



วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย

แผนการจัดการเรียนรู้

มุ่งเน้นสมรรถนะอาชีพและบูรณาการปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

แผนการสอนรายวิชา

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

หลักสูตร ปวส.

สาขาวิชา ไฟฟ้ากำลัง

ประเภทวิชา อุตสาหกรรม

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2569

ผู้สอน นายสามารถ สุขสถิตย์

แผนกวิชา ไฟฟ้ากำลัง

วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย

คำนำ

แผนการสอนวิชาเครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005 นี้เป็นส่วนหนึ่งของการค้นคว้าเพื่อพัฒนารูปแบบการสอนวิชาเครื่องกลไฟฟ้า 1 โดยผู้เขียนได้นำความรู้จากการประชุมเชิงปฏิบัติการ การจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์มาผสมผสานกับประสบการณ์การสอนวิชาทางด้านไฟฟ้าเป็นเวลามากหลายปี โดยจัดทำตั้งแต่การวิเคราะห์หัวข้อเรื่อง รายละเอียดหัวข้อเรื่อง รายการวิเคราะห์เนื้อหาวิชา จุดประสงค์รายวิชา มาตรฐานรายวิชา วิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้และสมรรถนะ ตารางวิเคราะห์ระดับพุทธิพิสัย ทักษะพิสัย จิตพิสัย กำหนดการเรียนรู้ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนการสอน สื่อการเรียนการสอน การวัดผล/ประเมินผล ใบความรู้ ใบงาน ใบปฏิบัติงาน ใบมอบหมายงาน แบบฝึกหัด ใบเฉลยแบบทดสอบ ใบเฉลยแบบฝึกหัด แบบบันทึกสังเกตพฤติกรรม แบบวัดผลการปฏิบัติงาน แบบประเมินผลการเรียน บันทึกหลังการสอน เพื่อนำผลไปพัฒนาหรือปรับปรุงการสอนต่อไป

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
ลักษณะรายวิชา	ค
วิธีการerahหัวข้อเรื่อง หัวข้อหลัก(Main Element)/หน่วยการเรียนรู้(Learning Unit)	ง
การวิเคราะห์หัวข้อเรื่อง หัวข้อหลัก(Main Element)/หัวข้อย่อย (Element)	จ
รายการวิเคราะห์ เนื้อหาวิชา จุดประสงค์รายวิชา มาตรฐานรายวิชา	ญ
ตารางวิเคราะห์ระดับ พุทธิพิสัย ทักษะพิสัย จิตพิสัย	ฐ
กำหนดการเรียนรู้	ท
ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนนและเกณฑ์ผ่าน	ฒ
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	12
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	23
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	35
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	45
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 เรื่อง คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	56
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7 เรื่อง การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	67
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8 เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	77
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9 เรื่อง วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	89
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10 เรื่อง การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	99
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 11 เรื่อง ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	108
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 12 เรื่อง การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	117

	ลักษณะรายวิชา	
	รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1	เวลา 75 ชั่วโมง 3 หน่วยกิต
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. รู้และเข้าใจลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และหม้อแปลงไฟฟ้า
2. สามารถทดสอบและควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และหม้อแปลงไฟฟ้า
3. มีกิจนิสัยในการทำงานร่วมกับผู้อื่นด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง
2. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. ต่อหม้อแปลงไฟฟ้า ทดสอบหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับลักษณะสมบัติของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด ลักษณะสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีแปรงถ่านและไร้แปรงถ่าน การเริ่มหมุนและการควบคุมความเร็ว หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า วงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรม การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าใช้งานเฟสเดียวและสามเฟส

	การวิเคราะห์หัวข้อเรื่อง				
	รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1		เวลา 75 ชั่วโมง 3 หน่วยกิต		
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)		สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง		
หัวข้อหลัก(Main Element)/หน่วยการเรียนรู้(Learning Unit)	แหล่งข้อมูล				
	A	B	C	D	E
1. โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	✓			✓	✓
2. ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	✓			✓	✓
3. คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	✓			✓	✓
4. การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	✓			✓	✓
5. การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	✓			✓	✓
6. คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	✓			✓	✓
7. การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	✓			✓	✓
8. โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	✓			✓	✓
9. วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	✓			✓	✓
10. การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	✓			✓	✓
11. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	✓			✓	✓
12. การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	✓			✓	✓

A = คำอธิบายรายวิชา

B = ผู้เชี่ยวชาญ

C = ผู้ชำนาญการ

D = ประสบการณ์ของครูผู้สอน

E = เอกสาร/ตำรา/คู่มือ/ IT

	การวิเคราะห์หัวข้อเรื่อง	
	รหัสวิชา 30104-2005	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	เวลา 75 ชั่วโมง 3 หน่วยกิต
สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง		
หัวข้อหลัก(Main Element)/ หน่วยการเรียนรู้(Learning Unit)	หัวข้อย่อย (Element)	
1. โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1.2 หน้าที่และส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ 1.4 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์ 1.5 จำนวนทางขนานของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์	
2. ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	2.1 ความหมายของการกระตุ้น 2.2 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง 2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ 2.6 การคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์	
3. คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	3.1 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก 3.2 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคันต์ 3.3 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์ 3.4 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ 3.5 การเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชัน 3.6 การเกิดคอมมิวเทชัน	
4. การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	4.1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก 4.2 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคันต์ 4.3 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์ 4.4 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ 4.5 การสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 4.6 กำลังในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 4.7 ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 4.8 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 4.9 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	

	การวิเคราะห์หัวข้อเรื่อง	
	รหัสวิชา 30104-2005	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 เวลา 75 ชั่วโมง 3 หน่วยกิต
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง
หัวข้อหลัก(Main Element)/ หน่วยการเรียนรู้(Learning Unit)	หัวข้อย่อย (Element)	
5. การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	5.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 5.2 แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำและทิศทาง 5.3 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 5.4 แรงบิดและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์ 5.5 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 5.6 การเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชันในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	
6. คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	6.1 กำลังแม่เหล็กไฟฟ้าและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์ 6.2 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้ว 6.3 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีย์ 6.4 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมพาวด์ 6.5 การสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 6.6 กำลังส่วนต่าง ๆ ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 6.7 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 6.8 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 6.9 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	
7. การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7.1 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 7.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ 7.3 การควบคุมค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์ 7.4 การควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก 7.5 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการควบคุมเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 7.6 การเริ่มเดินและความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้า 7.7 การคำนวณหาค่าความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้า	
8. โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	8.1 โครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า 8.2 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 8.3 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลด	

	การวิเคราะห์หัวข้อเรื่อง	
	รหัสวิชา 30104-2005	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 เวลา 75 ชั่วโมง 3 หน่วยกิต
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง
หัวข้อหลัก(Main Element)/ หน่วยการเรียนรู้(Learning Unit)	หัวข้อย่อย (Element)	
8. โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	8.4 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด 8.5 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด	
9. วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	9.1 ความหมายวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า 9.2 ค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง 9.3 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า 9.4 วงจรสมมูลค่าจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าและการโอนย้าย 9.5 วงจรสมมูลค่าโดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้า	
10. การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	10.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร 10.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร 10.3 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	
11. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	11.1 การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า 11.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่พิกัดใด ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 11.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 11.4 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 11.5 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้า 11.6 ประสิทธิภาพตลอดวัน 11.7 การคำนวณหาประสิทธิภาพตลอดวัน	
12. การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	12.1 รูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 12.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย — วาย 12.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา — เดลตา 12.4 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา — วาย 12.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย — เดลตา 12.6 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส เข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส 12.7 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว แบบเดลตาเปิด	

		ตารางวิเคราะห์ระดับ พุทธิพิสัย ทักษะพิสัย จิตพิสัย																	
		รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1											เวลา 75 ชั่วโมง 3 หน่วยกิต						
		หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)											สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง						
หน่วยที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์															เวลา (ชม.)		
		พุทธิพิสัย						ทักษะพิสัย					จิตพิสัย						
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			5	
2	ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			5	
3	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	✓	✓	✓				✓	✓	✓			✓	✓	✓			10	
4	การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			10	
5	การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			5	
6	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			10	
7	การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			10	
8	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			10	
9	วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			5	
10.	การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			5	
11.	ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			5	
12.	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			5	
		1 = ความรู้ 2 = ความเข้าใจ 3 = การนำไปใช้ 4 = การวิเคราะห์ 5 = การสังเคราะห์ 6 = การประมาณค่า						1 = เลียนแบบ 2 = ทำได้ตามแบบ 3 = ทำได้ถูกต้องแม่นยำ 4 = ทำได้ต่อเนื่องประสานกัน 5 = ทำได้อย่างเป็นธรรมชาติ					1= รับรู้ 2 = ตอบสนอง 3 = เห็นคุณค่า 4 = จัดระบบคุณค่า 5 = พัฒนาเป็นลักษณะนิสัย						
น้อมนำหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาปฏิบัติ																			

	กำหนดการเรียนรู้		
	รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1		เวลา 75 ชั่วโมง 3 หน่วยกิต
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)		สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง
หน่วยที่	ชื่อหน่วย	สัปดาห์ที่	จำนวนชั่วโมง
1	โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1	5
2	ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	2	5
3	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	3-4	10
4	การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	5-6	10
5	การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7	5
6	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	8-9	10
7	การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	10-11	10
8	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	12-13	10
9	วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	14	5
10.	การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	15	5
11.	ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	16	5
12.	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	17	5
	วัดผลและประเมินผลปลายภาคเรียน	18	5

หมายเหตุ เวลาอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม

ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนนและเกณฑ์ผ่าน

หน่วยที่	คะแนนรายหน่วย เกณฑ์ผ่าน และน้ำหนัก พฤติกรรม ชื่อหน่วย	คะแนนรายหน่วย (%)	เกณฑ์ผ่านรายหน่วย (%)	น้ำหนักคะแนน							
				ความรู้ความเข้าใจ (%)	ความเข้าใจ (%)	การนำไปใช้ (%)	การวิเคราะห์ (%)	การประเมินค่า (%)	ทักษะ (%)	จิตพิสัย (%)	ลำดับความสำคัญ
1	โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	9	60	2	1	1			3	1	2
2	ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	8	50	1	3	2			3	1	3
3	คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	9	60	1	2	3			3	1	1
4	การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	7	50	1	3	2			3	1	4
5	การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	6	50	1	2	3			3	1	7
6	คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	6	40	1	2	3			3	1	1
7	การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7	50	1	2	2			3	1	5
8	โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	8	60	1	2	1			3	1	10
9	วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	8	50	1	1	2			3	1	8
10.	การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	8	50	1	2	2			3	1	9
11.	ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	7	50	1	2	2			3	1	11
12.	การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	6	50	1	2	2			3	1	12
รวมทั้งสิ้น		100	53.3	15	28	29			42	14	
ลำดับความสำคัญ				4	3	2			1	5	

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรง	ชั่วโมงรวม 5 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 1.2 หน้าที่และส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 1.3 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์
- 1.4 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์
- 1.5 จำนวนทางขนานของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
2. ทดลองและสรุปผลเกี่ยวกับการบันทึกข้อมูล การถอดประกอบ และพิจารณาการพันขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ 2. อธิบายหน้าที่และส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ 3. อธิบายการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ได้ 4. อธิบายผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์ได้ 5. อธิบายจำนวนทางขนานของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ได้	1. ทดลองและสรุปผลเกี่ยวกับการบันทึกข้อมูลได้ 2. การถอดประกอบ และพิจารณาการพันขดลวดได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพงาม 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

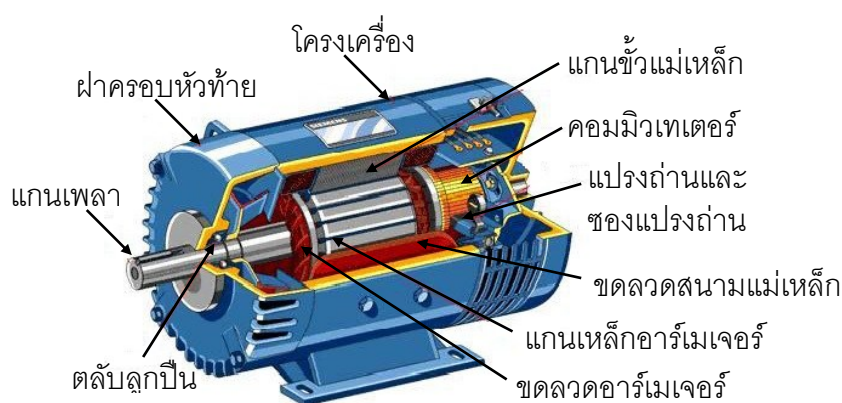
เนื้อหาสาระ

1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่ เมื่อพิจารณาดังรูป ซึ่งได้แก่ โครงเครื่องหรือกรอบโครง แกนขั้วแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็ก แปรงถ่านพร้อมชุดยึดแปรงถ่าน และฝาครอบหัวท้าย

1.1.2 ส่วนที่เคลื่อนที่ เมื่อพิจารณาดังรูปที่ ซึ่งได้แก่ แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ขดลวดอาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ เตอร์ และแกนเพลลา



รูปที่ 1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.2 หน้าที่และส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ดังรูป เมื่อเปิดฝาครอบหัวท้ายออกจะเห็นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังนี้

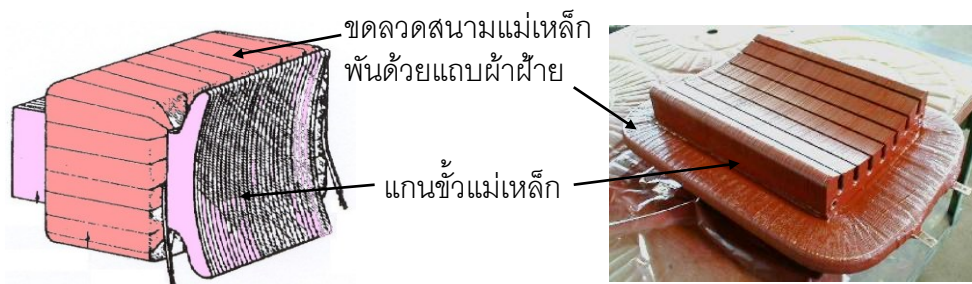


รูปที่ 1.2 ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.2.1 โครงเครื่องหรือกรอบโครง (Frame or Yoke) ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นที่โค้งงอเป็นรูปทรงกระบอกแล้วเชื่อมยึดรอยต่อเข้าด้วยกัน หน้าที่ของโครงเครื่องคือห่อหุ้มส่วนต่าง ๆ และรับแรงทั้งหมดของเครื่องกำเนิด นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นส่วนทางเดินของวงจรแม่เหล็ก

1.2.2 แกนขั้วแม่เหล็ก (Pole core) ทำจากเหล็กแผ่นลามิเนต (Laminated sheet steel) บี้เป็นแกนรูปขั้วแม่เหล็กแล้วนำมาอัดติดกันเป็นแกนขั้วแม่เหล็ก ดังรูป โดยส่วนที่ยื่นออกจากขอบทั้งสองบริเวณ

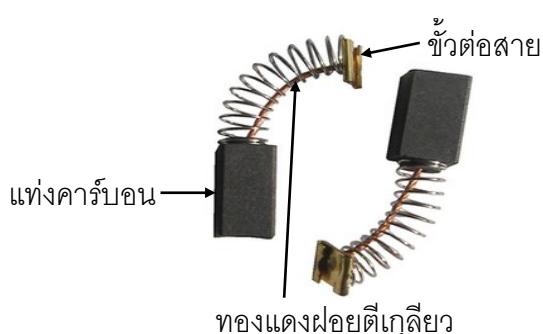
ด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กเรียกว่าโพลชู (Pole shoe) (ธวัชชัย อรรถวิบูลย์กุล, 2546: 74) และมีลักษณะโค้งงอตามความโค้งของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ โดยแกนของขั้วแม่เหล็กทุกขั้วนั้นยึดติดกับโครงเครื่องด้วยสกรู และหน้าที่ของแกนขั้วแม่เหล็กก็คือสร้างเส้นแรงแม่เหล็กร่วมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก



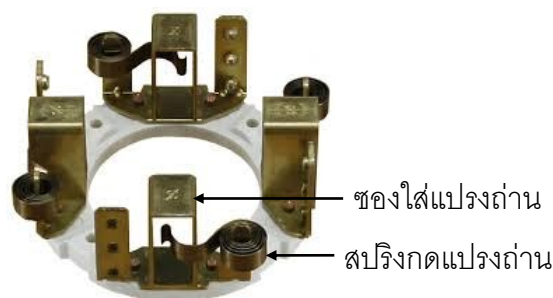
(ก) ภาพลายเส้นของแกนขั้วและขดลวดสนามแม่เหล็ก (ข) ภาพจริงของแกนขั้วและขดลวดสนามแม่เหล็ก
รูปที่ 1.3 ภาพลายเส้นและภาพจริงของแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวดสนามแม่เหล็ก

1.2.3 ขดลวดสนามแม่เหล็กหรือขดลวดฟิลด์ (Field winding) ทำจากขดลวดทองแดงหุ้มฉนวนพันรอบแกนของขั้วแม่เหล็กทุกขั้ว ส่วนมากขดลวดสนามแม่เหล็กจะถูกพันไว้ล่วงหน้า แล้วหุ้มด้วยฉนวนหรือพันด้วยแถบผ้าฝ้ายอาบวานิชและอบแห้งเสร็จแล้วจึงนำไปสวมเข้ากับแกนขั้วแม่เหล็ก โดยขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันอยู่บนแกนขั้วมี 2 ชนิด คือ ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันด์ (Shunt field winding) และขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีย์ (Series field winding) หน้าที่ของขดลวดสนามแม่เหล็กคือสร้างเส้นแรงแม่เหล็กร่วมกับแกนขั้วแม่เหล็กเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวด โดยเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งออกจากขั้วแม่เหล็กเหนือผ่านช่องอากาศไปยังขั้วแม่เหล็กใต้

1.2.4 แปร่งถ่าน ส่วนมากจะทำจากคาร์บอนและแกรไฟต์ แปร่งถ่านคาร์บอนทำจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ใช้ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีพิกัดกระแสต่ำ แปร่งถ่านแกรไฟต์ทำจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์โดยการเพิ่มปริมาณความร้อนจึงเปลี่ยนสภาพเป็นแกรไฟต์ แปร่งถ่านชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีและนิยมใช้กันแพร่หลาย นอกจากนั้นยังมีแปร่งถ่านโลหะทำจากส่วนผสมของผงทองแดงกับผงแกรไฟต์และใช้งานที่มีพิกัดกระแสสูง โดยแปร่งถ่านต่อกับสายทองแดงฝอยดีเกลียวพร้อมขั้วต่อสาย ดังรูปที่ 1.4 (ก) โดยหน้าที่ของแปร่งถ่านก็คือเป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าที่ออกจากช็อคคอมมิวเตเตอร์ที่แปร่งถ่านสัมผัสอยู่ไปยังโหลด โดยตำแหน่งแปร่งถ่านจะบรรจุอยู่ที่ช่องแปร่งถ่าน ดังรูปที่ 1.4 (ข)



(ก) แปร่งถ่านคาร์บอนและขั้วต่อสายทองแดง



(ข) ชุดของแปร่งถ่าน

รูปที่ 1.4 ลักษณะของแปร่งถ่านและตำแหน่งของแปร่งถ่าน

1.2.5 ฝาครอบหัวท้าย ทำจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครงเครื่อง โดยที่ฝาปิดหัวท้ายมีดลัปลูกปืนยึดฝังอยู่ หน้าที่ของฝาปิดหัวท้ายก็คือทำหน้าที่รับแรงร่วมกับโครงเครื่อง

1.2.6 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอนแผ่นบางซึ่งแต่ละแผ่นทำเป็นร่อง และเจาะรูตรงกลางสำหรับสอดเพลาดังรูป ผิวทั้งสองข้างฉาบด้วยฉนวนวานิชแล้วนำมาอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูป เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิสและกระแสไหลวนในแกนเหล็ก หน้าที่ของแกนอาร์เมเจอร์คือเป็นที่ใส่ชุดขดลวดอาร์เมเจอร์ และนำพาชุดขดลวดอาร์เมเจอร์หมุนติดกับเส้น



(ก) เหล็กซิลิกอนแผ่นบาง (ข) แผ่นเหล็กซิลิกอนนำมาอัดซ้อนกัน (ค) ขดลวดบรรจุอยู่ในร่องอาร์เมเจอร์

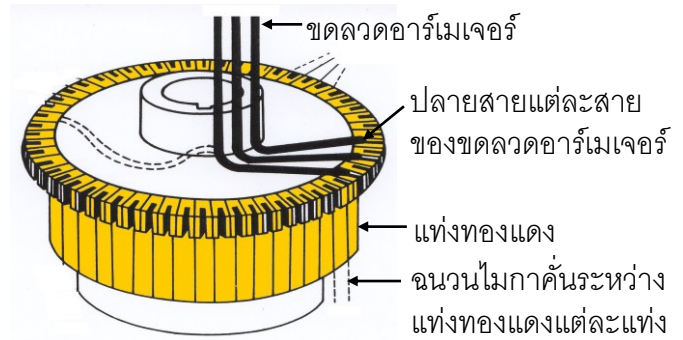
รูปที่ 1.5 แผ่นเหล็กของแกนอาร์เมเจอร์และอาร์เมเจอร์เมื่อลงขดลวดแล้ว

1.2.7 ขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำจากเส้นลวดทองแดงอบน้ำยา ซึ่งในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสไม่สูงมากนัก ก็จะใช้ลวดทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัดกลม ส่วนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสสูง ก็จะใช้ตัวนำทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบน โดยขดลวดอาร์เมเจอร์แต่ละชุดที่พันไว้ล่วงหน้าแล้วนำมาต่อเชื่อมกันที่บนซีคอมมิวเตเตอร์ ซึ่งในการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ยังแบ่งได้อีก 2 แบบก็คือ ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป และขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ หน้าที่ของขดลวดอาร์เมเจอร์ คือผลิตแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อหมุนไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก

1.2.8 คอมมิวเตเตอร์ ทำจากแท่งทองแดงหลาย ๆ แท่ง มีลักษณะคล้ายรูปลิ้ม เพื่อให้สามารถนำมามาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกโดยมีแผ่นฉนวนไมกาคั่นกลางระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ทุก ๆ ซี่ ความหนาของแต่ละซี่ของคอมมิวเตเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและ แรงดันไฟฟ้าระหว่างซี่คอมมิวเตเตอร์ที่อยู่ประชิดกัน หน้าที่ของคอมมิวเตเตอร์ คือใช้สำหรับรองรับปลายสายทั้งหมดของขดลวดอาร์เมเจอร์และยังทำหน้าที่เรียงกระแสหรือเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



(ก) โครงสร้างของคอมมิวเตเตอร์

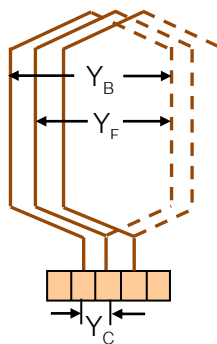


(ข) ภาพจริงของคอมมิวเตเตอร์

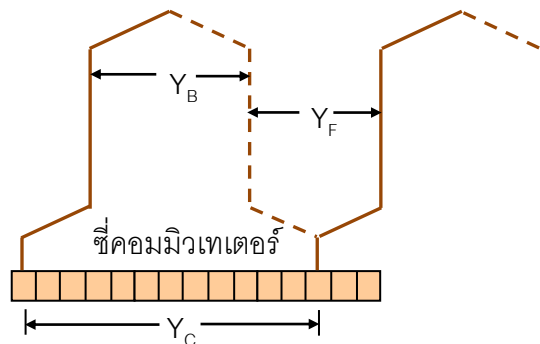
รูปที่ 1.6 โครงสร้างและภาพจริงของคอมมิวเตเตอร์

1.3 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จะแบ่งการพันขดลวดอาร์เมเจอร์เป็น 2 แบบ คือ การพันแบบแลป ดังรูป และการพันแบบเวฟ ดังรูป ซึ่งลักษณะการพันของขดลวดทั้ง 2 แบบ ต่างกันตรงที่การนำปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ไปต่อเข้ากับซีคอมมิวเตเตอร์



(ก) ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป



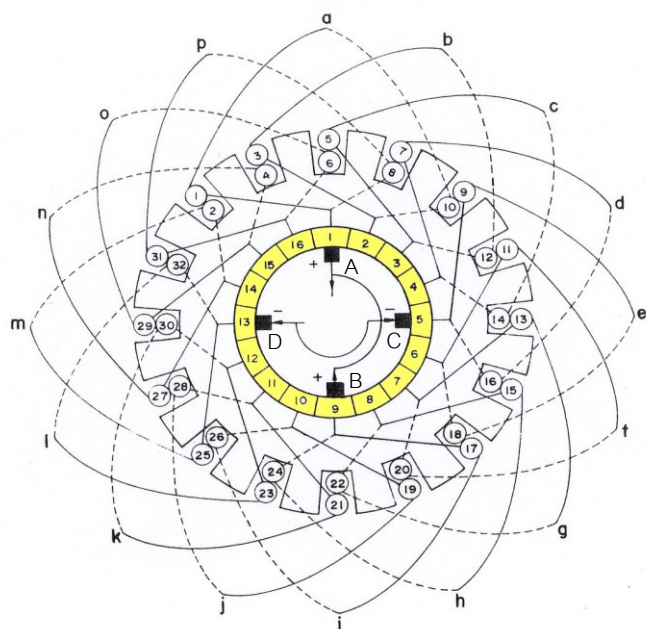
(ข) ขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ

รูปที่ 1.7 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบต่าง ๆ

1.4 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์

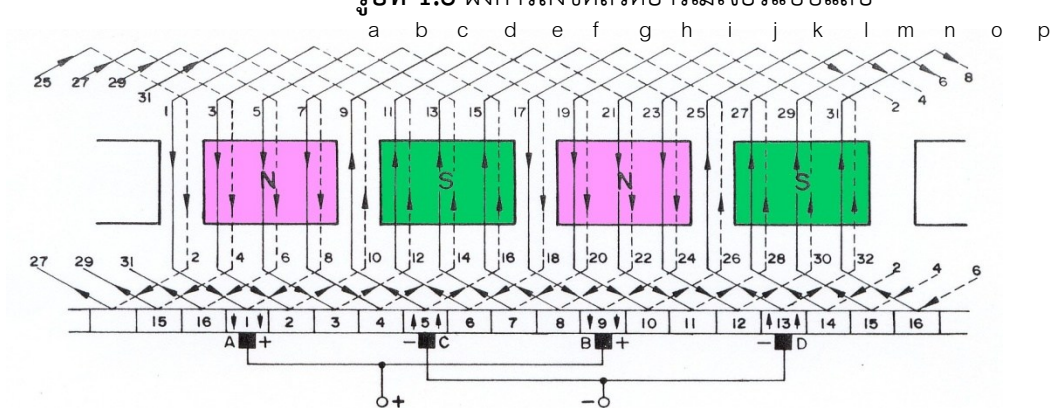
จากการพันขดลวดเป็น 2 แบบ คือการพันแบบแลปและการพันแบบเวฟ เพื่อให้เห็นลักษณะการลงขดลวดทั้ง 2 แบบ ความแตกต่างของการพันขดลวดทั้งสองสามารถพิจารณาได้จากการลงขดลวดในลักษณะแผนภาพแบบวงกลม (Circular diagram) และแผนภาพแบบคลี่ (Unfolded diagram)

1.4.1 แบบแลป ดังรูป เป็นการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบซิมเพิล็กซ์แลป



(ก) การลงขดลวดแผนภาพแบบวงกลม

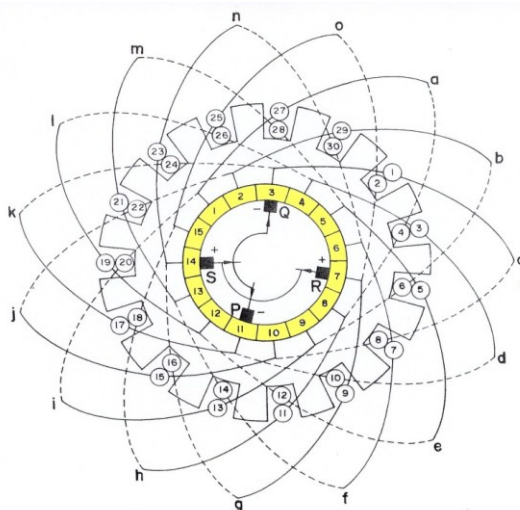
รูปที่ 1.8 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป



(ข) ผังการลงขดลวดแผนภาพแบบคี่

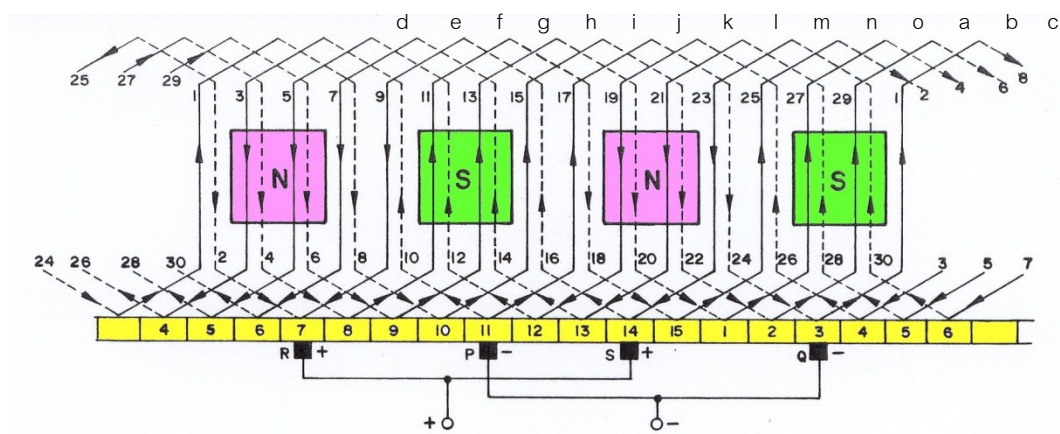
รูปที่ 1.8 (ต่อ) ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป

1.4.2 แบบเวฟ ดังรูป เป็นการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบซิมเพล็กซ์เวฟ



(ก) การลงขดลวดแผนภาพแบบวงกลม

รูปที่ 1.9 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ



(ข) ผังการลงขดลวดแผนภาพแบบคลื่น

รูปที่ 1.9 ผังการลงขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ

1.5 จำนวนทางขนานของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์

จำนวนทางขนาน หมายถึง จำนวนทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรของขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยการพันขดลวดอาร์เมเจอร์จะถูกแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ ดังนั้นจำนวนทางขนานจึงขึ้นอยู่กับ การพันขดลวดอาร์-เมเจอร์ กำหนดให้ a เท่ากับจำนวนทางขนาน และ m เท่ากับจำนวนเพล็กซ์ของการพันขดลวด ดังนั้นจำนวนทางขนานจึงขึ้นอยู่กับจำนวนเพล็กซ์ของการพันขดลวดด้วย ดังนี้

พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟ จะได้

$$a = 2m$$

พันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลป จะได้

$$a = mP$$

โดย

$m = 1$ เมื่อพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟหรือซิมเพล็กซ์แลป

$m = 2$ เมื่อพันขดลวดแบบดูเพล็กซ์เวฟหรือดูเพล็กซ์แลป

$m = 3$ เมื่อพันขดลวดแบบทริเพล็กซ์เวฟหรือทริเพล็กซ์แลป

ตัวอย่างที่ 1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 6 ขั้วแม่เหล็ก มีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ 120 A จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพันแบบต่าง ๆ ดังนี้

ก. แบบดูเพล็กซ์แลป

ข. แบบทริเพล็กซ์เวฟ

วิธีทำ จากโจทย์ที่กำหนดให้ $P = 6$ และ $I_a = 120$ A

ก. แบบดูเพล็กซ์แลป นั่นคือ $m = 2$

จากสูตร $a = mP$

แทนค่า $a = 2 \times 6 = 12$

และ $I_p = \frac{I_a}{a} = \frac{120}{12} = 10$ A

กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อพันแบบดูเพล็กซ์แลป 10 A **ตอบ**

ข. แบบทริเพล็กซ์เวฟ นั่นคือ $m = 3$

จากสูตร $a = 2m$

แทนค่า $a = 2 \times 3 = 6$

และ $I_p = \frac{I_a}{a} = \frac{120}{6} = 20$ A

กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อพันแบบทริเพล็กซ์เวฟ 20 A **ตอบ**

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 1 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่องโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้สื่อประกอบ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 1 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 1 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของของความรู้โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 1 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อ 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 1 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 1 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 1 1. power point หน่วยที่ 2. คำถามหน่วยที่ 1 1. ใบสรุปหน่วยที่ 1 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 1 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 1 จำนวน 16 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 1 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 1

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานจริง แล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 1
4. ใบมอบหมายงานที่ 1

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 1 จำนวน 16 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 1 จำนวน 16 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 1 จำนวน 16 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
 นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 1 หัวข้อเนื้อหาที่สอน โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
-
-
-

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ที่	รายการประเมิน	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
1	บันทึกผลค่าต่าง ๆ (7 คะแนน) 1.1 บันทึกข้อมูลบนแผ่นป้ายและการถอดประกอบ 1.2 การพิจารณาการพันขดลวด	5 2		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)
...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	ชั่วโมงรวม 5 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 2.1 ความหมายของการกระตุ้น
- 2.2 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก
- 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง
- 2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์
- 2.6 การคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ
2. เขียนและต่อวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. บอกความหมายของการกระตุ้นได้ 2. บอกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ 3. อธิบายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกได้ 4. อธิบายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเองได้ 5. อธิบายแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ได้ 6. คำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ได้	1. เขียนวงจรการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ได้ 2. ต่อวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

เนื้อหาสาระ

2.1 ความหมายของการกระตุ้น

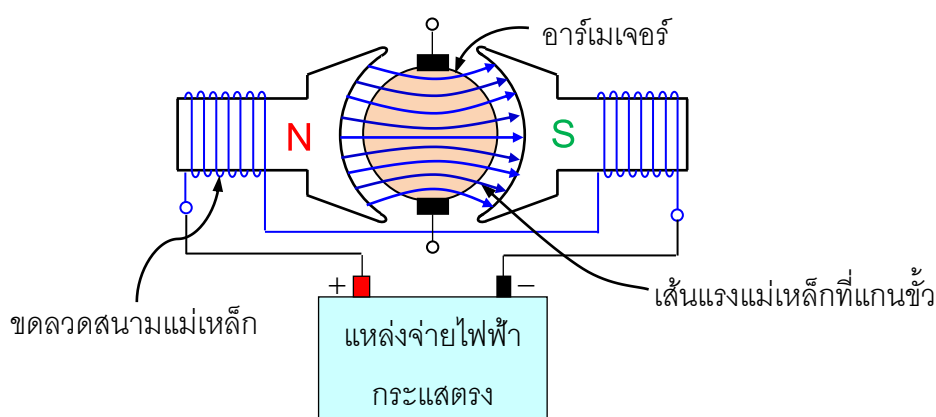
การกระตุ้น หมายถึง การนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมาจ่ายให้กับขดลวดที่พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งขดลวดที่พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กจะมี 2 แบบ คือ ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชั้นดัดกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชีรีส์

2.2 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

การแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จะแบ่งตามลักษณะของการกระตุ้น ซึ่งแบ่งได้ 2 แบบ คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง

2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก เช่น แหล่งจ่ายไฟตรงจากวงจรเรียงกระแส (Rectifier) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กหรือจากแบตเตอรี่มากระตุ้นให้กับขดลวดสนามแม่เหล็ก ดังรูป



รูปที่ 2.1 การนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมากระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก

2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเองเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากตัวเองในขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ได้สร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา แล้วนำมาจ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กบนแกนขั้วแม่เหล็ก ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเองยังแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

2.4.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชันต์ (Shunt generator) เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์มาต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ ซึ่งขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์พันด้วยลวดทองแดงเส้นเล็กจำนวนรอบที่พันมาก จึงทำให้ค่าความต้านทานมากกว่าด้วยเมื่อเทียบกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชีรีส์

2.4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชีรีส์ (Series generator) เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชีรีส์มาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ ซึ่งขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชีรีส์นี้จะพันด้วยลวดทองแดงเส้นโต จำนวนรอบที่พันน้อย จึงทำให้ค่าความต้านทานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชันต์

2.4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ (Compound generator) เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์และขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์มาต่อรวมกันกับขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งแบ่งได้อีก 2 แบบ คือ

1. แบ่งตามลักษณะการต่อ ซึ่งยังแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) แบบลองชัณฑ์คอมปาวด์ (Long shunt compound) แบบนี้เป็นการต่อโดยนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์มาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ก่อน จากนั้นจึงนำมาต่อขนานกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์

(2) แบบชอร์ตชัณฑ์คอมปาวด์ (Short shunt compound) แบบนี้เป็นการต่อโดยนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์มาต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ก่อน จากนั้นจึงนำมาต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์

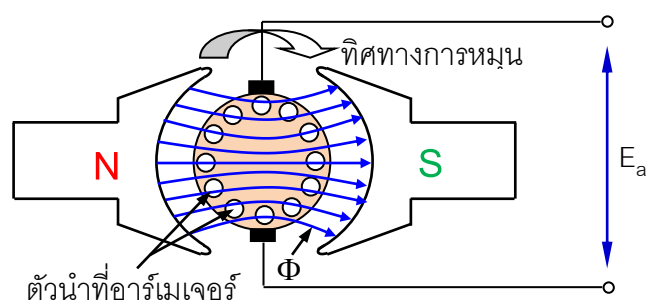
2. แบ่งตามลักษณะการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งยังแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) แบบสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน (Cumulative compound) โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ (Φ_s) จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ (Φ_f) ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางการพันของขดลวดสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.6 สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน โดย I_f ไหลเข้าต้นขดลวดออกปลายขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ และ I_s ไหลเข้าต้นขดลวดออกปลายขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองไปในทิศทางเดียวกันและเสริมกัน

(2) แบบสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน (Differential compound) โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางการพันของขดลวดสนามแม่เหล็ก สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกัน โดย I_f ไหลเข้าต้นของขดลวดและออกที่ปลายขดลวด ส่วน I_s ไหลเข้าที่ปลายขดลวดและออกที่ต้นขดลวด ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองก็มีทิศทางตรงข้ามกันและหักล้างกัน

2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

ตัวนำทั้งหมดที่พันอยู่บนแกนอาร์เมเจอร์ เมื่อทำให้เคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่อาร์เมเจอร์ ดังรูป ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์



รูปที่ 2.2 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูปเมื่อพิจารณาตัวนำเพียงตัวนำเดียว และใน 1 ทางขนาน ดังนั้นเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะได้

$$e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัวนำตัดผ่านใน 1 รอบ จะมีค่าเท่ากับ Φ_P นั่นคือ $\Delta\Phi$ เท่ากับ Φ_P

ตัวนำหมุน n รอบต่อวินาที ใช้เวลา 60 วินาที

ตัวนำหมุน 1 รอบต่อวินาที ใช้เวลา $\frac{60}{n}$ วินาที

นั่นคือ $\Delta t = \frac{60}{n}$

$$e = \frac{\Phi_P}{60/n} = \frac{\Phi_P n}{60}$$

เนื่องจากการพันขดลวดที่อาร์เมเจอร์ มี 2 แบบ คือแบบเวฟกับแบบแลปซึ่งจะหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการพันแต่ละแบบดังนี้

สำหรับการพันแบบเวฟ

จำนวนทางขนาน $a = 2$

ดังนั้นจำนวนตัวนำทั้งหมด (Z) ที่ต่ออนุกรมกันใน 1 ทางขนาน จะเท่ากับ $\frac{Z}{a}$ ซึ่งตัวนำที่ต่ออนุกรมกันทั้งหมดนี้ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av}) ที่เกิดขึ้นบนตัวนำ

$$E_{av/\text{ทางขนาน}} = \frac{\Phi_P n}{60} \times \frac{Z}{a}$$

สำหรับการพันแบบแลป

จำนวนทางขนาน $a = P$

ดังนั้นจำนวนตัวนำทั้งหมด (Z) ที่ต่ออนุกรมกันใน 1 ทางขนาน จะเท่ากับ $\frac{Z}{a}$ ซึ่งตัวนำที่ต่ออนุกรมกันทั้งหมดนี้ จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ย (E_{av}) ที่เกิดขึ้นบนตัวนำ

$$E_{av/\text{ทางขนาน}} = \frac{\Phi_P n}{60} \times \frac{Z}{a}$$

ดังนั้นในการพันทั้งแบบเวฟและแบบแลปเขียนเป็นสมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$E_a = \frac{\Phi_P n}{60} \times \frac{Z}{a} \quad \dots (2.1)$$

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเวฟจะได้

$$a = 2m \quad \dots (2.2)$$

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบแลปจะได้

$$a = mP \quad \dots (2.3)$$

โดย $m = 1$ เมื่อพันขดลวดแบบซิมเพล็กซ์เวฟหรือซิมเพล็กซ์แลป

$m = 2$ เมื่อพันขดลวดแบบดูเพล็กซ์เวฟหรือดูเพล็กซ์แลป

$m = 3$ เมื่อพันขดลวดแบบทริฟเฟิลิกส์เวฟหรือทริฟเฟิลิกส์แลป

2.6 การคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

ตัวอย่างที่ 2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มี 6 ขั้วแม่เหล็ก จำนวนตัวนำทั้งหมด 192 ตัวนำ มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก 62.5 mWb ถูกขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 1200 r/min จงคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่ออาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ก. พันแบบซิมเพล็กซ์แลป

ข. พันแบบซิมเพล็กซ์เวฟ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} P &= 6 \text{ ขั้ว} & Z &= 192 \text{ ตัวนำ} \\ n &= 1200 \text{ r/min} & \Phi &= 62.5 \times 10^{-3} \text{ Wb} \\ a &= mP = 1 \times 6 = 6 & \text{เมื่อพันแบบซิมเพล็กซ์แลป } m &= 1 \\ a &= 2m = 2 \times 1 = 2 & \text{เมื่อพันแบบซิมเพล็กซ์เวฟ } m &= 1 \end{aligned}$$

ก. พันแบบซิมเพล็กซ์แลป

$$\begin{aligned} E_a &= \frac{\Phi P n Z}{60 a} \\ &= \frac{62.5 \times 10^{-3} \times 6 \times 1200 \times 192}{60 \times 6} = 240 \text{ V} \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 240 V **ตอบ**

ข. พันแบบซิมเพล็กซ์เวฟ

$$\begin{aligned} E_a &= \frac{\Phi P n Z}{60 a} \\ &= \frac{62.5 \times 10^{-3} \times 6 \times 1200 \times 192}{60 \times 2} \\ E_a &= 720 \text{ V} \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 720 V **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มี 4 ขั้วแม่เหล็ก ที่แกนอาร์เมเจอร์มี 36 ร่อง แต่ละร่องมี 4 ตัวนำ มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก 0.1 Wb ถูกขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 750 r/min ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้พันแบบซิมเพล็กซ์แลป จงคำนวณหา

ก. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

ข. กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่โหลด 120 A

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} P &= 4 \text{ ขั้ว} & \text{จำนวนร่อง} &= 36 \text{ ร่อง} \\ n &= 750 \text{ r/min} & \Phi &= 0.1 \text{ Wb} \\ a &= mP = 1 \times 4 = 4 \\ Z_{\text{ร่อง}} &= 4 \text{ ตัวนำ} & \text{ดังนั้น } Z_{\text{ทั้งหมด}} &= 36 \times 4 = 144 \text{ ตัวนำ} \end{aligned}$$

ก. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

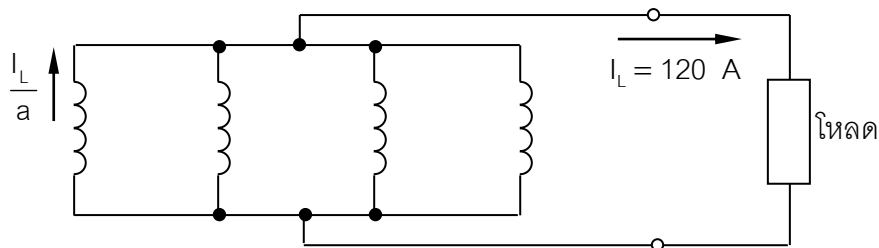
$$E_a = \frac{\Phi P n Z}{60 a}$$

$$= \frac{0.1 \times 4 \times 750 \times 144}{60 \times 4}$$

$$E_a = 180 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 180 V **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่โหลด 120 A



ดังนั้นกระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนาน

$$I_p = \frac{I_L}{a} = \frac{120}{4}$$

$$I_p = 30 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าในแต่ละทางขนานมีค่าเท่ากับ 30 A **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มี 8 ขั้วแม่เหล็ก ที่แกนอาร์เมเจอร์มี 24 ร่องแต่ละร่องมี 4 ตัวนำ มีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก 50 mWb และพันแบบซิมเพล็กซ์เวฟ อยากทราบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องถูกขับด้วยความเร็วรอบเท่าใด จึงจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ 400 V

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$P = 8 \text{ ขั้ว} \quad \text{จำนวนร่อง} = 24 \text{ ร่อง}$$

$$n = 750 \text{ r/min} \quad \Phi = 50 \text{ mWb} = 50 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$a = 2 \quad Z_{\text{ร่อง}} = 4 \text{ ตัวนำ} \quad \text{และ } E_a = 400 \text{ V}$$

$$Z_{\text{ทั้งหมด}} = 24 \times 4 = 96 \text{ ตัวนำ}$$

ดังนั้น

จากสมการ

$$E_a = \frac{\Phi P n Z}{60 a}$$

ดังนั้น

$$n = \frac{60 a E_a}{\Phi P Z}$$

$$= \frac{60 \times 2 \times 400}{50 \times 10^{-3} \times 8 \times 96}$$

$$n = 1250 \text{ r/min}$$

ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1250 r/min **ตอบ**

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 2 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่องชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้สื่อประกอบ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 2 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 2 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของของความรู้ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 2 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 2 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 2 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 2 1. power point หน่วยที่ 2 2. คำถามหน่วยที่ 2 1. ใบสรุปหน่วยที่ 2 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 2 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 2 จำนวน 14 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 2 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 2

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานจริง แล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 2
4. ใบมอบหมายงานที่ 2

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 2 จำนวน 14 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 2 จำนวน 14 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนรู้หน่วยที่ 2 จำนวน 14 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
 นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 2 หัวข้อเนื้อหาที่สอน ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ที่	รายการประเมิน	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน) 1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง 1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	4 3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)
...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 3-4
	ชื่อหน่วย คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	ชั่วโมงรวม 10 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 3.1 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก
- 3.2 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้ว
- 3.3 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์
- 3.4 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์
- 3.5 การเกิดอาร์เมเจอร์แอ๊กชัน
- 3.6 การเกิดคอมมิวเทชัน

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ
2. ต่อย่างจรทดสอบและสรุปผลจากการทดลองคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

สมรรถนะที่พึงประสงค์

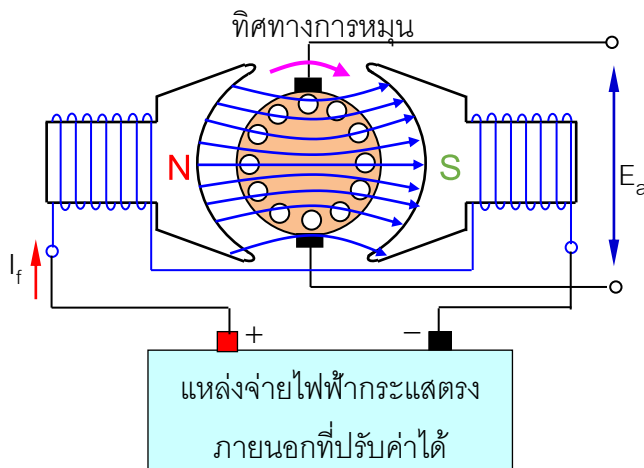
ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกได้ 2. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วได้ 3. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์ได้ 4. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์ได้ 5. อธิบายการเกิดอาร์เมเจอร์แอ๊กชันได้ 6. อธิบายการเกิดคอมมิวเทชันได้	1. ต่อย่างจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้ 2. ทดสอบหาคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

เนื้อหาสาระ

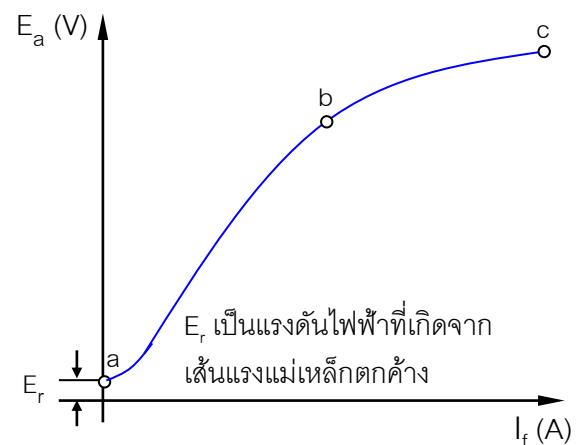
3.1 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก มากระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก โดยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จากขดลวดอาร์เมเจอร์ที่หมุนไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก

3.1.1 คุณสมบัติเมื่อไม่มีโหลด ดังรูป แสดงคุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ (E_a) โดยการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสของขดลวดสนามแม่เหล็ก (I_f) ที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกที่ปรับค่าได้ นั่นคือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าการปรับค่าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก



(ก) การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

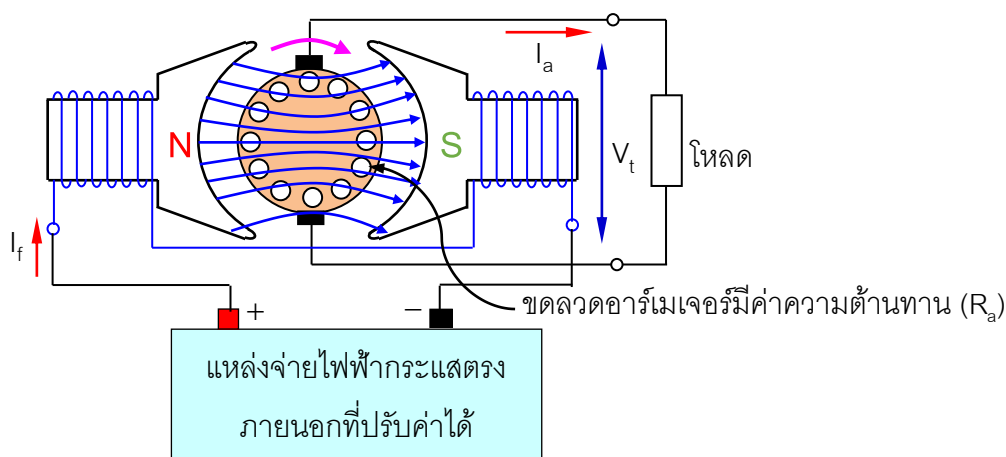


(ข) เส้นโค้งคุณสมบัติเมื่อไม่มีโหลด

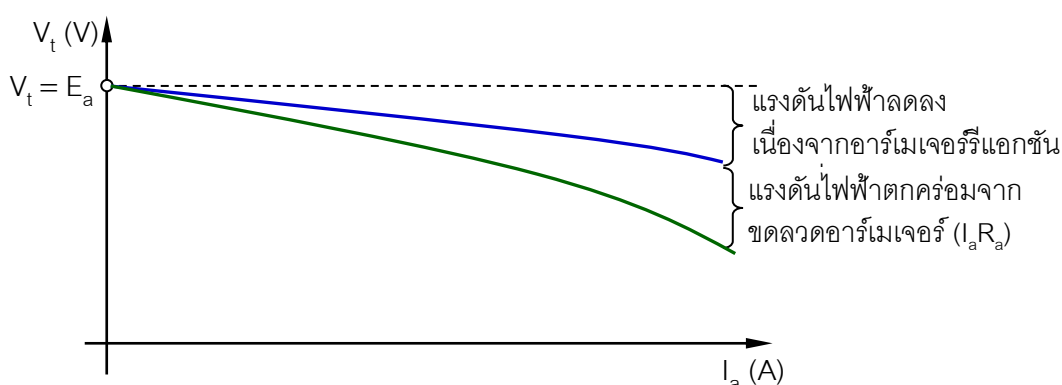
รูปที่ 3.1 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเส้นโค้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} \quad E_a &= \frac{\Phi n}{60} \times \frac{Z}{a} = \frac{PZ}{60a} \times \Phi n = K_a \Phi n \\
 \text{โดย} \quad K_a &= \frac{PZ}{60a} \quad \text{กำหนดให้เป็นค่าคงที่ทางไฟฟ้า} \\
 \text{แต่} \quad \Phi &\propto I_f \quad (I_f = \text{กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก}) \\
 \text{ดังนั้น} \quad \Phi &= K_\phi I_f \quad (K_\phi = \text{ค่าคงที่ทางเส้นแรงแม่เหล็ก}) \\
 \text{แทนค่า} \quad E_a &= K_a K_\phi I_f n \\
 \text{กำหนดให้ } K_f &= K_a K_\phi \text{ เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นผลคูณของ } K_a \text{ กับ } K_\phi \text{ ดังนั้นจะได้} \\
 E_a &= K_f I_f n \quad \text{..... (3.1)}
 \end{aligned}$$

3.1.2 คุณสมบัติเมื่อมีโหลด เมื่อนำโหลดมาต่อเข้าที่ขั้วของอาร์เมเจอร์และหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลง ดังรูปที่ และแสดงคุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) ดังรูป



รูปที่ 3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกเมื่อมีโหลด



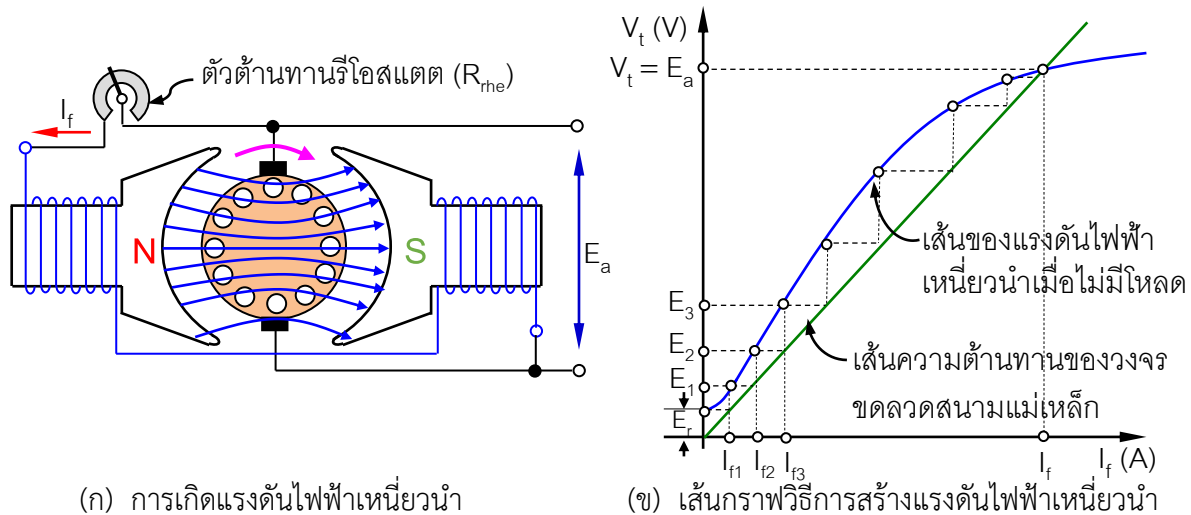
รูปที่ 3.3 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่มีโหลด แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดเปลี่ยนแปลงลดลง อันเนื่องจาก 2 สาเหตุ คือ แรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชันกับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ($I_a R_a$)

3.2 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนัต์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนัต์ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากตัวมันเองมากระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก โดยแรงดันไฟฟ้าได้จากขดลวดอาร์เมเจอร์ที่หมุนไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก

3.2.1 คุณสมบัติเมื่อไม่มีโหลด ดังรูป แสดงคุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ (E_a) โดยการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดสนามแม่เหล็ก (I_f) ที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากตัวมันเอง โดยการปรับค่าความต้านทานรีโอสแตตที่ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก นั่นคือกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าการปรับค่าความต้านทานของรีโอสแตต



รูปที่ 3.4 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเส้นกราฟวิธีการสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

วิธีการสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 3.4 (ก) เมื่อหมุนเครื่องกำเนิดให้มีความเร็วรอบคงที่ (เท่ากับความเร็วพิกัด) ก็ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมามีค่าหนึ่ง (E_r) อันเกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างและไปตกคร่อมความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็ก ($R_f + R_{rhe}$) ทำให้เกิดมีกระแสไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็น I_{f1} โดยกระแส I_{f1} ก็ไปสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้นเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเป็น E_1 และแรงดันไฟฟ้า E_1 ก็ไปตกคร่อมความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็น I_{f2} โดยกระแส I_{f2} ก็ไปสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้นเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเป็น E_2 และแรงดันไฟฟ้า E_2 ก็ไปตกคร่อมความต้านทานของขดลวดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็น I_{f3} โดยกระแส I_{f3} ก็ไปสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้น เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเป็น E_3 ในลักษณะแบบนี้ไปเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 3.4 (ข) จากการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าของขดลวดสนามแม่เหล็กจะไปสิ้นสุดที่จุดตัดกันระหว่างเส้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อไม่มีโหลดกับเส้นความต้านทานของวงจรขดลวดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจุดตัดนี้เป็นจุดกำหนดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ชั่วของเครื่องกำเนิดนั่นเอง

จากที่กล่าวมาถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามขนาดที่ต้องการ ซึ่งอาจมีสาเหตุขัดข้องต่าง ๆ และวิธีการไขดังนี้

1. ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง เนื่องจากไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นใหม่ซึ่งจะไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง วิธีการแก้ไข นำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมากระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก ในเวลาสั้น ๆ 3-5 วินาที
2. ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กกลับขั้ว ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง วิธีการแก้ไข กลับขั้วของขดลวดสนามแม่เหล็ก

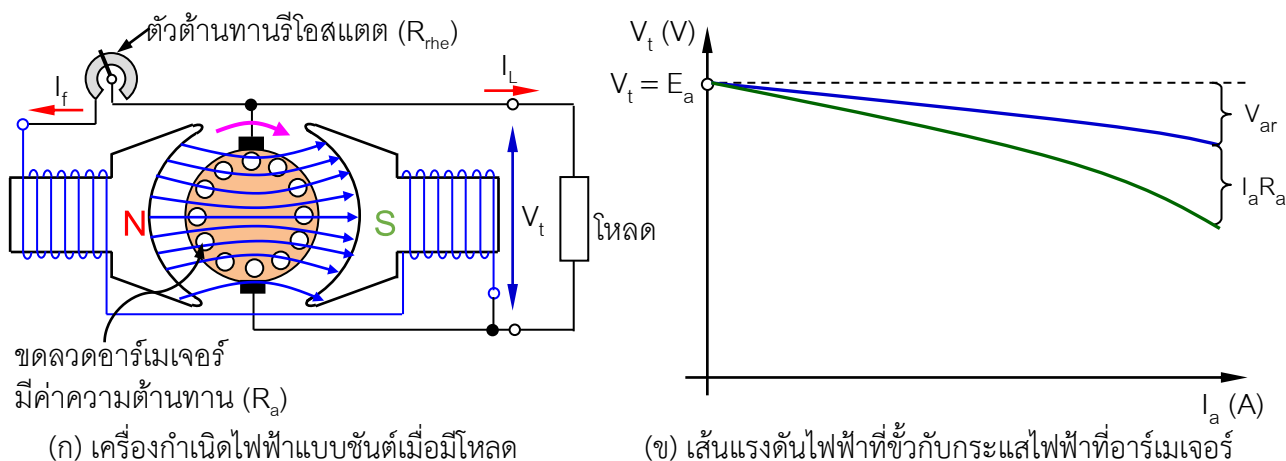
3. ปรับความต้านทานของวงจรขดลวดสนามแม่เหล็กสูงเกินไป ซึ่งจุดตัดทั้งสองเส้นมีค่าใกล้เคียงกับ E_r ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกค้าง วิธีการแก้ไข ลดค่าความต้านทานของวงจรขดลวดสนามแม่เหล็กทำได้โดยการปรับที่ตัวต้านทานรีโอสแตต

4. วงจรของขดลวดอาร์เมเจอร์ขาด อันได้แก่ขดลวดอาร์เมเจอร์ขาดวงจร การสัมผัสแปรงถ่านกับซีคอมมิวเตเตอร์ไม่แน่นพอหรือแปรงถ่านสึกหรอมาก วิธีการแก้ไข ตรวจสอบวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์ อันได้แก่การเปิดวงจร สปริงกดแปรงถ่าน ตรวจสอบและทำความสะอาดแปรงถ่าน

5. หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลับทิศทาง จะทำให้แรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกค้างมีขั้วตรงข้าม จึงทำให้กระแสที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง วิธีการแก้ไข หมุนเครื่องกำเนิดตามทิศทางที่กำหนด

6. ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดต่ำกว่าความเร็ววิกฤติ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำแปรตามกับความเร็วยรอบเมื่อความเร็วยรอบต่ำ ๆ ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกค้างน้อยมากเส้นแรงแม่เหล็กก็จะน้อยมากด้วย ทำให้ไม่เพียงพอที่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา วิธีการแก้ไขก็คือหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ได้ความเร็วรอบตามปกติ

3.2.2 คุณสมบัติเมื่อมีโหลด เมื่อนำโหลดมาต่อเข้ากับขั้วของอาร์เมเจอร์และหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลง ดังรูป และแสดงคุณลักษณะ ของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) ดังรูปที่ 3.7 (ข)

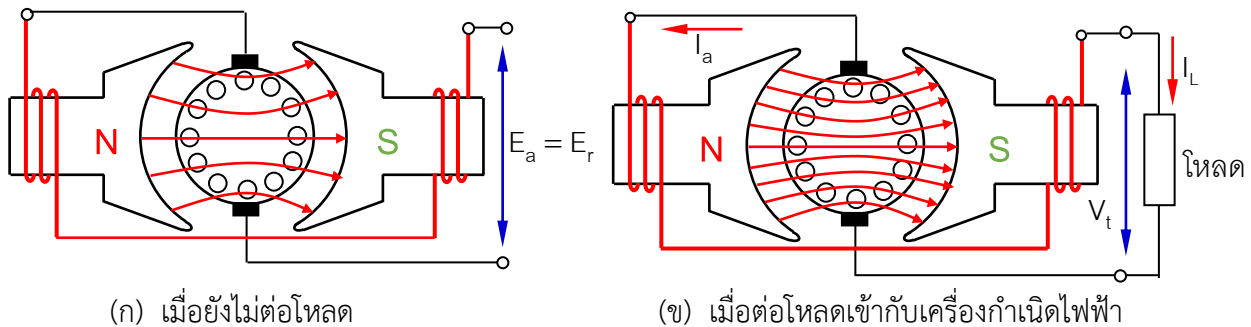


รูปที่ 3.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วตรงเมื่อมีโหลดและเส้นคุณลักษณะ

จากกราฟเห็นว่าเมื่อเครื่องกำเนิดยังไม่มีโหลด แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงลดลง อันเนื่องจาก 2 สาเหตุ คือ แรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน (V_{ar}) กับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ($I_a R_a$) แต่แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะตกมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

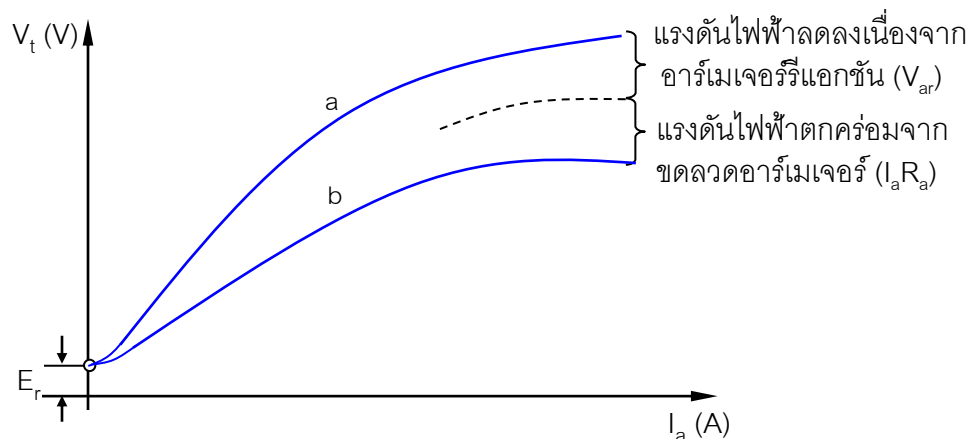
3.3 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์

3.3.1 คุณสมบัติเมื่อไม่มีโหลด ดังรูปเมื่อยังไม่นำโหลดมาต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปิดวงจร ดังนั้นถ้าหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีความเร็วรอบคงที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมาเพียงเล็กน้อยอันเกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง



รูปที่ 3.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์เมื่อไม่มีโหลดและมีโหลด

3.3.2 คุณสมบัติเมื่อมีโหลด ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดเมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนไป จากรูป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่โหลดให้มีความเพิ่มขึ้น ก็ทำให้กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้นด้วยและไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ ก็ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นด้วยและส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นและแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วก็เพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือถ้ากระแสโหลดเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นก็ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นด้วยดังรูป

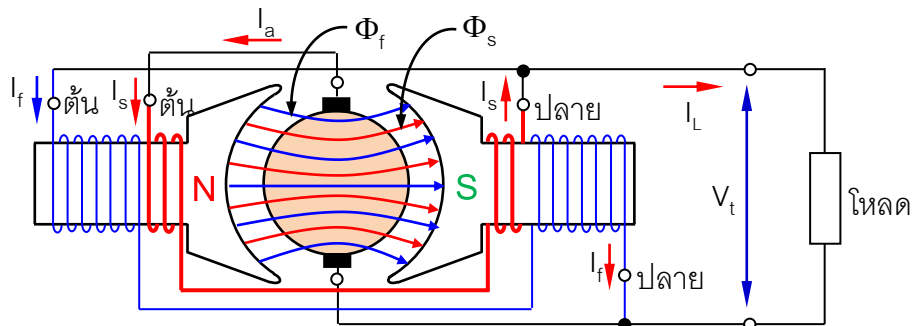


รูปที่ 3.7 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

3.4 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์

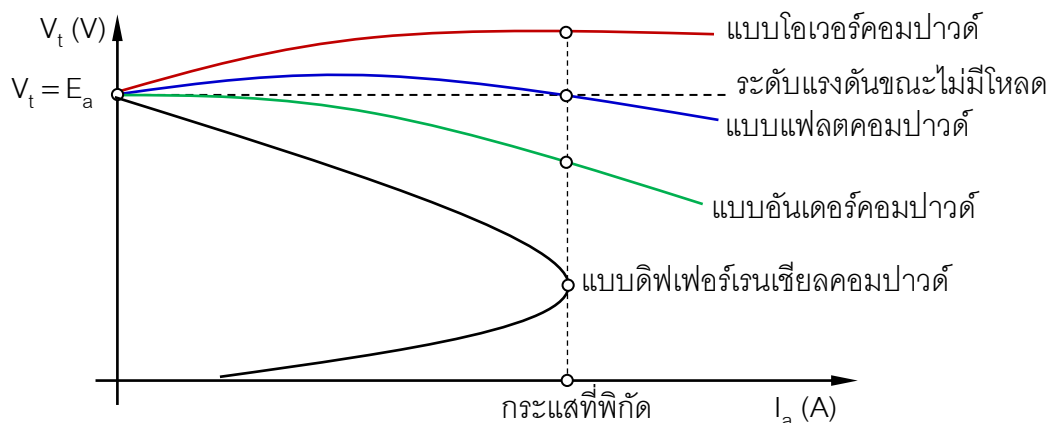
ถ้านำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์กับขดลวดแบบชั้ดมาต่อแบบผสม ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักหรืออาจเปลี่ยนแปลงอย่างมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการต่อในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสอง ดังนี้

3.4.1 สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน แบบนี้เป็นการต่อโดยให้ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ เมื่อขดลวดทั้งสองมีกระแสไหลผ่านโดยไหลไปในทิศทางเดียวกัน (I_f ไหลเข้าต้นคอยล์ และ I_s ก็ไหลเข้าต้นคอยล์) จึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองไปในทิศทางเดียวกัน และเสริมกัน ดังรูป



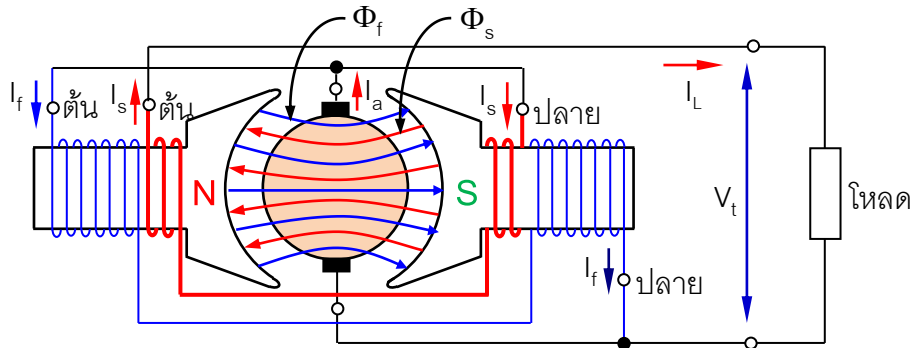
รูปที่ 3.8 การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กแบบลองชันต์คอมปาวด์สร้างเส้นแม่เหล็กเสริมกัน

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่มีโหลดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์พยายามเปลี่ยนแปลงลดลง แต่เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์และไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ด้วย จึงเกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดซีรีส์โดยสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้น และไปเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน โดยแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ การออกแบบจำนวนรอบที่พันของขดลวดสนามแม่เหล็กซีรีส์



รูปที่ 3.9 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

3.4.2 สร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน แบบนี้เป็นการต่อโดยให้ขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ เมื่อขดลวดทั้งสองมีกระแสไหลผ่านโดยไหลไปในทิศทางตรงข้ามกัน (I_f ไหลเข้าต้นคอยล์ แต่ I_s ไหลเข้าปลายคอยล์) จึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกันและหักล้างกัน ดังรูป



รูปที่ 3.10 การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์คอมปาวด์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน

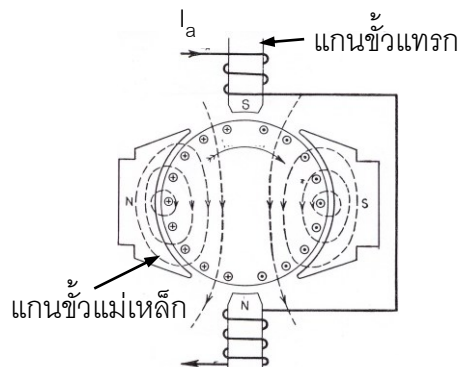
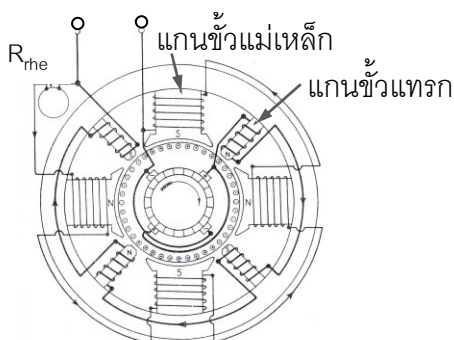
3.5 การเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชัน

อาร์เมเจอร์รีแอกชัน หมายถึง การเกิดเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดอาร์เมเจอร์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีโหลด โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดอาร์เมเจอร์ไปกระทำกับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้ว ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการบิดเบี้ยว (Distortion) ไป

จากผลการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชัน ทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงและยังทำให้เกิดประกายไฟที่หน้าแปรงถ่านกับชั้วคอมมิวเตเตอร์ ดังนั้นการแก้อาร์เมเจอร์รีแอกชันทำได้ดังนี้

1. **เลื่อนตำแหน่งแปรงถ่าน** โดยการเลื่อนแปรงถ่านไปยังตำแหน่งแกนนิวทรัลใหม่ดังรูปที่ 3.14 ข้อดีก็คือไม่ต้องมีอุปกรณ์ใดมาต่อเข้าเพิ่มเติมเพียงแต่เลื่อนแปรงถ่าน โดยเลื่อนไปตามทิศทางการหมุนส่วนข้อเสียต้องเลื่อนแปรงถ่านทุกครั้งเมื่อกระแสที่อาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงจึงไม่เป็นที่นิยม

2. **ใส่ขั้วแทรกหรืออินเตอร์โพล (Com-poles or Inter-pole)** เป็นขั้วแม่เหล็กเล็ก ๆ ที่แทรกไว้กึ่งกลางขั้วแม่เหล็กหลัก ดังรูป โดยที่ขั้วแทรกพันด้วยลวดทองแดงเส้นโตและต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีโหลดทำให้มีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์และไหลผ่านขดลวดขั้วแทรกและมีเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแทรกตามทิศทางของกระแสไฟฟ้า โดยทิศทางของขั้วแทรกจะต้องมีขั้วที่เหมือนกับขั้วแม่เหล็กหลักที่อยู่ข้างหน้าตามทิศทางการหมุน



(ก) การวางตำแหน่งขั้วแทรก

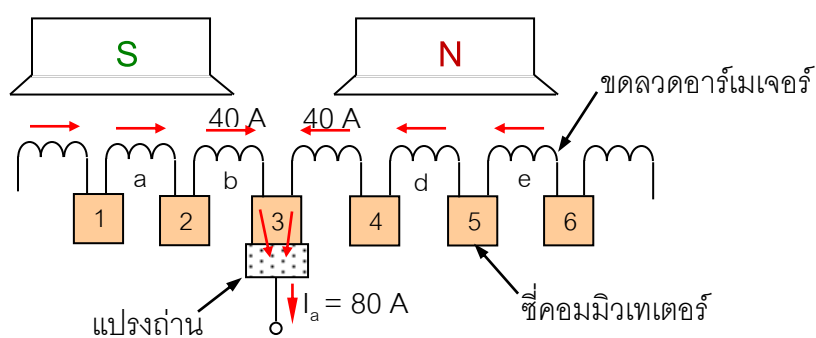
ข) การทำงานของขั้วแทรก

รูปที่ 3.11 การวางตำแหน่งขั้วแทรกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

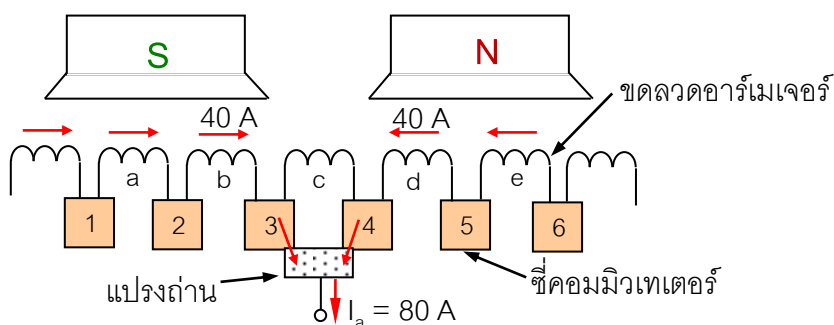
3. พันขดลวดชดเชย (Compensating winding) ขดลวดชดเชยจะพันจากทองแดงเส้นโตและวางอยู่ในร่องบริเวณผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กหลักโดยมีต้นและปลายของขดลวดแต่ละชุดวางอยู่ผิวด้านหน้าอย่างละครึ่งของแกนขั้วแม่เหล็ก

3.6 การเกิดคอมมิวเทชัน

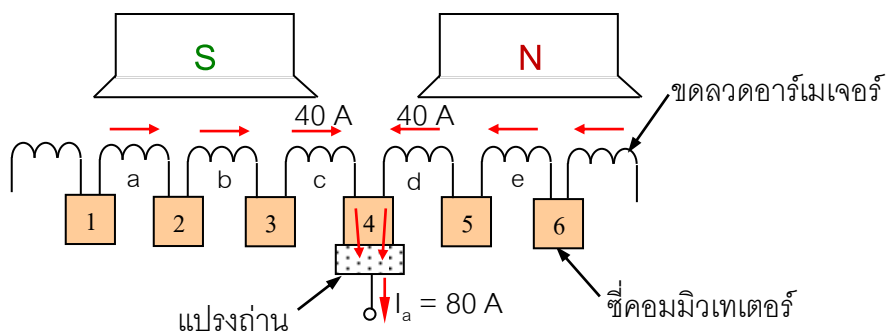
คอมมิวเทชัน หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดอาร์เมเจอร์เมื่อขดลวดอาร์เมเจอร์ชุดนั้นเคลื่อนที่ผ่านพื้นแกนนิวทรัล ซึ่งอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางขั้วแม่เหล็กเหนือและขั้วแม่เหล็กใต้ที่อยู่ประชิดกัน



(ก) เมื่อแปรงถ่านสัมผัสที่ซี่คอมมิวเตเตอร์ 3 อย่างเดียว



(ข) เมื่อแปรงถ่านสัมผัสที่ซี่คอมมิวเตเตอร์ 3 และ 4



(ค) เมื่อแปรงถ่านสัมผัสที่ซี่คอมมิวเตเตอร์ 4 อย่างเดียว รูปที่ 3.12 การเกิดคอมมิวเทชัน

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 3 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่องคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้สื่อประกอบ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 3 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 3 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของของความรู้คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 3 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 3 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 3 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 3 1. power point หน่วยที่ 3 2. คำถามหน่วยที่ 3 1. ใบสรุปหน่วยที่ 3 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 3 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 3 จำนวน 18 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 3 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 3

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งาน

จริง แล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง สุรน แก่นตัน ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 3
4. ใบมอบหมายงานที่ 3

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 3 จำนวน 18 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 3 จำนวน 18 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 3 จำนวน 18 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุรน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 3 หัวข้อเนื้อหาที่สอน คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ที่	รายการประเมิน	คะแนน เต็ม	คะแนน ที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน) 1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง 1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	4 3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 5-6
	ชื่อหน่วย การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	ชั่วโมงรวม 10 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 4.1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก
- 4.2 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคันต์
- 4.3 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรี่ย์
- 4.4 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์
- 4.5 การสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 4.6 กำลังในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 4.7 ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 4.8 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 4.9 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

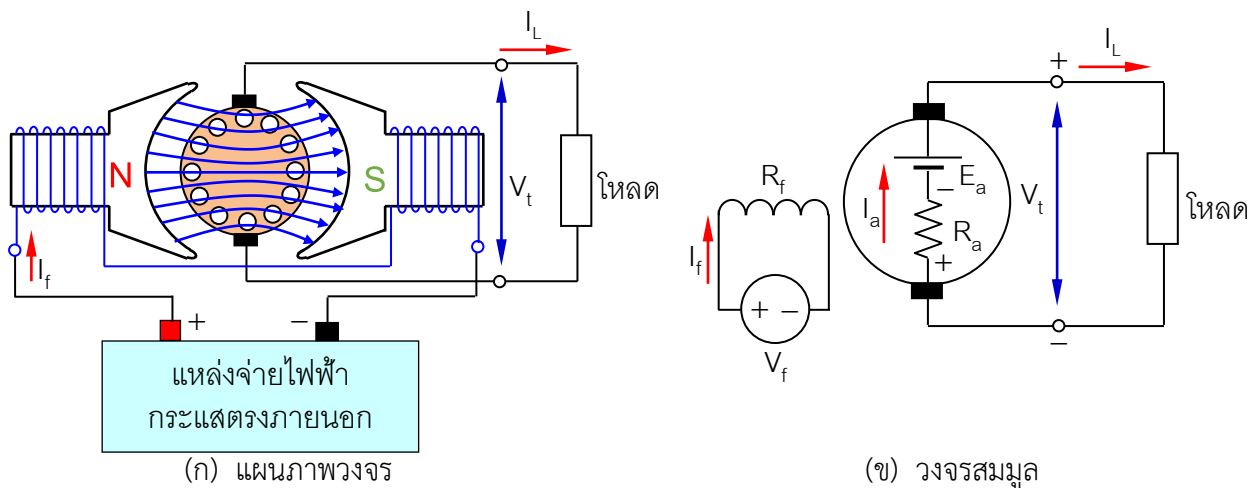
1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ และประสิทธิภาพ
2. ต่อบังคับทดสอบและสรุปผลจากการทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายวงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกได้ 2. อธิบายวงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคันต์ได้ 3. อธิบายวงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรี่ย์ได้ 4. อธิบายวงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์ได้ 5. อธิบายการสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ 6. อธิบายกำลังในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ 7. อธิบายประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ 8. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ 9. อธิบายภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้	1. ต่อบังคับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้ 2. ทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

4.1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก

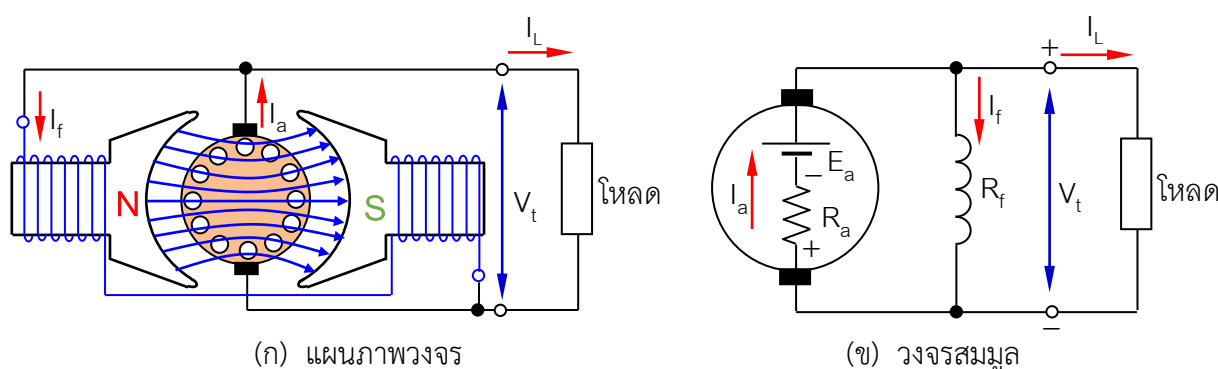
แผนภาพวงจร (Schematic diagram) แสดงดังรูป ซึ่งภายในขดลวดอาร์เมเจอร์เทียบเท่าว่ามีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_a) กับค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ (R_a) ที่ต่ออนุกรมกัน ส่วนที่ขดลวดสนามแม่เหล็กเทียบเท่าว่ามีค่าความต้านทานจากขดลวดสนามแม่เหล็ก (R_f) และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก (I_f) และเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูป



รูปที่ 4.1 แผนภาพวงจรและวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกเมื่อมีโหลด

4.2 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขัณฑ์

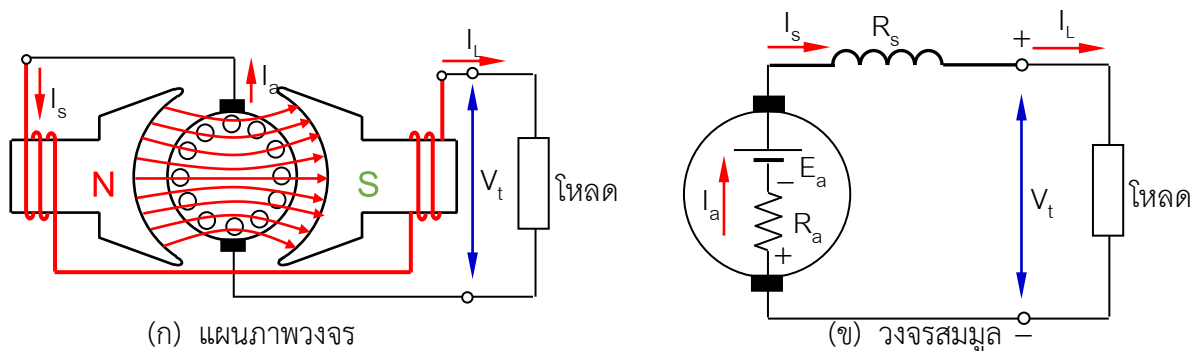
แผนภาพวงจรแสดงดังรูป ซึ่งวงจรสมมูลของขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนามแม่เหล็กเหมือนกับแบบกระตุ้นแยก เพียงมีแหล่งจ่ายจากตัวมันเองมากระตุ้นและเขียนเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 แผนภาพวงจรและวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขัณฑ์เมื่อมีโหลด

4.3 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์

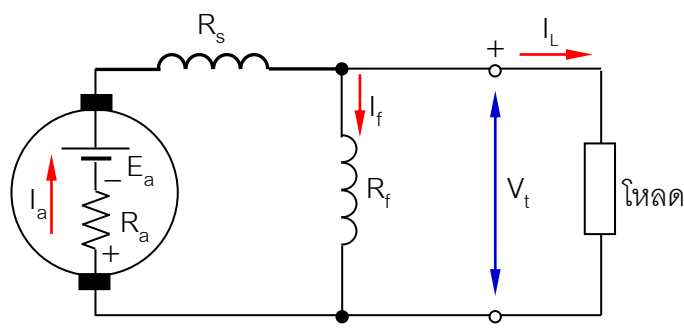
แผนภาพวงจรแสดงดังรูป ซึ่งวงจรสมมูลของขดลวดอาร์เมเจอร์เหมือนกับแบบชัณฑ์ ส่วนขดลวดสนามแม่เหล็กแบบอนุกรม (R_s) ต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์และเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูป



รูปที่ 4.3 แผนภาพวงจรและวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์เมื่อมีโหลด

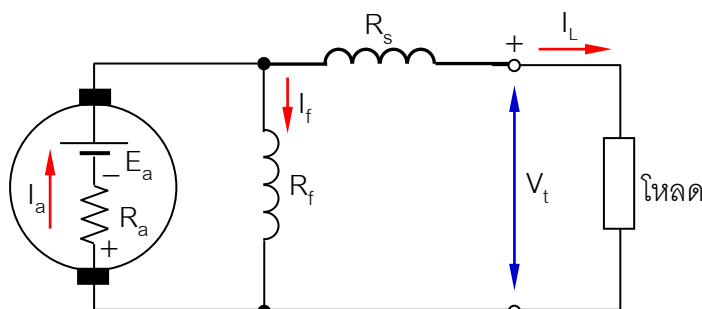
4.4 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์

4.4.1 แบบลองชัณฑ์คอมพาวด์ เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์มาต่ออนุกรมกับอาร์-เมเจอร์ก่อนแล้วจึงนำมาต่อขนานกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ ดังรูป



รูปที่ 4.4 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบลองชัณฑ์คอมพาวด์

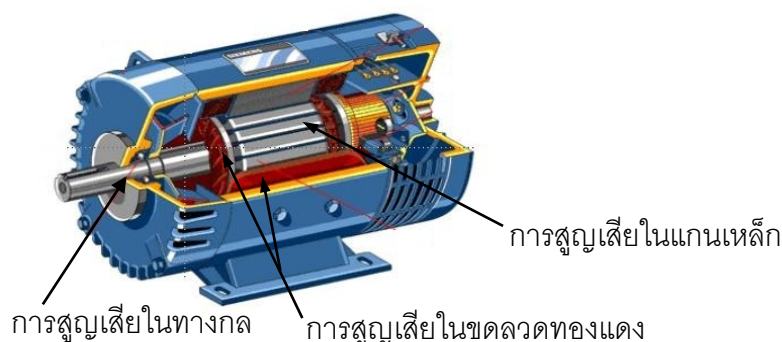
4.4.2 แบบช็อตชัณฑ์คอมพาวด์ เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์มาต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ก่อนแล้วจึงนำมาต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ ดังรูป



รูปที่ 4.5 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบช็อตชัณฑ์คอมพาวด์

4.5 การสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่มีโหลดหรือมีโหลดก็ตาม จะมีการสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ การสูญเสียในขดลวดทองแดง การสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในทางกล ซึ่งแสดงให้เห็ดังรูป



รูปที่ 4.6 กลุ่มการสูญเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

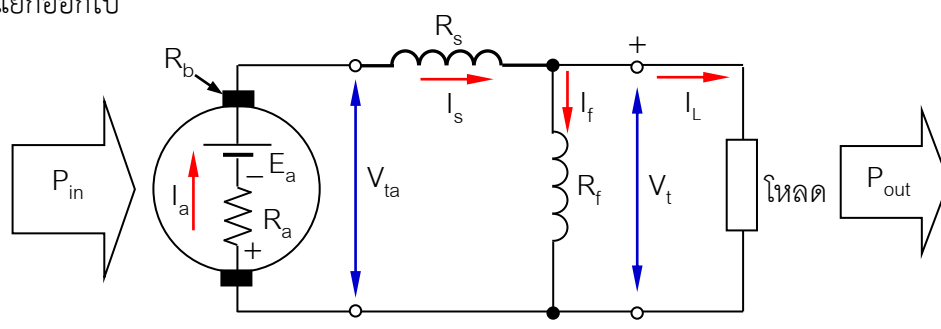
4.5.1 การสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper losses) เนื่องจากขดลวดทองแดงที่พันอยู่ในเครื่อง-กำเนิดไฟฟ้ามีความต้านทานและเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวด

4.5.2 การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core losses) การสูญเสียนี้เกิดขึ้นที่แกนอาร์เมเจอร์ขณะที่แกนอาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่ผ่านขั้วเหนือและขั้วใต้ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปและได้ออกมาในรูปของความร้อน

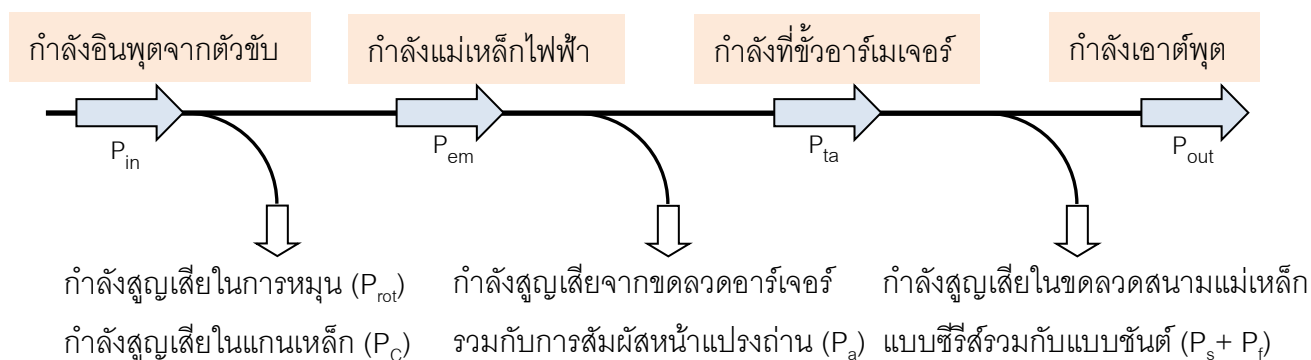
4.5.3 การสูญเสียในทางกล (Mechanical losses) การสูญเสียนี้เกิดขึ้นขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนไป ซึ่งต้องใช้กำลังบางส่วนเพื่อชนะแรงทางกลเหล่านี้ บางครั้งเรียกว่า การสูญเสียในการหมุน (Rotational losses) กำหนดให้เป็น P_{rot} ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปเช่นกัน

4.6 กำลังในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ดังรูปเป็นวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์โดยมีกำลังอินพุตจ่ายเข้ามา มีกำลังเอาต์พุตออกไปที่โหลดและยังได้แสดงกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พร้อมทั้งกำลังสูญเสียที่แยกออกไป



(ก) วงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์โดยมีกำลังอินพุตและกำลังเอาต์พุต



รูปที่ 4.7 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมพาวด์และส่วนต่าง ๆ ของกำลังไฟฟ้า

4.7 ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

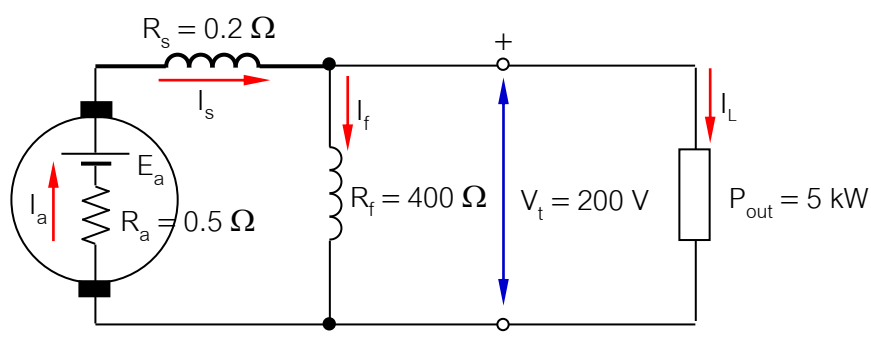
$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังอินพุต}} \times 100 \\ \text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังเอาต์พุต} + \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด}} \times 100 \\ \eta &= \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100 \quad \dots (4.19) \end{aligned}$$

4.8 การคำนวณค่าต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวอย่างที่ 4.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบลองชัณฑ์คอมพาวด์และสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์ จากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ จากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ เป็น $0.5 \, \Omega$, $0.2 \, \Omega$ และ $400 \, \Omega$ ตามลำดับ มีกำลังไฟฟ้าที่โหลด เป็น $5 \, \text{kW}$ ที่แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า $200 \, \text{V}$ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในการหมุน $420 \, \text{W}$ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก $180 \, \text{W}$ แรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชันไม่นำมาคิด จงคำนวณหา

- แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด
- ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- เขียนกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

วิธีทำ เขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับวงจร



จากวงจรสมมูลหากระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ก่อนได้ดังนี้

$$I_L = \frac{P_L}{V_t} = \frac{5 \times 10^3}{200} = 25 \text{ A}$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{200}{400} = 0.5 \text{ A}$$

$$I_a = I_s = I_f + I_L = 0.5 + 25 = 25.5 \text{ A}$$

ก. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์

$$E_a = V_t + I_a R_a + I_s R_s$$

$$E_a = 200 + (25.5 \times 0.5) + (25.5 \times 0.2) = 217.85 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 217.85 V **ตอบ**

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด } P_{co} &= P_f + P_a + P_s = I_f^2 R_f + I_a^2 R_a + I_s^2 R_s \\ &= (0.5^2 \times 400) + (25.5^2 \times 0.5) + (25.5^2 \times 0.2) \\ P_{co} &= 100 + 325.125 + 130.05 = 555.175 \text{ W} \end{aligned}$$

โจทย์กำหนดให้ $P_{rot} = 420 \text{ W}$ และ $P_c = 180 \text{ W}$

$$P_{loss} = P_{co} + P_{rot} + P_c = 555.175 + 420 + 180$$

$$P_{loss} = 1155.175 \text{ W}$$

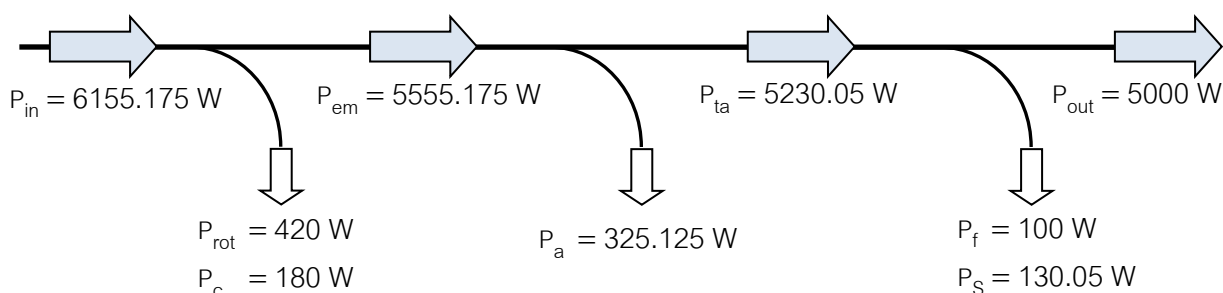
กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1155.175 W **ตอบ**

ค. ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100 = \frac{5000}{(5000 + 1155.175)} \times 100 \\ &= 81.23 \end{aligned}$$

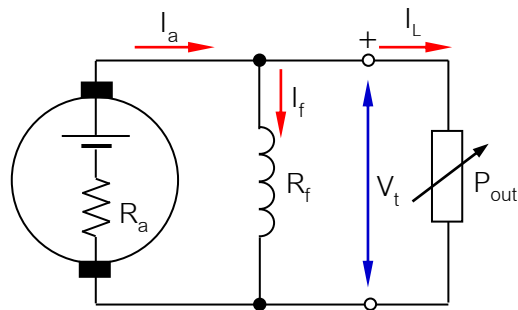
ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 81.23 % **ตอบ**

ง. เขียนกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

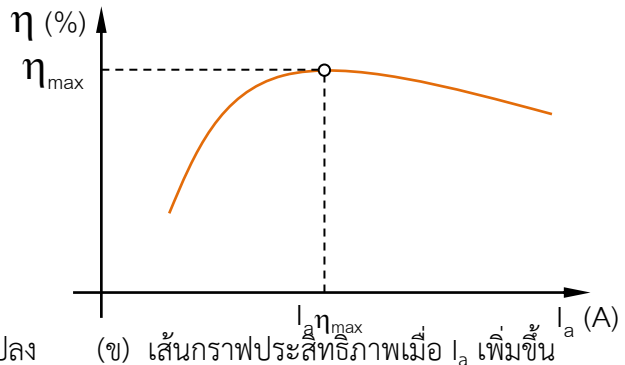


4.9 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) เปลี่ยนแปลงด้วยดังรูป ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดอาร์เมเจอร์และในขดลวดซีรีส์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน แต่กำลังสูญเสียในการหมุน ในแกนเหล็กและจากขดลวดชั้นดีมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกระแส I_a เมื่อกระแส I_a ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและมี I_a ค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้นจะค่อย ๆ มีค่าลดลง ดังรูป



(ก) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้ตเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง



(ข) เส้นกราฟประสิทธิภาพเมื่อ I_a เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้ตเมื่อมีโหลดเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพ

เห็นว่าเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งแปรค่าไปตามกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในการหมุนรวมกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กและกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดชั้นดีซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียคงที่ นั่นคือประสิทธิภาพจะสูงสุด เมื่อ

กำลังไฟฟ้าสูญเสียแปรค่าตามกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ = กำลังไฟฟ้าสูญเสียคงที่

โดยกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด กำหนดให้เป็น $I_{a\eta_{\max}}$ หาค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_{a\eta_{\max}}^2 R_a &= P_{\text{rot}} + P_c + P_f \\ I_{a\eta_{\max}}^2 &= \frac{P_{\text{rot}} + P_c + P_f}{R_a} \\ I_{a\eta_{\max}} &= \sqrt{\frac{P_{\text{rot}} + P_c + P_f}{R_a}} \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซีรีส์ จะได้

$$I_{a\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{rot}} + P_c}{R_a + R_s}}$$

เมื่อพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ซึ่งมีทั้งขดลวดซีรีส์และขดลวดชั้ต จะได้

$$I_{a\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{rot}} + P_c + P_f}{R_a + R_s}}$$

ตัวอย่างที่ 4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบลองจิจนัต์คอมปาวด์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์ จากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์ จากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชั๊นต์เป็น $0.08\ \Omega$ $0.1\ \Omega$ และ $110\ \Omega$ ตามลำดับ มีกำลังไฟฟ้าที่โหลดเป็น $22\ \text{kW}$ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว $220\ \text{V}$ ให้ประสิทธิภาพ 80% แรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอคชันไม่นำมาคิด จงคำนวณหา

- ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด
- ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในการหมุนรวมการสูญเสียในแกนเหล็ก
- ค. กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด
- ง. ประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 I_L &= \frac{P_L}{V_t} = \frac{22 \times 10^3}{220} = 100\ \text{A} \\
 I_f &= \frac{V_t}{R_f} = \frac{220}{110} = 2\ \text{A} \\
 I_a &= I_f + I_L = 2 + 100 = 102\ \text{A} \\
 \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด} \quad P_{co} &= P_f + P_a + P_s = I_f^2 R_f + I_a^2 R_a + I_s^2 R_s \\
 &= (2^2 \times 110) + (102^2 \times 0.08) + (102^2 \times 0.1) \\
 P_{co} &= 440 + 832.32 + 1040.4 \\
 &= 2312.72\ \text{W} \\
 \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \\
 P_{in} &= \frac{P_{out}}{\frac{\eta}{100}} = \frac{22 \times 10^3}{\frac{80}{100}} = 27500\ \text{W}
 \end{aligned}$$

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

$$\begin{aligned}
 P_{loss} &= P_{in} - P_{out} = 27500 - 22000 \\
 P_{loss} &= 5500\ \text{W}
 \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

5500 W **ตอบ**

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในการหมุนรวมการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned}
 P_{rot} + P_c &= P_{loss} - P_{co} = 5500 - 2312.72 \\
 P_{rot} + P_c &= 3187.28\ \text{W}
 \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในการหมุนรวมการสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ

3187.28W **ตอบ**

ค. กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด

$$I_{a\eta\max} = \sqrt{\frac{P_{rot} + P_c + P_f}{R_a + R_s}} = \sqrt{\frac{3187.28 + 440}{0.08 + 0.1}}$$

$$I_{a\eta_{\max}} = 141.956 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเท่ากับ 141.956 A **ตอบ**

ง. ประสิทธิภาพสูงสุด

ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ $(P_a + P_s) = (P_{\text{rot}} + P_c) + P_f = 3187.28 + 440 = 3627.28 \text{ W}$

$$I_L = I_{a\eta_{\max}} - I_f = 141.956 - 2 = 139.956 \text{ A}$$

$$\eta_{\max} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100$$

$$\eta_{\max} = \frac{V_t I_L}{V_t I_L + (P_a + P_s) + (P_{\text{rot}} + P_c + P_f)} \times 100$$

$$\eta_{\max} = \frac{220 \times 139.956}{(220 \times 139.956) + (3627.28) + (3627.28)} \times 100$$

$$\begin{aligned} \eta_{\max} &= \frac{30790.32}{38044.88} \times 100 \\ &= 80.93 \% \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเท่ากับ

80.93 % ตอบ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 4 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่องการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ โดยใช้สื่อประกอบ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจสอบผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 4 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของของความรู้การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 4 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 4 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 4 1. power point หน่วยที่ 4 2. คำถามหน่วยที่ 4 1. ใบสรุปหน่วยที่ 4 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 4 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 4 จำนวน 17 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 4 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 4

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพที่ใช้งานจริง แล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 4
4. ใบมอบหมายงานที่ 4

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 4 จำนวน 17 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 4 จำนวน 17 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 4 จำนวน 17 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
 นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 4 หัวข้อเนื้อหาที่สอน การวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
-
-
-

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ที่	รายการประเมิน	คะแนน เต็ม	คะแนน ที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน)			
	1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง	4		
	1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16–20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14–15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12–13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10–11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วย การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	ชั่วโมงรวม 5 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 5.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 5.2 แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำและทิศทาง
- 5.3 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 5.4 แรงบิดและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์
- 5.5 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 5.6 การเกิดอาร์เมเจอร์รีแอักชันในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ
2. เขียนและต่อวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

สมรรถนะที่พึงประสงค์

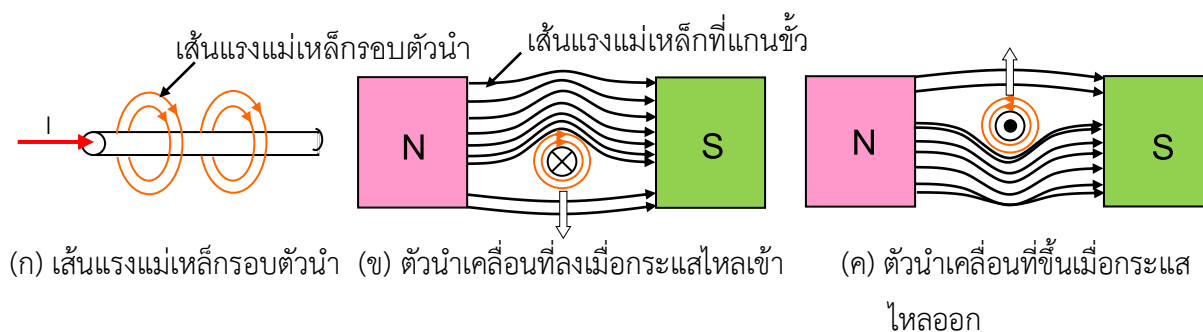
ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ 2. อธิบายแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำและทิศทางได้ 3. อธิบายการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ 4. อธิบายแรงบิดและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์ได้ 5. อธิบายชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ 6. อธิบายการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอักชันในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้	1. ต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้ 2. ทดสอบจากการต่อของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

5.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะมีส่วนประกอบ 3 อย่าง คือ

1. ขั้วแม่เหล็ก โดยขั้วแม่เหล็กจะต้องมีเส้นแรงแม่เหล็ก
2. ตัวนำ โดยตัวนำเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ
3. ตัวนำต้องวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก เมื่อตัวนำมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เส้นแรงแม่เหล็กจากตัวนำไปกระทำกับเส้นแรงแม่เหล็กจากแกนขั้ว ดังรูป เส้นแรงแม่เหล็กทางด้านบนมีความหนาแน่น มากกว่าด้านล่าง

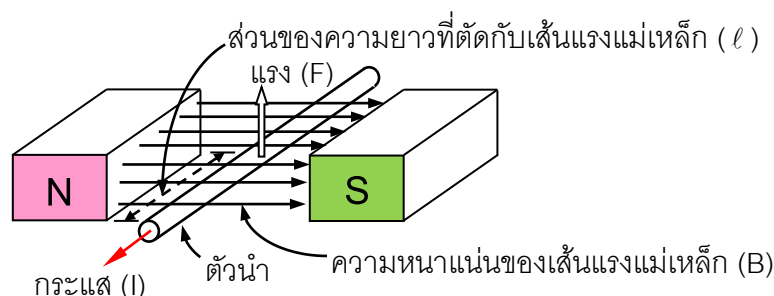
ทั้งนี้เพราะว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากตัวนำเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กจากแกนขั้วแม่เหล็ก ส่วนด้านล่างมีความหนาแน่นน้อยกว่า จากคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กพยายามยืดตัวเป็นเส้นตรงให้มากที่สุดจึงผลักตัวนำให้เคลื่อนที่ลงด้านล่าง และเมื่อตัวนำมีกระแสไหลออกทำให้เส้นแรงแม่เหล็กทางด้านล่างมีความหนาแน่นมากกว่าด้านบน เพราะเส้นแรงแม่เหล็กจากตัวนำเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กจากแกนขั้วแม่เหล็ก ส่วนด้านบนนั้นมีความหนาแน่นน้อยจึงผลักตัวนำให้เคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ดังรูป



รูปที่ 5.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์

5.2 แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำและทิศทาง

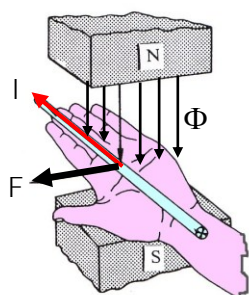
ตัวนำเมื่อวางอยู่ในสนามแม่เหล็กและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ ผลทำให้ตัวนำนั้นเกิดการเคลื่อนที่ นั้นหมายความว่าเกิดแรงผลักที่ตัวนำ (จัวซ์ซี่ อัดถวิบูลย์กุล, 2546: 211) ดังรูปที่ 5.2



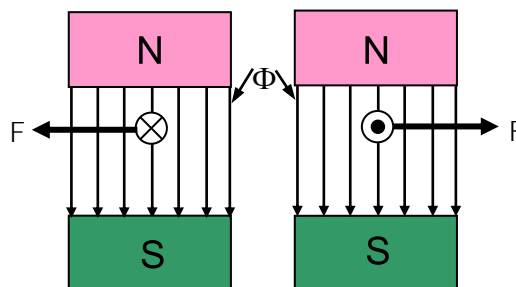
รูปที่ 5.2 ตัวนำเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและเกิดแรงผลักตัวนำ

โดยขนาดของแรงแปรตามกับค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก กระแสที่ไหลผ่านตัวนำและความยาวของตัวนำในส่วนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก โดยหน่วยของแรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

การหาทิศทางตัวนำ กฎมือซ้ายกล่าวไว้ว่า แบมือซ้ายออกแล้วให้หัวแม่มือตั้งฉากกับนิ้วทั้งสี่ โดยให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือพุ่งเข้าหาอุ้งมือ และให้นิ้วทั้งสี่แทนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นนิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของแรงหรือทิศทางของตัวนำ เมื่อมีกระแสไหลเข้าตัวนำเมื่อใช้กฎมือซ้ายได้ทิศทางของแรงมาทางซ้ายและถ้ากระแสไหลออกจากตัวนำก็ได้ทิศทางของแรงมาทางขวา



(ก) กฎมือซ้ายแบ

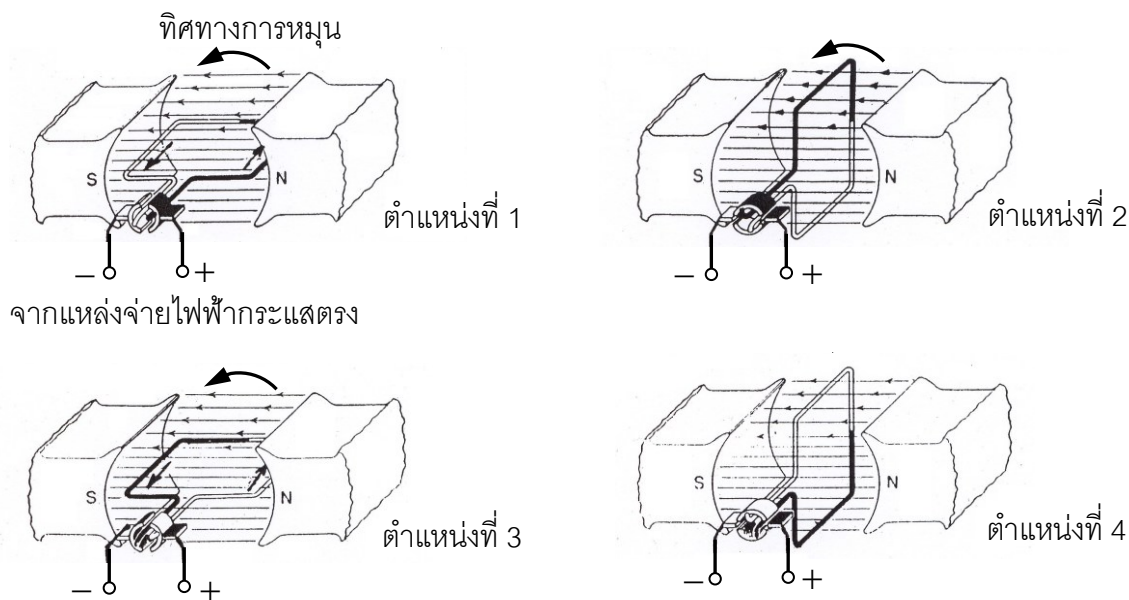


(ข) ทิศทางของแรงเมื่อมีกระแสไหลเข้าและไหลออก

รูปที่ 5.3 กฎมือซ้ายและการหาทิศทางของแรงเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

5.3 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายประกอบด้วยขดลวดวางอยู่ระหว่างขั้วของแม่เหล็ก โดยปลายทั้งสองของขดลวดต่อเข้ากับซี่คอมมิวเตเตอร์ซึ่งมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่ และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกต่อเข้ากับแปรงถ่านทั้งสองดังรูป



รูปที่ 5.4 การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 5.4 ขณะตัวนำกำลังเคลื่อนที่หมุนอยู่ก็จะไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กของแกนขั้วแม่เหล็กด้วยทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวด ซึ่งเป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าและเมื่อใช้กฎมือขวาเห็นว่าทิศทางของกระแสตรงข้ามกับที่จ่ายให้ เรียกแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ว่า **แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back e.m.f.)** เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับเกิดขึ้นจากขดลวดตัวนำหมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กเช่นเดียวกับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจึงมีสมการเช่นเดียวกันกับการหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง คือ

$$E_a = \frac{\Phi P n}{60} \times \frac{Z}{a}$$

5.4 แรงบิดและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์

แรงบิด หมายถึง โมเมนต์ของแรงที่เกิดจากการหมุน ได้จากผลคูณระหว่างแรงกับแขนของแรง (รัศมีของขดลวด หรือรัศมีของอาร์เมเจอร์) โดยแรงบิดมีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (N•m) ดังสมการ

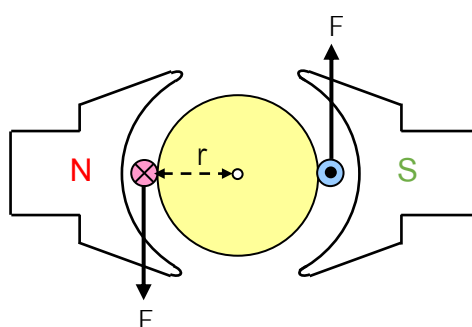
$$T = Fr$$

เมื่อ T = แรงบิด หน่วยเป็น นิวตันเมตร (N•m)

F = แรงทั้งหมดบนตัวนำ หน่วยเป็น นิวตัน (N)

r = รัศมีของขดลวด หรืออาร์เมเจอร์ หน่วยเป็น (m)

กำลังกล หมายถึง กำลังที่เกิดขึ้นบนอาร์เมเจอร์ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนไป โดยกำลังส่วนนี้แปรสภาพจากพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาไปเป็นพลังงานกลที่อาร์เมเจอร์ โดยหน่วยของกำลังกลที่อาร์เมเจอร์มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที(Joules/s) หรือวัตต์



รูปที่ 5.5 การเกิดกำลังกลที่อาร์เมเจอร์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.5 จะได้ว่างานที่เกิดขึ้นใน 1 รอบ ได้จากผลคูณของแรงกับระยะทาง

$$W = Fs$$

เมื่อ W = งาน หน่วยเป็น นิวตันเมตรหรือจูล (N•m)

s = ระยะทาง หน่วยเป็นเมตร (m)

โดยอาร์เมเจอร์หมุน 1 รอบ ให้ระยะทาง (s) เท่ากับ $2\pi r$ ก็คือเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์

ดังนั้น

$$W = Fs = F2\pi r$$

และ งานที่เกิดขึ้นใน 1 รอบ/วินาที ได้กำลังกล = $F2\pi r$ จูล/วินาที

ดังนั้น งานที่เกิดขึ้นใน n รอบ/วินาที ได้กำลังกล = $F2\pi r n$ จูล/วินาที

นั่นคือ $P_m = 2\pi Fr n$

แต่ $T = Fr$ และ n เป็นรอบ/วินาที จะได้

$$P_m = \frac{2\pi Tn}{60}$$

หรือ $P_m = 0.105 Tn$

เมื่อ $P_m =$ กำลังกลที่อาร์เมเจอร์หน่วยเป็น วัตต์ (W)

ตัวอย่างที่ 5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 6 ขั้ว จำนวนตัวนำทั้งหมด 192 ตัวนำ พันแบบซิมเพิล็กซ์แลปมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก 62.5 mWb เมื่อทำงานมีแรงบิดที่อาร์เมเจอร์ 8 N·m ที่ความเร็วรอบ 1200 r/min จงคำนวณหา

ก. แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่อาร์เมเจอร์

ข. กำลังกลที่อาร์เมเจอร์

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$P = 6 \text{ ขั้ว} \quad Z = 192 \text{ ตัวนำ}$$

$$n = 1200 \text{ r/min} \quad \Phi = 62.5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$a = P = 6 \quad T = 8 \text{ N·m}$$

ก. แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่อาร์เมเจอร์

$$\begin{aligned} E_a &= \frac{\Phi P n Z}{60 a} \\ &= \frac{62.5 \times 10^{-3} \times 6 \times 1200 \times 192}{60 \times 6} \\ E_a &= 240 \text{ V} \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 240 V **ตอบ**

ข. กำลังกลที่อาร์เมเจอร์

$$\begin{aligned} P_m &= 0.105 T n = 0.105 \times 8 \times 1200 \\ P_m &= 1008 \text{ W} \end{aligned}$$

กำลังกลที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ 1008 W **ตอบ**

5.5 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งเหมือนกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังนี้

5.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก (Separately excited motor) โดยมอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระตุ้น-แยกต้องนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมากระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็กและยังมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอีก 1 แหล่งจ่ายมาจ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกจะต้องมี

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 2 แหล่งจ่าย จึงไม่นิยมนำมาใช้กับงานทั่วไปมากนักแต่มอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยกนี้ถูกนำมาใช้กับงานเฉพาะอย่างเช่นกรณีพิเศษเท่านั้น

5.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบชัณฑ์ (Shunt motor) เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์มาต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์

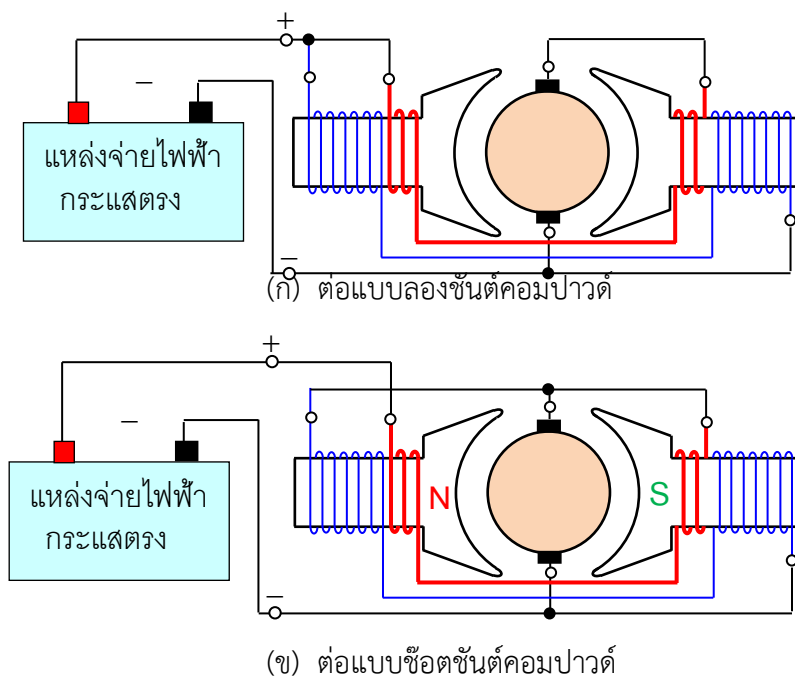
5.5.3 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีย์ (Series motor) เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีย์มาต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์

5.5.4 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ (Compound motor) เป็นการนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีย์และขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์มาต่อร่วมกันกับขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งแบ่งได้อีก 2 แบบ คือ

1. แบ่งตามลักษณะการต่อ ซึ่งยังแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) แบบลองชัณฑ์คอมปาวด์ (Long shunt compound) แบบนี้เป็นการต่อโดยนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีย์มาต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ก่อน จากนั้นจึงนำมาต่อขนานกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ ดังรูป

(2) แบบช็อตชัณฑ์คอมปาวด์ (Short shunt compound) แบบนี้เป็นการต่อโดยนำขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์มาต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ก่อน จากนั้นจึงนำมาต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีย์ ดังรูป



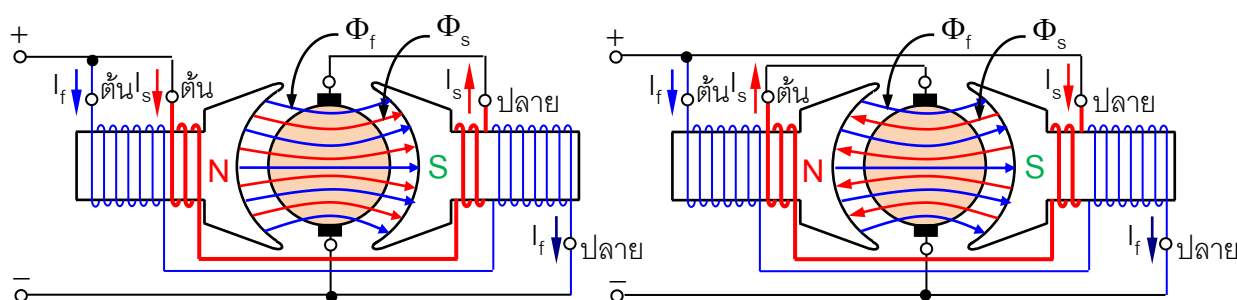
รูปที่ 5.6 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้าตามลักษณะการต่อ

2. แบ่งตามลักษณะการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งยังแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) แบบสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน (Cumulative compound) โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีย์ (Φ_s) สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ (Φ_p) ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางการพันของขดลวดสนามแม่เหล็ก ดังรูป สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหล

ในขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองมีทิศทางเดียวกันโดย I_f ไหลเข้าต้นขดลวดออกที่ปลายขดลวดและ I_s ก็ไหลเข้าต้นขดลวดออกที่ปลายขดลวดเช่นกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็ก ทั้งสองไปในทิศทางเดียวกันและเสริมกัน

(2) แบบสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน (Differential compound) โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีส์สร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังรูป โดย I_f ไหลเข้าต้นของขดลวดและออกที่ปลายขดลวด ส่วน I_s ไหลเข้าที่ปลายขดลวดและออกที่ต้นขดลวด ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองก็จะมีทิศทางตรงข้ามกันและหักล้างกัน

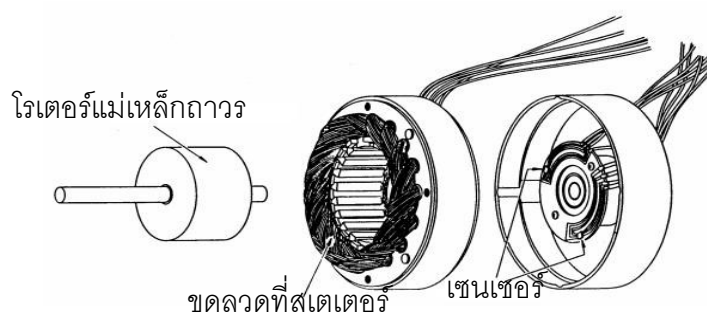


(ก) ต่อแบบสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน (ข) ต่อแบบสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน

รูปที่ 5.7 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้าตามลักษณะการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก

5.5.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless direct current motor)

จากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมา ซึ่งเมื่อทำงานและมีโหลดจะเกิดประกายไฟขึ้นที่สวิตช์คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่านซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ต้องมีการดูแลรักษาซ่อมบำรุง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดอาร์เมเจอร์อีกด้วย เมื่อหน้าที่ของคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านถูกแทนด้วยสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์มอเตอร์ก็แทบที่จะไม่ต้องการดูแลรักษา มอเตอร์ที่ว่านี้ก็คือ **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน** โครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญซึ่งได้แก่ สเตเตอร์และโรเตอร์แม่เหล็กถาวร และตัวเซนเซอร์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.8

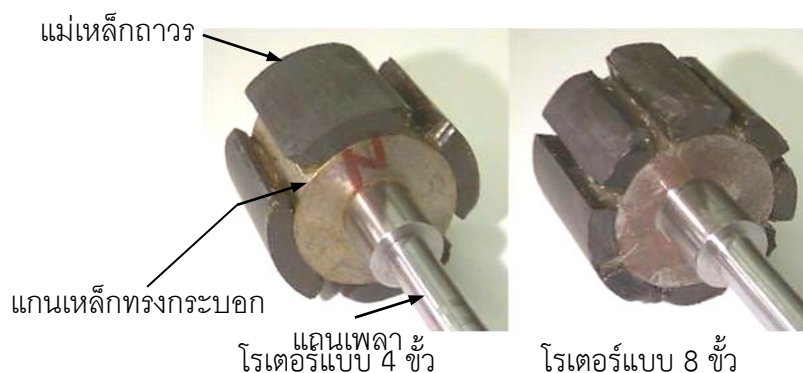


รูปที่ 5.8 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

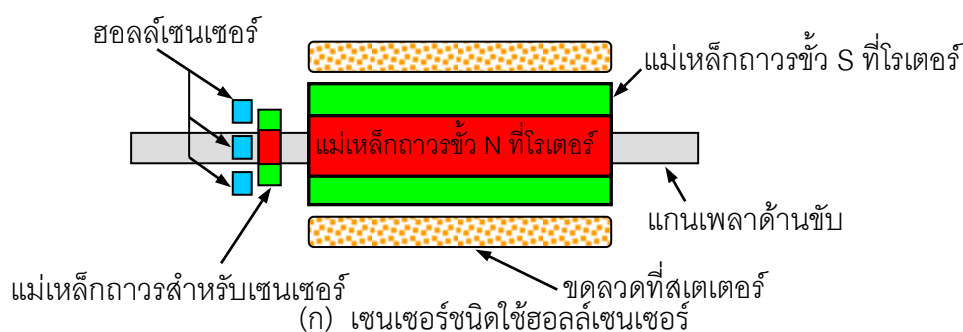
1. สเตเตอร์ จะทำมาจากเหล็กแผ่นบางเซาะเป็นร่องแล้วนำมาอัดซ้อนกันโดยที่สเตเตอร์มีขดลวดพันอยู่หลายชุดดังรูป โดยมีหน้าที่สร้างขั้วแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

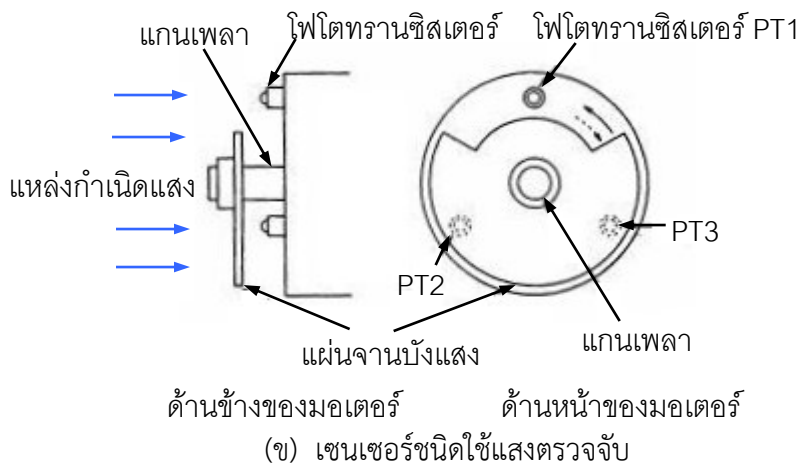


2. โรเตอร์แม่เหล็กถาวร เป็นแม่เหล็กถาวรที่ยึดติดกับแกนเหล็กรูปทรงกระบอกของแกนเพลาดังรูป เป็นโรเตอร์แม่เหล็กถาวรแบบ 4 ขั้วและแบบ 8 ขั้ว



3. เซนเซอร์ เป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ (หรือขั้วแม่เหล็ก) เพื่อนำสัญญาณ ไปใช้ในการควบคุมสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แทนคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านโดยส่วนใหญ่เซนเซอร์ที่ใช้มักเป็นฮอลล์เซนเซอร์ (Hall sensor) ดังรูปหรือเซนเซอร์ชนิดใช้แสงตรวจจับ (Optical sensor) ดังรูป





รูปที่ 5.11 แสดงเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ชนิดต่าง ๆ

5.6 การเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชันในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

อาร์เมเจอร์รีแอกชัน หมายถึง การเกิดเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดอาร์เมเจอร์เมื่อมอเตอร์นั้นมีโหลดที่เฟลา โดยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดอาร์เมเจอร์ไปกระทำกับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้ว ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้วเกิดการผิดเพี้ยนไป โดยการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชันอธิบายได้ดังนี้

จากผลการเกิดอาร์เมเจอร์รีแอกชันในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้แรงดันไฟฟ้าต้านกลับลดลงและนอกจากนี้ยังทำให้เกิดประกายไฟที่หน้าแปรงถ่านกับซีคอมมิวเตเตอร์ ดังนั้นการแก้อาร์เมเจอร์รีแอกชันในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็กระทำได้เช่นเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังนี้

1. **เลื่อนตำแหน่งแปรงถ่าน** โดยเลื่อนแปรงถ่านไปยังตำแหน่งแกนนิวทรัลใหม่ โดยจะต้องเลื่อนในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการหมุนของอาร์เมเจอร์
2. **ใส่ขั้วแทรกหรืออินเตอร์โพล** เป็นขั้วแม่เหล็กเล็ก ๆ ที่แทรกไว้กึ่งกลางขั้วแม่เหล็กหลัก เช่นเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. **พันขดลวดชดเชย** ขดลวดชดเชยพันจากทองแดงเส้นโตและวางอยู่ในร่องบริเวณผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กหลัก เช่นเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 5 2. ชี้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้สื่อประกอบ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับการทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 3. ชี้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ชี้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 5 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจสอบผลงานของนักศึกษา 5. ชี้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 5 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ชี้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ชี้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของการทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 5 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 5 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 5 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 5 1. power point หน่วยที่ 2. คำถามหน่วยที่ 5 1. ใบสรุปหน่วยที่ 5 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 5 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 5 จำนวน 17 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 5 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 5

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับการทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จริง แล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 5
4. ใบมอบหมายงานที่ 5

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 5 จำนวน 17 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 5 จำนวน 17 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนรู้หน่วยที่ 5 จำนวน 17 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
 นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 5 หัวข้อเนื้อหาที่สอน การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
-
-
-

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย การทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ที่	รายการประเมิน	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน)			
	1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง	4		
	1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 8-9
	ชื่อหน่วย คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ	ชั่วโมงรวม 10 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

1. กำลังแม่เหล็กไฟฟ้าและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์
2. คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซันด์
3. คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรี่ย์
4. คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมพาวด์
5. การสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
6. กำลังส่วนต่าง ๆ ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
7. ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
8. การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
9. ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ และประสิทธิภาพ
2. ต่อกำลังทดสอบและสรุปผลจากการทดลองคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายกำลังแม่เหล็กไฟฟ้า กำลังกลที่อาร์เมเจอร์ได้ 2. อธิบายคุณลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซันด์ได้ 3. อธิบายคุณลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรี่ย์ได้ 4. อธิบายคุณลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมพาวด์ได้ 5. อธิบายการสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ 6. อธิบายกำลังส่วนต่าง ๆ ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ 7. อธิบายประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ 8. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ 9. อธิบายภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้	1. ต่อกำลังมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ ได้ 2. ทดสอบจากการต่อของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและทดสอบหาประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

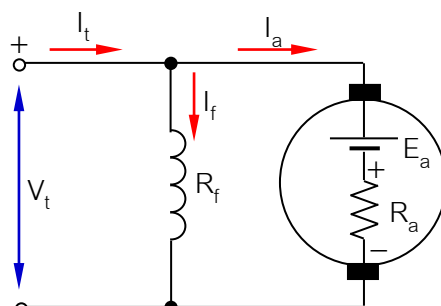
6.1 กำลังแม่เหล็กไฟฟ้าและกำลังกลที่อาร์เมเจอร์

ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้ามา ผลทำให้เกิดกำลังแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่อาร์เมเจอร์และแปรสภาพไปเป็นกำลังกลที่อาร์เมเจอร์ นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{กำลังกลที่เกิดขึ้นบนอาร์เมเจอร์} &= \text{กำลังแม่เหล็กไฟฟ้าในอาร์เมเจอร์} \\ P_m &= P_{em} \\ \frac{2\pi Tn}{60} &= E_a I_a \\ \frac{2\pi Tn}{60} &= \frac{\Phi PnZ}{60a} \times I_a \\ T &= \frac{\Phi PZ}{2\pi a} \times I_a \end{aligned} \quad \dots (6.1)$$

6.2 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้ว

6.2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้ว จากแผนภาพวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขั้วที่กล่าวมาในหน่วยที่ 5 เขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูป

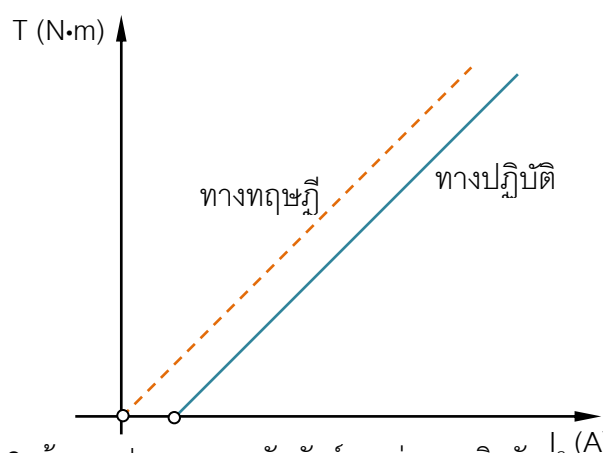


รูปที่ 6.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้ว

6.2.2 คุณลักษณะแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าผลจากที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ ผลทำให้เกิดแรงและแรงบิดหมุนขึ้นที่อาร์เมเจอร์ จากสมการที่ 6.1

$$\begin{aligned} T &= \frac{\Phi PZ}{2\pi a} \times I_a \\ T &= \frac{PZ}{2\pi a} \times \Phi I_a \quad \text{กำหนดให้} \quad K_m = \frac{PZ}{2\pi a} \\ &= K_m \Phi I_a \quad \text{โดย } K_m \text{ เป็นค่าคงที่ทางกล} \\ \text{และ} \quad \Phi &= K_\Phi I_f \quad \text{โดย } (K_\Phi = \text{ค่าคงที่ทางเส้นแรงแม่เหล็ก}) \\ \text{แทนค่า} \quad T &= K_m K_\Phi I_f I_a \\ \text{กำหนดให้ } K_t &= K_m K_\Phi \text{ เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นผลคูณของ } K_m \text{ กับ } K_\Phi \text{ ดังนั้นจะได้} \\ T &= K_t I_f I_a \end{aligned}$$

จากสมการ เห็นได้ว่าแรงบิดที่อาร์เมเจอร์แปรตามกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ ($T \propto I_a$) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กคงที่ ดังนั้นคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้วแสดงดังรูป ในทางทฤษฎี ถ้า I_a มีค่าเท่ากับศูนย์ แรงบิดก็เท่ากับศูนย์ด้วยและมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรง

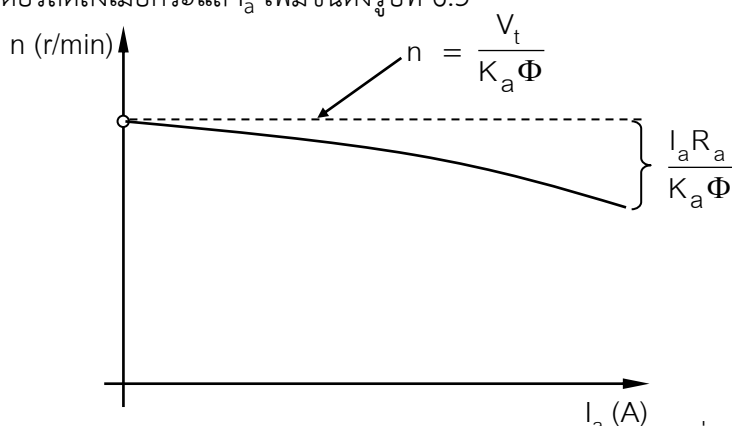


รูปที่ 6.2 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

6.2.3 คุณลักษณะความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ เมื่อมอเตอร์หมุนไปให้เกิดแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ และยังทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ($I_a R_a$) จากสมการที่ 6.3 ถ้าไม่คำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน จะได้

$$\begin{aligned} V_t &= E_a + I_a R_a \\ E_a &= V_t - I_a R_a \\ \frac{PZ\Phi n}{60a} &= V_t - I_a R_a \\ K_a \Phi n &= V_t - I_a R_a \\ n &= \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{I_a R_a}{K_a \Phi} \end{aligned} \quad \dots (6.7)$$

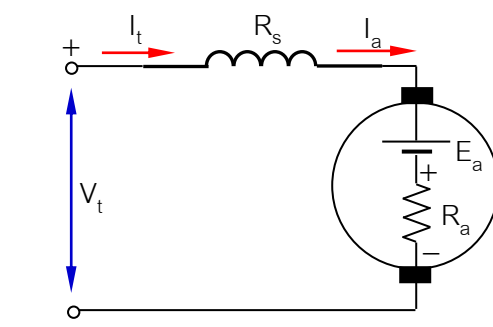
จากสมการที่ 6.7 เห็นว่าที่ค่ากระแส I_a น้อย ๆ (หมุนขณะไม่มีโหลดที่เพลลา) มีค่าความเร็วรอบคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง ($\frac{V_t}{K_a \Phi}$) และเมื่อมอเตอร์มีโหลดเพิ่มขึ้นกระแส I_a ก็เพิ่มขึ้น $\frac{I_a R_a}{K_a \Phi}$ และไปลบออกจากค่าคงที่ผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลงเมื่อกระแส I_a เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

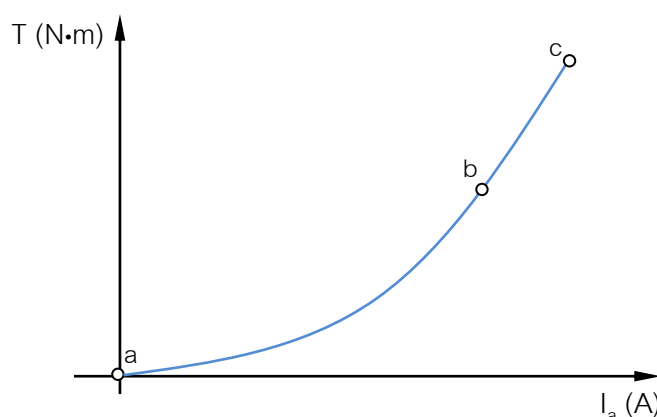
6.3 คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์

6.3.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์ จากแผนภาพวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซีรียส์ที่ได้กล่าวมาแล้วในหน่วยที่ 5 เขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์

6.3.2 คุณสมบัติแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ ผลจากที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดอาร์-เมเจอร์ทำให้เกิดแรงและแรงบิดหมุนขึ้นที่อาร์เมเจอร์ เห็นได้ว่าแรงบิดที่อาร์เมเจอร์แปรตามกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ ($T \propto I_a^2$) ที่ I_a มีค่าเท่ากับศูนย์แรงบิดก็เท่ากับศูนย์ด้วยและเมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นได้แรงบิดเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ยกกำลังสอง ทำให้ได้เส้นกราฟมีลักษณะเป็นพาราโบลา (Parabola) ในช่วงจากจุด a ถึงจุด b แต่เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นอีกจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวแล้วพบว่าแรงบิดเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ($T \propto I_a$) ในช่วงจากจุด b ถึงจุด c ดังนั้นคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์แสดงดังรูป

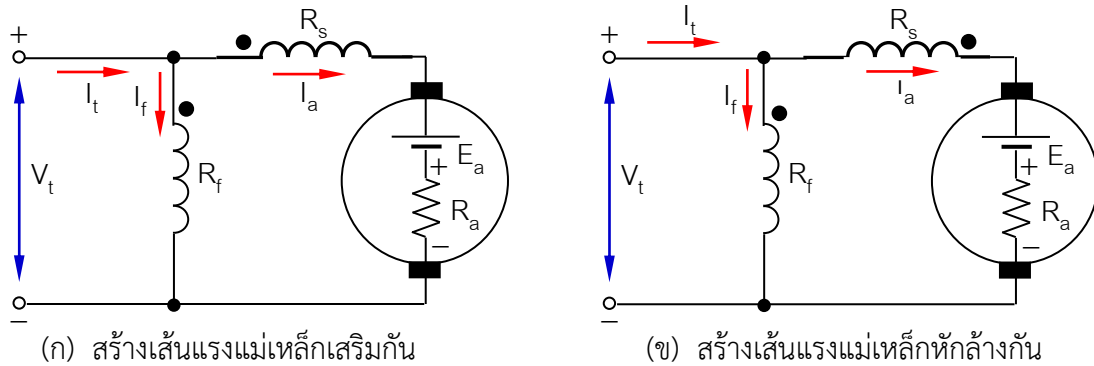


รูปที่ 6.5 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

6.3.3 คุณสมบัติความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ จากสมการที่ 6.9 ถ้าไม่คำนึง ถึงแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอคชัน เห็นว่าที่ค่ากระแส I_a น้อย ๆ (มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนขณะไม่มีโหลดที่เพล่า) จะมีค่าความเร็วรอบสูงมาก ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์นี้ขณะเริ่มเดินต้องมีโหลดเชื่อมต่ออยู่ที่เพล่าก่อนและเมื่อมอเตอร์มีโหลดที่เพล่าเพิ่มขึ้นกระแส I_a ก็จะเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลงค่อนข้างมาก ทำให้ได้เส้นกราฟมีลักษณะเป็นไฮเพอร์โบลา (Hyperbola)

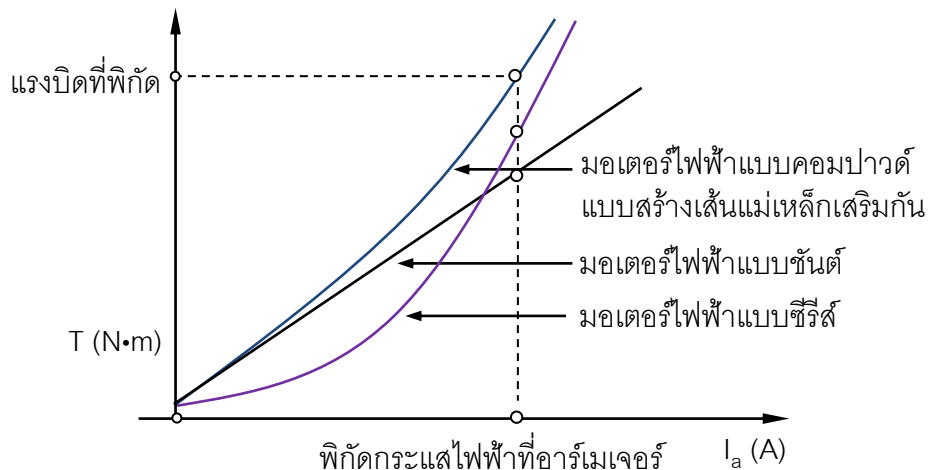
6.4 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์

6.4.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ จากแผนภาพวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคอมปาวด์ที่กล่าวมาในหน่วยที่ 5 เขียนเป็นวงจรสมมูลแบบลองชันต์คอมปาวด์สร้าง เส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน ได้ดังรูป และเขียนเป็นวงจรสมมูลไฟฟ้าแบบลองชันต์คอมปาวด์และสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน ได้ดังรูป โดยกำหนดให้ • (dot) เป็นต้นคอยล์ของขดลวดที่พันไปในทิศทางเดียวกันบนแกนขั้วแม่เหล็ก



รูปที่ 6.6 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าต่อแบบลองชันต์คอมปาวด์

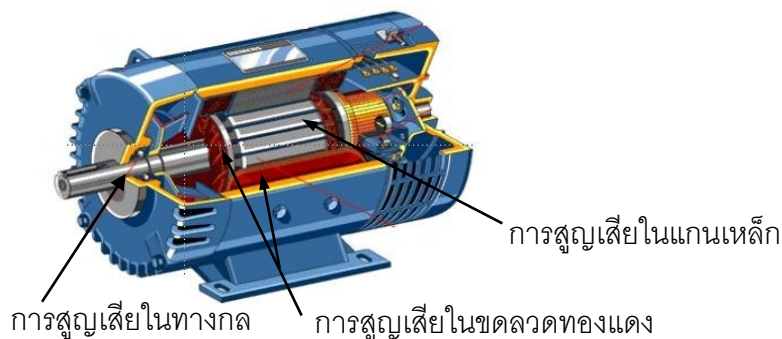
6.4.2 คุณลักษณะแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอม-ปาวด์นี้เป็นการนำเอาคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชันต์กับแบบซีรีส์มารวมเข้าด้วยกัน



รูปที่ 6.7 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ทั้ง 3 แบบ

6.5 การสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ายังไม่มีโหลดที่เพลาลูกหรือมีโหลดก็ตาม จะมีการสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้าเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ การสูญเสียในขดลวดทองแดง การสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียใน ทางกล ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูป



รูปที่ 6.8 การสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

6.5.1 การสูญเสียในขดลวดทองแดง การสูญเสียในขดลวดทองแดง

6.5.2 การสูญเสียในแกนเหล็ก การสูญเสียในแกนเหล็กแบ่งออกเป็น

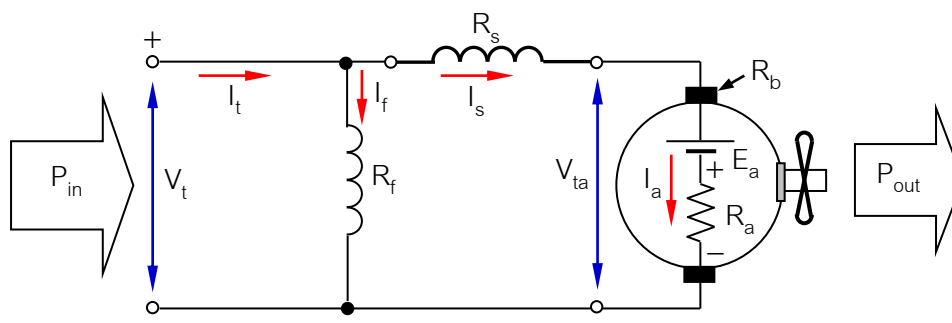
6.5.3 การสูญเสียในทางกล บางครั้งเรียกว่าการสูญเสียในการหมุน

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของมอเตอร์ไฟฟ้า กำหนดให้เป็น P_{loss} หาได้จากสมการ

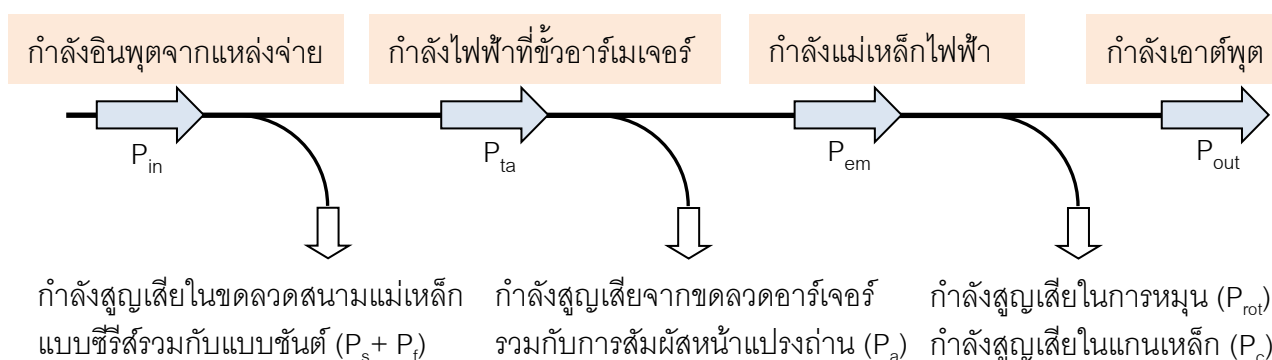
$$P_{loss} = P_{co} + P_c + P_{rot}$$

6.6 กำลังส่วนต่าง ๆ ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ดังรูป เป็นวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์โดยมีกำลังอินพุตจ่ายเข้ามา มีกำลังเอาต์พุตออกไป ที่โหลดที่เพลาและแสดงกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นพร้อมกำลังสูญเสียที่แยกออกไป



(ก) วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์โดยมีกำลังอินพุตและกำลังเอาต์พุต



(ข) แสดงกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์

รูปที่ 6.9 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมปาวด์และกำลังไฟฟ้าส่วนต่าง ๆ

6.7 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

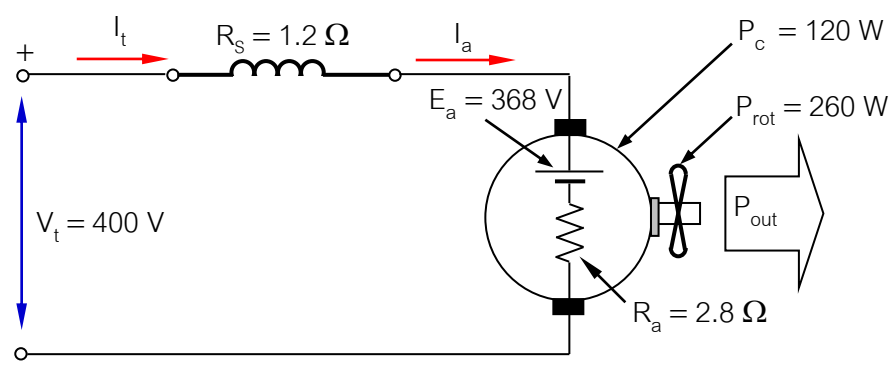
$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังอินพุต}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{กำลังเอาต์พุต}}{\text{กำลังเอาต์พุต} + \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด}} \times 100 \\
 \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{loss}}} \times 100 \quad \text{..... (6.20)}
 \end{aligned}$$

6.8 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวอย่างที่ 6.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซีรีย์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์และจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซีรีย์เป็น 2.8Ω และ 1.2Ω ตามลำดับ โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ 400 V เมื่อทำงานเต็มพิกัดเกิดแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ 368 V ที่ความเร็วรอบ 1500 r/min มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหมุน 260 W กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 120 W ถ้าไม่คิดแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน จงคำนวณหา

- กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมด
- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า
- แรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้า
- เขียนกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีย์

วิธีทำ เขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับวงจร



- กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

จากสมการ
$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$$

ดังนั้น

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a + R_s}$$

$$I_a = \frac{400 - 368}{2.8 + 1.2} = 8 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับ

8 A **ตอบ**

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมด

$$P_{co} = P_s + P_a = I_s^2 R_s + I_a^2 (R_a)$$

$$= (8^2 \times 1.2) + (8^2 \times 2.8) = 256 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

256 W **ตอบ**

- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

$$P_{in} = V_t I_t = 400 \times 8 = 3200 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{co} + P_{rot} + P_c$$

$$P_{out} = P_{in} - P_{co} - P_{rot} - P_c$$

$$= 3200 - 256 - 260 - 120 = 2564 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 = \frac{2564}{3200} \times 100 = 80.12 \%$$

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 80.12 % **ตอบ**

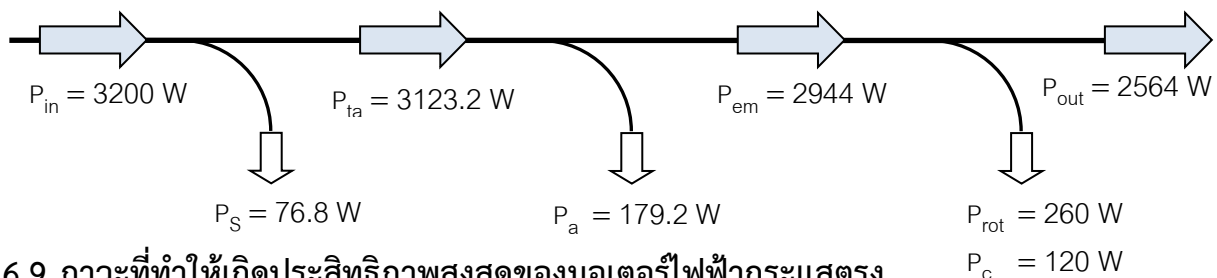
ง. แรงบิดที่เพลาลงของมอเตอร์ไฟฟ้า

$$T_{\text{sh}} = \frac{60P_{\text{out}}}{2\pi n}$$

$$T_{\text{sh}} = \frac{60 \times 2564}{2 \times 3.1426 \times 1500} = 16.32 \text{ N}\cdot\text{m}$$

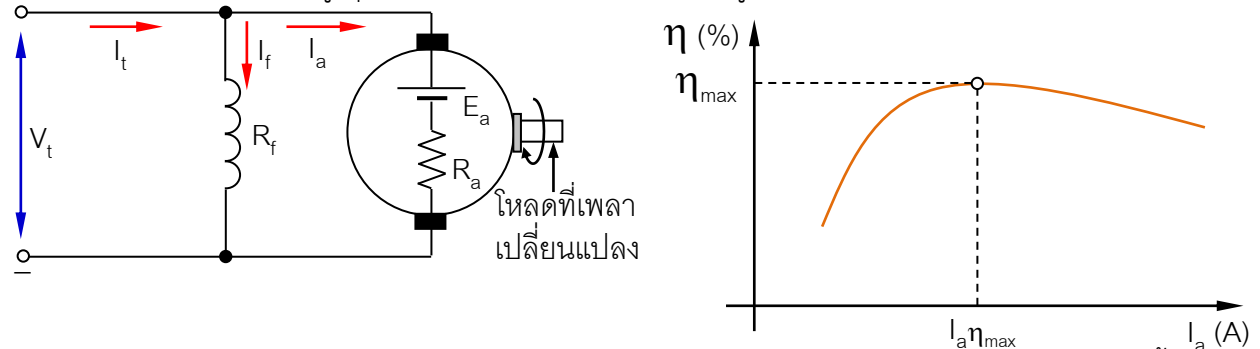
แรงบิดที่เพลาลงของมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 16.32 N·m **ตอบ**

จ. เขียนกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีส์



6.9 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การเปลี่ยนแปลงของกระแส I_a เมื่อ I_a ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและมีกระแส I_a ค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้นจะค่อย ๆ มีค่าลดลง ดังรูป



(ก) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์เมื่อโหลดที่เพลาลงเปลี่ยนแปลง (ข) เส้นกราฟประสิทธิภาพเมื่อกระแส I_a เพิ่มขึ้น

รูปที่ 6.10 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรียส์เมื่อมีโหลดเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพ

จากหน่วยที่ 4 หัวข้อที่ 4.9 เนื่องจากโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกประการนั้นคือจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แปรค่าตามกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ = กำลังไฟฟ้าสูญเสียคงที่

ตัวอย่างที่ 6.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซันด์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์และจากขดลวดสนามแม่เหล็กแบบซันด์เป็น $0.25 \, \Omega$ และ $230 \, \Omega$ ตามลำดับ เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเต็มพิกัดรับกระแสไฟฟ้าเข้าไป $40 \, \text{A}$ ที่แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว $230 \, \text{V}$ มีแรงดันตกคร่อมจากแปรงถ่านรวม $2 \, \text{V}$ มีการสูญเสียในการหมุนรวมกับในแกนเหล็ก $455 \, \text{W}$ โดยแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชันไม่นำมาคิด จงคำนวณหา

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

ข. กำลังเอาต์พุตที่เพลลา

ค. กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีทำ

$$P_{in} = V_t I_t = 230 \times 40 = 9200 \, \text{W}$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{230}{230} = 1 \, \text{A}$$

$$I_a = I_t - I_f = 40 - 1 = 39 \, \text{A}$$

$$P_f = I_f^2 R_f = 1^2 \times 230 = 230 \, \text{W}$$

ความต้านทานแปรงถ่าน $R_b = \frac{V_B}{I_a} = \frac{2}{39} = 0.0513 \, \Omega$

$$P_a + P_b = I_a^2 R_a + I_a^2 (R_b) = (39^2 \times 0.25) + (39^2 \times 0.0513)$$

$$P_{Ra} + P_{Rb} = 458.25 \, \text{W}$$

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

$$P_{loss} = (P_{rot} + P_c) + P_f + (P_a + P_b)$$

$$P_{loss} = (455) + 230 + (458.25) = 1143.25 \, \text{W}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

$$1143.25 \, \text{W} \quad \text{ตอบ}$$

ข. กำลังเอาต์พุตที่เพลลา

$$P_{out} = P_{in} - P_{loss}$$

$$P_{out} = P_{in} - P_{loss} = 9200 - 1143.25$$

$$= 8056.75 \, \text{W}$$

กำลังเอาต์พุตที่เพลลามีค่าเท่ากับ

$$8056.75 \, \text{W} \quad \text{ตอบ}$$

ค. กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

$$I_m = 15 \, \text{A} \quad I_{a\eta_{max}} = \sqrt{\frac{(P_{rot} + P_c) + P_f}{R_a + R_b}} = \sqrt{\frac{(455) + 230}{0.25 + 0.0513}}$$

$$= 47.68 \, \text{A}$$

กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเท่ากับ

$$47.68 \, \text{A} \quad \text{ตอบ}$$

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 6 2. ชี้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ โดยใช้สื่อ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ 3. ชี้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ชี้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 6 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา 5. ชี้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 6 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ชี้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ชี้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของการทำงานและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 6 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 6 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 6 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 6 1. power point หน่วยที่ 6 2. คำถามหน่วยที่ 6 1. ใบสรุปหน่วยที่ 6 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 6 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 6 จำนวน 15 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 6 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 6

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ ที่ใช้งานจริงแล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง สุธน แก่นตัน ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 6
4. ใบมอบหมายงานที่ 6

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 6 จำนวน 15 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 6 จำนวน 15 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 6 จำนวน 15 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 6 หัวข้อเนื้อหาที่สอน คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ

ที่	รายการประเมิน	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน)			
	1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง	4		
	1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 10-11
	ชื่อหน่วย การควบคุมความเร็วและการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสดตรง	ชั่วโมงรวม 10 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 7.1 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง
- 7.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้
- 7.3 การควบคุมค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์
- 7.4 การควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก
- 7.5 การคำนวณค่าต่างๆ ในการควบคุมเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง
- 7.6 การเริ่มต้นและความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง
- 7.7 การคำนวณค่าความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการควบคุมความเร็วและการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง
2. ต้องตรวจสอบและสรุปผลจากการทดลองการควบคุมความเร็วและการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสดตรง

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายหลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรงได้ 2. อธิบายการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ได้ 3. อธิบายการควบคุมค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์ได้ 4. อธิบายการควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กได้ 5. คำนวณค่าต่างๆ ในการควบคุมเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรงได้ 6. อธิบายการเริ่มต้นและความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรงได้ 7. คำนวณค่าความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรงได้	1. ทดสอบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรงได้ 2. ทดสอบการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรงได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

7.1 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่омอเตอร์ไฟฟ้าได้เริ่มหมุนไปแล้วสามารถที่จะควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าปกติได้ ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระทำได้หลายวิธี พิจารณาสมการได้ดังนี้

$$E_a = V_t - I_a R_a \text{ แต่ } E_a = K_f I_f n \text{ หรือเท่ากับ } K_a \Phi n$$

$$K_a \Phi n = V_t - I_a R_a$$

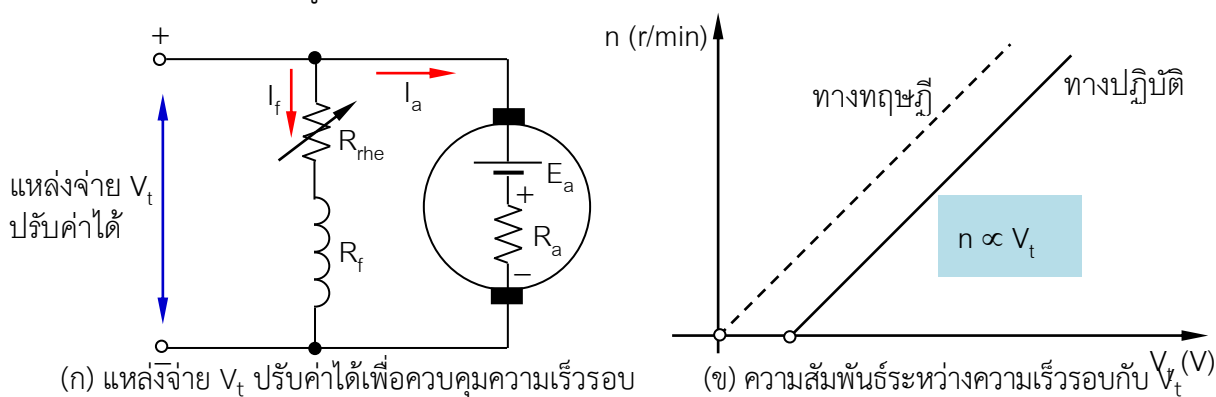
ดังนั้น

$$n = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{I_a R_a}{K_a \Phi}$$

จากสมการ เห็นว่าในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้านั้น มีตัวกันอยู่ 3 ค่า คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ (V_t) ความต้านทานที่อาร์เมเจอร์ (R_a) และจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) ซึ่งทั้ง 3 ค่า

7.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้

ทำได้โดยนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้มาจ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อเพิ่มหรือลดขนาดแรงดันไฟฟ้าของวงจรอาร์เมเจอร์ ดังรูป

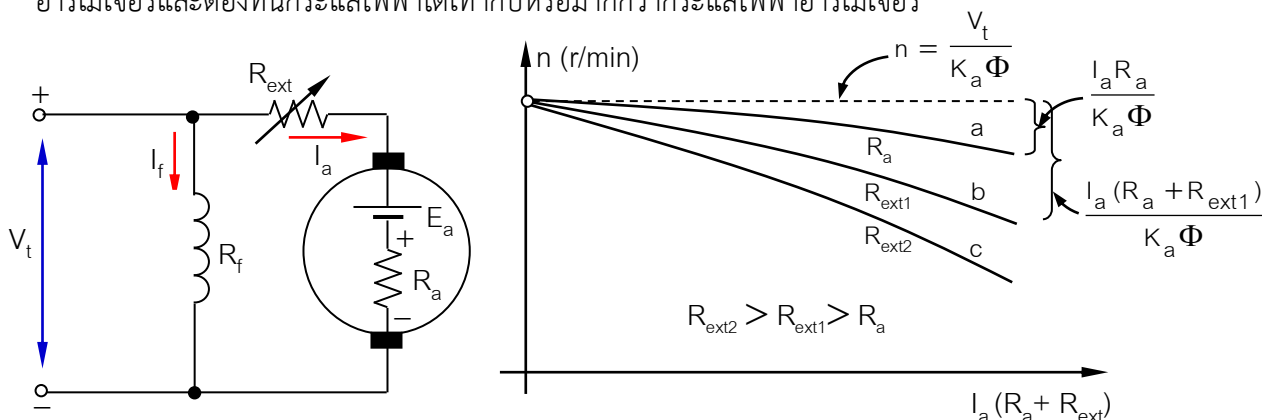


รูปที่ 7.1 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชั้ดโดยควบคุมแรงดันที่แหล่งจ่าย

เมื่อปรับขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มีค่าเท่ากับศูนย์โดยตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ จะเห็นว่าความเร็วรอบมีค่าเป็นศูนย์ (มอเตอร์ยังไม่หมุน) และเมื่อปรับขนาดแรงดัน V_t ให้เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นผลทำให้ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากรูปที่ 7.1 (ข) เส้นกราฟเส้นประซึ่งเป็นในทางทฤษฎี นั่นคือเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มีค่าเท่ากับศูนย์ความเร็วรอบก็มีค่าเป็นศูนย์ด้วยและเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นความเร็วรอบก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามด้วยในลักษณะของเส้นตรง แต่ในทางปฏิบัติจะต้องมีแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ค่าหนึ่งเพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์กับเส้นแรงแม่เหล็กที่แกนขั้วเกิดการผลักตัวนำให้หมุนไปได้ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นความเร็วรอบก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในลักษณะของเส้นตรง

7.3 การควบคุมค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์

ทำได้โดยนำตัวต้านทานภายนอกมาต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ทั้งนี้เพื่อเพิ่มหรือลดค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ ดังรูป ในการเลือกค่าความต้านทานนี้ต้องเลือกให้ใกล้เคียงกับค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์และต้องทนกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับหรือมากกว่ากระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์



(ก) ความต้านทานภายนอก

ต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์

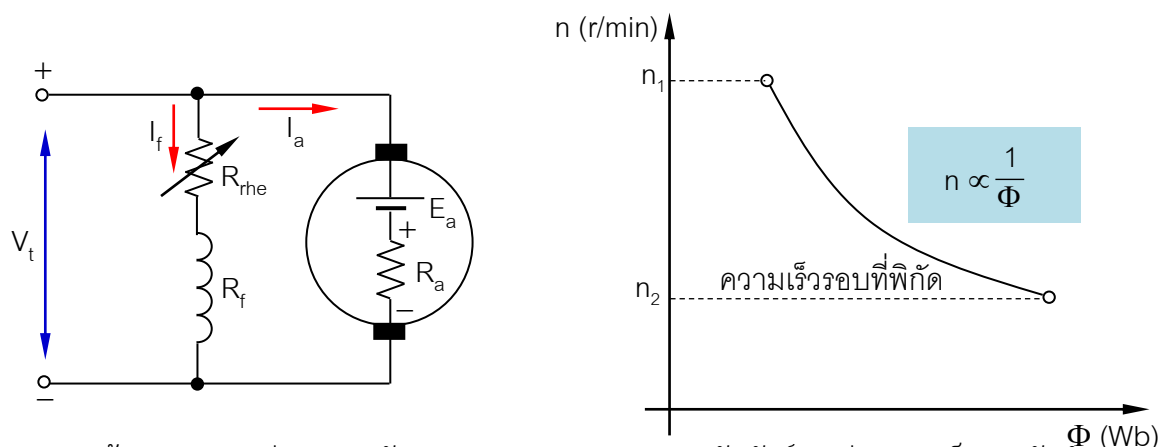
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้า

ที่อาร์เมเจอร์

รูปที่ 7.2 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชนิดโดยการควบคุมค่าความต้านทานที่อาร์เมเจอร์

7.4 การควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

ทำได้โดยนำตัวต้านทานรีโอสแตต (R_{rhe}) มาต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กแบบชนิด เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กให้มากหรือน้อยตามต้องการ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กนี้ก็จะไปควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กให้มากหรือน้อยตามต้องการ ดังรูป



(ก) ความต้านทาน R_{rhe} ต่ออนุกรมกับ

ขดลวดสนามแม่เหล็ก

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับจำนวน

เส้นแรงแม่เหล็ก

รูปที่ 7.3 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชนิดโดยการควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

7.5 การคำนวณหาค่าต่างๆ ในการควบคุมเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวอย่างที่ 7.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซันด์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์ 5Ω เมื่อมีโหลด มีกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ 10 A แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ 130 V ที่ความเร็วรอบ 800 r/min โดยให้กระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์และที่ขดลวดสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ ไม่คิดผลของอาร์เมเจอร์รีแอกชัน จงคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ ที่ความเร็วรอบ 1000 r/min , 1200 r/min และ 1400 r/min

วิธีทำ จากสมการ $E_a = V_t - I_a R_a$

หรือ $K_f I_f n = V_t - I_a R_a$

ดังนั้น $K_f I_f = \frac{V_t - I_a R_a}{n} = \frac{130 - (10 \times 5)}{800} = 0.1$

จาก $K_f I_f n = V_t - I_a R_a$

ดังนั้น $V_t = K_f I_f n_1 + I_a R_a$

ที่ $n_1 = 1000 \text{ r/min}$ $V_t = K_f I_f n_1 + I_a R_a$

$$= (0.1 \times 1000) + (10 \times 5)$$

$$V_t = 150 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ที่ความเร็วรอบ n_1 มีค่าเท่ากับ 150 V **ตอบ**

ที่ $n_2 = 1200 \text{ r/min}$ $V_t = K_f I_f n_2 + I_a R_a$

$$= (0.1 \times 1200) + (10 \times 5)$$

$$V_t = 170 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ที่ความเร็วรอบ n_2 มีค่าเท่ากับ 170 V **ตอบ**

ที่ $n_3 = 1400 \text{ r/min}$ $V_t = K_f I_f n_3 + I_a R_a$

$$= (0.1 \times 1400) + (10 \times 5)$$

$$V_t = 190 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ที่ความเร็วรอบ n_3 มีค่าเท่ากับ 190 V **ตอบ**

7.6 การเริ่มเดินและความต้านทานเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

7.6.1 การเริ่มเดิน ในการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินนั้นมีค่าสูง ทั้งนี้เพราะว่าค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์มีค่าต่ำมาก ขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าเริ่มเดินยังไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับที่อาร์เมเจอร์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าเต็มพิกัดจ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์โดยตรง ผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มเดินมีค่าสูง ซึ่งจะเป็นผลเสียให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์และเมื่ออาร์เมเจอร์หมุนไปแล้วก็มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับและทำให้กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ก็จะลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาหากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ ได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ} \quad E_a = V_t - I_a R_a$$

$$\text{ดังนั้น} \quad I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a}$$

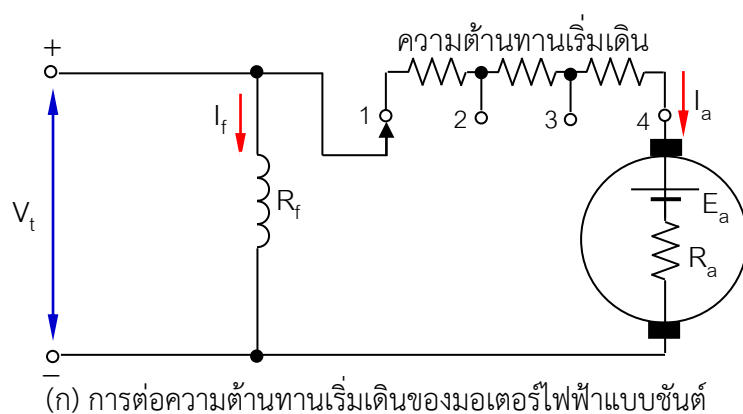
$$\text{แต่} \quad E_a = \frac{\Phi P n Z}{60 a} \quad \text{โดยขณะเริ่มเดินความเร็วรอบ } n = 0 \text{ ส่งผลให้ } E_a = 0 \text{ ด้วย}$$

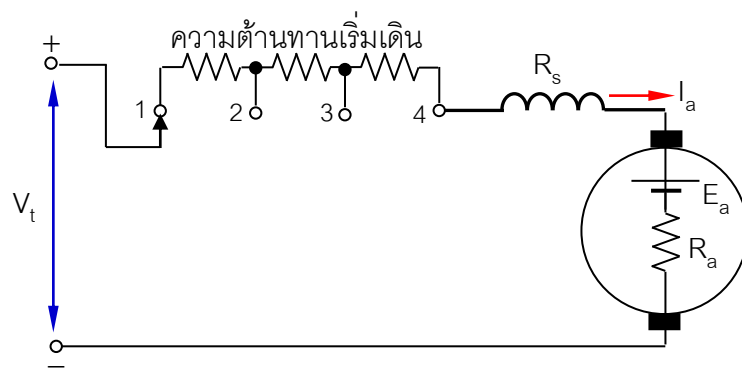
$$\text{นั่นคือ} \quad I_a = \frac{V_t - 0}{R_a}$$

ถ้ากำหนดให้ I_{st} เป็นกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้

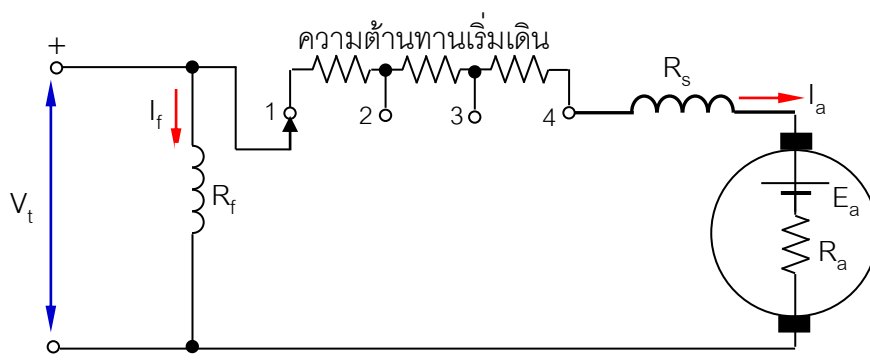
$$I_{st} = \frac{V_t}{R_a}$$

7.6.2 ความต้านทานเริ่มเดิน เพื่อลดกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินจึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานจากภายนอกซึ่งเป็นอุปกรณ์เริ่มเดินมาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ เมื่อมอเตอร์เริ่มเดินไปแล้วก็จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับทำให้กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ลดลง โดยตัวต้านทานภายนอกนี้ก็จะถูกปรับให้มีค่าลดลงและถูกตัดออกจากวงจรอาร์เมเจอร์ เรียกตัวต้านทานภายนอกนี้ว่า **ความต้านทานเริ่มเดิน** (Starting resistance) โดยต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ เป็นการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขั้นบันได โดยที่ตำแหน่งที่ 1 เป็นค่าที่มีความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์มากเพื่อลดกระแสเริ่มเดิน จากนั้นก็ลดค่าความต้านทานลงมาที่ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4 ตามลำดับ ซึ่งตำแหน่งที่ 4 ความต้านทาน เริ่มเดินถูกตัดออกทั้งหมดโดยมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่อาร์เมเจอร์โดยตรง





(ข) การต่อความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซีรีย์

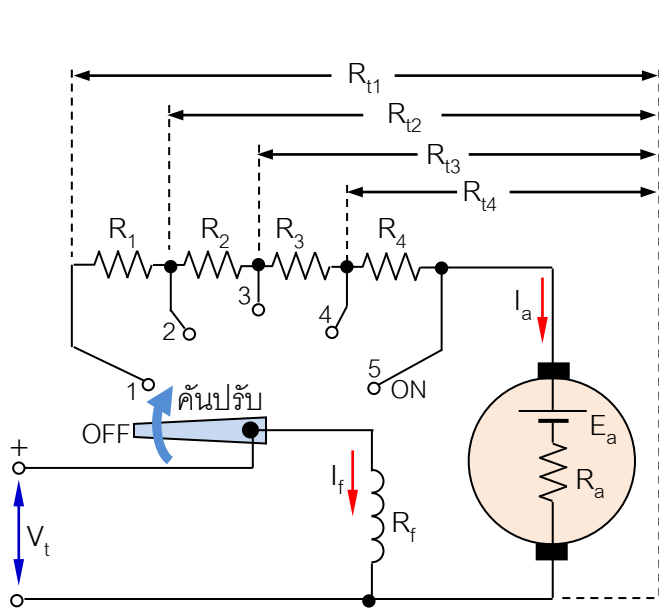


(ค) การต่อความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบคอมพาวด์

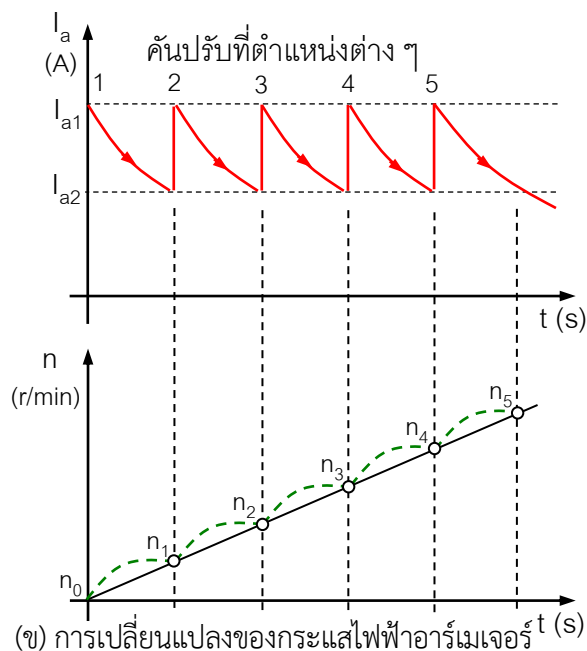
รูปที่ 7.3 การต่อความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

7.7 การคำนวณค่าความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวต้านทานเริ่มต้นนั้นถูกต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์เพื่อจำกัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ในขณะเริ่มต้น ซึ่งในทางปฏิบัติตัวต้านทานเริ่มต้นนี้จะถูกแบ่งให้เป็นตัวต้านทานหลาย ๆ ค่ามาต่ออนุกรมกัน (R_1 , R_2 , R_3 และ R_4) เป็นการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้นบันได เมื่อเลื่อนคันปรับมาเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 1 ทำให้กระแสขณะเริ่มต้นเป็น I_{a1} โดยความเร็วรอบเป็นศูนย์ (n_0) จากนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงเป็น I_{a2} และความเร็วรอบเริ่มเปลี่ยนแปลงจาก n_0 ไปเป็น n_1 เมื่อเลื่อนคันปรับเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 2 ทำให้กระแสขณะเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเป็น I_{a1} อีกครั้งหนึ่งจากนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงเป็น I_{a2} โดยความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก n_1 ไปเป็น n_2 เมื่อเลื่อนคันปรับเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 3 ทำให้กระแสขณะเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเป็น I_{a1} อีกครั้งหนึ่งจากนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงเป็น I_{a2} โดยความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก n_2 ไปเป็น n_3 เมื่อเลื่อนคันปรับเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 4 ทำให้กระแสขณะเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเป็น I_{a1} อีกครั้งหนึ่งจากนั้นกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงเป็น I_{a2} โดยความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก n_3 ไปเป็น n_4 และเป็นลักษณะนี้เรื่อยไปจนกระทั่งคันปรับเริ่มสัมผัสที่ตำแหน่งที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายของความต้านทานเริ่มต้น



(ก) ค่าความต้านทานในแต่ละตำแหน่ง



(ข) การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์ และความเร็วรอบ

รูปที่ 7.4 การหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบชนิด

จากวงจรสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานเริ่มต้นได้ดังนี้

$$R_{t1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_a$$

$$R_{t2} = R_2 + R_3 + R_4 + R_a$$

$$R_{t3} = R_3 + R_4 + R_a$$

$$R_{t4} = R_4 + R_a$$

และ

$$R_{t5} = R_a$$

เมื่อคันปรับเริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 1 จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t}{R_{t1}}$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนแล้วทำให้เกิด E_a ขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ E_{a1} ดังนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เป็น I_{a2}

$$I_{a2} = \frac{V_t - E_{a1}}{R_{t1}} \quad \dots (7.4)$$

เมื่อคันปรับถูกเลื่อนจากตำแหน่งที่ 1 เริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 2 จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t - E_{a1}}{R_{t2}} \quad \dots (7.5)$$

นำสมการที่ 7.5 หารด้วยสมการที่ 7.4 จะได้

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{V_t - E_{a1}}{R_{t2}} \times \frac{R_{t1}}{V_t - E_{a1}}$$

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{R_{t1}}{R_{t2}} \quad \text{..... (7.6)}$$

โดยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ E_{a2} ดังนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เป็น I_{a2}

$$I_{a2} = \frac{V_t - E_{a2}}{R_{t2}} \quad \text{..... (7.7)}$$

เมื่อคันปรับถูกเลื่อนจากตำแหน่งที่ 2 เริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 3 จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t - E_{a2}}{R_{t3}} \quad \text{..... (7.8)}$$

นำสมการที่ 7.8 หารด้วยสมการที่ 7.7 จะได้

$$\begin{aligned} \frac{I_{a1}}{I_{a2}} &= \frac{V_t - E_{a2}}{R_{t3}} \times \frac{R_{t2}}{V_t - E_{a2}} \\ \frac{I_{a1}}{I_{a2}} &= \frac{R_{t2}}{R_{t3}} \end{aligned} \quad \text{..... (7.9)}$$

โดยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ E_{a3} ดังนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เป็น I_{a2}

$$I_{a2} = \frac{V_t - E_{a3}}{R_{t3}} \quad \text{..... (7.10)}$$

เมื่อคันปรับถูกเลื่อนจากตำแหน่งที่ 3 เริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 4 จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t - E_{a3}}{R_{t4}} \quad \text{..... (7.11)}$$

นำสมการที่ 7.11 หารด้วยสมการที่ 7.10 จะได้

$$\begin{aligned} \frac{I_{a1}}{I_{a2}} &= \frac{V_t - E_{a3}}{R_{t4}} \times \frac{R_{t3}}{V_t - E_{a3}} \\ \frac{I_{a1}}{I_{a2}} &= \frac{R_{t3}}{R_{t4}} \end{aligned} \quad \text{..... (7.12)}$$

โดยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ E_{a4} ดังนั้นกระแสที่อาร์เมเจอร์เป็น I_{a2}

$$I_{a2} = \frac{V_t - E_{a4}}{R_{t4}} \quad \text{..... (7.13)}$$

เมื่อคันปรับถูกเลื่อนจากตำแหน่งที่ 4 เริ่มมาสัมผัสตำแหน่งที่ 5 จะได้

$$I_{a1} = \frac{V_t - E_{a4}}{R_{t5}} = \frac{V_t - E_{a4}}{R_a} \quad \text{..... (7.14)}$$

นำสมการที่ 7.14 หารด้วยสมการ 7.13 จะได้

$$\begin{aligned} \frac{I_{a1}}{I_{a2}} &= \frac{V_t - E_{a4}}{R_a} \times \frac{R_{t4}}{V_t - E_{a4}} \\ \frac{I_{a1}}{I_{a2}} &= \frac{R_{t4}}{R_a} \end{aligned} \quad \text{..... (7.15)}$$

จากสมการที่ 7.6, 7.9, 7.12 และสมการที่ 7.15 จะได้

$$\frac{I_{a1}}{I_{a2}} = \frac{R_{t1}}{R_{t2}} = \frac{R_{t2}}{R_{t3}} = \frac{R_{t3}}{R_{t4}} = \frac{R_{t4}}{R_a} = K \dots (7.16)$$

จากสมการ 7.16 จะได้

$$R_{t4} = KR_a$$

$$R_{t3} = KR_{t4} = KKR_a = K^2R_a$$

$$R_{t2} = KR_{t3} = KK^2R_a = K^3R_a$$

$$R_{t1} = KR_{t2} = KK^3R_a = K^4R_a$$

ถ้ากำหนดให้ n = จำนวนตำแหน่ง หรือจำนวนปุ่มที่ค้นปรับสัมผัส

$n - 1$ = จำนวนของส่วนที่แบ่ง หรือจำนวนตัวต้านทาน

ซึ่งจากรูปที่ 7.6 (ก) จำนวนตำแหน่งหรือจำนวนปุ่มเท่ากับ 5 และจำนวนตัวต้านทานเท่ากับ 4 ก็คือ $(5 - 1)$

$$R_{t1} = K^{(n-1)}R_a$$

เมื่อทราบค่า K ก็สามารถหาค่าความต้านทานของแต่ละส่วนได้ ดังนั้น

$$K^{(n-1)} = \frac{R_{t1}}{R_a}$$

$$K = \left(\frac{R_{t1}}{R_a} \right)^{\frac{1}{(n-1)}} = \sqrt[n-1]{\frac{R_{t1}}{R_a}} \dots (7.17)$$

ค่าความต้านทานในแต่ละส่วนหาค่าได้ตามลำดับดังนี้

$$R_1 = R_{t1} - R_{t2}$$

$$R_2 = R_{t2} - R_{t3}$$

$$R_3 = R_{t3} - R_{t4}$$

$$R_4 = R_{t4} - R_a$$

ตัวอย่างที่ 7.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซันต์ มีค่าความต้านทานจากขดลวดอาร์เมเจอร์ 0.5Ω มีแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ 500 V มีกระแสขณะเริ่มเดิน 100 A โดยความต้านทานเริ่มเดินแบ่งออกเป็น 5 ส่วน จงคำนวณหาความต้านทานในแต่ละส่วน

วิธีทำ โจทย์กำหนดให้ $V_t = 500 \text{ V}$ $R_a = 0.5 \Omega$ $I_{st} = 100 \text{ A}$ และ $n-1 = 5$

$$R_{t1} = \frac{V_t}{I_{st}} = \frac{500}{100} = 5 \Omega$$

$$^{(n-1)}K = \sqrt[n-1]{\frac{R_{t1}}{R_a}} = \sqrt[5]{\frac{5}{0.5}} = \sqrt[5]{10}$$

$$K = 1.5849$$

ดังนั้น

$$R_{t2} = \frac{R_{t1}}{K} = \frac{5}{1.5849} = 3.1547 \Omega$$

$$R_{t3} = \frac{R_{t2}}{K} = \frac{3.1547}{1.5849} = 1.9904 \Omega$$

$$R_{t4} = \frac{R_{t3}}{K} = \frac{1.9904}{1.5849} = 1.2558 \Omega$$

และ $R_{t5} = \frac{R_{t4}}{K} = \frac{1.2558}{1.5849} = 0.7923 \text{ } \Omega$

ค่าความต้านทานในแต่ละส่วน $R_1 = R_{t1} - R_{t2} = 5 - 3.1547 = 1.8453 \text{ } \Omega$

$$R_2 = R_{t2} - R_{t3} = 3.1547 - 1.9904 = 1.1643 \text{ } \Omega$$

$$R_3 = R_{t3} - R_{t4} = 1.9904 - 1.2558 = 0.7346 \text{ } \Omega$$

$$R_4 = R_{t4} - R_{t5} = 1.2558 - 0.7923 = 0.4635 \text{ } \Omega$$

$$R_5 = R_{t5} - R_a = 0.7923 - 0.5 = 0.2923 \text{ } \Omega$$

ค่าความต้านทานในส่วนของ R_1 มีค่าเท่ากับ	1.8453 Ω	} ตอบ
ค่าความต้านทานในส่วนของ R_2 มีค่าเท่ากับ	1.1643 Ω	
ค่าความต้านทานในส่วนของ R_3 มีค่าเท่ากับ	0.7346 Ω	
ค่าความต้านทานในส่วนของ R_4 มีค่าเท่ากับ	0.4635 Ω	
ค่าความต้านทานในส่วนของ R_5 มีค่าเท่ากับ	0.2923 Ω	

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้การควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 7 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง การควบคุมความเร็วและ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 7 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 7 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของการควบคุมความเร็วและการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 7 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จดบทที่กย่อ 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 7 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 7 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 7 1. power point หน่วยที่ 2. คำถามหน่วยที่ 7 1. ใบสรุปหน่วยที่ 6 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 7 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 7 จำนวน 18 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 7 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 7

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับการควบคุมความเร็วและการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสดตรง

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับการควบคุมความเร็วและการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสดตรง ที่ใช้งานจริงแล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง การควบคุมความเร็วและการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 7
4. ใบมอบหมายงานที่ 7

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 7 จำนวน 18 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 7 จำนวน 18 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 7 จำนวน 18 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 7 หัวข้อเนื้อหาที่สอน การควบคุมความเร็วและการเริ่มต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและประสิทธิภาพ

ที่	รายการประเมิน	คะแนน เต็ม	คะแนน ที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน) 1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง 1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	4 3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 8	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 12-13
	ชื่อหน่วย โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	ชั่วโมงรวม 10 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 8.1 โครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 8.2 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- 8.3 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลด
- 8.4 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด
- 8.5 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด

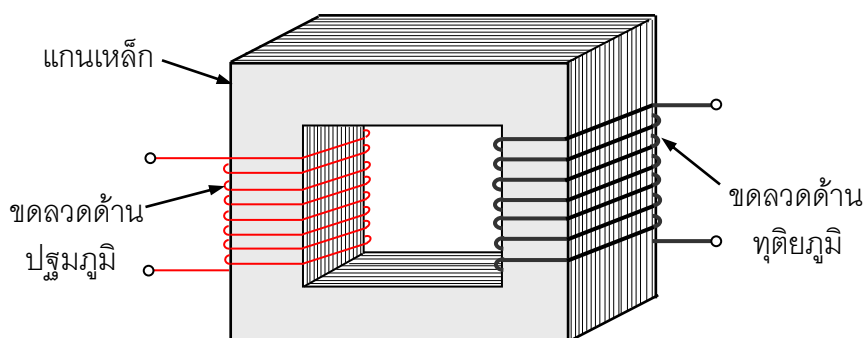
สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ต่อย่างจรทดสอบและสรุปผลจากการทดลองหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดและมีโหลด

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายโครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 2. อธิบายการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ 3. อธิบายหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลดได้ 4. อธิบายหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลดได้ 5. อธิบายแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลดได้	1. ต่อย่างจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดได้ 2. ต่อย่างจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

8.1.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบไปด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน ก็คือ แกนเหล็กกับขดลวดซึ่งแสดงโครงสร้างเบื้องต้น ดังรูป



รูปที่ 8.1 โครงสร้างเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. แกนเหล็ก เหล็กที่ใช้ในการทำแกนหม้อแปลงต้องมีความซาบซึมได้ (Permeability) สูง โดยแกนเหล็กจะต้องมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงถึง 1.35 ถึง 1.55 เวเบอร์/ตารางเมตร และต้องผ่านกรรมวิธีทั้งทางเคมีและความร้อนมาแล้ว ก่อนที่จะนำมารีดเป็นแผ่นบาง ๆ แล้วฉาบด้วยฉนวนทั้งสองด้าน ซึ่งคุณสมบัติต้องมีความเป็นฉนวนตามผิว (Surface insulation) สูง ทั้งนี้เพื่อลดกระแสไหลวน (Eddy current) ในแกนเหล็กจากนั้นจึงนำเหล็กที่เป็นแผ่นบางในแต่ละแผ่นมาอัดซ้อนกัน หน้าที่ของแกนเหล็กก็คือเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด

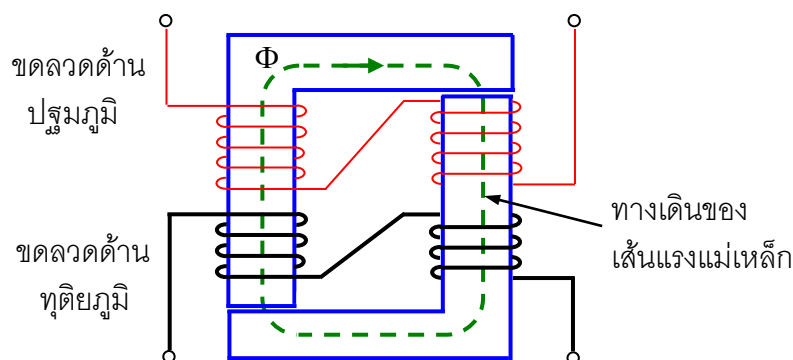
2. ขดลวด ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าทำมาจากทองแดงอบน้ำยา ถ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดไม่สูงมากนักก็ทำมาจากลวดทองแดงเส้นกลม ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดสูง ๆ ก็เป็นทองแดงเส้นแบน ซึ่งขดลวดนี้พันอยู่ที่แกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งจะมีด้วยกัน 2 ขด คือ

2.1 ขดลวดทางด้านไฟเข้าหรือขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding)

2.2 ขดลวดทางด้านไฟออกหรือขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding)

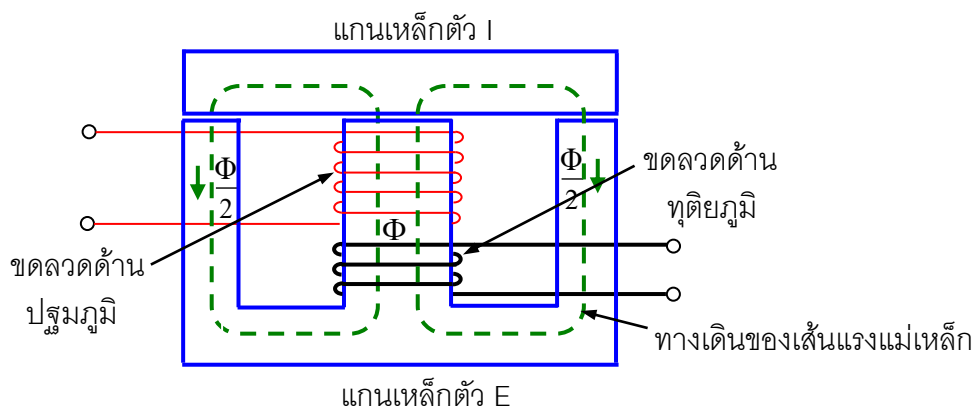
8.1.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งตามลักษณะแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกได้ดังนี้

1. หม้อแปลงแบบคอร์ (Core type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้ขดลวดจะพันล้อมรอบแกนเหล็กโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิจะพันไว้ด้านละครึ่งขด ทั้งนี้เพื่อลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล (Leakage flux) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) ไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) ไว้ด้านบน โดยลักษณะของแกนเหล็กแผ่นบางเป็นรูป LL และ UI โดยแกนเหล็ก ที่ใช้มีด้วยกันอีก 2 แบบ คือ แกนเหล็กแผ่นบาง (Laminated sheet core) กับแกนเหล็กกลม (Wound core) ซึ่งแกนเหล็กแบบคอร์นี้มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กทางเดียว



รูปที่ 8.2 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบคอร์

2. หม้อแปลงแบบเชลล์ (Shell type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้แกนเหล็กจะล้อมรอบขดลวดโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่ที่แกนกลางของแกนเหล็ก ดังรูปซึ่งการ พันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) พันไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) พันไว้ด้านบน โดยลักษณะของแกนเหล็กแผ่นบางเป็นรูป EI นอกจากนี้แกนเหล็กที่ใช้มีด้วยกันอีก 2 แบบ คือแกนเหล็กแผ่นบางกับแกนเหล็กกลม แกนเหล็กแบบเชลล์มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กสองทาง



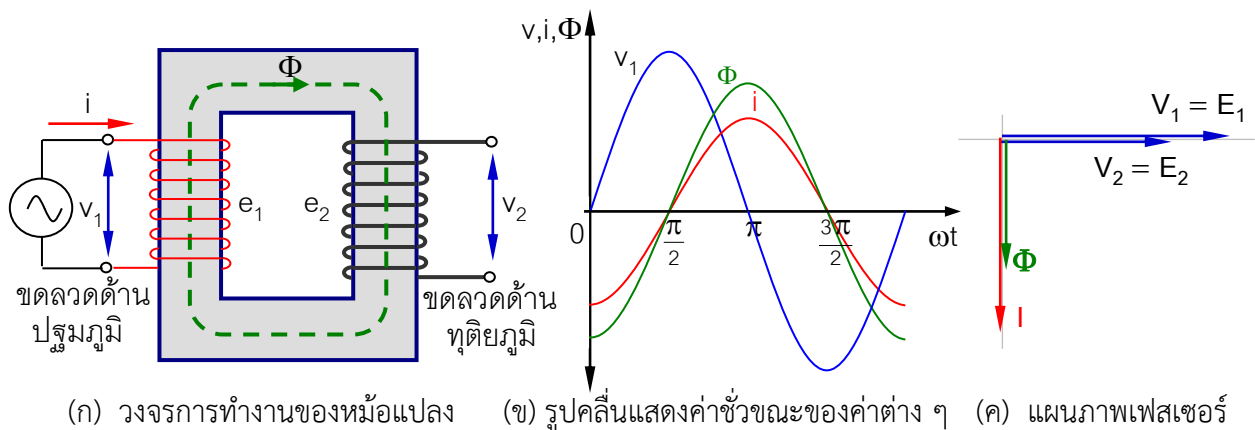
รูปที่ 8.3 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบเชลล์

3. หม้อแปลงแบบเฮช (H-type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้จะใช้แกนเหล็กแบบเชลล์สองชุดวางซ้อนกันเป็นรูปกากบาท โดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันไว้ที่ขากลางของแกนเหล็ก ซึ่งขดลวดทุติยภูมิจะพันอยู่ด้านในครึ่งหนึ่งก่อน จากนั้นคั่นด้วยฉนวนและพันขดลวดปฐมภูมิเต็มจำนวนรอบพันทับลงไป แล้วคั่นด้วยฉนวน จากนั้นจึงพันขดลวดทุติยภูมิที่เหลืออีกครึ่งหนึ่งไว้ที่ด้านนอก ดังรูปที่ 8.4 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีขนาดใหญ่จึงเหมาะสมกับการส่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสูง ๆ ขนาดหลายร้อย กิโลโวลต์แอมแปร์

8.2 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ หมายถึง หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กผ่านไปได้โดยไม่มีขีดจำกัด ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ไม่มีการสูญเสียที่แกนเหล็กและไม่มีการสูญเสียในขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้า

8.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อไม่มีโหลด ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น เพื่อให้เข้าใจหลักการการทำงานโดยจะพิจารณาให้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอุดมคติ ซึ่งการทำงานพิจารณาได้จากรูป



รูปที่ 8.5 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติเมื่อไม่มีโหลด

จากรูปที่ 8.5 (ก) และ 8.5 (ข) เมื่อจ่ายแรงดัน v_1 ซึ่งเป็นค่าชั่วขณะรูปคลื่นไซน์ให้กับขดลวดปฐมภูมิ ทำให้มีกระแส i ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและกระแส i นี้ จะสร้าง Φ และเปลี่ยนแปลงไปตามกับกระแส i ซึ่ง Φ ร่วมเฟสกับกระแส i จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กก็จะไปคล้องกับขดลวดทั้งสองขดทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิ (e_1) เรียกว่า **แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน** (Back emf.) และ ขดลวดทุติยภูมิ (e_2) เรียกว่า **แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำร่วม** (Mutual induced emf.) โดยแรงเคลื่อน-ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งสองจะมีเฟสหน้า Φ

8.2.2 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและอัตราส่วนของหม้อแปลง

จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลามากลึงตัดกับขดลวดทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด ตามสมการ

$$e = N \frac{d\Phi}{dt}$$

เมื่อพิจารณาขดลวดทางด้านปฐมภูมิเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบอุดมคติ จะได้

$$V_1 = E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_{\max} \quad \dots (8.2)$$

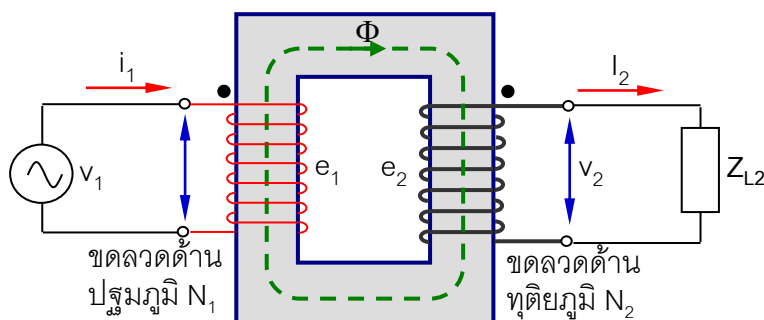
ในทำนองเดียวกันทางด้านทุติยภูมิ จะได้

$$V_2 = E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_{\max} \quad \dots (8.3)$$

อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า กำหนดให้เป็น a ซึ่งเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนของค่าต่าง ๆ ของหม้อ-แปลงไฟฟ้า หาค่าได้ดังนี้โดยนำสมการที่ 8.2 หารด้วยสมการที่ 8.3 จะได้

$$\begin{aligned}\frac{V_1}{V_2} &= \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44fN_1\Phi_{\max}}{4.44fN_2\Phi_{\max}} \\ \frac{V_1}{V_2} &= \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a\end{aligned}\quad \text{..... (8.4)}$$

8.2.3 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด เมื่อนำโหลดอิมพีแดนซ์ Z_{L2} มาต่อเข้ากับทางด้านทุติยภูมิ โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเป็น V_2 และมีกระแส I_2 ไหลไปยังโหลดอิมพีแดนซ์ ดังรูปที่ 8.6

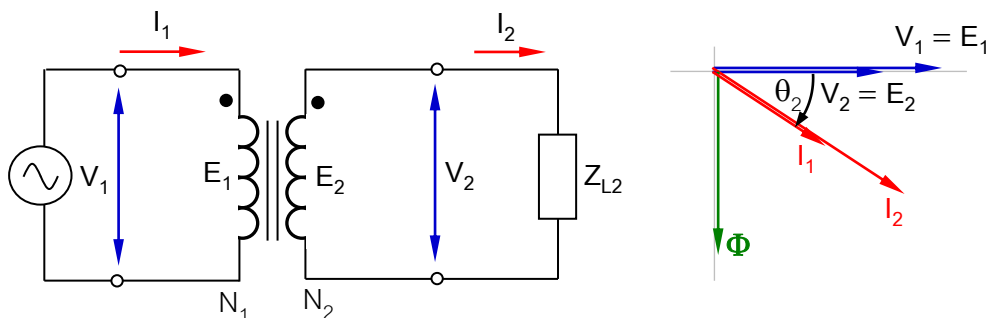


รูปที่ 8.6 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด

จากรูปที่ 8.6 เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติแรงดันไฟฟ้า E_1 จะเท่ากับ V_1 เสมอ และเส้นแรงแม่เหล็กจะต้องคงที่และเท่ากับเมื่อไม่มีโหลด เมื่อมีกระแส I_2 ไหลผ่านโหลดอิมพีแดนซ์ทางด้านทุติยภูมิจึงทำให้เกิดกระแส I_1 ทางด้านปฐมภูมิด้วย และส่งผลให้เกิดแรงดันแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองด้านขึ้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned}I_1N_1 &= I_2N_2 \\ \frac{N_1}{N_2} &= \frac{I_2}{I_1} = a \\ \text{ดังนั้น} \quad I_1 &= \frac{I_2}{a}\end{aligned}\quad \text{..... (8.5)}$$

ซึ่งวงจรสมมูลและแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด และให้โหลด Z_{L2} ที่ต่ออยู่มีค่าตัวประกอบกำลังล้าหลัง (เฟสเซอร์ I_2 ล้าหลังเฟสเซอร์ V_2 เป็นมุม θ_2) ดังรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 วงจรสมมูลและแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติจะได้ว่าขนาดและทิศทางของกำลังไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิเท่ากับขนาดและทิศทางของกำลังไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ นั่นคือ

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad \dots (8.6)$$

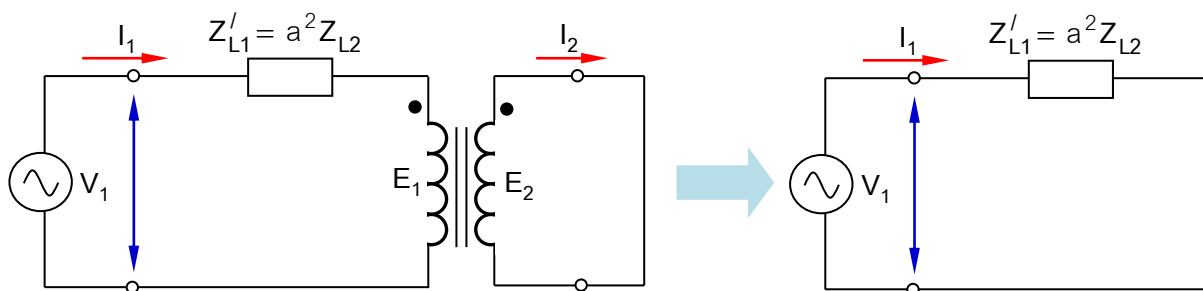
โดย

$$Z_{L2} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_1}{a I_1} = \frac{V_1}{a^2 I_1}$$

ดังนั้น

$$\frac{V_1}{I_1} = a^2 Z_{L2}$$

จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ของทั้งสองด้าน ถ้าพิจารณาทางด้านปฐมภูมิเมื่อทำการย้ายค่าของ Z_{L2} จากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิเป็น Z'_{L1} ดังนั้นถือว่าทางด้านทุติยภูมิกำหนดให้ลัดวงจรและเขียนวงจรสมมูลได้ใหม่ ดังรูปที่ 8.8



รูปที่ 8.8 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ

8.2.4 พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำหนดให้เป็น โวลต์แอมแปร์ (VA) ถ้าเป็นหน่วยใหญ่ก็เป็นกิโลโวลต์แอมแปร์ (kVA) และเมกะโวลต์แอมแปร์ (MVA) ซึ่งได้จากผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ หรือผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งพิกัดทั้งสองด้านกำหนดให้มีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$VA_{\text{ปฐมภูมิ}} = VA_{\text{ทุติยภูมิ}}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

ตัวอย่างที่ 8.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 Hz ขนาดพิกัด 75 kVA 22000/250 V มีจำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ 60 รอบ จงคำนวณหา

- จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
- จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด
- กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทั้งสองด้าน

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$f = 50 \text{ Hz} \quad N_2 = 60 \text{ รอบ}$$

$$V_1 = 22000 \text{ V} \quad V_2 = 250 \text{ V}$$

$$\text{พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า} = 75 \text{ kVA} = 75 \times 10^3 \text{ VA}$$

ก. จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{22000}{250} = 88$$

จาก $\frac{N_1}{N_2} = a$

ดังนั้น $N_1 = aN_2 = 88 \times 60 = 5280$ รอบ

จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิจึงมีค่าเท่ากับ 5280 รอบ **ตอบ**

ข. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด

$$V_2 = 4.44 f N_2 \Phi_{\max}$$

ดังนั้น $\Phi_{\max} = \frac{V_2}{4.44 f N_2} = \frac{250}{4.44 \times 50 \times 60} = 18.76 \times 10^{-3} \text{ Wb}$

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดจึงมีค่าเท่ากับ 18.76 mWb **ตอบ**

ค. กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทั้งสองด้าน

$$I_1 = \frac{\text{kVA}}{V_1} = \frac{75 \times 10^3}{22000}$$

$$I_1 = 3.409 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทางด้านปฐมภูมิจึงมีค่าเท่ากับ 3.409 A **ตอบ**

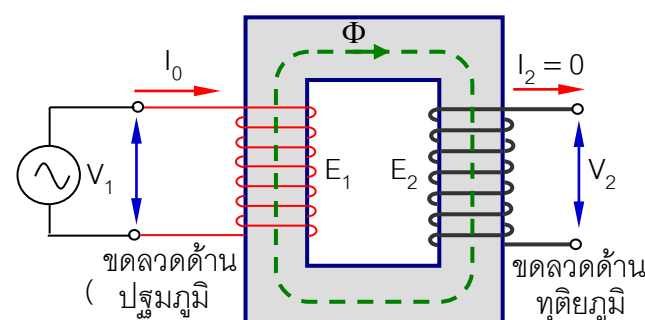
$$I_2 = \frac{\text{kVA}}{V_2} = \frac{75 \times 10^3}{250}$$

$$I_2 = 300 \text{ A}$$

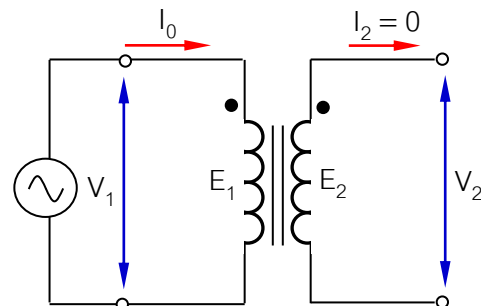
กระแสไฟฟ้าที่พิกัดทางด้านทุติยภูมิจึงมีค่าเท่ากับ 300 A **ตอบ**

8.3 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริงนั้นมีค่าต่าง ๆ ตรงข้ามกับหม้อแปลงไฟฟ้าทางอุดมคติ เมื่อยังไม่ได้ต่อโหลดจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ดังรูป แสดงด้วยสัญลักษณ์ เมื่อจ่ายแรงดัน V_1 ให้กับขดลวดทางด้านปฐมภูมิจึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ เรียกกระแสไฟฟ้างี้ว่า กระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดหรือค่าของกระแสกระตุ้น (No-load current or exciting current) ซึ่งแทนด้วยกระแส I_0



(ก) การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด



(ข) วงจรแสดงสัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 8.9 หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

จากรูป กระแส I_0 นี้ถูกแทนด้วยกระแสไฟฟ้าที่แยกไหลออกเป็นอีก 2 ส่วน คือ

1. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss current) แทนด้วยกระแส I_c โดยกระแสส่วนนี้ทำให้เกิดการสูญเสียจากฮิสเทอรีซิสและจากกระแสไหลวน (Hysteresis and eddy current losses)

2. กระแสทำแม่เหล็ก (Magnetizing current) แทนด้วยกระแส I_m โดยกระแสส่วนนี้จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงภายในแกนเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 และ E_2 ขึ้นที่ขดลวด

$$I_0 = \sqrt{I_c^2 + I_m^2} \dots (8.9)$$

โดย θ_0 เป็นมุมเฟสระหว่างแรงดัน V_1 กับกระแส I_0 หาได้ดังนี้

$$\theta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{I_m}{I_c}\right) \dots (8.10)$$

กำหนดให้ pf_0 เป็นตัวประกอบกำลังเมื่อไม่มีโหลด และหาได้ดังนี้

$$\text{pf}_0 = \cos \theta_0 \dots (8.11)$$

เมื่อไม่คิดผลของแรงดันตกคร่อมจากความต้านทานและแรงดันตกคร่อมจากรีแอ็กแตนซ์รั่วซึมของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ จะได้ว่า

$$V_1 = E_1 \dots (8.12)$$

เมื่อทราบของกระแส I_0 และมุม θ_0 ก็สามารถหาค่าของกระแส I_c และ I_m ได้ตามลำดับดังนี้

$$I_c = I_0 \cos \theta_0 \dots (8.13)$$

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 \dots (8.14)$$

จากวงจรสมมูลรูปที่ 8.9 (ค) ซึ่งกระแส I_0 แยกไหลออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนของกระแส I_c ที่ไหลผ่านแทนด้วยความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss resistance) กำหนดให้เป็น R_c ส่วนของกระแส I_m ที่ไหลผ่านแทนด้วยรีแอ็กแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Magnetizing reactance) กำหนดให้เป็น X_m ซึ่งทั้งสองค่าต่อขนานกันและต่อเข้ากับแหล่งจ่าย V_1 (A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, jr. and Stephen D. Umans, 2003 : 62) และหาค่าได้ดังนี้

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} \dots (8.15)$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} \dots (8.16)$$

จากสมการที่ 8.13 นำค่าของแรงดัน V_1 มาคูณทั้ง 2 ข้าง จะได้

$$V_1 I_c = V_1 I_0 \cos \theta_0$$

ซึ่งผลคูณของ $V_1 I_c$ ก็คือค่าของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก กำหนดให้เป็น P_c ดังนั้น

$$P_c = V_1 I_0 \cos \theta_0 \dots (8.17)$$

ตัวอย่างที่ 8.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาดแรงดัน 1600/240 V เมื่อต่อเข้ากับแรงดันทางด้านปฐมภูมิ 1600 V มีกระแสไฟฟ้า 3 A และมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 1400 W ไม่คิดผลของแรงดันตกคร่อมจากความต้านทานและแรงดันตกคร่อมจากรีแอ็กแตนซ์รั่วซึม จงคำนวณหา

- ก. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก
- ข. กระแสทำแม่เหล็ก
- ค. ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก
- ง. รีแอ็กแตนซ์ทำแม่เหล็ก

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 1600 \text{ V} \quad I_0 = 3 \text{ A} \quad \text{และ} \quad P_c = 1400 \text{ W}$$

หามุมเฟสระหว่างแรงดัน V_1 กับกระแส I_0

$$\text{จากสมการ} \quad P_c = V_1 I_0 \cos \theta_0 \quad \text{ดังนั้น} \quad \cos \theta_0 = \frac{P_c}{V_1 I_0}$$

$$\text{และ} \quad \theta_0 = \cos^{-1} \left(\frac{P_c}{V_1 I_0} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{1400}{1600 \times 3} \right) = 73.08^\circ$$

ก. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก

$$I_c = I_0 \cos \theta_0 = 3 \times \cos 73.08^\circ$$

$$I_c = 3 \times 0.291 = 0.873 \text{ A}$$

กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.873 A **ตอบ**

ข. กระแสทำแม่เหล็ก

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 = 3 \times \sin 73.08^\circ$$

$$I_m = 3 \times 0.956 = 2.868 \text{ A}$$

กระแสทำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 2.868 A **ตอบ**

ค. ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} = \frac{1600}{0.873} = 1832.76 \, \Omega$$

ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ 1832.76 Ω **ตอบ**

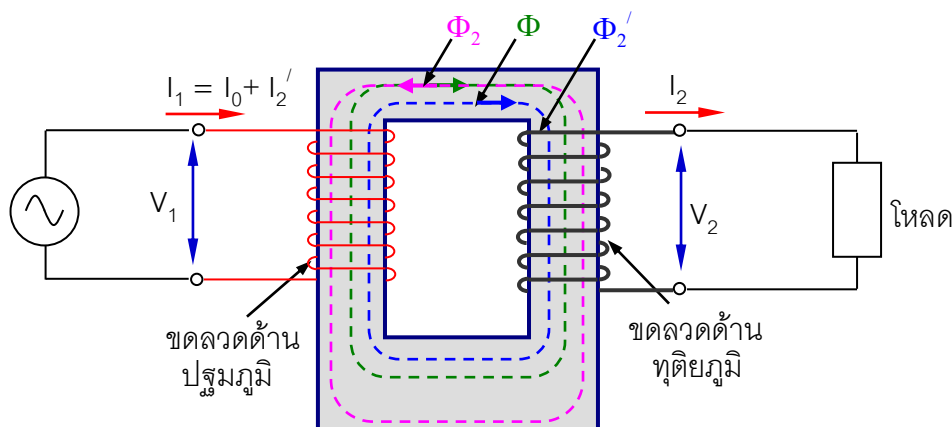
ง. รีแอ็กแตนซ์ทำแม่เหล็ก

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} = \frac{1600}{2.868} = 557.88 \, \Omega$$

รีแอ็กแตนซ์ทำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 557.88 Ω **ตอบ**

8.4 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดเป็นภาวะที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิมีโหลดต่ออยู่ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากขดลวดทุติยภูมิไปยังโหลดและยังทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดปฐมภูมิอีกด้วย ดังรูปที่ 8.11



รูปที่ 8.11 หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีโหลดเกิดกระแส I_2 กับ Φ_2 และ I_2' กับ Φ_2'

จากรูป เมื่อต่อโหลดเข้ากับขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ทำให้เกิดการไหลของกระแส I_2 และสร้างแรงดันแม่เหล็กเป็น $N_2 I_2$ ซึ่งเรียกว่า แอมแปร์-รอบลดเส้นแรงแม่เหล็ก (Demagnetizing ampere turn) ซึ่งกระแส I_2 ก็สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก Φ_2 ขึ้นมา โดยมีทิศทางตรงข้ามกับ Φ ที่สร้างจากกระแส I_0 เป็นผลให้ Φ ลดลง และทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 ของทางด้านปฐมภูมิลดลงไปด้วยจึงทำให้เกิดผลต่างของแรงดันไฟฟ้า V_1 กับ E_1 จึงทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้น เรียกกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้ว่า **กระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ** (Load component of primary current) มีค่าเป็น I_2' จากการ มีกระแส I_2' ทางด้านปฐมภูมิ โดย I_2' นี้จะสร้าง Φ_2' ขึ้นมาก็ทำให้เกิดแรงดันแม่เหล็กเป็น $N_1 I_2'$ และมีค่าเท่ากับแรงดันแม่เหล็กทางด้านทุติยภูมิ $N_2 I_2$ โดยมีทิศทางต่อต้านกันและมีสภาพเป็นกลาง (Neutralized) ไปในทันทีทันใด ซึ่งเหลือเพียงแต่เส้นแรงแม่เหล็กรวมเพียงอย่างเดียวโดยผลรวมของกระแส I_1 ทางด้านปฐมภูมิได้จากกระแส I_0 เมื่อไม่มีโหลดกับกระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิ I_2' ทางเฟสเซอร์ จากรูปที่ 8.11 กระแส I_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิเนื่องจาก I_0 มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับกระแสที่โหลดจึงไม่นำมาคิด ดังนั้น

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \quad I_2' = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) I_2$$

$$I_2' = \frac{I_2}{a} \quad \dots (8.18)$$

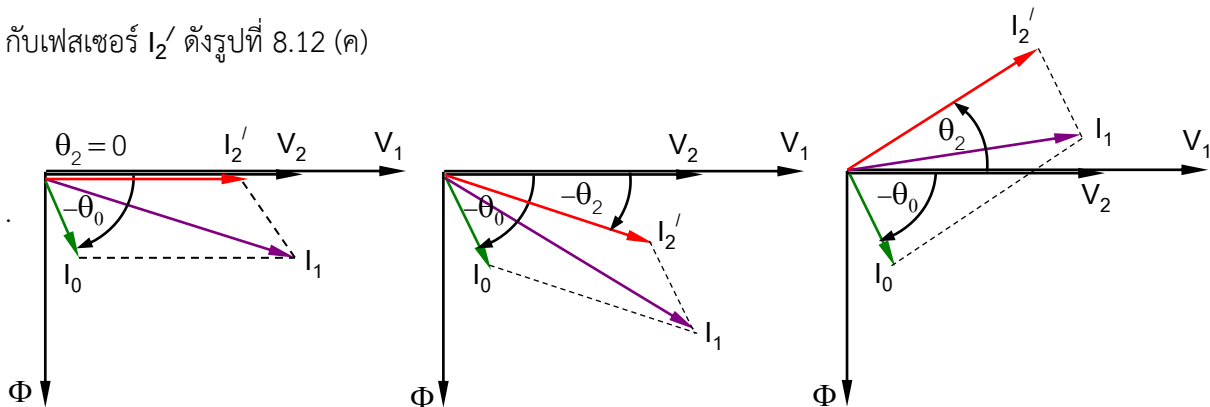
8.5 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อมีโหลด

แผนภาพเฟสเซอร์จะแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวประกอบกำลังของโหลดที่ต่ออยู่ ดังนี้

8.5.1 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 (I_2' ร่วมเฟสกับ V_2) โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฏุมภูมิและร่วมเฟสกับแรงดัน V_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ก)

8.5.2 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังล้าหลัง (I_2' ล้าหลัง V_2) โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฏุมภูมิและล้าหลังเฟสเซอร์แรงดัน V_2 เป็นมุม θ_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ข)

8.5.3 ถ้าพิจารณาโหลดเป็นแบบตัวประกอบกำลังนำหน้า (I_2' นำหน้า V_2) โดยเฟสเซอร์ I_2' เป็นกระแสโหลดทางด้านปฏุมภูมิและนำหน้าเฟสเซอร์แรงดัน V_2 เป็นมุม θ_2 ส่วนเฟสเซอร์ I_1 เป็นผลรวมของเฟสเซอร์ I_0 กับเฟสเซอร์ I_2' ดังรูปที่ 8.12 (ค)



รูปที่ 8.12 แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ค่าตัวประกอบกำลังต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ 8.3 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาดแรงดันไฟฟ้า 1200/200 V เมื่อต่อเข้ากับแรงดันทางด้านปฏุมภูมิ 1200 V มีกระแสไฟฟ้า 3 A และมุมเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส 70° โดยมีกระแสล้าหลังแรงดันเมื่อยังไม่มีโหลด และเมื่อต่อโหลดมีกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ 240 A จงคำนวณหา

- กระแสโหลดทางด้านปฏุมภูมิ
- กระแสไฟฟ้าทางด้านปฏุมภูมิที่ค่า $pf_2 = 1$
- กระแสไฟฟ้าทางด้านปฏุมภูมิที่ค่า $pf_2 = 0.866$ ล้าหลัง

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 1200 \text{ V} \quad V_2 = 200 \text{ V} \quad I_0 = 3 \text{ A} \quad I_2 = 240 \text{ A} \quad \theta_0 = 70^\circ$$

หาอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1200}{200} = 6$$

ก. กระแสโหลดทางด้านปฏุมภูมิ

$$I_2' = \frac{I_2}{a} = \frac{240}{6} = 40 \text{ A}$$

กระแสโหลดทางด้านปฏุมภูมิมีค่าเท่ากับ

$$40 \text{ A}$$

ตอบ

ข. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 1$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(pf_2) = \cos^{-1}(1) = 0^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 + I'_2 \\ &= I_0 \angle -\theta_0 + I'_2 \angle \theta_2 \\ &= 3 \angle -70^\circ + 40 \angle 0^\circ \\ &= (1.026 - j2.819) + (40 + j0) \\ &= 41.026 - j2.819 \\ I_1 &= 41.122 \angle -3.93^\circ \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ $pf_2 = 1$ มีค่าเท่ากับ 41.122 A **ตอบ**

ค. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ค่า $pf_2 = 0.866$ ล้าหลัง

$$\theta_2 = \cos^{-1}(pf_2) = \cos^{-1}(0.866) = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 + I'_2 \\ &= I_0 \angle -\theta_0 + I'_2 \angle -\theta_2 \\ I_1 &= 3 \angle -70^\circ + 40 \angle -30^\circ \\ &= (1.026 - j2.819) + (34.641 - j20) \\ &= 35.667 - j22.819 \\ I_1 &= 42.342 \angle -32.61^\circ \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิที่ $pf_2 = 0.866$ ล้าหลังมีค่าเท่ากับ 42.342 A **ตอบ**

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 8 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้สื่อ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 8 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า แล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 8 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 8 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 8 1. power point หน่วยที่ 8 2. คำถามหน่วยที่ 8 1. ใบสรุปหน่วยที่ 8 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 8 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 8 จำนวน 17 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 8 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 8

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ใช้งานจริงแล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 8
4. ใบมอบหมายงานที่ 8

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 8 จำนวน 17 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 8 จำนวน 17 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนรู้หน่วยที่ 8 จำนวน 17 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
 นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 8 หัวข้อเนื้อหาที่สอน โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน
(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่	รายการประเมิน	คะแนน เต็ม	คะแนน ที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน)			
	1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง	4		
	1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 14
	ชื่อหน่วย วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	ชั่วโมงรวม 5 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 9.1 ความหมายวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 9.2 ค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง
- 9.3 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 9.4 วงจรสมมูลค่าจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าและการโอนย้าย
- 9.5 วงจรสมมูลค่าโดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้า

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. เขียนวงจรสมมูลค่าโดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีการย้ายค่าต่าง ๆ ไปทางด้านทุติยภูมิ

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. บอกความหมายวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 2. อธิบายค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงได้ 3. อธิบายวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 4. อธิบายวงจรสมมูลค่าจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าและการโอนย้ายได้ 5. วงจรสมมูลค่าโดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าได้	1. เขียนวงจรสมมูลค่าโดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีการย้ายค่าต่าง ๆ ไปทางด้านทุติยภูมิ	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่องานของตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

9.1 ความหมายวงจรมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

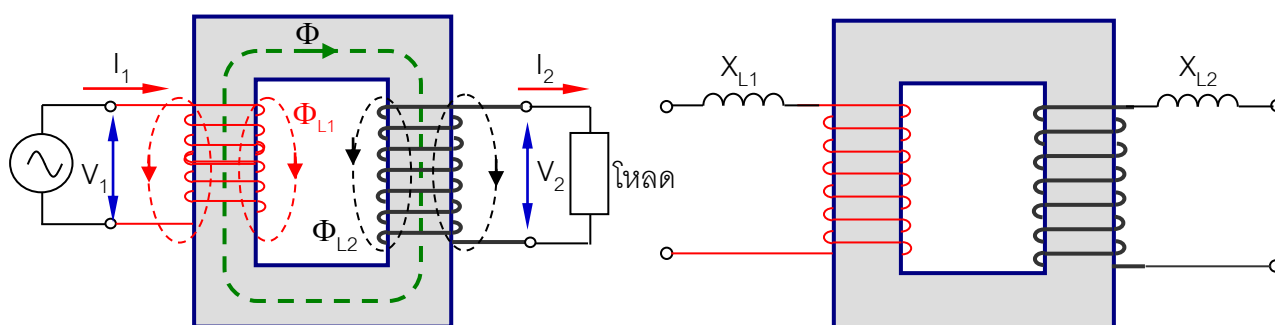
วงจรมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า หมายถึง การแทนค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบของวงจรไฟฟ้า เช่น ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่พันรอบแกนเหล็กทั้ง 2 ด้าน ก็สามารถแทนด้วยค่าความต้านทานและค่ารีแอ็กแตนซ์รั่วซึม (Leakage reactance) ทั้งนี้เพื่อให้การวิเคราะห์เกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้ามีความสะดวกและรวดเร็ว

9.2 ค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริงนั้นต้องคำนึงถึงการสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าผลของเส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึม (Leakage flux) ที่ขดลวดทางด้านปฐมภูมิและที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งมีค่าต่าง ๆ ที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

9.2.1 ความต้านทานของขดลวด ขดลวดทางด้านปฐมภูมิและที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิพันจากขดลวดทองแดงดังรูปที่ 9.1 (ก) ดังนั้นถือว่าขดลวดทั้งสองด้านมีค่าความต้านทาน โดยกำหนดให้ R_1 เป็นค่าความต้านทานของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ และ R_2 เป็นค่าความต้านทานของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

9.2.2 เส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึมและค่ารีแอ็กแตนซ์ เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้ามีโหลดทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ซึ่งผลของกระแสไฟฟ้านี้ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึม ที่ได้กล่าวมาแล้วในหน่วยที่ 8 นอกจากนี้ยังทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึมขึ้นอีกด้วย



(ก) การเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึม

(ข) ขดลวดเมื่อพิจารณาค่ารีแอ็กแตนซ์รั่วซึมทั้ง 2 ด้าน

รูปที่ 9.1 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ขดลวดทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

จากรูป เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้ามีโหลดทำให้เกิดมีกระแส I_2 ไหลที่ขดลวดทุติยภูมิและกระแส I_1 ที่ขดลวดปฐมภูมิ ผลของกระแสทั้งสองจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นมารอบขดลวดทั้งสองด้านโดยมีอากาศเป็นทางเดิน เรียกเส้นแรงแม่เหล็กนี้ว่า **เส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึม** กำหนดให้เป็น Φ_{L1} และ Φ_{L2} ตามลำดับและเส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึมทั้งสองนี้ทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำรั่วซึม (Leakage inductance) ในขดลวดทั้งสองขึ้นและมีหน่วยเป็น เฮนรี (H) โดยมีค่าดังนี้

$$\text{ในขดลวดปฐมภูมิ} \quad L_1 = \frac{N_1 \Phi_{L1}}{I_1} \quad \dots (9.1)$$

$$\text{ในขดลวดทุติยภูมิ} \quad L_2 = \frac{N_2 \Phi_{L2}}{I_2} \quad \dots (9.2)$$

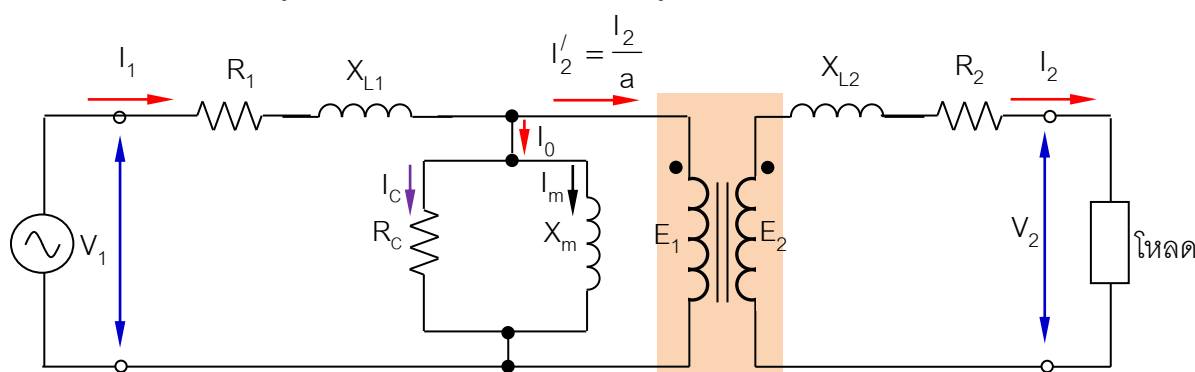
ผลจากการเกิด L_1 และ L_2 ที่ขดลวดทั้งสองด้านจึงทำให้เกิดค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึม กำหนดให้เป็น X_L ของขดลวดทั้งสองอันเนื่องจากความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ และมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ดังนั้นถือว่าขดลวดทั้งสองด้านมีค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึม โดยกำหนดให้ X_{L1} เป็นค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึมของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ และ X_{L2} เป็นค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึมของขดลวดทางด้านทุติยภูมิดังรูปที่ 9.2 (ข) ซึ่งมีค่าดังนี้

$$\text{ในขดลวดปฐมภูมิ} \quad X_{L1} = 2\pi f L_1 \quad \dots (9.3)$$

$$\text{ในขดลวดปฐมภูมิ} \quad X_{L2} = 2\pi f L_2 \quad \dots (9.4)$$

9.3 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาแล้วเห็นว่าหม้อแปลงไฟฟ้านั้นประกอบไปด้วยค่าความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก ค่ารีแอคแตนซ์ทำแม่เหล็ก ค่าความต้านทานของขดลวดและค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึมของขดลวดทั้งสองด้าน ดังนั้นสามารถนำค่าเหล่านี้มาเขียนเป็นวงจรสมมูลทั้งหมดของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ดังรูป



รูปที่ 9.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

จากวงจรสมมูล ได้ว่าสมการของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

$$E_1 = aE_2$$

$$I_0 = I_c + I_m$$

$$I_1 = I_0 + I_2'$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิ

$$E_2 = V_2 + I_2 (R_2 + jX_{L2}) \quad \dots (9.5)$$

และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้

$$V_1 = E_1 + I_1 (R_1 + jX_{L1}) \quad \dots (9.6)$$

ตัวอย่างที่ 9.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 72 kVA ขนาดแรงดัน 2400/240 V มีค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

ค่าความต้านทานที่ขดลวดแรงดัน 2400 V	$R_1 = 1 \Omega$
ค่าความต้านทานที่ขดลวดแรงดัน 240 V	$R_2 = 0.01 \Omega$
ค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึมที่ขดลวดแรงดัน 2400 V	$X_{L1} = 1.5 \Omega$
ค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึมที่ขดลวดแรงดัน 240 V	$X_{L2} = 0.015 \Omega$
ค่าความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก	$R_c = 4000 \Omega$
ค่ารีแอคแตนซ์ทำแม่เหล็ก	$X_m = 1280 \Omega$

ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดทางด้านทุติยภูมิเต็มพิกัดที่แรงดัน 240 V ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลัง จง
คำนวณหา

ก. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

ข. กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

ค. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

ง. แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{พิกัด} = 72 \text{ kVA} \quad \text{อัตราส่วนแรงดัน} = 2400/240 \text{ V} \quad \text{pf}_2 = 0.8 \text{ ล้าหลัง} \quad V_2 = 240 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \Omega \quad X_{L1} = 1.5 \Omega \quad R_C = 4000 \Omega$$

$$R_2 = 0.01 \Omega \quad X_{L2} = 0.015 \Omega \quad X_m = 1280 \Omega$$

หาค่าต่าง ๆ ก่อนได้ดังนี้

$$a = \text{อัตราส่วนแรงดัน} = \frac{2400}{240} = 10$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(\text{pf}_2) = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ$$

$$I_2 = \frac{\text{kVA}}{V_2} = \frac{72 \times 10^3}{240} = 300 \text{ A}$$

กำหนดให้แรงดัน V_2 เป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณ ดังนั้น $V_2 = 240 \angle 0^\circ$

ก. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิและปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} E_2 &= V_2 + I_2 (R_2 + jX_{L2}) \\ &= 240 \angle 0^\circ + 300 \angle -36.87^\circ \times (0.01 + j0.015) \\ &= 240 \angle 0^\circ + (300 \angle -36.87^\circ \times 0.018 \angle 56.31^\circ) \\ &= 240 \angle 0^\circ + 5.4 \angle 19.44^\circ \\ &= (240 + j0) + (5.092 + j1.797) \\ &= (245.092 + j1.797) \end{aligned}$$

$$E_2 = 245.098 \angle 0.42^\circ$$

$$E_1 = aE_2 = 10 \times 245.098 \angle 0.42^\circ$$

$$E_1 = 2450.98 \angle 0.42^\circ$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 245.092 V **ตอบ**

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 2450.92 V **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

$$I_C = \frac{E_1}{R_C} = \frac{2450.98 \angle 0.42^\circ}{4000 \angle 0^\circ}$$

$$I_C = 0.612 \angle 0.42^\circ \text{ A} \cong 0.612 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_m &= \frac{E_1}{jX_m} = \frac{2450.98 \angle 0.42^\circ}{1280 \angle 90^\circ} \\
 I_m &= 1.914 \angle -89.52^\circ \text{ A} \cong 1.914 \angle -90^\circ \text{ A} \\
 \text{ดังนั้น} \quad I_0 &= I_c + I_m \\
 &= 0.612 \angle 0^\circ + 1.914 \angle -90^\circ \\
 I_0 &= 2 \angle -72.26^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดมีค่าเท่ากับ 2 A **ตอบ**

ค. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned}
 I'_2 &= \frac{I_2}{a} = \frac{300 \angle -36.87^\circ}{10} = 30 \angle -36.87^\circ \\
 \text{ดังนั้น} \quad I_1 &= I_0 + I'_2 \\
 &= I_0 \angle -\theta_0 + I'_2 \angle -\theta_2 \\
 &= 2 \angle -72.26^\circ + 30 \angle -36.87^\circ \\
 &= 31.65 \angle -38.96^\circ
 \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิมิค่าเท่ากับ 31.65 A **ตอบ**

ง. แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned}
 V_1 &= E_1 + I_1 (R_1 + jX_{L1}) \\
 &= 2450.98 \angle 0.42^\circ + 31.65 \angle -38.96^\circ \times (1 + j1.5) \\
 V_1 &= 2450.98 \angle 0.42^\circ + (31.65 \angle -38.96^\circ \times 1.8 \angle 56.31^\circ) \\
 &= 2450.98 \angle 0.42^\circ + 57.03 \angle 17.35^\circ \\
 V_1 &= 2505.59 \angle 0.8^\circ \text{ V}
 \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าด้านปฐมภูมิมิค่าเท่ากับ 2505.59 V **ตอบ**

9.4 วงจรสมมูลค่าจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าและการโอนย้าย

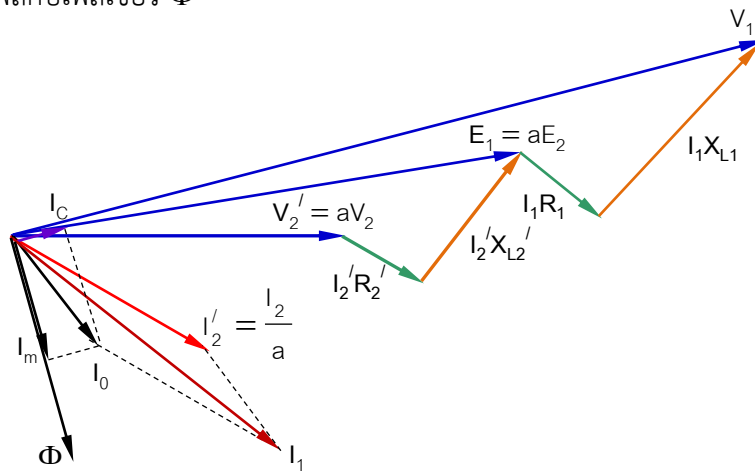
จากวงจรสมมูลรูปที่ 9.4 สามารถทำการโอนย้ายวงจรสมมูลค่าจริงจากทางด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิ หรือทางด้านทุติยภูมิมายังด้านปฐมภูมิได้โดยอาศัยคุณสมบัติการถ่ายโอนอิมพีแดนซ์ที่ได้กล่าวมาแล้วในหน่วยที่ 8 หัวข้อที่ 8.2.3 นอกจากนี้ยังทำให้การวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ของตัวอย่างที่ 9.1 มีความสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งการโอนย้ายวงจรสมมูลทำได้ดังนี้

9.4.1 การโอนย้ายวงจรสมมูลจากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิ เป็นการค่าต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ แรงดัน V_2, E_2 กระแส I_2 ความต้านทาน R_2, X_{L2} และ Z_L มาไว้ทางด้านปฐมภูมิ โดยค่าต่าง ๆ ที่โอนย้ายไปมีค่าดังนี้

$$E_1 = E'_2 = aE_2 \quad V'_2 = aV_2$$

$$\begin{aligned} I_2' &= \frac{I_2}{a} & R_2' &= a^2 R_2 \\ X_{L2}' &= a^2 X_{L2} & \text{และ} & Z_L' &= a^2 Z_L \end{aligned}$$

จากวงจรสมมูลจริง นำมาเขียนเป็นแผนภาพเฟสเซอร์ได้ดังรูปที่ 9.6 โดยให้เฟสเซอร์ของแรงดัน V_2' เป็นแกนอ้างอิง มีเฟสเซอร์ของกระแส I_2' ล้าหลัง V_2' เป็นมุม θ_2' เฟสเซอร์ $I_2'R_2'$ ร่วมเฟสกับ I_2' และเฟสเซอร์ $I_2'X_{L2}'$ นำหน้า $I_2'R_2'$ เป็นมุม 90° ผลรวมของเฟสเซอร์ V_2' , $I_2'R_2'$ และ $I_2'X_{L2}'$ ได้เฟสเซอร์ E_1 โดยมีเฟสเซอร์ I_1R_1 ร่วมเฟสกับ I_1 และเฟสเซอร์ I_1X_{L1} นำหน้า I_1R_1 เป็นมุม 90° ผลรวมของเฟสเซอร์ E_1 , I_1R_1 และ I_1X_{L1} จะได้เฟสเซอร์ V_1 จะเห็นได้ยิ่งกว่าเฟสเซอร์ของกระแส I_C ร่วมเฟสกับเฟสเซอร์ E_1 เฟสเซอร์ของกระแส I_m ร่วมเฟสกับเฟสเซอร์ Φ



รูปที่ 9.3 แผนภาพเฟสเซอร์เมื่อโอนย้ายค่าต่าง ๆ อยู่ทางด้านปฐมภูมิ

จากแผนภาพเฟสเซอร์ ได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

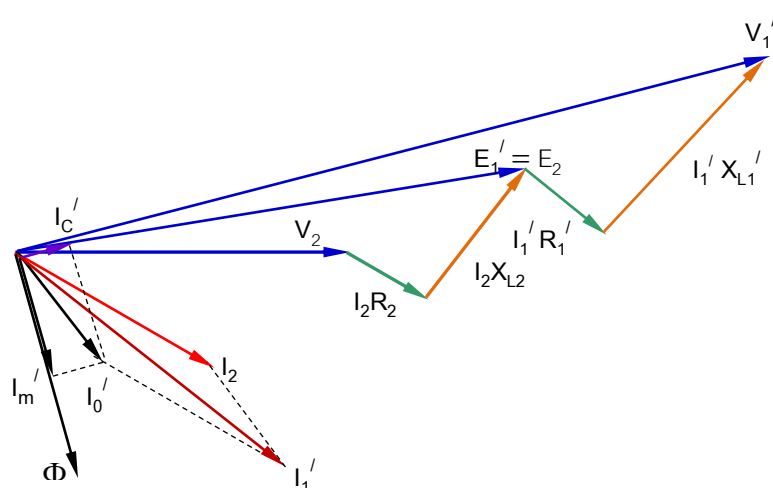
$$E_1 = V_2' + I_2'R_2' + I_2'X_{L2}' \quad \dots (9.7)$$

และ

$$V_1 = E_1 + I_1R_1 + I_1X_{L1} \quad \dots (9.8)$$

9.4.2 การโอนย้ายวงจรสมมูลจากทางด้านปฐมภูมิไปไว้ทางด้านทุติยภูมิ เป็นการนำค่าต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ แรงดัน V_1, E_1 กระแส I_1 ความต้านทาน R_1, X_{L1} และ R_C, X_m ไปไว้ทางด้านทุติยภูมิ โดยค่าต่าง ๆ ที่โอนย้ายไปมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} V_1' &= \frac{V_1}{a} & E_1' &= \frac{E_1}{a} \\ I_0' &= aI_0 & I_1' &= aI_1 \\ I_C' &= aI_C & I_m' &= aI_m \\ R_1' &= \frac{R_1}{a^2} & X_{L1}' &= \frac{X_{L1}}{a^2} \\ R_C' &= \frac{R_C}{a^2} & X_m' &= \frac{X_m}{a^2} \end{aligned}$$



รูปที่ 9.4 แผนภาพเฟสเซอร์เมื่อโอนย้ายค่าต่าง ๆ อยู่ทางด้านทุติยภูมิ

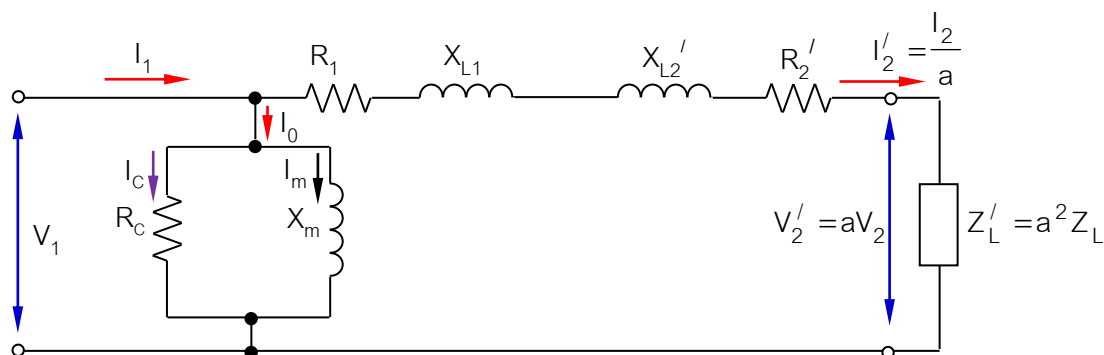
จากวงจรรูปที่ 9.7 และแผนภาพเฟสเซอร์รูปที่ 9.8 ได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$E_1' = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_{L2} \quad \dots (9.9)$$

และ $V_1' = E_1' + I_1' R_1' + I_1' X_{L1}' \quad \dots (9.10)$

9.5 วงจรสมมูลค่าโดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้า

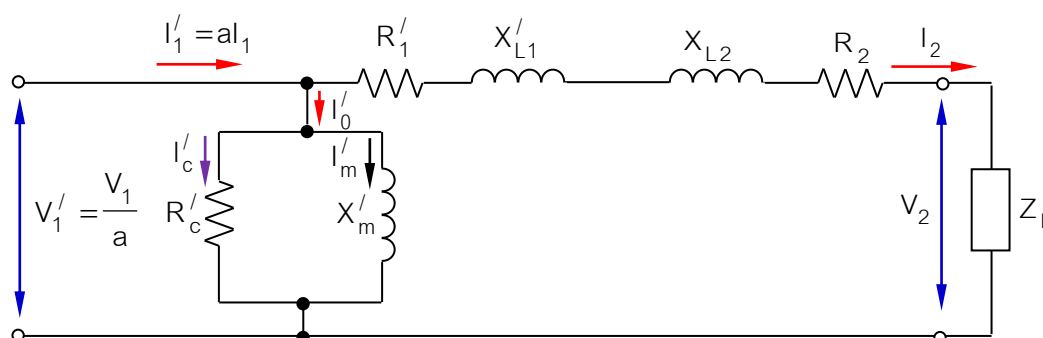
9.5.1 วงจรสมมูลค่าโดยประมาณจากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิ จากวงจรสมมูลค่าจริงของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปที่ 9.5 เพื่อให้การวิเคราะห์เกี่ยวกับค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้ามีความสะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากกระแส I_0 มีค่าน้อยประมาณ 4-8 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกระแสพิกัด ดังนั้นจึงนำค่า R_c และค่า X_m ที่ต่อขนานกันนำมาไว้ด้านหน้าซึ่งต่อเข้ากับแรงดัน V_1 ดังรูป



รูปที่ 9.5 วงจรสมมูลค่าโดยประมาณเมื่อโอนย้ายค่าต่าง ๆ อยู่ทางด้านปฐมภูมิ

จากรูป จะเห็นว่าค่าความต้านทาน R_1 และ R_2' ต่อกันสามารถนำมารวมกันได้เป็นค่าความต้านทานค่าใหม่เรียกว่า ค่าความต้านทานสมมูลแบบอนุกรม (Equivalent series resistance) เมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิกำหนดให้เป็น R_{eq1} และค่ารีแอ็กแตนซ์รั่วซึม X_{L1} และ X_{L2}' ต่อกันเช่นกัน ดังนั้นสามารถนำมารวมกันได้เป็นค่ารีแอ็กแตนซ์รั่วซึมค่าใหม่เรียกว่า ค่ารีแอ็กแตนซ์สมมูลแบบอนุกรม

9.5.2 วงจรสมมูลค่าโดยประมาณจากทางด้านปฐมภูมิไปไว้ทางด้านทุติยภูมิ จากวงจรสมมูลค่าจริงของหม้อแปลงไฟฟ้ารูปที่ 9.5 นอกจากการย้ายค่าจากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิแล้วยังสามารถย้ายค่าจากทางด้านปฐมภูมิไปไว้ทางด้านทุติยภูมิได้เช่นกัน ดังรูปที่ 9.12



รูปที่ 9.12 วงจรสมมูลค่าโดยประมาณเมื่อโอนย้ายค่าต่าง ๆ อยู่ทางด้านทุติยภูมิ

จากรูปที่ 9.12 จะเห็นว่าค่าความต้านทาน R_1' และ R_2 ต่ออนุกรมกันสามารถนำมารวมกันได้เป็นค่าความต้านทานค่าใหม่เรียกว่า **ค่าความต้านทานสมมูลแบบอนุกรม** (Equivalent series resistance) เมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิกำหนดให้เป็น R_{eq2} และค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึม X_{L1}' และ X_{L2} ต่ออนุกรมกันเช่นกันดังนั้นสามารถนำมารวมกันได้เป็นค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึมค่าใหม่เรียกว่า **ค่ารีแอคแตนซ์สมมูลแบบอนุกรม** (Equivalent series reactance) กำหนดให้เป็น X_{eq2} เขียนเป็นวงจรสมมูลได้ใหม่ดังรูปที่ 9.13 และแผนภาพเฟสเซอร์ดังรูปที่ 9.14

ตัวอย่างที่ 9.2 จากตัวอย่างที่ 9.1 ถ้ามีการโอนย้ายค่าต่าง ๆ มาไว้ทางด้านปฐมภูมิ และใช้วิธีค่าโดยประมาณ จงคำนวณหา

- แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ
- กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่โหลด
- กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ของตัวอย่างที่ 9.1 ดังนี้

$$\text{พิกัด} = 72 \text{ kVA} \quad \text{อัตราส่วนแรงดัน} = 2400/240 \text{ V} \quad \text{pf}_2 = 0.8 \quad \text{ถ้าห้} \quad V_2 = 240 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \, \Omega \quad X_{L1} = 1.5 \, \Omega \quad R_c = 4000 \, \Omega$$

$$R_2 = 0.01 \, \Omega \quad X_{L2} = 0.015 \, \Omega \quad X_m = 1280 \, \Omega$$

หาค่าต่าง ๆ ก่อนได้ดังนี้

$$a = \text{อัตราส่วนแรงดัน} = \frac{2400}{240} = 10$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(\text{pf}_2) = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ$$

$$I_2 = \frac{\text{kVA}}{V_2} = \frac{72 \times 10^3}{240} = 300 \text{ A}$$

$$I_2' = \frac{I_2}{a} = \frac{300 \angle -36.87^\circ}{10} = 30 \angle -36.87^\circ$$

$$V_2' = aV_2 = 10 \times 240 \angle 0^\circ = 2400 \angle 0^\circ$$

$$\begin{aligned} R_{eq1} &= R_1 + R_2' \\ &= R_1 + a^2 R_2 \\ &= 1 + (10^2 \times 0.01) \end{aligned}$$

$$R_{eq1} = 2 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} X_{eq1} &= X_{L1} + X_{L2}' \\ &= X_{L1} + a^2 X_{L2} \\ &= 1.5 + (10^2 \times 0.015) \end{aligned}$$

$$X_{eq1} = 3 \, \Omega$$

ก. แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ

จากสมการ

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2' + I_2' (R_{eq1} + jX_{eq1}) \\ &= 2400 \angle 0^\circ + 30 \angle -36.87^\circ \times (2 + j3) \\ &= 2400 \angle 0^\circ + (30 \angle -36.87^\circ \times 3.605 \angle 56.31^\circ) \\ &= 2400 \angle 0^\circ + 108.15 \angle 19.44^\circ \\ V_1 &= 2502.24 \angle 0.82^\circ \, V \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 2502.24 V **ตอบ**

แต่จากตัวอย่างที่ 9.1 เป็นการคำนวณโดยใช้ค่าของวงจรสมมูลจริง **ตอบ** 2505.59 $\angle 0.8^\circ$ V เห็นว่าค่าที่ได้จากวงจรสมมูลโดยประมาณมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าของวงจรสมมูลจริง

ข. กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

$$I_c = \frac{V_1}{R_c} = \frac{2502.24 \angle 0.82^\circ}{4000 \angle 0^\circ}$$

$$I_c = 0.625 \angle 0.82^\circ \, A$$

$$I_m = \frac{V_1}{jX_m} = \frac{2502.24 \angle 0.82^\circ}{1280 \angle 90^\circ}$$

$$I_m = 1.954 \angle -89.18^\circ \, A$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_0 &= I_c + I_m \\ &= 0.625 \angle 0.82^\circ + 1.954 \angle -89.18^\circ \end{aligned}$$

$$I_0 = 2.051 \angle -71.44^\circ \, A$$

กระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลดมีค่าเท่ากับ

2.051 A **ตอบ**

ค. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad I_1 &= I_0 + I_2' = I_0 \angle -\theta_0 + I_2' \angle -\theta_2 \\ &= 2 \angle -71.44^\circ + 30 \angle -36.87^\circ \\ &= 31.66 \angle -38.92^\circ \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมามีค่าเท่ากับ

$$31.66 \text{ A} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 9.3 จากตัวอย่างที่ 9.1 ถ้ามีการโอนย้ายค่าต่าง ๆ มาไว้ทางด้านทุติยภูมิ และใช้วิธีค่าโดยประมาณ จงคำนวณหา

ก. แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ

ข. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

วิธีทำ

$$\begin{aligned} R_{eq2} &= R_2 + R_1' = R_2 + \frac{R_1}{a^2} \\ R_{eq2} &= 0.01 + \left(\frac{1}{10^2}\right) = 0.02 \, \Omega \\ X_{eq2} &= X_{L2} + X_{L1}' = X_{L2} + \frac{X_{L1}}{a^2} \\ X_{eq2} &= 0.015 + \left(\frac{1.5}{10^2}\right) = 0.03 \, \Omega \end{aligned}$$

ก. แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ

จากสมการ

$$\begin{aligned} V_1' &= V_2 + I_2 (R_{eq2} + jX_{eq2}) \\ &= 240 \angle 0^\circ + 300 \angle -36.87^\circ \times (0.02 + j0.03) \\ &= 240 \angle 0^\circ + (300 \angle -36.87^\circ \times 0.036 \angle 56.31^\circ) \\ &= 240 \angle 0^\circ + 10.815 \angle 19.44^\circ \\ V_1' &= 250.22 \angle 0.82^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} V_1 &= aV_1' = 10 \times 250.22 \angle 0.82^\circ \\ &= 2502.2 \angle 0.82^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงด้านปฐมภูมามีค่าเท่ากับ

$$2502.2 \text{ V} \quad \text{ตอบ}$$

ข. กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} I_1' &= I_0' + I_2 = aI_0 \angle -\theta_0 + I_2 \angle -\theta_2 \\ &= (10 \times 2) \angle -71.44^\circ + 300 \angle -36.87^\circ \\ I_1' &= 316.6 \angle -38.92^\circ \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{I_1'}{a} = \frac{316.6 \angle -38.92^\circ}{10} \\ &= 31.66 \angle -38.92^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมามีค่าเท่ากับ

$$31.66 \text{ A} \quad \text{ตอบ}$$

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 9 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้สื่อ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 9 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 9 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า แล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 9 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 9 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 9 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 9 1. power point หน่วยที่ 9 2. คำถามหน่วยที่ 9 1. ใบสรุปหน่วยที่ 9 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 9 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 9 จำนวน 18 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 9 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 8

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงแล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง สุรน แก่นตัน ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 9
4. ใบมอบหมายงานที่ 9

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 9 จำนวน 18 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 9 จำนวน 18 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 9 จำนวน 18 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุรน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 9 หัวข้อเนื้อหาที่สอน วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
-
-
-

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่	รายการประเมิน	คะแนน เต็ม	คะแนน ที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน) 1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง 1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	4 3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10	หน่วยที่ 10
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 15
	ชื่อหน่วย การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	ชั่วโมงรวม 5 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 10.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร
- 10.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร
- 10.3 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

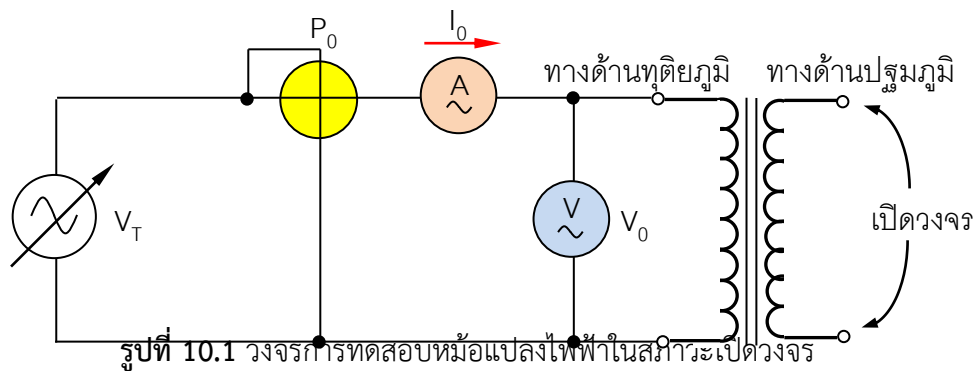
1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจรและในสภาวะลัดวงจร
2. ต่อย่างจรทดสอบและสรุปผลจากการทดลองการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจรและในสภาวะลัดวงจร

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจรได้ 2. อธิบายการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจรได้ 3. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าได้	1. ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจรได้ 2. ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจรได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่องานของตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพ 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

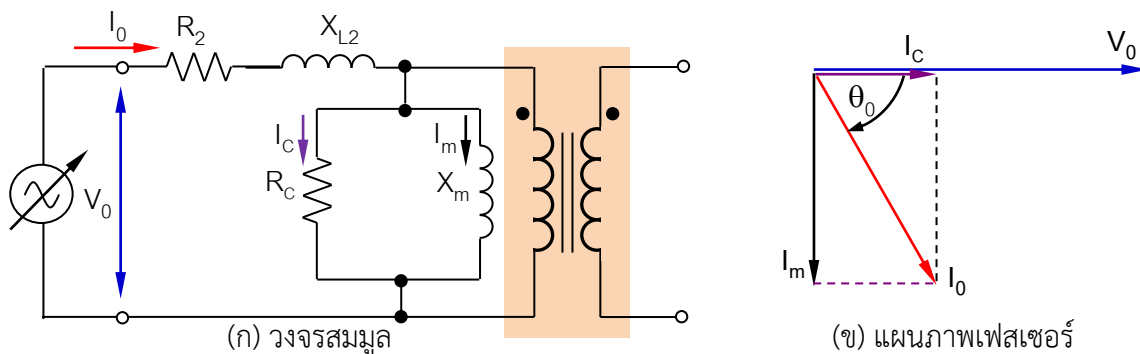
10.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร

การทดสอบแบบนี้สามารถกระทำได้ทั้ง 2 ด้านของตัวหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการเปิดวงจรทางด้านใดด้านหนึ่ง ส่วนมากจะกระทำทางด้านทุติยภูมิแล้วเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิ เพราะการทดสอบแบบนี้ต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เท่ากับพิกัดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้น้อยกว่าทางด้านปฐมภูมิ การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจรก็คือการที่ให้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในลักษณะไม่มีโหลด โดยให้ด้านขดลวดทุติยภูมิต่อกับแรงดันไฟฟ้าตามพิกัด (Rated voltage) ของหม้อแปลงไฟฟ้าส่วนขดลวดทางด้านปฐมภูมิให้เปิดวงจรไว้ โดยมีเครื่องวัดไฟฟ้าที่สำคัญต่ออยู่ด้วยก็คือ วัดตมิตอร์ แอมมิเตอร์ และโวลตมิเตอร์ ดังรูป



รูปที่ 10.1 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร

จากรูป เมื่อค่อย ๆ ปรับแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิให้ได้ตามพิกัดแล้ว ซึ่งค่าที่อ่านได้จากวัดตมิตอร์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก ส่วนโวลตมิเตอร์ที่ต่ออยู่อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด และแอมมิเตอร์ที่อ่านได้เป็นค่าของกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด ซึ่งจะมีค่าประมาณ 4-8 เปอร์เซ็นต์ของกระแสไฟฟ้าที่พิกัด จากวงจรการทดสอบเขียนเป็นวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะไม่มีโหลด ดังรูปเนื่องจากกระแส I_0 มีค่าน้อย ผลทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากขดลวดน้อยมาก ($P_{co2} = I_0^2 R_2$) จึงไม่นำมาคิด ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัดตมิตอร์จึงเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กทั้งหมด ส่วนแผนภาพเฟสเซอร์แสดงดังรูป โดยเฟสเซอร์ของกระแส I_0 ล้าหลังแรงดัน V_0 เป็นมุมเฟส θ_0 และเฟสเซอร์ของ I_C ร่วมเฟสกับแรงดัน V_0 ส่วนเฟสเซอร์ของกระแส I_m ล้าหลังแรงดัน V_0 เป็นมุม 90°



(ก) วงจรสมมูล

(ข) แผนภาพเฟสเซอร์

รูปที่ 10.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าและแผนภาพเฟสเซอร์ในสภาวะเปิดวงจร

จากวงจรสมมูลรูปเห็นว่ากระแส I_0 แยกไหลเป็นสองส่วนคือกระแส I_c กับกระแส I_m และเมื่อทราบค่าของกระแส I_0 ก็ทำให้ทราบค่าของกระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก กระแสทำแม่เหล็ก ค่าความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กและค่ารีแอ็กแตนซ์ทำแม่เหล็กได้ตามลำดับ ได้ดังนี้

$$I_c = I_0 \cos \theta_0 \quad \dots (10.1)$$

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 \quad \dots (10.2)$$

$$R_c = \frac{V_0}{I_c} \quad \dots (10.3)$$

$$X_m = \frac{V_0}{I_m} \quad \dots (10.4)$$

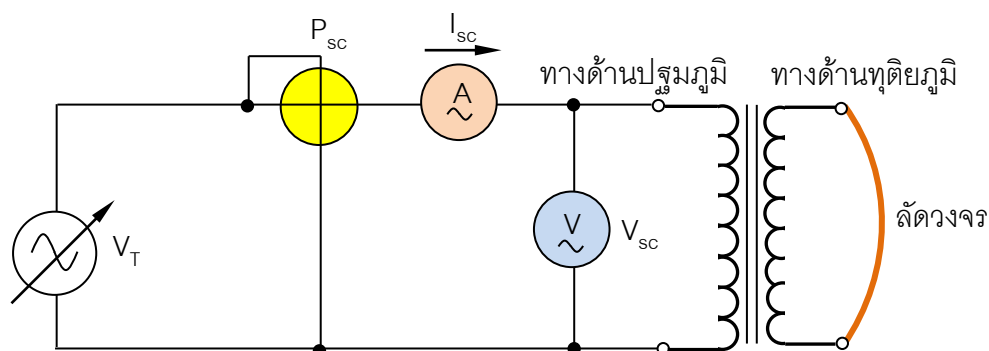
นอกจากนี้ยังหาหมุมเฟสระหว่างแรงดัน V_0 กับกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด I_0 ได้ดังนี้

$$P_0 = V_0 I_0 \cos \theta_0$$

ดังนั้น $\theta_0 = \cos^{-1} \left(\frac{P_0}{V_0 I_0} \right) \quad \dots (10.5)$

10.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจรก็คือให้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแล้วปรับแรงดันไฟฟ้าให้ได้กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิเท่ากับพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยขดลวดทางด้านทุติยภูมิให้ลัดวงจรไว้ ซึ่งมีเครื่องวัดไฟฟ้าที่สำคัญต่ออยู่ด้วย คือ วัดวัตต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 10.3 เมื่อปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ทางด้านปฐมภูมิโดยให้แอมมิเตอร์อ่านค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับพิกัดกระแสของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมดของทั้งสองด้าน (มนตรี สุวรรณภินคาร, 2550: 153) ส่วนโวลต์มิเตอร์ที่ต่ออยู่อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขณะลัดวงจรซึ่งมีค่าประมาณ 5-12 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด



รูปที่ 10.3 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร

จากรูปที่ 10.3 ถ้ากำหนดให้

P_{sc} = กำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์

V_{sc} = แรงดันไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์

I_{sc} = กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์

จากการทดสอบมาหาค่าต่าง ๆ ได้ตามลำดับ ได้ดังนี้

$$Z_{eq1} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad \dots (10.6)$$

และ $R_{eq1} = \frac{P_{sc}}{(I_{sc})^2} \quad \dots (10.7)$

และ $X_{eq1} = \sqrt{(Z_{eq1})^2 - (R_{eq1})^2} \quad \dots (10.8)$

เมื่อ Z_{eq1} = อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

R_{eq1} = ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

X_{eq1} = รีแอक्टแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ

10.3 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 10.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 kVA ขนาดแรงดัน 2400/240 V จากการทดสอบ ดังนี้

ทดสอบในสภาวะเปิดวงจร (เปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิ) $V_0 = 240 \text{ V}$ $I_0 = 4.85 \text{ A}$ $P_0 = 173 \text{ W}$

ทดสอบในสภาวะลัดวงจร (ลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิ) $V_{sc} = 52 \text{ V}$ $I_{sc} = 20.8 \text{ A}$ $P_{sc} = 650 \text{ W}$

(Mulukutla S. Sarmar and Mukesh K. Pathak, 2010 : 137) จงคำนวณหา

- กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก
- กระแสทำแม่เหล็ก
- ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิ (แรงต่ำ)
- รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็กทางด้านทุติยภูมิ (แรงต่ำ)
- อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)
- ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)
- รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

วิธีทำ เมื่อทดสอบในสภาวะเปิดวงจร โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_0 = 240 \text{ V} \quad I_0 = 4.85 \text{ A} \quad \text{และ} \quad P_0 = 173 \text{ W}$$

หามุมเฟสระหว่างแรงดัน V_0 กับกระแส I_0

$$\text{จากสมการ} \quad \theta_0 = \cos^{-1} \left(\frac{P_0}{V_0 I_0} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{173}{240 \times 4.85} \right)$$

$$\theta_0 = \cos^{-1} (0.148) = 81.48^\circ$$

ก. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก

$$I_c = I_0 \cos \theta_0 = 4.85 \times \cos 81.48^\circ$$

$$I_c = 4.85 \times 0.148$$

$$I_c = 0.717 \text{ A}$$

กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ

0.717 A **ตอบ**

ข. กระแสทำแม่เหล็ก

$$\begin{aligned} I_m &= I_0 \sin \theta_0 \\ &= 4.85 \times \sin 81.48^\circ \\ I_m &= 4.791 \text{ A} \end{aligned}$$

กระแสทำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ

4.791 A **ตอบ**

ค. ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{V_0}{I_c} = \frac{240}{0.717} \\ R_c &= 334.72 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ

334.72 Ω **ตอบ**

ง. รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็กทางด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{V_0}{I_m} = \frac{240}{4.791} \\ X_m &= 50.09 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็กทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ

50.09 Ω **ตอบ**

เมื่อทดสอบในสภาวะลัดวงจร โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_{sc} = 52 \text{ V} \quad I_{sc} = 20.8 \text{ A} \quad \text{และ} \quad P_{sc} = 650 \text{ W}$$

จ. อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad Z_{eq1} &= \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \\ &= \frac{52}{20.8} \\ Z_{eq1} &= 2.5 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ

2.5 Ω **ตอบ**

ฉ. ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad R_{eq1} &= \frac{P_{sc}}{(I_{sc})^2} \\ &= \frac{650}{(20.8)^2} \\ R_{eq1} &= 1.5 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ

1.5 Ω **ตอบ**

ช. รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิ (แรงสูง)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad X_{eq1} &= \sqrt{(Z_{eq1})^2 - (R_{eq1})^2} \\ &= \sqrt{(2.5)^2 - (1.5)^2} \\ X_{eq1} &= 2 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านปฏุมภูมิมีค่าเท่ากับ

2 Ω

ตอบ

ตัวอย่างที่ 10.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 50 kVA ขนาดแรงดัน 480/20000 V ซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเพิ่มแรงดันไฟฟ้า จากการทดสอบให้ผลดังนี้

	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
ทดสอบสภาวะเปิดวงจร (เปิดวงจรทางด้านแรงสูง)	480	4.1	620
ทดสอบสภาวะลัดวงจร (ลัดวงจรทางด้านแรงต่ำ)	1130	2.5	1250

หมายเหตุ ให้ทางด้านรับไฟเป็นด้านปฏุมภูมิ (480 V) และทางด้านจ่ายไฟเป็นด้านทุติยภูมิ (20000 V)

จงคำนวณหา

- กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก
- กระแสทำแม่เหล็ก
- ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กทางด้านปฏุมภูมิ
- รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็กทางด้านปฏุมภูมิ
- อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ
- ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ
- รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ

วิธีทำ เมื่อทดสอบในสภาวะเปิดวงจร โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_0 = 480 \text{ V} \quad I_0 = 4.1 \text{ A} \quad \text{และ} \quad P_0 = 620 \text{ W}$$

หามุมเฟสระหว่างแรงดัน V_0 กับกระแส I_0

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \theta_0 &= \cos^{-1} \left(\frac{P_0}{V_0 I_0} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{620}{480 \times 4.1} \right) \\ &= \cos^{-1} (0.315) \\ \theta_0 &= 71.64^\circ \end{aligned}$$

ก. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก

$$\begin{aligned} I_c &= I_0 \cos \theta_0 = 4.1 \times \cos 71.64^\circ \\ I_c &= 1.291 \text{ A} \end{aligned}$$

กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับ

1.291 A **ตอบ**

ข. กระแสทำแม่เหล็ก

$$\begin{aligned} I_m &= I_0 \sin \theta_0 = 4.1 \times \sin 71.64^\circ \\ I_m &= 3.891 \text{ A} \end{aligned}$$

กระแสทำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ

3.891 A **ตอบ**

ค. ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{V_0}{I_c} \\ &= \frac{480}{1.291} \\ R_c &= 371.80 \, \Omega \end{aligned}$$

ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็กทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 371.80 Ω **ตอบ**

ง. รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็กทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{V_0}{I_m} \\ &= \frac{480}{3.891} \\ X_m &= 123.36 \, \Omega \end{aligned}$$

รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็กทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 123.36 Ω **ตอบ**

เมื่อทดสอบในสภาวะลัดวงจร โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_{sc} = 1130 \, V \quad I_{sc} = 2.5 \, A \quad \text{และ} \quad P_{sc} = 1250 \, W$$

จ. อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad Z_{eq2} &= \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \\ &= \frac{1130}{2.5} \\ Z_{eq2} &= 452 \, \Omega \end{aligned}$$

อิมพีแดนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 452 Ω **ตอบ**

ฉ. ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad R_{eq2} &= \frac{P_{sc}}{(I_{sc})^2} \\ &= \frac{1250}{(2.5)^2} \\ R_{eq2} &= 200 \, \Omega \end{aligned}$$

ความต้านทานสมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 200 Ω **ตอบ**

ช. รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad X_{eq2} &= \sqrt{(Z_{eq2})^2 - (R_{eq2})^2} \\ &= \sqrt{(452)^2 - (200)^2} \\ X_{eq2} &= 405.34 \, \Omega \end{aligned}$$

รีแอกแตนซ์สมมูลเมื่อพิจารณาทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 405.34 Ω **ตอบ**

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 10 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้สื่อ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 10 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจสอบผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 10 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า แล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของกาทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 10 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 10 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 10 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 10 1. power point หน่วยที่ 10 2. คำถามหน่วยที่ 10 1. ใบสรุปหน่วยที่ 10 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 10 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 10 จำนวน 14 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 10 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 10

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงแล้วทำ

รายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 10
4. ใบมอบหมายงานที่ 10

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 10 จำนวน 14 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 10 จำนวน 14 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 10 จำนวน 14 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 10 หัวข้อเนื้อหาที่สอน การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่	รายการประเมิน	คะแนน เต็ม	คะแนน ที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน)			
	1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง	4		
	1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 11	หน่วยที่ 11
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 16
	ชื่อหน่วย ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	ชั่วโมงรวม 5 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 11.1 การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า
- 11.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่พิกัดใด ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 11.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 11.4 การคำนวณค่าต่าง ๆ ในการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 11.5 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 11.6 ประสิทธิภาพตลอดวัน
- 11.7 การคำนวณหาประสิทธิภาพตลอดวัน

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพและประสิทธิภาพตลอดวันของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ต่อย่างจรทดสอบและสรุปผลจากการทดลองการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

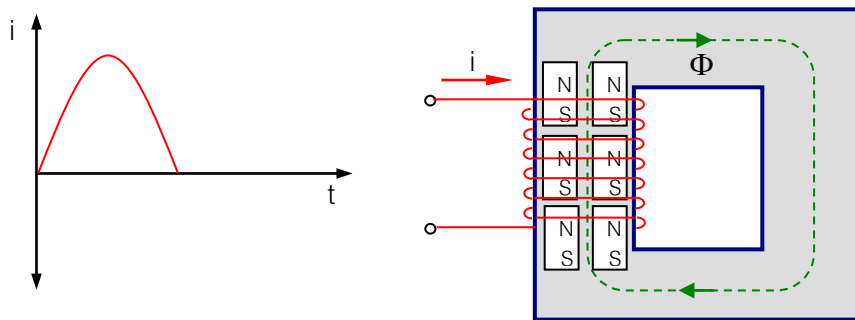
สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 2. อธิบายกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่พิกัดใด ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 3. อธิบายประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 4. คำนวณค่าต่าง ๆ ในการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 5. อธิบายภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 6. อธิบายประสิทธิภาพตลอดวันได้ 7. คำนวณหาประสิทธิภาพตลอดวันได้	1. ต่อย่างจรการทดสอบหาประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อนตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพงาม 6. ทำงานด้วยความเต็มใจ

11.1 การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

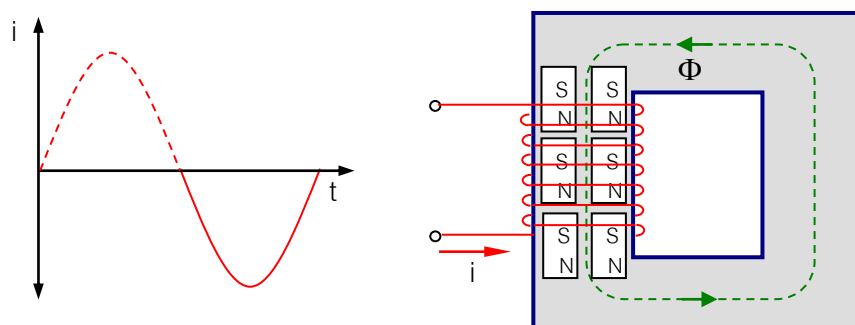
11.1.1 การสูญเสียในแกนเหล็ก การสูญเสียส่วนนี้จะเกิดขึ้นในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งออกได้เป็น

1.การสูญเสียจากฮิสเทอรีซิส เกิดขึ้นเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางตลอดเวลาตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้ามามานั้นเมื่อพิจารณาจากรูปเมื่อครึ่งไซเคิลบวกเข้ามาจ่ายให้กับขดลวดของหม้อแปลง ก็ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามไฟฟ้ากระแสสลับและมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กนี้ทำให้โมเมนต์ของแกนเหล็กเรียงตัวเป็นแบบ N-S และ N-S รอบแกนเหล็กตามทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเช่นเดียวกัน



(ก) เมื่อครึ่งไซเคิลบวกเข้ามาจ่ายให้กับขดลวด

รูปที่ 11.1 การเกิดฮิสเทอรีซิสในแกนเหล็ก

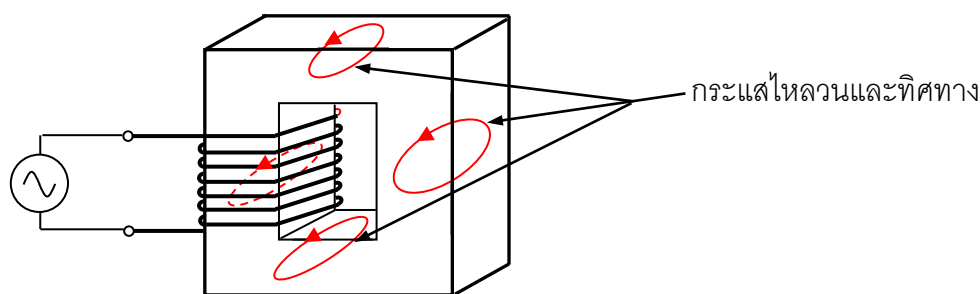


(ข) เมื่อครึ่งไซเคิลลบเข้ามาจ่ายให้กับขดลวด

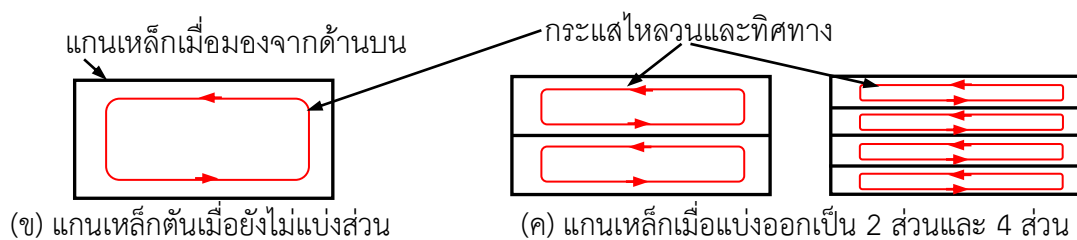
รูปที่ 11.1 (ต่อ) การเกิดฮิสเทอรีซิสในแกนเหล็ก

จากรูป เมื่อครึ่งไซเคิลลบเข้ามาจ่ายให้กับขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า ก็ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปตามไฟฟ้าสลับและมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กนี้ทำให้โมเมนต์ของแกนเหล็กเรียงตัวเป็นแบบ S-N และ S-N รอบแกนเหล็ก ตามทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กและเกิดการกลับทิศทางของโมเมนต์ในแกนเหล็ก ในการกลับตัวของโมเมนต์ต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งซึ่งพลังงานที่ใช้ไปก็คือกำลังสูญเสียซึ่งออกมาอยู่ในรูปของความร้อน

2. การสูญเสียจากกระแสไหลวน เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลวนภายในแกนเหล็กของตัวหม้อแปลงไฟฟ้า ถ้าให้แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแกนเหล็กตัน เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้ามาก็ทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงและตัดกับแกนเหล็กตันตลอดเวลาทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



(ก) การเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็กตัน



(ข) แกนเหล็กตันเมื่อยังไม่แบ่งส่วน

(ค) แกนเหล็กเมื่อแบ่งออกเป็น 2 ส่วนและ 4 ส่วน

รูปที่ 11.2 การเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็กและทิศทางเมื่อแบ่งออกเป็นส่วน ๆ

11.1.2 การสูญเสียในขดลวดทองแดง เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าพันจากขดลวดทองแดงทั้งสองด้าน จึงมีค่าความต้านทานจากขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนั้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดก็ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวด ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปและออกมาในรูปของความร้อน แบ่งออกเป็น

1. การสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิ
2. การสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านทุติยภูมิ

กำหนดให้ P_{co1} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิ

P_{co2} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทางด้านทุติยภูมิ

จากวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าความต้านทาน

$$P_{co1} = I_1^2 R_1 \quad \text{..... (11.1)}$$

$$P_{co2} = I_2^2 R_2 \quad \text{..... (11.2)}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของขดลวด (P_{co})

$$P_{co} = P_{co1} + P_{co2} \quad \text{..... (11.3)}$$

นอกจากนี้การหาลำดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทั้งหมดยังหาได้จากการย้ายค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

จากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิ

$$P_{co} = I_1^2 R_{eq1} \quad \text{..... (11.4)}$$

จากทางด้านปฐมภูมิมาไว้ทางด้านหุตยภูมิ

$$P_{co} = I_2^2 R_{eq2} \quad \dots (11.5)$$

11.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่พิกัดใด ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงนั้นเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดหรือได้จากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะลัดวงจรเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขด-ลวดทองแดงเมื่อเต็มพิกัดเช่นเดียวกัน แต่ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจ่ายโหลดน้อยกว่าพิกัดหรือมากกว่าพิกัดทำให้การสูญเสียจากขดลวดทองแดงนั้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (สุรน แก่นตัน, 2556: 140) ซึ่งสามารถหาค่าได้ที่โหลดต่าง ๆ กันดังนี้

กำหนดให้ P_{co} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทั้งหมดเมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัด
 P_{con} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทั้งหมดเมื่อจ่ายโหลดที่พิกัดใด ๆ
 และ n = จำนวนเท่าที่พิกัดใด ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อจ่ายโหลดเทียบกับพิกัด

จาก $P_{co} = I^2 R_{eq}$

ดังนั้นจำนวนเท่าที่พิกัดใด ๆ $P_{con} = (nI)^2 R_{eq}$

และอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้า $\frac{P_{con}}{P_{co}} = \frac{(nI)^2 R_{eq}}{I^2 R_{eq}}$

$$\frac{P_{con}}{P_{co}} = \frac{n^2 I^2 R_{eq}}{I^2 R_{eq}} = n^2$$

$$P_{con} = n^2 P_{co} \quad \dots (11.6)$$

11.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังอินพุตที่จ่ายเข้ามาให้กับหม้อแปลงเป็นกำลังไฟฟ้า และมีกำลังไฟฟ้าบางส่วนได้สูญเสียไปในแกนเหล็กและในขดลวด โดยกำลังที่เหลือเป็นกำลังไฟฟ้าทางเอาต์พุต ถ้ากำหนดให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตกับกำลังไฟฟ้าอินพุตก็คือประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100 \quad \dots (11.7)$$

11.4 การคำนวณค่าต่าง ๆ ในการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 11.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 25 kVA ขนาดแรงดัน 2200/250 V มีค่าความต้านทานจากขดลวดปฐมภูมิและหุตยภูมิเป็น $1.5 \, \Omega$ และ $0.01936 \, \Omega$ ตามลำดับ เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดที่ค่าตัว-ประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลังและมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 260 W จงคำนวณหา

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

ค. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$V_1 = 2200 \text{ V} \text{ และ } V_2 = 250 \text{ V}$$

$$R_1 = 1.5 \text{ } \Omega \text{ และ } R_2 = 0.01936 \text{ } \Omega$$

$$P_{f2} = 0.8 \text{ ล้าหลัง และ } P_c = 260 \text{ W}$$

$$\text{พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า} = 25 \text{ kVA}$$

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{2200}{250} = 8.8$$

$$I_1 = \frac{\text{kVA}}{V_1} = \frac{25 \times 10^3}{2200} = 11.36 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\text{kVA}}{V_2} = \frac{25 \times 10^3}{250} = 100 \text{ A}$$

ก. กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทั้งหมด

$$\begin{aligned} P_{co1} &= I_1^2 R_1 \\ &= (11.36)^2 \times 1.5 \\ &= 193.5 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{co2} &= I_2^2 R_2 \\ &= (100)^2 \times 0.01936 \\ &= 193.6 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{co} &= P_{co1} + P_{co2} \\ &= 193.5 + 193.6 \end{aligned}$$

$$P_{co} = 387.1 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากขดลวดทองแดงทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 387.1 W **ตอบ**

หรือหาได้จาก

$$P_{co} = I_1^2 R_{eq1}$$

โดย

$$\begin{aligned} R_{eq1} &= R_1 + a^2 R_2 \\ &= 1.5 + (8.8^2 \times 0.01936) \\ &= 3 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{co} &= I_1^2 R_{eq1} \\ &= (11.36)^2 \times 3 \\ &= 387.1 \text{ W} \end{aligned} \quad \text{จะเห็นว่าคำตอบมีค่าเท่ากัน}$$

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

$$P_{loss} = P_c + P_{co}$$

$$= 260 + 387.1$$

$$P_{\text{loss}} = 647.1 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 647.1 W **ตอบ**

ค. ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$P_{\text{out}} = \text{kVA} \times \text{pf}_2 = 25 \times 10^3 \times 0.8$$

$$= 20 \times 10^3 \text{ W} = 20 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{loss}}} \times 100$$

$$= \frac{20 \times 10^3}{20 \times 10^3 + 647.1} \times 100$$

$$= 96.87 \%$$

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 96.87 % **ตอบ**

11.5 ภาวะที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้า

จากการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่โหลด ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมดเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไฟฟ้าที่โหลด จากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดนี้จะมีค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จะเกิดประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ขดลวดทั้งหมดเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก

$$P_{\text{co}} = P_c \quad \text{..... (11.8)}$$

โดยกระแสไฟฟ้าทางด้านโหลดหรือกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ จะมีกระแสไฟฟ้าค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด กำหนดให้เป็น $I_2 \eta_{\text{max}}$ หาค่าได้ดังนี้

$$I_2^2 \eta_{\text{max}} R_{\text{eq2}} = P_c$$

$$I_2^2 \eta_{\text{max}} = \frac{P_c}{R_{\text{eq2}}}$$

$$I_2 \eta_{\text{max}} = \sqrt{\frac{P_c}{R_{\text{eq2}}}} \quad \text{..... (11.9)}$$

และค่า kVA ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด กำหนดให้เป็น $\text{kVA}_{\eta_{\text{max}}}$ หาได้ดังนี้
โดยนำค่าแรงดัน V_2 คูณเข้าไปในสมการที่ 11.10 จะได้

$$V_2 I_2 \eta_{\text{max}} = V_2 \times \sqrt{\frac{P_c}{R_{\text{eq2}}}}$$

$$V_2 I_2 \eta_{\text{max}} = V_2 \times \sqrt{\frac{P_c}{R_{\text{eq2}}}} \times \frac{I_2}{I_2}$$

นำค่า I_2 คูณทั้งเศษและส่วน

$$V_2 I_{2\eta_{\max}} = V_2 I_2 \times \sqrt{\frac{P_c}{I_2^2 R_{eq2}}}$$

$$kVA_{\eta_{\max}} = kVA \times \sqrt{\frac{P_c}{P_{co}}} \quad \dots (11.10)$$

ตัวอย่างที่ 11.2 หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย 50 kVA ขนาดแรงดัน 2400/240 V มีค่าความต้านทานสมมูลทางด้านทุติยภูมิ 0.015 Ω เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 173 W จงคำนวณหา

- ก. กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ข. ค่า kVA ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ค. ประสิทธิภาพสูงสุดที่ตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลัง

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า = 50 kVA $pf_2 = 0.8$ ล้าหลัง

$$V_1 = 2400 \text{ V} \quad V_2 = 240 \text{ V}$$

$$R_{eq2} = 0.015 \Omega \quad P_c = 173 \text{ W}$$

ก. กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

$$I_{2\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{P_c}{R_{eq2}}} = \sqrt{\frac{173}{0.015}}$$

$$I_{2\eta_{\max}} = 107.39 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเท่ากับ 107.39 A **ตอบ**

ข. ค่า kVA ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

$$I_2 = \frac{kVA}{V_2} = \frac{50 \times 10^3}{240} = 208.33 \text{ A}$$

$$P_{co} = I_2^2 R_{eq2} = (208.33)^2 \times 0.015$$

$$= 651 \text{ W}$$

จากสมการ

$$kVA_{\eta_{\max}} = kVA \times \sqrt{\frac{P_c}{P_{co}}} = 50 \times 10^3 \times \sqrt{\frac{173}{651}}$$

$$= 50 \times 10^3 \times 0.5155$$

$$kVA_{\eta_{\max}} = 25.775 \times 10^3 \text{ VA} = 25.755 \text{ kVA}$$

kVA ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดมีค่า 25.775 kVA **ตอบ**

ค. ประสิทธิภาพสูงสุดที่ตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลัง

ที่ประสิทธิภาพสูงสุดจะได้

$$P_{out} = kVA_{\eta_{\max}} \times pf_2$$

$$= 25.775 \times 10^3 \times 0.8 = 20620 \text{ W}$$

และ

$$P_{co} = P_c = 173 \text{ W}$$

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ} \quad \eta_{\max} &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_C + P_{\text{co}}} \times 100 \\ \eta_{\max} &= \frac{20620}{20620 + 173 + 173} \times 100 \\ \eta_{\max} &= 98.35 \%\end{aligned}$$

ประสิทธิภาพสูงสุดที่ตัวประกอบกำลัง 0.8 ถ้าหลังมีค่าเท่ากับ 98.35 % **ตอบ**

11.6 ประสิทธิภาพตลอดวัน

หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายนั้น ตัวหม้อแปลงไฟฟ้าถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่จ่ายโหลดยังคงมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กอยู่ตลอดเวลาและมีค่าคงที่ ถ้าโหลดในวันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงก็ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงสามารถหาประสิทธิภาพตลอดวัน (All day efficiency) (ไชยชาญ หินเกิด, 2553: 189) ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ประสิทธิภาพตลอดวัน} &= \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต}}{\text{พลังงานไฟฟ้าทางด้านอินพุต}} \times 100 \\ \eta_{\text{all day}} &= \frac{W_{\text{out}}}{W_{\text{in}}} \times 100 \\ \text{หรือ} \quad \eta_{\text{all day}} &= \frac{W_{\text{out}}}{W_{\text{out}} + W_C + W_{\text{co}}} \times 100 \quad \dots (11.12)\end{aligned}$$

11.7 การคำนวณหาประสิทธิภาพตลอดวัน

ตัวอย่างที่ 11.4 หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่ายขนาด 500 kVA มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก 3.5 kW กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด 4.5 kW ระหว่างวันใน 24 ชั่วโมง มีการจ่ายโหลดดังนี้

จำนวนชั่วโมง	โหลดที่จ่ายออกไป	ตัวประกอบกำลัง (pf ₂)
6	500 kVA	0.8 ล้าหลัง
10	400 kVA	0.75 ล้าหลัง
4	125 kVA	0.8 ล้าหลัง
4	—	—

จงคำนวณหาประสิทธิภาพตลอดวัน

วิธีทำ ที่โหลด 500 kVA หม้อแปลงไฟฟ้าทำงาน 6 ชั่วโมง (h = 6)

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{kVA ที่จ่ายโหลด}}{\text{kVA ที่พิกัด}} = \frac{500 \text{ kVA}}{500 \text{ kVA}} = 1 \\ P_{\text{co}(1/1)} &= n^2 P_{\text{co}} = \left(\frac{1}{1}\right)^2 \times 4.5 \text{ kW} = 4.5 \text{ kW} \\ W_{\text{co}(1/1)} &= P_{\text{co}(1/1)} \times h = 4.5 \text{ kW} \times 6 = 27 \text{ kWh}\end{aligned}$$

$$P_{out(1/1)} = kVA_{ที่จ่าย} \times pf_2 = 500 \text{ kVA} \times 0.8 = 400 \text{ kW}$$

$$W_{out(1/1)} = P_{out(1/1)} \times h = 400 \text{ kW} \times 6 = 2400 \text{ kWh}$$

ที่โหลด 400 kVA หม้อแปลงไฟฟ้าทำงาน 10 ชั่วโมง ($h = 10$)

$$n = \frac{kVA_{ที่จ่ายโหลด}}{kVA_{ที่พิกัด}} = \frac{400 \text{ kVA}}{500 \text{ kVA}} = \frac{4}{5}$$

$$P_{co(4/5)} = n^2 P_{co} = \left(\frac{4}{5}\right)^2 \times 4.5 \text{ kW} = 2.88 \text{ kW}$$

$$W_{co(4/5)} = P_{co(4/5)} \times h = 2.88 \text{ kW} \times 10 = 28.8 \text{ kWh}$$

$$P_{out(4/5)} = kVA_{ที่จ่าย} \times pf_2 = 400 \text{ kVA} \times 0.75 = 300 \text{ kW}$$

$$W_{out(4/5)} = P_{out(4/5)} \times h = 300 \text{ kW} \times 10 = 3000 \text{ kWh}$$

ที่โหลด 125 kVA หม้อแปลงไฟฟ้าทำงาน 4 ชั่วโมง ($h = 4$)

$$n = \frac{kVA_{ที่จ่ายโหลด}}{kVA_{ที่พิกัด}} = \frac{125 \text{ kVA}}{500 \text{ kVA}} = \frac{1}{4}$$

$$P_{co(1/4)} = n^2 P_{co} = \left(\frac{1}{4}\right)^2 \times 4.5 \text{ kW} \\ = 0.281 \text{ kW}$$

$$W_{co(1/4)} = P_{co(1/4)} \times h = 0.218 \text{ kW} \times 4 \\ = 1.124 \text{ kWh}$$

$$P_{out(1/4)} = kVA_{ที่จ่าย} \times pf_2 = 125 \text{ kVA} \times 0.8 \\ = 100 \text{ kW}$$

$$W_{out(1/4)} = P_{out(1/4)} \times h = 100 \text{ kW} \times 4 \\ = 400 \text{ kWh}$$

เนื่องจากการสูญเสียในแกนเหล็กเกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง ($h = 24$) และมีค่าคงที่จะได้

$$W_c = P_c \times h = 3.5 \text{ kW} \times 24 = 84 \text{ kWh}$$

ดังนั้น

$$W_{out} = W_{out(1/1)} + W_{out(4/5)} + W_{out(1/4)} \\ = 2400 \text{ kWh} + 3000 \text{ kWh} + 400 \text{ kWh} \\ = 5800 \text{ kWh}$$

และ

$$W_{co} = W_{co(1/1)} + W_{co(4/5)} + W_{co(1/4)} \\ = 27 \text{ kWh} + 28.8 \text{ kWh} + 1.124 \text{ kWh} \\ = 56.924 \text{ kWh}$$

จากสมการ

$$\eta_{all \text{ day}} = \frac{W_{out}}{W_{out} + W_c + W_{co}} \times 100 \\ = \frac{5800 \text{ kWh}}{5800 \text{ kWh} + 84 \text{ kWh} + 56.924 \text{ kWh}} \times 100 \\ \eta_{all \text{ day}} = 97.63 \%$$

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 11 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้สื่อ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 11 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจสอบผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 11 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าแล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญของประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 11 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 11 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 11 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 11 1. power point หน่วยที่ 11 2. คำถามหน่วยที่ 11 1. ใบสรุปหน่วยที่ 11 1.ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 11 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 11 จำนวน 16 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 11 1.ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 11

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ใช้งานจริงแล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง สุธน แก่นตัน ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 11
4. ใบมอบหมายงานที่ 11

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 11 จำนวน 16 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 11 จำนวน 16 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 11 จำนวน 16 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 11 หัวข้อเนื้อหาที่สอน ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
-
-
-

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่	รายการประเมิน	คะแนน เต็ม	คะแนน ที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน) 1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง 1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	4 3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ทำการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน
(.....)
...../...../.....

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 12	หน่วยที่ 12
	ชื่อวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1 รหัสวิชา 30104-2005	สอนครั้งที่ 17
	ชื่อหน่วย การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส	ชั่วโมงรวม 5 ชม.

หัวข้อเรื่อง (Topics)

- 12.1 รูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า
- 12.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – วาย
- 12.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – เดลตา
- 12.4 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – วาย
- 12.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – เดลตา
- 12.6 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส
- 12.7 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว แบบเดลตาเปิด

สมรรถนะย่อย (Element of Competency)

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส
2. ต้องวงจรทดสอบและสรุปผลจากการทดลองการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

สมรรถนะที่พึงประสงค์

ความรู้	ทักษะ	คุณธรรม/จริยธรรม
1. อธิบายรูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 2. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย-วายได้ 3. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-เดลตาได้ 4. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-วายได้ 5. อธิบายการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย-เดลตาได้ 6. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟสได้ 7. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว แบบเดลตาเปิดได้	1. ต้องวงจรทดสอบและสรุปผลจากการทดลองการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟสได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีความตระหนักในหน้าที่ของนักศึกษา 3. มีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม 4. แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ 5. แสดงความเคารพด้วยท่าทีที่สุภาพงาม 6. ทำงานด้วยความตั้งใจ

12.1 รูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า

ในการต่อโหลดเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส มีด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบวายและแบบเดลตา ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าก็ถือว่าเป็นโหลดของไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งมีการต่อแบบวายและเดลตาเช่นเดียวกัน โดยหม้อแปลงไฟฟ้ามีขดลวดทางด้านปฐมภูมิและขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งการต่อขดลวดของแต่ละด้านสามารถต่อได้ทั้งแบบวายและแบบเดลตา ดังนั้นแบบการต่อจึงขึ้นอยู่กับจำนวนหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 ตัวหรือ 3 ตัวเพื่อนำมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งมี 2 แบบ คือ

1. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัวมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

2. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 ตัวมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

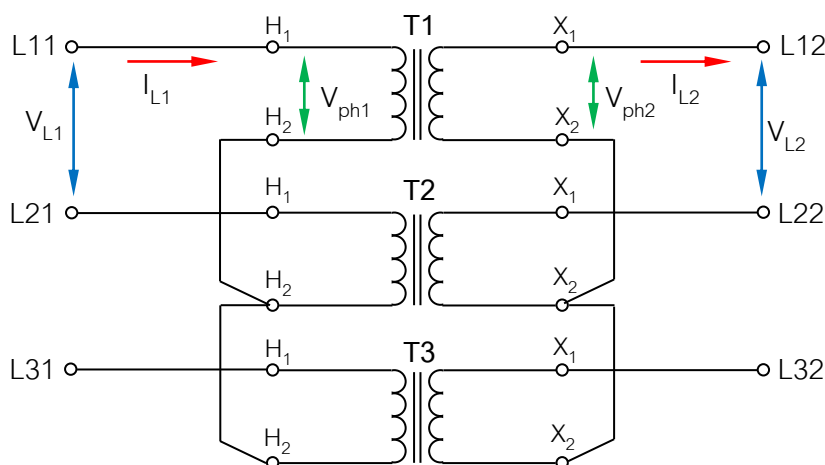
ซึ่งทั้ง 2 แบบยังมีรูปแบบการต่อเมื่อใช้กับไฟฟ้า 3 เฟส ดังตารางที่ 12.1

ตารางที่ 12.1 รูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 ตัวและ 3 ตัว เข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว	หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 2 ตัว
1. แบบวาย – ยาย (Y – Y)	1. แบบเดลตาเปิด (Open Δ)
2. แบบเดลตา – เดลตา (Δ – Δ)	2. แบบวายเปิด–เดลตาเปิด (Open Y–Open Δ)
3. แบบเดลตา – ยาย (Δ – Y)	3. แบบสก็อตต์ที (Scott – T)
4. แบบวาย – เดลตา (Y – Δ)	ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะแบบเดลตาเปิดเท่านั้น

12.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – ยาย

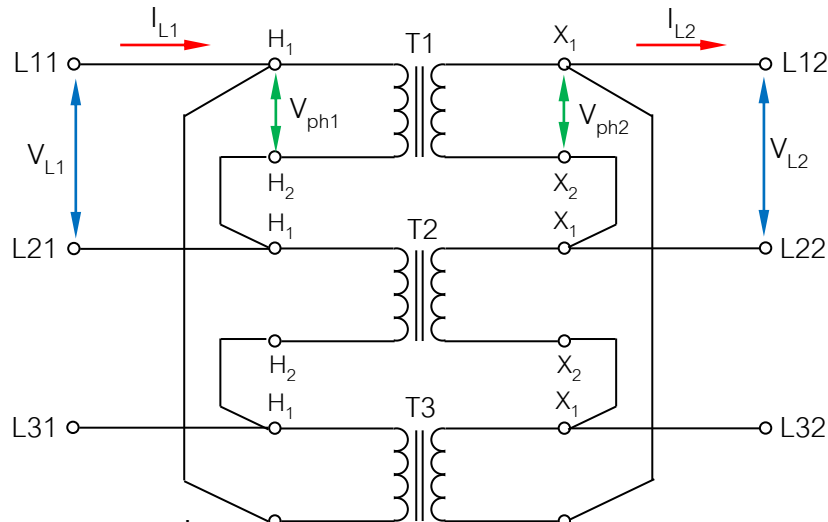
เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบวายและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบวายเช่นกัน ดังรูป โดยทางด้านปฐมภูมิจะนำปลาย H_2 ของหม้อแปลงไฟฟ้า T1, T2 และ T3 มาต่อรวมกัน และทางด้านทุติยภูมิจะนำปลาย X_2 ของหม้อแปลงไฟฟ้า T1, T2 และ T3 มาต่อรวมกันเช่นเดียวกัน



รูปที่ 12.1 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – ยาย

12.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – เดลตา

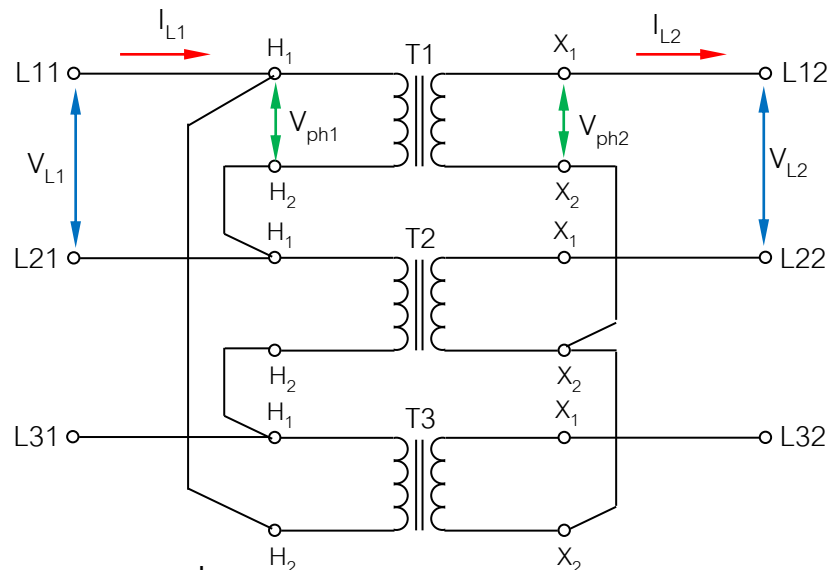
เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบเดลตาและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลตา เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 12.3 โดยทางด้านปฐมภูมิจะนำปลาย H_2 ของ T1 มาต่อเข้ากับต้น H_1 ของ T2 ปลาย H_2 ของ T2 มาต่อเข้ากับต้น H_1 ของ T3 และปลาย H_2 ของ T3 มาต่อเข้ากับต้น H_1 ของ T1 ส่วนทางด้านทุติยภูมิจะนำปลาย X_2 ของ T1 มาต่อเข้ากับต้น X_1 ของ T2 ปลาย X_2 ของ T2 มาต่อเข้ากับต้น X_1 ของ T3 และปลาย X_2 ของ T3 มาต่อเข้ากับต้น X_1 ของ T1



รูปที่ 12.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – เดลตา

12.4 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – วาย

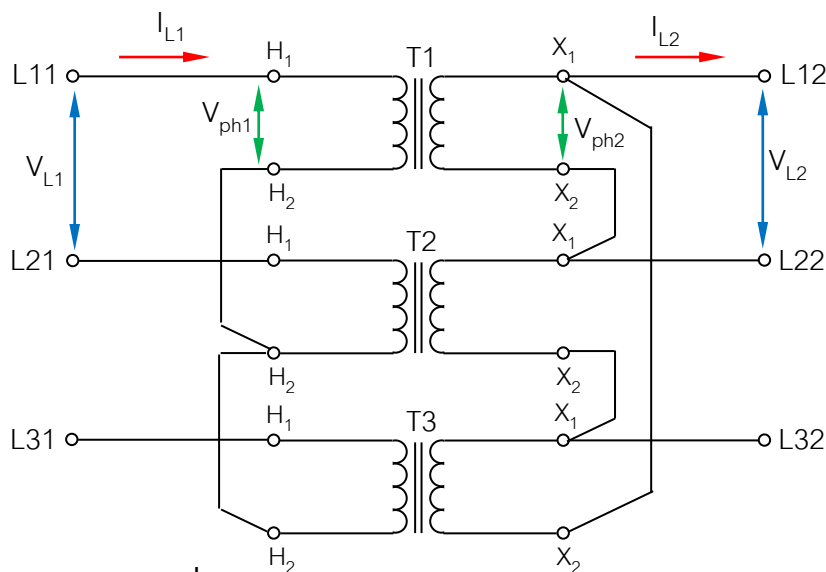
เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบเดลตาและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบวาย ดังรูป ซึ่งการต่อทั้งแบบเดลตาและแบบวายซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 12.2 และในหัวข้อ 12.3



รูปที่ 12.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา – วาย

12.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – เดลตา

เป็นการนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิมาต่อแบบวายและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลตา ดังรูปที่ 12.7 ซึ่งการต่อทั้งแบบเดลตาและแบบวายซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 12.2 และในหัวข้อ 12.3



รูปที่ 12.4 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวาย – เดลตา

12.6 การคำนวณค่าต่าง ๆ ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

ตัวอย่างที่ 12.1 หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย 1 เฟส จำนวน 3 ตัว แต่ละตัวมีอัตราส่วนเท่ากับ 100 นำมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อมีโหลดมีแรงดันที่สายกับสายทางด้านปฐมภูมิ 22 kV และกระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิ 6 A จงคำนวณหา แรงดันไฟฟ้าที่เฟส แรงดันไฟฟ้าที่สาย กระแสไฟฟ้าที่เฟส และกระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว ต่อกันลักษณะดังนี้

- ก. แบบวาย – วาย
- ข. แบบเดลตา – เดลตา
- ค. แบบเดลตา – วาย
- ง. แบบวาย – เดลตา

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ทางด้านปฐมภูมิ ดังนี้

$$V_{L1} = 22 \text{ kV} = 22000 \text{ V}$$

$$I_{L1} = 6 \text{ A} \text{ และ } a = 100$$

ก. แบบวาย – วาย

$$V_{ph1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{22000}{\sqrt{3}} = 12701.7 \text{ V}$$

$$V_{ph2} = \frac{V_{ph1}}{a} = \frac{12701.7}{100} = 127 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V **ตอบ**

$$V_{L2} = \sqrt{3} V_{ph2} = \sqrt{3} \times 127$$

$$V_{L2} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V **ตอบ**

$$I_{ph2} = a I_{ph1} = 100 \times 6$$

$$I_{ph2} = 600 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A **ตอบ**

$$\begin{aligned} I_{L2} &= I_{ph2} \\ &= 600 \text{ A} \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A **ตอบ**

ข. แบบเดลตา – เดลตา

$$V_{ph1} = V_{L1} = 22000 \text{ V}$$

$$I_{ph1} = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3.464 \text{ A}$$

$$V_{ph2} = \frac{V_{ph1}}{a} = \frac{22000}{100} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V **ตอบ**

$$V_{L2} = V_{ph2} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V **ตอบ**

$$I_{ph2} = a I_{ph1} = 100 \times 3.464$$

$$I_{ph2} = 346.4 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A **ตอบ**

$$I_{L2} = \sqrt{3} I_{ph2} = \sqrt{3} \times 346.4$$

$$I_{L2} = 600 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A **ตอบ**

ค. แบบเดลตา – วาย

$$V_{ph2} = \frac{V_{ph1}}{a} = \frac{22000}{100}$$

$$V_{ph2} = 220 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 220 V **ตอบ**

$$V_{L2} = \sqrt{3} V_{ph2} = \sqrt{3} \times 220$$

$$V_{L2} = 381.04 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 381.04 V **ตอบ**

$$I_{ph2} = a I_{ph1} = 100 \times 3.464$$

$$I_{ph2} = 346.4 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A **ตอบ**

$$I_{L2} = I_{ph2} = 346.4$$

$$I_{L2} = 346.4 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 346.4 A **ตอบ**

ง. แบบวาย – เดลตา

$$V_{ph2} = \frac{V_{ph1}}{a} = \frac{12701.7}{100} = 127 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V **ตอบ**

$$V_{L2} = V_{ph2} = 127 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 127 V **ตอบ**

$$I_{ph2} = a I_{ph1} = 100 \times 6 = 600 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 600 A **ตอบ**

$$I_{L2} = \sqrt{3} I_{ph2} = \sqrt{3} \times 600 = 1039.2 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 1039.2 A **ตอบ**

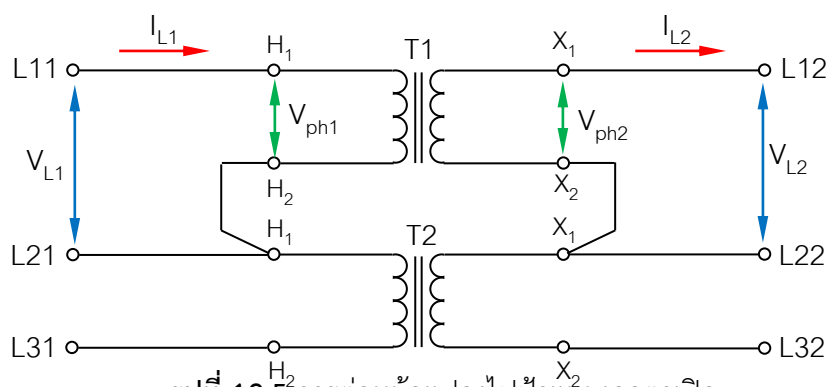
12.7 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว แบบเดลตาเปิด

12.7.1 วัตถุประสงค์ของการต่อแบบเดลตาเปิด แบบนี้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัวมาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส แบบเดลตาเปิด วัตถุประสงค์ของการต่อแบบเดลตาเปิด

1. เมื่อการต่อหม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว ถ้าตัวใดตัวหนึ่งการเกิดชำรุดหรือต้องการซ่อมบำรุงสามารถนำหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหลืออีก 2 ตัว มาต่อแบบเดลตาเปิดได้

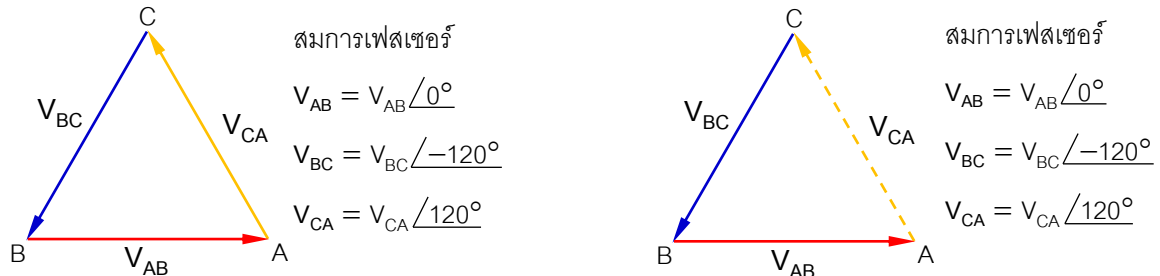
2. ถ้าความต้องการของโหลดไม่เกิน 55-60 เปอร์เซ็นต์ของโหลดทั้งหมดก็สามารถนำหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหลืออีก 2 ตัว มาต่อแบบเดลตาเปิดได้เช่นกัน

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตาเปิด จะใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ตัว มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งนำขดลวดทางด้านปฐมภูมิและขดลวดทางด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลตาเปิด ดังรูป



รูปที่ 12.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตาเปิด

12.7.2 การพิสูจน์แรงดันไฟฟ้าของเฟสใดเฟสหนึ่งเมื่อถูกเปิด ในไฟฟ้า 3 เฟสนั้นแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีมุมเฟสต่างกัน 120° ทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 12.11 (ก) เป็นแผนภาพเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้านทฤษฎีที่ต่อแบบเดลตา-เดลตา ส่วนรูปที่ 12.11 (ข) เป็นแผนภาพเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้านทฤษฎีที่ต่อแบบเดลตาเปิด



(ก) เฟสเซอร์และสมการเฟสเซอร์ต่อแบบเดลตา-เดลตา (ข) เฟสเซอร์และสมการเฟสเซอร์ต่อแบบเดลตาเปิด

รูปที่ 12.6 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้าของการต่อแบบเดลตา-เดลตาและเดลตาเปิด

จากระบบไฟฟ้า 3 เฟส ผลรวมทางเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส มีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\begin{aligned}
 V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} &= 0 \\
 V_{CA} &= -V_{AB} - V_{BC} \\
 &= -V_{AB} \angle 0^\circ - V_{BC} \angle -120^\circ \\
 &= -V_{AB} (1 + j0) - V_{BC} (-0.5 - j0.866) \\
 \text{แต่ขนาด } V_{CA} &= V_{AB} = V_{BC} \quad V_{CA} = -V_{CA} (1 + j0) - V_{CA} (-0.5 - j0.866) \\
 &= V_{CA} \{(-1 - j0 + 0.5 + j0.866)\} \\
 &= V_{CA} (-0.5 + j0.866) \\
 V_{CA} &= V_{CA} \angle 120^\circ
 \end{aligned}$$

จากการพิสูจน์เห็นว่าขนาดและทิศทางของ V_{CA} (รูปที่ 12.11 (ข) เส้นประ) เป็นไปตามระบบไฟฟ้า 3 เฟส นั่นคือมีขนาดแรงดันแต่ละเฟสเท่ากันโดยมีมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสต่างกัน 120° ทางไฟฟ้า

12.7.3 พิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตาเปิด การหาพิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตาเปิดจะต้องเปรียบเทียบกับพิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตา-เดลตา

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนดให้} \quad I_{Lo\Delta} &= \text{กระแสไฟฟ้าที่สายของการต่อแบบเดลตาเปิด} \\
 I_{L\Delta\Delta} &= \text{กระแสไฟฟ้าที่สายของการต่อแบบเดลตา-เดลตา} \\
 kVA_{o\Delta} &= \text{พิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตาเปิด} \\
 kVA_{\Delta\Delta} &= \text{พิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตา-เดลตา}
 \end{aligned}$$

$$\text{โดย } I_{Lo\Delta} = \frac{I_{L\Delta\Delta}}{\sqrt{3}} \text{ เมื่อเปรียบเทียบกับ การต่อแบบเดลตา-เดลตา}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น} \quad kVA_{o\Delta} &= \sqrt{3} V_L I_{Lo\Delta} = \sqrt{3} V_L \times \frac{I_{L\Delta\Delta}}{\sqrt{3}} \\
 kVA_{o\Delta} &= V_L I_{L\Delta\Delta} \quad \dots (12.1)
 \end{aligned}$$

และ $kVA_{\Delta\Delta} = \sqrt{3} V_L I_{L\Delta\Delta}$ (12.2)

นำสมการที่ 12.1 หาสมาการที่ 12.2 จะได้

$$\frac{kVA_{o\Delta}}{kVA_{\Delta\Delta}} = \frac{V_L I_{L\Delta\Delta}}{\sqrt{3} V_L I_{L\Delta\Delta}}$$

$$\frac{kVA_{o\Delta}}{kVA_{\Delta\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.5773$$

ดังนั้น $kVA_{o\Delta} = 0.5773 \times kVA_{\Delta\Delta}$ (12.3)

จากสมการที่ 12.3 เห็นว่าพิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตาเปิดมีค่า 0.5773 เท่าของพิกัด kVA รวมของการต่อแบบเดลตา-เดลตา หรือ 57.73 เปอร์เซ็นต์ของการต่อแบบเดลตา-เดลตา

ตัวอย่างที่ 12.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 35 kVA 2 ตัว ขนาดแรงดัน 2200/440 V ต่อแบบเดลตาเปิด ดัง-รูปที่ 12.2 เป็นโหลดแบบสมดุลมีกำลังไฟฟ้าที่โหลด 40 kW ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.75 ล้าหลัง จงคำนวณหา

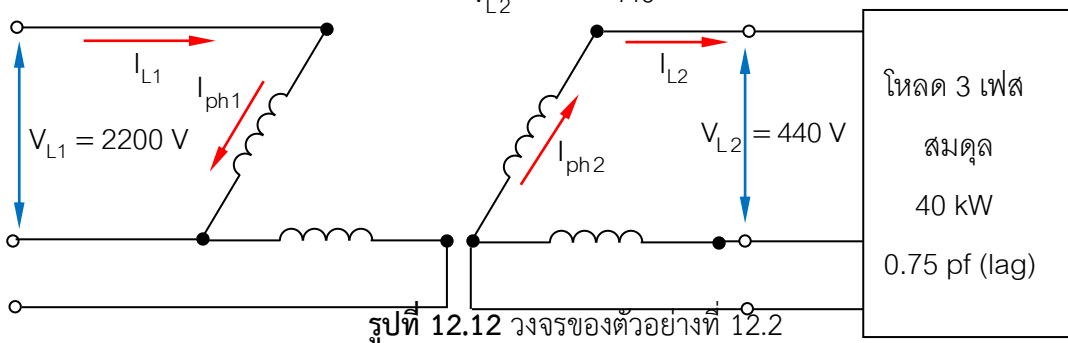
ก. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านหุติยภูมิ

ข. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ

วิธีทำ โจทย์กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ $V_{L1} = 2200$ V และ $V_{L2} = 440$ V

$$P_T = 40 \text{ kW} \quad pf_2 = 0.75 \text{ ล้าหลัง}$$

$$a = \frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{2200}{440} = 5$$



ก. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านหุติยภูมิ

$$P_T = \sqrt{3} V_{L2} I_{L2} \cos \theta_2$$

ดังนั้น $I_{L2} = \frac{P_T}{\sqrt{3} V_{L2} \cos \theta_2} = \frac{40 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 440 \times 0.75} = 70 \text{ A}$

แต่ $I_{ph2} = I_{L2} = 70 \text{ A}$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านหุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 70 A **ตอบ**

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านหุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 70 A **ตอบ**

ข. กระแสไฟฟ้าที่สายและกระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิ

$$I_{ph1} = \frac{I_{ph2}}{a} = \frac{70}{5} = 14 \text{ A}$$

แต่ $I_{L1} = I_{ph1} = 14 \text{ A}$

กระแสไฟฟ้าที่สายทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 14 A **ตอบ**

กระแสไฟฟ้าที่เฟสทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 14 A **ตอบ**

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอน (กิจกรรมของครู)	ขั้นตอนการเรียนรู้ (กิจกรรมผู้เรียน)	เครื่องมือ/การวัดผล ประเมินผล
1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน 1.1 ครูบอกจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 ครูสอบถามความสำคัญของความรู้การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส 1.3 ครูแจกแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 12 2. ขั้นสอนทฤษฎี 2.1 ครูอธิบายเรื่อง การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้สื่อ 2.2 ชักถามปัญหาเกี่ยวกับการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส 3. ขั้นสรุป 3.1 ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและครูซักถามปัญหาข้อสงสัย 4. ขั้นสอนปฏิบัติ 4.1 แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน 4.2 ให้นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 12 4.3 ควบคุมการปฏิบัติงาน 4.4 ตรวจผลงานของนักศึกษา 5. ขั้นการประเมินผล 5.1 ครูแจกใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 12 5.2 ดูแลนักเรียนไม่ให้ทุจริต 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดรับแบบทดสอบคืน 6. ขั้นมอบหมายงาน 6.1 มอบหมายให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส แล้วทำรายงานส่งสัปดาห์ต่อไป 7. ขั้นตรวจสอบความเรียบร้อย 7.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของชุดฝึกและความเรียบร้อยของห้องเรียนห้องปฏิบัติงาน	1.1 นักเรียนรับฟังจุดประสงค์ของการเรียนในหน่วยเรียนนี้ 1.2 นักเรียนบอกความสำคัญการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส 1.3 นักเรียนทำทดสอบก่อนเรียน หน่วยที่ 12 2.1 รับฟังคำบรรยายและตอบคำถามจากครู 2.2 ตอบคำถามและแสดงความคิดเห็น 3.1 นักเรียนช่วยครูสรุปและตอบคำถาม 3.2 จัดบทที่ย่อย 4.1 แบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มๆ ละ 2 คน 4.2 นักศึกษาปฏิบัติงานตามใบงานที่ 12 4.3 ปฏิบัติงานตามใบงาน 4.4 ส่งผลงานการปฏิบัติ 5.1 รับใบประเมินผลหลังเรียนหน่วยที่ 12 5.2 ทำแบบทดสอบหลังเรียน 5.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดส่งแบบทดสอบคืน 6.1 รับมอบหมายงาน 7.1 ช่วยกันจัดเก็บชุดฝึกและทำความสะอาดห้องเรียนห้องปฏิบัติงานให้เรียบร้อย	1. คำถามประจำหน่วย 2. แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 12 1. power point หน่วยที่ 12 2. คำถามหน่วยที่ 12 1. ใบสรุปหน่วยที่ 12 1. ใบตรวจการปฏิบัติงานตามใบงานที่ 12 1. แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 12 จำนวน 16 ข้อ 1. ใบมอบงานหน่วยที่ 12 1. ใบตรวจสอบความเรียบร้อย

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

- นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 12

ขณะเรียน

- ให้นักศึกษาอภิปรายเกี่ยวกับการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

หลังเรียน

- ให้นักเรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส ที่ใช้งานจริงแล้วทำรายงานส่งในสัปดาห์ต่อไป

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน **เครื่องกลไฟฟ้า 1** ผู้แต่ง **สุธน แก่นตัน** ผู้จำหน่าย บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. Power point เรื่อง การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส
3. ของจริง ตามรายละเอียดในใบงานที่ 12
4. ใบมอบหมายงานที่ 12

การวัดผลการเรียน

ก่อนเรียน

ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 12 จำนวน 16 ข้อ

ขณะเรียน

ถาม – ตอบปัญหา ความสนใจ ความตั้งใจ และการอภิปราย

หลังเรียน

ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ข้อสอบหน่วยที่ 12 จำนวน 16 ข้อ

การประเมินผล

1. การประเมินผลโดยใช้แบบประเมินผลหลังการเรียนหน่วยที่ 12 จำนวน 16 ข้อ (แบบเลือกตอบ)
2. สังเกตการมีส่วนร่วมในการเรียน
3. สังเกตจากการตอบคำถาม / การอภิปราย

เอกสารอ้างอิง

1. สุธน แก่นตัน. (2563). **เครื่องกลไฟฟ้า 1**
 นนทบุรี : โรงพิมพ์บริษัท ศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด.

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของครู

รหัสวิชา 30104-2005 ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

หน่วยที่ 12 หัวข้อเนื้อหาที่สอน การหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

จำนวนนักศึกษาเข้าเรียน คน

ผลการใช้แผนการสอน

1. ดำเนินการตามแผนการสอน [] ครบถ้วน [] ไม่ครบถ้วนเพราะ.....
2. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
3. ความเหมาะสมของการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
4. ความเหมาะสมการใช้สื่อการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
5. ความเหมาะสมในการวัดและการประเมิน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
6. บรรยากาศในการเรียนการสอน [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการเรียนของนักเรียน

7. ด้านพุทธิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
8. ด้านทักษะพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ
9. ด้านจิตพิสัย [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ

ผลการสอนของครู

10. [] น่าพอใจ [] ต้องปรับปรุงเพราะ.....
11. ปัญหา แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(นาย.....)

แบบให้คะแนนการปฏิบัติงาน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 1

รหัสวิชา 30104-2005

ชื่อหน่วย การนำหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส มาต่อเข้ากับไฟฟ้า 3 เฟส

ที่	รายการประเมิน	คะแนน เต็ม	คะแนน ที่ได้	หมายเหตุ
1	การต่อวงจรถูกต้อง (7 คะแนน)			
	1.1 ต่ออุปกรณ์การทดลอง	4		
	1.2 ต่อเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์	3		
2	ผลของการทดลองโดยค่าต่าง ๆ ที่บันทึกลงใน ทุกตารางมีค่าถูกต้อง	2		
3	การสรุปผลการทดลอง	4		
4	คำตอบและการวิเคราะห์ห้ผลการทดลอง	3		
5	การเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และความ สะอาดเรียบร้อยหลังการปฏิบัติงาน	2		
6	ผลงานสำเร็จและส่งงานภายในชั่วโมงของการเรียน	2		
คะแนนเต็ม		20		

ผลการประเมิน

- ☐ 16-20 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- ☐ 14-15 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ดี
- ☐ 12-13 คะแนน อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- ☐ 10-11 คะแนน อยู่ในเกณฑ์พอใช้
- ☐ ต่ำกว่า 10 คะแนน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....