีกทฤษฎีหนึ่งค้นพบโดยผลของทฤษฎีบทของเทวินิน ในปี ค.ศ. 1962 ผู้ค้นพบคือ E.L. Norton เป็นนักวิทยาศาสตร์ทำงานที่ bell telephone laboratories เรียกสิ่งที่ค้นพบว่า ทฤษฎีบทของนอร์ตัน (Norton's Theorem)³ (Irwin, J. David. 2002: 120)

ทฤษฎีทั้งสองนี้มีความสำคัญมาก ใช้พิจารณาวจรย่อยใด ๆ ระหว่าง 2 ขั้ว และใช้ 2 ขั้วนี้เป็นขั้วตรวจสอบแทนวงจรเดิมเพื่อหาค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าได้ง่ายขึ้นและยังช่วยให้เลือกค่าที่ดีที่สุดของตัวต้านทานโหลด



4.3.1 วงจรที่มีเฉพาะแหล่งกำเนิดอิสระ

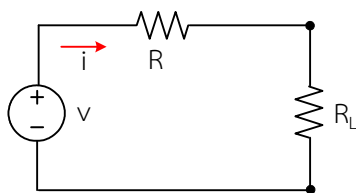
4.3.2 วงจรที่มีเฉพาะแหล่งกำเนิดไม่อิสระ

4.3.3 วงจรที่มีทั้งแหล่งกำเนิดอิสระและแหล่งกำเนิดไม่อิสระ

4.4 ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer Theorem)

ในการวิเคราะห์วงจรบางครั้งอาจต้องเพิ่มการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งไปยังโหลดโดยใช้ทฤษฎีบทของเทวินิน การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นจะต้องประยุกต์วงจรและต้องปรับโหลดให้ถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ วงจรดังรูป กำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านไปยังโหลด R_L ได้เป็น

$$P_{\text{load}} = i^2 R_L = \left(\frac{V}{R + R_L} \right)^2 R_L$$



รูป วงจรสมมูลสำหรับการทดสอบการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน่วยที่ 4 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

- ข้อใดคือคำจำกัดความที่ถูกต้องที่สุดของ 'วงจรสมมูล' (Equivalent Circuit)?
 - วงจรที่มีการต่อแบบอนุกรมเหมือนกัน
 - วงจรที่มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากัน
 - วงจรที่ใช้แหล่งจ่ายประเภทเดียวกันเท่านั้น
 - วงจรที่มีลักษณะทางไฟฟ้า (แรงดัน, กระแส) เหมือนกันที่ขั้วต่อที่กำหนด
- คุณสมบัติ 'ความเป็นเชิงเส้น' (Linearity) ในวงจรไฟฟ้าหมายความว่าอย่างไร?
 - กำลังไฟฟ้าในวงจรมีค่าคงที่เสมอ
 - ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสขององค์ประกอบเป็นเส้นตรง
 - วงจรต้องไม่มีตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุ
 - วงจรสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟฟ้าเดียวกันเท่านั้น
- 'ทฤษฎีบทการซ้อนทับ' (Superposition Theorem) ใช้ได้กับวงจรประเภทใด?
 - วงจรใดๆ ที่มีแหล่งจ่ายมากกว่าหนึ่งแหล่ง
 - วงจรที่มีเฉพาะแหล่งจ่ายแรงดันเท่านั้น
 - วงจรที่มีเฉพาะตัวต้านทานเท่านั้น
 - วงจรเชิงเส้นที่มีแหล่งจ่ายอิสระอย่างน้อยสองแหล่ง
- วงจรสมมูลของเทวินิน (Thevenin's Equivalent Circuit) ประกอบด้วยอะไรบ้าง?
 - แหล่งจ่ายแรงดันต่อขนานกับความต้านทาน
 - แหล่งจ่ายแรงดันต่ออนุกรมกับความต้านทาน
 - แหล่งจ่ายกระแสต่ออนุกรมกับความต้านทาน
 - แหล่งจ่ายกระแสต่อขนานกับความต้านทาน
- วงจรสมมูลของนอร์ตัน (Norton's Equivalent Circuit) ประกอบด้วยอะไรบ้าง?
 - แหล่งจ่ายแรงดันต่อขนานกับความต้านทาน
 - แหล่งจ่ายกระแสต่อขนานกับความต้านทาน
 - แหล่งจ่ายแรงดันต่ออนุกรมกับความต้านทาน
 - แหล่งจ่ายกระแสต่ออนุกรมกับความต้านทาน
- ตาม 'ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด' กำลังไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังโหลดได้สูงสุดเมื่อใด?
 - เมื่อความต้านทานโหลด (RL) เป็นสองเท่าของความต้านทานสมมูลของเทวินิน (RTh)
 - เมื่อความต้านทานโหลด (RL) เท่ากับความต้านทานสมมูลของเทวินิน (RTh)
 - เมื่อความต้านทานโหลด (RL) มีค่ามากที่สุด
 - เมื่อความต้านทานโหลด (RL) มีค่าน้อยที่สุด
- ในการคำนวณความต้านทานสมมูลของเทวินิน (RTh) เราต้องทำอย่างไรกับแหล่งจ่ายอิสระในวงจร?
 - ถอดแหล่งจ่ายทุกตัวออกจากวงจรโดยไม่ต้องทำอะไรแทน
 - เปิดวงจรแหล่งจ่ายกระแส และลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน
 - ลัดวงจรแหล่งจ่ายกระแส และเปิดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

ง.ปล่อยให้แหล่งจ่ายทุกตัวทำงานตามปกติ

8. กระแสสมมูลของนอร์ตัน (IN) คืออะไร?

ก. กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานเทวินิน ข. ผลรวมของแหล่งจ่ายกระแสทั้งหมดในวงจร

ค. กระแสที่ไหลในวงจรเมื่อไม่มีโหลด (เปิดวงจร) ง. กระแสที่ไหลผ่านขั้วต่อเมื่อทำการลัดวงจร (Short Circuit)

9. เมื่อใช้ทฤษฎีบทการซ้อนทับในการคำนวณกำลังไฟฟ้า จะสามารถรวมกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละแหล่งจ่ายโดยตรงได้หรือไม่?

ก. ไม่ได้ เพราะกำลังไฟฟ้าไม่ใช่ปริมาณเชิงเส้น

ข. ได้เฉพาะในวงจรที่มีแต่แหล่งจ่ายแรงดัน

ค. ได้ เพราะกำลังไฟฟ้าเป็นไปตามหลักการซ้อนทับ

ง. ได้เฉพาะในวงจรที่มีแต่ตัวต้านทาน

10 / 10

10. ข้อใดแสดงความสัมพันธ์ที่ถูกต้องระหว่างค่าสมมูลของเทวินินและนอร์ตัน?

ก. $V_{Th} = I_N / R_{Th}$

ข. $R_{Th} = V_{Th} / I_N$

ค. R_{Th} ของเทวินิน และ R_N ของนอร์ตันมีค่าไม่เท่ากัน

ง. $I_N = V_{Th} \times R_{Th}$

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Boylestad, Robert. (2003). Introductory Circuit Analysis.
3. Cook, Nigel P. (2004). Electronic. A Complete Course.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน่วยที่ 4 งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดคือคำจำกัดความที่ถูกต้องที่สุดของ 'วงจรสมมูล' (Equivalent Circuit)?

ก. วงจรที่มีการต่อแบบอนุกรมเหมือนกัน

ข. วงจรที่มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากัน

ค. วงจรที่ใช้แหล่งจ่ายประเภทเดียวกันเท่านั้น

ง. วงจรที่มีลักษณะทางไฟฟ้า (แรงดัน, กระแส) เหมือนกันที่ขั้วต่อที่กำหนด

2. คุณสมบัติ 'ความเป็นเชิงเส้น' (Linearity) ในวงจรไฟฟ้าหมายความว่าอย่างไร?

ก. กำลังไฟฟ้าในวงจรมีค่าคงที่เสมอ

ข. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสขององค์ประกอบเป็นเส้นตรง

ค. วงจรต้องไม่มีตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุ

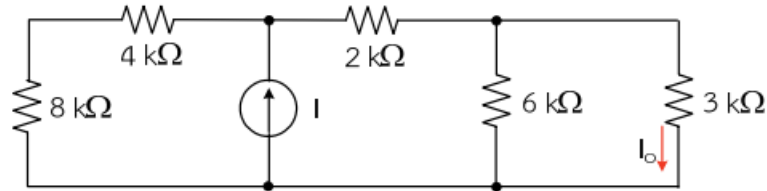
ง. วงจรสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟฟ้าเดียวเท่านั้น

3. 'ทฤษฎีบทการซ้อนทับ' (Superposition Theorem) ใช้ได้กับวงจรประเภทใด?
 ก. วงจรใดๆ ที่มีแหล่งจ่ายมากกว่าหนึ่งแหล่ง ข. วงจรที่มีเฉพาะแหล่งจ่ายแรงดันเท่านั้น
 ค. วงจรที่มีเฉพาะตัวต้านทานเท่านั้น ง. วงจรเชิงเส้นที่มีแหล่งจ่ายอิสระอย่างน้อยสองแหล่ง
4. วงจรสมมูลของเทวินิน (Thevenin's Equivalent Circuit) ประกอบด้วยอะไรบ้าง?
 ก. แหล่งจ่ายแรงดันต่อขนานกับความต้านทาน ข. แหล่งจ่ายแรงดันต่ออนุกรมกับความต้านทาน
 ค. แหล่งจ่ายกระแสต่ออนุกรมกับความต้านทาน ง. แหล่งจ่ายกระแสต่อขนานกับความต้านทาน
5. วงจรสมมูลของนอร์ตัน (Norton's Equivalent Circuit) ประกอบด้วยอะไรบ้าง?
 ก. แหล่งจ่ายแรงดันต่อขนานกับความต้านทาน ข. แหล่งจ่ายกระแสต่อขนานกับความต้านทาน
 ค. แหล่งจ่ายแรงดันต่ออนุกรมกับความต้านทาน ง. แหล่งจ่ายกระแสต่ออนุกรมกับความต้านทาน
6. ตาม 'ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด' กำลังไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังโหลดได้สูงสุดเมื่อใด?
 ก. เมื่อความต้านทานโหลด (RL) เป็นสองเท่าของความต้านทานสมมูลของเทวินิน (RTh)
 ข. เมื่อความต้านทานโหลด (RL) เท่ากับความต้านทานสมมูลของเทวินิน (RTh)
 ค. เมื่อความต้านทานโหลด (RL) มีค่ามากที่สุด
 ง. เมื่อความต้านทานโหลด (RL) มีค่าน้อยที่สุด
7. ในการคำนวณความต้านทานสมมูลของเทวินิน (RTh) เราต้องทำอย่างไรกับแหล่งจ่ายอิสระในวงจร?
 ก. ถอดแหล่งจ่ายทุกตัวออกจากวงจรโดยไม่ต้องทำอะไรแทน
 ข. เปิดวงจรแหล่งจ่ายกระแส และลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน
 ค. ลัดวงจรแหล่งจ่ายกระแส และเปิดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน
 ง. ปลดปล่อยแหล่งจ่ายทุกตัวทำงานตามปกติ
8. กระแสสมมูลของนอร์ตัน (IN) คืออะไร?
 ก. กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานเทวินิน ข. ผลรวมของแหล่งจ่ายกระแสทั้งหมดในวงจร
 ค. กระแสที่ไหลในวงจรเมื่อไม่มีโหลด (เปิดวงจร) ง. กระแสที่ไหลผ่านขั้วต่อเมื่อทำการลัดวงจร (Short Circuit)
9. เมื่อใช้ทฤษฎีบทการซ้อนทับในการคำนวณกำลังไฟฟ้า จะสามารถรวมกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละแหล่งจ่ายโดยตรงได้หรือไม่?
 ก. ไม่ได้ เพราะกำลังไฟฟ้าไม่ใช่ปริมาณเชิงเส้น
 ข. ได้เฉพาะในวงจรที่มีแต่แหล่งจ่ายแรงดัน
 ค. ได้ เพราะกำลังไฟฟ้าเป็นไปตามหลักการซ้อนทับ
 ง. ได้เฉพาะในวงจรที่มีแต่ตัวต้านทาน
- 10 / 10
10. ข้อใดแสดงความสัมพันธ์ที่ถูกต้องระหว่างค่าสมมูลของเทวินินและนอร์ตัน?
 ก. $V_{Th} = I_N / R_{Th}$
 ข. $R_{Th} = V_{Th} / I_N$
 ค. R_{Th} ของเทวินิน และ R_N ของนอร์ตันมีค่าไม่เท่ากัน
 ง. $I_N = V_{Th} \times R_{Th}$

จงแสดงวิธีทำให้ถูกต้องและสมบูรณ์

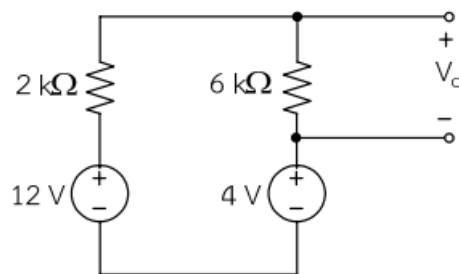
เรื่อง บทนำ (ความเป็นเชิงเส้น)

1. จากรูป จงใช้ความเป็นเชิงเส้น ถ้าสมมติให้ $I_o = 1$ mA แหล่งกำเนิดกระแสอิสระจ่ายกระแส I เท่าไร และจงหาค่า I_o ถ้า $I = 6$ mA (ตอบ $I_o = 3$ mA)

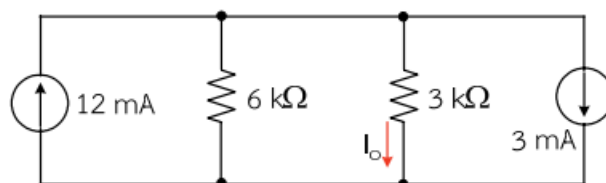


เรื่อง ทฤษฎีบทการซ้อนทับ

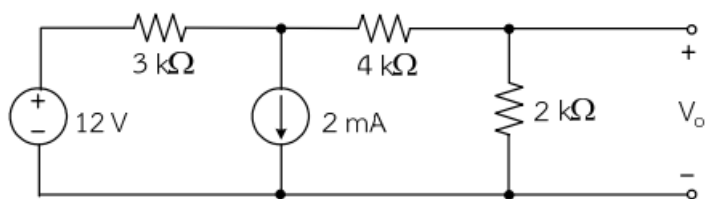
2. จากรูป จงหาค่า V_o โดยใช้ทฤษฎีบทการซ้อนทับ (ตอบ $V_o = 6$ V)



3. จากรูป จงหาค่า I_o โดยใช้ทฤษฎีบทการซ้อนทับ (ตอบ $I_o = 6$ mA)

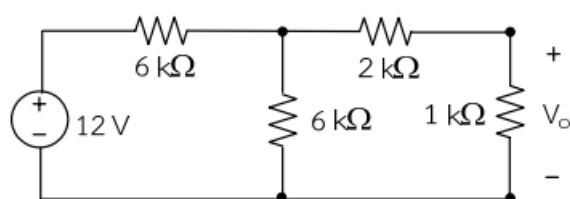


4. จากรูป จงคำนวณ V_o โดยใช้ทฤษฎีบทการซ้อนทับ (ตอบ $V_o = 1.33$ V)



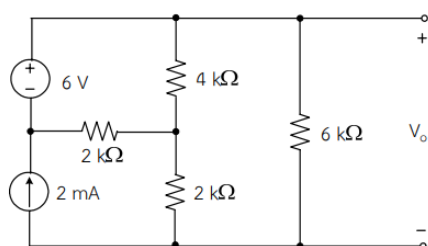
เรื่อง ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน

5. จากรูป จงหา V_o โดยใช้ทฤษฎีบทของเทวินิน (ตอบ $V_{oc} = 6\text{ V}$, $R_{Th} = 5\text{ k}\Omega$, $V_o = 1\text{ V}$)

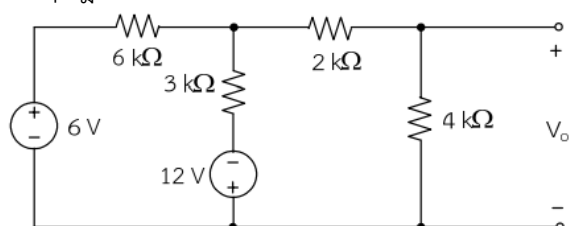


6. จากรูป จงหาค่า V_o โดยใช้ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน

(ตอบ $V_{oc} = 10.67\text{ V}$, $R_{Th} = 3.33\text{ k}\Omega$, $I_{sc} = 3.2\text{ mA}$, $V_o = 6.85\text{ V}$)



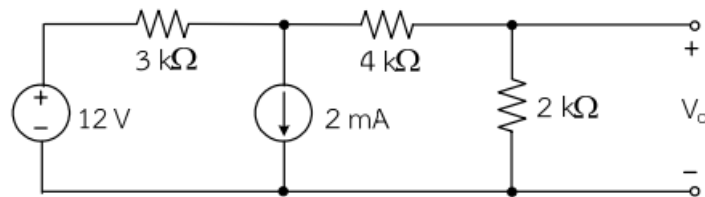
7. จากรูป จงหาค่า V_o โดยใช้ทฤษฎีบทของเทวินิน (ตอบ $V_o = -3\text{ V}$)



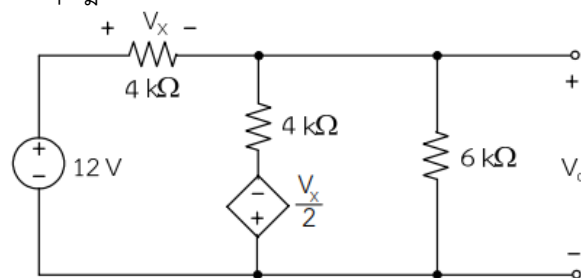
8. จากรูป จงหา V_o โดยใช้วิธีแก้ปัญหาคู่ต่อไป (วงจรเดียวกับโจทย์ปัญหาข้อ 4)

ก) ใช้วิธีการแปลงแหล่งกำเนิด

ข) ใช้ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน และเพราะอะไรเมื่อต้องการหาวงจรสมมูลนอร์ตันจึงต้องปลดมาทางซ้ายของตัวต้านทาน $4\text{ k}\Omega$ (ตอบ $V_o = 1.33\text{ V}$)



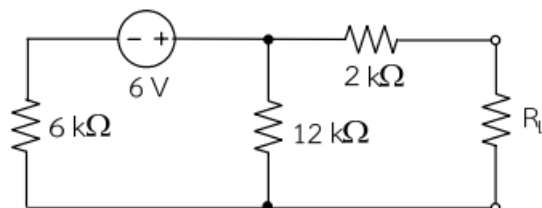
9. จากรูป จงหาค่า V_o โดยใช้ทฤษฎีบทของเทวินิน (ตอบ $V_o = 2.77\text{ V}$)



เรื่อง ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด

10. จากรูป จงหา R_L สำหรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ R_L มีค่าเท่าไร

(ตอบ $R_L = 6\text{ k}\Omega$, $P_L = 0.67\text{ mW}$)



	ใบงานหน่วยที่ 4	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 6-7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ (Superposition Theorem)		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นทฤษฎีที่นำมาใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้ามาก

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน และทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับได้
- 4.2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทของเทวินินได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทของนอร์ตันได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

- ชุดจ่ายไฟ DC (DC Power Supply): 1 เครื่อง (ปรับแรงดันได้)
- แหล่งจ่ายกระแส DC (DC Current Source): 1 เครื่อง (หรือใช้แหล่งจ่ายแรงดันกับตัวต้านทานค่า มากเพื่อจำลอง)
- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter - DMM): 2 เครื่อง (สำหรับวัดแรงดันและกระแสพร้อมกัน)
- โปรโตบอร์ด (Breadboard): 1 แผ่น

- ตัวต้านทาน (Resistors): ขนาดต่างๆ เช่น 1k Ω , 2.2k Ω , 3.3k Ω (ประมาณ 2-3 ตัวต่อค่า)

สายไฟสำหรับวงจร (Jumper Wires): จำนวนเพียงพอ

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

- ปิดแหล่งจ่ายไฟทุกครั้ง: ก่อนทำการเปลี่ยนแปลงวงจร (ต่อ/ถอดอุปกรณ์) ต้องปิดแหล่งจ่ายไฟทุกครั้งเพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์และผู้ทดลอง

- ตรวจสอบขั้ว: การต่อแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสต้องระมัดระวังเรื่องขั้วบวก/ลบ
- ค่ากระแสและแรงดัน: เริ่มต้นด้วยค่าแหล่งจ่ายที่ต่ำก่อนเสมอ และค่อยๆ ปรับเพิ่มขึ้น
- ความต้านทาน: ตรวจสอบค่าความต้านทานด้วยมัลติมิเตอร์ก่อนใช้งานจริงเสมอ
- การลัดวงจร/เปิดวงจร:
 - ปิดแหล่งจ่ายแรงดันอิสระ: ให้ลัดวงจร (แทนที่ด้วยสายไฟ)
 - ปิดแหล่งจ่ายกระแสอิสระ: ให้เปิดวงจร (ถอดแหล่งจ่ายออก)
 - ห้ามทำสิ่งเหล่านี้กับแหล่งจ่ายไม่อิสระ (Dependent Sources): แหล่งจ่ายไม่อิสระต้องคงอยู่ในวงจรเสมอ

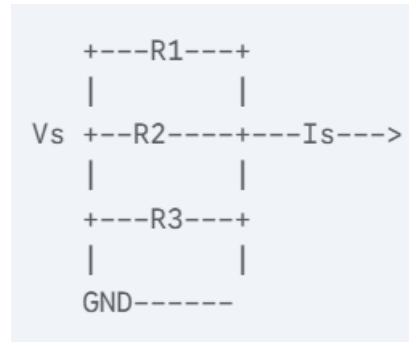
7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. คำนวณทางทฤษฎี:

- วาดวงจรตัวอย่าง: เช่น แหล่งจ่ายแรงดัน V_S และแหล่งจ่ายกระแส I_S ต่อกับตัวต้านทาน R_1, R_2, R_3 (ดูรูปด้านล่างสำหรับแนวคิด)
- กรณีที่ 1: แหล่งจ่าย V_S ทำงาน (I_S ปิดวงจร)
 - ลัดวงจรแหล่งจ่ายกระแส I_S (ถอดออกแล้วเปิดวงจร).
 - คำนวณแรงดันและกระแสในจุดที่ต้องการวัด (เช่น กระแสผ่าน R_2 , แรงดันคร่อม R_3) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์วงจรปกติ (เช่น KVL, KCL, Voltage/Current Divider).
- กรณีที่ 2: แหล่งจ่าย I_S ทำงาน (V_S ปิดวงจร)
 - ลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน V_S (แทนที่ด้วยสายไฟ).
 - คำนวณแรงดันและกระแสในจุดที่ต้องการวัดเช่นเดิม.
- กรณีรวม:
 - รวมผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีที่ 1 และ 2 โดยคำนึงถึงทิศทาง/ขั้ว เพื่อหาค่ารวมทางทฤษฎี

2. ตั้งค่าการทดลองและวัดผล (การวัดจริง):

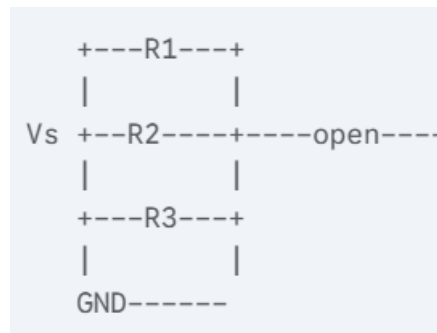
- ขั้นตอนที่ 2.1: วงจรเต็ม (แหล่งจ่าย V_S และ I_S ทำงานพร้อมกัน)
 - ต่อวงจรบนโปรโตบอร์ดตามวงจรตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณทางทฤษฎี
 - เปิดแหล่งจ่ายแรงดัน V_S และแหล่งจ่ายกระแส I_S ตามค่าที่กำหนด
 - ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันและกระแสในจุดที่ต้องการวัด (เช่น กระแสผ่าน R_2 , แรงดันคร่อม R_3)
 - บันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลอง



ภาพประกอบ (แนวคิด)

ขั้นตอนที่ 2.2: แหล่งจ่าย V_S ทำงาน (I_S ปิดวงจร)

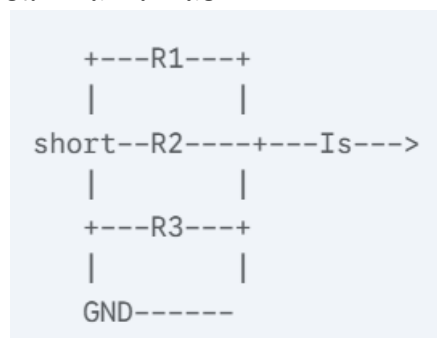
- ปิด แหล่งจ่ายกระแส I_S โดยการถอดแหล่งจ่าย I_S ออกจากวงจร (ทำให้เป็นวงจรเปิด)
- ตรวจสอบ ให้แน่ใจว่าแหล่งจ่ายแรงดัน V_S ยังคงทำงานที่ค่าเดิม
- วัดค่าแรงดันและกระแสในจุดเดียวกันกับขั้นตอนที่ 2.1
- บันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลอง



ภาพประกอบ (แนวคิด)

ขั้นตอนที่ 2.3: แหล่งจ่าย I_S ทำงาน (V_S ปิดวงจร)

- ปิด แหล่งจ่ายแรงดัน V_S โดยการลัดวงจร (ต่อสายไฟคร่อมขั้วแหล่งจ่าย V_S)
- ตรวจสอบ ให้แน่ใจว่าแหล่งจ่ายกระแส I_S ยังคงทำงานที่ค่าเดิม
- วัดค่าแรงดันและกระแสในจุดเดียวกันกับขั้นตอนที่ 2.1
- บันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลอง



ภาพประกอบ (แนวคิด)

วิเคราะห์ผล:

- รวมค่าที่วัดได้จากขั้นตอนที่ 2.2 และ 2.3 (คำนึงถึงทิศทาง/ขั้ว) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากขั้นตอนที่ 2.1 และค่าที่คำนวณทางทฤษฎี

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1: การซ้อนทับ

รายการวัด	ค่าที่ต้องการวัด	การคำนวณทางทฤษฎี	วัดจริง (เต็มวงจร)	วัดจริง (V_S ทำงาน)	วัดจริง (I_S ทำงาน)	ผลรวม (วัดจริง)
1	กระแสผ่าน R_2 (I_{R2})	mA	mA	mA	mA	mA
2	แรงดันคร่อม R_3 (V_{R3})	V	V	V	V	V
3	...	...	...	...	...	...

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 4
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ วันที่เริ่มงาน (Superposition Theorem)					
ผู้ปฏิบัติ		ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง			
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ (Superposition Theorem))	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 4	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 6-7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 6 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ (Superposition Theorem)		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นทฤษฎีที่นำมาใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้ามาก

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน และทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายวงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับได้

4.2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทของเทวินินได้

4.3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีบทของนอร์ตันได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษาทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นทฤษฎีที่นำมาใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ ทฤษฎีบทการซ้อนทับ

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องทฤษฎีบทการซ้อนทับ

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญของทฤษฎีบทการซ้อนทับ
จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม

ฟังการอธิบายทฤษฎีบทของเทวินิน
- ขั้นสาธิต

ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณทฤษฎีบทของเทวินิน
- ขั้นฝึกปฏิบัติ

นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรของเทวินิน
- ขั้นตรวจสอบผล

ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณทฤษฎีบทของเทวินิน
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง

ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรทฤษฎีบทของเทวินิน
- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานทฤษฎีบทของเทวินิน

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation

ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในทฤษฎีบทของนอร์ตันได้
- ขั้น Information

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานทฤษฎีบทของนอร์ตันได้
- ขั้น Progress

ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับทฤษฎีบทของนอร์ตันได้ได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม

เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานทฤษฎีบทการซ้อนทับ ทฤษฎีบทของเทวินินและนอร์ตัน ทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดอย่างรอบครอบ
- ขั้นสอน

สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
- ขั้นสรุป

นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 4
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ			วันที่เริ่มงาน	
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยทฤษฎีต่าง ๆ)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและ วงจรอาร์ซีโอปแอมป์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีโอปแอมป์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ อุปกรณ์ทั้งสองนี้เป็นองค์ประกอบเชิงเส้น และอธิบายคุณสมบัติได้ด้วยสมการอนุพันธ์เชิงเส้น (ตัวต้านทานไม่สามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าได้)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีโอปแอมป์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายค่าความจุ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุได้
- 4.2. วาดรูปคลื่นแรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุได้
- 4.3. คำนวณค่าความเหนี่ยวนำ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิจนิสัยในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

- 5.1 ตัวเก็บประจุ (Capacitors)
- 5.2 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors)
- 5.3 การรวมกันของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ (Capacitor and Inductor Combinations)
- 5.4 วงจรอาร์ซีโอปแอมป์ (RC Operational Amplifier Circuits)

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 8/15, คาบที่ 36-40/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอน
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 5

3. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
4. ครูสอนเนื้อหาสาระ
5. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่มๆ ละ 2-3 คน ทำการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม
6. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน
7. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 5

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 5, PowerPoint ประกอบการสอน และแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

- ในสถานศึกษา :**
1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002

- นอกสถานศึกษา :**
2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 5	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 5	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบฝึกหัด ข้อที่เลือกจำลองด้วยโปรแกรม	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 5	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 5
2. ผลการทำและนำเสนอการจำลองการทำงานวงจรด้วยโปรแกรม
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 5
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Baker, Tim. (2002). **Experiments in DC/AC Circuits with Concepts**.
3. Floyd, Thomas L. (2001). **Electronic Fundamentals**.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice**.

10. บันทึกหลังการสอน**ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้**

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่องงานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีโอพแอมป์ สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายรัชตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 5	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและ วงจรอาร์ซีออพแอมป์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีออพแอมป์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ อุปกรณ์ทั้งสองนี้เป็นองค์ประกอบเชิงเส้น และอธิบายคุณสมบัติได้ด้วยสมการอนุพันธ์เชิงเส้น (ตัวต้านทานไม่สามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าได้)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีออพแอมป์

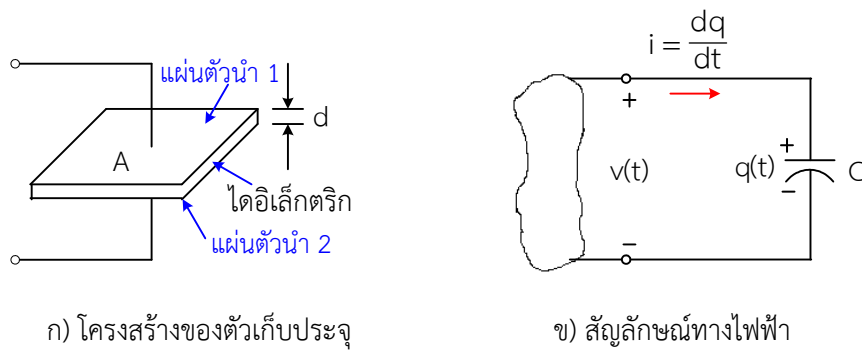
4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายค่าความจุ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุได้
- 4.2. วาดรูปคลื่นแรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุได้
- 4.3. คำนวณค่าความเหนี่ยวนำ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิจนิสัยในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

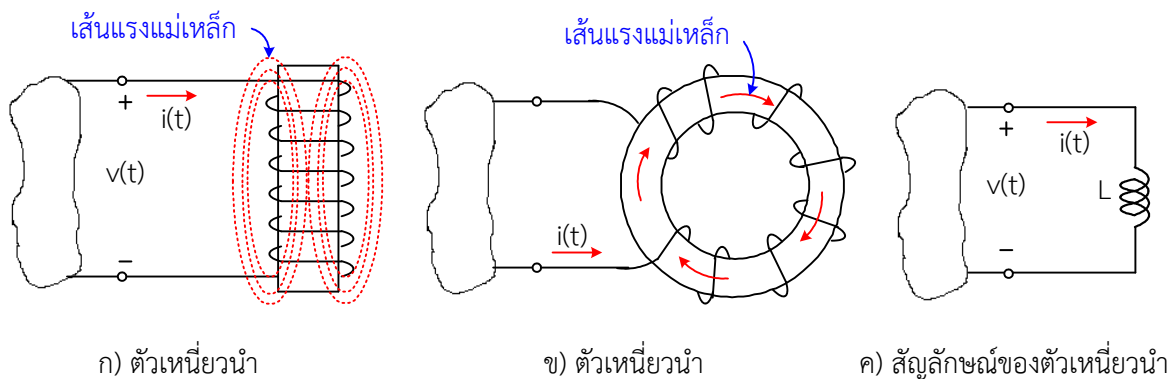
5.1 ตัวเก็บประจุ (Capacitors)

ตัวเก็บประจุ เป็นองค์ประกอบวงจรที่ประกอบด้วยแผ่นตัวนำ 2 แผ่น มีขนาดพื้นที่ A วางแยกขนานกันด้วยระยะ d มีไดอิเล็กทริก (dielectric) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้ากั้นอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำ ตัวอย่างตัวเก็บประจุและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 5.1 และให้สัญลักษณ์เครื่องหมายแบบพาสซีฟ (passive sign convention)



5.2 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors)

ตัวเหนี่ยวนำเป็นองค์ประกอบวงจรที่ประกอบด้วยลวดตัวนำอยู่ในรูปแบบขดลวด (coil) ตัวอย่างตัวเหนี่ยวนำ 2 ชนิดและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าดังรูปที่ 5.4 แต่ละชนิดจะเรียกตามชนิดของแกน เช่น แกนอากาศ แกนเหล็ก แกนเฟอร์ไรต์ เป็นต้น ตัวเหนี่ยวนำที่ทำจากแกนอากาศหรือวัสดุที่ไม่ใช่แม่เหล็ก มีใช้อย่างกว้างขวางในวิทยุ โทรทัศน์ และวงจรกรอง (filter circuits) ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กมีใช้มากในเพาเวอร์ซัพพลายและวงจรกรอง ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์มีใช้มากในอุปกรณ์ไฟฟ้าความถี่สูง



5.3 การรวมกันของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ (Capacitor and Inductor Combinations)

5.3.1 ตัวเก็บประจุต่ออนุกรม (Series Capacitors)

5.3.2 ตัวเก็บประจุต่อขนาน (Parallel Capacitors)

5.3.3 ตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรม (Series Inductors)

5.3.4 ตัวเหนี่ยวนำต่อขนาน (Parallel Inductors)

5.4 วงจรอาร์ซีโอปแอมป์ (RC Operational Amplifier Circuits)

มีสองสิ่งที่สำคัญมากสำหรับวงจรอาร์ซีโอปแอมป์ (RC OP-Amp circuits) คือ วงจรทำอนุพันธ์ (differentiator) และวงจรทำอินทิเกรต (integrator) วงจรเหล่านี้ได้รับรูปแบบมาจากวงจรอินเวอร์ตติ้ง-แอมป์โดยแทนที่ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ด้วยตัวเก็บประจุ (ส่วนตัวเหนี่ยวนำมีแนวโน้มขนาดใหญ่และมีราคาแพง) พิจารณาจากตัวอย่างวงจรดังรูปที่ 5.10 ก) สมการวงจรได้เป็น

$$C_1 \frac{d}{dt}(v_1 - v_-) + \frac{v_o - v_-}{R_2} = i_-$$

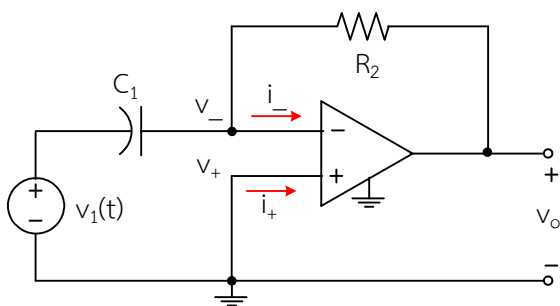
อย่างไรก็ดีเมื่อ $v_- = 0$ และ $i_- = 0$ ดังนั้น

$$v_o(t) = -R_2 C_1 \frac{dv_1(t)}{dt} \quad \dots\dots\dots 5.28$$

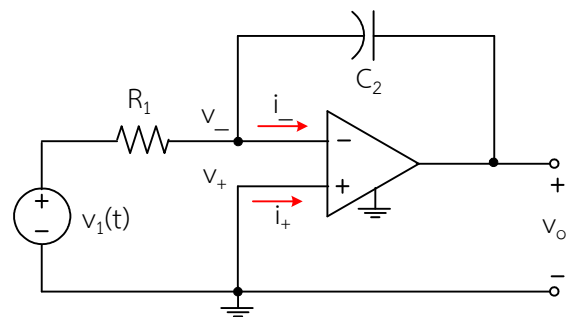
ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรออปแอมป์นี้คือสัดส่วนที่แปรผันตรงกับสัญญาณอินพุต ที่พบว่าใช้อย่างกว้างขวางในทางปฏิบัติ เช่น วงจรตรวจจับความเร็วสามารถต่อเข้ากับวงจรออปแอมป์ที่ให้สัญญาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราเร่ง หรือสัญญาณเอาต์พุตที่แทนปริมาณประจุที่ตกกระทบบนขั้วโลหะใช้ช่วงเวลาของการอินทิเกรต (integrating) ค่ากระแสที่วัดได้ เป็นต้น

สมการวงจรสำหรับโครงสร้างภายนอกออปแอมป์ในรูปที่ 5.10 ข) คือ

$$\frac{v_1 - v_-}{R_1} + C_2 \frac{d}{dt}(v_o - v_-) = i_-$$



ก) วงจรทำอนุพันธ์



ข) วงจรทำอินทิเกรต

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน้าที่ 5 งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ชีออปแอมป์

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1.หน้าที่หลักของ 'ตัวเก็บประจุ' (Capacitor) ในวงจรไฟฟ้าคืออะไร?

ก.จำกัดกระแสไฟฟ้า

ข.เก็บประจุไฟฟ้า

ค.แปลงแรงดันไฟฟ้า

ง.สร้างสนามแม่เหล็ก

2.หน่วยมาตรฐานของ 'ตัวเหนี่ยวนำ' (Inductor) คืออะไร?

ก.หน่วยเป็นวัตต์ (Watt)

ข.หน่วยเป็นเฮนรี (Henry)

ค.หน่วยเป็นโอห์ม (Ohm)

ง.หน่วยเป็นฟารัด (Farad)

3. เมื่อตัวเก็บประจุถูกต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และประจุเต็มแล้ว ตัวเก็บประจุจะมีพฤติกรรมอย่างไร?

ก. ทำหน้าที่เป็นวงจรลัดวงจร (Short Circuit)

ข. ค่าความจุจะลดลงจนเป็นศูนย์

ค. กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้เลย

ง. ทำหน้าที่เป็นวงจรเปิด (Open Circuit)

4. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการรวมกันของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ?

ก. ต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม ค่าเหนี่ยวนำรวมจะลดลง

ข. ต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน ค่าเหนี่ยวนำรวมจะเพิ่มขึ้น

ค. ต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน ค่าความจุรวมจะลดลง

ง. ต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม ค่าความจุรวมจะลดลง

5. เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ พฤติกรรมของกระแสจะเป็นอย่างไร?

ก. ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้

ข. คงที่ตลอดเวลา

ค. เปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม

ง. เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน

6. วงจร RC (Resistor-Capacitor) ที่ประกอบขึ้นอย่างเหมาะสม สามารถทำหน้าที่เป็นวงจรกรอง (Filter) ชนิดใดได้บ้าง?

ก. เพิ่มแรงดันไฟฟ้า

ข. กรองความถี่ต่ำ

ค. เป็นวงจรเรโซแนนซ์

ง. กรองความถี่สูง

7. หากตัวเก็บประจุถูกใช้ในวงจรป้อนกลับเชิงลบของวงจรออปแอมป์กลับเฟส (Inverting Op-Amp) โดยต่อขนานกับความต้านทานป้อนกลับ วงจรนั้นมักจะทำหน้าที่เป็นวงจรชนิดใด?

ก. ดิฟเฟอเรนเชียล (Differentiator)

ข. แอมพลิฟายเออร์กลับเฟส (Inverting Amplifier)

ค. วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

ง. อินทิเกรเตอร์ (Integrator)

ถ้าต้องการเพิ่มค่าความจุรวมของวงจร จะต้องต่อตัวเก็บประจุในลักษณะใด?

ก. อนุกรม

ข. ขนาน

ค. อนุกรม-ขนาน

ง. วงจรบริดจ์

9. บทบาทหลักของ 'ออปแอมป์' (Operational Amplifier) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์คืออะไร?

ก. ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดเท่านั้น

ข. สร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

ค. ขยายสัญญาณไฟฟ้า และสามารถทำการประมวลผลสัญญาณเชิงเส้นได้

ง. ขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เท่านั้น

10. ข้อใดที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างกะทันหันในวงจรไฟฟ้าที่มีตัวเก็บประจุ?

- ก. แรงดันไฟฟ้าข้ามตัวเก็บประจุ
- ข. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ
- ค. กำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยแหล่งจ่าย
- ง. ความต้านทานของวงจร

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.
3. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice**.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน้าที่ 5 งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ชีออปแอมป์

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. หน้าที่หลักของ 'ตัวเก็บประจุ' (Capacitor) ในวงจรไฟฟ้าคืออะไร?

ก. จำกัดกระแสไฟฟ้า

ข. เก็บประจุไฟฟ้า

ค. แปลงแรงดันไฟฟ้า

ง. สร้างสนามแม่เหล็ก

2. หน่วยมาตรฐานของ 'ตัวเหนี่ยวนำ' (Inductor) คืออะไร?

ก. หน่วยเป็นวัตต์ (Watt)

ข. หน่วยเป็นเฮนรี (Henry)

ค. หน่วยเป็นโอห์ม (Ohm)

ง. หน่วยเป็นฟารัด (Farad)

3. เมื่อตัวเก็บประจุถูกต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และประจุเต็มแล้ว ตัวเก็บประจุจะมีพฤติกรรมอย่างไร?

ก. ทำหน้าที่เป็นวงจรลัดวงจร (Short Circuit)

ข. ค่าความจุจะลดลงจนเป็นศูนย์

ค. กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้เลย

ง. ทำหน้าที่เป็นวงจรเปิด (Open Circuit)

4. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการรวมกันของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ?

ก. ต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม ค่าเหนี่ยวนำรวมจะลดลง

ข. ต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน ค่าเหนี่ยวนำรวมจะเพิ่มขึ้น

ค. ต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน ค่าความจุรวมจะลดลง

ง. ต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม ค่าความจุรวมจะลดลง

5. เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ พฤติกรรมของกระแสจะเป็นอย่างไร?

ก.ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้

ข.คงที่ตลอดเวลา

ค.เปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม

ง.เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน

6. วงจร RC (Resistor-Capacitor) ที่ประกอบขึ้นอย่างเหมาะสม สามารถทำหน้าที่เป็นวงจรกรอง (Filter) ชนิดใดได้บ้าง?

ก.เพิ่มแรงดันไฟฟ้า

ข.กรองความถี่ต่ำ

ค.เป็นวงจรเรโซแนนซ์

ง.กรองความถี่สูง

7. หากตัวเก็บประจุถูกใช้ในวงจรป้อนกลับเชิงลบของวงจรออปแอมป์กลับเฟส (Inverting Op-Amp) โดยต่อขนานกับความต้านทานป้อนกลับ วงจรนั้นมักจะทำหน้าที่เป็นวงจรชนิดใด?

ก.ดิฟเฟอเรนเชียล (Differentiator)

ข.แอมพลิฟายเออร์กลับเฟส (Inverting Amplifier)

ค.วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

ง.อินทิเกรเตอร์ (Integrator)

ถ้าต้องการเพิ่มค่าความจุรวมของวงจร จะต้องต่อตัวเก็บประจุในลักษณะใด?

ก.อนุกรม

ข.ขนาน

ค.อนุกรม-ขนาน

ง.วงจรบริดจ์

9. บทบาทหลักของ 'ออปแอมป์' (Operational Amplifier) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์คืออะไร?

ก.ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดเท่านั้น

ข.สร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

ค.ขยายสัญญาณไฟฟ้า และสามารถทำการประมวลผลสัญญาณเชิงเส้นได้

ง.ขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เท่านั้น

10. ข้อใดที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างกะทันหันในวงจรไฟฟ้าที่มีตัวเก็บประจุ?

ก.แรงดันไฟฟ้าข้ามตัวเก็บประจุ

ข.กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

ค.กำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยแหล่งจ่าย

ง.ความต้านทานของวงจร

จงแสดงวิธีทำให้ถูกต้องและสมบูรณ์

เรื่อง ตัวเก็บประจุ

1. จงอธิบายปรากฏการณ์ของกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุตามสมการ $i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$

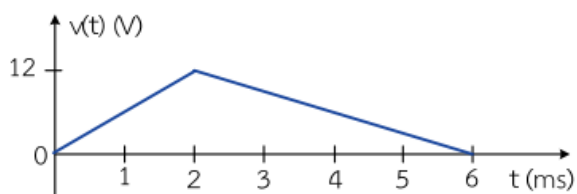
2. จงหาแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขนาด $10\ \mu\text{F}$ มีประจุเก็บสะสม $500\ \text{nC}$ (ตอบ $0.05\ \text{V}$)

.....

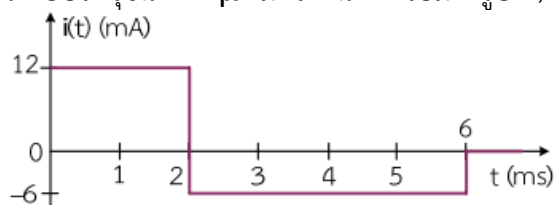
.....

.....

3. จงคำนวณและวาดรูปคลื่นกระแสบนตัวเก็บประจุถ้าตัวเก็บประจุขนาด $2\ \mu\text{F}$ มีแรงดันตกคร่อมดังรูป ก)



ก) แรงดันตกคร่อม C



ข) คำตอบของข้อ 3

.....

.....

.....

เรื่อง ตัวเหนี่ยวนำ

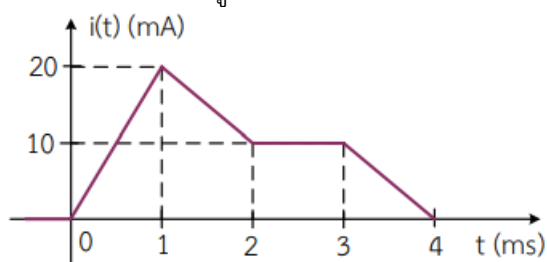
4. จงอธิบายปรากฏการณ์ของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตามสมการ $v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$

.....

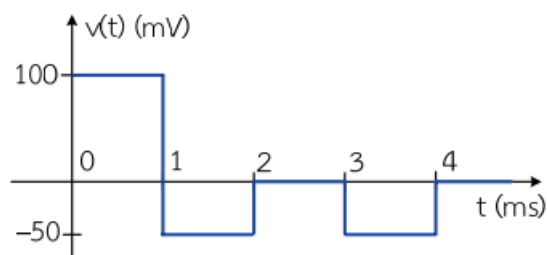
.....

.....

5. จงคำนวณและวาดรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ถ้ากระแสบนตัวเหนี่ยวนำ $5\ \text{mH}$ มีรูปคลื่นดังรูป ก)



ก) กระแสไหลผ่าน L



ข) คำตอบของข้อ 5

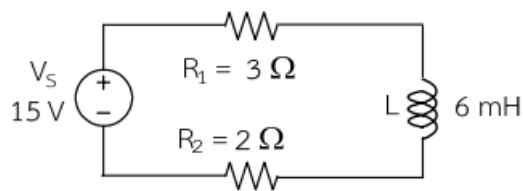
.....

.....

.....

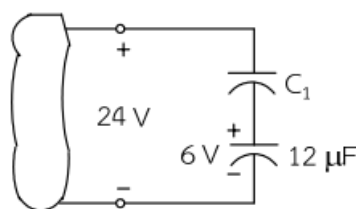
6. จากรูป จงหาพลังงานสะสมบนตัวเหนี่ยวนำเมื่อกระแสไหลผ่านมีค่าสูงสุดหรือค่าสุดท้ายแล้ว

(ตอบ $W = 27\ \text{mJ}$)

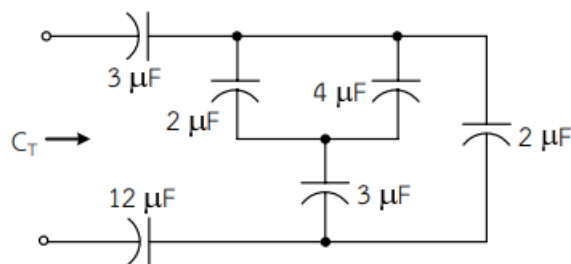


เรื่อง การรวมกันของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

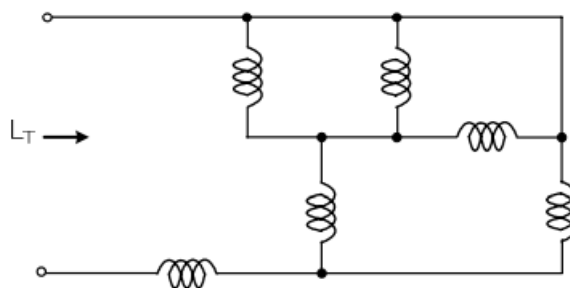
7. ตัวเก็บประจุ 2 ตัวไม่มีประจุในสภาวะเริ่มต้นนำมาต่อวงจรดังรูป เมื่อเวลาผ่านไปได้ค่าดังรูป จงหาค่า C_1
(ตอบ $4 \mu\text{F}$)



8. จงหาค่าความจุไฟฟ้าสมมูลของวงจรช่วยดังรูป (ตอบ $C_{eq} = 1.5 \mu\text{F}$)



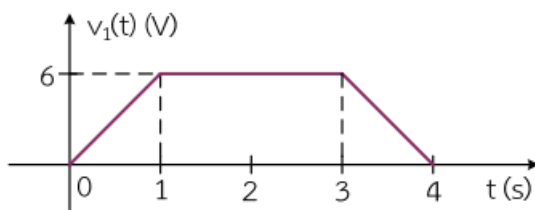
9. จงหาค่าความเหนี่ยวนำสมมูลของวงจรช่วยดังรูป ถ้าตัวเหนี่ยวนำทั้งหมดมีค่าตัวละ 6 mH
(ตอบ $L_{eq} = 9.429 \text{ mH}$)



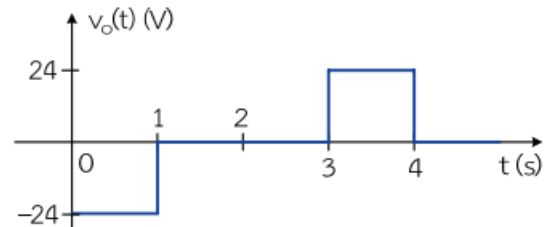
เรื่อง วงจรอาร์ซีโอปแอมป์

10. รูปคลื่นดังรูป

ก) เป็นขั้วอินพุตของวงจรทำอนุพันธ์จำนวนและวาดรูปคลื่นเอาต์พุต ถ้าวงจรออปแอมป์นี้ มีพารามิเตอร์ $C1 = 2 \text{ F}$ และ $R2 = 2 \text{ } \Omega$



ก) แรงดันอินพุต



ข) คำตอบของข้อ 9

	ใบงานหน่วยที่ 5	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและ วงจรอาร์ซีออปปแอมป์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน การศึกษาคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และวงจร ออปปแอมป์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ อุปกรณ์ทั้งสองนี้เป็นองค์ประกอบเชิงเส้น และอธิบายคุณสมบัติได้ด้วยสมการอนุพันธ์เชิงเส้น (ตัวต้านทานไม่สามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าได้)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีออปปแอมป์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายค่าความจุ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุได้
- 4.2. วาดรูปคลื่นแรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุได้
- 4.3. คำนวณค่าความเหนี่ยวนำ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

- ชุดจ่ายไฟ DC (DC Power Supply): 1 เครื่อง (ปรับแรงดันได้ เช่น 0-15V)
- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter - DMM): 1-2 เครื่อง (สำหรับวัดแรงดัน)
- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope): 1 เครื่อง (สำหรับดูรูปคลื่นการชาร์จ/คายประจุ)
- โปรโตบอร์ด (Breadboard): 1 แผ่น
- ตัวต้านทาน (Resistors): ค่าที่เหมาะสม เช่น 1k
Omega, 10k
Omega, 100k

Omega (เลือกเพื่อให้ได้ค่า tau ที่เหมาะสมกับการวัด เช่น R times C approx. หลัก มิลลิวินาทีถึงวินาที)

- ตัวเก็บประจุ (Capacitors): ค่าที่เหมาะสม เช่น 0.1 m uF, 1muF, 10muF (ชนิด Electrolytic หรือ Ceramic แล้วแต่ค่า)
- สวิตช์ (SPDT Switch): 1 ตัว (สำหรับสลับการชาร์จ/คายประจุ)
- สายไฟสำหรับวงจร (Jumper Wires): จำนวนเพียงพอ

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

- ปิดแหล่งจ่ายไฟทุกครั้ง: ก่อนทำการเปลี่ยนแปลงวงจร
- ระวังขั้วตัวเก็บประจุแบบ Electrolytic: ตัวเก็บประจุชนิดนี้มีขั้วบวก/ลบ หากต่อผิดขั้วอาจเสียหายหรือระเบิดได้
- ค่าคงที่เวลา (tau): เลือก R และ C ให้ค่า tau ไม่เร็วหรือช้าเกินไป (ประมาณ 0.1-5 วินาที) เพื่อให้สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงได้ง่าย
- ความต้านทานภายในของ DMM: ระวังผลกระทบจากความต้านทานภายในของ DMM เมื่อวัดแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ (โดยเฉพาะสำหรับ R ค่าสูงๆ)
- การใช้ออสซิลโลสโคป: ตรวจสอบการตั้งค่า Time/Div และ Volt/Div ให้เหมาะสมกับการแสดงผล

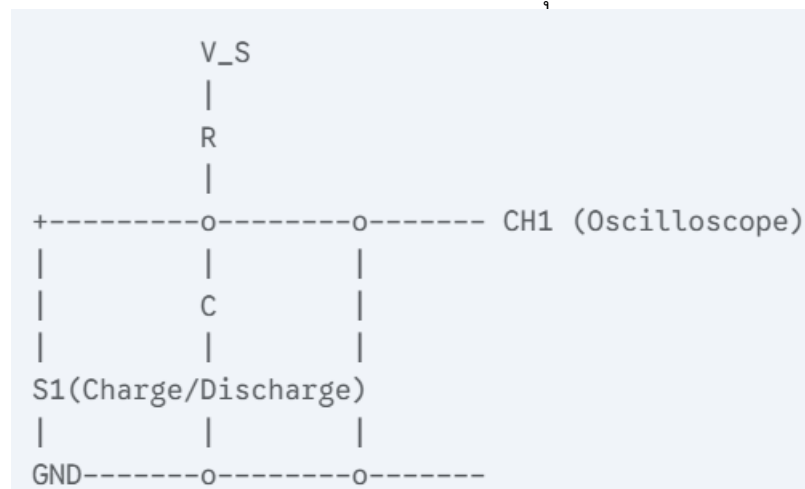
7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. คำนวณทางทฤษฎี:

- วงจรชาร์จ: $V_C(t) = V_S(1 - e^{-t/\tau})$
- วงจรคายประจุ: $V_C(t) = V_0 e^{-t/\tau}$ (โดย V_0 คือแรงดันเริ่มต้นที่ตัวเก็บประจุ)
- คำนวณค่า $\tau = RC$ สำหรับคู่ R, C ที่เลือก
- คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่เวลา $t = \tau, t = 2\tau, t = 3\tau, t = 5\tau$ ทั้งในเฟสชาร์จและคายประจุ

2. ตั้งค่าการทดลอง:

- ต่อวงจรตามรูปด้านล่างบนโปรโตบอร์ด (ใช้สวิตช์ SPDT สำหรับสลับระหว่างชาร์จและคายประจุ)
- ปรับแหล่งจ่ายไฟ DC เป็นแรงดันค่าหนึ่ง (เช่น 5V)
- ต่อ Channel 1 ของออสซิลโลสโคปคร่อมตัวเก็บประจุ



ภาพประกอบ (แนวคิด): วงจร RC ชาร์จ/คายประจุ

3.การวัดผล:

• 3.1 การชาร์จ:

- เริ่มต้นโดยที่ตัวเก็บประจุคายประจุหมด (ลัดวงจรชั่วคราว)
- สับสวิตช์ไปตำแหน่งชาร์จ (ต่อ V_S เข้าวงจร)
- สังเกตและบันทึกที่รูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุบนออสซิลโลสโคป
- วัดค่าแรงดันที่เวลาต่างๆ (จากกราฟบนออสซิลโลสโคป) เทียบกับค่า τ ที่คำนวณได้
- บันทึกผลลงในตาราง

• 3.2 การคายประจุ:

- หลังจากที่ได้ตัวเก็บประจุชาร์จเต็ม (แรงดันถึง V_S)
- สับสวิตช์ไปตำแหน่งคายประจุ (ต่อ R เข้ากับ GND)
- สังเกตและบันทึกที่รูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุบนออสซิลโลสโคป
- วัดค่าแรงดันที่เวลาต่างๆ (จากกราฟบนออสซิลโลสโคป) เทียบกับค่า τ ที่คำนวณได้
- บันทึกผลลงในตาราง

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1: การชาร์จและคายประจุของตัวเก็บประจุ

ค่า R (Ω)	ค่า C (F)	$\tau=RC$ (วินาที) (ทฤษฎี)	V_S (V) / V_0 (V)

เวลา (t)	แรงดันขณะชาร์จ (ทฤษฎี) (V)	แรงดันขณะชาร์จ (วัดจริง) (V)	แรงดันขณะคายประจุ (ทฤษฎี) (V)	แรงดันขณะคายประจุ (วัดจริง) (V)
0 τ				
1 τ				
2 τ				
3 τ				
5 τ				

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 5

(Evaluation Sheet)

ชื่องาน การศึกษาคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ, ตัวเหนี่ยวนำ และวงจรออพแอมป์		วันที่เริ่มงาน			
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การศึกษาคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ, ตัวเหนี่ยวนำ และวงจรออพแอมป์)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานที่ 5	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและ วงจรอาร์ซีออปปแอมป์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีออปปแอมป์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ อุปกรณ์ทั้งสองนี้เป็นองค์ประกอบเชิงเส้น และอธิบายคุณสมบัติได้ด้วยสมการอนุพันธ์เชิงเส้น (ตัวต้านทานไม่สามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าได้)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีออปปแอมป์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายค่าความจุ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุได้
- 4.2. วาดรูปคลื่นแรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุได้
- 4.3. คำนวณค่าความเหนี่ยวนำ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิจนิสัยในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนัก

ถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษาตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ

6. กำหนดเวลาส่งงาน ทำคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ ตัวเก็บประจุ

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องความจุ แรงดัน กระแส กำลังและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญของเรื่องตัวเก็บประจุ

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม
ฟังการอธิบายตัวเก็บประจุ
- ขั้นสาธิต
ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณทฤษฎีตัวเก็บประจุ
- ขั้นฝึกปฏิบัติ
นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรตัวเก็บประจุ
- ขั้นตรวจสอบผล
ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณตัวเก็บประจุ
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง
ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรตัวเก็บประจุ
- ขั้นสรุป
นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานตัวเก็บประจุ

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation
ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในความเหนี่ยวนำ
- ขั้น Information
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานความเหนี่ยวนำ
- ขั้น Progress
ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับความเหนี่ยวนำได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม
เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำอย่างรอบครอบ
- ขั้นสอน
สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
- ขั้นสรุป
นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 5
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซี วันที่เริ่มงาน ออปแอมป์					
ผู้ปฏิบัติ		ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง			
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและวงจรอาร์ซีออปแอมป์)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรอันดับหนึ่ง	ทฤษฎี 2 ชม.
	ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรอันดับหนึ่ง	ปฏิบัติ 3 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์งานวงจรอันดับหนึ่งเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวหรือตัวเหนี่ยวนำตัวเดียว

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรทรานเซียนต์อันดับหนึ่ง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายคุณลักษณะการสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำได้

4.2. บอกรูปแบบทั่วไปของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งได้

4.3. คำนวณผลตอบสนองในภาวะชั่วครู่ของวงจร RC ขณะอัดประจุและขณะคายประจุได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

5.1 บทนำ

5.2 รูปแบบทั่วไปของสมการตอบสนอง

5.3 ผลตอบสนองในภาวะชั่วครู่ของวงจร RC ต่อแรงดันกระแสตรง

5.4 ผลตอบสนองในภาวะชั่วครู่ของวงจร RL ต่อแรงดันกระแสตรง

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 9/15, คาบที่ 41-45/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอนโดยย่อ

2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 6

3. ครูนำเข้าสู่วิธีเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้

4. ครูสอนเนื้อหาสาระ หัวข้อ 6.1-6.3
5. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่ม ๆ ละ 3-4 คน ทำการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม
6. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 6, PowerPoint ประกอบการสอนและแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

- ในสถานศึกษา :**
1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002

- นอกสถานศึกษา :**
2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 6	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 6	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบฝึกหัด ข้อที่เลือกจำลองด้วยโปรแกรม	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 6	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 6
2. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 6
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.
3. _____. (2005). **Introductory DC/AC Circuits**
4. Floyd, Thomas L. (2001). **Electronic Fundamentals**.
5. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice**.

10. บันทึกหลังการสอน

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 เรื่องงานวงจรอันดับหนึ่ง สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายระตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 6	หน่วยที่ 6
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรอันดับหนึ่ง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรอันดับหนึ่ง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์งานวงจรอันดับหนึ่งเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวหรือตัวเหนี่ยวนำตัวเดียว

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรทรานเซียนต์อันดับหนึ่ง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายคุณลักษณะการสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำได้
- 4.2. บอกรูปแบบทั่วไปของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งได้
- 4.3. คำนวณผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RC ขณะอัดประจุและขณะคายประจุได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

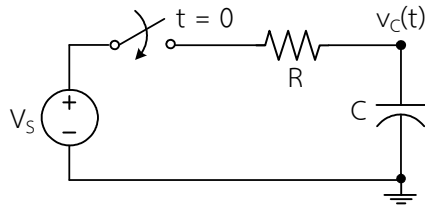
5. สารการเรียนรู้

5.1 บทนำ

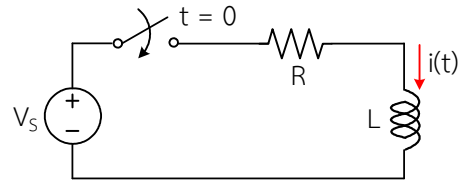
5.2 รูปแบบทั่วไปของสมการตอบสนอง

วงจรในรูปที่ 6.4 ก) พิจารณาที่เวลา $t = 0$ เมื่อสวิตช์ปิด ประยุกต์ใช้ KCL ที่โนด $v_C(t)$ เพื่อหาค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ สำหรับ $t = 0$ คือ

$$C \frac{dv_C(t)}{dt} + \frac{v(t) - V_s}{R} = 0$$



ก) วงจร RC



ข) วงจร RL

รูปที่ 6.4 วงจร RC และวงจร RL

หรือ
$$\frac{dv(t)}{dt} + \frac{v(t)}{RC} = \frac{V_S}{RC}$$

จากที่กล่าวมา จึงได้สมมติให้ผลเฉลยของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งอยู่ในเทอม

$$v(t) = A_1 + A_2 e^{-t/\tau}$$

แทนค่าผลเฉลยนี้ลงในสมการอนุพันธ์ ได้เป็น

$$-\frac{A_2}{\tau} e^{-t/\tau} + \frac{A_1}{RC} + \frac{A_2}{RC} e^{-t/\tau} = \frac{V_S}{RC}$$

พิจารณาค่าคงที่ในสมการและในเทอมเอกซ์โพเนนเชียล ได้เป็น

$$A_1 = V_S$$

$$\tau = RC$$

ดังนั้น

$$v(t) = V_S + A_2 e^{-t/RC}$$

เมื่อ V_S คือ ค่าสถานะอยู่ตัว (steady state) และ RC คือ ค่าคงตัวเวลาของวงจร และ A_2 คือ การหาค่าโดยเงื่อนไขเริ่มต้นของตัวเก็บประจุ ถ้าตัวเก็บประจุขณะเริ่มต้นไม่มีประจุหรือไม่ได้ชาร์จไว้ (แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเป็นศูนย์ ที่ $t = 0$) ดังนั้น

$$0 = V_S + A_2 \quad \text{หรือ} \quad A_2 = -V_S$$

ดังนั้นผลเฉลยสมบูรณ์ (การตอบสนองธรรมชาติ) สำหรับแรงดัน $v(t)$ คือ แรงดันขณะอัดประจุ

$$v_C(t) = V_S - V_S e^{-t/RC} = V_S(1 - e^{-t/RC})$$

วงจรในรูปที่ 6.4 ข) สามารถพิจารณาในทำนองเดียวกัน สมการ KVL ใช้บอกกระแสตัวเหนี่ยวนำ

สำหรับ $t > 0$ คือ
$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) = V_S$$

เมื่อดำเนินการกับสมการเช่นเดียวกับสมการของตัวเก็บประจุ ได้เป็น

$$i(t) = \frac{V_S}{R} + A_2 e^{-(R/L)t}$$

เมื่อ V_S/R คือ ค่าสถานะอยู่ตัว และ L/R คือ ค่าคงตัวเวลาของวงจร ถ้าไม่มีกระแสเริ่มต้นในตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นที่เวลา $t = 0$:

$$0 = \frac{V_S}{R} + A_2 \quad \text{และ} \quad A_2 = -\frac{V_S}{R}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{V_S}{R} - \frac{V_S}{R} e^{-(R/L)t} \\ &= \frac{V_S}{R} (1 - e^{-(R/L)t}) \end{aligned}$$

ถ้าต้องการคำนวณแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน ได้เป็น

$$\begin{aligned} v_R(t) &= Ri(t) \\ &= V_S(1 - e^{-(R/L)t}) \end{aligned}$$

5.3 ผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RC ต่อแรงดันกระแสตรง

- 6.3.1 ภาวะชั่วครู่ขณะตัวเก็บประจุอัดประจุไฟฟ้า (Charge Transients)
- 6.3.2 ภาวะชั่วครู่ขณะตัวเก็บประจุคายประจุไฟฟ้า (Discharge Transients)
- 6.3.3 ภาวะเริ่มต้นและสถานะอยู่ตัว

5.4 ผลตอบสนองในภาวะชั่วครู่ของวงจร RL ต่อแรงดันกระแสดตรง

- 6.4.1 ภาวะชั่วครู่ขณะตัวเหนี่ยวนำสะสมพลังงาน
- 6.4.2 ภาวะชั่วครู่ขณะตัวเหนี่ยวนำปล่อยพลังงาน
- 6.4.3 ภาวะเริ่มต้นและสถานะอยู่ตัว

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน้าที่ 6 วงจรไฟฟ้าอันดับหนึ่ง

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกเพียงข้อเดียว

1. ในรูปแบบทั่วไปของสมการตอบสนองสำหรับงานวงจรอันดับหนึ่ง ผลตอบสนองรวมเรียกว่าอะไร?
 - ก. ผลตอบสนองสมบูรณ์ (Complete Response)
 - ข. ผลตอบสนองในภาวะคงตัว (Steady-State Response)
 - ค. ผลตอบสนองธรรมชาติ (Natural Response)
 - ง. ผลตอบสนองบังคับ (Forced Response)
2. สมการใดที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ ($V_C(t)$) ในวงจร RC เมื่อชาร์จจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสดตรง VS จากสถานะเริ่มต้นที่ไม่มีประจุ?
 - ก. $V_C(t) = V_S e^{-t/RC}$
 - ข. $I_C(t) = (V_S/R) e^{-t/RC}$
 - ค. $V_C(t) = V_S / (1 + e^{-t/RC})$
 - ง. $V_C(t) = V_S (1 - e^{-t/RC})$
3. ในวงจร RC ค่าคงที่เวลา ($\tau = RC$) หมายถึงอะไร?
 - ก. เวลาที่วงจรถึงภาวะคงตัว
 - ข. เวลาที่แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุลดลงเหลือ 36.8% ของค่าเริ่มต้น
 - ค. เวลาที่แรงดันคร่อมตัวเหนี่ยวนำถึงค่าสูงสุด
 - ง. เวลาที่กระแสในตัวเหนี่ยวนำลดลงเหลือ 36.8% ของค่าเริ่มต้น
4. สูตรสำหรับคำนวณค่าคงที่เวลา (τ) ของวงจร RL คือข้อใด?
 - ก. $1/(LC)$
 - ข. RC
 - ค. R/L
 - ง. L/R
5. ในภาวะชั่วครู่ของวงจร RL เมื่อสวิตช์ปิด ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ?
 - ก. กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันไปสู่ค่าคงตัว
 - ข. กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้
 - ค. แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะเป็นศูนย์ทันที
 - ง. กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเป็นศูนย์ทันที

6. สมการใดที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ ($i_L(t)$) ในวงจร RL เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง V_S จากสถานะเริ่มต้นที่ไม่มีกระแส?

ก. $i_L(t) = (V_S/R)e^{-Rt/L}$

ข. $v_L(t) = V_S(1 - e^{-Rt/L})$

ค. $i_L(t) = V_S/(R + e^{-Rt/L})$

ง. $i_L(t) = (V_S/R)(1 - e^{-Rt/L})$

7. โดยทั่วไปแล้ว วงจร RC หรือ RL จะถือว่าเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) หลังจากเวลาผ่านไปกี่เท่าของค่าคงที่เวลา (τ)?

ก. 5 เท่าของค่าคงที่เวลา (τ)

ข. 1 เท่าของค่าคงที่เวลา (τ)

ค. 10 เท่าของค่าคงที่เวลา (τ)

ง. 0.5 เท่าของค่าคงที่เวลา (τ)

8. ในสภาวะคงตัว (Steady State) ของวงจร RC ที่ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง (DC) ตัวเก็บประจุจะมีพฤติกรรมอย่างไร?

ก. ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นวงจรเปิด

ข. แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าเป็นศูนย์

ค. ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นวงจรลัดวงจร

ง. กระแสไฟฟ้าในวงจรจะสลับทิศทาง

9. ในสภาวะคงตัว (Steady State) ของวงจร RL ที่ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง (DC) ตัวเหนี่ยวนำจะมีพฤติกรรมอย่างไร?

ก. ตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เป็นวงจรเปิด

ข. แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ค. ตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เป็นวงจรลัดวงจร

ง. กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเป็นศูนย์

10. ในรูปแบบทั่วไปของสมการตอบสนอง ส่วนใดที่มักจะลดลงเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป (มีลักษณะเป็นเอกซ์โพเนนเชียลลดลง) และแสดงถึงพฤติกรรมของวงจรเอง?

ก. ผลตอบสนองธรรมชาติ (Natural Response)

ข. ผลตอบสนองบังคับ (Forced Response)

ค. ผลตอบสนองคงตัว (Steady-State Response)

ง. ผลตอบสนองอินพุต (Input Response)

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Boylestad, Robert. (2003). *Introductory Circuit Analysis*.
3. Cook, Nigel P. (2004). *Electronic. A Complete Course*.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). *Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice*.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน้าที่ 6 วงจรไฟฟ้าอันดับหนึ่ง

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ในรูปแบบทั่วไปของสมการตอบสนองสำหรับงานวงจรอันดับหนึ่ง ผลตอบสนองรวมเรียกว่าอะไร?

ก. ผลตอบสนองสมบูรณ์ (Complete Response)

ข. ผลตอบสนองในภาวะคงตัว (Steady-State Response)

ค. ผลตอบสนองธรรมชาติ (Natural Response)

ง. ผลตอบสนองบังคับ (Forced Response)

2. สมการใดที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ ($V_C(t)$) ในวงจร RC เมื่อชาร์จจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง VS จากสถานะเริ่มต้นที่ไม่มีประจุ?

ก. $V_C(t) = V_S e^{-t/RC}$

ข. $I_C(t) = (V_S/R) e^{-t/RC}$

ค. $V_C(t) = V_S / (1 + e^{-t/RC})$

ง. $V_C(t) = V_S (1 - e^{-t/RC})$

3. ในวงจร RC ค่าคงที่เวลา ($\tau = RC$) หมายถึงอะไร?

ก. เวลาที่วงจรถึงภาวะคงตัว

ข. เวลาที่แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุลดลงเหลือ 36.8% ของค่าเริ่มต้น

ค. เวลาที่แรงดันคร่อมตัวเหนี่ยวนำถึงค่าสูงสุด

ง. เวลาที่กระแสในตัวเหนี่ยวนำลดลงเหลือ 36.8% ของค่าเริ่มต้น

4. สูตรสำหรับคำนวณค่าคงที่เวลา (τ) ของวงจร RL คือข้อใด?

ก. $1/(LC)$

ข. RC

ค. R/L

ง. L/R

5. ในภาวะชั่วคราวของวงจร RL เมื่อสวิตช์ปิด ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ?

ก. กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันไปสู่ค่าคงตัว

ข. กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้

ค. แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะเป็นศูนย์ทันที

ง. กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเป็นศูนย์ทันที

6. สมการใดที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ ($I_L(t)$) ในวงจร RL เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง VS จากสถานะเริ่มต้นที่ไม่มีกระแส?

ก. $I_L(t) = (V_S/R) e^{-Rt/L}$

ข. $V_L(t) = V_S (1 - e^{-Rt/L})$

ค. $I_L(t) = V_S / (R + e^{-Rt/L})$

ง. $I_L(t) = (V_S/R) (1 - e^{-Rt/L})$

7. โดยทั่วไปแล้ว วงจร RC หรือ RL จะถือว่าเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) หลังจากเวลาผ่านไปกี่เท่าของค่าคงที่เวลา (τ)?

ก. 5 เท่าของค่าคงที่เวลา (τ)

ข.1 เท่าของค่าคงที่เวลา (\$ au\$)

ค.10 เท่าของค่าคงที่เวลา (\$ au\$)

ง.0.5 เท่าของค่าคงที่เวลา (\$ au\$)

8.ในสภาวะคงตัว (Steady State) ของวงจร RC ที่ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง (DC) ตัวเก็บประจุจะมีพฤติกรรมอย่างไร?

ก.ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นวงจรเปิด

ข.แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าเป็นศูนย์

ค.ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นวงจรลัดวงจร

ง.กระแสไฟฟ้าในวงจรจะสลับทิศทาง

9.ในสภาวะคงตัว (Steady State) ของวงจร RL ที่ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง (DC) ตัวเหนี่ยวนำจะมีพฤติกรรมอย่างไร?

ก.ตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เป็นวงจรเปิด

ข.แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ค.ตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เป็นวงจรลัดวงจร

ง.กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเป็นศูนย์

10.ในรูปแบบทั่วไปของสมการตอบสนอง ส่วนใดที่มักจะลดลงเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป (มีลักษณะเป็นเอกซ์โพเนนเชียลลดลง) และแสดงถึงพฤติกรรมของวงจรเอง?

ก.ผลตอบสนองธรรมชาติ (Natural Response)

ข.ผลตอบสนองบังคับ (Forced Response)

ค.ผลตอบสนองคงตัว (Steady-State Response)

ง.ผลตอบสนองอินพุต (Input Response)

คำสั่ง จงแสดงวิธีทำให้ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์

เรื่อง ผลตอบสนองในภาวะชั่วครู่ของวงจร RC ต่อแรงดันกระแสตรง

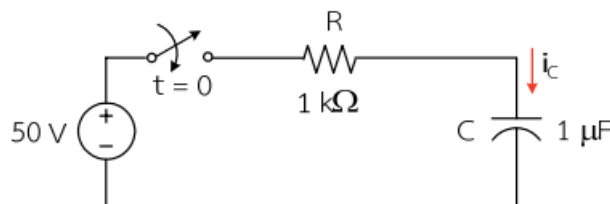
1. จากรูป ตัวเก็บประจุไม่มีประจุอยู่ก่อนที่เวลา $t = 0^-$ ถ้าสวิตช์ปิดที่เวลา $t = 0$ จงหากระแส i_C ที่ $t = 0^+$ (ตอบ $i_C = 50\text{mA}$)

.....

.....

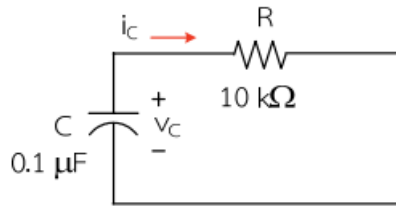
.....

.....

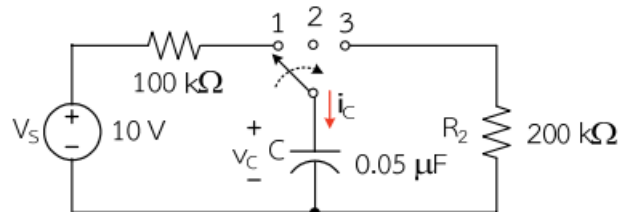


2. จากรูป ถ้า $v_C(0^+) = 20\text{ V}$ จงหา v_C และ i_C ที่เวลา $t = 2\text{ ms}$ และ $t = 4\text{ ms}$

(ตอบ ที่ $t = 2\text{ ms}$ ได้ $v_C = 2.707\text{ V}$, $i_C = 0.2707\text{ mA}$ และที่ $t = 4\text{ ms}$ ได้ $v_C = 0.366\text{ V}$, $i_C = 0.0366\text{ mA}$)



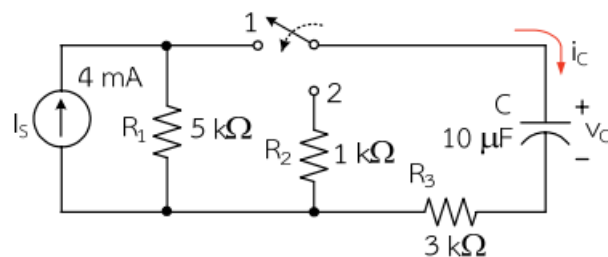
3. จากรูป ก) จงหาพฤติกรรมภาวะชั่วครู่ของ v_C ถ้าสวิตช์ปิดมาตำแหน่ง 1 ที่เวลา $t = 0$
 ข) จากข้อ ก) จงหา i_C ค) จงหา v_C และ i_C ถ้าสวิตช์ปิดมาที่ตำแหน่ง 2 ที่เวลา $t = 30 \text{ ms}$
 ง) จงหา v_C และ i_C ถ้าสวิตช์ปิดมาที่ตำแหน่ง 3 ที่เวลา $t = 48 \text{ ms}$
 จ) จงวาดรูปคลื่นของ v_C และ i_C จากข้อ ก-ง ที่เวลาเดียวกันบนแกน x ใช้สภาพชั่วและทิศทางจากรูป



[ตอบ ก) $v_C = 10(1 - t/(5 \cdot 10^{-3}) \cdot 3 e^{-t/(5 \cdot 10^{-3})}) \text{ V}$ ข) $i_C = (0.1 \times 10^{-3}) t / (80 \cdot 10^{-3}) \cdot 3 e^{-t/(80 \cdot 10^{-3})} \text{ A}$ ค) $v_C = 10 \text{ V}$, $i_C = 0 \text{ A}$ ง) $v_C = 10 \text{ V}$, $i_C = 0 \text{ A}$ จ) วาดรูปคลื่นของ v_C และ i_C จากข้อ ก-ง ที่เวลาเดียวกันบนแกน x ใช้สภาพชั่วและทิศทางจากรูป]

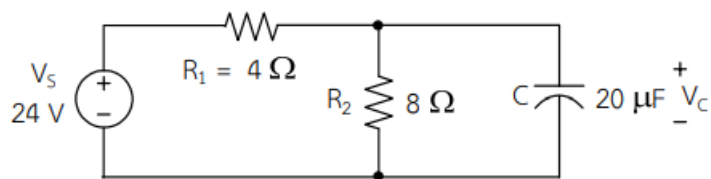
4. จากรูป (Boylesad, Robert. 2003: 390–391)

- ก) จงหาพฤติกรรมภาวะชั่วครู่ของ v_C ถ้าสวิตช์ปิดมาตำแหน่ง 1 ที่เวลา $t = 0 \text{ s}$
 ข) จากข้อ ก) จงหา i_C
 ค) จงหา v_C และ i_C ถ้าสวิตช์ปิดมาที่ตำแหน่ง 2 ที่เวลา $t = 1 \tau$
 ง) จงวาดรูปคลื่นของ v_C และ i_C จากข้อ ก-ค ที่เวลาเดียวกันบนแกน x ใช้สภาพชั่วและทิศทางจากรูป



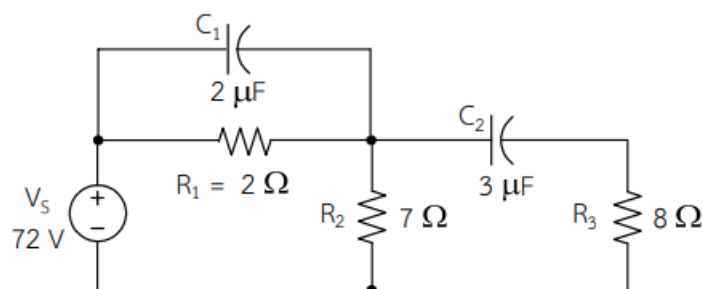
[ตอบ ก) $v_C = 20(1 - t/(80 \cdot 10^{-3}) \cdot 3 e^{-t/(80 \cdot 10^{-3})}) \text{ V}$ ข) $i_C = (2.5 \times 10^{-3}) t / (80 \cdot 10^{-3}) \cdot 3 e^{-t/(80 \cdot 10^{-3})} \text{ A}$ ค) $v_C = 12.64 t / (40 \cdot 10^{-3}) \cdot 3 e^{-t/(40 \cdot 10^{-3})} \text{ V}$, $i_C = -3.16 \times 10^{-3} t / (40 \cdot 10^{-3}) \cdot 3 e^{-t/(40 \cdot 10^{-3})} \text{ A}$ ง) วาดรูปคลื่นของ v_C และ i_C จากข้อ ก-ค ที่เวลาเดียวกันบนแกน x ใช้สภาพชั่วและทิศทางจากรูป]

5. จากรูป จงหาแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ หลังจากตัวเก็บประจุได้รับการอัดประจุจนเต็มที่แล้ว
(ตอบ $V_C = 16 \text{ V}$)



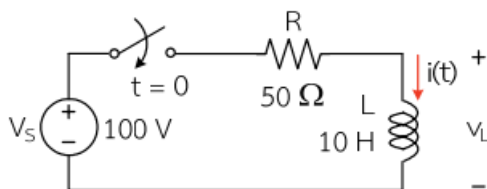
6. จากรูป จงหาแรงดันตกคร่อมบนตัวเก็บประจุทุกตัวหลังจากได้รับการอัดประจุจนเต็มที่แล้วและหาพลังงานสะสมบนตัวเก็บประจุทุกตัว (Boylesad, Robert. 2003: 406)

(ตอบ 1 $C_V = 16 \text{ V}$, 2 $C_V = 56 \text{ V}$, 1 $W_C = 256 \mu\text{J}$, 2 $W_C = 4704 \mu\text{J}$)



เรื่อง ผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RL ต่อแรงดันกระแสตรง

7. จากรูป

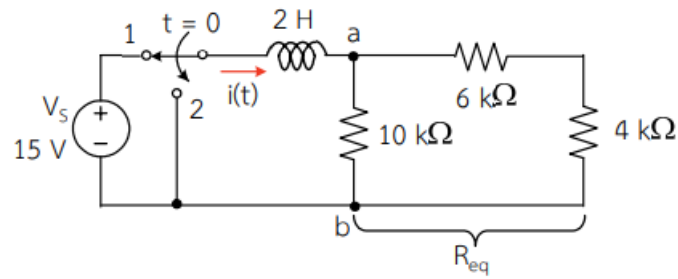


ก) จงหา i ที่เวลา $t = 0.4 \text{ s}$ (ตอบ 1.73 A)

ข) จงหา t เมื่อ $v_L = 70 \text{ V}$ (ตอบ 0.071 s)

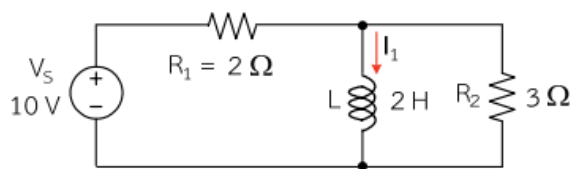
ค) จงหา t เมื่อ $v_R = v_L$ (ตอบ 0.139 s)

8. จากรูป สวิตช์ปิดที่ตำแหน่ง 1 เป็นเวลานานแล้ว ที่เวลา $t = 0$ โยกลสวิตช์ไปยังตำแหน่ง 2 จงหา $i(t)$ และ $v(t)$ ที่เวลา $t \geq 0$ [ตอบ $i(t) = 3.2500t e^{-\dots} \text{ mA}$, $v(t) = -15.2500t e^{-\dots} \text{ V}$]

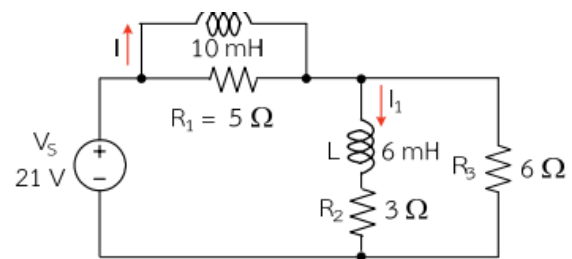


9. จากรูป ก) จงหาค่า i_1 ที่ $t > 5\tau$ และรูป ข) จงหาค่า i และ i_1 ที่ $t > 5\tau$

[ตอบ รูป ก) $i_1 = 5 \text{ A}$, รูป ข) $i = 10.5 \text{ A}$, $i_1 = 7 \text{ A}$]

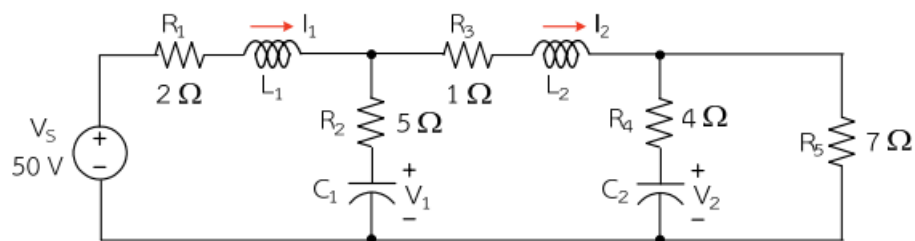


ก)



ข)

10. จงเขียนวงจรสมมูล ที่เวลา $t > 5\tau$



	ใบงานหน่วยที่ 6	หน่วยที่ 6
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรอันดับหนึ่ง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน ผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RC ต่อแรงดันกระแสตรง (RC Transient Response)		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์ทั้งงานวงจรอันดับหนึ่งเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวหรือตัวเหนี่ยวนำตัวเดียว

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรทรานเซียนต์อันดับหนึ่ง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายคุณลักษณะการสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำได้
- 4.2. บอกรูปแบบทั่วไปของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งได้
- 4.3. คำนวณผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RC ขณะอัดประจุและขณะคายประจุได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิจนิสัยในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

- ชุดจ่ายไฟ DC (DC Power Supply): 1 เครื่อง (ปรับแรงดันได้ เช่น 0-15V)
- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter - DMM): 1-2 เครื่อง (สำหรับวัดแรงดันและกระแส)
- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope): 1 เครื่อง (แบบ 2 Channel จะดีมาก สำหรับดูรูปคลื่นพร้อมกัน)
- โปรโตบอร์ด (Breadboard): 1 แผ่น
- ตัวต้านทาน (Resistors): ค่าต่างๆ เช่น 1kΩ, 10kΩ, 100kΩ
- ตัวเก็บประจุ (Capacitors): ค่าต่างๆ เช่น 0.1μF, 1μF, 10μF (เลือกชนิด Electrolytic สำหรับค่าสูงๆ และ Ceramic สำหรับค่าต่ำๆ)
- สวิตช์ (SPDT Switch): 1 ตัว (Single Pole Double Throw, สำหรับสลับการชาร์จ/คายประจุ)
- สายไฟสำหรับวงจร (Jumper Wires): จำนวนเพียงพอ

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

- ปิดแหล่งจ่ายไฟทุกครั้ง: ก่อนทำการเปลี่ยนแปลงวงจร (ต่อ/ถอดอุปกรณ์) ต้องปิดแหล่งจ่ายไฟทุกครั้งเพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์และผู้ทดลอง
- ระวังขั้วตัวเก็บประจุ Electrolytic: ตัวเก็บประจุชนิดนี้มีขั้วบวก/ลบ หากต่อผิดขั้วอาจเสียหายหรือระเบิดได้
- การเลือกค่า R และ C: เลือกค่า R และ C ให้ค่าคงที่เวลา $\tau = RC$ อยู่ในช่วงที่สามารถวัดผลได้ง่ายด้วยออสซิลโลสโคปหรือ DMM (เช่น 0.1 วินาทีถึง 5 วินาที)
- การวัดด้วย DMM: หากใช้ DMM ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน/กระแสในภาวะชั่วคราว อาจต้องอ่านค่าด้วยมืออย่างรวดเร็ว หรือใช้ออสซิลโลสโคปเพื่อการวัดที่แม่นยำกว่า
- ความต้านทานภายในของ DMM: พิจารณาความต้านทานภายในของ DMM เมื่อวัดแรงดันหรือกระแส โดยเฉพาะในวงจรที่มีความต้านทานสูง

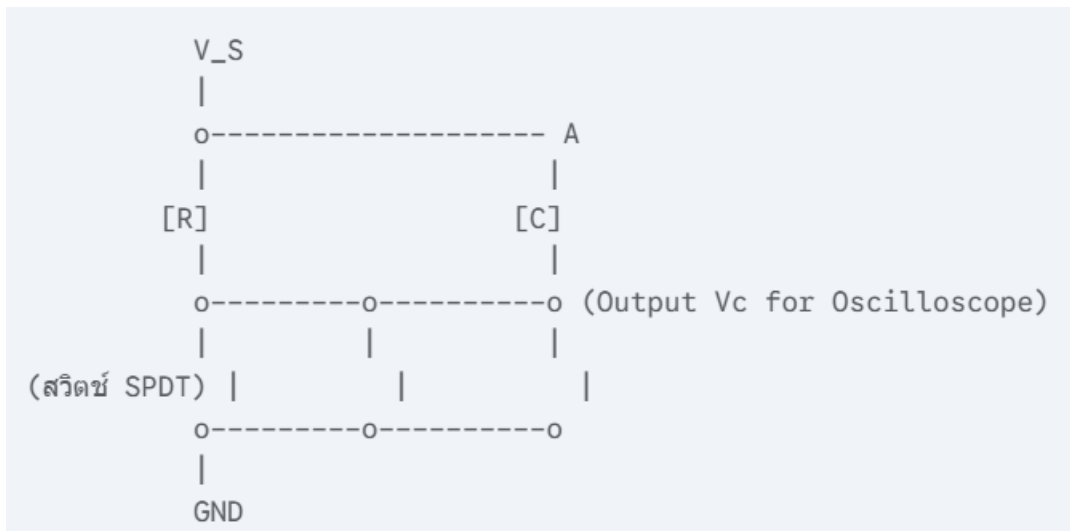
7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1.คำนวณทางทฤษฎี:

- วงจรชาร์จ (Charging):
 - แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ: $V_C(t) = V_S(1 - e^{-t/RC})$
 - กระแสผ่านวงจร: $I(t) = (V_S/R)e^{-t/RC}$
- วงจรคายประจุ (Discharging):
 - แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ: $V_C(t) = V_0e^{-t/RC}$ (โดย V_0 คือแรงดันเริ่มต้นที่ตัวเก็บประจุ)
 - กระแสผ่านวงจร: $I(t) = (-V_0/R)e^{-t/RC}$ (กระแสมีทิศทางตรงข้าม)
- คำนวณค่าคงที่เวลา $\tau = RC$ สำหรับคู่ R และ C ที่เลือก
- คำนวณค่าแรงดันและกระแสที่เวลา $t=0, \tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau, 5\tau$ สำหรับทั้งการชาร์จและการคายประจุ

2.การตั้งค่าวงจรและอุปกรณ์:

- 2.1 วงจรชาร์จ/คายประจุ:
 - ต่อวงจร RC บนโปรโตบอร์ดโดยมีสวิตช์ SPDT สำหรับเลือกโหมดชาร์จหรือคายประจุ
 - ปรับแหล่งจ่ายไฟ DC เป็นแรงดันค่าหนึ่ง (เช่น $V_S = 10V$)
 - ต่อ Channel 1 ของออสซิลโลสโคปขนานกับตัวเก็บประจุ (เพื่อวัด $V_C(t)$)
 - สำหรับวัดกระแส ($I(t)$): ต่อ Channel 2 ของออสซิลโลสโคปคร่อมตัวต้านทาน (วัด $V_R(t) = I(t) \times R$) หรือต่อ DMM ในโหมดวัดกระแสแบบอนุกรมในวงจร (ควรทำก่อนเริ่มจ่ายไฟและระมัดระวัง)



ภาพประกอบ (แนวคิด): วงจร RC Transient (ใช้สวิตช์ SPDT)

- เมื่อสวิตช์ต่อกับ V_S : ตัวเก็บประจุชาร์จ
- เมื่อสวิตช์ต่อกับ GND: ตัวเก็บประจุคายประจุผ่าน R

3. ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการวัดผล:

- 3.1 การชาร์จตัวเก็บประจุ:
 - ตรวจสอบให้แน่ใจว่าตัวเก็บประจุไม่มีประจุ (อาจลัดวงจรชั่วคราว C ชั่วครู่ก่อนเริ่ม)
 - ตั้งค่าออสซิลโลสโคป: ตั้งค่า Time/Div และ Volt/Div ให้เหมาะสมกับการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (V_C)
 - สับสวิตช์ไปยังตำแหน่งชาร์จ (ต่อ V_S เข้าวงจร)
 - บันทึกรูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ ($V_C(t)$) จากออสซิลโลสโคป
 - ใช้ฟังก์ชัน Cursor ของออสซิลโลสโคปเพื่อวัดค่าแรงดันที่เวลาต่างๆ (เช่น $t=0, \tau, 2\tau, \dots, 5\tau$) หรืออ่านค่าจากกราฟด้วยสายตา
 - บันทึกผลลงในตารางบันทึกผล
- 3.2 การคายประจุตัวเก็บประจุ:
 - รอให้ตัวเก็บประจุชาร์จเต็มจนถึง V_S
 - สับสวิตช์ไปยังตำแหน่งคายประจุ (ต่อ R เข้ากับ GND)
 - บันทึกรูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ ($V_C(t)$) จากออสซิลโลสโคป
 - วัดค่าแรงดันที่เวลาต่างๆ (จาก $t=0$ คือจุดที่เริ่มคายประจุ)
 - บันทึกผลลงในตารางบันทึกผล

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1: วงจร RC Transient Response

ค่า R (Ω)	ค่า C (F)	$\tau=RC$ (วินาที) (ทฤษฎี)	แรงดันแหล่งจ่าย (V_S) (V)

ตารางย่อย: การชาร์จตัวเก็บประจุ

เวลา (t) (s)	แรงดัน $V_C(t)$ (ทฤษฎี) (V)	แรงดัน $V_C(t)$ (วัดจริง) (V)
0		
1		
2		
3		
4		
5		

ตารางย่อย: การคายประจุตัวเก็บประจุ

เวลา (t) (s)	แรงดัน $V_C(t)$ (ทฤษฎี) (V)	แรงดัน $V_C(t)$ (วัดจริง) (V)
0 (เริ่มต้น)		
1		
2		
3		
4		
5		

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 6
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน การศึกษาคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ, ตัวเหนี่ยวนำ และวงจรออพแอมป์ วันที่เริ่มงาน					
ผู้ปฏิบัติ		ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง			
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การศึกษาคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ, ตัวเหนี่ยวนำ และวงจรออพแอมป์)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 6	หน่วยที่ 6
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรอันดับหนึ่ง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรอันดับหนึ่ง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์งานวงจรอันดับหนึ่งเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวหรือตัวเหนี่ยวนำตัวเดียว

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรทรานเซียนต์อันดับหนึ่ง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายคุณลักษณะการสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำได้
- 4.2. บอกรูปแบบทั่วไปของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งได้
- 4.3. คำนวณผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวของวงจร RC ขณะอัดประจุและขณะคายประจุได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษาการวิเคราะห์งานวงจรอันดับหนึ่งเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวหรือตัวเหนี่ยวนำตัวเดียว

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ การสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องการสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญเรื่องการสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม
ฟังการอธิบายสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง
- ขั้นสาธิต
ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง
- ขั้นฝึกปฏิบัติ
นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง
- ขั้นตรวจสอบผล
ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง
ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง
- ขั้นสรุป
นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation
ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในผลตอบสนองในภาวะชั่วครู่ของวงจร RC
- ขั้น Information
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานผลตอบสนองในภาวะชั่วครู่ของวงจร RC
- ขั้น Progress
ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับผลตอบสนองในภาวะชั่วครู่ของวงจร RC ได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม
เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำอย่างรอบครอบ
- ขั้นสอน
สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
- ขั้นสรุป
นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 6
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	งานวงจรอันดับหนึ่ง			วันที่เริ่มงาน	
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานวงจรอันดับหนึ่ง)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7	หน่วยที่ 7
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรอันดับสอง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรอันดับสอง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการตอบสนองของวงจรที่เกิดจากองค์ประกอบวงจรที่เก็บพลังงาน 2 ตัว
ในวงจร

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวงจรอันดับสอง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนานได้
- 4.2. เขียนสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนานได้
- 4.3. คำนวณพารามิเตอร์ของวงจร RLC ต่อขนานขณะมีแหล่งกำเนิดได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

5.1 การตอบสนองธรรมชาติของงานวงจรอันดับสอง

5.2 การตอบสนองบังคับของงานวงจรอันดับสอง

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 10/15, คาบที่ 46-50/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอนโดยย่อ
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 7
3. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
4. ครูสอนเนื้อหาสาระ หัวข้อ 7.1-7.2
5. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเป็นคนละ 1 ข้อ ขณะนักศึกษากำลังทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน

6. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
7. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่มๆ ละ 3-4 คน ทำการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม
8. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน
9. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 7

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 7, PowerPoint ประกอบการสอนและแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

- ในสถานศึกษา :**
1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002

- นอกสถานศึกษา :**
2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 7	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 7	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยโปรแกรม	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 7	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 7
2. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดที่จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 7
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

11. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.
3. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice**.

10. บันทึกหลังการสอน**ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้**

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7 เรื่องงานวงจรอันดับสอง สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายระตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 7	หน่วยที่ 7
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรอันดับสอง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรอันดับสอง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการตอบสนองของวงจรที่เกิดจากองค์ประกอบวงจรที่เก็บพลังงาน 2 ตัว
ในวงจร

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวงจรอันดับสอง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนานได้

4.2. เขียนสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนานได้

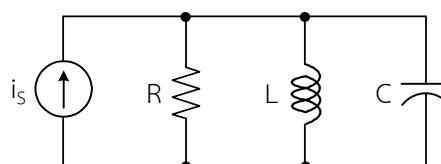
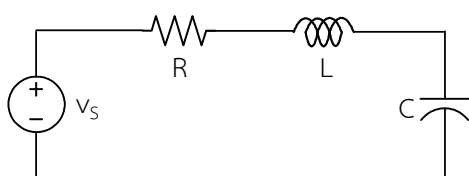
4.3. คำนวณพารามิเตอร์ของวงจร RLC ต่อขนานขณะมีแหล่งกำเนิดได้

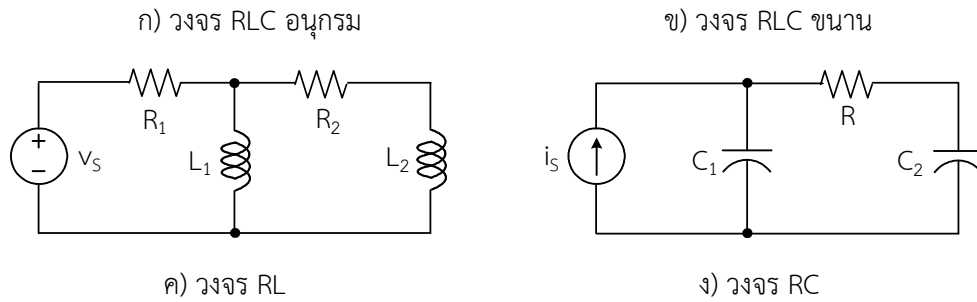
4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนัก
ถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

5.1 บทนำ

ในการวิเคราะห์งานวงจรอันดับสองนั้น คำตอบของสมการมีคำตอบ 2 ส่วนคือ (1) ผลตอบสนอง
ธรรมชาติ (natural response) เป็นการหาคำตอบโดยกำหนดแหล่งกำเนิดเท่ากับศูนย์ และ (2) ผลตอบสนอง
บังคับ (forced response) เป็นการหาคำตอบโดยอาศัยคุณสมบัติขององค์ประกอบอยู่ในสถานะอยู่ตัวเมื่อ
จ่ายไฟกระแสตรงให้วงจรเป็นเวลานานทำให้ตัวเก็บประจุเปิดวงจรและตัวเหนี่ยวนำลัดวงจร สำหรับตัวอย่าง
งานวงจรอันดับสองดังรูป



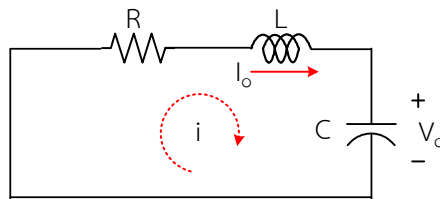


5.2 การตอบสนองธรรมชาติของงานวงจรอันดับสอง

7.2.1 วงจร RLC ต่ออนุกรมขณะไม่มีแหล่งกำเนิด

เมื่อพิจารณาวงจร RLC ต่ออนุกรมขณะไม่มีแหล่งกำเนิด วงจรนี้มีพลังงานสะสมเริ่มต้นในตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ แสดงอยู่ในรูปแรงดัน V_0 เริ่มต้นในตัวเก็บประจุและกระแส I_0 เริ่มต้นในตัวเหนี่ยวนำ ดังรูป ดังนั้นที่เวลา $t = 0$ เป็นไปตามสมการ

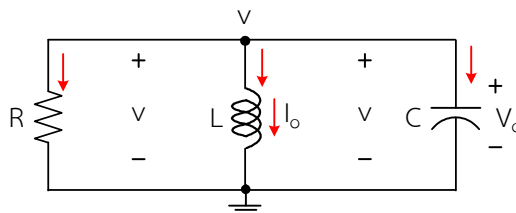
$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0$$



รูป วงจร RLC ต่ออนุกรมขณะไม่มีแหล่งกำเนิด

7.2.2 วงจร RLC ต่อขนานขณะไม่มีแหล่งกำเนิด

วงจร RLC ต่อขนานได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากมายและใช้มากในวงจรข่ายทางการสื่อสารและการออกแบบวงจรกรองสัญญาณ เมื่อพิจารณาวงจร RLC ต่อขนานดังรูปที่ 7.6 โดยสมมติให้ค่ากระแสเริ่มต้นในตัวเหนี่ยวนำเป็น I_0 และแรงดันเริ่มต้นในตัวเหนี่ยวนำเป็น V_0

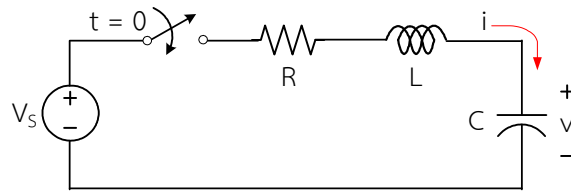


รูป วงจร RLC ต่อขนานขณะไม่มีแหล่งกำเนิด

5.3 การตอบสนองบังคับของงานวงจรอันดับสอง

7.3.1 วงจร RLC ต่ออนุกรมขณะมีแหล่งกำเนิด

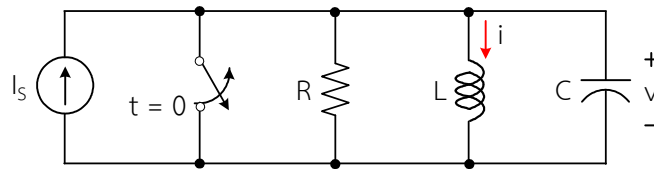
การได้เรียนรู้จากหน่วยก่อนนี้ว่าการตอบสนองต่อแหล่งจ่ายเนื่องจากสัญญาณเป็นขั้น (step) จะเกิดขึ้นเมื่อต่อแหล่งกำเนิดที่เป็นไฟกระแสตรงให้กับวงจร RLC ต่ออนุกรมอย่างทันทีทันใด ดังรูป และประยุกต์ใช้ KVL รอบลูปปิดสำหรับที่เวลา $t > 0$



รูป แรงดันเป็นขั้นขึ้นจ่ายให้วงจร RLC ที่ต่ออนุกรม

7.3.2 วงจร RLC ต่อขนานขณะมีแหล่งกำเนิด

เมื่อพิจารณาวงจร RLC ต่อขนาน ดังรูปที่ 7.8 ถ้าต้องการหา i จากการต่อแหล่งกำเนิดกระแส- ตรงเข้าไปในวงจรอย่างฉับพลัน และเมื่อประยุกต์ใช้ KCL ที่โนดบนสุดสำหรับที่เวลา $t > 0$ ได้เป็น



รูป วงจร RLC ต่อขนานขณะมีแหล่งกำเนิดกระแส

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน่วยที่ 7 งานวงจรอันดับสอง

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ในงานวงจรอันดับสอง ค่าใดที่ใช้แทนความถี่เชิงมุมที่วงจรจะสั่นถ้าหากไม่มีการหน่วง (damping) เกิดขึ้นเลย?

- ก. α (Neper frequency)
- ข. ω_0 (Undamped natural frequency)
- ค. ζ (Damping ratio)
- ง. ω_d (Damped natural frequency)

2. หากอัตราส่วนการหน่วง (ζ) ของงานวงจรอันดับสองมีค่ามากกว่า 1 ($\zeta > 1$) การตอบสนองธรรมชาติของวงจรจะเป็นแบบใด?

- ก. Undamped (ไม่มีการหน่วง)
- ข. Critically Damped (หน่วงวิกฤต)
- ค. Underdamped (หน่วงน้อยกว่าวิกฤต)
- ง. Overdamped (หน่วงเกิน)

3. ข้อใดอธิบายลักษณะการตอบสนองธรรมชาติของวงจรแบบ Critically Damped ได้ถูกต้องที่สุด?

- ก. ไม่มีการสั่นและกลับสู่ภาวะคงตัวอย่างช้าๆ
- ข. มีการสั่นอย่างต่อเนื่องโดยไม่ลดขนาดลง
- ค. ไม่มีการสั่นและกลับสู่ภาวะคงตัวอย่างรวดเร็วที่สุด
- ง. มีการสั่นและลดขนาดลงเรื่อยๆ

4.รากของสมการลักษณะเฉพาะ (Characteristic Equation) ของงานวงจรอันดับสอง บอกอะไรเกี่ยวกับผลตอบสนองธรรมชาติ?

- ก. ค่าสุดท้ายในสภาวะคงตัว
- ข. รูปแบบและประเภทของการตอบสนอง (เช่น Overdamped, Underdamped)
- ค. ความถี่ของแหล่งจ่ายภายนอก
- ง. ขนาดแอมพลิจูดเริ่มต้นของการสั่น

5.การตอบสนองธรรมชาติของงานวงจรอันดับสองเกิดจากอะไร?

- ก. แหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสภายนอกที่ต่อกับวงจร
- ข. พลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ
- ค. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรอย่างกะทันหัน
- ง. ค่าความต้านทานในวงจรเท่านั้น

6.ข้อใดคือคำจำกัดความของ 'การตอบสนองบังคับ' (Forced Response) ของงานวงจรอันดับสอง?

- ก. เป็นผลตอบสนองในสภาวะคงตัวที่เกิดจากแหล่งจ่ายอิสระภายนอก
- ข. เป็นส่วนของการตอบสนองที่ลดลงเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป
- ค. เป็นผลตอบสนองของวงจรเมื่อไม่มีแหล่งจ่ายภายนอก
- ง. เป็นผลรวมของการตอบสนองธรรมชาติและการตอบสนองชั่วคราว

7.เมื่อวงจร RLC อนุกรมถูกต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ในสภาวะคงตัว (steady state) การตอบสนองบังคับของแรงดันคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าเท่าใด?

- ก. ขึ้นอยู่กับค่า R, L, C
- ข. เป็นศูนย์
- ค. มีค่าเป็นอนันต์
- ง. เท่ากับแรงดันของแหล่งจ่าย (VS)

8.รูปแบบ (form) ของการตอบสนองบังคับของงานวงจรอันดับสองจะเหมือนกับอะไร?

- ก. ค่าคงที่เสมอ
- ข. รูปแบบของการตอบสนองธรรมชาติเสมอ
- ค. รูปแบบของฟังก์ชันกระตุ้น (แหล่งจ่ายภายนอก)
- ง. ค่าเริ่มต้นของแรงดันและกระแส

9.การตอบสนองสมบูรณ์ (Complete Response) ของงานวงจรอันดับสองคืออะไร?

- ก. ผลรวมของการตอบสนองธรรมชาติและการตอบสนองบังคับ
- ข. ค่าเฉลี่ยของการตอบสนองธรรมชาติและการตอบสนองบังคับ
- ค. ผลตอบสนองธรรมชาติเท่านั้น
- ง. ผลตอบสนองบังคับเท่านั้น

10.ในวงจร RLC ขนานที่ไม่มีแหล่งจ่าย การตอบสนองธรรมชาติของแรงดันไฟฟ้าจะเป็นแบบ Underdamped เมื่อใด?

- ก. $\alpha < \omega_0$
- ข. $\alpha = 0$
- ค. $\alpha > \omega_0$
- ง. $\alpha = \omega_0$

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Boylestad, Robert. (2003). *Introductory Circuit Analysis*.
3. Cook, Nigel P. (2004). *Electronic. A Complete Course*.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). *Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice*.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน่วยที่ 7 งานวงจรอันดับสอง

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ในงานวงจรอันดับสอง ค่าใดที่ใช้แทนความถี่เชิงมุมที่วงจรจะสั่นถ้าหากไม่มีการหน่วง (damping) เกิดขึ้นเลย?

ก. α (Neper frequency)

ข. ω_0 (Undamped natural frequency)

ค. ζ (Damping ratio)

ง. ω_d (Damped natural frequency)

2. หากอัตราส่วนการหน่วง (ζ) ของงานวงจรอันดับสองมีค่ามากกว่า 1 ($\zeta > 1$) การตอบสนองธรรมชาติของวงจรจะเป็นแบบใด?

ก. Undamped (ไม่มีการหน่วง)

ข. Critically Damped (หน่วงวิกฤต)

ค. Underdamped (หน่วงน้อยกว่าวิกฤต)

ง. Overdamped (หน่วงเกิน)

3. ข้อใดอธิบายลักษณะการตอบสนองธรรมชาติของวงจรแบบ Critically Damped ได้ถูกต้องที่สุด?

ก. ไม่มีการสั่นและกลับสู่ภาวะคงตัวอย่างช้าๆ

ข. มีการสั่นอย่างต่อเนื่องโดยไม่ลดขนาดลง

ค. ไม่มีการสั่นและกลับสู่ภาวะคงตัวอย่างรวดเร็วที่สุด

ง. มีการสั่นและลดขนาดลงเรื่อยๆ

4. รากของสมการลักษณะเฉพาะ (Characteristic Equation) ของงานวงจรอันดับสอง บอกอะไรเกี่ยวกับผลตอบสนองธรรมชาติ?

ก. ค่าสุดท้ายในสภาวะคงตัว

ข. รูปแบบและประเภของการตอบสนอง (เช่น Overdamped, Underdamped)

ค. ความถี่ของแหล่งจ่ายภายนอก

ง. ขนาดแอมพลิจูดเริ่มต้นของการสั่น

5. การตอบสนองธรรมชาติของงานวงจรอันดับสองเกิดจากอะไร?

ก. แหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสภายนอกที่ต่อกับวงจร

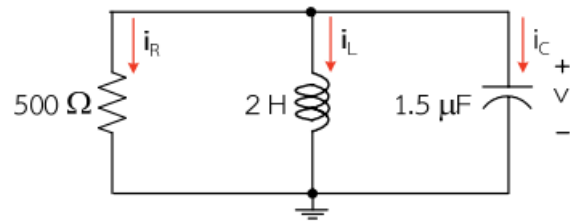
ข. พลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

- ค. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรอย่างกะทันหัน
- ง. ค่าความต้านทานในวงจรเท่านั้น
6. ข้อใดคือคำจำกัดความของ 'การตอบสนองบังคับ' (Forced Response) ของงานวงจรอันดับสอง?
- ก. เป็นผลตอบสนองในสภาวะคงตัวที่เกิดจากแหล่งจ่ายอิสระภายนอก
- ข. เป็นส่วนของการตอบสนองที่ลดลงเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป
- ค. เป็นผลตอบสนองของวงจรเมื่อไม่มีแหล่งจ่ายภายนอก
- ง. เป็นผลรวมของการตอบสนองธรรมชาติและการตอบสนองชั่วคราว
7. เมื่อวงจร RLC อนุกรมถูกต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ในสภาวะคงตัว (steady state) การตอบสนองบังคับของแรงดันคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าเท่าใด?
- ก. ขึ้นอยู่กับค่า R, L, C
- ข. เป็นศูนย์
- ค. มีค่าเป็นอนันต์
- ง. เท่ากับแรงดันของแหล่งจ่าย (VS)
8. รูปแบบ (form) ของการตอบสนองบังคับของงานวงจรอันดับสองจะเหมือนกับอะไร?
- ก. ค่าคงที่เสมอ
- ข. รูปแบบของการตอบสนองธรรมชาติเสมอ
- ค. รูปแบบของฟังก์ชันกระตุ้น (แหล่งจ่ายภายนอก)
- ง. ค่าเริ่มต้นของแรงดันและกระแส
9. การตอบสนองสมบูรณ์ (Complete Response) ของงานวงจรอันดับสองคืออะไร?
- ก. ผลรวมของการตอบสนองธรรมชาติและการตอบสนองบังคับ
- ข. ค่าเฉลี่ยของการตอบสนองธรรมชาติและการตอบสนองบังคับ
- ค. ผลตอบสนองธรรมชาติเท่านั้น
- ง. ผลตอบสนองบังคับเท่านั้น
10. ในวงจร RLC ขนานที่ไม่มีแหล่งจ่าย การตอบสนองธรรมชาติของแรงดันไฟฟ้าจะเป็นแบบ Underdamped เมื่อใด?
- ก. $\alpha < \omega_0$
- ข. $\alpha = 0$
- ค. $\alpha > \omega_0$
- ง. $\alpha = \omega_0$

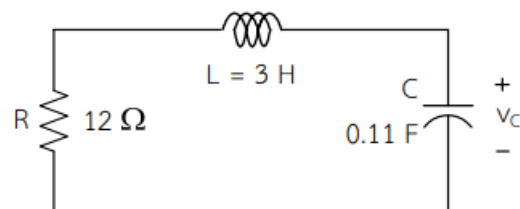
จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์

เรื่อง การตอบสนองธรรมชาติของงานวงจรอันดับสอง

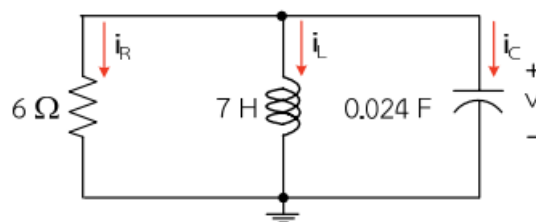
1. วงจร RLC ขนานดังรูป จงหาค่าต่อไปนี้
 - ก) ค่า s_1 และ s_2 (ตอบ -333.33 rad/s , $2.22 \times 10^5 \text{ rad/s}$)
 - ข) การตอบสนองของวงจรเป็นแบบใด (ตอบ หน่วงเกิน)
 - ค) ถ้าเปลี่ยน R เป็น $690 \, \Omega$ การตอบสนองของวงจรจะเป็นแบบใด (ตอบ หน่วงขาด)
 - ง) วงจรมีการตอบสนองแบบหน่วงวิกฤต เมื่อ R มีค่าเท่าไร (ตอบ $577.35 \, \Omega$)



2. วงจร RLC อนุกรมดังรูป ถ้ากำหนดให้แรงดัน $v_C(0^+) = -12 \text{ V}$ และกระแส $i(0^+) = 2 \text{ A}$ จงหาการตอบสนอง ของกระแส $i(t)$ (ตอบ $i(t) = e^{-t} + e^{-3t} \text{ A}$)

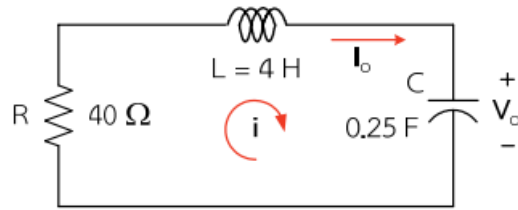


3. วงจร RLC ขนานดังรูป ถ้ากำหนดให้แรงดัน $v(0^+) = 20 \text{ V}$ และกระแส $i(0^+) = 10 \text{ A}$ จงหาการตอบสนอง แรงดันของวงจร



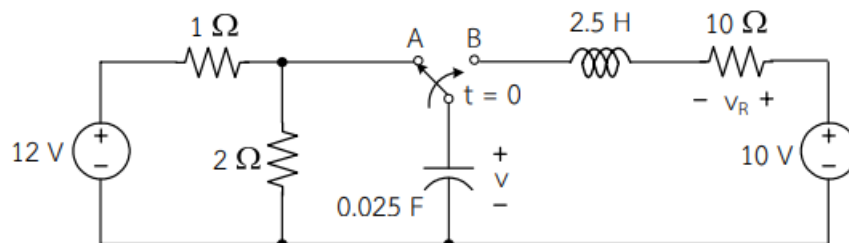
(ตอบ $v = -87.97e^{-t} + 107.97e^{-6t} \text{ V}$ ที่เวลา $t \geq 0$)

4. จากรูป จงคำนวณหารากของสมการคุณลักษณะของวงจรและการตอบสนองของวงจรเป็นแบบใด



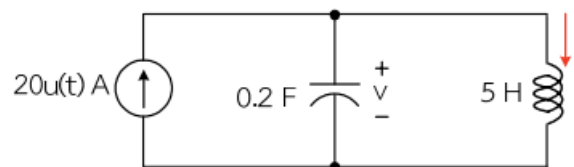
เรื่อง การตอบสนองบังคับของงานวงจรอันดับสอง

5. จากรูป สวิตช์ปิดอยู่ที่ตำแหน่ง A เป็นเวลานานแล้ว แล้วโยกสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง B ที่ $t = 0$ จงหา $v(t)$ และ $v_R(t)$ ที่เวลา $t > 0$



(ตอบ $v(t) = 10 - (1.155 \sin 3.46t + 2 \cos 3.46t)e^{-2t}$ V, $v_R(t) = 2.31e^{-2t} \sin 3.46t$ V)

6. จากรูป จงหา $i(t)$ และ $v(t)$ ที่เวลา $t > 0$



(ตอบ $i(t) = 20(1 - \cos t)$ A, $v(t) = 100 \sin t$ V)

	ใบงานหน่วยที่ 7	หน่วยที่ 7
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรอันดับสอง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน การวิเคราะห์วงจร RLC อันดับสอง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการตอบสนองของวงจรที่เกิดจากองค์ประกอบวงจรที่เก็บพลังงาน 2 ตัว
ในวงจร

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวงจรอันดับสอง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนานได้
- 4.2. เขียนสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนานได้
- 4.3. คำนวณพารามิเตอร์ของวงจร RLC ต่อขนานขณะมีแหล่งกำเนิดได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนัก

ถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

- แหล่งจ่ายสัญญาณ (Function Generator): สำหรับสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) เพื่อจำลองการจ่ายไฟแบบฉับพลัน

- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope): ชนิดดิจิทัลแบบ 2 ช่องสัญญาณ หรือมากกว่า

- มัลติมิเตอร์ (Multimeter): ชนิดดิจิทัลสำหรับวัดค่าความต้านทาน, ความจุไฟฟ้า และความเหนี่ยวนำของอุปกรณ์

- แผงวงจรต้นแบบ (Breadboard): สำหรับประกอบวงจร

- ตัวต้านทาน (Resistors): ค่าต่างๆ (เช่น 100 Ω , 470 Ω , 1 k Ω , 5 k Ω , 10 k Ω)

- ตัวเก็บประจุ (Capacitor): ค่าประมาณ 1 μF หรือ 0.1 μF

- ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor): ค่าประมาณ 10 mH หรือ 100 mH

- สายไฟจัมเปอร์ (Jumper Wires): สำหรับต่อวงจรบน Breadboard

- สายโพรบสำหรับออสซิลโลสโคป: ควรใช้ชนิด 10x

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. **ความปลอดภัยอันดับแรก:** ตรวจสอบการเชื่อมต่อวงจรบน Breadboard ให้ถูกต้องและแน่นหนา ก่อนเปิดเครื่องแหล่งจ่ายสัญญาณทุกครั้ง เพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์

2. **การเลือกย่านวัดที่เหมาะสม:** ตั้งค่าแรงดันและเวลา (Volts/Div และ Time/Div) บน ออสซิลโลสโคปให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถมองเห็นรูปร่างสัญญาณการตอบสนองชั่วครู่ (Transient Response) ได้อย่างชัดเจน

3. **ตรวจสอบค่าจริงของอุปกรณ์:** ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน (R) ความจุไฟฟ้า (C) และความเหนี่ยวนำ (L) ของอุปกรณ์ที่ใช้จริง และใช้ค่าที่วัดได้ในการคำนวณ เพื่อให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด

4. **ระวังค่าความต้านทานภายใน:** ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) มีค่าความต้านทานภายในที่ควรนำมาพิจารณาในการคำนวณ โดยสามารถวัดได้ด้วยมัลติมิเตอร์

5. **การตั้งค่าแหล่งจ่ายสัญญาณ:** ตั้งค่าแหล่งจ่ายสัญญาณเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) โดยมีค่าความถี่ต่ำพอ (เช่น 50-200 Hz) เพื่อให้การตอบสนองของวงจรสามารถสิ้นสุด (สลายไปจนหมด) ก่อนที่สัญญาณคลื่นลูกถัดไปจะมาถึง

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ส่วนที่ 1: การตอบสนองชั่วครู่ของวงจร RLC อนุกรม

1. คำนวณล่วงหน้า:

- กำหนดค่า L และ C ที่เลือกใช้ในวงจร
- คำนวณหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ธรรมชาติ ($\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$)
- คำนวณหาค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการหน่วงวิกฤต ($R_{วิกฤต} = \sqrt{L/C}$)
- คำนวณหาค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการหน่วงเกิน ($R_{เกิน} > R_{วิกฤต}$) และการหน่วงไม่พอ ($R_{ไม่พอ} < R_{วิกฤต}$)

2. ประกอบวงจร:

- นำตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ มาต่ออนุกรมบน Breadboard
- ต่อแหล่งจ่ายสัญญาณ (รูปคลื่นสี่เหลี่ยม) เข้ากับวงจร
- ต่อออสซิลโลสโคปช่องที่ 1 คร่อมตัวเก็บประจุ เพื่อสังเกตแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

3. การทดลองและบันทึกข้อมูล:

- **กรณีการหน่วงไม่พอ (Underdamped):** เลือกใช้ตัวต้านทานที่มีค่า $R < R_{วิกฤต}$ ป้อนสัญญาณและปรับ Time/Div บนออสซิลโลสโคปเพื่อสังเกตสัญญาณรูปคลื่นบันทึกที่รูปร่างสัญญาณลงในตาราง (สามารถถ่ายรูปหรือสเก็ตช์ได้)
- **กรณีการหน่วงวิกฤต (Critically Damped):** เปลี่ยนตัวต้านทานให้มีค่า $R \approx R_{วิกฤต}$ ปรับสัญญาณและบันทึกที่รูปร่างสัญญาณลงในตาราง สังเกตว่าวงจรจะเข้าสู่สภาวะคงที่เร็วที่สุด โดยไม่มีการสั่น
- **กรณีการหน่วงเกิน (Overdamped):** เปลี่ยนตัวต้านทานให้มีค่า $R > R_{วิกฤต}$ ปรับสัญญาณและบันทึกที่รูปร่างสัญญาณลงในตาราง สังเกตว่าวงจรจะเข้าสู่สภาวะคงที่ช้ากว่าแบบหน่วงวิกฤต

- **บันทึกข้อมูล:** บันทึกค่า R,L,C ที่ใช้ และค่าที่คำนวณได้ พร้อมทั้งอธิบายรูปร่างสัญญาณที่สังเกตได้ในแต่ละกรณี

ส่วนที่ 2: การตอบสนองชั่วคราวของวงจร RLC ขนานกับแหล่งกำเนิด

1. คำนวณล่วงหน้า:

- กำหนดค่า L และ C ที่เลือกใช้
- คำนวณหาค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการหน่วงวิกฤต ($R_{วิกฤต}=L/C$)
- คำนวณหาค่าความต้านทานสำหรับกรณีการหน่วงไม่พอและหน่วงเกิน

2. ประกอบวงจร:

- นำตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ มาต่อขนานกันบน Breadboard
- ต่อแหล่งจ่ายสัญญาณ (รูปคลื่นสี่เหลี่ยม) เข้ากับวงจรขนานทั้งหมด
- ต่อออสซิลโลสโคปช่องที่ 1 คร่อมวงจรขนานเพื่อสังเกตแรงดันรวมที่ตกคร่อมวงจร

3. การทดลองและบันทึกข้อมูล:

- ทำซ้ำขั้นตอนการทดลองและบันทึกข้อมูลเช่นเดียวกับในส่วนที่ 1 โดยเปลี่ยนค่าตัวต้านทาน R เพื่อให้เกิดการตอบสนองแบบหน่วงไม่พอ, หน่วงวิกฤต, และหน่วงเกิน
- **การคำนวณพารามิเตอร์ (หัวข้อ 4.3):** เมื่อวงจรเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) แล้ว ให้บันทึกค่าแรงดันที่แหล่งกำเนิดจ่าย และแรงดันตกคร่อมวงจรขนาน แล้วทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อัตราส่วนการหน่วง (ζ) และความถี่เรโซแนนซ์

4. สรุปผล: เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการคำนวณทางทฤษฎี และอธิบายความแตกต่างที่เกิดขึ้น

การบันทึกข้อมูล

ตารางที่ 1: การตอบสนองชั่วคราวของวงจร RLC อนุกรม

ค่า R ที่ใช้ (Ω)	ค่า L (H)	ค่า C (F)	$\alpha=2LR$	$\omega_0=LC1$	ชนิดการหน่วงที่สังเกตได้	รูปคลื่นที่สังเกตได้ (สเกตซ์/ภาพ)
(ค่า $R < R_{วิกฤต}$)						
(ค่า $R \approx R_{วิกฤต}$)						
(ค่า $R > R_{วิกฤต}$)						

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 7 (Evaluation Sheet)

ชื่องาน	การวิเคราะห์วงจร RLC อันดับสอง				วันที่เริ่มงาน
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การวิเคราะห์วงจร RLC อันดับสอง)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 7	หน่วยที่ 7
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรอันดับสอง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรอันดับสอง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับการตอบสนองของวงจรที่เกิดจากองค์ประกอบวงจรที่เก็บพลังงาน 2 ตัวในวงจร

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวงจรอันดับสอง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนานได้

4.2. เขียนสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนานได้

4.3. คำนวณพารามิเตอร์ของวงจร RLC ต่อขนานขณะมีแหล่งกำเนิดได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนัก

ถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษาการตอบสนองของวงจรที่เกิดจากองค์ประกอบวงจรที่เก็บพลังงาน 2 ตัวในวงจร

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ อนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนาน

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนาน

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญเรื่องอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนาน

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม

ฟังการอธิบายสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนาน

- ขั้นสาธิต

ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนาน

- ขั้นฝึกปฏิบัติ

นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC อนุกรมและขนาน

- ขั้นตรวจสอบผล

ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC

อนุกรมและขนาน

- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง

ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC

อนุกรมและขนาน

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานสมการอนุพันธ์งานวงจรอันดับสองของวงจร RLC

อนุกรมและขนาน

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation

ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ของวงจร RLC

- ขั้น Information

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานการคำนวณพารามิเตอร์ของวงจร RLC

- ขั้น Progress

ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการคำนวณพารามิเตอร์ของวงจร RLC ได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม

เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานงานวงจรอันดับสองอย่างรอบครอบ

- ขั้นสอน

สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด

- ขั้นสรุป

นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 7
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	งานวงจรอันดับสอง				วันที่เริ่มงาน
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานวงจรอันดับสอง)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8	หน่วยที่ 8
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 11
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรเรโซแนนซ์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรเรโซแนนซ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์จึงเป็นฟังก์ชันที่สำคัญมากในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์และเฟสเซอร์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. คำนวณค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์ได้
- 4.2. ใช้เฟสเซอร์วิเคราะห์วงจรได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีหรือทฤษฎีต่าง ๆ ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

- 5.1 สัญญาณรูปคลื่นไซน์
- 5.2 เฟสเซอร์
- 5.3 ความสัมพันธ์ทางเฟสเซอร์สำหรับองค์ประกอบวงจร
- 5.4 อิมพีแดนซ์และแอดมิตแตนซ์
- 5.5 เฟสเซอร์ไดอะแกรมและโลกัสไดอะแกรม
- 5.6 เทคนิคการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 11/15, คาบที่ 51-55/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอนโดยย่อ

2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 8
3. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
4. ครูสอนเนื้อหาสาระ หัวข้อ 8.1-8.4
5. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเป็นกลุ่มละ 1 ข้อ ขณะนักศึกษากำลังทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน
6. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
7. แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มๆ ละ 3-4 คน ทำการจำลองโปรแกรม
8. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 8, PowerPoint ประกอบการสอนและแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

ในสถานศึกษา : 1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1
รหัสวิชา 30104-1002

นอกสถานศึกษา : 2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 8	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 8	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบฝึกหัดข้อที่ใช้จำลองโปรแกรม	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 8	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 8
2. ผลการทำและนำเสนอการจำลองโปรแกรมการทำงานของวงจร
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 8
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

11. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Cook, Nigel P. (2004). *Electronic. A Complete Course*.
3. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). *Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice*.

10. บันทึกหลังการสอน**ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้**

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8 เรื่องงานวงจรเรโซแนนซ์ สรุปลงได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายระตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 8	หน่วยที่ 8
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 11
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรเรโซแนนซ์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรเรโซแนนซ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์จึงเป็นฟังก์ชันที่สำคัญมากในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์และเฟสเซอร์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. คำนวณค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์ได้

4.2. ใช้เฟสเซอร์วิเคราะห์วงจรได้

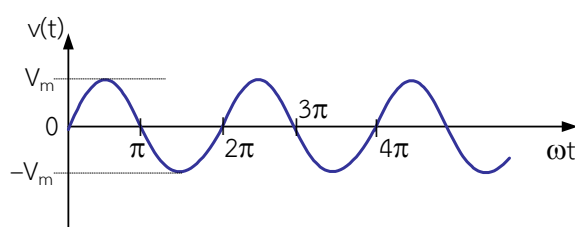
4.3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีหรือทฤษฎีต่าง ๆ ได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

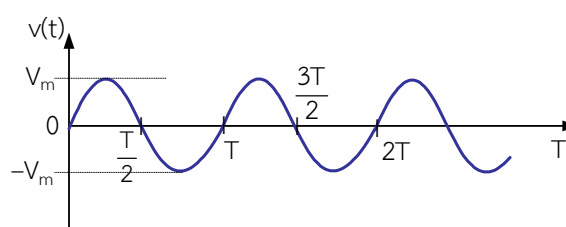
5. สารการเรียนรู้

8.1 สัญญาณรูปคลื่นไซน์

เมื่อพิจารณาแรงดันรูปคลื่นไซน์ ดังรูปที่ 8.1 และการเขียนสมการค่าชั่วขณะดังสมการที่ 8.1



ก) เมื่อเป็นฟังก์ชันของ ωt



ข) เมื่อเป็นฟังก์ชันของ t

รูปที่ 8.1 รูปคลื่นไซน์ของ $V_m \sin \omega t$

ได้เป็น $v(t) = V_m \sin \omega t$ 8.1

โดยที่ V_m คือ ขนาด (amplitude) ของรูปคลื่นไซน์

ω คือ ความถี่เชิงมุม (angular frequency) ในหน่วยเรเดียนต่อวินาที (rad/s)

ωt คือ อาร์กิวเมนต์ (argument) ของรูปคลื่นไซน์

8.2 เฟสเซอร์

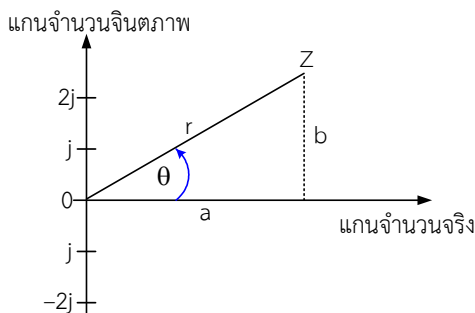
เฟสเซอร์ เป็นจำนวนเชิงซ้อนที่ใช้แทนขนาดและมุมเฟส (ทิศทาง) ของรูปคลื่นไซน์ ซึ่งสามารถจัดกระทำได้ง่ายกว่าฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ แต่การใช้เฟสเซอร์วิเคราะห์วงจรนั้นจำเป็นต้องทบทวนจำนวนเชิงซ้อนที่เคยศึกษามาก่อน ซึ่งจำนวนเชิงซ้อนที่ใช้มากมี 3 รูปแบบ ที่มีความสัมพันธ์กัน

โดยมีความสัมพันธ์คือ $a = r \cos \theta$, $b = r \sin \theta$, $r = \sqrt{a^2 + b^2}$, $\theta = \tan^{-1} \frac{b}{a}$,

และ $\frac{1}{j} = -j$ ดังนั้น Z จึงเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

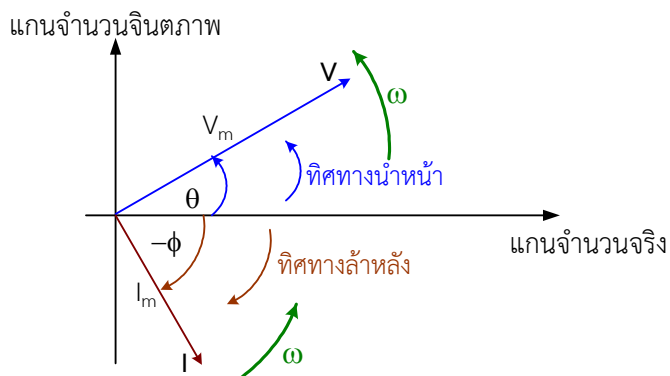
$$Z = a + jb = r\angle\theta = r(\cos \theta + j \sin \theta) \text{ และอธิบายได้ดังรูปที่}$$

8.3



รูปที่ 8.3 จำนวนเชิงซ้อน $Z = a + jb = r\angle\theta$

เนื่องจากเฟสเซอร์มีทั้งขนาดและทิศทางและเป็นปริมาณเชิงซ้อนอาจแสดงในรูปพิกัดฉาก รูป-เชิงขั้วหรือรูปชี้กำลังก็ได้ เฟสเซอร์จึงเป็นเวกเตอร์หนึ่งเช่นกัน เช่น $V = V_m\angle\theta$ และ $I = I_m\angle-\phi$ วาดได้ดังรูปที่ 8.5 แทนเฟสเซอร์ที่กล่าวนั้นเรียกว่า **แผนภาพเฟสเซอร์หรือเฟสเซอร์ไดอะแกรม (phasor diagram)**



รูปที่ 8.5 เฟสเซอร์ไดอะแกรมแสดง $V = V_m\angle\theta$ และ $I = I_m\angle-\phi$

8.3 ความสัมพันธ์ทางเฟสเซอร์สำหรับองค์ประกอบวงจร

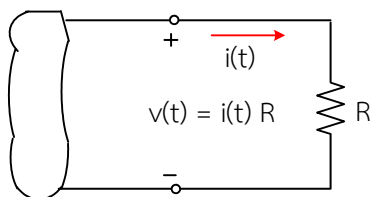
ถ้ามีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R ดังรูปที่ 8.6 มีค่าเป็น $i = I_m \cos(\omega t + \theta)$ จะมีแรงดันตกคร่อมตัวมันเป็นไปตามกฎของโอห์ม คือ

$$v(t) = Ri(t) = RI_m \cos(\omega t + \theta) \quad \dots\dots\dots 8.7$$

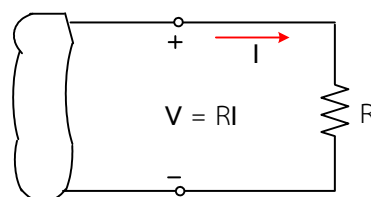
เฟสเซอร์ของแรงดันได้เป็น $V = R I_m \angle \theta$ 8.8

เฟสเซอร์ของกระแสได้เป็น $I = I_m \angle \theta$ 8.9

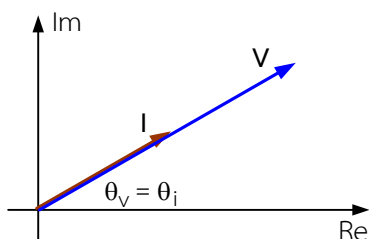
ดังนั้น $V = RI$ 8.10



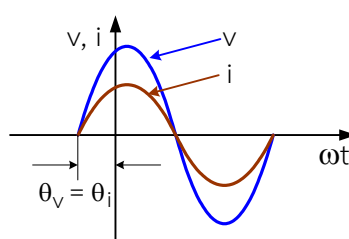
ก) v และ i ในรูปแบบไทม์โดเมน



ข) V และ I ในรูปแบบเฟสเซอร์โดเมน



ค) เฟสเซอร์ไต่อะแกรมของ V และ I



ง) คลื่นไซน์ของ v และ i

รูปที่ 8.6 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสสำหรับตัวต้านทาน

ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสสำหรับตัวเหนี่ยวนำ (L) ดังรูปที่ 8.7 ถ้าสมมติให้กระแสไหลผ่านเป็น $i = I_m \cos(\omega t + \theta)$ แรงดันตกคร่อมตัวมันคือ

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} = -\omega L I_m \sin(\omega t + \theta) \quad \text{..... 8.11}$$

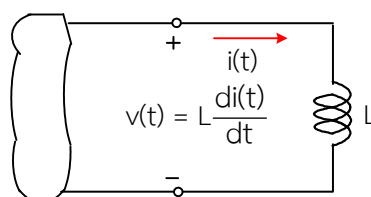
โดยที่ $-\sin A = \cos(A + 90^\circ)$ จึงเขียนแรงดันใหม่ได้เป็น

$$v(t) = \omega L I_m \cos(\omega t + \theta + 90^\circ) \quad \text{..... 8.12}$$

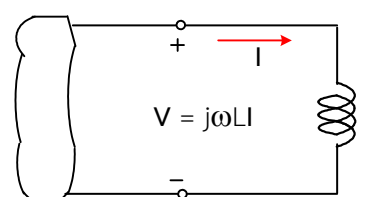
แปลงเป็นเฟสเซอร์ได้เป็น $V = \omega L I_m \angle \theta + 90^\circ$ 8.13

เมื่อ $I = I_m \angle \theta$ และ $e^{j90^\circ} = j$ ดังนั้น

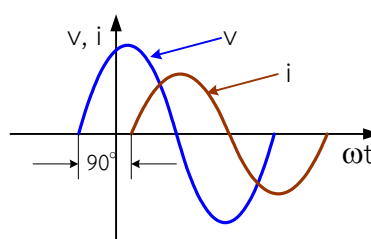
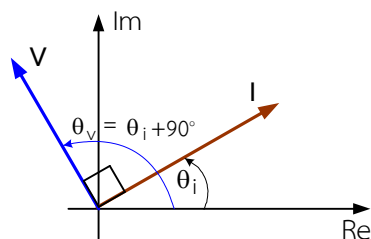
$$V = j\omega L I \quad \text{..... 8.14}$$



ก) v และ i ในรูปแบบไทม์โดเมน



ข) V และ I ในรูปแบบเฟสเซอร์โดเมน



ค) เฟสเซอร์ไดอะแกรมของ V และ I (ง) คลื่นไซน์ของ v และ i (มุมเฟสต่างกัน 90°)

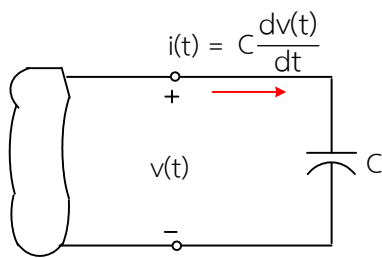
รูปที่ 8.7 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสสำหรับตัวเหนี่ยวนำ

ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสสำหรับตัวเก็บประจุ (C) ดังรูปที่ 8.8 ถ้าสมมติให้แรงดันตกคร่อมตัวมันเป็น $v = V_m \cos(\omega t + \theta)$ กระแสที่ไหลผ่านตัวมันคือ

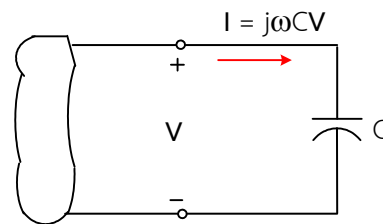
$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \quad \dots\dots\dots 8.15$$

เมื่อดำเนินการตามขั้นตอนเช่นเดียวกับตัวเหนี่ยวนำได้เป็น

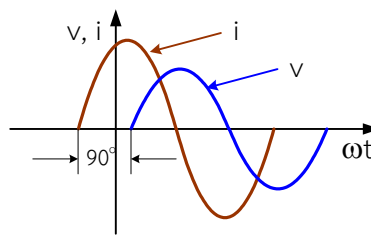
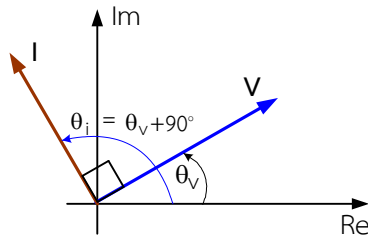
$$I = j\omega CV \quad \text{ได้ค่า} \quad V = \frac{I}{j\omega C} \quad \dots\dots\dots 8.16$$



ก) i และ v ในรูปแบบไทม์โดเมน



ข) I และ V ในรูปแบบเฟสเซอร์โดเมน



ค) เฟสเซอร์ไดอะแกรมของ I และ V (ง) คลื่นไซน์ของ i และ v (มุมเฟสต่างกัน 90°)

รูปที่ 8.8 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสสำหรับตัวเก็บประจุ

8.4 อิมพีแดนซ์และแอดมิตแตนซ์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสสำหรับองค์ประกอบวงจรแบบพาสซีฟทั้ง 3 ตัว คือ R , L และ C ได้แก่ $V = RI$, $V = j\omega LI$ และ $V = I / j\omega C$ ตามลำดับ เมื่อนำมาเขียนในเทอมของอัตราส่วนเฟสเซอร์แรงดัน V กับเฟสเซอร์กระแส I ได้เป็น

$$\frac{V}{I} = R, \quad \frac{V}{I} = j\omega L, \quad \frac{V}{I} = \frac{1}{j\omega C} \quad \dots\dots\dots 8.17$$

สมการที่ 8.17 นี้ได้ความสัมพันธ์ตามกฎของโอห์มในรูปเฟสเซอร์สำหรับ R , L และ C คือ

$$Z = \frac{V}{I}, \quad V = ZI \quad \dots\dots\dots 8.18$$

โดยที่ Z คือ ปริมาณที่ขึ้นอยู่กับความถี่เรียกว่า **อิมพีแดนซ์ (impedance: Z)**

ดังนั้น **อิมพีแดนซ์** หมายถึง อัตราส่วนของเฟสเซอร์แรงดัน V กับเฟสเซอร์กระแส I วัดในหน่วยโอห์ม (อิมพีแดนซ์จะแทนการต้านการไหลของกระแสรูปคลื่นไซน์ และตัวมันเองไม่ได้เป็นเฟสเซอร์ เพราะไม่ได้สอดคล้องกับปริมาณที่เปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นไซน์)

ปริมาณอื่นที่ใช้มากในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับด้วยขั้วสองขั้วทางอินพุตคือ **แอดมิตแตนซ์** (admittance: Y) ซึ่งเป็นส่วนกลับของอิมพีแดนซ์ วัดในหน่วยซีเมนส์ (siement: S)

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{V} \dots\dots\dots 8.25$$

8.5 เฟสเซอร์ไดอะแกรมและโลกัลไดอะแกรม

อิมพีแดนซ์ (Z) และแอดมิตแตนซ์ (Y) เป็นฟังก์ชันของความถี่ ดังนั้นค่าจะเปลี่ยนแปลงเมื่อความถี่เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงใน Z และ Y มีผลต่อความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันในวงจรจ่าย พารามิเตอร์ในวงจรที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความถี่นั้นสามารถแสดงให้ง่ายขึ้นโดยใช้เฟสเซอร์ไดอะแกรม (phasor diagram) ศึกษาจากตัวอย่าง

8.6 เทคนิคการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับในเฟสเซอร์โดเมนหรือโดเมนของความถี่สามารถใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (KCL) และกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) ได้ และในสถานะอยู่ตัว (AC steady-state) ของสัญญาณรูปคลื่นไซน์นั้นสามารถเขียนสมการแต่ละค่าอยู่ในรูปไซน์หรือโคไซน์ได้ ทำให้การคำนวณต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ด้วยวิธีโนด การวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีบทการซ้อนทับ และหรือการแปลงแหล่งกำเนิด เป็นต้นสามารถทำได้ง่ายขึ้น และใช้พื้นฐานความรู้จากหน่วยที่ 2, 3 และ 4 ที่กล่าวมาแล้วมาประยุกต์ใช้เช่นเดียวกัน โดยเทคนิคการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับศึกษาจากตัวอย่าง

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน่วยที่ 8 งานวงจรเรโซแนนซ์

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1.ในสมการสัญญาณรูปคลื่นไซน์ $v(t)=V_m\cos(\omega t+\phi)$ ตัวแปร ϕ แทนสิ่งใด?

ก.คาบ (Period)

ข.แอมพลิจูด (Amplitude)

ค.เฟส (Phase)

ง.ความถี่เชิงมุม (Angular Frequency)

2.เฟสเซอร์ (Phasor) คือการแสดงปริมาณไซน์ในรูปเวกเตอร์ที่แสดงถึงคุณสมบัติใดของสัญญาณ?

ก.ขนาดและคาบ

ข.ขนาดและเฟส

ค.ความถี่และคาบ

ง.ความถี่และแอมพลิจูด

3.ในตัวเหนี่ยวนำบริสุทธิ์ (Pure Inductor) ความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างแรงดันและกระแสเป็นอย่างไร?

ก.แรงดันและกระแสอยู่ในเฟสเดียวกัน

ข.แรงดันตามหลังกระแส 90 องศา

ค.กระแสล้าหน้าแรงดัน 90 องศา

ง.แรงดันนำกระแส 90 องศา

4.อิมพีแดนซ์ (Impedance) ของตัวเก็บประจุ (C) ในโดเมนความถี่คือข้อใด?

ก.R

ข. $1/(j\omega C)$

ค. $j\omega C$

ง. $j\omega L$

5.ในแอดมิตแตนซ์ ($Y=G+jB$) ส่วน 'G' แทนสิ่งใด?

ก.ส่วนจริง (Real part)

ข.ส่วนจินตภาพ (Imaginary part)

ค.ขนาด (Magnitude)

ง.มุม (Angle)

6.เฟสเซอร์ไดอะแกรม (Phasor Diagram) ใช้เพื่อจุดประสงค์ใดในการวิเคราะห์วงจร AC?

ก.แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร

ข.แสดงค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสในช่วงเวลาหนึ่ง

ค.แสดงขนาดและเฟสของเฟสเซอร์ต่างๆ ในรูปเวกเตอร์บนระนาบเชิงซ้อน

ง.แสดงการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์เมื่อความถี่เปลี่ยนไป

7.เทคนิคการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าใดที่ช่วยลดความซับซ้อนของวงจรเชิงเส้นที่ซับซ้อนให้เป็นวงจรเทียบเท่าที่ง่ายขึ้นสำหรับการคำนวณ?

ก.การวิเคราะห์แบบเมช (Mesh Analysis)

ข.การซ้อนทับ (Superposition)

ค.การวิเคราะห์แบบโนด (Nodal Analysis)

ง.ทฤษฎีบทของเทวินิน (Thevenin's Theorem)

8.ในตัวเก็บประจุบริสุทธิ์ (Pure Capacitor) ความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างแรงดันและกระแสเป็นอย่างไร?

ก.กระแส (I) จะล้าหน้าแรงดัน (V) อยู่ 90 องศา

ข.แรงดันและกระแสอยู่ในเฟสเดียวกัน

ค.แรงดัน (V) จะมีค่าสูงสุดเมื่อกระแส (I) เป็นศูนย์

ง.แรงดัน (V) จะล้าหน้ากระแส (I) อยู่ 90 องศา

9.ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ (Z) และแอดมิตแตนซ์ (Y) คือข้อใด?

ก. $Y=Z^*$ (conjugate)

ข. $Y=G+jX$

ค. $Y=R+jX$

ง. $Y=1/Z$

10.โลกัสไดอะแกรม (Locus Diagram) ในการวิเคราะห์วงจร AC มีจุดประสงค์หลักเพื่อแสดงสิ่งใด?

ก.เป็นการรวมกันของเฟสเซอร์หลายๆ ตัวเป็นเวกเตอร์เดียว

ข. แสดงเฉพาะความสัมพันธ์ทางเฟสของแรงดันและกระแสที่ความถี่เดียว

ค. ใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น

ง. แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของวงจร (เช่น อิมพีแดนซ์) บนระนาบเชิงซ้อนเมื่อความถี่ของแหล่งจ่ายเปลี่ยนแปลงไป

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.
3. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice**.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน่วยที่ 8 งานวงจรเรโซแนนซ์

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ในสมการสัญญาณรูปคลื่นไซน์ $v(t) = V_m \cos(\omega t + \phi)$ ตัวแปร ϕ แทนสิ่งใด?

ก. คาบ (Period)

ข. แอมพลิจูด (Amplitude)

ค. เฟส (Phase)

ง. ความถี่เชิงมุม (Angular Frequency)

2. เฟสเซอร์ (Phasor) คือการแสดงปริมาณไซน์ในรูปเวกเตอร์ที่แสดงถึงคุณสมบัติใดของสัญญาณ?

ก. ขนาดและคาบ

ข. ขนาดและเฟส

ค. ความถี่และคาบ

ง. ความถี่และแอมพลิจูด

3. ในตัวเหนี่ยวนำบริสุทธิ์ (Pure Inductor) ความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างแรงดันและกระแสเป็นอย่างไร?

ก. แรงดันและกระแสอยู่ในเฟสเดียวกัน

ข. แรงดันตามหลังกระแส 90 องศา

ค. กระแสล้าหน้าแรงดัน 90 องศา

ง. แรงดันนำกระแส 90 องศา

4. อิมพีแดนซ์ (Impedance) ของตัวเก็บประจุ (C) ในโดเมนความถี่คือข้อใด?

ก. R

ข. $1/(j\omega C)$

ค. $j\omega C$

ง. $j\omega L$

5. ในแอดมิตแตนซ์ ($Y=G+jB$) ส่วน 'G' แทนสิ่งใด?

ก. ส่วนจริง (Real part)

ข. ส่วนจินตภาพ (Imaginary part)

ค. ขนาด (Magnitude)

ง. มุม (Angle)

6. เฟสเซอร์ไดอะแกรม (Phasor Diagram) ใช้เพื่อจุดประสงค์ใดในการวิเคราะห์วงจร AC?

ก. แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร

ข. แสดงค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสในช่วงเวลาหนึ่ง

ค. แสดงขนาดและเฟสของเฟสเซอร์ต่างๆ ในรูปเวกเตอร์บนระนาบเชิงซ้อน

ง. แสดงการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์เมื่อความถี่เปลี่ยนไป

7. เทคนิคการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าใดที่ช่วยลดความซับซ้อนของวงจรเชิงเส้นที่ซับซ้อนให้เป็นวงจรเทียบเท่าที่ง่ายขึ้นสำหรับการคำนวณ?

ก. การวิเคราะห์แบบเมช (Mesh Analysis)

ข. การซ้อนทับ (Superposition)

ค. การวิเคราะห์แบบโนด (Nodal Analysis)

ง. ทฤษฎีบทของเฮวินิน (Thevenin's Theorem)

8. ในตัวเก็บประจุบริสุทธิ์ (Pure Capacitor) ความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างแรงดันและกระแสเป็นอย่างไร?

ก. กระแส (I) จะล้าหน้าแรงดัน (V) อยู่ 90 องศา

ข. แรงดันและกระแสอยู่ในเฟสเดียวกัน

ค. แรงดัน (V) จะมีค่าสูงสุดเมื่อกระแส (I) เป็นศูนย์

ง. แรงดัน (V) จะล้าหน้ากระแส (I) อยู่ 90 องศา

9. ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ (Z) และแอดมิตแตนซ์ (Y) คือข้อใด?

ก. $Y=Z^*$ (conjugate)

ข. $Y=G+jX$

ค. $Y=R+jX$

ง. $Y=1/Z$

10. โลกัสไดอะแกรม (Locus Diagram) ในการวิเคราะห์วงจร AC มีจุดประสงค์หลักเพื่อแสดงสิ่งใด?

ก. เป็นการรวมกันของเฟสเซอร์หลายๆ ตัวเป็นเวกเตอร์เดียว

ข. แสดงเฉพาะความสัมพันธ์ทางเฟสของแรงดันและกระแสที่ความถี่เดียว

ค. ใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น

ง. แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของวงจร (เช่น อิมพีแดนซ์) บนระนาบเชิงซ้อนเมื่อความถี่ของแหล่งจ่ายเปลี่ยนแปลงไป

จงแสดงวิธีทำให้ถูกต้องและสมบูรณ์

เรื่อง สัญญาณรูปคลื่นไซน์

1. กำหนดให้ $v(t) = 120 \cos(314t + \pi/4)$ จงหาความถี่ของแรงดันในหน่วยเฮิรตซ์และมุมเฟสในหน่วยองศา (ตอบ $f = 50 \text{ Hz}$, $\theta = 45^\circ$)

2. ถ้าสัญญาณรูปคลื่นไซน์คือ $5 \sin(4\pi t - 60^\circ)$ จงหาค่าขนาด มุมเฟส ความถี่เชิงมุม คาบ และความถี่ของสัญญาณ (ตอบ 5 , -60° , 12.57 rad/s , 0.5 s , 2 Hz)

3. วงจรข่ายหนึ่งมี 3 สาขา ได้ทราบกระแสสาขา ดังนี้ $i_1(t) = 2 \sin(377t + 45^\circ) \text{ A}$ $i_2(t) = 0.5 \cos(377t + 10^\circ) \text{ A}$ $i_3(t) = -0.25 \sin(377t + 60^\circ) \text{ A}$ จงหามุมเฟสโดยที่ $i_1(t)$ นำหน้า $i_2(t)$ และ $i_1(t)$ นำหน้า $i_3(t)$ เป็นมุมเฟสเท่าไร (ตอบ $i_1(t)$ นำหน้า $i_2(t)$ เป็นมุม -55° และ $i_1(t)$ นำหน้า $i_3(t)$ เป็นมุม 165°)

4. จงหามุมเฟสระหว่าง $i_1(t) = -4 \sin(377t + 25^\circ) \text{ A}$ และ $i_2(t) = 5 \cos(377t - 40^\circ) \text{ A}$ แล้ว $i_1(t)$ จะนำหน้าหรือล้าหลัง $i_2(t)$ (ตอบ 155° , i_1 นำหน้า i_2)

เรื่อง เฟสเซอร์

5. จงแปลงฟังก์ชันต่อไปนี้ให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ $v_1(t) = 12 \cos(377t - 425^\circ) \text{ V}$ และ $v_2(t) = 18 \sin(2513t + 4.2^\circ) \text{ V}$ (ตอบ $V_1 = 12 \angle -425^\circ \text{ V}$ และ $V_2 = 18 \angle -85.8^\circ \text{ V}$)

6. จงแปลงเฟสเซอร์ต่อไปนี้ให้อยู่ในรูปโพลาร์โดเมน ถ้าความถี่เป็น 400 Hz $V_1 = 10 \angle 20^\circ \text{ V}$ และ $V_2 = 12 \angle -60^\circ \text{ V}$ (ตอบ $v_1(t) = 10 \cos(800\pi t + 20^\circ) \text{ V}$ และ $v_2(t) = 12 \cos(800\pi t - 60^\circ) \text{ V}$)

7. กำหนดให้ $i_1(t) = 4 \cos(\omega t + 30^\circ) \text{ A}$ และ $i_2(t) = 5 \sin(\omega t - 20^\circ) \text{ A}$ จงหาผลรวม $i = i_1 + i_2$ (ตอบ $i(t) = 3.218 \cos(\omega t - 56.97^\circ) \text{ A}$)

เรื่อง ความสัมพันธ์ทางเฟสเซอร์สำหรับองค์ประกอบวงจร

8. ตัวต้านทานขนาด $4\ \Omega$ มีกระแสไหลผ่าน $i = 12 / 60^\circ\text{ A}$ จงหาแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานในรูปโพลาร์ โดเมน ถ้าความถี่ของกระแสเป็น 4 kHz (ตอบ $v(t) = 48 \cos(8000\pi t + 60^\circ)\text{ V}$)

9. ถ้าจ่ายแรงดัน $v = 12 \cos(60t + 45^\circ)$ ให้กับตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.1 H จงหากระแสที่สถานะคงตัวที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำนี้ (ตอบ $i(t) = 2 \cos(60t - 45^\circ)\text{ A}$)

10. ถ้าจ่ายแรงดัน $v = 6 \cos(100t - 30^\circ)$ ให้กับตัวเก็บประจุขนาด $50\ \mu\text{F}$ จงหากระแสที่สถานะคงตัวที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุนี้ (ตอบ $i(t) = 30 \cos(60t + 60^\circ)\text{ mA}$)

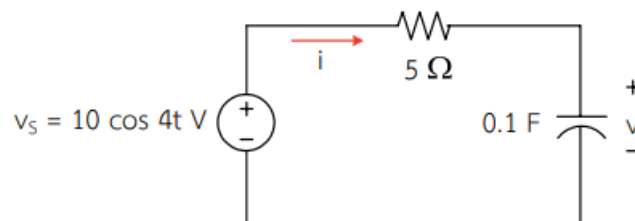
11. ตัวเหนี่ยวนำ 0.05 H มีกระแสไหลผ่าน $i = 4 / -30^\circ\text{ A}$ ถ้าความถี่ของกระแสเป็น 60 Hz จงหาแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ตอบ $v_L(t) = 75.4 \cos(377t + 60^\circ)\text{ V}$)

12. ตัวเก็บประจุ $150\ \mu\text{F}$ มีกระแสไหลผ่าน $i = 3.6 / -145^\circ\text{ A}$ ถ้าความถี่ของกระแสเป็น 60 Hz จงหาแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ตอบ $v_C(t) = 63.66 \cos(377t - 235^\circ)\text{ V}$)

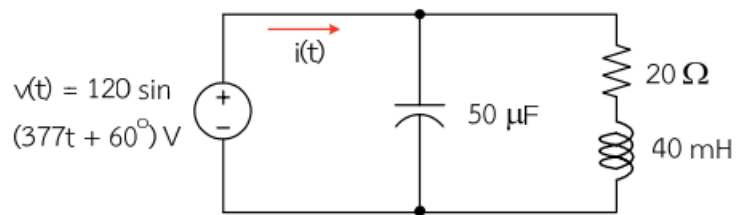
เรื่อง อิมพีแดนซ์และแอดมิตแตนซ์

13. จากรูป จงหา $v(t)$ และ $i(t)$

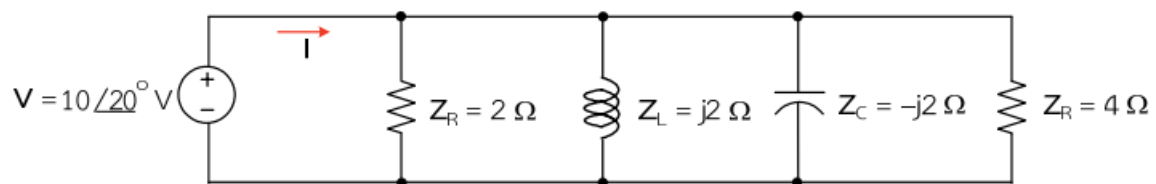
(ตอบ $i(t) = 1.789 \cos(4t + 26.57^\circ)\text{ A}$, $v(t) = 4.47 \cos(4t - 63.43^\circ)\text{ V}$)



14. จากรูปวงจรรายข้าง จงหากระแส $i(t)$ (ตอบ $i(t) = 3.88 \cos(377t - 39.2^\circ)\text{ A}$)

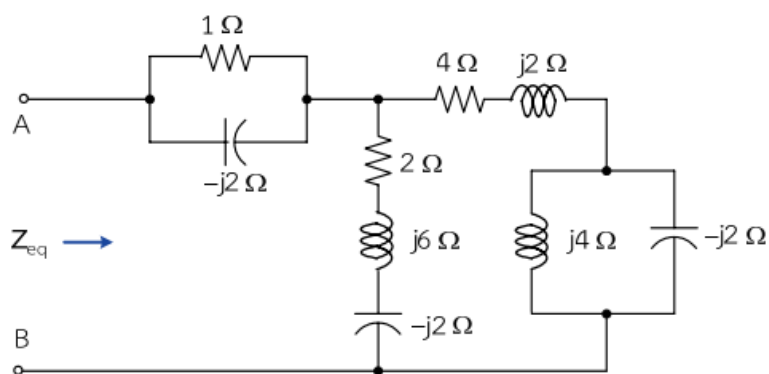


15. จากรูปวงจรหาค่ากระแส I

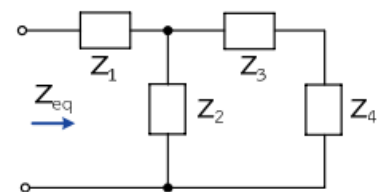


(ตอบ $I = 9.01 \angle 53.7^\circ \text{ A}$)

16. จากรูป จงหา Z_{eq}



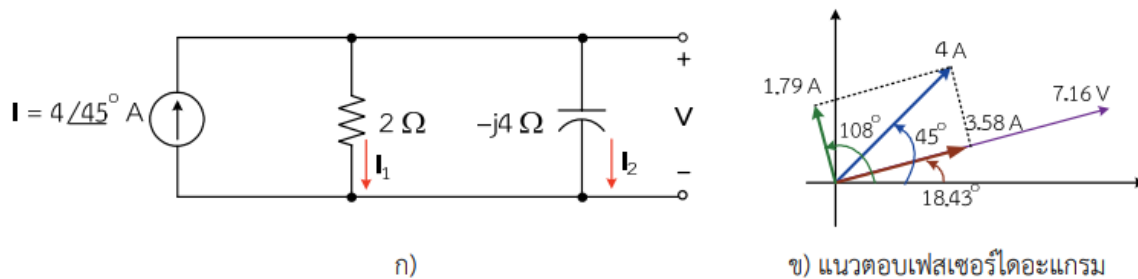
ก)



ข) แนวทางการคำนวณ

เรื่อง เฟสเซอร์ไดอะแกรม

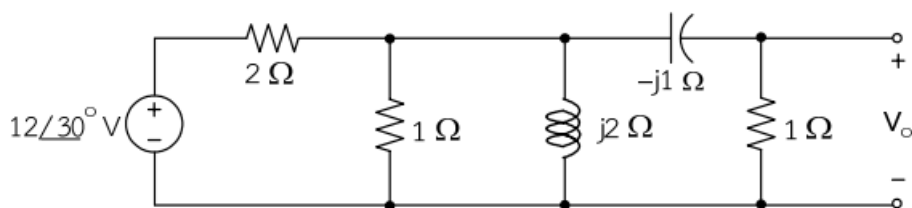
17. จากรูป ก) จงคำนวณและวาดเฟสเซอร์ไดอะแกรมของกระแสและแรงดันทั้งหมดในวงจร



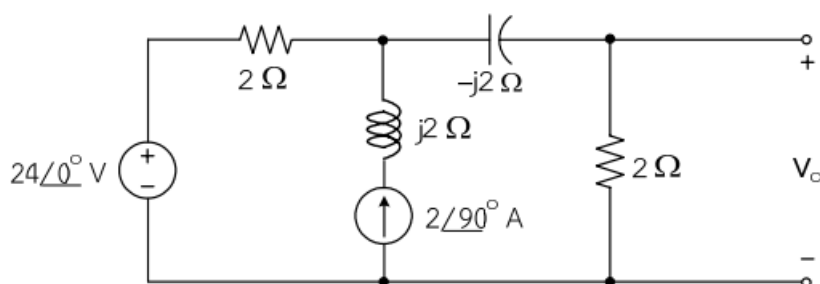
(ตอบ $I_1 = 3.58 / 18.43^\circ$ A, $I_2 = 1.79 / 108^\circ$ A, $V = 7.16 / 18.43^\circ$ V)

เรื่อง เทคนิคการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

18. จากรูป จงหา V_o โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีโนด (ตอบ $V_o = 2.12 / 75^\circ$ V)

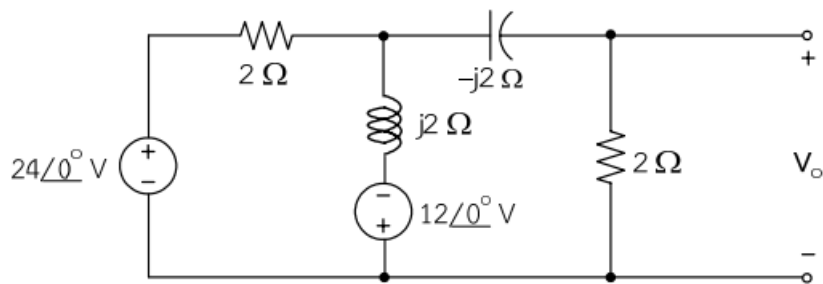


19. จากรูป จงหา V_o โดยใช้การวิเคราะห์ด้วย ก) วิธีเมซ ข) ทฤษฎีบทของเทวินิน



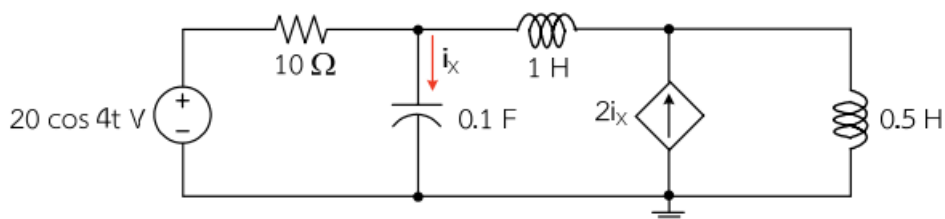
(ตอบ $V_o = 10.88 / 36^\circ$ V)

20. จากรูป จงหา V_o โดยใช้ก) ทฤษฎีบทการซ้อนทับ ข) การแปลงแหล่งกำเนิด ค) ทฤษฎีบทของนอร์ตัน



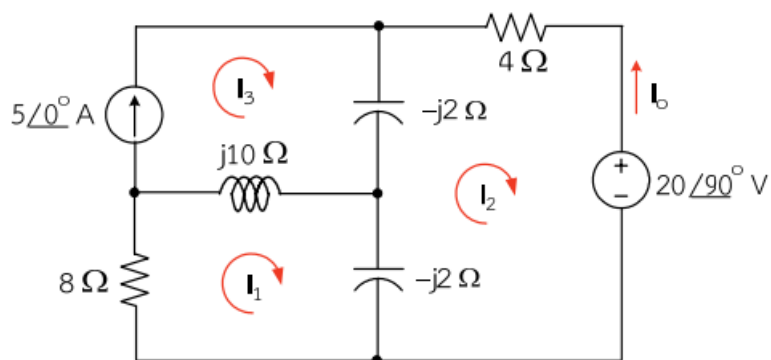
(ตอบ $V_o = 12 / 90^\circ$ V)

21. จากรูป จงหา i_x โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีโนด



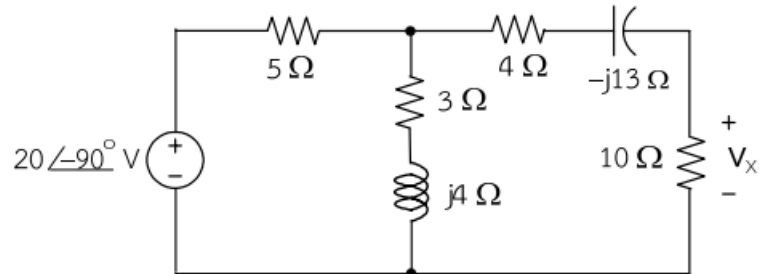
(ตอบ $i_x = 7.59 \cos(4t + 108.4^\circ)$ A)

22. จากรูป จงหากระแส I_o โดยใช้การวิเคราะห์ด้วย ก) วิธีเมช ข) ทฤษฎีบทการซ้อนทับ



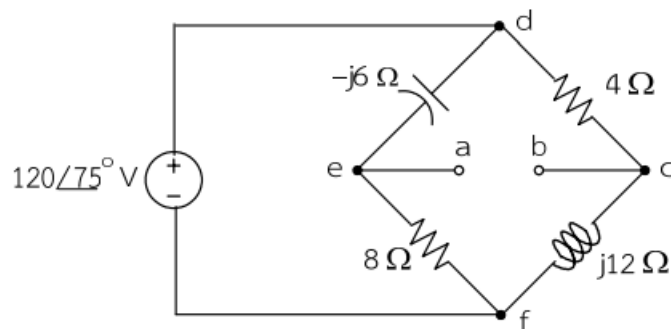
(ตอบ ก) $I_o = -I_2 = 6.12 / 144.78^\circ$ A ข) $I_o = I_{o1} + I_{o2} = -5 + j3.529 = 6.12 / 144.78^\circ$ A)

23. จากรูป จงหา V_X โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยการแปลงแหล่งกำเนิด



(ตอบ $V_X = 5.519 \angle -28^\circ \text{ V}$)

24. จากรูป จงหาวงจรสมมูลเทวินินที่ข้อ a - b



(ตอบ $Z_{Th} = 6.48 - j2.64 \Omega$, $V_{Th} = -28.936 - j24.55 = 37.95 \angle 220.31^\circ \text{ V}$)

	ใบงานหน่วยที่ 8	หน่วยที่ 8
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 11
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรเรโซแนนซ์	ทฤษฎี 2 ชม.
	ชื่อเรื่อง/งาน การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)	ปฏิบัติ 3 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์จึงเป็นฟังก์ชันที่สำคัญมากในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์และเฟสเซอร์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. คำนวณค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์ได้
- 4.2. ใช้เฟสเซอร์วิเคราะห์วงจรได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีหรือทฤษฎีต่าง ๆ ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายสัญญาณ (Function Generator): สำหรับสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ที่มีความถี่และแรงดันที่กำหนด
2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope): ชนิดดิจิทัลแบบ 2 ช่องสัญญาณขึ้นไป
3. มัลติมิเตอร์ (Multimeter): ชนิดดิจิทัลสำหรับวัดค่าความต้านทาน, ความจุไฟฟ้า และความเหนี่ยวนำ
4. แผงวงจรต้นแบบ (Breadboard): สำหรับประกอบวงจร
5. ตัวต้านทาน (Resistors): ค่าต่าง ๆ เช่น 100 Ω , 220 Ω , 470 Ω , 1 k Ω
6. ตัวเก็บประจุ (Capacitor): ค่าต่าง ๆ เช่น 0.1 μF , 1 μF
7. ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor): ค่าต่าง ๆ เช่น 1 mH, 10 mH
8. สายไฟจัมเปอร์ (Jumper Wires)

9. สายโพรบสำหรับออสซิลโลสโคป: ควรใช้ชนิด 10x

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. **ความปลอดภัยอันดับแรก:** ตรวจสอบการเชื่อมต่อวงจรให้ถูกต้องก่อนจ่ายสัญญาณทุกครั้ง หากใช้แรงดันสูง ให้ระมัดระวังเป็นพิเศษ

2. **การวัดค่าตัวต้านทาน:** แม้จะระบุค่าไว้บนตัวต้านทาน ควรใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานจริงอีกครั้ง เพื่อความแม่นยำในการคำนวณ

3. การใช้สายโพรบของออสซิลโลสโคป:

- ควรใช้สายโพรบชนิด 10x และตั้งค่าออสซิลโลสโคปให้ตรงกัน เพื่อให้การอ่านค่าแรงดันถูกต้อง
- ตรวจสอบการเชื่อมต่อกราวด์ของโพรบกับกราวด์ของวงจรให้ถูกต้อง
- การวัดเฟส (Phase) ต้องใช้โพรบทั้งสองต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปพร้อมกัน

4. **ความถี่ของสัญญาณ:** ควรเลือกความถี่ที่เหมาะสม (เช่น 1-10 kHz) เพื่อให้ค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำมีค่าที่เหมาะสม ไม่สูงหรือต่ำเกินไปจนทำให้การวัดยาก

5. **ความละเอียดในการวัด:** ใช้ฟังก์ชัน Cursor หรือ Measure ของออสซิลโลสโคป เพื่อให้ได้ค่าแรงดันและเวลาที่แม่นยำ

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ส่วนที่ 1: การคำนวณและวัดค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์

1. คำนวณล่วงหน้า:

- ตั้งค่าแหล่งจ่ายสัญญาณให้เป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 5 kHz และแรงดัน Peak-to-Peak ที่ 10 V
- คำนวณหาพารามิเตอร์ทางทฤษฎี:
 - แรงดันยอด (Peak Voltage, V_p)
 - แรงดัน RMS (Root Mean Square Voltage, $V_{rms}=V_p/2$)
 - คาบ (Period, $T=1/f$)

2. การปฏิบัติ:

- ป้อนสัญญาณจาก Function Generator ไปยังออสซิลโลสโคป
- ใช้ฟังก์ชันการวัดของออสซิลโลสโคปเพื่อหาค่า V_p , V_{p-p} , V_{rms} และคาบ (T)
- บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางและเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้

ส่วนที่ 2: การวิเคราะห์วงจรด้วยเฟสเซอร์

1. คำนวณล่วงหน้า:

- สร้างวงจรอนุกรมประกอบด้วยตัวต้านทาน $R=470\ \Omega$ และตัวเก็บประจุ $C=0.1\ \mu F$
- กำหนดแรงดันแหล่งจ่าย V_S ที่ 5 Vrms และความถี่ $f=5\ kHz$
- คำนวณค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุ ($X_C=1/(2\pi fC)$)

- คำนวณอิมพีแดนซ์รวม (Z) และมุมเฟส (θ) ของวงจร ($Z=R-jXC$, $\theta=\arctan(-XC/R)$)
- คำนวณแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน (V_R) และตัวเก็บประจุ (V_C) ในรูปเฟสเซอร์

2. การปฏิบัติ:

- ประกอบวงจรอนุกรม RC บน Breadboard
- ใช้ช่องสัญญาณของออสซิลโลสโคป 2 ช่อง
 - ช่องที่ 1: วัดแรงดันแหล่งจ่าย (หรือแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน) เพื่อใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงเฟส 0
 - ช่องที่ 2: วัดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
- ใช้ฟังก์ชันการวัดของออสซิลโลสโคปเพื่อหาค่าแรงดัน (V_R , V_C) และความแตกต่างของเฟส ($\Delta\theta$) ระหว่างแรงดันทั้งสอง

3. บันทึกข้อมูล:

- บันทึกค่าที่วัดได้และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจากเฟสเซอร์

ส่วนที่ 3: การวิเคราะห์วงจรด้วยทฤษฎีวงจร (ทฤษฎีซูเปอร์โพสิชัน)

1. คำนวณล่วงหน้า:

- สร้างวงจรที่มีแหล่งจ่าย AC สองตัว (สมมติว่าคุณมี Function Generator สองตัว หรือสามารถใช้ตัวต้านทานแบ่งแรงดันได้)
- แหล่งจ่ายที่ 1: 5 Vrms, 1 kHz
- แหล่งจ่ายที่ 2: 5 Vrms, 10 kHz
- คำนวณหาแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเป้าหมายโดยใช้หลักการซูเปอร์โพสิชัน (Superposition Theorem) โดยวิเคราะห์วงจรสำหรับแต่ละแหล่งจ่ายทีละตัว

2. การปฏิบัติ:

- ประกอบวงจรตามที่ออกแบบไว้
- ป้อนสัญญาณจากแหล่งจ่ายที่ 1 เพียงอย่างเดียว แล้ววัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเป้าหมาย บันทึกค่า
- ปิดแหล่งจ่ายที่ 1 และเปิดแหล่งจ่ายที่ 2 เพียงอย่างเดียว แล้ววัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเป้าหมาย บันทึกค่า
- ป้อนสัญญาณจากแหล่งจ่ายทั้งสองพร้อมกัน แล้ววัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเป้าหมาย สังเกตว่ารูปคลื่นจะซ้อนทับกัน

3. บันทึกข้อมูล:

- เปรียบเทียบผลรวมของแรงดันในแต่ละกรณีที่คำนวณได้กับค่าแรงดันรวมที่วัดได้จริง และอภิปรายความถูกต้องของทฤษฎี

การบันทึกข้อมูล

ให้สร้างตารางเพื่อบันทึกข้อมูลสำหรับแต่ละส่วนของการทดลอง

ตารางที่ 1: พารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์

พารามิเตอร์	ค่าที่คำนวณได้ (ทฤษฎี)	ค่าที่วัดได้ (ปฏิบัติ)	% ความคลาดเคลื่อน
Vp			
Vrms			
T			
f			

ตารางที่ 2: การวิเคราะห์ด้วยเฟสเซอร์

พารามิเตอร์	ค่าที่คำนวณได้ (ทฤษฎี)	ค่าที่วัดได้ (ปฏิบัติ)	% ความคลาดเคลื่อน
VR			
VC			
$\Delta\theta$			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 8
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)			วันที่เริ่มงาน	
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC))	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานที่ 8	หน่วยที่ 8
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 11
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรเรโซแนนซ์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรเรโซแนนซ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์จึงเป็นฟังก์ชันที่สำคัญมากในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์และเฟสเซอร์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. คำนวณค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์ได้
- 4.2. ใช้เฟสเซอร์วิเคราะห์วงจรได้
- 4.3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีหรือทฤษฎีต่าง ๆ ได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษาสัญญาณรูปคลื่นไซน์

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม
 - ถาม-ตอบ คำนวณค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์
- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องรูปคลื่นไซน์
- ขั้นสรุป
 - นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญของรูปคลื่นไซน์ขนาน

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม

ฟังการอธิบายสมการเฟสเซอร์วิเคราะห์วงจร

- ขั้นสาธิต

ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณสมการเฟสเซอร์วิเคราะห์วงจร

- ขั้นฝึกปฏิบัติ

นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรสมการเฟสเซอร์วิเคราะห์วงจร

- ขั้นตรวจสอบผล

ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณสมการเฟสเซอร์วิเคราะห์วงจร

- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง

ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรสมการเฟสเซอร์วิเคราะห์วงจร

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานสมการเฟสเซอร์วิเคราะห์วงจร

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation

ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีหรือทฤษฎีต่าง ๆ

- ขั้น Information

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีหรือทฤษฎีต่าง ๆ

- ขั้น Progress

ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วยวิธีหรือทฤษฎีต่าง ๆ ได้อย่าง

ถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม

เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานงานวงจรเรโซแนนซ์อย่างรอบครอบ

- ขั้นสอน

สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด

- ขั้นสรุป

นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 8
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	งานวงจรเรโซแนนซ์				วันที่เริ่มงาน
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานวงจรเรโซแนนซ์)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9	หน่วยที่ 9
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กเป็นบริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านหรือมีอำนาจแม่เหล็กส่งไปถึง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรแม่เหล็กและความเหนี่ยวนำร่วม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายความซาบซึ้งได้
- 4.2. บอกลักษณะของสนามแม่เหล็กได้
- 4.3. ใช้กฎของแอมแปร์ในวงจรแม่เหล็กได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

- 5.1 สนามแม่เหล็ก
- 5.2 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก
- 5.3 ความซาบซึ้งได้
- 5.4 ความต้านทานแม่เหล็ก
- 5.5 กฎของโอห์มสำหรับวงจรแม่เหล็ก
- 5.6 แรงทำแม่เหล็ก
- 5.7 อีสเทอริซิส
- 5.8 กฎของแอมแปร์

- 5.9 วงจรแม่เหล็กอนุกรม
- 5.10 ช่องว่างอากาศ
- 5.11 วงจรแม่เหล็กอนุกรม-ขนาน
- 5.12 ความเหนี่ยวนำร่วม

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 12/15, คาบที่ 55-60/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอนโดยย่อ
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 9
3. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
4. ครูสอนเนื้อหาสาระ
5. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดกลุ่มละ 1 ข้อ ขณะนักศึกษาคำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน
6. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
7. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่มๆ ละ 2-3 คน
8. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน
9. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 9

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์ 1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 9, PowerPoint ประกอบการสอนและแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน แบบฝึกหัด
2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

ในสถานศึกษา : 1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1
รหัสวิชา 30104-1002

นอกสถานศึกษา : 2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 9	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 9	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 9	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 9
2. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 9
3. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

11. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course.**
3. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice.**

10. บันทึกหลังการสอน**ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้**

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9 เรื่องงานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายรัชตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 9	หน่วยที่ 9
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กเป็นบริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านหรือมีอำนาจแม่เหล็กส่งไปถึง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรแม่เหล็กและความเหนี่ยวนำร่วม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายความซาบซึ้งได้
- 4.2. บอกลักษณะของสนามแม่เหล็กได้
- 4.3. ใช้กฎของแอมแปร์ในวงจรแม่เหล็กได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิจนิสัยในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

9.1 สนามแม่เหล็ก

9.2 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

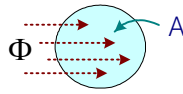
ในระบบหน่วย SI ฟลักซ์แม่เหล็กจะวัดในหน่วยเวเบอร์ ใช้สัญลักษณ์ Φ จำนวนเส้นฟลักซ์ต่อหน่วยพื้นที่เรียกว่า ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ใช้สัญลักษณ์ B วัดในหน่วยเทสลา มีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 9.1 และให้ความหมายดังรูปที่ 9.4

$$B = \frac{\Phi}{A} \dots\dots\dots 9.1$$

เมื่อ B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (tesla: T)

Φ คือ จำนวนฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (webers: Wb)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่ฟลักซ์แม่เหล็กผ่าน มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (square meters: m²)



รูปที่ 9.4 ความหมายของความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B

9.3 ความซาบซึมได้

ความสามารถของวัสดุแกนเหล็กที่ยอมให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านไปได้มากน้อยเพียงใดนั้นเรียกว่า ความ-ซาบซึมได้แม่เหล็ก ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กผ่านไปได้มากจะมีความซาบซึมได้แม่เหล็กสูง (high permeability) ความซาบซึมได้ [แทนด้วยสัญลักษณ์อักษร μ (mu อ่านว่า มิว)] ของวัสดุจึงเปรียบเสมือน ความนำในวงจร ไฟฟ้า และความซาบซึมได้ของสุญญากาศ (μ_0) คือ

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Wb}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

9.4 ความต้านทานแม่เหล็ก

ความต้านทานแม่เหล็กของวัสดุจะพิจารณาจากฟลักซ์แม่เหล็กในวัสดุ ซึ่งหาค่าได้จากสมการ

$$\mathcal{R} = \frac{\ell}{\mu A} \quad (\text{At/Wb}) \quad \dots\dots\dots 9.3$$

9.5 กฎของโอห์มสำหรับวงจรแม่เหล็ก

ในวงจรแม่เหล็กนั้นผลที่ต้องการคือ ฟลักซ์ (Φ) ซึ่งทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (magnetomotive force: mmf) เป็นแรงภายนอก (หรือแรงดัน) ให้ฟลักซ์แม่เหล็กเข้าไปในวัสดุสารแม่เหล็ก ดังนั้นจึงเปรียบ เปรียบ mmf กับ V และ Φ เปรียบได้กับ I และ $\mathcal{R}$ เปรียบได้กับ R ในวงจรไฟฟ้า ดังนั้น

$$\Phi = \frac{\text{mmf}}{\mathcal{R}} \quad \dots\dots\dots 9.4$$

เมื่อ mmf จะแปรผันตรงกับจำนวนรอบของขดลวดรอบแกน (ที่สร้างฟลักซ์) และกระแสจะไหลผ่านรอบของขดลวดนั้น ดังรูปที่ 9.5 สมการได้เป็น

$$\text{mmf} = NI (\text{At}) \quad \dots\dots\dots 9.5$$

เมื่อ mmf คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น แอมแปร์รอบ (At)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด มีหน่วยเป็นรอบ (turns: t)

I คือ กระแสที่ไหลผ่านรอบของขดลวด มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (ampere: A)

9.6 แรงทำแม่เหล็ก

แรงทำแม่เหล็ก (magnetizing force: H) คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (mmf) ต่อหน่วยความยาว ตามสมการที่ 9.6

$$H = \frac{\text{mmf}}{\ell} \quad (\text{At/m}) \quad \dots\dots\dots 9.6$$

9.7 ฮิสเทอรีซิส

เส้นโค้ง (curve) ของความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B กับแรงทำแม่เหล็ก H

9.8 กฎของแอมแปร์

ถ้าวิเคราะห์ระหว่างวงจรไฟฟ้ากับวงจรแม่เหล็กและมองเส้นแรงแม่เหล็กเสมือนกระแสไฟฟ้าแล้วสามารถแสดงให้เห็นขอบเขตของปริมาณได้ดังตารางที่ 9.1

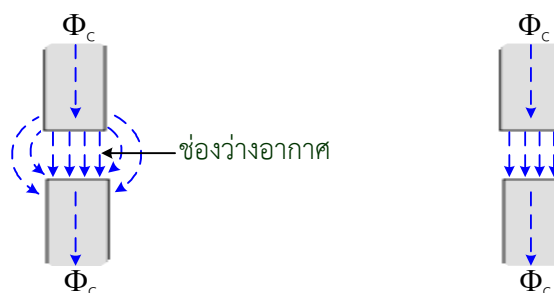
ตารางที่ 9.1 เปรียบเทียบปริมาณทางไฟฟ้ากับปริมาณทางแม่เหล็ก

ปริมาณทางไฟฟ้า	ปริมาณทางแม่เหล็ก
E	mmf
I	Φ
R	$\mathfrak{R}$

9.9 วงจรแม่เหล็กอนุกรม

9.10 ช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศ ดังรูปที่ 9.9 ก) จะเห็นได้ว่าฟลักซ์มีการกระจายออกนอกพื้นที่แกนเหล็กสำหรับช่องว่างอากาศ ซึ่งจะไม่ใส่ใจกับผลของเส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่รอบนอกแนวแกนเหล็กนี้ แต่จะตั้งสมมติฐานให้ฟลักซ์อยู่ในแนวเดียวกับแกนเหล็กดังรูปที่ 9.9 ข)



ก) ฟลักซ์โดยรอบช่องว่างอากาศ

ข) ฟลักซ์โดยรอบช่องว่างอากาศในอุดมคติ

รูปที่ 9.9 ช่องว่างอากาศ

9.11 วงจรแม่เหล็กอนุกรม-ขนาน

9.12 ความเหนี่ยวนำร่วม

เมื่อกระแสไฟฟ้าในขดลวดมีการเปลี่ยนแปลง (ไม่คงที่) ฟลักซ์แม่เหล็กรอบ ๆ ขดลวดจะเปลี่ยนแปลงด้วย ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงนี้เคลื่อนที่ตัดกับขดลวดจะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นภายในขดลวด ขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงของกระแส รวมทั้งค่าคงที่ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของขดลวด ค่าคงที่นี้เรียกว่า การเหนี่ยวนำในตัวเอง (self-inductance) หรือค่าความเหนี่ยวนำ (inductance: L) ซึ่งเกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวดนั่นเอง

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน้าที่ 9 งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำรวม

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดอธิบาย 'สนามแม่เหล็ก' (Magnetic Field) ได้ถูกต้องที่สุด?

ก. บริเวณที่ไม่มีแรงกระทำต่อแม่เหล็กหรือกระแสไฟฟ้า

ข. แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำ

ค. เส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วเหนือเข้าสู่ขั้วใต้

ง. พื้นที่ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้อย่างอิสระ

2. 'ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก' (Magnetic Flux Density, B) คือปริมาณใด?

ก. แรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

ข. จำนวนฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดในวงจร

ค. จำนวนฟลักซ์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางของฟลักซ์

ง. ความสามารถของวัสดุในการยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่าน

3. 'ความซาบซึมได้' (Permeability, μ) ของวัสดุคือคุณสมบัติใด?

ก. อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กและแรงทำแม่เหล็ก

ข. ความสามารถของวัสดุในการยอมให้สนามแม่เหล็กผ่านได้

ค. ปริมาณของฟลักซ์แม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้น

ง. ความต้านทานต่อการไหลของฟลักซ์แม่เหล็ก

4. ข้อใดกล่าวถึง 'ความต้านทานแม่เหล็ก' (Reluctance, R) ได้ถูกต้อง?

ก. ยิ่งค่ามากยิ่งนำฟลักซ์แม่เหล็กได้ดี

ข. ยิ่งค่ามากยิ่งต้านทานการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กได้ดี

ค. ใช้ในการวัดความแรงของแม่เหล็ก

ง. เป็นส่วนกลับของความซาบซึมได้

5. 'กฎของโอห์มสำหรับวงจรแม่เหล็ก' มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์อย่างไร?

ก. $B = \mu H$

ข. $I = V/R$

ค. $F = NI$

ง. $MMF = \Phi R$

6. 'แรงทำแม่เหล็ก' (Magnetomotive Force, MMF) คืออะไร?

ก. แรงผลักที่ขับเคลื่อนฟลักซ์แม่เหล็กในวงจรแม่เหล็ก

ข. แรงที่กระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

ค. พลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในสนามแม่เหล็ก

ง. แรงที่ทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่

7. 'ฮิสเทอรีซิส' (Hysteresis) ในวัสดุแม่เหล็กคือปรากฏการณ์ใด?

ก. ปรากฏการณ์ที่ B ไม่ได้กลับไปศูนย์เมื่อ H กลับไปที่ศูนย์

ข. ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง B และ H

ค. การเปลี่ยนแปลงของทิศทางสนามแม่เหล็กอย่างรวดเร็ว

ง. การเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าในขดลวด

8. กฎของแอมแปร์ (Ampere's Law) สำหรับวงจรแม่เหล็กกล่าวไว้อย่างไร?

ก. แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำในขดลวดเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก

ข. ผลรวมของฟลักซ์แม่เหล็กที่เข้าและออกจากโหนดใดๆ เป็นศูนย์

ค. ฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด

ง. ผลรวมเชิงเส้นของ H รอบเส้นทางปิดใดๆ มีค่าเท่ากับกระแสรวมที่ล้อมรอบเส้นทางนั้น

9. ใน 'วงจรแม่เหล็กอนุกรม' (Series Magnetic Circuit) ข้อใดกล่าวถูกต้อง?

ก. แรงทำแม่เหล็กเท่ากันในแต่ละส่วน

ข. ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านแต่ละส่วนเท่ากัน และแรงทำแม่เหล็กรวมกัน

ค. แต่ละส่วนมีความต้านทานแม่เหล็กรวมกันแบบขนาน

ง. ใช้ได้เฉพาะกับวัสดุแม่เหล็กอ่อน

10. 'ช่องว่างอากาศ' (Air Gap) ในวงจรแม่เหล็กมีผลกระทบที่สำคัญอย่างไร?

ก. ความต้านทานแม่เหล็กของช่องว่างอากาศมีค่าน้อยมาก

ข. ช่วยเพิ่มความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในแกนกลาง

ค. ทำให้เกิดฟลักซ์รั่วไหลและลดประสิทธิภาพของวงจรแม่เหล็ก

ง. ความซาบซึมได้ของอากาศมีค่าสูงมาก

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. **วงจรไฟฟ้า รหัสวิชา 30104-1002**. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

2. Boylestad, Robert. (2003). **Introductory Circuit Analysis**.

3. Cook, Nigel P. (2004). **Electronic. A Complete Course**.

4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). **Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice**.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน้าที่ 9 งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำรวม

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดอธิบาย 'สนามแม่เหล็ก' (Magnetic Field) ได้ถูกต้องที่สุด?

ก. บริเวณที่ไม่มีแรงกระทำต่อแม่เหล็กหรือกระแสไฟฟ้า

ข. แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำ

ค. เส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วเหนือเข้าสู่ขั้วใต้

ง. พื้นที่ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้อย่างอิสระ

2. 'ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก' (Magnetic Flux Density, B) คือปริมาณใด?

ก. แรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

ข. จำนวนฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดในวงจร

ค. จำนวนฟลักซ์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางของฟลักซ์

ง. ความสามารถของวัสดุในการยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่าน

3. 'ความสามารถซึมได้' (Permeability, μ) ของวัสดุคือคุณสมบัติใด?

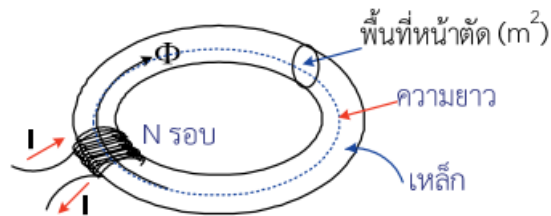
ก. อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กและแรงทำแม่เหล็ก

ข. ความสามารถของวัสดุในการยอมให้สนามแม่เหล็กผ่านได้

- ค.ปริมาณของฟลักซ์แม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้น
- ง.ความต้านทานต่อการไหลของฟลักซ์แม่เหล็ก
- 4.ข้อใดกล่าวถึง 'ความต้านทานแม่เหล็ก' (Reluctance, R) ได้ถูกต้อง?
- ก.ยิ่งค่ามากยิ่งนำฟลักซ์แม่เหล็กได้ดี
- ข.ยิ่งค่ามากยิ่งต้านทานการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กได้ดี
- ค.ใช้ในการวัดความแรงของแม่เหล็ก
- ง.เป็นส่วนกลับของความซาบซึมได้
- 5.'กฎของโอห์มสำหรับวงจรแม่เหล็ก' มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์อย่างไร?
- ก. $B = \mu H$
- ข. $I = V/R$
- ค. $F = NI$
- ง. $MMF = \Phi R$
- 6.'แรงทำแม่เหล็ก' (Magnetomotive Force, MMF) คืออะไร?
- ก.แรงผลักที่ขับเคลื่อนฟลักซ์แม่เหล็กในวงจรแม่เหล็ก
- ข.แรงที่กระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก
- ค.พลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในสนามแม่เหล็ก
- ง.แรงที่ทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่
- 7.'ฮิสเทอรีซิส' (Hysteresis) ในวัสดุแม่เหล็กคือปรากฏการณ์ใด?
- ก.ปรากฏการณ์ที่ B ไม่ได้กลับไปศูนย์เมื่อ H กลับไปศูนย์
- ข.ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง B และ H
- ค.การเปลี่ยนแปลงของทิศทางสนามแม่เหล็กอย่างรวดเร็ว
- ง.การเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าในขดลวด
- 8.'กฎของแอมแปร์' (Ampere's Law) สำหรับวงจรแม่เหล็กกล่าวไว้อย่างไร?
- ก.แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำในขดลวดเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก
- ข.ผลรวมของฟลักซ์แม่เหล็กที่เข้าและออกจากโหนดใดๆ เป็นศูนย์
- ค.ฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด
- ง.ผลรวมเชิงเส้นของ H รอบเส้นทางปิดใดๆ มีค่าเท่ากับกระแสรวมที่ล้อมรอบเส้นทางนั้น
- 9.ใน 'วงจรแม่เหล็กอนุกรม' (Series Magnetic Circuit) ข้อใดกล่าวถูกต้อง?
- ก.แรงทำแม่เหล็กเท่ากันในแต่ละส่วน
- ข.ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านแต่ละส่วนเท่ากัน และแรงทำแม่เหล็กรวมกัน
- ค.แต่ละส่วนมีความต้านทานแม่เหล็กรวมกันแบบขนาน
- ง.ใช้ได้เฉพาะกับวัสดุแม่เหล็กอ่อน
- 10.'ช่องว่างอากาศ' (Air Gap) ในวงจรแม่เหล็กมีผลกระทบที่สำคัญอย่างไร?
- ก.ความต้านทานแม่เหล็กของช่องว่างอากาศมีค่าน้อยมาก
- ข.ช่วยเพิ่มความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในแกนกลาง
- ค.ทำให้เกิดฟลักซ์รั่วไหลและลดประสิทธิภาพของวงจรแม่เหล็ก
- ง.ความซาบซึมได้ของอากาศมีค่าสูงมาก

จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์

1. จากรูปวงจรแม่เหล็ก มีพื้นที่หน้าตัด 50 cm^2 ความยาว 2 m ค่าความซาบซึมได้ 80 ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก 150 รอบ และฟลักซ์แม่เหล็กมีค่า $80 \text{ }\mu\text{Wb}$ จงหาความต้านทานแม่เหล็กและกระแสที่ไหลผ่าน ขดลวด (ตอบ $\mathcal{R} = 3.98 \times 10^6 \text{ At/Wb}$, $I = 2.123 \text{ A}$)

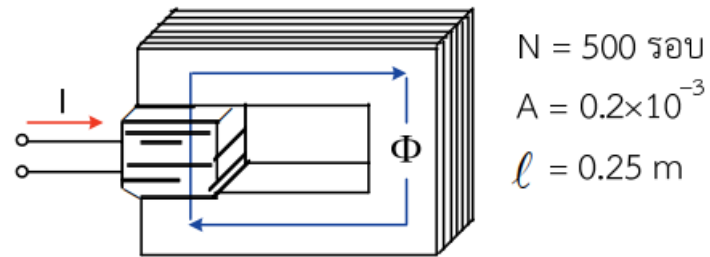


2. จากรูปในข้อ 1 วงจรแม่เหล็กมีแรงเคลื่อนแม่เหล็ก 200 At ค่า $A = 0.4 \text{ m}$ และ $\mu = 6 \times 10^{-4} \text{ Wb/A}\cdot\text{m}$ จงหาความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กของแกนเหล็ก (ตอบ $B = 0.3 \text{ Wb/m}^2$ หรือ 0.3 T)

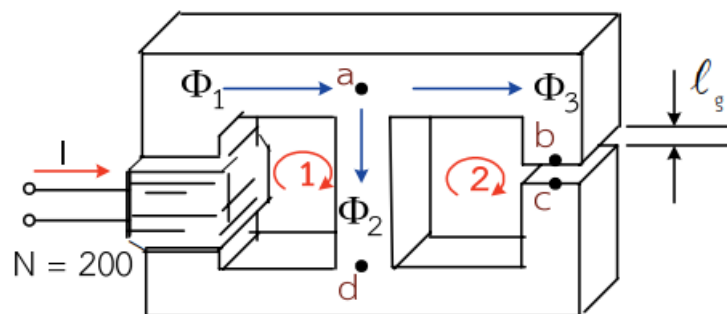
3. จากรูปในข้อ 1 วงจรแม่เหล็กมีพื้นที่หน้าตัด 8 cm^2 ความยาว 40 cm มีความซาบซึมได้ 200 ถ้าจ่ายกระแส 6 A ผ่านขดลวดทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กบนแกนเหล็กเท่ากับ 3 mWb จงหา
ก) ความต้านทานแม่เหล็ก ข) ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ค) แรงทำแม่เหล็ก ง) จำนวนรอบของขดลวด
(ตอบ $1.99 \times 10^6 \text{ At/Wb}$, 3.75 Wb/m^2 , $1.49 \times 10^4 \text{ At/m}$, $N = 995 \text{ t}$ ตามลำดับ)

4. ถ้ากระแส 2 A ไหลผ่านขดลวด 5 รอบ ก) แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (mmf) มีค่าเท่าไร ข) ถ้าฟลักซ์เป็น $250 \text{ }\mu\text{Wb}$ ความต้านทานแม่เหล็กของวงจรมีค่าเท่าไร (ตอบ 10 At , $4 \times 10^4 \text{ At/Wb}$ ตามลำดับ)

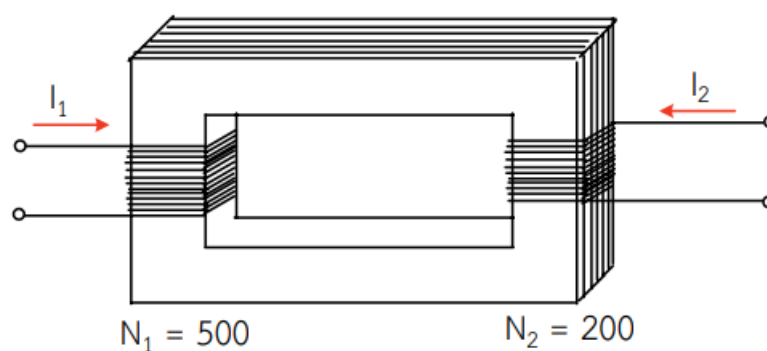
5. จากรูป เป็นแกนเหล็กอ่อน (Cast Iron) และ $\Phi = 0.1 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ กระแสที่ไหลในขดลวดมีค่าเท่าไร (เส้นโค้ง B-H ในตัวอย่างที่ 9.5 ได้ $H \cong 1550 \text{ At/m}$) (ตอบ $I = 0.78 \text{ A}$)



6. จากรูปแกนเหล็กเป็นเหล็กหล่อมี $A = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, $g A = bc A = 0.25 \times 10^{-3} \text{ m}$, จงหากระแสที่ไหลผ่าน ช่องว่างอากาศที่มี $\Phi_g = 1.49 \times 10^4 \text{ Wb}$ และ $\Phi_g = \Phi_3$ (ตอบ 4.65 A)

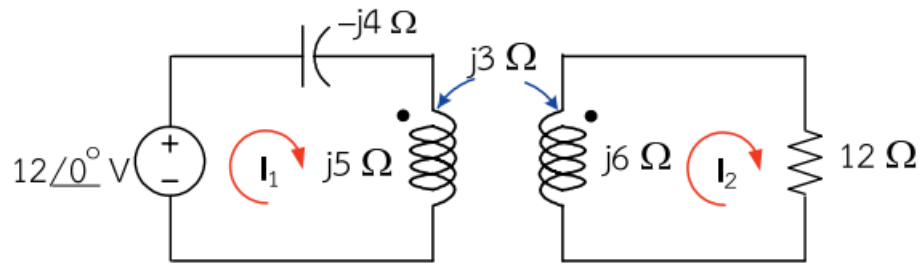


7. จากรูป ขดลวด 2 ขด พันรอบแกนเหล็ก ถ้า $\Phi = 0.1 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ และกระแส $I_1 = 1.5 \text{ A}$ จงหา I_2 (ประยุกต์ใช้กฎของแอมแปร์คือ $N_1 I_1 - N_2 I_2 = H A$)



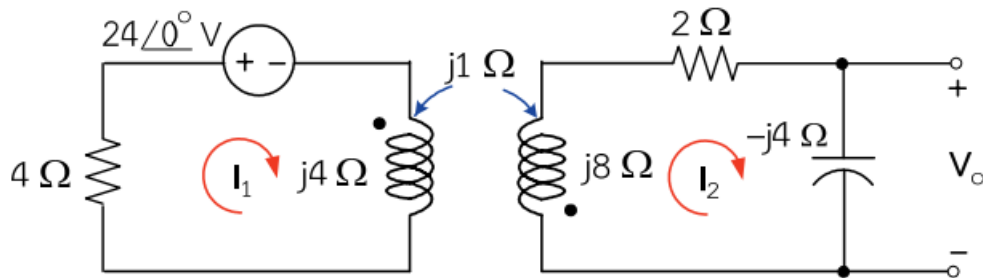
(ตอบ 1.8 A)

8. จากรูปวงจร จงหาค่ากระแส I_1 และ I_2



(ตอบ $I_1 = 13.01 \angle -49.39^\circ$ A, $I_2 = 2.91 \angle 14.04^\circ$ A)

9. จากรูปวงจร จงหาค่ากระแส I_1 , I_2 และแรงดัน V_o



(ตอบ $I_1 = +4.29 \angle 137.2^\circ$ A, $I_2 = 0.96 \angle -16.26^\circ$ A และ $V_o = 3.84 \angle -106.26^\circ$ V)

	ใบงานหน่วยที่ 9	หน่วยที่ 9
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน การศึกษาคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กและกฎของแอมแปร์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กเป็นบริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านหรือมีอำนาจแม่เหล็กส่งไปถึง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรแม่เหล็กและความเหนี่ยวนำร่วม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายความซาบซึ้งได้
- 4.2. บอกลักษณะของสนามแม่เหล็กได้
- 4.3. ใช้กฎของแอมแปร์ในวงจรแม่เหล็กได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply): ปรับค่าแรงดันได้, 0-12 V
2. มัลติมิเตอร์ (Multimeter): ชนิดดิจิทัล สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า (A หรือ mA)
3. คอยล์ลวดทองแดง: สามารถใช้คอยล์สำเร็จรูป หรือพันลวดทองแดงเคลือบเงาจำนวนหลายรอบรอบแกนกระดาษแข็งหรือท่อพลาสติก
4. เข็มทิศ (Compass): ขนาดเล็ก
5. แกนแม่เหล็ก (Ferromagnetic Core): เช่น แกนเหล็กอ่อน หรือแกนเหล็กจากหม้อแปลงที่ไม่ใช้แล้ว
6. ผงเหล็ก (Iron Filings): จำนวนเล็กน้อย
7. แผ่นกระดาษแข็ง: ขนาดพอดีสำหรับวางบนคอยล์
8. ไม้บรรทัด: สำหรับวัดความยาวของคอยล์

9. (ทางเลือกเสริม) เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กแบบ Hall-effect: พร้อมวงจรอินเทอร์เฟซเพื่อแสดงค่าสนามแม่เหล็ก (ในหน่วย Gauss หรือ Tesla) บนมัลติมิเตอร์

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. ความปลอดภัยอันดับแรก: ระวังการลัดวงจรของแหล่งจ่ายไฟเมื่อต่อสายไฟ อย่าให้ปลายสายไฟเปลี่ยนสัมผัสกัน
2. การระบายความร้อน: หากใช้กระแสไฟฟ้าสูงต่อเนื่อง ตัวคอยล์อาจร้อนขึ้นได้ ควรทำการทดลองในระยะเวลาสั้นๆ และพักวงจรหากรู้สึกร้อน
3. การใช้เข็มทิศ: วางเข็มทิศให้ห่างจากอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือแม่เหล็กอื่นๆ ที่อาจรบกวนการวัด
4. การจัดการผงเหล็ก: ควรโรยผงเหล็กอย่างระมัดระวังและใช้แผ่นกระดาษรองเสมอ เพื่อป้องกันการหกเลอะเทอะและสูดดมผงเข้าไป
5. การวัดสนามแม่เหล็ก: หากใช้เซ็นเซอร์ Hall-effect ควรตรวจสอบคู่มือการใช้งานเพื่อทราบทิศทางการวางเซ็นเซอร์ที่ถูกต้องในการวัดสนามแม่เหล็ก

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ส่วนที่ 1: การสังเกตลักษณะของสนามแม่เหล็ก

1. วาดรูป: วาดภาพร่างของคอยล์ที่วางบนโต๊ะ
2. การทดลอง:
 - นำคอยล์มาวางบนโต๊ะและวางแผ่นกระดาษแข็งไว้ด้านบน
 - โรยผงเหล็กให้ทั่วบนแผ่นกระดาษแข็ง
 - ต่อแหล่งจ่ายไฟเข้ากับคอยล์ด้วยแรงดันต่ำ (เช่น 3-5 V)
 - เคาะกระดาษเบาๆ และสังเกตการจัดเรียงตัวของผงเหล็ก
3. บันทึกผล: สเก็ตช์รูปร่างของเส้นแรงแม่เหล็กที่สังเกตเห็นลงในสมุดบันทึก

ส่วนที่ 2: การศึกษาความขั้วขั้วได้และกฎของแอมแปร์

คำนวณล่วงหน้า:

- สูตรกฎของแอมแปร์สำหรับโซลินอยด์: $B = \mu L N I$
 - B = ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Tesla)
 - μ = ความขั้วขั้วได้ ($\mu = \mu_r \mu_0$)
 - N = จำนวนรอบของขดลวด
 - I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (A)
 - L = ความยาวของคอยล์ (m)
- ค่าคงที่:
 - ความขั้วขั้วได้ของสุญญากาศ (μ_0) = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m
- ค่าที่ต้องใช้:
 - วัดจำนวนรอบของคอยล์ (N)
 - วัดความยาวของคอยล์ (L)

1. การทดลอง (แกนอากาศ):

- ต่อคอยล์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟและมัลติมิเตอร์ (ในโหมดแอมมิเตอร์) แบบอนุกรม
- ใช้เข็มทิศหรือเซ็นเซอร์ Hall-effect วางไว้ที่กึ่งกลางคอยล์
- ปรับกระแสไฟฟ้า (I) จากแหล่งจ่ายไฟให้เพิ่มขึ้นทีละขั้น

- ในแต่ละชั้น ให้บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าและสังเกตการเบี่ยงเบนของเข็มทิศ หรือบันทึกค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ Hall-effect
 - บันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 1
2. การทดลอง (แกนหลัก):
- ถอดสายไฟออกจากคอยล์ก่อน แล้วสอดแกนเหล็กเข้าไปในคอยล์
 - ทำซ้ำขั้นตอนการทดลอง 1.2 แต่ใช้แกนเหล็กแทน
 - บันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 2
3. การวิเคราะห์:
- เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่ได้จากการทดลองแกนอากาศและแกนเหล็กที่ค่ากระแสเท่ากัน
 - อภิปรายว่า "ความซาบซึมได้" ของแกนเหล็กส่งผลต่อความแรงของสนามแม่เหล็กอย่างไร

การบันทึกข้อมูล

ตารางที่ 1: การวัดค่าสนามแม่เหล็กในคอยล์แกนอากาศ

กระแสไฟฟ้า (I, A)	ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้ (B, Tesla)

ตารางที่ 2: การวัดค่าสนามแม่เหล็กในคอยล์แกนเหล็ก

กระแสไฟฟ้า (I, A)	ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้ (B, Tesla)

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 9
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน การศึกษาคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กและกฎ วันที่เริ่มงาน ของแอมแปร์					
ผู้ปฏิบัติ		ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง			
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การศึกษาคุณสมบัติของสนามแม่เหล็ก และกฎของแอมแปร์)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 9	หน่วยที่ 9
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กเป็นบริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านหรือมีอำนาจแม่เหล็กส่งไปถึง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรแม่เหล็กและความเหนี่ยวนำร่วม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายความซาบซึ้งได้
- 4.2. บอกลักษณะของสนามแม่เหล็กได้
- 4.3. ใช้กฎของแอมแปร์ในวงจรแม่เหล็กได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษาสนามแม่เหล็ก

6. กำหนดเวลาส่งงาน ทำคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม
 - ถาม-ตอบ ความซาบซึ้ง
- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องความซาบซึ้ง
- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญเรื่องความซาบซึ้ง

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม
ฟังการอธิบายลักษณะของสนามแม่เหล็ก
- ขั้นสาธิต
ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณสมการของสนามแม่เหล็ก
- ขั้นฝึกปฏิบัติ
นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรสนามแม่เหล็ก
- ขั้นตรวจสอบผล
ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณสมการสนามแม่เหล็ก
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง
ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรสมการสนามแม่เหล็ก
- ขั้นสรุป
นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานสมการสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation
ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์กฎของแอมแปร์ในวงจรแม่เหล็ก
- ขั้น Information
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานการวิเคราะห์กฎของแอมแปร์ในวงจรแม่เหล็ก
- ขั้น Progress
ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการวิเคราะห์กฎของแอมแปร์ในวงจรแม่เหล็ก ได้อย่าง

ถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม
เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานงานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม
- ขั้นสอน
สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
- ขั้นสรุป
นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 9
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำร่วม				วันที่เริ่มงาน
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าและความ เหนี่ยวนำร่วม)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10	หน่วยที่ 10
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 13
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และ วงจรเรโซแนนซ์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นได้ในทุกวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอย่างน้อยอย่างละ 1 ตัว

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายการเกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้
- 4.2. คำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมได้
- 4.3. คำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์ขนานได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

- 5.1 ภาวะการเกิดเรโซแนนซ์
- 5.2 วงจรเรโซแนนซ์

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 13/15, คาบที่ 61-65/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอนโดยย่อ
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 10
3. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
4. ครูสอนเนื้อหาสาระ
5. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดกลุ่มละ 1 ข้อ ขณะนี้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน

6. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
7. แบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็นกลุ่มๆ ละ 2-3 คน จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม
8. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน
9. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 10

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 10, PowerPoint ประกอบการสอนและแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

- ในสถานศึกษา :**
1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002

- นอกสถานศึกษา :**
2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 10	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 10	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบฝึกหัดของที่จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม	ตรวจจากโปรแกรม เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 10	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มีมอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 10
2. ผลการทำและนำเสนอการจำลองโปรแกรมการทำงานของวงจร
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 10
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

11. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Cook, Nigel P. (2004). *Electronic. A Complete Course*.
3. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). *Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice*.

10. บันทึกหลังการสอน**ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้**

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10 เรื่องงานภาวะการเกิดโรโชนันซ์และวงจรเรโชนันซ์ สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายระตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 10	หน่วยที่ 10
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 13
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นได้ในทุกวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอย่างน้อยอย่างละ 1 ตัว

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์

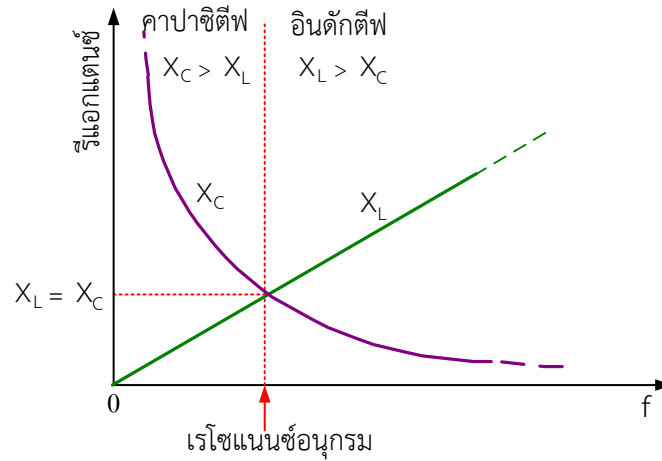
4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายการเกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้
- 4.2. คำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมได้
- 4.3. คำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์ขนานได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

5.1 ภาวะการเกิดเรโซแนนซ์

ภาวะการเกิดวงจรเรโซแนนซ์ อธิบายได้ดังรูป และทบทวนพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากหน่วยที่ 8

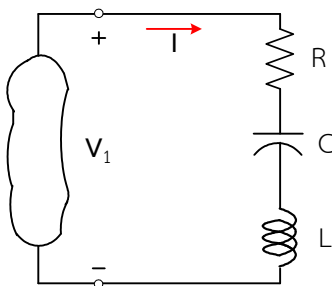


รูป ภาวะการเกิดเรโซแนนซ์อนุกรม

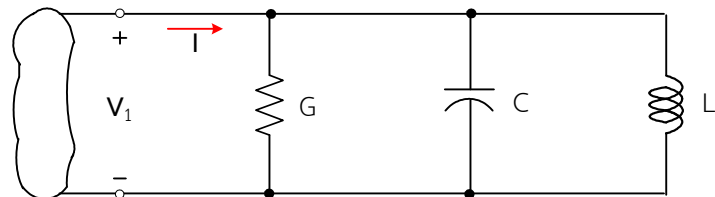
5.2 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรที่มีคุณลักษณะทางความถี่ที่สำคัญอย่างยิ่ง 2 วงจร คือวงจร RLC อนุกรมและวงจร RLC ขนานดังรูปที่ 10.2 อินพุตอิมพีแดนซ์สำหรับวงจร RLC อนุกรม ได้เป็น (Irwin, J. David. 2002: 439)

$$Z(j\omega) = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad \dots\dots\dots 10.1$$



ก) วงจร RLC อนุกรม



ข) วงจร RLC ขนาน

รูปที่ 10.2 วงจร RLC

และอินพุตอิมพีแดนซ์สำหรับวงจร RLC ขนาน ได้เป็น

$$Y(j\omega) = G + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \quad \dots\dots\dots 10.2$$

ทั้งสองสมการนี้มีรูปแบบที่เหมือนกัน โดยในเทอมของจำนวนจินตภาพของทั้งคู่จะเป็นศูนย์ ถ้า

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{ดังนั้น} \quad \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

ค่าของ ω ที่ทำให้เป็นไปตามเงื่อนไขนี้เรียกว่า **ความถี่เรโซแนนซ์ (resonance frequency: ω_0)** หรือเรียกว่า ความถี่ก้ำกัร ดังนั้นเงื่อนไขการเรโซแนนซ์คือ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{rad/s} \quad \dots\dots\dots 10.3$$

และที่ค่าของ ω_0 นี้ อิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรม รูปที่ 10.2 ก) ได้เป็น

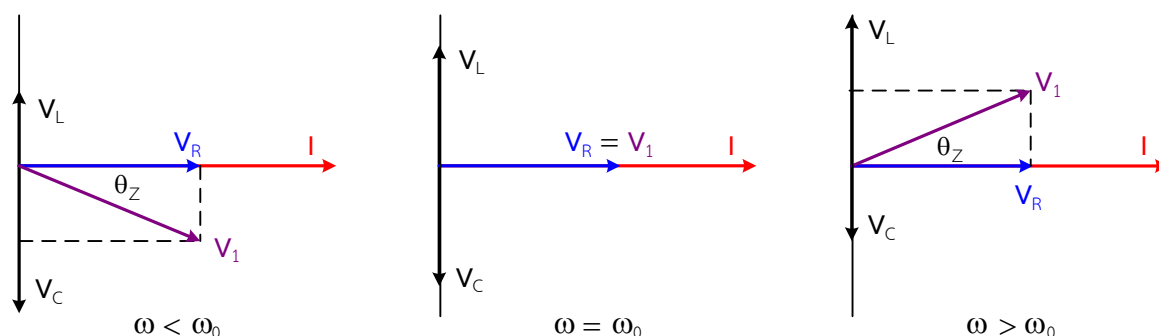
$$Z(j\omega_0) = R \quad \dots\dots\dots 10.4$$

และแอดมิตแตนซ์ของวงจรขนาน รูปที่ 10.2 ข) ได้เป็น

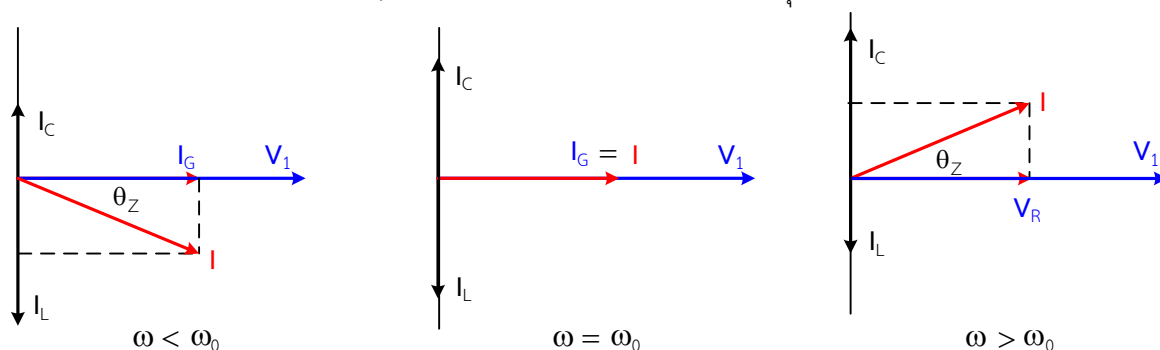
$$Y(j\omega_0) = G \quad \dots\dots\dots 10.5$$

ที่ความถี่ ω_0 นี้อิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรมและแอดมิตแตนซ์ของวงจรขนาน ทั้งสองวงจรจะมีเพียงส่วนจำนวนจริงอย่างเดียวซึ่งกล่าวได้ว่า **วงจรอยู่ในภาวะเรโซแนนซ์** ซึ่งเป็นผลให้แรงดันและกระแสจะอินเฟสกัน ดังนั้นมุมเฟสจึงเป็นศูนย์ และตัวประกอบกำลังมีค่าเป็นหนึ่ง (unity) ในกรณีอนุกรม ที่เรโซแนนซ์อิมพี-แดนซ์จะมีค่าต่ำสุด และดังนั้นกระแสจะมีค่าสูงสุดตามแรงดันที่จ่ายให้วงจร

เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจรทั้งคู่ดังรูปที่ 10.4 สำหรับค่าความถี่สามค่า คือ $\omega < \omega_0$, $\omega = \omega_0$, $\omega > \omega_0$



ก) เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจร RLC อนุกรม



ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจร RLC ขนาน

รูปที่ 10.4 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจร

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน่วยที่ 10 งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1.คำว่า 'เรโซแนนซ์' หมายถึงปรากฏการณ์ใดในทางฟิสิกส์?

ก.การสั่นพ้อง

ข.การแทรกสอด

ค.การหักเห

ง.การสะท้อน

2.ภาวะเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นเมื่อใด?

ก.ความถี่ธรรมชาติ

ข.ความถี่กระตุ้น

ค.ความถี่สูงสุด

ง.ความถี่ต่ำสุด

3. วงจรไฟฟ้าประเภทใดที่สามารถเกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้?

ก. วงจร RLC

ข. วงจร RL

ค. วงจร RC

ง. วงจร DC

4. ผลที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดเมื่อเกิดภาวะเรโซแนนซ์คืออะไร?

ก. แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ข. ความถี่จะลดลง

ค. พลังงานจะถูกลดทอนลง

ง. เฟสของคลื่นจะเปลี่ยนไป 180 องศา

5. ข้อใดคือการประยุกต์ใช้ภาวะเรโซแนนซ์ในชีวิตประจำวัน?

ก. การควบคุมความเร็วพัดลม

ข. การรับสัญญาณวิทยุ

ค. การชาร์จแบตเตอรี่

ง. การให้ความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ

6. สูตรการคำนวณหาความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร RLC คือข้อใด?

ก. ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) = LC

ข. ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) = $1/(2\pi\sqrt{LC})$

ค. ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) = $1/(LC)$

ง. ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) = $2\pi LC$

7. ข้อใดคือคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม?

ก. ความต้านทานรวมของวงจรมีค่าน้อยที่สุด

ข. กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรเป็นศูนย์

ค. กระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าน้อยที่สุด

ง. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานเป็นศูนย์

8. ข้อใดคือคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน?

ก. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเป็นศูนย์

ข. กำลังไฟฟ้าที่วงจรไม่สามารถรับได้

ค. ความต้านทานรวมของวงจรมีค่ามากที่สุด

ง. กระแสไฟฟ้าในสายจ่ายมีค่ามากที่สุด

9. วงจรเรโซแนนซ์ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในวงจรประเภทใดมากที่สุดในการเลือกความถี่?

ก. วงจรกรองความถี่ (Filter circuit)

ข. วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)

ค. วงจรจูน (Tuning circuit)

ง. วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier circuit)

10. เหตุการณ์ใดที่แสดงให้เห็นถึงอันตรายของภาวะเรโซแนนซ์ทางกลได้อย่างชัดเจน?

ก. พีระมิดแห่งกิซา

ข. สะพาน Tacoma Narrows

ค. หอไอเฟล

ง. กำแพงเมืองจีน

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

2. Boylestad, Robert. (2003). *Introductory Circuit Analysis*.

3. Cook, Nigel P. (2004). *Electronic. A Complete Course*.

4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). *Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice*.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน้าที่ 10 งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. คำว่า 'เรโซแนนซ์' หมายถึงปรากฏการณ์ใดในทางฟิสิกส์?

ก. การสั่นพ้อง

ข. การแทรกสอด

ค. การหักเห

ง. การสะท้อน

2. ภาวะเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นเมื่อใด?

ก. ความถี่ธรรมชาติ

ข. ความถี่กระตุ้น

ค. ความถี่สูงสุด

ง. ความถี่ต่ำสุด

3. วงจรไฟฟ้าประเภทใดที่สามารถเกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้?

ก. วงจร RLC

ข. วงจร RL

ค. วงจร RC

ง. วงจร DC

4. ผลที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดเมื่อเกิดภาวะเรโซแนนซ์คืออะไร?

ก. แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ข. ความถี่จะลดลง

ค. พลังงานจะถูกลดทอนลง

ง. เฟสของคลื่นจะเปลี่ยนไป 180 องศา

5. ข้อใดคือการประยุกต์ใช้ภาวะเรโซแนนซ์ในชีวิตประจำวัน?

ก.การควบคุมความเร็วพัดลม

ข.การรับสัญญาณวิทยุ

ค.การชาร์จแบตเตอรี่

ง.การให้ความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ

6.สูตรการคำนวณหาความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร RLC คือข้อใด?

ก.ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) = LC

ข.ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) = $1/(2\pi\sqrt{LC})$

ค.ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) = $1/(LC)$

ง.ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) = $2\pi LC$

7.ข้อใดคือคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม?

ก.ความต้านทานรวมของวงจรมีค่าน้อยที่สุด

ข.กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรเป็นศูนย์

ค.กระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าน้อยที่สุด

ง.แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานเป็นศูนย์

8.ข้อใดคือคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน?

ก.แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเป็นศูนย์

ข.กำลังไฟฟ้าที่วงจรไม่สามารถรับได้

ค.ความต้านทานรวมของวงจรมีค่ามากที่สุด

ง.กระแสไฟฟ้าในสายจ่ายมีค่ามากที่สุด

9.วงจรเรโซแนนซ์ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในวงจรประเภทใดมากที่สุดในการเลือกความถี่?

ก.วงจรกรองความถี่ (Filter circuit)

ข.วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)

ค.วงจรจูน (Tuning circuit)

ง.วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier circuit)

10.เหตุการณ์ใดที่แสดงให้เห็นถึงอันตรายของภาวะเรโซแนนซ์ทางกลได้อย่างชัดเจน?

ก.พริ้มติดแห่งกีฬา

ข.สะพาน Tacoma Narrows

ค.หอไอเฟล

ง.กำแพงเมืองจีน

จงตอบคำถามให้ถูกต้องและสมบูรณ์

เรื่อง ภาวะการเกิดเรโซแนนซ์

1. จงอธิบายภาวะการเกิดเรโซแนนซ์ของวงจร RLC

.....

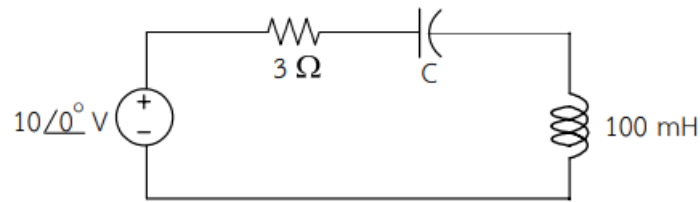
.....

.....

.....

เรื่อง วงจรเรโซแนนซ์

2. จากรูป จงหาค่าของ C ที่ทำให้วงจรเกิดภาวะเรโซแนนซ์ที่ 1800 rad/s (ตอบ $C = 3.09 \mu\text{F}$)



3. จากวงจรขั้วในข้อ 2 จงหาค่า Q ของวงจรขั้วและขนาดของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ตอบ $Q = 60$, $CV = 600 \text{ V}$)

4. จากวงจรขั้วในข้อ 2 จงหาค่าความถี่ครึ่งกำลังทั้งสองค่าและแบนด์วิดท์ (ตอบ $\omega_{LO} = 1815 \text{ rad/s}$, $\omega_{HI} = 1785 \text{ rad/s}$, $BW = 30 \text{ rad/s}$)

5. วงจรอนุกรมประกอบด้วย $R = 2 \Omega$, $L = 40 \text{ mH}$ และ $C = 100 \mu\text{F}$ จงหาแบนด์วิดท์ของวงจรและความถี่เรโซแนนซ์ (ตอบ $BW = 50 \text{ rad/s}$, $\omega_0 = 500 \text{ rad/s}$)

6. วงจร RLC อนุกรม มีค่าที่ตรวจสอบแล้วว่าถูกต้องคือ $R = 4 \Omega$, $\omega_0 = 4000 \text{ rad/s}$ และ $BW = 100 \text{ rad/s}$ จงหาค่าของ L และ C (ตอบ $L = 40 \text{ mH}$, $C = 1.56 \mu\text{F}$)

7. วงจร RLC ขนาน มีค่าพารามิเตอร์ $R = 6 \text{ k}\Omega$, $BW = 1000 \text{ rad/s}$, $Q = 120$ จงหาค่าของ L , C และ ω_0 (ตอบ $L = 417.5 \mu\text{H}$, $C = 0.167 \mu\text{F}$, $\omega_0 = 119,760 \text{ rad/s}$)

.....
.....
.....
8. วงจร RLC ขนาน มีค่าพารามิเตอร์ $R = 2 \text{ k}\Omega$, $L = 20 \text{ mH}$, $C = 150 \text{ }\mu\text{F}$ จงหาความถี่เรโซแนนซ์, Q
และแบนด์วิธของวงจร (ตอบ $\omega_0 = 577 \text{ rad/s}$, $Q = 173$, $BW = 3.33 \text{ rad/s}$)
.....
.....
.....
.....

	ใบงานหน่วยที่ 10	หน่วยที่ 10
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 13
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และ วงจรเรโซแนนซ์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน การศึกษาภาวะเรโซแนนซ์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นได้ในทุกวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอย่างน้อยอย่างละ 1 ตัว

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุรณาการกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายการเกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้
- 4.2. คำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมได้
- 4.3. คำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์ขนานได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายสัญญาณ (Function Generator): สำหรับสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ที่สามารถปรับความถี่ได้

2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope): ชนิดดิจิทัล 2 ช่องสัญญาณ
3. มัลติมิเตอร์ (Multimeter): ชนิดดิจิทัลสำหรับวัดค่าความต้านทานและกระแสไฟฟ้า
4. แผงวงจรต้นแบบ (Breadboard): สำหรับประกอบวงจร
5. ตัวต้านทาน (Resistors): ค่าต่าง ๆ เช่น $100\ \Omega$, $1\ k\Omega$
6. ตัวเก็บประจุ (Capacitor): ค่าประมาณ 10 nF (นาโนฟารัด)
7. ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor): ค่าประมาณ 10 mH (มิลลิเฮนรี)
8. สายไฟจัมเปอร์ (Jumper Wires)
9. สายโพรบสำหรับออสซิลโลสโคป

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. **ความปลอดภัยอันดับแรก:** ตรวจสอบการเชื่อมต่อวงจรบน Breadboard ให้ถูกต้องก่อนจ่ายสัญญาณทุกครั้ง หากใช้แรงดันสูง ให้ระมัดระวังเป็นพิเศษ
2. **การอ่านค่าจากออสซิลโลสโคป:** ใช้ฟังก์ชันการวัดของออสซิลโลสโคป (เช่น Frequency, Peak-to-Peak) เพื่อความแม่นยำในการอ่านค่า
3. **ความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ:** ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้จริงมีความต้านทานภายใน ซึ่งจะส่งผลต่อค่า **คุณภาพ (Q)** ของวงจร ดังนั้นควรวัดค่าความต้านทานภายในของตัวเหนี่ยวนำด้วยมัลติมิเตอร์ก่อนการทดลอง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ
4. **การปรับความถี่:** ภาวะเรโซแนนซ์อาจเกิดขึ้นในย่านความถี่ที่แคบมาก (โดยเฉพาะในวงจรที่มีค่า Q สูง) ดังนั้นควรปรับความถี่อย่างช้า ๆ และละเอียดเมื่อใกล้ถึงค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่คำนวณไว้

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ส่วนที่ 1: การทดลองภาวะเรโซแนนซ์อนุกรม

1. คำนวณล่วงหน้า:

- กำหนดค่าตัวต้านทาน (R) = 100 Ω , ตัวเหนี่ยวนำ (L) = 10 mH, และตัวเก็บประจุ (C) = 10 nF
- คำนวณหาความถี่เรโซแนนซ์ทางทฤษฎี ($f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$)
- คำนวณค่า Q-factor และแถบความกว้าง (Bandwidth, $BW = f_0/Q$)

2. ประกอบวงจร:

- ต่อวงจรอนุกรมประกอบด้วย R, L, และ C บน Breadboard
- ต่อแหล่งจ่ายสัญญาณเข้ากับวงจร
- ต่อออสซิลโลสโคปช่องที่ 1 เพื่อวัดแรงดันแหล่งจ่าย และต่อมัลติมิเตอร์ในโหมด AC Current แบบอนุกรมเพื่อวัดกระแสรวมของวงจร

3. การทดลอง:

- เปิดแหล่งจ่ายสัญญาณและตั้งค่าแรงดันให้คงที่ (เช่น 5 Vrms)
- ปรับความถี่ของแหล่งจ่ายสัญญาณจากค่าต่ำๆ (เช่น 500 Hz) ค่อยๆ เพิ่มขึ้น
- สังเกตค่ากระแสที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์
- เมื่อพบค่ากระแสสูงสุด ให้บันทึกความถี่ที่เกิดขึ้น ซึ่งคือความถี่เรโซแนนซ์จากการทดลอง
- หาจุดกึ่งกำลัง (Half-Power Points) โดยปรับความถี่ทั้งด้านที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์จนค่ากระแสลดลงเหลือ 0.707 เท่าของค่ากระแสสูงสุด บันทึกความถี่ทั้งสองจุด แล้วนำมาคำนวณหาแถบความกว้าง (BW)

4. บันทึกข้อมูล: บันทึกข้อมูลที่ได้ลงในตารางและเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณไว้

ส่วนที่ 2: การทดลองภาวะเรโซแนนซ์ขนาน

1. คำนวณล่วงหน้า:

- ใช้ค่า R, L, C ชุดเดิม
- คำนวณหาความถี่เรโซแนนซ์ทางทฤษฎี (f_0) ซึ่งมีค่าเท่ากับวงจรอนุกรม
- คำนวณค่า Q-factor และแถบความกว้างสำหรับวงจรขนาน

2. ประกอบวงจร:

- ต่อวงจรขนานประกอบด้วย R, L, และ C บน Breadboard

- ต่อแหล่งจ่ายสัญญาณเข้ากับวงจรขนาน
- ต่อออสซิลโลสโคปช่องที่ 1 คร่อมวงจรขนานเพื่อวัดแรงดันรวม

3. การทดลอง:

- เปิดแหล่งจ่ายสัญญาณและตั้งค่ากระแสให้คงที่ (หรือใช้ตัวต้านทานค่าสูงต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายเพื่อจำลองแหล่งจ่ายกระแส)
- ปรับความถี่ของแหล่งจ่ายสัญญาณ
- สังเกตค่าแรงดันที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
- เมื่อพบค่าแรงดันสูงสุด ให้บันทึกความถี่ที่เกิดขึ้น ซึ่งคือความถี่เรโซแนนซ์จากการทดลอง
- หาแถบความกว้างโดยหาจุดที่ค่าแรงดันลดลงเหลือ 0.707 เท่าของค่าแรงดันสูงสุด บันทึกความถี่ทั้งสองจุดและคำนวณหาแถบความกว้าง (BW)

4. บันทึกข้อมูล: บันทึกข้อมูลที่ได้ลงในตารางและเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณไว้

ตารางที่ 1: การวิเคราะห์ภาวะเรโซแนนซ์อนุกรม

พารามิเตอร์	สูตรที่ใช้คำนวณ	ค่าที่คำนวณได้	ค่าที่วัดได้จากการทดลอง	% ความคลาดเคลื่อน
f_0 (Hz)				
I_{max} (A)	V_S/R			
$f_{ต่ำ}$ (Hz)				
$f_{สูง}$ (Hz)				
BW (Hz)	$f_{สูง} - f_{ต่ำ}$			

ตารางที่ 2: การวิเคราะห์ภาวะเรโซแนนซ์ขนาน

พารามิเตอร์	สูตรที่ใช้คำนวณ	ค่าที่คำนวณได้	ค่าที่วัดได้จากการทดลอง	% ความคลาดเคลื่อน
f_0 (Hz)				
V_{max} (V)	$I_S \times Z_{eq}$			
$f_{ต่ำ}$ (Hz)				
$f_{สูง}$ (Hz)				
BW (Hz)	$f_{สูง} - f_{ต่ำ}$			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 6
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน		การศึกษาภาวะเรโซแนนซ์ในวงจรไฟฟ้า		วันที่เริ่มงาน	
กระแสดลัด					
ผู้ปฏิบัติ		ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง			
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การศึกษาภาวะเรโซแนนซ์ในวงจรไฟฟ้า กระแสดลัด)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 10	หน่วยที่ 10
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 13
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นได้ในทุกวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอย่างน้อยอย่างละ 1 ตัว

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายการเกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้
- 4.2. คำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมได้
- 4.3. คำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์ขนานได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษางานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม
 - ถาม-ตอบ การเกิดภาวะเรโซแนนซ์
- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องการเกิดภาวะเรโซแนนซ์
- ขั้นสรุป
 - นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญเรื่องการเกิดภาวะเรโซแนนซ์

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม

ฟังการอธิบายค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

- ขั้นสาธิต

ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

- ขั้นฝึกปฏิบัติ

นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

- ขั้นตรวจสอบผล

ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบผลการและวิธีคำนวณสมการค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง

ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรสมการค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันสรุปผลการและวิธีคำนวณพื้นฐานสมการค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation

ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์ขนาน

น

- ขั้น Information

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์ขนาน

- ขั้น Progress

ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์ขนานได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม

เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานงานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์

- ขั้นสอน

สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด

- ขั้นสรุป

นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 10
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์ วันที่เริ่มงาน					
ผู้ปฏิบัติ ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง					
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 11	หน่วยที่ 11
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 14
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าชั่วขณะใด

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายตัวประกอบกำลังได้
- 4.2. คำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้
- 4.3. แก้ปัญหาวงจรด้วยการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

- 5.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ
- 5.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
- 5.3 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด
- 5.4 ค่าประสิทธิภาพหรือค่าอาร์เอ็มเอส
- 5.5 ตัวประกอบกำลัง
- 5.6 กำลังเชิงซ้อน
- 5.7 การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
- 5.8 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบหนึ่งเฟส

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 14/15, คาบที่ 66-70/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอนโดยย่อ
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 11
3. ครูนำเข้าสู่วิชาเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้
4. ครูสอนเนื้อหาสาระ หัวข้อ 11.1-11.4
5. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเป็นกลุ่มละ 1 ข้อ ขณะนักศึกษากำลังทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน
6. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
7. แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มๆ ละ 3-4 คน ทำการจำลองโปรแกรม
8. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 11, PowerPoint ประกอบการสอนและแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

ในสถานศึกษา : 1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1
รหัสวิชา 30104-1002

นอกสถานศึกษา : 2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 11	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 11	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบฝึกหัดของที่จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม	ตรวจจากโปรแกรม เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 11	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%

4. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%
---	-----------------------------------

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 11
2. ผลการทำและนำเสนอการจำลองโปรแกรมการทำงานของวงจร
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 11
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

11. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Cook, Nigel P. (2004). *Electronic. A Complete Course*.
3. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). *Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice*.

10. บันทึกหลังการสอน**ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้**

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 11 เรื่องงานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....
(นายระตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 11	หน่วยที่ 11
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 14
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าชั่วขณะใด

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายตัวประกอบกำลังได้

4.2. คำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้

4.3. แก้ปัญหาวงจรด้วยการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

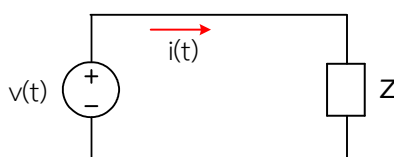
5. สารการเรียนรู้

11.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

การคำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ [instantaneous power: $p(t)$] ที่จ่ายหรือดูดซับโดยอุปกรณ์ใด ๆ นั้นเป็นผลคูณของแรงดันชั่วขณะ $v(t)$ ตกคร่อมอุปกรณ์กับกระแสชั่วขณะ $i(t)$ ที่ไหลผ่านอุปกรณ์นั้น เมื่อพิจารณารูปที่ 11.1 โดยทั่วไปแรงดันและกระแสที่สถานะอยู่ตัว (steady-state) สำหรับวงจรขั้วเขียนได้ดังนี้

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \quad \dots\dots\dots 11.1$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad \dots\dots\dots 11.2$$



รูปที่ 11.1 โครงข่ายกระแสสลับอย่างง่าย

11.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

ดังนั้นสำหรับวงจรที่มีความต้าน-ทานเพียงอย่างเดียวจะดูดซับกำลังอยู่ตลอดเวลา กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้เป็น

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \quad \dots\dots\dots 11.10$$

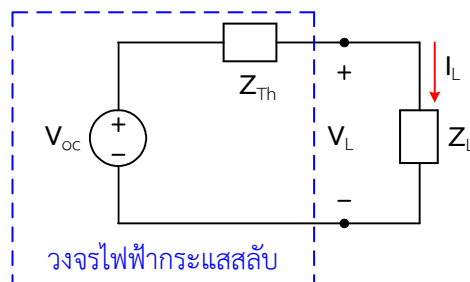
และสำหรับวงจรที่มีรีแอกทีฟ (L หรือ C) อย่างเดียว กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้เป็น

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(90^\circ) = 0$$

เพราะว่าขณะที่อิมพีแดนซ์เป็นรีแอกทีฟอย่างเดียวนั้นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่มันดูดซับจะเท่ากับศูนย์ จึงเรียกได้ว่า องค์ประกอบวงจรนั้นคงสภาพไม่มีการสูญเสียต่อไป วงจรข่ายที่เป็นรีแอกทีฟอย่างเดียวจะมีช่วงคาบด้านบวกที่มีการสะสมพลังงาน (stores energy) และช่วงคาบด้านลบจะคายพลังงาน (releases energy) สลับกันไป

11.3 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด

การแก้ปัญหการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากวงจรเพื่อจ่ายไปยังโหลด R_L ด้วยวงจรสมมูลเทวินิน ซึ่ง $R_L = R_{Th}$ เมื่อตรวจสอบใหม่โดยแทนที่วงจรสมมูลเทวินินด้วยโหลดอิมพีแดนซ์ (Z_L) ดังรูปที่ 11.2 เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดถูกดูดซับโดยโหลดอิมพีแดนซ์



รูปที่ 11.2 วงจรที่ใช้เป็นตัวอย่างการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด

จากรูปที่ 11.2 สมการสำหรับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่โหลดคือ

$$P_L = \frac{1}{2} V_L I_L \cos(\theta_V - \theta_I) \quad \dots\dots\dots 11.11$$

ขั้นตอนการแก้ปัญหาวงจรด้วยการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด

1. ปลดโหลด Z_L ออกและหาวงจรสมมูลเทวินินของวงจรที่เหลือ
2. ได้โครงสร้างของวงจรดังรูปที่ 11.2

3. เลือก $Z_L = Z_{Th}^* = R_{Th} - jX_{Th}$ และเมื่อ $I_L = V_{oc}/2R_{Th}$ และ $P_L = \frac{1}{2} I_L^2 R_{Th} = V_{oc}^2/8R_{Th}$

11.4 ค่าประสิทธิภาพหรือค่าอาร์เอ็มเอส

ค่าประสิทธิภาพเป็นค่ารากที่สอง (root) ของค่าเฉลี่ย (mean) ของกำลังสอง (square) ของสัญญาณที่มีคาบนั้น ดังนั้นจึงเรียกกันว่า ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (root-mean-square: rms) หรือเขียนอย่างย่อว่า ค่าอาร์เอ็มเอส ดังนั้นจึงเขียนได้ว่า

$$I_{\text{eff}} = I_{\text{rms}} \quad \text{และ} \quad V_{\text{eff}} = V_{\text{rms}}$$

โดยที่กระแสตรงเป็นค่าคงที่ ค่า rms ของกระแสตรงจึงเป็นค่าคงที่ด้วย แต่การหาค่า rms ของรูปคลื่นต่าง ๆ ที่ใช้มากคือรูปคลื่นไซน์ สำหรับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ $i(t) = I_m \cos \omega t$ ได้เป็น

$$\begin{aligned} I_{\text{eff}} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \cos^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{I_m^2}{T} \int_0^T \frac{1}{2} (1 + \cos 2\omega t) dt} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \quad \dots\dots\dots 11.23 \end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับ $v(t) = V_m \cos \omega t$ ได้เป็น

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m \quad \dots\dots\dots 11.24$$

11.5 ตัวประกอบกำลัง

ตัวประกอบกำลัง (power factor: pf) เป็นปริมาณที่มีความสำคัญมาก ซึ่งเป็นส่วนหลักที่มีผลกระทบในทางเศรษฐศาสตร์กับภาคอุตสาหกรรมที่ใช้กำลังไฟฟ้าในปริมาณมาก ในสมการที่ 11.25 เป็นสมการแสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ส่งไปยังโหลดในสถานะอยู่ตัวทางไฟฟ้ากระแสสลับ (AC steady state) นั่นคือ

$$P = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos(\theta_v - \theta_i)$$

อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงหรือกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ เรียกว่า **ตัวประกอบกำลัง** หรือ **เพาเวอร์แฟกเตอร์** นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{pf} &= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย}}{\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ}} \\ &= \frac{P}{V_{\text{rms}} I_{\text{rms}}} \\ \text{pf} &= \frac{P}{S} = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad \dots\dots\dots 11.27 \end{aligned}$$

$$\text{เมื่อ } \cos(\theta_v - \theta_i) = \cos \theta_{Z_L} \quad \dots\dots\dots 11.28$$

11.6 กำลังเชิงซ้อน

เมื่อกำลังเชิงซ้อนในหน่วย VA คือ ผลคูณของค่า rms ของเฟสเซอร์แรงดัน (V_{rms}) กับค่าสังยุคเชิงซ้อน (complex conjugate) ของกระแส (I_{rms}^*) ดังนั้นถ้า $I_{\text{rms}} = I_{\text{rms}} \angle \theta_i = I_R + jI_1$ เมื่อ $I_{\text{rms}}^* = I_{\text{rms}} \angle -\theta_i = I_R - jI_1$ กำลังเชิงซ้อนได้เป็น

$$S = V_{\text{rms}} \angle \theta_v I_{\text{rms}} \angle -\theta_i = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \angle \theta_v - \theta_i \quad \dots\dots\dots 11.30$$

$$\text{หรือ} \quad S = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos(\theta_v - \theta_i) + j V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \sin(\theta_v - \theta_i) \quad \dots\dots\dots 11.31$$

เมื่อ $\theta_v - \theta_i = \theta_Z$ มีข้อสังเกตจากสมการที่ 11.31 นั้นว่า ส่วนจำนวนจริงของกำลังเชิงซ้อน (S) จะเป็นกำลังไฟฟ้าจริงหรือกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และส่วนจินตภาพของ S คือกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ หรือกำลังไฟฟ้าควอดเรเจอร์ (quadrature power) ดังนั้นกำลังเชิงซ้อนสามารถเขียนในรูปแบบอย่างง่ายคือ

$$\mathbf{S} = \mathbf{P} + j\mathbf{Q} \quad \text{.....11.32}$$

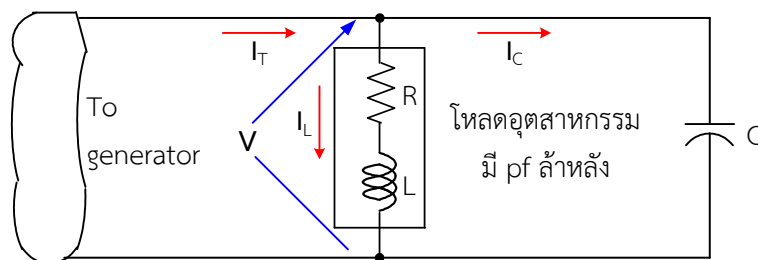
เมื่อ $\mathbf{P} = \text{Re}(\mathbf{S}) = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos(\theta_v - \theta_i) \quad \text{.....11.33}$

$$\mathbf{Q} = \text{Im}(\mathbf{S}) = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \sin(\theta_v - \theta_i) \quad \text{.....11.34}$$

จากสมการที่ 11.31 ขนาดของกำลังเชิงซ้อนเรียกว่า กำลังไฟฟ้าปรากฏ และมุมเฟสของกำลังเชิงซ้อนคือ มุมตัวประกอบกำลัง กำลังไฟฟ้าปรากฏนี้วัดในหน่วย โวลต์-แอมแปร์ (VA) กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยวัดในหน่วย วัตต์ (W) และกำลังไฟฟ้านี้อีกที $\mathbf{Q}$ มีหน่วยวัดเหมือนกันกับปริมาณ $\mathbf{P}$, $\mathbf{S}$ แต่เพื่อแยกความแตกต่างป้องกันความสับสนจึงกำหนดหน่วยวัดของ $\mathbf{Q}$ เป็น โวลต์-แอมแปร์-รีแอกทีฟ หรือเรียกสั้น ๆ ว่า วาร์ (VAR)

11.7 การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

$$\mathbf{S}_{\text{old}} = \mathbf{P}_{\text{old}} + j\mathbf{Q}_{\text{old}} = |\mathbf{S}_{\text{old}}| \angle \theta_{\text{old}}$$



รูปที่ 11.7 วงจรสำหรับการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของโหลดอินดักทีฟ

กำลังเชิงซ้อนสำหรับตัวเก็บประจุ คือ

$$\mathbf{S}_{\text{cap}} = 0 + j\mathbf{Q}_{\text{cap}} = |\mathbf{S}_{\text{cap}}| \angle -90^\circ$$

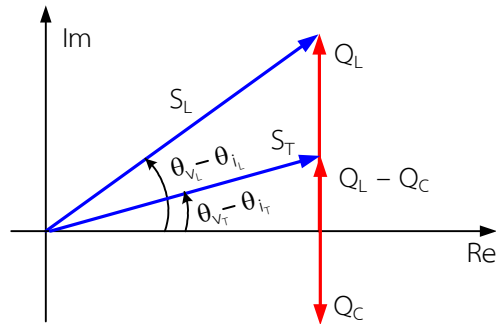
กำลังเชิงซ้อนใหม่เป็นผลจากการเพิ่มตัวเก็บประจุ คือ

$$\mathbf{S}_{\text{old}} + \mathbf{S}_{\text{cap}} = \mathbf{S}_{\text{new}} = \mathbf{P}_{\text{old}} + j\mathbf{Q}_{\text{new}} = |\mathbf{S}_{\text{new}}| \angle \theta_{\text{new}} \quad \text{.....11.39}$$

เมื่อ θ_{new} เป็นมุมตัวประกอบกำลังตามที่ต้องการ ความแตกต่างระหว่างกำลังเชิงซ้อนเก่ากับกำลังเชิงซ้อนใหม่เป็นผลจากการเพิ่มของตัวเก็บประจุและตัวเก็บประจุนั้นต้องเป็นรีแอกทีฟอย่างเดียว

$$\mathbf{S}_{\text{cap}} = +j\mathbf{Q}_{\text{cap}} = -j\omega C V_{\text{rms}}^2 \quad \text{.....11.40}$$

สมการที่ 11.40 สามารถใช้หาขนาดของ C ที่ต้องการใช้ปรับปรุงตัวประกอบกำลังตามที่ต้องการ ขบวนการนี้อธิบายด้วยรูปที่ 11.8 เมื่อ $\theta_{\text{old}} = \theta_v - \theta_i$ และ $\theta_{\text{new}} = \theta_v - \theta_{i_r}$ อย่างไรก็ตามการเลือกตัวเก็บประจุอย่างรอบคอบและนำไปต่อขนานกับโหลดเดิม โดยทั่วไปจะต้องทำให้ตัวประกอบกำลังสูงขึ้นและดังนั้นมุมตัวประกอบกำลังจะน้อยลง

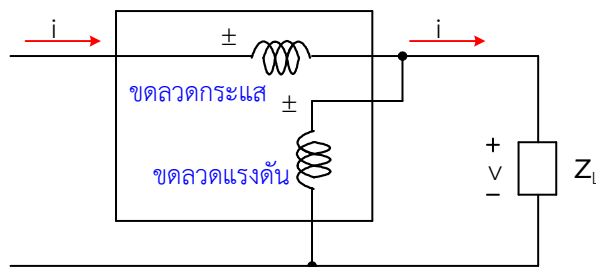


รูปที่ 11.8 เทคนิคสำหรับการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

11.8 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบหนึ่งเฟส

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหรือกำลังไฟฟ้าจริงที่ดูดซับโดยโหลดจะวัดโดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า วัตต์มิเตอร์ (wattmeter) และวาร์มิเตอร์ (varmeter) ใช้วัดกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ปริมาณทั้งสองอาจถูกวัดได้ในเวลาเดียวกันหรืออาจใช้พร้อมกันก็ได้

วัตต์มิเตอร์ประกอบขึ้นจากขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดกระแสและขดลวดแรงดัน โดยที่ขดลวดกระแสมีอิมพีแดนซ์ต่ำเข้าใกล้ศูนย์จะต่ออนุกรมกับโหลด และขดลวดแรงดันมีค่าอิมพีแดนซ์สูงมาก ในทางอุดมคติจะมีค่าเป็นอนันต์และต่อขนานกับโหลด ดังรูปที่ 11.9



รูปที่ 11.9 วงจรการต่อวัตต์มิเตอร์เข้ากับโหลด

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน้าที่ 11 งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1. สูตรสำหรับคำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ $p(t)$ คือข้อใด?

ก. $P = VI \cos \theta$

ข. $S = VI$

ค. $Q = VI \sin \theta$

ง. $p(t) = v(t)i(t)$

2. ความหมายของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยคืออะไร?

ก. กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในรูปของความร้อนเท่านั้น

ข. กำลังไฟฟ้า ณ จุดใดจุดหนึ่งของเวลา

ค. กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรสามารถจ่ายได้

ง. กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปในช่วงเวลาหนึ่งๆ

3. สูตรใดที่ใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ?

ก. $P_{avg} = V_{rms} I_{rms}$

ข. $P_{avg} = V_{rms} I_{rms} \sin \theta$

ค. $P_{avg} = T \int_0^T p(t) dt$

ง. $P_{avg} = V_{peak} I_{peak} \cos \theta$

4. เงื่อนไขสำหรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับคืออะไร?

ก. ความต้านทานโหลดเท่ากับค่าคอนจูเกตเชิงซ้อนของความต้านทานแหล่งจ่าย

ข. ความต้านทานโหลดมากกว่าความต้านทานแหล่งจ่ายเสมอ

ค. ความต้านทานโหลดมีค่าอนันต์

ง. ความต้านทานโหลดเป็นศูนย์

5. 'ตัวประกอบกำลัง' หมายถึงอะไร?

ก. อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ

ข. ส่วนกลับของอิมพีแดนซ์รวมของวงจร

ค. ผลคูณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ง. อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต่อกำลังไฟฟ้าจริง

6. กำลังเชิงซ้อน (S) สามารถแสดงในรูปของกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังรีแอกทีฟ (Q) ได้อย่างไร?

ก. $S = P + Q^2$

ข. $S = P + jQ$

ค. $S = VI \cos \theta$

ง. $S = P - jQ$

7. เครื่องมือใดที่ใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบบหนึ่งเฟสโดยตรง?

ก. โวลต์มิเตอร์

ข. วัตต์มิเตอร์

ค. โอห์มมิเตอร์

ง.แอมมิเตอร์

8.วัตถุประสงค์หลักของการปรับปรุงตัวประกอบกำลังคืออะไร?

ก.เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ข.เพื่อเพิ่มการสูญเสียกำลังในสายส่ง

ค.เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าในระบบ

ง.เพื่อให้แน่ใจว่าโหลดดึงกระแสและแรงดันในเฟสเดียวกัน

9.กำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็นอะไร?

ก.หน่วยเป็นโวลต์-แอมแปร์ (VA)

ข.หน่วยเป็นวาร์ (VAR)

ค.หน่วยเป็นจูล (Joule)

ง.หน่วยเป็นวัตต์ (Watt)

10.แนวคิดของกำลังเชิงซ้อนถูกนำมาใช้ในระบบไฟฟ้าประเภทใดเป็นหลัก?

ก.ระบบนิวเมติก

ข.ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

ค.ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

ง.ระบบไฮดรอลิก

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Boylestad, Robert. (2003). Introductory Circuit Analysis.
3. Cook, Nigel P. (2004). Electronic. A Complete Course.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน่วยที่ 11 งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1.สูตรสำหรับคำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (p(t)) คือข้อใด?

ก. $P = VI \cos \theta$

ข. $S = VI$

ค. $Q = VI \sin \theta$

ง. $p(t) = v(t)i(t)$

2.ความหมายของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยคืออะไร?

ก.กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในรูปของความร้อนเท่านั้น

ข.กำลังไฟฟ้า ณ จุดใดจุดหนึ่งของเวลา

ค.กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรสามารถจ่ายได้

ง.กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปในช่วงเวลาหนึ่งๆ

3. สูตรใดที่ใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ?

ก. $P_{avg} = V_{rms} I_{rms}$

ข. $P_{avg} = V_{rms} I_{rms} \sin \theta$

ค. $P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt$

ง. $P_{avg} = V_{peak} I_{peak} \cos \theta$

4. เงื่อนไขสำหรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับคืออะไร?

ก. ความต้านทานโหลดเท่ากับค่าคอนจูเกตเชิงซ้อนของความต้านทานแหล่งจ่าย

ข. ความต้านทานโหลดมากกว่าความต้านทานแหล่งจ่ายเสมอ

ค. ความต้านทานโหลดมีค่าอนันต์

ง. ความต้านทานโหลดเป็นศูนย์

5. 'ตัวประกอบกำลัง' หมายถึงอะไร?

ก. อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ

ข. ส่วนกลับของอิมพีแดนซ์รวมของวงจร

ค. ผลคูณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ง. อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต่อกำลังไฟฟ้าจริง

6. กำลังเชิงซ้อน (S) สามารถแสดงในรูปของกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังรีแอกทีฟ (Q) ได้อย่างไร?

ก. $S = P + jQ$

ข. $S = P + jQ$

ค. $S = VI \cos \theta$

ง. $S = P - jQ$

7. เครื่องมือใดที่ใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบบหนึ่งเฟสโดยตรง?

ก. โวลต์มิเตอร์

ข. วัตต์มิเตอร์

ค. โอห์มมิเตอร์

ง. แอมมิเตอร์

8. วัตถุประสงค์หลักของการปรับปรุงตัวประกอบกำลังคืออะไร?

ก. เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ข. เพื่อเพิ่มการสูญเสียกำลังในสายส่ง

ค. เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าในระบบ

ง. เพื่อให้แน่ใจว่าโหลดดึงกระแสและแรงดันในเฟสเดียวกัน

9. กำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็นอะไร?

ก. หน่วยเป็นโวลต์-แอมแปร์ (VA)

ข. หน่วยเป็นวาร์ (VAR)

ค. หน่วยเป็นจูล (Joule)

ง. หน่วยเป็นวัตต์ (Watt)

10. แนวคิดของกำลังเชิงซ้อนถูกนำมาใช้ในระบบไฟฟ้าประเภทใดเป็นหลัก?

ก. ระบบนิวเมติก

ข.ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

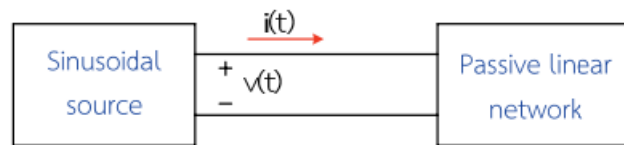
ค.ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

ง.ระบบไฮดรอลิก

คำสั่ง จงแสดงวิธีทำให้ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์

เรื่อง กำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

1. จงหาค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ดูดซับโดยวงจรจ่ายเชิงเส้นแบบพาสซีฟ ดังรูป ถ้า $v(t) = 80 \cos(10t + 20^\circ) \text{ V}$ และ $i(t) = 15 \sin(10t + 60^\circ) \text{ A}$



(ตอบ $385.7 + 600 \cos(20t - 10^\circ) \text{ W}$, 385.7 W)

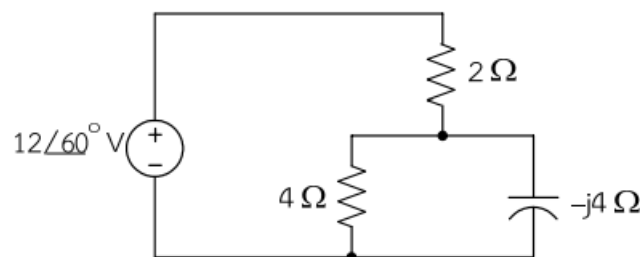
2. จงหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ดูดซับโดยอิมพีแดนซ์ $Z = 30 - j70 \Omega$ เมื่อมีแรงดันไฟฟ้า $V = 120 \angle 0^\circ \text{ V}$ ตกคร่อมที่ตัวมัน

(ตอบ 37.24 W)

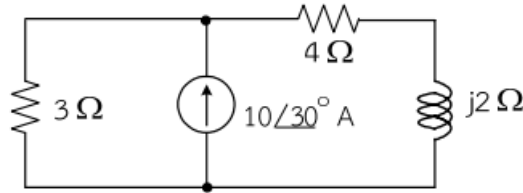
3. จงหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้อิมพีแดนซ์ $Z = 20 \angle -22^\circ \Omega$ เมื่อมีกระแส $I = 10 \angle 30^\circ \text{ A}$ ไหลผ่าน

(ตอบ 937.2 W)

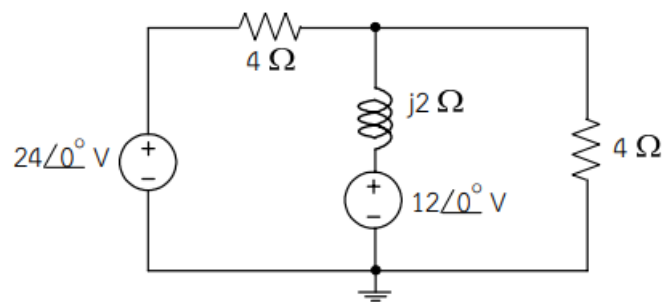
4. จงหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ดูดซับโดยตัวต้านทานทุกตัวในรูป (ตอบ $P_{2\Omega} = 7.2 \text{ W}$, $P_{4\Omega} = 7.2 \text{ W}$)



5. จงหากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ดูดซับโดยอุปกรณ์ทุกตัวในวงจรและกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ยที่จ่ายโดยแหล่งกำเนิดกระแส (ตอบ $P_{3\Omega} = 56.6 \text{ W}$, $P_{4\Omega} = 33.96 \text{ W}$, $P_L = 0$, $P_{CS} = 90.5 \text{ W}$)

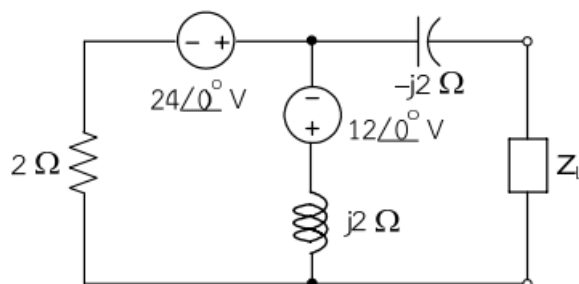


6. จงหากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ดูดซับและจ่ายโดยองค์ประกอบในวงจรข้างทุกตัวในรูป (ตอบ $P_{24V} = -55.4 \text{ W}$, $P_{12V} = 5.5 \text{ W}$, $P_{2\Omega} = 22.2 \text{ W}$, $P_{4\Omega} = 27.7 \text{ W}$, $P_L = 0$)

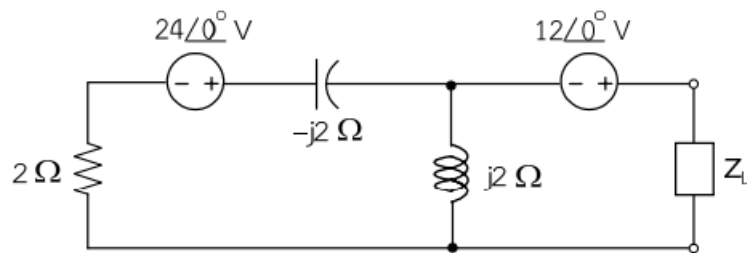


เรื่อง การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด

8. จงหา Z_L สำหรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ถ่ายโอนไปยังโหลดในรูป (ตอบ $Z_L = 1 + j1 \Omega$, $P_L = 45 \text{ W}$)



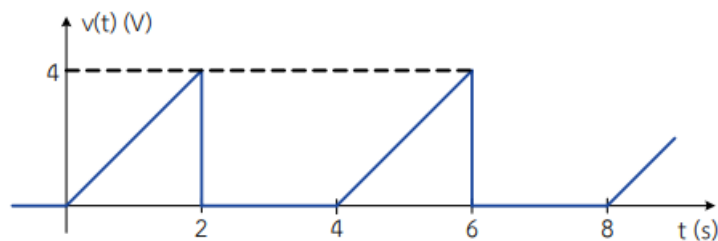
9. จงหา Z_L สำหรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ถ่ายโอนไปยังโหลดในรูป
(ตอบ $Z_L = 2 - j2 \, \Omega$, $P_L = 45 \, \text{W}$)



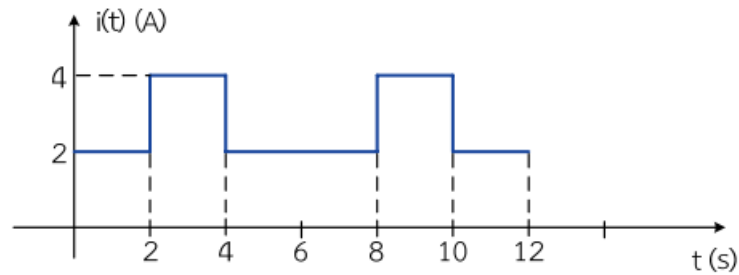
เรื่อง ค่าประสิทธิภาพหรือค่าอาร์เอ็มเอส

10. จงหาค่า rms ของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันดังรูป

(ตอบ $V_{rms} = 1.633 \, \text{V}$)



11. จงหากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ส่งไปยังตัวต้านทาน ถ้ารูปคลื่นสัญญาณกระแสดังรูปไหลผ่านตัวต้านทาน $4 \, \Omega$
(ตอบ $P = 32 \, \text{W}$)



เรื่อง ตัวประกอบกำลัง

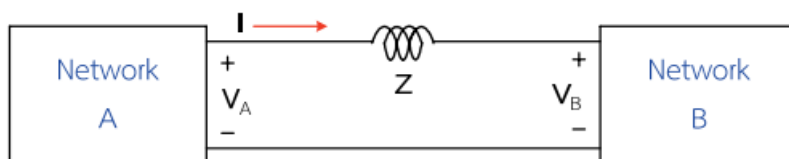
12. โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง มีโหลดขนาด 100 kW ที่ $\text{pf} = 0.707$ ถ้าหลัง ใช้แรงดัน 480 /0° V rms ที่ ความถี่ 60 Hz มีความต้านทานของสายส่งกำลังถึงหม้อแปลงของโรงงานเป็น 0.1Ω จงหาลำโพงไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ถ้า pf เปลี่ยนเป็น 0.94 ถ้าหลัง

(ตอบ Power saved = 3.771 kW)

เรื่อง กำลังเชิงซ้อน

13. วงจรข่าย A และ B ต่อด้วยกันด้วยสายตัวนำดังรูป มีค่า $Z = 0 + j1 \Omega$ แรงดันที่หัวของวงจรข่าย $V_A = 120 /30^\circ \text{ V rms}$ และ $V_B = 120 /0^\circ \text{ V}$ จงหาลำโพงไฟฟ้าที่ส่งโดยวงจรข่าย A และกำลังไฟฟ้าที่ดูดซับ โดยวงจรข่าย B

(ตอบ $I = 62.12 /15^\circ \text{ A}$, $P_A = 7200.4 \text{ W}$, $P_B = 7200.4 \text{ W}$)



เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง 14. จงคำนวณค่าของตัวเก็บประจุที่จำเป็นต้องใช้ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 ถ้าหลัง จาก ตัวอย่างที่ 11.7

(ตอบ $C = 773 \mu\text{F}$)

	ใบงานหน่วยที่ 11	หน่วยที่ 11
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 14
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าชั่วขณะใด

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายตัวประกอบกำลังได้

4.2. คำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้

4.3. แก้ปัญหาวงจรด้วยการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนัก

ถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายสัญญาณ (Function Generator): สำหรับสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave)

2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope): ชนิดดิจิทัล 2 ช่องสัญญาณ

3. มัลติมิเตอร์ (Multimeter): ชนิดดิจิทัล สำหรับวัดค่าความต้านทานและกระแส

4. แผงวงจรต้นแบบ (Breadboard): สำหรับประกอบวงจร

5. ตัวต้านทาน (Resistors): ค่าต่าง ๆ เช่น 100 Ω , 470 Ω , 1 k Ω

6. ตัวเก็บประจุ (Capacitor): ค่าประมาณ 100 nF (นาโนฟารัด)

7. ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor): ค่าประมาณ 1 mH (มิลลิเฮนรี)

8. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer): หรือ Resistor Box

9. สายไฟจัมเปอร์ (Jumper Wires)

10. สายโพรบสำหรับออสซิลโลสโคป: ควรมี 2 เส้น

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. **ความปลอดภัยอันดับแรก:** ตรวจสอบการเชื่อมต่อวงจรให้ถูกต้องและแน่นหนาบน Breadboard ก่อนจ่ายสัญญาณทุกครั้ง

2. **การปรับค่าออสซิลโลสโคป:** ตั้งค่าแรงดันและเวลา (Volts/Div และ Time/Div) บนออสซิลโลสโคปให้เหมาะสม เพื่อให้เห็นรูปคลื่นได้อย่างชัดเจน และใช้ฟังก์ชันการวัด (Measure) ของออสซิลโลสโคปเพื่อความแม่นยำในการอ่านค่า

3. **การวัดแรงดันและกระแส:** การวัดแรงดันทำได้โดยต่อโพรบขนานกับอุปกรณ์ แต่การวัดกระแสต้องใช้วิธีทางอ้อมโดยการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานอนุกรมที่ทราบค่า แล้วคำนวณจากกฎของโอห์ม ($I=V/R$)

4. **การวัดเฟส:** ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ปรับการตั้งค่าโพรบ (Probe) ของออสซิลโลสโคปให้เป็น 10X และปรับค่าในเครื่องให้ตรงกันเพื่อความแม่นยำ

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ใบงานการทดลอง: การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- แหล่งจ่ายสัญญาณ (Function Generator): สำหรับสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave)
- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope): ชนิดดิจิทัล 2 ช่องสัญญาณ
- มัลติมิเตอร์ (Multimeter): ชนิดดิจิทัล สำหรับวัดค่าความต้านทานและกระแส
- แผงวงจรต้นแบบ (Breadboard): สำหรับประกอบวงจร
- ตัวต้านทาน (Resistors): ค่าต่าง ๆ เช่น 100 Ω , 470 Ω , 1 k Ω
- ตัวเก็บประจุ (Capacitor): ค่าประมาณ 100 nF (นาโนฟารัด)
- ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor): ค่าประมาณ 1 mH (มิลลิเฮนรี)
- ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer): หรือ Resistor Box
- สายไฟจัมเปอร์ (Jumper Wires)
- สายโพรบสำหรับออสซิลโลสโคป: ควรมี 2 เส้น

2. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. **ความปลอดภัยอันดับแรก:** ตรวจสอบการเชื่อมต่อวงจรให้ถูกต้องและแน่นหนาบน Breadboard ก่อนจ่ายสัญญาณทุกครั้ง
2. **การปรับค่าออสซิลโลสโคป:** ตั้งค่าแรงดันและเวลา (Volts/Div และ Time/Div) บนออสซิลโลสโคปให้เหมาะสม เพื่อให้เห็นรูปคลื่นได้อย่างชัดเจน และใช้ฟังก์ชันการวัด (Measure) ของออสซิลโลสโคปเพื่อความแม่นยำในการอ่านค่า
3. **การวัดแรงดันและกระแส:** การวัดแรงดันทำได้โดยต่อโพรบขนานกับอุปกรณ์ แต่การวัดกระแสต้องใช้วิธีทางอ้อมโดยการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานอนุกรมที่ทราบค่า แล้วคำนวณจากกฎของโอห์ม ($I=V/R$)
4. **การวัดเฟส:** ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ปรับการตั้งค่าโพรบ (Probe) ของออสซิลโลสโคปให้เป็น 10X และปรับค่าในเครื่องให้ตรงกันเพื่อความแม่นยำ

3. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ส่วนที่ 1: การศึกษาตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

1. คำนวณล่วงหน้า:

- สร้างวงจรอนุกรมประกอบด้วยตัวต้านทาน $R=470\ \Omega$ และตัวเก็บประจุ $C=100\ \mu\text{F}$
- ตั้งค่าแหล่งจ่ายสัญญาณให้เป็นรูปคลื่นไซน์ที่แรงดันคงที่ (เช่น $10\ \text{V}_{\text{rms}}$) และความถี่ $100\ \text{Hz}$
- คำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุ (X_C) และอิมพีแดนซ์รวมของวงจร (Z) ในเชิงขั้ว (Polar Form)
- คำนวณหาค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor, $\text{PF}=\cos(\theta)$)

2. การปฏิบัติ:

- ต่อวงจรตามที่คำนวณล่วงหน้า
- ใช้โพรบของออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่ตกคร่อมแหล่งจ่ายและแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน
- บันทึกค่าแรงดันทั้งสองและค่าความแตกต่างของเฟส ($\Delta\theta$) ระหว่างรูปคลื่นทั้งสอง
- คำนวณกระแสในวงจร ($I=V_R/R$)
- คำนวณค่าตัวประกอบกำลังจากค่า $\cos(\Delta\theta)$ ที่วัดได้

3. บันทึกข้อมูล: บันทึกข้อมูลลงในตารางและเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณทางทฤษฎี

ส่วนที่ 2: การคำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

1. คำนวณล่วงหน้า:

- ใช้การตั้งค่าวงจรจากส่วนที่ 1
- คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทางทฤษฎี ($P_{\text{เฉลี่ย}}=V_{\text{rms}}I_{\text{rms}}\cos(\theta)$)

2. การปฏิบัติ:

- ใช้โพรบของออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่ตกคร่อมแหล่งจ่ายและกระแสที่ไหลในวงจร (โดยการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R แล้วคำนวณ)
- ใช้ฟังก์ชันการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Math) ของออสซิลโลสโคปเพื่อคูณรูปคลื่นแรงดันและกระแสเข้าด้วยกัน เพื่อแสดงรูปคลื่นกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ ($p(t)$)
- ใช้ฟังก์ชันการวัดของออสซิลโลสโคปเพื่อหาค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ ซึ่งก็คือค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

3. บันทึกข้อมูล: บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่วัดได้และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณทางทฤษฎี

ส่วนที่ 3: การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (Maximum Average Power Transfer)

1. คำนวณล่วงหน้า:

- สร้างวงจรแหล่งจ่าย AC ที่มีอิมพีแดนซ์ภายใน (เช่น ตัวต้านทาน $R_S=100\ \Omega$ และตัวเหนี่ยวนำ $L_S=1\ \text{mH}$ ต่ออนุกรม) และโหลดเป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_L)
- คำนวณหาค่า R_L ที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยเมื่อ X_S มีค่าเป็นบวก (จากตัวเหนี่ยวนำ) ค่าโหลดจะต้องมีอิมพีแดนซ์เป็นคอนจูเกตเชิงซ้อนของอิมพีแดนซ์ต้นทาง นั่นคือ $Z_L=R_L-jX_S$ (กรณีนี้ R_L จะเท่ากับ R_S)
- คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่สามารถถ่ายโอนได้

2. การปฏิบัติ:

- ประกอบวงจรตามที่คำนวณล่วงหน้า

- ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ (RL)
- ใช้โพรบของออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่ตกคร่อมโหลด (VL)
- ใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแสที่ไหลผ่านโหลด (IL)
- คำนวณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด ($PL = VL \times IL$)
- ปรับค่า RL ไปทีละขั้น (เช่น 100, 200, 300, 400, ... Ω) และบันทึกค่า RL, VL, IL, และ PL
- นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดกับค่าความต้านทานโหลด

3. **บันทึกข้อมูล:** บันทึกข้อมูลลงในตารางและเปรียบเทียบค่า RL ที่ได้กำลังสูงสุดจากการทดลองกับค่าที่คำนวณทางทฤษฎี

การบันทึกข้อมูล

ตารางที่ 1: การคำนวณตัวประกอบกำลัง

พารามิเตอร์	ค่าที่คำนวณได้	ค่าที่วัดได้จากการทดลอง
แรงดัน (V)		
กระแส (I)		
มุมเฟส (θ)		
ตัวประกอบกำลัง (PF)		

ตารางที่ 2: กำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

พารามิเตอร์	ค่าที่คำนวณได้	ค่าที่วัดได้จากการทดลอง
$p(t)_{\max}$		
$P_{\text{เฉลี่ย}}$		

ตารางที่ 3: การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด

RL (Ω)	VL (V)	IL (A)	PL (W)
100			
200			
...			
(ค่าสูงสุดที่พบ)			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

8.สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 11

(Evaluation Sheet)

ชื่องาน การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด		วันที่เริ่มงาน			
ผู้ปฏิบัติ		ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง			
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 11	หน่วยที่ 11
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 14
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	ทฤษฎี 2 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งาน งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าชั่วขณะใด

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
- 2) วิธีประเมิน -
- 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายตัวประกอบกำลังได้
- 4.2. คำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้
- 4.3. แก้ปัญหาวงจรด้วยการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาอาการในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษางานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ ตัวประกอบกำลัง

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องตัวประกอบกำลัง

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญเรื่องตัวประกอบกำลัง

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม

ฟังการอธิบายกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

- ขั้นสาธิต
ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
- ขั้นฝึกปฏิบัติ
นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรพารามิเตอร์ในกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
- ขั้นตรวจสอบผล
ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณสมการกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง
ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรสมการกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
- ขั้นสรุป
นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานสมการกำลังไฟฟ้าชั่วขณะและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

จุดประสงค์ข้อที่ 3

- ขั้น Motivation
ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด
- ขั้น Information
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด
- ขั้น Progress
ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์ข้อที่ 4

- ขั้นเตรียม
เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานงานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
- ขั้นสอน
สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
- ขั้นสรุป
นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 11
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบ	วันที่เริ่มงาน			
กำลัง					
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 12	หน่วยที่ 12
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส	ทฤษฎี 2 ชม.
	ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส	ปฏิบัติ 3 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟสสมดุล

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟส

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายความสัมพันธ์เฟสของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้
- 4.2. คำนวณการต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้
- 4.3. คำนวณกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

- 5.1 การต่อสามเฟส
- 5.2 การต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลด
- 5.3 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า
- 5.4 การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
- 5.5 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบสามเฟส

6. กิจกรรมการเรียนรู้

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่ 15/15, คาบที่ 71-75/75)

1. ครูทบทวนเนื้อหาการสอนโดยย่อ
2. นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 12
3. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้

4. ครูสอนเนื้อหาสาระ
5. นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเป็นกลุ่มละ 1 ข้อ ขณะนักศึกษาทำแบบฝึกหัดครูจะสังเกตการทำงาน
6. ครูและนักศึกษาร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดบางข้อ
7. แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มๆ ละ 3-4 คน ทำการจำลองโปรแกรม
8. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปเรื่องที่เรียน
9. นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 12

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- สื่อสิ่งพิมพ์**
1. สื่อการเรียนรู้ หนังสือเรียน หน่วยที่ 12, PowerPoint ประกอบการสอนและแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบฝึกหัด
 2. แหล่งการเรียนรู้ หนังสือ วารสารเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ต

แหล่งการเรียนรู้

ในสถานศึกษา : 1. หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1
รหัสวิชา 30104-1002

นอกสถานศึกษา : 2. Internet

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1. หลักฐานความรู้

หนังสือเรียน วิชาวงจรไฟฟ้า 1

8.2. หลักฐานการปฏิบัติงาน

2.1 แบบฝึกหัด

2.2 ใบงานปฏิบัติ

9. การวัดประเมินผลการเรียนรู้

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่ 12	(ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน)
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่ 12	ตรวจแบบฝึกหัด เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบฝึกหัดของที่จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม	ตรวจจากโปรแกรม เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 12	ตรวจแบบทดสอบ เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์	ตรวจตามแบบประเมินผล เกณฑ์ผ่าน 60%

งานที่มอบหมาย

งานที่มอบหมายนอกเหนือเวลาเรียน

1. ให้ทำแบบฝึกหัดให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์
2. ให้ทำแบบฝึกหัดข้อที่เลือกจำลองด้วยการทำงานด้วยโปรแกรมให้เรียบร้อย ถูกต้อง สมบูรณ์

ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการทำและนำเสนอแบบฝึกหัดหน่วยที่ 12
2. ผลการทำและนำเสนอการจำลองโปรแกรมการทำงานของวงจร
3. ผลคะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่ 12
4. ผลคะแนนจากการประเมินคุณธรรม จริยธรรม ที่พึงประสงค์

เอกสารอ้างอิง

11. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Cook, Nigel P. (2004). *Electronic. A Complete Course*.
3. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). *Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice*.

10. บันทึกหลังการสอน**ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้**

ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 12 เรื่องงานวงจรไฟฟ้าสามเฟส สรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้สอน.....
2. เนื้อหา.....
3. สื่อการสอน.....

ผลการเรียนของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อผู้บันทึก.....

(นายระตะ ใจตรง)

	ใบความรู้หน่วยที่ 12	หน่วยที่ 12
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส	ทฤษฎี 2 ชม.
	ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส	ปฏิบัติ 3 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟสสมดุล

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟส

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายความสัมพันธ์เฟสของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้

4.2. คำนวณการต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้

4.3. คำนวณกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิจนิสัยในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. สารการเรียนรู้

5.1 บทนำ

การส่งกำลังไฟฟ้าจะต้องทำให้มีประสิทธิภาพที่แรงดันสูงมาก ๆ โดยที่แรงดันนี้สามารถปรับจากระดับสูงสุดให้เป็นระดับปกติที่ใช้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานได้โดยใช้หม้อแปลง ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟส ถ้าแรงดันรูปคลื่นไซน์ทั้งสามขั้วต่อ (ไม่นับขั้วนิวทรัลหรือกราวด์) มีขนาด (amplitude) และความถี่เท่ากัน แรงดันเหล่านี้ไม่ได้อินเฟสกัน แต่ละแรงดันจะต่างเฟส (out of phase) กัน 120° กับอีกสองแรงดัน ซึ่งแรงดันเหล่านี้กล่าวได้ว่า สมดุล (balanced) และถ้าโหลดตึงกระแสเท่ากันทั้งสามเฟสด้วยจะใช้อ้างอิงได้ว่าเป็นวงจร ไฟฟ้าสามเฟสสมดุล (balanced three phase circuit)

การสมดุลของแรงดันทั้งสามเฟสสามารถแสดงในโดเมนของความถี่ดังรูปที่ 12.1 ก) เมื่อสมมติให้ขนาดของแรงดัน¹ เป็น 220 V rms สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{an} = 220 \angle 0^\circ \text{ V rms}$$

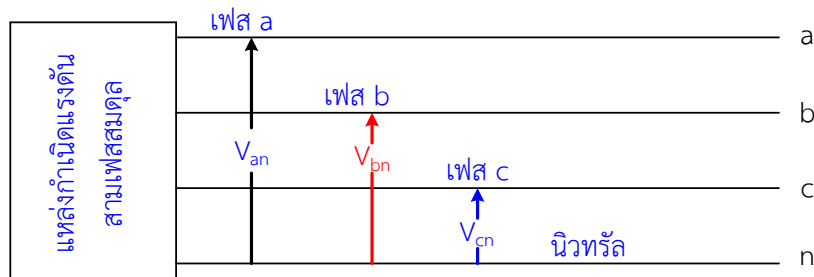
$$V_{bn} = 220 \angle -120^\circ \text{ V rms} \quad \dots\dots\dots 12.1$$

$$\begin{aligned} V_{cn} &= 220 \angle -240^\circ \text{ V rms} \\ &= 220 \angle 120^\circ \text{ V rms} \end{aligned}$$

5.2 การต่อสามเฟส

แหล่งกำเนิดแรงดันหลายเฟสที่มีความสำคัญมากคือแหล่งกำเนิดสามเฟสสมดุล แหล่งกำเนิดนี้แสดงดังรูปที่ 12.2 มีลักษณะเฉพาะคือ แรงดันเฟสเป็นแรงดันระหว่างไลน์ a, b และ c กับสายนิวทรัล n ได้

$$\begin{aligned} V_{an} &= V_p \angle 0^\circ \\ V_{bn} &= V_p \angle -120^\circ \\ V_{cn} &= V_p \angle -240^\circ = V_p \angle 120^\circ \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 12.7$$



รูปที่ 12.2 แหล่งกำเนิดแรงดันสามเฟสสมดุล

เฟสเซอร์ไดอะแกรมของ V_{an} , V_{bn} และ V_{cn} ดังรูปที่ 12.3 เรียกแรงดันทั้งสามนี้ว่า แรงดันเฟส (phase voltage: V_p) และมีการเรียงลำดับเฟส² (phase sequence) เป็น abc หรือลำดับเฟสแบบบวก ดังรูปที่ 12.3 ก) V_{an} มีมุมเฟสนำ V_{bn} มีมุมเฟสนำ V_{cn} วนเป็นวงกลับไปเฟสเริ่มต้น เขียนเป็นสมการได้ตามสมการที่ 12.7 ส่วนรูปที่ 12.3 ข) มีการเรียงลำดับเฟส acb หรือลำดับเฟสแบบลบ สำหรับลำดับเฟสแบบนี้ V_{an} มีมุมเฟสนำ V_{cn} มีมุมเฟสนำ V_{bn} วนเป็นวงกลับไปเฟสเริ่มต้น

5.3 การต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลด

12.3.1 การต่อแบบ Y-Y สมดุล (Balanced Wye-Wye Connection)

12.3.2 การต่อแหล่งกำเนิดแบบเดลตา (Delta-Connection Source)

12.3.3 การต่อโหลดแบบเดลตา (Delta-Connection Load)

5.4 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า

ไม่ว่าโหลดจะต่อแบบวายหรือแบบเดลตา กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (average power or real power) และกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (reactive power) ต่อเฟสได้เป็น (Irwin, J. David. 2002: 402)

$$\begin{aligned} P_p &= V_p I_p \cos \theta \\ Q_p &= V_p I_p \sin \theta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 12.21$$

เมื่อ θ คือ มุมระหว่างแรงดันเฟสและกระแสเฟส สำหรับระบบการต่อแบบยายนั้น $I_p = I_L$ และ $V_p = V_L / \sqrt{3}$ และสำหรับระบบการต่อแบบเดลตานั้น $I_p = I_L / \sqrt{3}$ และ $V_p = V_L$ ดังนั้น

$$P_p = \frac{V_L I_L}{\sqrt{3}} \cos \theta$$

$$Q_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \sin \theta \quad \dots\dots\dots 12.22$$

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมและกำลังไฟฟ้ารีแอกติฟรวมสำหรับสามเฟสทั้งหมด ได้เป็น

$$\begin{aligned} P_T &= \sqrt{3} V_{LL} \cos \theta \\ Q_T &= \sqrt{3} V_{LL} \sin \theta \quad \dots\dots\dots 12.23 \end{aligned}$$

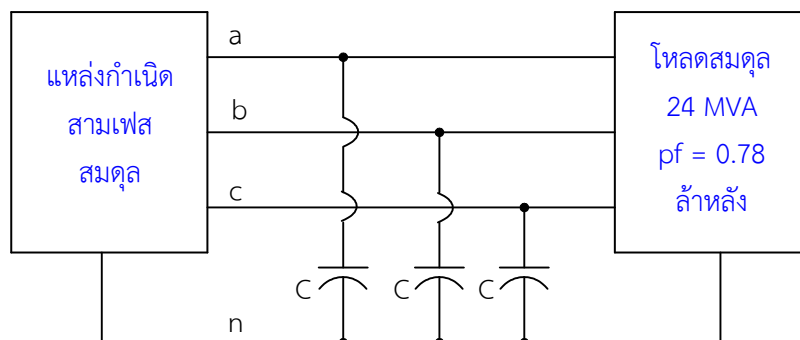
ดังนั้น ขนาดของกำลังเชิงซ้อน (กำลังไฟฟ้าปรากฏ) คือ

$$\begin{aligned} S_T &= \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \\ &= \sqrt{3} V_{LL} \quad \dots\dots\dots 12.24 \end{aligned}$$

$$\text{และ } \angle S_T = \theta$$

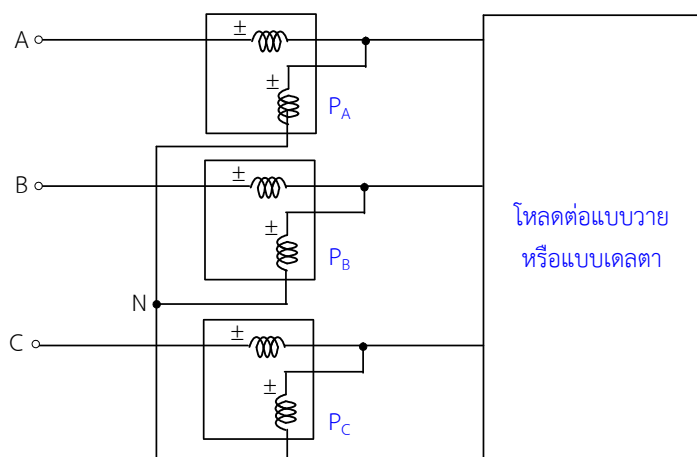
5.5 การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

ในหัวข้อที่ 11.7 ได้กล่าวถึงเทคนิคง่าย ๆ สำหรับการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังของโหลด โดยการนำตัวเก็บประจุต่อขนานกับโหลด การปรับปรุงตัวประกอบกำลังในระบบสามเฟสสมดุลจะต้องกระทำอย่างถูกต้องด้วยวิธีการเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องระลึกถึง อย่างไรก็ตาม S_{cap} เป็นไปตามสมการที่ 11.40 แต่เป็นเงื่อนไขโดยตัวเก็บประจุ 3 ตัว และในเงื่อนไข V_{rms} ในสมการจะเป็นแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุทุกตัว



5.6 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบสามเฟส

การวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้วัตต์มิเตอร์ 3 ตัว แต่ละตัวจะวัดกำลังไฟฟ้าในแต่ละเฟสของโหลด ผลรวมทางพีชคณิตของค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ทั้ง 3 จะเป็นกำลังไฟฟ้าทั้งหมดของโหลดในระบบสามเฟสดังรูปที่ 12.11 ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งโหลดต่อแบบวายหรือแบบเดลตาทั้งสมดุลหรือไม่สมดุล



รูปที่ 12.11 การวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟส โดยใช้วัตต์มิเตอร์ 1 เฟส 3 ตัว

จากรูปที่ 12.11 วัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของวัตต์มิเตอร์แต่ละตัวได้เป็น

$$P = \left(\frac{V_L}{\sqrt{3}} \right) I_L \cos \theta$$

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำชี้แจง : หน่วยที่ 1 งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1.ข้อใดอธิบายระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ได้ถูกต้อง?

ก.จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด 1 เส้น โดยมีสายกลาง 1 เส้น

ข.จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังโหลด 3 เส้น

ค.จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด 3 เส้นเท่านั้น

ง.จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด 3 เส้น โดยมีสายกลาง 1 เส้น

2.รูปแบบการต่อแหล่งกำเนิดและโหลดในระบบ 3 เฟสหลักๆ มีกี่แบบ อะไรบ้าง?

ก.การต่อแบบสตาร์ (Y) และการต่อแบบเดลตา (Δ)

ข.การต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน

ค.การต่อแบบซิงโครนัสและแบบอะซิงโครนัส

ง.การต่อแบบกราวด์และแบบไม่กราวด์

3.ในการต่อแหล่งกำเนิดหรือโหลดแบบสตาร์ (Y) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (VL) และแรงดันไฟฟ้าเฟส (VP) คือข้อใด?

ก. $I_L = I_P$

ข. $V_L = \sqrt{3} V_P$

ค. $V_L = V_P$

$$\text{ง. } IL = rmq3IP$$

4. สูตรการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงรวมในระบบ 3 เฟสที่สมดุลคือข้อใด?

$$\text{ก. } P_{\text{total}} = VLIL \cos \theta$$

$$\text{ข. } P_{\text{total}} = 3VLIL$$

$$\text{ค. } P_{\text{total}} = 3P_{\text{phase}} = 3V_{\text{PI}}P \cos \theta$$

$$\text{ง. } P_{\text{total}} = rmq3VLIL \sin \theta$$

5. เหตุใดจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม?

ก. เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบ

ข. เพื่อลดค่าปรับ (penalty charges) ที่อาจเกิดขึ้นจากตัวประกอบกำลังต่ำ

ค. เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าในระบบ

ง. เพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในสายส่ง

6. วิธีทั่วไปที่ใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังในระบบ 3 เฟสคืออะไร?

ก. ลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด

ข. เพิ่มตัวเหนี่ยวนำ (คอยล์) ขนานกับโหลด

ค. เพิ่มตัวต้านทานอนุกรมกับโหลด

ง. เพิ่มคาปาซิเตอร์ (ตัวเก็บประจุ) ขนานกับโหลด

7. วิธีมาตรฐานและนิยมใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าจริงรวมในระบบ 3 เฟสคือวิธีใด?

ก. การวัดโดยใช้โอห์มมิเตอร์

ข. การวัดโดยใช้ 1 วัดต์มิเตอร์

ค. การวัดโดยใช้โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์เท่านั้น

ง. การวัดโดยใช้ 2 วัดต์มิเตอร์

8. หากวัดกำลังไฟฟ้าในระบบ 3 เฟสด้วยวิธี 2 วัดต์มิเตอร์ กำลังไฟฟ้าจริงรวมสามารถคำนวณได้จากข้อใด?

$$\text{ก. } P_{\text{total}} = W_1 + W_2$$

$$\text{ข. } P_{\text{total}} = W_1 - W_2$$

$$\text{ค. } P_{\text{total}} = 2W_1 + W_2$$

$$\text{ง. } P_{\text{total}} = 3(W_1 + W_2)$$

9. ในสามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle) กำลังไฟฟ้าส่วนใดที่แสดงถึงกำลังที่ถูกใช้ไปในการทำงานจริง?

ก. กำลังไฟฟ้าปรากฏ

ข. กำลังไฟฟ้าจริง

ค. กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ง. กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

10. ความสำคัญของการรักษาสมดุลของโหลดในระบบ 3 เฟสคืออะไร?

ก. เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบ

ข. เพื่อให้สามารถใช้สายส่งที่มีขนาดเล็กที่สุดได้

ค. เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นในสายส่งให้น้อยที่สุด

ง. เพื่อให้แน่ใจว่าระบบสามารถรับส่งพลังงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

1. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.
2. Boylestad, Robert. (2003). Introductory Circuit Analysis.
3. Cook, Nigel P. (2004). Electronic. A Complete Course.
4. Robbins, Allan H. & Miller, Wilhelm C. (2004). Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

คำชี้แจง : หน่วยที่ 1 งานความคิดรวบยอดพื้นฐาน

ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

1.ข้อใดอธิบายระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ได้ถูกต้อง?

ก.จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด 1 เส้น โดยมีสายกลาง 1 เส้น

ข.จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังโหลด 3 เส้น

ค.จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด 3 เส้นเท่านั้น

ง.จ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด 3 เส้น โดยมีสายกลาง 1 เส้น

2.รูปแบบการต่อแหล่งกำเนิดและโหลดในระบบ 3 เฟสหลักๆ มีกี่แบบ อะไรบ้าง?

ก.การต่อแบบสตาร์ (Y) และการต่อแบบเดลตา (Δ)

ข.การต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน

ค.การต่อแบบซิงโครนัสและแบบอะซิงโครนัส

ง.การต่อแบบกราวด์และแบบไม่กราวด์

3.ในการต่อแหล่งกำเนิดหรือโหลดแบบสตาร์ (Y) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (VL) และแรงดันไฟฟ้าเฟส (VP) คือข้อใด?

ก. $IL=IP$

ข. $VL=rmq3VP$

ค. $VL=VP$

ง. $IL=rmq3IP$

4.สูตรการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงรวมในระบบ 3 เฟสที่สมดุลคือข้อใด?

ก. $P_{total}=VLIL\cos\theta$

ข. $P_{total}=3VLIL$

ค. $P_{total}=3P_{phase}=3VPIP\cos\theta$

ง. $P_{total}=rmq3VLIL\sin\theta$

5.เหตุใดจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม?

ก.เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้านำเข้าที่พในระบบ

ข.เพื่อลดค่าปรับ (penalty charges) ที่อาจเกิดขึ้นจากตัวประกอบกำลังต่ำ

ค.เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าในระบบ

ง.เพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในสายส่ง

6.วิธีทั่วไปที่ใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังในระบบ 3 เฟสคืออะไร?

ก.ลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด

ข.เพิ่มตัวเหนี่ยวนำ (คอยล์) ขนานกับโหลด

ค.เพิ่มตัวต้านทานอนุกรมกับโหลด

ง.เพิ่มคาปาซิเตอร์ (ตัวเก็บประจุ) ขนานกับโหลด

7.วิธีมาตรฐานและนิยมใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าจริงรวมในระบบ 3 เฟสคือวิธีใด?

ก.การวัดโดยใช้โอห์มมิเตอร์

ข.การวัดโดยใช้ 1 วัดต์มิเตอร์

ค.การวัดโดยใช้โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์เท่านั้น

ง.การวัดโดยใช้ 2 วัดต์มิเตอร์

8.หากวัดกำลังไฟฟ้าในระบบ 3 เฟสด้วยวิธี 2 วัดต์มิเตอร์ กำลังไฟฟ้าจริงรวมสามารถคำนวณได้จากข้อใด?

ก. $P_{total}=W1+W2$

ข. $P_{total}=W1-W2$

ค. $P_{total}=2W1+W2$

ง. $P_{total}=3(W1+W2)$

9.ในสามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle) กำลังไฟฟ้าส่วนใดที่แสดงถึงกำลังที่ถูกใช้ไปในการทำงานจริง?

ก.กำลังไฟฟ้าปรากฏ

ข.กำลังไฟฟ้าจริง

ค.กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ง.กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

10.ความสำคัญของการรักษาสมดุลของโหลดในระบบ 3 เฟสคืออะไร?

ก.เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบ

ข.เพื่อให้สามารถใช้สายส่งที่มีขนาดเล็กที่สุดได้

ค.เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นในสายส่งให้น้อยที่สุด

ง.เพื่อให้แน่ใจว่าระบบสามารถรับส่งพลังงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ

คำสั่ง จงแสดงวิธีทำให้ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์

เรื่อง การต่อสามเฟส

1. จงให้ความหมายของแรงดันเฟส กระแสเฟส แรงดันไลน์และกระแสไลน์

.....

.....

.....

2. จงอธิบายความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสของระบบไฟฟ้าสามเฟสต่อแบบววาย

.....

.....

.....

3. จงอธิบายความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสของระบบไฟฟ้าสามเฟสต่อแบบเดลตา

.....

.....

.....

เรื่อง การต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลด

4. แหล่งกำเนิดต่อแบบวาย สมดุล ลำดับเฟส abc มีแรงดันสำหรับเฟสหนึ่งคือ $V_{an} = 120 \angle 90^\circ \text{ V rms}$ จงหา แรงดันไลน์สำหรับแหล่งกำเนิดนี้

(ตอบ $V_{ab} = 208 \angle 120^\circ \text{ V}$, $V_{bc} = 208 \angle 0^\circ \text{ V}$, $V_{ca} = 208 \angle -120^\circ \text{ V}$)

.....

.....

.....

5. แหล่งกำเนิดสามเฟสต่อแบบวาย สมดุล ลำดับเฟส abc มีแรงดันไลน์ $V_{ab} = 208 \angle 0^\circ \text{ V rms}$ จงหาแรงดันเฟสของแหล่งกำเนิดนี้

(ตอบ $V_{an} = 120 \angle -30^\circ \text{ V}$, $V_{bn} = 120 \angle -150^\circ \text{ V}$, $V_{cn} = 120 \angle -270^\circ \text{ V}$)

.....

.....

.....

6. แหล่งกำเนิดสามเฟสต่อแบบวาย สมดุล ลำดับเฟส abc จ่ายกำลังให้โหลดสามเฟสต่อแบบวาย ผ่านสายส่งที่มีอิมพีแดนซ์ $1 + j1 \ \Omega$ ต่อเฟส อิมพีแดนซ์โหลดเป็น $8 + j3 \ \Omega$ ต่อเฟส ถ้าแรงดันโหลดเฟสหนึ่งเป็น $104.02 \angle 26.6^\circ \text{ V rms}$ ($V_p = 104.02 \text{ V rms}$ ที่โหลด) จงหาแรงดันเฟสของแหล่งกำเนิด

(ตอบ $V_{an} = 120 \angle 30^\circ \text{ V}$, $V_{bn} = 120 \angle -90^\circ \text{ V}$, $V_{cn} = 120 \angle -210^\circ \text{ V}$)

.....

.....

.....

7. แรงดันเฟสของแต่ละเฟสมีค่า 220 V ต่อกับโหลดสมดุลแบบวายที่มี $Z = 8 + j6 \ \Omega$ จงหาแรงดันระหว่างสายและขนาดของกระแสที่ไหลในแต่ละสาย

(ตอบ $V_L = 380 \text{ V}$, $I_L = 22 \text{ A}$)

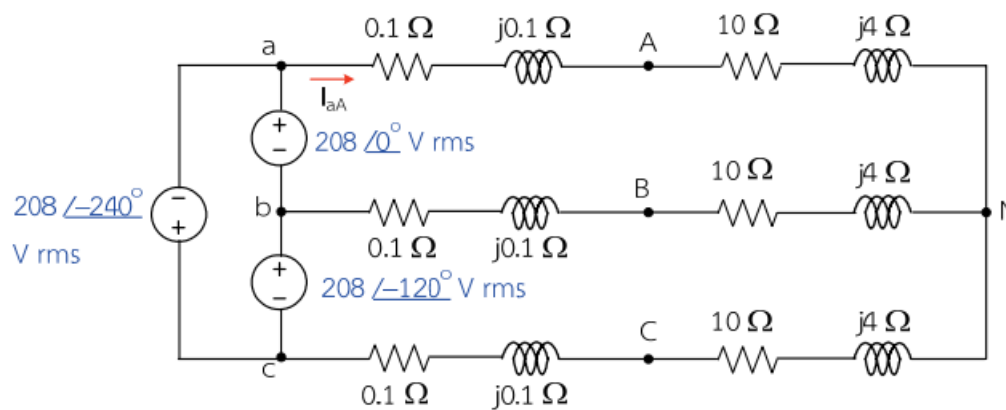
.....

.....

.....

8. จากรูป จงหาขนาดของแรงดันไลน์ที่โหลด

(ตอบ $V_L = 205.2 \text{ V rms}$)



9. แหล่งกำเนิดแรงดันสามเฟสต่อแบบวาย ลำดับเฟส abc จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดต่อแบบเดลตาสมดุล กระแสไลน์สำหรับเฟสหนึ่งได้เป็น $I_{aA} = 12 / 40^\circ$ A rms จงหากระแสเฟสในโหลดต่อแบบเดลตา (ตอบ $I_{AB} = 6.93 / 70^\circ$ A rms, $I_{BC} = 6.93 / -50^\circ$ A rms, $I_{CA} = 6.93 / -170^\circ$ A rms)

เรื่อง ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า

10. ระบบ Y-Y สามเฟสสมดุลมีแรงดันไลน์ 208 V rms กำลังไฟฟ้าจริงรวมถูกดูดซับโดยโหลดขนาด 12 kW ที่ $\text{pf} = 0.8$ ถ้าหาล้าง จงหาอิมพีแดนซ์ต่อเฟสของโหลด

(ตอบ $Z = 2.88 / 36.87^\circ \Omega$)

11. ระบบ Y-Y สามเฟสสมดุล โดยใช้ข้อมูลจากแบบฝึกหัดข้อ 6 จงหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟารีแอกทีฟ และกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่แหล่งกำเนิดและที่โหลด

(ตอบ $S_{\text{Load}} = 1186.77 + j444.66$ VA, $S_{\text{source}} = 1335.65 + j593.55$ VA)

เรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

12. จากตัวอย่างที่ 12.9 จงหาค่า C ถ้าโหลดมีตัวประกอบกำลัง 0.90 ถ้าหาล้าง

(ตอบ $C = 13.26 \mu\text{F}$)

	ใบงานหน่วยที่ 12		หน่วยที่ 12
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า		สอนครั้งที่ 15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส		ทฤษฎี 2 ชม.
	ชื่อเรื่อง/งาน การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าสามเฟส		ปฏิบัติ 3 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟสสมดุล

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

- 2.1 มาตรฐานอาชีพ - สมรรถนะย่อย -
- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -
 - 2) วิธีประเมิน -
 - 3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -
 - 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -
- 2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟส

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายความสัมพันธ์เฟสของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้
- 4.2. คำนวณการต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้
- 4.3. คำนวณกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้
- 4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three-phase AC Power Supply): ชนิดแรงดันต่ำ (เช่น 12-24 V ต่อเฟส)
2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope): ชนิดดิจิทัล 2 หรือ 4 ช่องสัญญาณ
3. มัลติมิเตอร์ (Multimeter): ชนิดดิจิทัล 2-3 เครื่อง สำหรับวัดแรงดันและกระแส
4. ชุดการทดลองระบบไฟฟ้าสามเฟส (Three-phase Power Lab Kit): ที่มีขั้วต่อแบบ Wye และ Delta
5. ตัวต้านทาน (Resistors): ชุดตัวต้านทาน 3 ตัวที่มีค่าเท่ากัน (สำหรับโหลดแบบสมดุล)
6. สายไฟจัมเปอร์ (Jumper Wires) และสายโพรบ

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. ความปลอดภัยขั้นสูงสุด: การทดลองระบบไฟฟ้าสามเฟสมีความเสี่ยงสูง ควรใช้อุปกรณ์ที่มีแรงดันต่ำ และปฏิบัติตามคำแนะนำของครูผู้สอนอย่างเคร่งครัด

2. การต่อวงจร: ตรวจสอบการต่อวงจรอย่างละเอียดทุกครั้งก่อนเปิดแหล่งจ่ายไฟ โดยเฉพาะการต่อโหลดแบบ Delta เพื่อป้องกันการลัดวงจร
3. การวัดแรงดันและกระแส:
 - แรงดัน: ใช้มัลติมิเตอร์ในโหมด AC Voltage วัดแรงดันคร่อมเฟส (Phase Voltage, VP) และแรงดันระหว่างเส้น (Line Voltage, VL) อย่างถูกต้อง
 - กระแส: ใช้มัลติมิเตอร์ในโหมด AC Current ต่อแบบอนุกรมกับเส้นที่ต้องการวัด
4. การสังเกตเฟส: เมื่อใช้ออสซิลโลสโคป ควรใช้ช่องสัญญาณที่ถูกต้องและปรับค่า Time/Div ให้เหมาะสมเพื่อให้เห็นความแตกต่างของเฟสทั้งสามอย่างชัดเจน

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ส่วนที่ 1: การศึกษาความสัมพันธ์เฟสและการต่อแบบวาย (Y)

1. คำนวณล่วงหน้า:
 - กำหนดแรงดันเฟส (VP) ของแหล่งจ่าย
 - คำนวณแรงดันระหว่างเส้นทางทฤษฎี ($VL = 3 \times VP$)
2. การปฏิบัติ:
 - เชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสเข้ากับชุดทดลอง
 - ใช้โพรบออสซิลโลสโคปวัดแรงดันเฟส A และเฟส B และสังเกตความแตกต่างของเฟสที่แสดงบนหน้าจอ บันทึกภาพหรือสเกッチ
 - ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันเฟส (VP) และแรงดันระหว่างเส้น (VL) ของแหล่งจ่าย บันทึกค่าที่วัดได้
 - ต่อโหลดตัวต้านทานแบบสมมูล (R-R-R) เข้ากับแหล่งจ่ายในลักษณะ ยาย (Y)
 - วัดกระแสเฟส (IP) และกระแสเส้น (IL) และสังเกตความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้
3. บันทึกข้อมูล: บันทึกค่าที่วัดได้ลงในตารางและเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณไว้

ส่วนที่ 2: การศึกษาการต่อแบบเดลตา (Δ)

1. คำนวณล่วงหน้า:
 - คำนวณความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของวงจร Delta
 - แรงดัน: $VL = VP$
 - กระแส: $IL = 3 \times IP$
2. การปฏิบัติ:
 - ปิดแหล่งจ่ายไฟ
 - ต่อโหลดตัวต้านทานชุดเดิมเข้ากับแหล่งจ่ายในลักษณะ เดลตา (Δ)
 - เปิดแหล่งจ่ายไฟอีกครั้ง
 - ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันเฟส (VP) และแรงดันระหว่างเส้น (VL)
 - วัดกระแสเฟส (IP) และกระแสเส้น (IL)
3. บันทึกข้อมูล: บันทึกค่าที่วัดได้ลงในตารางและเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณไว้

ส่วนที่ 3: การคำนวณกำลังไฟฟ้าของระบบสามเฟส

1. คำนวณล่วงหน้า:

- ใช้ค่าที่วัดได้จากส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2
- คำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมของระบบสามเฟสสำหรับทั้งสองกรณี (Wye และ Delta) โดยใช้สูตร:

$$P_{\text{รวม}} = 3 \times V_P \times I_P$$

$$P_{\text{รวม}} = 3 \times V_L \times I_L$$

2. การปฏิบัติ:

- หากมี Power Meter สามารถวัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดได้โดยตรง
- หากไม่มี ให้ใช้ค่าแรงดันและกระแสที่วัดได้จากส่วนที่ 1 และ 2 มาคำนวณ

3. บันทึกข้อมูล: บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้และอธิบายว่าค่าที่ได้จากทั้งสองสูตร (สำหรับ Y และ Δ) เท่ากันหรือไม่

การบันทึกข้อมูล

ตารางที่ 1: การวิเคราะห์วงจร Y

ปริมาณ	ค่าที่คำนวณได้	ค่าที่วัดได้จากการทดลอง
VP (V)		
VL (V)		
IP (A)		
IL (A)		

ตารางที่ 2: การวิเคราะห์วงจร Δ

ปริมาณ	ค่าที่คำนวณได้	ค่าที่วัดได้จากการทดลอง
VP (V)		
VL (V)		
IP (A)		
IL (A)		

ตารางที่ 3: การคำนวณกำลังไฟฟ้า

รูปแบบการต่อ	ค่า P รวม ที่คำนวณได้	ค่า P รวม ที่วัดได้ (ถ้ามี)
Wye (Y)		
Delta (Δ)		

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

8. สรุปและวิจารณ์ผล

นักเรียนต้องได้ผลการประเมินไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และหากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะต้อง ปฏิบัติงานใหม่

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 12
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าสามเฟส				วันที่เริ่มงาน
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าสามเฟส)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					

	ใบมอบหมายงานหน่วยที่ 12	หน่วยที่ 12
	รหัสวิชา 30104-2002 ชื่อวิชา วงจรไฟฟ้า	สอนครั้งที่ 15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส	ทฤษฎี 2 ชม.
	ชื่อเรื่อง/งาน งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส	ปฏิบัติ 3 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟสสมดุล

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ -

สมรรถนะย่อย -

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน -

2) วิธีประเมิน -

3) หลักฐานปฏิบัติงาน (Performance Evidence) -

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) -

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ -

3. สมรรถนะประจำหน่วย

แสดงความรู้เกี่ยวกับงานวงจรไฟฟ้าสามเฟส

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายความสัมพันธ์เฟสของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้

4.2. คำนวณการต่อแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้

4.3. คำนวณกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้

4.4. มีคุณธรรม จริยธรรม และกิริยาสำนึกในการทำงานด้วยความรับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตระหนัก

ถึงความปลอดภัยและคุณภาพงาน

5. รายละเอียดของงาน

ให้ผู้เรียนศึกษางานวงจรไฟฟ้าสามเฟสสมดุล

6. กำหนดเวลาส่งงาน ท้ายคาบเรียน

7. รายละเอียดของงาน

จุดประสงค์ข้อที่ 1

- ขั้นเตรียม

ถาม-ตอบ ระบบไฟฟ้าสามเฟส

- ขั้นสอน ฟังการอธิบายเรื่องระบบไฟฟ้าสามเฟส

- ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันนำอภิปรายสรุปสาระสำคัญเรื่องระบบไฟฟ้าสามเฟส

จุดประสงค์ข้อที่ 2

- ขั้นเตรียม

ฟังการอธิบายแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟส

- ขั้นสาธิต
 - ฟังและดูวิธีการสาธิตการคำนวณแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟส
- ขั้นฝึกปฏิบัติ
 - นักเรียนปฏิบัติต่อวงจรพารามิเตอร์ในแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟส
- ขั้นตรวจสอบผล
 - ให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบสมการและวิธีคำนวณสมการแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟส
- ขั้นฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง
 - ให้นักเรียนฝึกปฏิบัติการคำนวณองค์ประกอบวงจรสมการแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟส
- ขั้นสรุป
 - นักเรียนร่วมกันสรุปสมการและวิธีคำนวณพื้นฐานสมการแหล่งกำเนิดและการต่อโหลดของระบบไฟฟ้าสามเฟสจุดประสงค์ข้อที่ 3
- ขั้น Motivation
 - ฟังการอธิบายการนำตัวแปร นิยาม มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์กำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟส
- ขั้น Information
 - ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร นิยาม และพื้นฐานกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟส
- ขั้น Progress
 - ตรวจสอบงานตามขั้นที่ให้ประยุกต์ใช้เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้อย่างถูกต้อง
- จุดประสงค์ข้อที่ 4
 - ขั้นเตรียม
 - เสนอตัวแทนการแสดงสาธิตการคำนวณพื้นฐานงานวงจรไฟฟ้าสามเฟส
 - ขั้นสอน
 - สาธิตขั้นตอนการนำตัวแปรต่างๆในวงจรมาคำนวณอย่างละเอียด
 - ขั้นสรุป
 - นักเรียนในกลุ่มร่วมกันสรุปขั้นตอนปฏิบัติงาน

8.แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

. ฝ่ายวิชาการ. วงจรไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-1002. (2563). นนทบุรี: ศูนย์หนังสือเมืองไทย.

9.การประเมินผล

ใบประเมินผลงานหน่วยที่ 12
(Evaluation Sheet)

ชื่องาน	งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส				วันที่เริ่มงาน
ผู้ปฏิบัติ	ผู้ประเมิน นายรชตะ ใจตรง				
จุดประเมิน	ผลการประเมิน				หมายเหตุ
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
ขณะปฏิบัติงาน					
1. งานเตรียมความพร้อมปฏิบัติงาน					
2. งานจัดบันทึกข้อมูล					
3. งานเก็บอุปกรณ์หลังจากปฏิบัติงาน					
4. ปฏิบัติงานตามขั้นตอน					
รวม					
คะแนน 20%	$\frac{\dots\dots\dots \times 20}{\dots\dots\dots}$				
คุณภาพของผลงาน					
ผลงาน (1) (งานวงจรไฟฟ้าสามเฟส)	ผลการประเมิน				
	ดีมาก (10)	ดี (7)	พอใช้ (5)	แก้ไข (3)	
1. ความสำเร็จของงาน					
รวม					
ผลรวมทั้งหมด					