

แผนการสอนรายวิชา

ชื่อรายวิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2

รหัสวิชา 3104-2003

ระดับชั้น ปวส. 2

สาขาวิชา/สาขางาน/เครื่องกลไฟฟ้า

ทฤษฎี/ปฏิบัติ 4 ชั่วโมง / สัปดาห์

จำนวนคาบรวม 72 ชั่วโมง

ภาคเรียนที่ 1

ปีการศึกษา 2557

จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับ มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบต่าง ๆ
2. เพื่อให้ทดลองและทดสอบลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดต่าง ๆ
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย มีความตระหนักถึงคุณภาพของงานและมีจริยธรรมในการสรุป รายงานผลและการนำเสนอ

มาตรฐานรายวิชา

1. เข้าใจในลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบต่าง ๆ
2. ประลองและทดสอบลักษณะสมบัติเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดต่าง ๆ

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบต่าง ๆ การควบคุมแรงดันไฟฟ้า การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ชิงโครนัสมอเตอร์ วงจรสมมูลและเฟสเซอร์ไดอะแกรม หลักการอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส คุณสมบัติของ อินดักชันมอเตอร์แบบต่าง ๆ วงจรสมมูล และเซอร์เคิลไดอะแกรมวิธีการเริ่มเดินและการควบคุมความเร็วหลักการทำงานและสมบัติของอินดักชันมอเตอร์เฟสเดียวแบบต่าง ๆ

การวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา รหัสวิชา 3104-2003 วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 จำนวน 4 ชั่วโมง / สัปดาห์ คาบรวม 72 ชั่วโมง		
หน่วย ที่	ชื่อเรื่อง, ชื่องาน	จำนวน ชั่วโมง
1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1.1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1.1.1 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1.1.2 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่ 1.1.4 ขดลวดอาร์เมเจอร์ 1.2 สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1.2.1 ตัวประกอบพิตซ์หรือตัวประกอบระยะขดลวด 1.2.2 ตัวประกอบการกระจาย 1.2.3 สมการของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขณะมีโหลด 1.3.1 สภาพะการทำงานขณะมีโหลด 1.3.2 วงจรสมมูลต่อเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1.3.3 เวกเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขณะที่มีโหลด 1.4 โวลต์เตจเรกูเลชัน 1.4.1 การหาโวลต์เตจเรกูเลชัน 1.4.2 การหาค่าความต้านทานขดลวดและซิงโครไนส์รีแอคแตนซ์ 1.5 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1.5.1 เงื่อนไขสำคัญในการขนานเครื่องกำเนิด 1.5.2 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 1.5.3 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 1.5.4 กระแสซิงโครไนซ์ 1.5.5 กำลังไฟฟ้าซิงโครไนซ์ 1.5.6 แรงบิดซิงโครไนซ์	20

หน่วย ที่	ชื่อเรื่อง , ชื่องาน	จำนวน ชั่วโมง
2	ชิงโครน์สมอเตอร์ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ 2.1.1 สเตเตอร์ 2.1.2 โรเตอร์ 2.1.3 ตัวกระตุ้น 2.2 หลักการทำงาน 2.3 วิธีการเริ่มหมุน 2.3.1 ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เริ่มการหมุน 2.3.2 ใช้ต้นกำลังขับ 2.4 การป้อนโหลดให้ชิงโครน์สมอเตอร์ 2.5 กำลังกลของชิงโครน์สมอเตอร์ 2.6 วงจรสมมูลและแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านทานกลับ 2.6.1 เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง 2.6.2 เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าช้า 2.6.3 เพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า 2.7 การปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์ของชิงโครน์สมอเตอร์ 2.7.1 เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง 2.7.2 เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าช้า 2.7.3 เพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า 2.8 หลักการของการกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก	12
3	มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 3.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ 3.1.1 สเตเตอร์ 3.1.2 โรเตอร์ 3.2 การเกิดสนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 3.2.1 ความเร็วโรเตอร์และสลิป 3.2.2 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและความถี่ของโรเตอร์ 3.3 กระแสและกำลังในโรเตอร์	28

หน่วย ที่	ชื่อเรื่อง , ชื่องาน	จำนวน ชั่วโมง
	3.4 แรงบิด 3.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโรเตอร์ 3.4.2 แรงบิดขณะเริ่มหมุน 3.4.3 สภาวะของแรงบิดเริ่มหมุนสูงสุด 3.4.4 แรงบิดทำงาน 3.4.5 สภาวะของแรงบิดทำงานสูงสุด 3.4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเริ่มหมุนและแรงบิดสูงสุด 3.4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดโหลดเต็มภาระและแรงบิดสูงสุด 3.5 วงจรสมมูลและขั้นตอนการส่งกำลัง 3.5.1 วงจรสมมูล 3.5.2 ขั้นตอนการส่งกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3.5.3 แรงบิดกำลังทางกลและเอาต์พุตของโรเตอร์ 3.6 แผนภาพวงกลมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3.6.1 การทดสอบไม่มีโหลด 3.6.2 การทดสอบล่อกรอเตอร์ 3.6.3 ขั้นตอนการเขียนแผนภาพวงกลมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3.6.4 การหาปริมาณต่าง ๆ จากแผนภาพวงกลม 3.6.5 การหาปริมาณสูงสุดจากแผนภาพวงกลม 3.7 การเริ่มหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอก 3.7.1 การเริ่มหมุนด้วยวิธีสตาร์-เดลตา 3.7.2 การเริ่มหมุนโดยใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกับมอเตอร์ 3.7.3 การเริ่มหมุนโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต 3.7.4 การเริ่มหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบพ่นขดลวด	

หน่วย ที่	ชื่อเรื่อง, ชื่องาน	จำนวน ชั่วโมง
4	มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 4.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 4.1.1 สปลิตเฟสมอเตอร์ 4.1.2 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ 4.1.3 รีฟลักซ์มอเตอร์ 4.1.4 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์หรือเอชชีวีส์มอเตอร์ 4.1.5 เซดเดดโพลมอเตอร์	12
	รวม	72

หน่วยการสอนทฤษฎีและปฏิบัติ รหัสวิชา 3104-2003 วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 จำนวน 4 ชั่วโมง / สัปดาห์ คาบรวม 72 ชั่วโมง			
หน่วย ที่	ชื่อเรื่อง, ชื่องาน	จำนวนชั่วโมง	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	10	10
	1.1 สัปดาห์ที่ 1		
	- หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	2	
	- แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส เมื่อขลวดต่อแบบสตาร์		2
	1.2 สัปดาห์ที่ 2		
	- สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับ	2	
	- แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเมื่อขลวดต่อแบบเดลตา		2
	1.3 สัปดาห์ที่ 3		
	- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสภาวะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง ล้าหลัง และนำหน้า	2	
	- คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสภาวะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง		2
	1.4 สัปดาห์ที่ 4		
	- โวลต์เตจเรกูเลชั่น และการหาค่า ความต้านทานขดลวด และซิงโครไนส์แอกแทนซ์	2	
	- คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสภาวะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์ล้าหลังและนำหน้า		2
	1.5 สัปดาห์ที่ 5		
	- หลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแส กำลัง และแรงบิดซิงโครไนซ์	2	
	- การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส		2

หน่วย ที่	ชื่อเรื่อง , ชื่องาน	จำนวนชั่วโมง	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
2	ชิงโครน์สมอเตอร์	6	6
	2.1 สัปดาห์ที่ 6		
	- โครงสร้างและการทำงานของชิงโครน์สมอเตอร์	2	
	- การเริ่มหมุนชิงโครน์สมอเตอร์		2
	2.2 สัปดาห์ที่ 7		
	- เวกเตอร์ไคอะแกรมของชิงโครน์สมอเตอร์ในสภาวะจ่ายโหลด	2	
	- คุณสมบัติเชิงโหลดของชิงโครน์สมอเตอร์		2
	2.3 สัปดาห์ที่ 8		
	- การปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของชิงโครน์สมอเตอร์	2	
	- การปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของชิงโครน์สมอเตอร์		2
3	มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	14	14
	3.1 สัปดาห์ที่ 9		
	- หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	2	
	- คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสโรเตอร์แบบกรงกระรอก ต่อแบบสตาร์		2
	3.2 สัปดาห์ที่ 10		
	- ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและเพาเวอร์แฟกเตอร์โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	2	
	- คุณสมบัติเชิงโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสโรเตอร์แบบกรงกระรอก ต่อแบบสตาร์		2
	3.3 สัปดาห์ที่ 11		
	- แรงบิดทำงานและความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดเริ่มหมุนและแรงบิดเต็มภาระ	2	
	- คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบโรเตอร์กรงกระรอก ต่อแบบเดลตา		2

หน่วย ที่	ชื่อเรื่อง , ชื่องาน	จำนวนชั่วโมง	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
	3.4 สัปดาห์ที่ 12 - วงจรสมมูลสมการกำลังและขั้นตอนการส่งกำลังในมอเตอร์เหนี่ยวนำ - คุณสมบัติเชิงโพลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบโรเตอร์กรงกระรอก ต่อแบบเดลตา	2	2
	3.5 สัปดาห์ที่ 13 - ขั้นตอนการเขียนแผนผังวงกลมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ - การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสโรเตอร์แบบพันขดลวด หรือสลีปรिंगมอเตอร์	2	2
	3.6 สัปดาห์ที่ 14 - การหาปริมาณต่างๆ และการหาปริมาณสูงสุดจากผังวงกลม - คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสโรเตอร์แบบพันขดลวด หรือสลีปรिंगมอเตอร์	2	2
	3.7 สัปดาห์ที่ 15 - การเริ่มหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ - คุณสมบัติเชิงโพลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสโรเตอร์แบบพันขดลวด หรือสลีปรिंगมอเตอร์	2	2

หน่วย ที่	ชื่อเรื่อง, ชื่องาน	จำนวนชั่วโมง	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
4	มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส	6	6
	4.1 สัปดาห์ที่ 16		
	- มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด สปลิตเฟส	2	
	- คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด สปลิตเฟส		2
	4.2 สัปดาห์ที่ 17		
	- มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด คาปาซิเตอร์	2	
	- คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด คาปาซิเตอร์		2
	4.2 สัปดาห์ที่ 18		
	- มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด รีฟลันซ์ ยูนิเวอร์แซลและ เซดเคดโพล	2	
	- คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด รีฟลันซ์ ยูนิเวอร์แซลและเซดเคดโพล		2
	รวม	36	36

	ใบความรู้ที่ 1	หน่วยที่ 1
	วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2	สัปดาห์ที่ 1
	ชื่อหน่วย : เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	จำนวนคาบรวม 20 ชม.
ชื่อเรื่อง : หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ		จำนวนคาบ 2 ชม.
จุดประสงค์การสอน		รายการสอน
จุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ให้นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจ และมีเจตคติที่ดี ในเรื่องหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักศึกษา เรียนจบแล้วสามารถ 1. บอกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้ 2. บอกส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่กับที่ได้ 3. คำนวณหาค่าความเร็วรอบและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้ 4. อธิบายการพันขดลวดและการต่อขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้ 5. มีคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 4.1 ตรงต่อเวลา 4.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย 4.3 มีความรับผิดชอบต่อนหน้าที่ 4.4 มีความสนใจใฝ่รู้ 4.5 มนุษยสัมพันธ์		1. ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 2. ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบขดลวดอาร์เมเจอร์ อยู่กับที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 4. ขดลวดอาร์เมเจอร์ 4.1 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ 4.2 การต่อขดลวดอาร์เมเจอร์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

(Alternator or A.C. Generator or Synchronous Generator)

1.1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า หลักการทำงานของเครื่องจะอาศัยหลักการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ คือ การเอาสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) เคลื่อนที่ผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) หรือจะให้ขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ก็ได้

1.1.1 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Type of Alternator)

การแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งตามหลักการทำงาน แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่กับที่และสนามแม่เหล็กหมุน (Stationary Armature and Rotating Field)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่นำมาใช้งาน จะเป็นแบบขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่กับที่ และสนามแม่เหล็กหมุนสาเหตุเพราะ

(1) สามารถนำกระแสไฟฟ้าออกมาใช้งานได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสลีปรिंग (Slipring) และแปรงถ่านตัดปัญหาการอาร์กที่หน้าสัมผัสระหว่างสลีปรึงกับแปรงถ่านทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูง

(2) ขดลวดอาร์เมเจอร์สามารถใช้ลวดตัวนำเส้นโตและพันมากรอบทำให้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูง

(3) แปรงถ่านและสลีปรึงที่เป็นทางผ่านของแรงดันไฟฟ้าและกระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กใช้กับแรงดันต่ำ

(4) ขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่กับที่สามารถที่จะยัดให้แข็งแรงได้ง่ายไม่ต้องคำนึงถึงแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal) เนื่องจากการหมุน

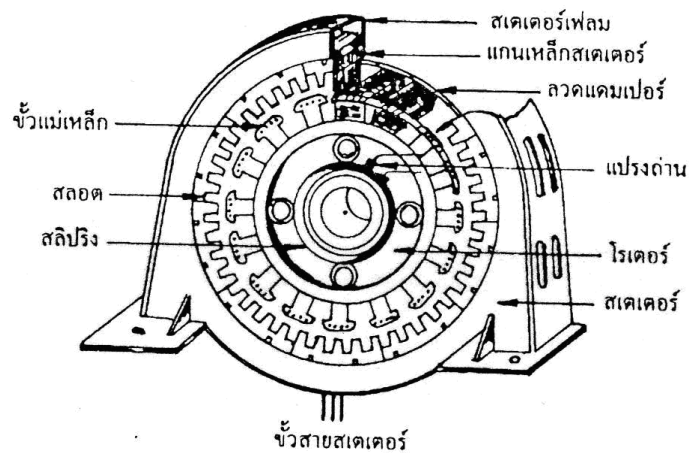
2. ขดลวดอาร์เมเจอร์หมุนและสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ (Rotating Armature and Stationary Field)

1.1.2 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

1. โครงเครื่อง (Stator Frame)

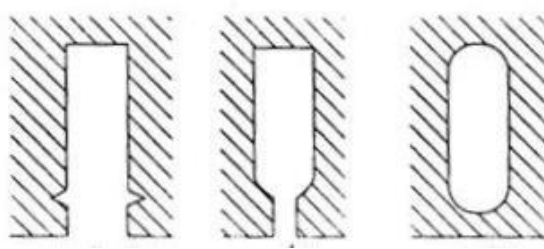
โครงเครื่อง เป็นส่วนที่รองรับส่วนประกอบอื่น ๆ ของเครื่องกำเนิดทั้งหมด และเป็นทางเดินเส้นแรงแม่เหล็ก ทำด้วยเหล็กหล่อ (Cast Iron) จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่เหมาะสมสำหรับเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบต่ำ โดยออกแบบให้มีช่องว่างสำหรับช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่

1.1



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
(ที่มา ; ไชยชาญ หินเกิด 2542 : 3)

แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator core) เป็นส่วนที่ใช้พันขดลวดตัวนำ ทำด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ ผสมซิลิกอนเพื่อลดการสูญเสียจากฮิสเตอรีซิส โดยเป็นร่อง (Slot) แล้วนำมาอัดติดกัน (Laminated Sheet Steel) เคลือบด้วยฉนวนเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และจะถูกยึดเข้าด้วยกันด้วยวงแหวน สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก หรือถูกยึดเข้าด้วยกันเป็นท่อน ๆ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดใหญ่ และออกแบบให้มีอากาศผ่านได้เพื่อช่วยในการระบายความร้อน ลักษณะสลอตสำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 1.2



(ก) แบบเปิดกว้าง (ข) แบบกึ่งปิด (ค) แบบปิด

รูปที่ 1.2 สล็อตสำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์
(ที่มา ; ไชยชาญ หินเกิด 2542 : 3)

(ก) เป็นร่องสล็อตแบบเปิดกว้าง (Wide Open Type Slot) สล็อตแบบนี้จะนิยมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ข้อดี คือ ง่ายต่อการบรรจุและการร้อยขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อซ่อมแซม

ข้อเสีย คือ ช่องว่างเส้นแรงแม่เหล็ก (Air Gap Flux) จะทำให้รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดการกระเพื่อม (Ripple)

(ข) เป็นร่องสล็อตแบบกึ่งปิด (Semi Closed Type Slot) สล็อตแบบนี้ทำให้ช่องว่าง เส้นแรงแม่เหล็ก มีความต้านทานแม่เหล็กลดลง ทำให้รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดการกระเพื่อม (Ripple) น้อยลงและง่ายต่อการบรรจุและร้อยขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อซ่อมแซมเช่นเดียวกัน

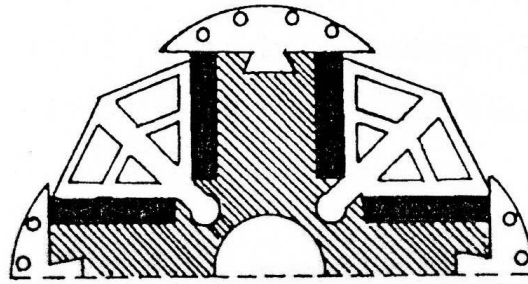
(ค) เป็นร่องสล็อตแบบปิด (Closed Type Slot) ซึ่งสล็อตแบบนี้จะเป็นอุโมงค์และจะก่อให้เกิดผลดังนี้

- ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ ของขดลวดอาร์เมเจอร์มีค่าเพิ่มขึ้น
- การพันและการต่อขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ยุ่งยากจะต้องใช้วิธีร้อย-สล็อตสายทำให้ต้นทุนราคาส่งขึ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบนี้จึงไม่เป็นที่นิยม

2. โรเตอร์ (Rotor)

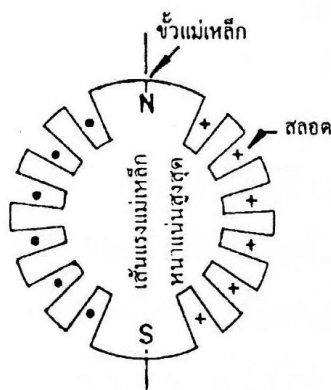
โรเตอร์หรือส่วนที่หมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

(1) ขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient-pole Type) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบนี้ ขั้วแม่เหล็กที่ยื่นออกมาจะมีขนาดใหญ่ จำนวนขั้วตั้งแต่ 4 ขั้วขึ้นไป นิยมใช้กับเครื่องกำเนิด-ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบต่ำและความเร็วปานกลาง ที่ใช้ขับได้แก่เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) และกังหันน้ำ (Water Turbine) มีลักษณะดังในรูปที่ 1.3

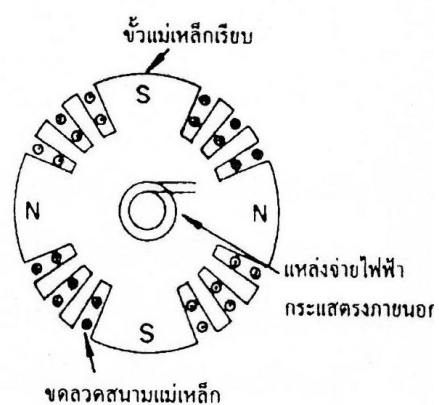


รูปที่ 1.3 แสดงโรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กยื่นออกมา
(ที่มา ; ไซยาณู หินเกิด 2542 : 4)

(2) ขั้วแม่เหล็กแบบทรงกระบอกผิวเรียบ (Smooth – cylindrical Type) นิยมใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบสูง เช่น ได้แก่งังหันไอน้ำ (Steam Turbine) มีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วหรือ 4 ขั้ว ดังนั้นโครงสร้างจึงออกแบบให้เรียบเพื่อเลี่ยงแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และลดการสูญเสียเนื่องจากแรงต้านของลม (Windage Loss) บริเวณขั้วแม่เหล็กจะไม่มีร่องสลอต โรเตอร์ ประกอบด้วยแท่งเหล็กทรงกระบอกและทำเป็นร่องสลอตเพื่อบรรจุขดลวด



(ก) โรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กเรียบ 2 ขั้ว

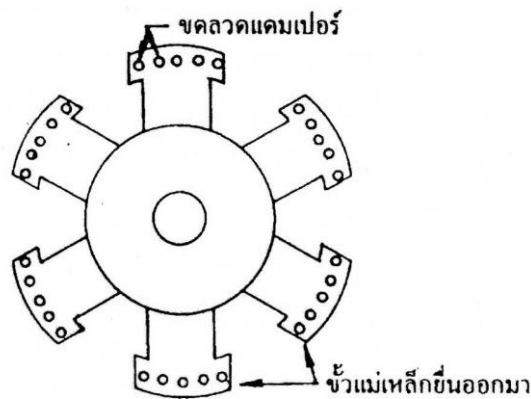


(ข) โรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กเรียบ 4 ขั้ว

รูปที่ 1.4 โรเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็กเรียบ
(ที่มา ; ไซยาณู หินเกิด 2542 : 5)

ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าจะอยู่บริเวณกึ่งกลางและมีความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กจะมากที่สุดโดยมีขดลวดสนามแม่เหล็กพันล้อมรอบ โรเตอร์ชนิดนี้จะไม่มีขั้วยื่นออกมา (Non Salient pole) ส่วนมากจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร ซึ่งถือว่าเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก แต่จะมีแกนยาวเป็นรูปทรงกระบอก โครงสร้างแบบนี้จะทำให้เกิดการสมดุลดีกว่าชนิดมีขั้วแม่เหล็กยื่นออกมาจึงสามารถหมุนด้วยความเร็วสูงได้ การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานน้อย

3. ขดลวดแดมเปอร์ (Damper Winding) จะมีลักษณะเป็นแท่งทองแดงถูกต่อลัดวงจรเข้าด้วยกันด้วยวงแหวนทองแดงทั้ง 2 ด้านของโรเตอร์และฝังอยู่ในโรเตอร์เหมือนกรงกระรอก (Squirrel-cage) ขดลวดแดมเปอร์มีประโยชน์ในการป้องกันการสั่นหรือการแกว่งของโรเตอร์ เมื่อความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 1.5



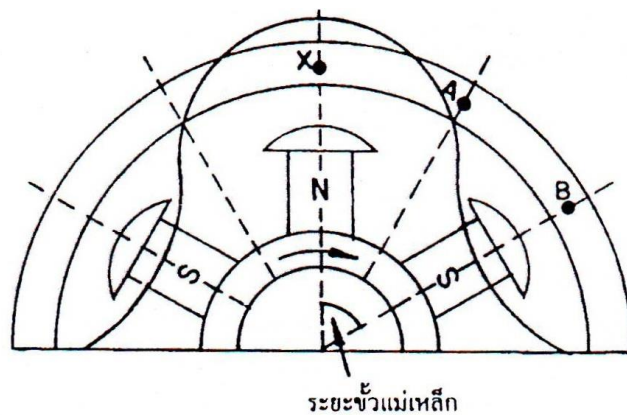
รูปที่ 1.5 ขดลวดแดมเปอร์
(ทีมา ; ไชยชาญ หินเกิด 2542 : 5)

4. เอ็กไซเตอร์ (Exciter) คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบสนามแม่เหล็กกระตุ้นด้วยตัวเอง ซึ่งติดตั้งอยู่ที่เพลาเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเอ็กไซเตอร์ ทำหน้าที่ผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดใหญ่มักจะเลือกใช้วิธีการ Excitation ด้วยชุดเรียงกระแสสลับไร้แปรงถ่านเพราะการบำรุงรักษาน้อยกว่าที่ใช้แบบสลิปริงและแปรงถ่าน

1.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่ (Speed and Frequency)

เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนตัดตัวนำจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระแสสลับที่มีความถี่ไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบในการหมุน (Rotational Speed ; N) ของโรเตอร์และจำนวนขั้วแม่เหล็ก (Number of Poles ; P) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 1.6 ให้ทิศทางการหมุนของสนามแม่เหล็กหมุนตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) ณ ที่ตำแหน่ง X ซึ่งเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของขั้วเหนือ โดยจะมีความหนาแน่น เส้นแรง-แม่เหล็ก สูงสุด (Maximum Flux Density) จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุดโดยมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวาของเฟลมมิง



รูปที่ 1.6 แสดงระยะขั้วแม่เหล็ก

(ที่มา ; ไชยชาญ หินเกิด 2542 : 6)

จากรูปที่ 1.6 ที่ตำแหน่ง A จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่ำที่สุด (Minimum E.M.F.) เพราะความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าต่ำสุด และที่ตำแหน่ง B ตัวนำอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของขั้วแม่เหล็กขั้วใต้ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าสูงสุดอีกครั้งหนึ่งเพราะความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ตำแหน่ง B นั้นมีค่าสูงสุด แต่ทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขั้วใต้จะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากขั้วเหนือ (ที่ตำแหน่ง X)

จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดใน 1 ไชเคลเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ผ่านขั้วแม่เหล็ก 1 คู่ขั้วคือ เหนือและใต้ ดังนั้น

ถ้าจะให้ P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กทั้งหมด มีหน่วยเป็น ขั้ว (Pole)

N คือ ความเร็วรอบของการหมุนของโรเตอร์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm.)

f คือ ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz)

เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 ไชเคล ตัวนำจะหมุนผ่านขั้วแม่เหล็ก 1 คู่ขั้ว

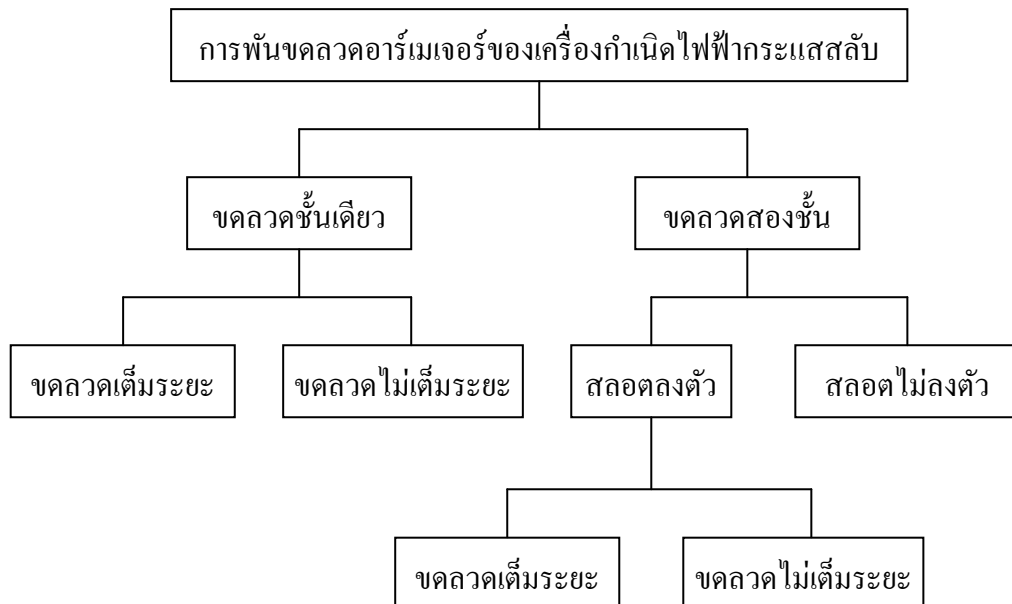
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น จำนวนไชเคลต่อรอบการหมุน} &= \frac{P}{2} \\ \text{จากรอบการหมุนต่อวินาที} &= \frac{N}{60} \\ \text{ดังนั้น ความถี่} \quad f &= \frac{P}{2} \times \frac{N}{60} \\ &= \frac{PN}{2 \times 60} \quad \text{Hz} \\ \therefore f &= \frac{PN}{120} \quad \text{Hz} \\ \text{หรือ} \quad N &= \frac{120f}{P} \quad \text{rpm.} \end{aligned}$$

1.1.4 ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีวิธีการพันอยู่ 2 แบบ คือ การพันแบบรวม (Concentrated Winding) เป็นการพันที่ด้านของคอกซ์ อยู่ตรงกับขั้วแม่เหล็กพอดี การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดพร้อมกัน เป็นผลรวมทางเลขคณิต อีกแบบคือ การพัน-แบบกระจาย (Distribution Winding) เป็นการพันที่ด้านของคอกซ์ ไม่ลงอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงเกิดขึ้นไม่พร้อมกันเป็นผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงดัน

1. ชนิดการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การพันขดลวดชั้นเดียว และการพันขดลวดสองชั้น แต่ละแบบสามารถแบ่งย่อยตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน ในที่นี้จะแบ่งตามรูปที่ 1.7 ดังนี้



รูปที่ 1.7 การแบ่งชนิดการพันขดลวดอาร์เมเจอร์

(1) การพันขดลวดชั้นเดียว (Single Layer Winding)

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ชั้นเดียว จำนวนร่องสลอตจะมีจำนวนเป็น 2 เท่าของจำนวนขดลวดที่ใช้ในการพัน ทั้งนี้เพราะว่าในแต่ละสลอตจะมีด้านข้างของขดลวด (Coil Side) เพียงด้านเดียว ซึ่งอาจพันขดลวดแบบเต็มระยะหรือแบบไม่เต็มระยะก็ได้

ตัวอย่างที่ 1.1 จงออกแบบการพันขดลวดอาร์เมเจอร์ และเขียนแผนภาพการพันขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส พันแบบเต็มระยะชั้นเดียว มีจำนวนสลอต 24 สลอต และมีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว

$$\begin{aligned}
 \text{วิธีทำ} \quad \text{กำหนดค่า สลอต / ขั้วแม่เหล็ก / เฟส} &= \frac{24}{4 \times 3} \\
 m &= 2 \\
 \text{กำหนดค่าระยะขั้วแม่เหล็ก} &= \frac{\text{จำนวนสลอต}}{\text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก}} \\
 &= \frac{24}{4} \\
 \text{ระยะขั้วแม่เหล็ก} &= 6 \text{ สลอต} \\
 \text{เนื่องจากการพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเต็มระยะ} \\
 \text{จะได้ระยะขดลวด} &= \text{ระยะขั้วแม่เหล็ก} \\
 &= 6 \text{ สลอต} \\
 \text{เมื่อให้ต้นขดลวดอยู่ในสลอตที่ 1 ปลายขดลวดจะอยู่ในสลอตที่ 7} \\
 \text{กำหนดมุมระหว่างสลอต } (\beta) &= \frac{180^\circ}{\text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก}} \\
 \beta &= \frac{180^\circ}{6} \\
 &= 30^\circ
 \end{aligned}$$

ขดลวดอาร์เมเจอร์แต่ละเฟสวางห่างกัน 120° ไฟฟ้า เมื่อมุมระหว่างสลอตเท่ากับ 30° ไฟฟ้าจะได้ 120° ไฟฟ้า เท่ากับ 4 สลอต

เมื่อต้นขดลวดเฟส A อยู่ในสลอตที่ 1 ดังนั้นต้นขดลวดเฟส B จะอยู่ในสลอตที่ 5 และต้นของขดลวดเฟส C จะอยู่ในสลอตที่ 9

ดังนั้นขดลวดอาร์เมเจอร์เฟส A จะอยู่ในสลอตดังต่อไปนี้

1-7, 2-8

ส่วนขดลวดอาร์เมเจอร์เฟส B จะอยู่ในสลอตดังต่อไปนี้

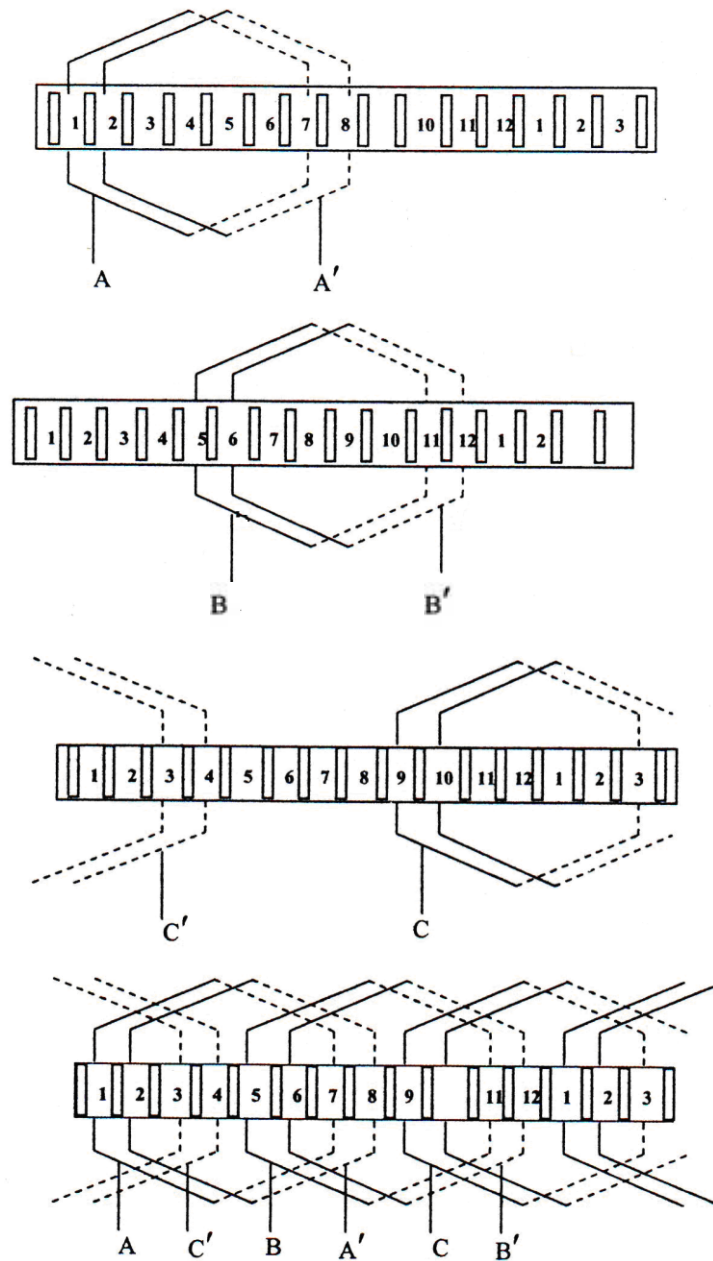
5-11, 6-12

และขดลวดอาร์เมเจอร์เฟส C จะอยู่ในสล็อตดังต่อไปนี้

9-3, 10-4

ตอบ

เขียนแผนภาพการพันขดลวดได้ดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 แสดงแผนภาพการพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเต็มระยะชั้นเดียว
(ทีมา ; สิงห์สร้อย ชัยมงคล ม.ป.ป. : 11)

ตอบ

(2) การพันขดลวดแบบสองชั้น (Double Layer Winding)

การแบ่งชนิดการพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบสองชั้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดสลอตลงตัว (Integral Slot Winding) และชนิดสลอตไม่ลงตัว (Fractional Slot Winding)

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ชนิดสลอตลงตัว หมายถึง การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ที่มีจำนวนสลอตต่อขั้วต่อเฟสเป็นจำนวนเต็ม เช่น 2,3,4,6 เป็นต้น การพันขดลวดแบบนี้อาจเป็นไปได้ทั้งแบบเต็มระยะหรือไม่เต็มระยะ

การพันขดลวดชนิดสลอตไม่ลงตัว หมายถึง การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ที่มีจำนวนสลอตต่อเฟสเป็นเศษส่วน เช่น $2\frac{1}{2}$ เป็นต้น ซึ่งเป็นการ พันขดลวดแบบไม่เต็มระยะเท่านั้น

ข้อดีของการพันขดลวดแบบสองชั้น คือ

1) รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal) มากกว่าเนื่องจากฮาร์มอนิกลดลงโดยการเลือกช่วงของการพันขดลวดที่เหมาะสม

2) ประสิทธิภาพของเครื่องจักรดีขึ้น ถ้าเป็นการพันแบบขดลวดไม่เต็มระยะ

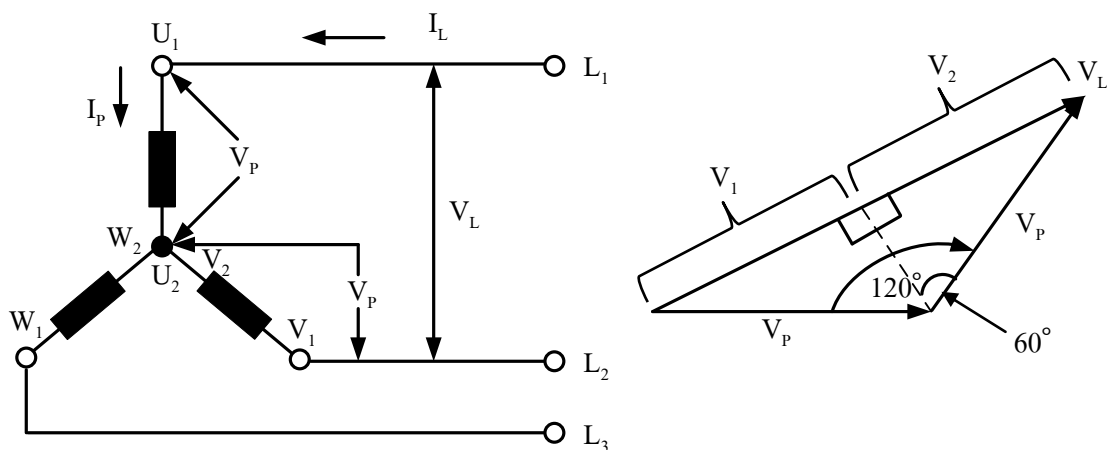
ข้อเสียของการพันขดลวดแบบสองชั้น คือ

1) การซ่อมแซมทำได้ยากกว่าการพันขดลวดแบบชั้นเดียว

2) การพันขดลวดชุดท้าย ๆ สลotted ก่อนข้างยุ่งยากเพราะต้องยกขดลวดที่อยู่ด้านล่างทั้งสองข้างออกก่อนแล้วจึงใส่กลับเข้าไปที่หลังเพื่อให้ด้านข้างขดลวดอยู่ด้านบนข้างหนึ่งและอยู่ด้านล่างข้างหนึ่ง

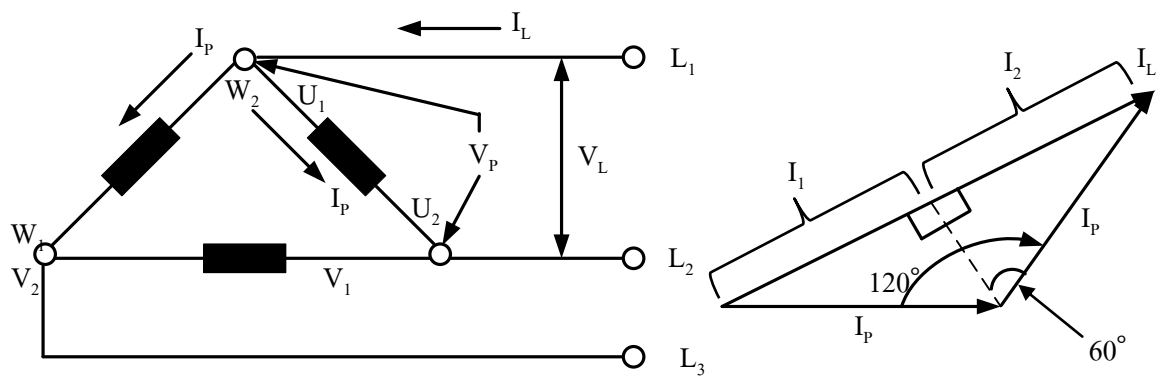
2. การต่อขดลวดอาร์เมเจอร์

การต่อขดลวดอาร์เมเจอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส มี 2 แบบ คือ แบบสตาร์หรือวาย และแบบเดลตา โดยการต่อทั้ง 2 แบบ มีลักษณะดังรูปที่ 1.9 (ก) และ (ข)



รูปที่ 1.9 (ก) แสดงการต่อขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบสตาร์

แรงดัน	$\vec{V}_L$	=	$\vec{V}_P + \vec{V}_P$	
	$\sin 60^\circ$	=	V_1 / V_2	
	V_1	=	$V_P \sin 60^\circ$	
	$\sin 60^\circ$	=	V_2 / V_P	
	V_2	=	$V_P \sin 60^\circ$	
	V_L	=	$V_1 + V_2$	
		=	$V_P \sin 60^\circ + V_P \sin 60^\circ$	
		=	$2 V_P \sin 60^\circ$	
		=	$2 \times V_P \times \frac{\sqrt{3}}{2}$	
	V_L	=	$\sqrt{3} V_P$	 (V)
กระแส	I_L	=	I_P	 (A)
กำลังไฟฟ้า	P	=	$\sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$	 (W)



รูปที่ 1.9 (ข) แสดงการต่อขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบเดลตา

	$\longrightarrow$		$\longrightarrow$	$\longrightarrow$	
กระแส	I_L	$=$	I_p	$+$	I_p
	$\sin 60^\circ$	$=$	I_1 / I_p		
	I_1	$=$	$I_p \sin 60^\circ$		
	$\sin 60^\circ$	$=$	I_2 / I_p		
	I_2	$=$	$I_p \sin 60^\circ$		
	I_L	$=$	$I_p + I_p$		
		$=$	$I_p \sin 60^\circ + I_p \sin 60^\circ$		
		$=$	$2 I_p \sin 60^\circ$		
		$=$	$2 \times I_p \times \frac{\sqrt{3}}{2}$		
	I_L	$=$	$\sqrt{3} I_p$		 (A)
แรงดัน	V_L	$=$	V_p		 (V)
กำลังไฟฟ้า	P	$=$	$\sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$		 (W)

แบบฝึกหัดประจำหน่วยที่ 1

เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003 หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

คำแนะนำ จงตอบคำถามให้สมบูรณ์ (20 คะแนน)

1. ขดลวดสนามแม่เหล็กทำหน้าที่อะไร อธิบายมาพอเข้าใจ (2 คะแนน)

.....

.....

.....

2. ขดลวดอาร์เมเจอร์ทำหน้าที่อะไร อธิบายมาพอเข้าใจ (2 คะแนน)

.....

.....

.....

3. แกนเหล็กของสเตเตอร์ มีสล็อตกี่แบบ อะไรบ้าง (2 คะแนน)

.....

.....

.....

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบใดที่ใช้ขั้วแม่เหล็กแบบยื่นออกมา (2 คะแนน)

.....

.....

.....

5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบใดที่ใช้ขั้วแม่เหล็กแบบทรงกระบอกผิวเรียบ (2 คะแนน)

.....

.....

.....

6. จงหาค่าความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 60 Hz จากจำนวนขั้วแม่เหล็กที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้ (4 คะแนน)

จำนวนขั้วแม่เหล็ก (ขั้ว)	2	4	6	8	10	12
ความเร็วรอบ (rpm.)						

7. จงอธิบายความแตกต่างของการพันขดลวดแบบชั้นเดียวกับสองชั้น (3 คะแนน)

.....

.....

.....

8. จงอธิบายความแตกต่างของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบเต็มระยะ กับการพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบไม่เต็มระยะ (3 คะแนน)

.....

.....

.....

แบบประเมินผลก่อนเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. ข้อใดไม่ใช่ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบตัวนำอาร์เมเจอร์อยู่กับที่

ก. สเตเตอร์

ข. โรเตอร์

ค. คอมมิวเตเตอร์

ง. ขดลวดแฉกแปอร์

จ. ฝาปิดหัวท้าย

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 6 ขั้ว หมุนด้วยความเร็วรอบ 3000 rpm. เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีความถี่เท่าไร

ก. 150 Hz

ข. 60 Hz

ค. 100 Hz

ง. 50 Hz

จ. 375 Hz

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 36 ขั้ว 60 Hz จะมีความเร็วรอบเท่าไร

ก. 100 rpm.

ข. 200 rpm.

ค. 300 rpm.

ง. 400 rpm.

จ. 675 rpm.

4. ข้อใดไม่ใช่ชนิดของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์

ก. การพันแบบเต็มช่วงชั้นเดียว

ข. การพันแบบไม่เต็มช่วงสองชั้น

ค. การพันแบบไม่เต็มช่วงชั้นเดียว

ง. การพันแบบเต็มช่วงสองชั้น

จ. การพันแบบเต็มช่วงสองชั้นสล็อตไม่ลงตัว

5. ข้อใดเป็นการต่อขดลวดอาร์เมเจอร์ 3 เฟส

ก. ต่อแบบ Open Delta

ข. ต่อแบบ Delta

ค. ต่อแบบ Parallel Star

ง. ต่อแบบ Series Delta

จ. ต่อแบบ Series Star

6. เพราะเหตุใดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจึงสร้างจากแผ่นแม่เหล็กบาง ๆ อายจนวนนำมาอัดซ้อนกัน

- ก. ลดการสูญเสียจากขดลวดที่สเตเตอร์
- ข. ลดการสูญเสียจากฮีสเตอร์ซิส
- ค. ลดการสูญเสียจากกระแสไหลวน
- ง. เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ส่งออก
- จ. เพิ่มกระแสที่จ่ายออก

7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมี 2 ขั้วแม่เหล็ก หมุนด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm. จะมีความถี่เท่าไร

- ก. 50 Hz
- ข. 60 Hz
- ค. 100 Hz
- ง. 150 Hz
- จ. 375 Hz

8. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 24 ขั้วแม่เหล็ก 50 Hz จะมีความเร็วรอบเท่าไร

- ก. 100 rpm.
- ข. 250 rpm.
- ค. 270 rpm.
- ง. 320 rpm.
- จ. 470 rpm.

9. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 16 ขั้วแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วรอบ 450 rpm. จะสร้างค่าความถี่เท่าไร

- ก. 50 Hz
- ข. 60 Hz
- ค. 100 Hz
- ง. 150 Hz
- จ. 375 Hz

10. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 10 ขั้วแม่เหล็ก 50 Hz จะมีความเร็วรอบเท่าไร

- ก. 100 rpm.
- ข. 200 rpm.
- ค. 600 rpm.
- ง. 500 rpm.
- จ. 300 rpm.

แบบประเมินผลหลังเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. เพราะเหตุใดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจึงสร้างจากแผ่นแม่เหล็กบาง ๆ อาบนวนนำมาอัดซ้อนกัน

- ก. ลดการสูญเสียจากขดลวดที่สเตเตอร์
- ข. ลดความสูญเสียจากฮิสเตอรีซิส
- ค. ลดการสูญเสียจากกระแสไหลวน
- ง. เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ส่งออก
- จ. เพิ่มกระแสที่จ่ายออก

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มี 2 ขั้วแม่เหล็ก หมุนด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm. จะมีความถี่เท่าไร

- ก. 50 Hz
- ข. 60 Hz
- ค. 100 Hz
- ง. 150 Hz
- จ. 375 Hz

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 24 ขั้วแม่เหล็ก 50 Hz จะมีความเร็วรอบเท่าไร

- ก. 100 rpm.
- ข. 250 rpm.
- ค. 270 rpm.
- ง. 320 rpm.
- จ. 470 rpm.

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 16 ขั้วแม่เหล็ก หมุนด้วยความเร็วรอบ 450 rpm. จะสร้าง ความถี่เท่าไร

- ก. 50 Hz
- ข. 60 Hz
- ค. 100 Hz
- ง. 150 Hz
- จ. 375 Hz

5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 10 ขั้วแม่เหล็ก 50 Hz จะมีความเร็วรอบเท่าไร

- ก. 100 rpm.
- ข. 200 rpm.
- ค. 600 rpm.
- ง. 500 rpm.
- จ. 300 rpm.

6. ข้อใดไม่ใช่ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบตัวนำอาร์เมเจอร์อยู่กับที่
- | | |
|------------------|-------------------|
| ก. สเตเตอร์ | ข. โรเตอร์ |
| ค. คอมมิวเตเตอร์ | ง. ขดลวดแฉกเปอร์ด |
| จ. ฝาปิดหัวท้าย | |
7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 6 ขั้ว หมุนด้วยความเร็วรอบ 3000 rpm. เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีความถี่เท่าไร
- | | |
|-----------|----------|
| ก. 150 Hz | ข. 60 Hz |
| ค. 100 Hz | ง. 50 Hz |
| จ. 375 Hz | |
8. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 36 ขั้ว 60 Hz จะมีความเร็วรอบเท่าไร
- | | |
|-------------|-------------|
| ก. 100 rpm. | ข. 200 rpm. |
| ค. 300 rpm. | ง. 400 rpm. |
| จ. 675 rpm. | |
9. ข้อใดไม่ใช่ชนิดของการพันขดลวดอาร์เมเจอร์
- | |
|---|
| ก. การพันแบบเต็มช่วงชั้นเดียว |
| ข. การพันแบบไม่เต็มช่วงสองชั้น |
| ค. การพันแบบไม่เต็มช่วงชั้นเดียว |
| ง. การพันแบบเต็มช่วงสองชั้น |
| จ. การพันแบบเต็มช่วงสองชั้นตลอดไม่ลงตัว |
10. ข้อใดเป็นการต่อขดลวดอาร์เมเจอร์ 3 เฟส
- | |
|-------------------------|
| ก. ต่อแบบ Open Delta |
| ข. ต่อแบบ Delta |
| ค. ต่อแบบ Parallel Star |
| ง. ต่อแบบ Series Delta |
| จ. ต่อแบบ Series Star |

แบบประเมินผลภาคทฤษฎี ลำดับที่ 1

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จำนวน 20 ชั่วโมง

ชื่อเรื่อง หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จำนวน 2 ชั่วโมง

ชื่อ - นามสกุลชั้นและกลุ่ม.....

ลำดับ ที่	การประเมินผล	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	วิธีการ
1	ทดสอบก่อนเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
2	ทดสอบหลังเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
3	คุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะ อันพึงประสงค์			
	3.1 ตรงต่อเวลา	2		สังเกต
	3.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย	2		สังเกต
	3.3 รับผิดชอบต่อหน้าที่	2		สังเกต
	3.4 ความสนใจ ใฝ่รู้	2		สังเกต
	3.5 มนุษยสัมพันธ์	2		สังเกต
4	แบบฝึกหัดทำถูกต้องครบถ้วนและส่งตรงเวลา	20		ทำแบบฝึกหัด
รวม		50		

สรุปการประเมิน ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน ☐

หมายเหตุ เกณฑ์ผ่านการประเมินคะแนนต้องได้ไม่ต่ำกว่า 60% หรือเท่ากับ 30 คะแนน

ข้อเสนอแนะ.....
.....

ผู้ประเมิน.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

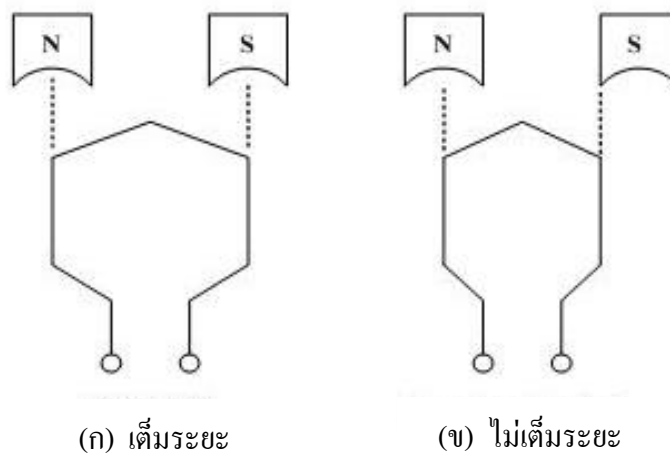
	ใบความรู้ที่ 2	หน่วยที่ 1
	วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2	สัปดาห์ที่ 2
	ชื่อหน่วย : เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	จำนวนคาบรวม 20 ชม.
ชื่อเรื่อง : สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ		จำนวน 2 คาบ
จุดประสงค์การสอน		รายการสอน
จุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจ และมีเจตคติที่ดี ในเรื่ององค์ประกอบและสมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักศึกษา เรียนจบแล้วสามารถ 1. แสดงวิธีการหาค่าตัวประกอบการกระจายหรือพิตซ์ชูดคลวดได้ 2. แสดงวิธีการหาค่าตัวประกอบระยะขดลวดได้ 3. คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ 4. มีคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 4.1 ตรงต่อเวลา 4.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย 4.3 มีความรับผิดชอบต่อนหน้าที่ 4.4 มีความสนใจใฝ่รู้ 4.5 มนุษยสัมพันธ์		1. ตัวประกอบการกระจาย หรือพิตซ์ชูดคลวด (Distribution Factor or Spread Factor) 2. ตัวประกอบระยะขดลวด (Pitch Factor or Coil Span Factor) 3. สมการของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Equation of Induced E.M.F.)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator or AC. Generator)

1.2 สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

1.2.1 ตัวประกอบพิตซ์หรือตัวประกอบระยะขดลวด (Pitch Factor or Coil Span Factor)

ระยะขดลวด หมายถึง ระยะห่างระหว่างต้นขดลวดด้านหนึ่งถึงปลายขดลวดอีกด้านหนึ่งของขดลวดชุดเดียวกัน



รูปที่ 1.10 แสดงระยะการพันของขดลวด

จากรูปที่ 1.10 (ก) แสดงให้เห็นการพันขดลวดเต็มระยะ (Full-pitch) การพันขดลวดเต็มระยะ หมายถึง การพันขดลวดที่ด้านของขดลวดอยู่ระหว่างคู่ขั้วแม่เหล็ก (Pole-pair) ส่วนรูปที่ 1.10 (ข) เป็นการพันขดลวดในลักษณะที่เรียกว่าไม่เต็มระยะ (Short-pitch or Fractional-pitch) การพันขดลวดไม่เต็มระยะ หมายถึง การพันขดลวดที่ด้านของขดลวดไม่อยู่ระหว่างคู่ขั้วแม่เหล็ก การพันขดลวดแบบไม่เต็มระยะนี้จะนิยมใช้มาก เพราะว่ามีข้อดี คือ ประหยัดลวดทองแดงปรับปรุงรูปคลื่น (Wave Form) ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นให้มีรูปคลื่นดีขึ้น หรือกำจัดรูปคลื่นรบกวนความถี่สูง การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน และการสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอร์ซิส์ทำให้ค่าลดน้อยลง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่มีข้อเสีย คือ แรงดันไฟฟ้าทั้งหมดที่ขดลวดนั้นก่อนข้างลดลง เพราะว่าแรงดันไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำใน 2 ด้านของขดลวดที่มีการพันแบบไม่เต็มระยะนั้น จะต่างเฟสกันเล็กน้อย ทำให้ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าทางเวกเตอร์มีค่าน้อยกว่าการรวมกันทางคณิตศาสตร์หรือทางเลขคณิต (Arithmetical Sum)

ตัวประกอบระยะขดลวดใช้ตัวย่อ k_p หรือ k_c ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$k_c = \frac{E_{t(\text{Frac})}}{E_{t(\text{Full})}}$$

$$\text{หรือ } k_c = \frac{\text{ผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อขดลวด}}{\text{ผลรวมทางเลขคณิตของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อขดลวด}}$$

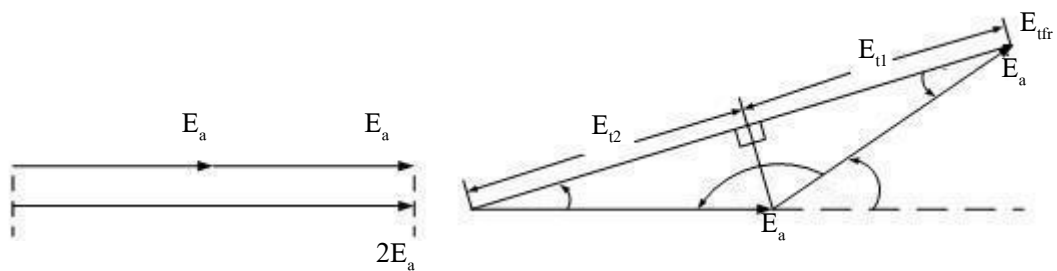
ค่าของ k_c นี้ ต้องมีค่าน้อยกว่า 1 พันขดลวดแบบไม่เต็มระยะ

ถ้าให้ E_a เป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในด้านหนึ่งของขดลวด

ถ้าขดลวดพันเป็นแบบเต็มระยะ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นทั้งหมดในขดลวดจะมี

ค่าเท่ากับ $2 E_a$ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 1.11 (ก)

ถ้าพันขดลวดเป็นแบบไม่เต็มระยะ โดยน้อยกว่าแบบเต็มระยะอยู่เท่ากับ γ ดังแสดง ในรูปที่ 1.11 (ข) ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวด (E_{tr}) จะมีค่าเท่ากับผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทั้ง 2 ด้าน



(ก) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นพร้อมกัน (ข) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน

รูปที่ 1.11 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$\text{จากเวกเตอร์ } \beta + \gamma = 180^\circ$$

$$\beta + 2X = 180^\circ$$

$$2X = \gamma$$

$$E_{\text{tr}} = E_{i1} + E_{i2}$$

$$E_{i1} = E_{i2} = E_a \cos \frac{\gamma}{2}$$

$$E_{\text{tr}} = 2E_a \cos \frac{\gamma}{2}$$

$$k_c = \frac{2E_a \cos \gamma}{2E_a}$$

$$k_c = \cos \gamma/2$$

กำหนดให้

$$P = \text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก}$$

$$S = \text{จำนวนสล็อตทั้งหมด}$$

$$\alpha = \text{มุมทางไฟฟ้าระหว่างสล็อตกับสล็อต}$$

$$\gamma = \text{มุมทางไฟฟ้าในสล็อตเมื่อลงขดลวดแบบเต็มระยะ}$$

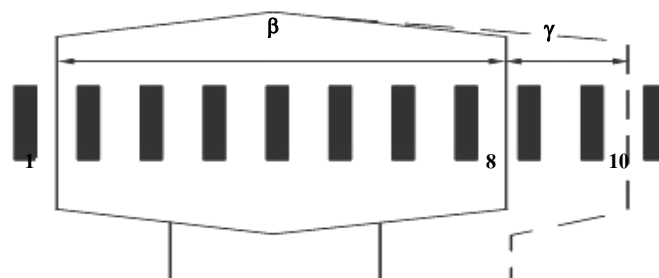
ตัวอย่างที่ 1.2 จงคำนวณหา ตัวประกอบระยะขดลวดและให้สเกตรูประยะการพันขดลวดสำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่กำหนดให้ดังนี้

ก. สเตเตอร์มีสล็อต 54 สล็อต 6 ขั้ว และมีระยะการพันขดลวด 1-8

ข. สเตเตอร์มีสล็อต 96 สล็อต 8 ขั้ว และมีระยะการพันขดลวด 1-10

วิธีทำ

ก. สเตเตอร์มีสล็อต 54 สล็อต 6 ขั้ว และมีระยะการพันขดลวด 1-8



จากระยะขั้วแม่เหล็ก

$$= \frac{\text{จำนวนสล็อต}}{\text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก}}$$

$$= \frac{54}{6}$$

$$= 9$$

ระยะการพันขดลวดให้ครอบคลุม 9 สล็อต ต้องลงขดลวด = 1 - 10

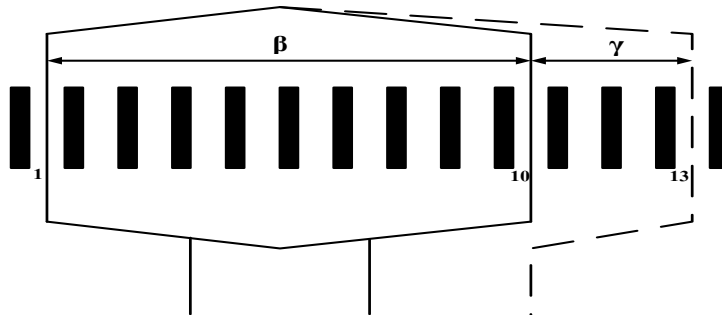
$$\begin{aligned}\text{และ} \quad \alpha &= \frac{180^\circ \times P}{S} \\ &= \frac{180^\circ \times 6}{54} = 20^\circ\end{aligned}$$

$$\gamma = 20^\circ \times 2 = 40^\circ$$

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad k_c &= \cos \frac{\gamma}{2} \\ &= \cos \frac{40^\circ}{2} \\ &= \cos 20^\circ\end{aligned}$$

$$\text{นั่นคือ} \quad k_c = 0.9396 \quad \text{ตอบ}$$

ข. สเตเตอร์มีสล็อต 96 สล็อต 8 ขั้ว และมีระยะการพันขดลวด 1-10



$$\begin{aligned}\text{จากระยะขั้วแม่เหล็ก} &= \frac{\text{จำนวนสล็อต}}{\text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก}} \\ &= \frac{96}{8} \\ &= 12\end{aligned}$$

ระยะการพันขดลวดให้ครอบคลุม 12 สล็อต ต้องลงขดลวด = 1 - 13

$$\begin{aligned}\text{และ} \quad \alpha &= \frac{180^\circ \times P}{S} \\ &= \frac{180^\circ \times 8}{96} = 15^\circ\end{aligned}$$

$$\gamma = 15^\circ \times 3 = 45^\circ$$

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad k_c &= \cos \frac{\gamma}{2} \\ &= \cos \frac{45^\circ}{2} \\ &= \cos 22.5^\circ\end{aligned}$$

$$\text{นั่นคือ} \quad k_c = 0.923 \quad \text{ตอบ}$$

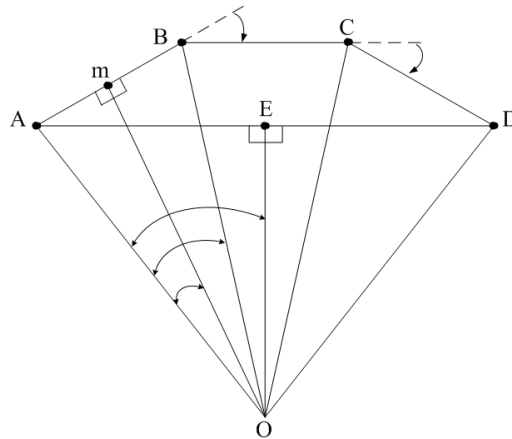
1.2.2 ตัวประกอบการกระจาย (Distribution Factor or Breadth Factor or Spread Factor)

ตัวประกอบที่มีผลต่อการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวหนึ่ง คือ ตัวประกอบการกระจายใช้ตัวย่อคือ k_d , k_b หรือ k_s ตัวประกอบการกระจาย คือ ตัวประกอบที่เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการผันขดลวดแบบรวมและแบบกระจาย ดังนั้นตัวประกอบการกระจายซึ่งสามารถหา-สมการได้ดังนี้

$$k_d = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเมื่อผันขดลวดแบบกระจาย}}{\text{แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเมื่อผันขดลวดรวม}}$$

$$\text{หรือ } k_d = \frac{E_{td}}{E_{tc}}$$

$$\text{หรือ } k_d = \frac{\text{ผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อขดลวด}}{\text{ผลรวมทางเลขคณิตของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อขดลวด}}$$



รูปที่ 1.12 แสดงวิธีการหาค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางเวกเตอร์

จากรูปที่ 1.12 สมมติให้เครื่องกำเนิดมี 3 คอยล์ 2 โพล 3 เฟส พันขดลวดแบบกระจายในแต่ละคอยล์จะสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ออกมาเท่ากัน แต่ทำมุมต่างกันเท่ากับ α และมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ดังรูปที่ 1.12

AB คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ คอยล์ a

BC คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ คอยล์ b

CD คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ คอยล์ c

แบ่งครึ่ง AB ที่ m ลาก Om ตั้งฉากกับ AB

แบ่งครึ่ง AD ที่ E ลาก OE ตั้งฉากกับ AD

$$AD = \frac{AB \sin 3\alpha/2}{\sin \alpha/2}$$

$$AD = E_{td}$$

AD แทนค่า ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่คอยล์ a, b และ c

$$E_{tc} = 3AB$$

AB แทนค่า แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่คอยล์ a, b และ c

$$k_d = \frac{E_{td}}{E_{tc}} = \frac{AD}{3AB}$$

$$= \frac{AB \sin 3\alpha/2}{3AB \sin \alpha/2}$$

$$= \frac{\sin 3\alpha/2}{3 \sin \alpha/2}$$

ถ้าเครื่องกลไฟฟ้าพันคอยล์จำนวน n คอยล์ จะได้สมการดังนี้

$$k_d = \frac{\sin n 3\alpha/2}{n \sin \alpha/2}$$

ตัวอย่างที่ 1.3 ขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องหนึ่งประกอบด้วย 8 ขดลวด ต่ออนุกรมกันขดลวด 1 ขดลวดมีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้น 12 V ขดลวดนั้นอยู่ในสล็อตที่ต่อเนื่องกันและระหว่างสล็อตต่างกันอยู่ 15° จงคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อพันขดลวดแบบกระจาย

วิธีทำ

$$\text{เมื่อ } \alpha = 15^\circ \text{ และ } n = 8$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } k_d &= \frac{\sin n \frac{\alpha}{2}}{n \sin \frac{\alpha}{2}} \\ &= \frac{\sin \left(\frac{8 \times 15^\circ}{2} \right)}{8 \times \sin \left(\frac{15^\circ}{2} \right)} \\ &= \frac{\sin 60^\circ}{8 \times \sin 7.5^\circ} \\ &= 0.866/1.044 \\ k_d &= 0.829 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{tc} &= 8 \times 12 \\
 &= 96 \text{ V} \\
 E_{td} &= E_{tc} \times k_d \\
 &= 96 \times 0.829 \\
 E_{td} &= 79.58 \text{ V} \qquad \text{ตอบ}
 \end{aligned}$$

1.2.3 สมการของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Equation of Induced E.M.F.)

ให้ Z = จำนวนตัวนำที่ต่ออนุกรมกันใน 1 เฟส
 $= 2 T$ เมื่อ T คือจำนวนด้านขดลวด (Coil sides)
 P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก
 f = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น เป็น Hz
 Φ = เส้นแรงแม่เหล็ก / ขั้วเป็นเวเบอร์
 k_d = ตัวประกอบการกระจาย
 k_c = ตัวประกอบพิตช์หรือตัวประกอบระยะขดลวด
 k_f = ตัวประกอบรูปแบบ (Form Factor) = 1.11 (ถ้าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสมมติเป็นรูปคลื่นไซน์)
 N = ความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์เป็นรอบ/นาที (Rotative Speed of the Rotor in rpm.)

สมการแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator)

$$E_{ave} = \frac{\Phi P N}{60} \quad (1)$$

ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 f &= \text{pole - pair} \times N \\
 &= \frac{P}{2} \times \frac{N}{60} \\
 2f &= \frac{PN}{60} \quad (2)
 \end{aligned}$$

แทนค่า $\frac{PN}{60}$ จากสมการ (2) ลงในสมการที่ (1)

$$E_{ave} = 2\Phi f \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{จาก Form Factor} &= \frac{E_{\text{rms}}}{E_{\text{ave}}} = 1.11 \\ E_{\text{rms}} &= 1.11 E_{\text{ave}} \end{aligned} \quad (4)$$

แทนค่า E_{rms} จากสมการ (3) ลงในสมการที่ (4)

$$E_{\text{rms}} = 2.22f\Phi \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) ถ้าเครื่องกำเนิดมีจำนวนตัวนำ Z/ph และคิดค่าตัวประกอบที่มีผลต่อการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} E_{\text{rms/ph}} &= 2.22fZ\Phi k_d k_c & \text{V} \\ \text{ถ้า } Z &= 2T \\ E_{\text{rms/ph}} &= 4.44fT\Phi k_d k_c & \text{V} \\ \text{กำหนดให้} \\ T &= \text{ด้านของขดลวด} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสกลั 3 เฟส 16 ขั้วแม่เหล็ก ขดลวดอาร์มเจอร์ต่อแบบ
สตาร์มี 192 สลอต มีตัวนำ 8 ตัว นำต่อสลอต ตัวนำในแต่ละเฟสต่ออนุกรมกัน ระยะการลง
ขดลวดจากต้นคอยล์ถึงปลายคอยล์เท่ากัน เท่ากับ 150° ไฟฟ้า มีเส้นแรงแม่เหล็ก 64 mWb และ
ถูกขับด้วยความเร็วรอบ 375 รอบต่อนาที จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำระหว่างสายไฟ
วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 E_L &= \sqrt{3}E_P & V \\
 E_P &= 4.44 fT\Phi k_d k_c & V \\
 f &= \frac{PN}{120} \\
 &= \frac{16 \times 375}{120} \\
 &= 50 & \text{Hz} \\
 k_d &= \frac{\text{Sinn}\frac{\alpha}{2}}{n\text{Sin}\frac{\alpha}{2}} \\
 n &= \frac{\text{สลอต}}{\text{ขั้วแม่เหล็ก} \times \text{เฟส}} \\
 &= \frac{192}{16 \times 3} \\
 &= 4 \\
 \alpha &= \frac{180^\circ \times \text{ขั้วแม่เหล็ก}}{\text{สลอต}} \\
 &= \frac{180^\circ \times 16}{192} \\
 \alpha &= 15^\circ \\
 k_d &= \frac{\text{Sin}4\frac{15^\circ}{2}}{4\text{Sin}\frac{15^\circ}{2}} \\
 &= 0.958 \\
 k_c &= \text{Cos} \frac{\gamma}{2} \\
 \gamma &= 180^\circ - 150^\circ \\
 &= 30^\circ \\
 k_c &= \text{Cos} \frac{30^\circ}{2} \\
 &= 0.966 \\
 \text{สลอต/เฟส} &= \frac{192}{3} \\
 &= 64 & \text{สลอตต่อเฟส}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ตัวนำ/เฟส} &= 64 \times 8 \\
 &= 512 && \text{ตัวนำ} \\
 \text{ด้านของคอยล์ เฟส} &= \frac{512}{2} \\
 &= 256 && \text{รอบ} \\
 E_p &= 4.44 f T \Phi k_d k_c && V \\
 &= 4.44 \times 50 \times 256 \times 64 \times 10^{-3} \times 0.958 \times 0.966 \\
 &= 3,362.49 && V \\
 E_L &= \sqrt{3} E_p && V \\
 &= \sqrt{3} \times 3,362.49 \\
 E_L &= 5,824.01 && V \quad \text{ตอบ}
 \end{aligned}$$

แบบฝึกหัดประจำหน่วยที่ 1

เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003 หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

คำแนะนำ จงตอบคำถามให้สมบูรณ์ (20 คะแนน)

1. เมื่อใดที่ ค่าตัวประกอบระยะพิชชัคดลวด (Pitch Factor) จะมีค่าเท่ากับ 1 (2 คะแนน)

.....

.....

2. ตัวประกอบระยะขดลวดมีค่าเท่าไร สำหรับขดลวดที่กำหนดให้ดังนี้ (6 คะแนน)

2.1 สเตเตอร์มีสล็อต 32 สล็อต 4 ขั้ว และมีระยะการพันขดลวด 1-7

2.2 สเตเตอร์มีสล็อต 72 สล็อต 8 ขั้ว และมีระยะการพันขดลวด 1-7

.....

.....

.....

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสมี 6 ขั้วแม่เหล็ก จำนวนสล็อตทั้งหมด 72 สล็อต จงคำนวณหาตัวประกอบการกระจายขดลวด (Distributed Factor) (2 คะแนน)

.....

.....

.....

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ความถี่ออกมา 50 Hz ถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที มี 84 สล็อต โดยใน 1 สล็อตมี 8 ตัวนำ ขดลวดพันเป็นแบบเต็มระยะพิชชัค ตัวนำทั้งหมดต่อแบบอนุกรมกัน เส้นแรงแม่เหล็กขั้วขณะที่ไม่มีโหลดเท่ากับ 120 mWb แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีค่าเท่าไร (10 คะแนน)

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินผลก่อนเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. ระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กมีค่าองศาทางไฟฟ้าเท่าไร

ก. 45

ข. 60

ค. 90

ง. 180

จ. 270

2. การพันขดลวดแบบเต็มระยะ มีความหมายว่าอย่างไร

ก. การพันขดลวดที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์ลงสล็อตเดียวกัน

ข. การพันขดลวดที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก

ค. การพันขดลวดที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์อยู่ระหว่างต้นและปลายคอยล์ถัดไป

ง. การพันขดลวดที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์ทับอยู่บนคอยล์ถัดไป

จ. การพันที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์อยู่น้อยกว่าขั้วแม่เหล็ก

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 48 ขั้ว 60 Hz จะมีองศาทางไฟฟ้าทั้งหมดเท่าไร

ก. 8640

ข. 6820

ค. 2880

ง. 1840

จ. 1640

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 24 ขั้ว 50 Hz จำนวน 120 สล็อต จะมีองศาทางไฟฟ้าในสล็อตเท่าไร

ก. 24

ข. 36

ค. 48

ง. 52

จ. 64

5. ข้อใดไม่ใช่องค์ประกอบของการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ก. ความเร็วรอบของต้นกำลัง

ข. ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก

ค. ขนาดความโตของขั้วแม่เหล็ก

ง. จำนวนตัวนำ

จ. จำนวนขั้วแม่เหล็ก

โจทย์ต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 6 ถึงข้อ 10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วรอบ 375 รอบต่อนาที มี 192 สล็อต มีตัวนำ 4 ตัว นำต่อสล็อต ขดลวดพันแบบเต็มระยะ ต่อขดลวดแบบเดลตา มีความถี่ 50 Hz มีเส้นแรงแม่เหล็ก 64 mWb

6. ขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขั้วเท่าไร

- | | |
|-------|-------|
| ก. 6 | ข. 10 |
| ค. 12 | ง. 14 |
| จ. 16 | |

7. ตัวประกอบระยะขดลวดมีค่าเท่าไร

- | | |
|--------|---------|
| ก. 0.8 | ข. 0.85 |
| ค. 0.9 | ง. 0.95 |
| จ. 1 | |

8. องศาทางไฟฟ้าในแต่ละสล็อตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีองศาเท่าไร

- | | |
|-------|-------|
| ก. 22 | ข. 18 |
| ค. 15 | ง. 12 |
| จ. 10 | |

9. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสมีค่าเท่าไร

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 3475 V | ข. 4275 V |
| ค. 5275 V | ง. 6125 V |
| จ. 6175 V | |

10. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขั้วหรือแรงดันสายมีค่าเท่าไร

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 5275 V | ข. 6018 V |
| ค. 6125 V | ง. 6175 V |
| จ. 7404 V | |

แบบประเมินผลหลังเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดานคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. ข้อใดไม่ใช่องค์ประกอบของการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- ก. ความเร็วรอบของต้นกำลัง
- ข. ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก
- ค. ขนาดความโตของขั้วแม่เหล็ก
- ง. จำนวนตัวนำ
- จ. จำนวนขั้วแม่เหล็ก

โจทย์ต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 2 ถึงข้อ 6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วรอบ 375 รอบต่อนาที มี 192 สล็อต มีตัวนำ 4 ตัว นำต่อสล็อต ขดลวดพันแบบเต็มระยะ ต่อขดลวดแบบเดลตา มีความถี่ 50 Hz มีเส้นแรงแม่เหล็ก 64 mWb

2. ขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขั้วเท่าไร

- | | |
|-------|-------|
| ก. 6 | ข. 10 |
| ค. 12 | ง. 14 |
| จ. 16 | |

3. ตัวประกอบระยะขดลวดมีค่าเท่าไร

- | | |
|--------|---------|
| ก. 0.8 | ข. 0.85 |
| ค. 0.9 | ง. 0.95 |
| จ. 1 | |

4. องศาทางไฟฟ้าในแต่ละสล็อตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีองศาเท่าไร

- | | |
|-------|-------|
| ก. 22 | ข. 18 |
| ค. 15 | ง. 12 |
| จ. 10 | |

5. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสมีค่าเท่าไร

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 3475 V | ข. 4275 V |
| ค. 5275 V | ง. 6125 V |
| จ. 6175 V | |

6. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขั้วหรือแรงดันสายมีค่าเท่าไร

ก. 5275 V

ข. 6018 V

ค. 6125 V

ง. 6175 V

จ. 7404 V

7. ระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กมีค่าองศาทางไฟฟ้าเท่าไร

ก. 45

ข. 60

ค. 90

ง. 180

จ. 270

8. การพันขดลวดแบบเต็มระยะ มีความหมายว่าอย่างไร

ก. การพันขดลวดที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์ลงสล็อตเดียวกัน

ข. การพันขดลวดที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก

ค. การพันขดลวดที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์อยู่ระหว่างต้นและปลายคอยล์ถัดไป

ง. การพันขดลวดที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์ทับอยู่บนคอยล์ถัดไป

จ. การพันที่ต้นคอยล์และปลายคอยล์อยู่น้อยกว่าขั้วแม่เหล็ก

9. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 48 ขั้ว 60 Hz จะมีองศาทางไฟฟ้าทั้งหมดเท่าไร

ก. 8640

ข. 6820

ค. 2880

ง. 1840

จ. 1640

10. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 24 ขั้ว 50 Hz จำนวน 120 สล็อต จะมีองศาทางไฟฟ้าในสล็อตเท่าไร

ก. 24

ข. 36

ค. 48

ง. 52

จ. 64

แบบประเมินผลภาคทฤษฎี สัปดาห์ที่ 2

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จำนวน 20 ชั่วโมง

ชื่อเรื่อง สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จำนวน 2 ชั่วโมง

ชื่อ - นามสกุลชั้นและกลุ่ม.....

ลำดับ ที่	การประเมินผล	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	วิธีการ
1	ทดสอบก่อนเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
2	ทดสอบหลังเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
3	คุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะ อันพึงประสงค์			
	3.1 ตรงต่อเวลา	2		สังเกต
	3.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย	2		สังเกต
	3.3 รับผิดชอบต่อหน้าที่	2		สังเกต
	3.4 ความสนใจ ใฝ่รู้	2		สังเกต
	3.5 มนุษยสัมพันธ์	2		สังเกต
4	แบบฝึกหัดทำถูกต้องครบถ้วนและส่งตรงเวลา	20		ทำแบบฝึกหัด
รวม		50		

สรุปการประเมิน ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน ☐

หมายเหตุ เกณฑ์ผ่านการประเมินคะแนนต้องได้ไม่ต่ำกว่า 60% หรือเท่ากับ 30 คะแนน

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ผู้ประเมิน.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 1
	วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2	สัปดาห์ที่ 3
	ชื่อหน่วย : เครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับ	จำนวนคาบรวม 20 ชม.
ชื่อเรื่อง : เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสถานะมีโหลด เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง ล้าหลัง และนำหน้า		จำนวนคาบ 2 ชม.
จุดประสงค์การสอน		รายการสอน
จุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจ และมีเจตคติที่ดีในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสถานะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง ล้าหลังและนำหน้า จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักศึกษาเรียนจบแล้วสามารถ 1. เขียนเวกเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสถานะโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง ล้าหลัง และนำหน้าได้ 2. แสดงวิธีการหาแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสถานะโหลดแบบเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง ล้าหลังและนำหน้าได้ 3. มีคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 3.1 ตรงต่อเวลา 3.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย 3.3 มีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ 3.4 มีความสนใจใฝ่รู้ 3.5 มนุษยสัมพันธ์		เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสถานะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง ล้าหลังและนำหน้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator or AC. Generator)

1.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขณะมีโหลด (Alternator on Load)

1.3.1 สถานะการทำงานขณะมีโหลด

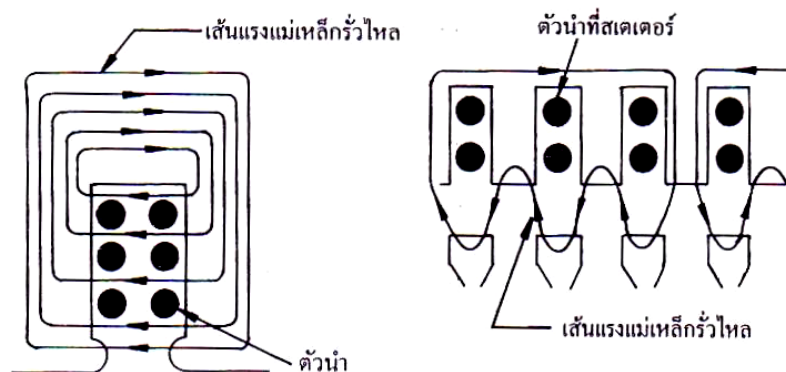
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อมีโหลด จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหลดลดลงจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อไม่มีโหลด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเกิดจาก

1. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเนื่องจากความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Resistance ; R_a)

ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อเฟส (R_a) เป็นต้นเหตุของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมต่อเฟสแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (IR_a) นั้นจะเกิดพร้อมกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในอาร์เมเจอร์ (Armature Current ; I) ถึงอย่างไรก็ตามแรงดันไฟฟ้านี้ในทางปฏิบัติไม่นำมาพิจารณา

2. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเนื่องจากลิกเกจรีแอคแตนซ์ของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Leakage Reactance ; X_L)

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำที่อาร์เมเจอร์จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะไม่ตกคร่อมที่ช่องว่างแต่จะครบวงจรโดยทางอื่น เส้นแรงแม่เหล็กอันนี้เรียกว่า เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลแสดงได้รูปที่ 1.13



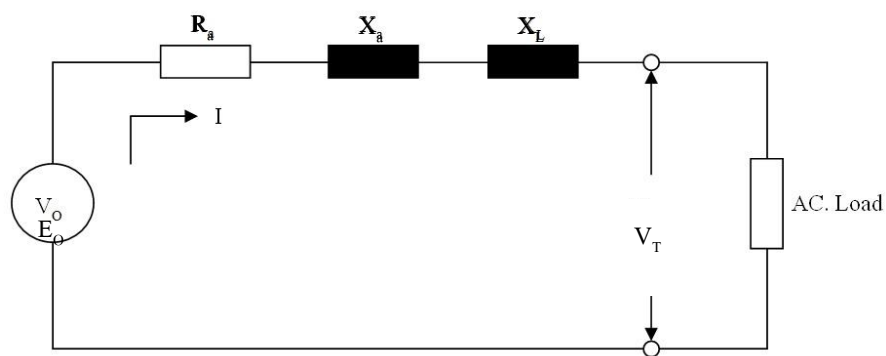
รูปที่ 1.13 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล
(ทีมา ; ไชยชาญ หินเกิด, 2542 : 30)

3. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอกชัน (Armature Reaction ; X_a)

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง อาร์เมเจอร์รีแอกชันเป็นผลของสนามแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์ (Armature Flux) กับสนามแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็ก (Main Field Flux) สำหรับในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดเป็นส่วนสำคัญต่ออาร์เมเจอร์รีแอกชัน

1.3.2 วงจรสมมูลต่อเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Equivalent Circuit per Phase of Alternator)

วงจรสมมูลต่อเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปที่ 1.14 ทำให้เราสามารถวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและคุณลักษณะต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้



รูปที่ 1.14 วงจรสมมูลต่อเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จากวงจรสมมูลเราสามารถหาแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (No Load Voltage ; E_o) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_o = V_T + I(R_a + jX_s) \quad V \quad (\text{เวกเตอร์})$$

$$V_d = I_a (R_a + jX_s) \quad V \quad (\text{เวกเตอร์})$$

$$X_s = X_a + X_L \quad \Omega$$

1.3.3 เวกเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขณะที่มีโหลด (Vector Diagram of a Loaded Alternator)

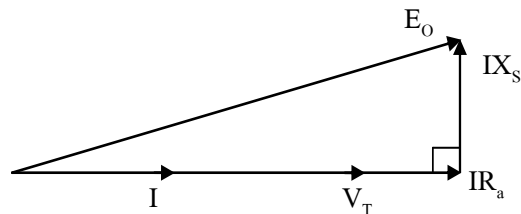
กำหนดให้

E_o	แทนค่า	แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลด
V_T	แทนค่า	แรงดันไฟฟ้าที่โหลด
R_a	แทนค่า	ความต้านทานขดลวดอาร์เมเจอร์
X_s	แทนค่า	ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์

Z_s	แทนค่า ซิงโครนัสอิมพีแดนซ์
I	แทนค่า กระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
$\cos\theta$	แทนค่า เพาเวอร์แฟกเตอร์
θ	แทนค่า มุมระหว่างแรงดันและกระแสที่โหลด

1. เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง (Unity Power Factor)

โหลดที่เป็นตัวต้านทานจะทำให้กระแสและแรงดันอินเฟสกันหรือเวกเตอร์ อยู่บนแกนเดียวกันดังรูปที่ 1.15

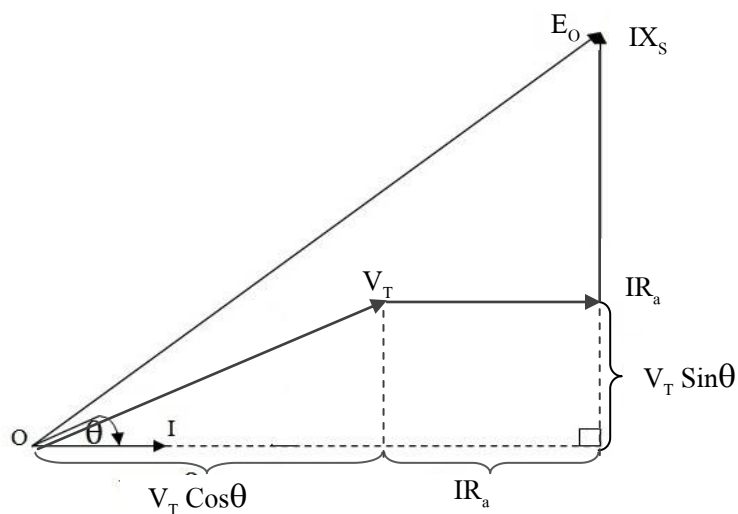


รูปที่ 1.15 แสดงเวกเตอร์ขณะเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง

$$E_o = \sqrt{(V_T + IR_a)^2 + (IX_s)^2} \quad V$$

2. เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าหลัง (Lagging Power Factor)

โหลดที่มีตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ จะทำให้กระแสล่าหลังแรงดันเป็นมุม θ ส่วนมุมจะขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำ ถ้าความต้านทานมากมุมจะมีขนาดเล็ก และถ้าความเหนี่ยวนำมากมุมจะมีขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 1.16

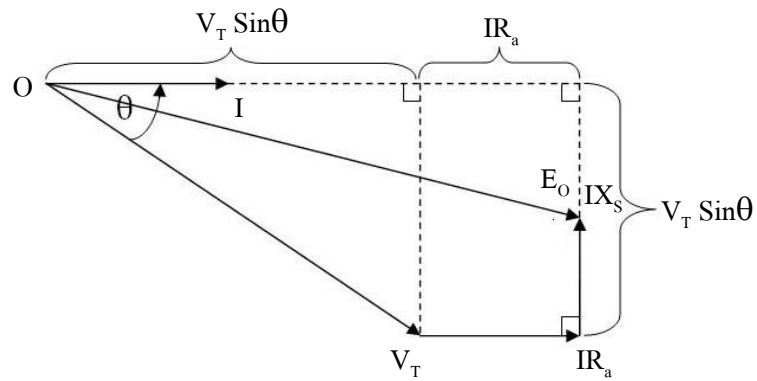


รูปที่ 1.16 แสดงเวกเตอร์ขณะเพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าหลัง

$$E_o = \sqrt{(V_T + \cos\theta + IR_a)^2 + (V_T \sin\theta + IX_s)^2} \quad V$$

3. เพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า (Leading Power Factor)

โหลดที่มีตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ จะทำให้กระแสนำหน้า แรงดันเป็นมุม θ ส่วนมุมจะขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน และค่าประจุถ้าความต้านทานมากมุมจะมีขนาดเล็ก และถ้าค่าประจุมากมุมจะมีขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 แสดงเวกเตอร์ขณะเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า

$$E_o = \sqrt{(V_T + \cos\theta + IR_a)^2 + (V_T \sin\theta + IX_s)^2} \quad V$$

แบบฝึกหัดประจำหน่วยที่ 1

เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003 หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสถานะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์ เท่ากับหนึ่ง
ถ้าหลัง และนำหน้า

คำแนะนำ จงตอบคำถามให้สมบูรณ์ (20 คะแนน)

1. จงอธิบายวงจรที่เกิดเพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า มาพอเข้าใจ (5 คะแนน)

.....

.....

.....

2. ปฏิบัติการอาร์เมเจอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเกิดขึ้นจากอะไร (5 คะแนน)

.....

.....

3. แรงดันตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีกี่ชนิดอะไรบ้าง (5 คะแนน)

.....

.....

4. ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์คืออะไรเกิดจากผลรวมอะไรบ้าง (5 คะแนน)

.....

.....

แบบประเมินผลก่อนเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสภาวะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์ เท่ากับหนึ่ง

ล้าหลัง และนำหน้า

คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. ข้อใดไม่ใช่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
 - ก. ความต้านทานในอาร์เมเจอร์
 - ข. รีแอक्टแตนซ์ในอาร์เมเจอร์
 - ค. ปรากฏการณ์อาร์เมเจอร์
 - ง. ความเร็วของอาร์เมเจอร์
 - จ. ชิงโครไนส์รีแอक्टแตนซ์ในอาร์เมเจอร์
2. ข้อใดมีความหมายตรงกับคำว่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง
 - ก. กระแสในขดลวดอาร์เมเจournำหน้าแรงดัน
 - ข. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอรูล้าหลังแรงดัน
 - ค. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์อินเฟสแรงดัน
 - ง. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณมากกว่าแรงดัน
 - จ. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณน้อยกว่าแรงดัน
3. เมื่อโหลดในวงจรมีตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำจะเกิดอะไรขึ้นกับวงจร
 - ก. กระแสในขดลวดอาร์เมเจournำหน้าแรงดัน
 - ข. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอรูล้าหลังแรงดัน
 - ค. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์อินเฟสแรงดัน
 - ง. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณมากกว่าแรงดัน
 - จ. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณน้อยกว่าแรงดัน
4. ข้อใดมีความหมายตรงกับคำว่าชิงโครไนส์อิมพีแดนซ์
 - ก. ผลรวมของความต้านทานทั้งหมดในขดลวดอาร์เมเจอร์
 - ข. แรงดันตกคร่อมทั้งหมดในขดลวดอาร์เมเจอร์
 - ค. ตัวที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์อาร์เมเจอร์
 - ง. ผลรวมของความต้านทานและรีแอक्टแตนซ์ในขดลวดอาร์เมเจอร์
 - จ. ผลรวมของรีแอक्टแตนซ์และรีแอคแตนซ์ในขดลวดอาร์เมเจอร์

5. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะขึ้นอยู่กับค่าใดต่อไปนี้
- ความเร็วรอบของต้นกำลัง
 - ความถี่ของระบบไฟฟ้า
 - จำนวนของขั้วแม่เหล็ก
 - ความต้านทานของขดลวด
 - เส้นแรงแม่เหล็ก
6. ข้อใดมีความหมายตรงกับคำว่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าช้า
- กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์นำหน้าแรงดัน
 - กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ล่าช้าแรงดัน
 - กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ทิศทางเดียวกันแรงดัน
 - กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณมากกว่าแรงดัน
 - กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณน้อยกว่าแรงดัน
7. ข้อความใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง
- ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์มีค่าเท่ากับซิงโครไนส์อิมพีแดนซ์
 - ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์คือผลรวมของปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์กับรีแอกแตนซ์
 - ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์จะมีค่าเท่ากับปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์ ถ้าไม่คิดค่าความต้านทาน
 - แรงดันตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความต้านทานเท่านั้น
 - แรงดันตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความต้านทานและปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์
8. ข้อใดคือสมการเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลด
- $E_o = I(R_a + jX_s)$
 - $E_o = V + IR_a$
 - $E_o = V + IX_s$
 - $E_o = V + I(R_a + jX_s)$
 - $E_o = V + I(R_a + jX_L)$
9. ข้อใดคือสมการเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- $V_d = IX_s$
 - $V_d = IR_a$
 - $V_d = IZ_s$
 - $V_d = I(R_a + jX_s)$
 - $V_d = I(R_a + jX_L)$
10. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง
- แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์
 - แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ไม่มีโหลดมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด
 - แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่อาร์เมเจอร์มีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด
 - เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าช้าจะไม่เกิดปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์
 - เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่งจะไม่เกิดปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์

แบบประเมินผลหลังเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสภาวะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์ เท่ากับหนึ่ง

ล้าหลัง และนำหน้า

คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะขึ้นอยู่กับค่าใดต่อไปนี้
 - ก. ความเร็วรอบของต้นกำลัง
 - ข. ความถี่ของระบบไฟฟ้า
 - ค. จำนวนของขั้วแม่เหล็ก
 - ง. ความต้านทานของขดลวด
 - จ. เส้นแรงแม่เหล็ก
2. ข้อใดมีความหมายตรงกับคำว่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ล้าหลัง
 - ก. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์นำหน้าแรงดัน
 - ข. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ล้าหลังแรงดัน
 - ค. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์อินเฟสแรงดัน
 - ง. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณมากกว่าแรงดัน
 - จ. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณน้อยกว่าแรงดัน
3. ข้อความใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง
 - ก. ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์มีค่าเท่ากับซิงโครไนส์อิมพีแดนซ์
 - ข. ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์คือผลรวมของปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์กับรีแอกแตนซ์
 - ค. ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์จะมีค่าเท่ากับปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์ ถ้าไม่คิดค่าความต้านทาน
 - ง. แรงดันตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีที่ความต้านทานเท่านั้น
 - จ. แรงดันตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีที่ความต้านทานและปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์
4. ข้อใดคือสมการเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลด
 - ก. $E_o = I(R_a + jX_s)$
 - ข. $E_o = V + IR_a$
 - ค. $E_o = V + IX_s$
 - ง. $E_o = V + I(R_a + jX_s)$
 - จ. $E_o = V + I(R_a + jX_L)$
5. ข้อใดคือสมการเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 - ก. $V_d = IX_s$
 - ข. $V_d = IR_a$
 - ค. $V_d = IZ_s$
 - ง. $V_d = I(R_a + jX_s)$
 - จ. $V_d = I(R_a + jX_L)$

6. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง

- ก. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ซิงโครนัสรีแอ็กแตนซ์
- ข. แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ไม่มีโหลดมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด
- ค. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่อาร์เมเจอร์มีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด
- ง. เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าช้าหลังจะไม่เกิดปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์
- จ. เพาเวอร์แฟกเตอร์ยูนิตีจะไม่เกิดปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์

7. ข้อใดไม่ใช่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

- ก. ความต้านทานในอาร์เมเจอร์
- ข. รีแอ็กแตนซ์ในอาร์เมเจอร์
- ค. ปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์
- ง. ความเร็วของอาร์เมเจอร์
- จ. ซิงโครนัสรีแอ็กแตนซ์ในอาร์เมเจอร์

8. ข้อใดมีความหมายตรงกับคำว่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง

- ก. กระแสในขดลวดอาร์เมเจournำหน้าแรงดัน
- ข. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ล่าช้าหลังแรงดัน
- ค. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์อินเฟสแรงดัน
- ง. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณมากกว่าแรงดัน
- จ. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณน้อยกว่าแรงดัน

9. เมื่อโหลดในวงจรมีตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำจะเกิดอะไรขึ้นกับวงจร

- ก. กระแสในขดลวดอาร์เมเจournำหน้าแรงดัน
- ข. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ล่าช้าหลังแรงดัน
- ค. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์อินเฟสแรงดัน
- ง. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณมากกว่าแรงดัน
- จ. กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์มีปริมาณน้อยกว่าแรงดัน

10. ข้อใดมีความหมายตรงกับคำว่าซิงโครนัสอิมพีแดนซ์

- ก. ผลรวมของความต้านทานทั้งหมดในขดลวดอาร์เมเจอร์
- ข. แรงดันตกคร่อมทั้งหมดในขดลวดอาร์เมเจอร์
- ค. ตัวที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์
- ง. ผลรวมของความต้านทานและรีแอ็กแตนซ์ในขดลวดอาร์เมเจอร์
- จ. ผลรวมของรีแอ็กแตนซ์และรีแอ็กชันในขดลวดอาร์เมเจอร์

แบบประเมินผลภาคทฤษฎี สัปดาห์ที่ 3

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จำนวน 20 ชั่วโมง

ชื่อเรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในสภาวะมีโหลดเพาเวอร์แฟกเตอร์ เท่ากับหนึ่ง ล้าหลัง และนำหน้า

จำนวน 2 ชั่วโมง

ชื่อ – นามสกุลชั้นและกลุ่ม.....

ลำดับ ที่	การประเมินผล	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	วิธีการ
1	ทดสอบก่อนเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
2	ทดสอบหลังเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
3	คุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะ อันพึงประสงค์ 3.1 ตรงต่อเวลา 3.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย 3.3 รับผิดชอบต่อหน้าที่ 3.4 ความสนใจ ใฝ่รู้ 3.5 มนุษยสัมพันธ์	2 2 2 2 2		สังเกต สังเกต สังเกต สังเกต สังเกต
4	แบบฝึกหัดทำถูกต้องครบถ้วนและส่งตรงเวลา	20		ทำแบบฝึกหัด
รวม		50		

สรุปการประเมิน ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน ☐

หมายเหตุ เกณฑ์ผ่านการประเมินคะแนนต้องได้ไม่ต่ำกว่า 60% หรือเท่ากับ 30 คะแนน

ข้อเสนอแนะ.....
.....

ผู้ประเมิน.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

	ใบความรู้ที่ 4	หน่วยที่ 1
	วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2	สัปดาห์ที่ 4
	ชื่อหน่วย : เครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับ	จำนวนคาบรวม 20 ชม.
ชื่อเรื่อง : โวลต์เตจเรกกูเลชัน และการหาค่า ความต้านทานขดลวด และซิงโครไนส์แอกแตนซ์		จำนวนคาบ 2 ชม.
จุดประสงค์การสอน		รายการสอน
จุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจ และมีเจตคติที่ดีในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เรื่อง โวลต์เตจเรกกูเลชัน และการหาค่าความต้านทานขดลวด และซิงโครไนส์แอกแตนซ์ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักศึกษาเรียนจบแล้วสามารถ 1. แสดงวิธีการหาค่าของความต้านทานขดลวด และซิงโครไนส์แอกแตนซ์ได้ 2. แสดงวิธีการหาค่าของโวลต์เตจเรกกูเลชันได้ 3. มีคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 3.1 ตรงต่อเวลา 3.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย 3.3 มีความรับผิดชอบต่อนหน้าที่ 3.4 มีความสนใจใฝ่รู้ 3.5 มนุษย์สัมพันธ์		เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เรื่อง โวลต์เตจเรกกูเลชัน และการหาค่าความต้านทานขดลวด และซิงโครไนส์แอกแตนซ์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator or AC. Generator)

1.4 โวลต์เตจเรกูเลชัน

1.4.1 การหาโวลต์เตจเรกูเลชัน

โวลต์เตจเรกูเลชัน (Voltage Regulation) คือ การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า ขณะที่ไม่มีโหลดและขณะที่จ่ายโหลด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ การหาโวลต์เตจเรกูเลชัน มีวิธีการพิจารณาดังนี้

1. พิจารณาจากภาพทดสอบ (Test) ขณะไม่มีโหลด และเมื่อจ่ายโหลดเต็มที่ นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปคำนวณหาค่าโวลต์เตจเรกูเลชัน
2. พิจารณาจากการออกแบบ (Design) ก่อนการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
3. พิจารณาจากการคำนวณ โดยการหาค่าแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดและแรงดันดันไฟฟ้าเมื่อจ่ายโหลดเต็มที่จากเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่โหลดในแต่ละกรณี แล้วนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์โวลต์เตจเรกูเลชัน (Percent Voltage Regulation ; % Reg)

$$\% \text{ Reg} = \frac{E_o - V_T}{V_T} \times 100$$

เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 1

$$E_o = \sqrt{(V_T + IR_a)^2 + (IX_s)^2} \quad \text{V}$$

เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าช้า

$$E_o = \sqrt{(V_T \cos\theta + IR_a)^2 + (V_T \sin\theta + IX_s)^2} \quad \text{V}$$

เพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า

$$E_o = \sqrt{(V_T \cos\theta + IR_a)^2 + (V_T \sin\theta - IX_s)^2} \quad \text{V}$$

1.4.2 การหาค่าความต้านทานขดลวดและซิงโครไนส์แอกแทนซ์

1. การหาค่าความต้านทานขดลวด

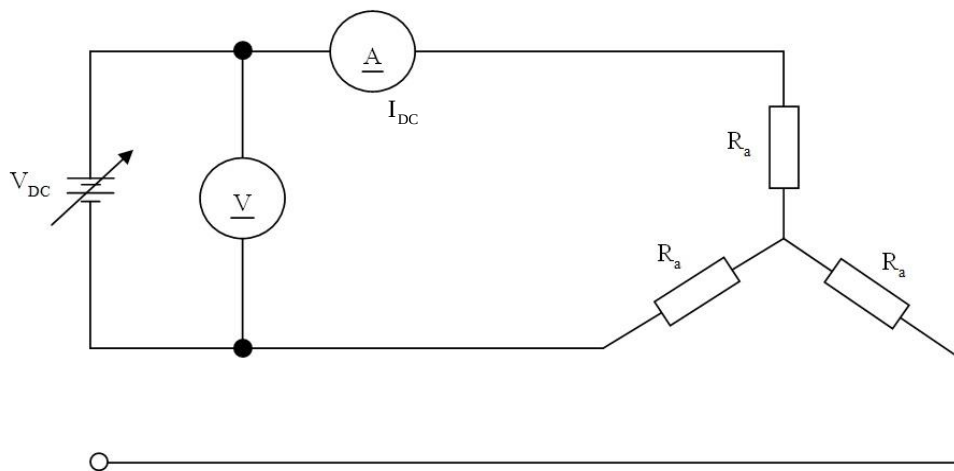
การหาค่าความต้านทานขดลวด ใช้วิธีทดสอบดีซีโวลต์แอมมิเตอร์ ดังวงจรตามรูปที่ 1.18 ขดลวดต่อแบบสตาร์ และ รูปที่ 1.19 ขดลวดต่อแบบเดลตา

$$R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$\begin{aligned} R_{DC} &= R_a + R_a \\ &= 2R_a \end{aligned}$$

$$R_a = \frac{R_{DC}}{2}$$

$$R_a = 0.5 R_{DC}$$



รูปที่ 1.18 ขดลวดต่อแบบสตาร์ $R_a = 0.5 R_{DC}$

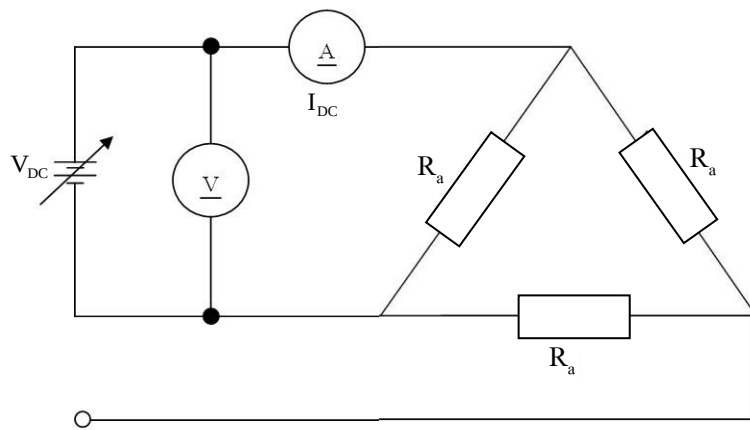
$$R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$\begin{aligned} R_{DC} &= R_a(R_a + R_a) \\ &= \frac{R_a \times 2R_a}{R_a + 2R_a} \end{aligned}$$

$$R_{DC} = \frac{2R_a^2}{3R_a}$$

$$R_a = \frac{3}{2} R_{DC}$$

$$R_a = 1.5 R_{DC}$$



รูปที่ 1.19 ขดลวดต่อแบบเดลตา $R_a = 1.5 R_{DC}$

2. การหาค่าซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์

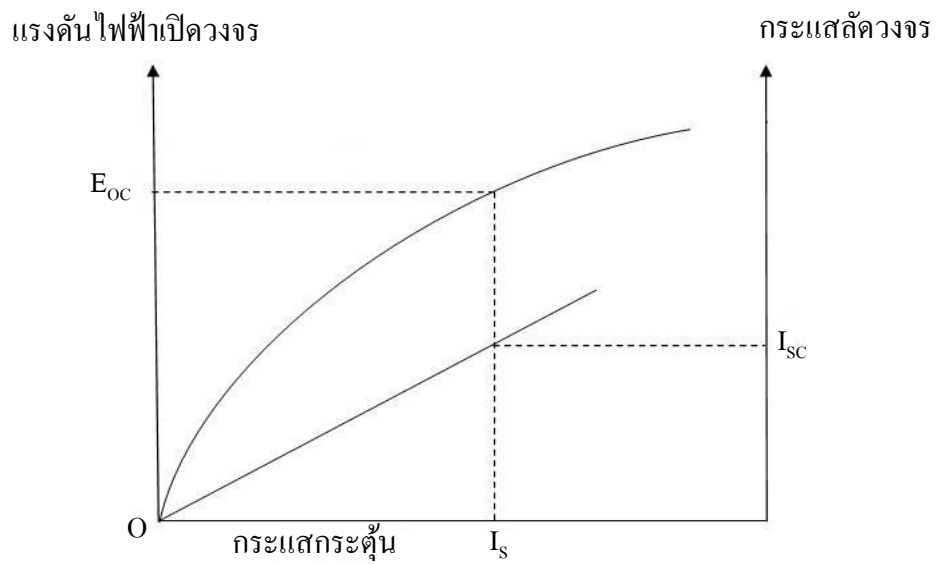
การหาค่าซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์ นอกจากเราจะรู้ค่าความต้านทานแล้ว เราต้องรู้ค่าซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์ด้วยวิธีการหาค่าซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์ ต้องทำการทดสอบดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test ; E_{OC})

ใช้ต้นกำลังจุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับรักษาความเร็วรอบให้คงที่เพื่อให้ความถี่คงที่ แล้วจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก หลังจากนั้นวัดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อนำข้อมูลไปเขียนกราฟคุณลักษณะเปิดวงจร (Open Circuit Characteristic, O.C.C.)

(2) การทดสอบแบบลัดวงจร (Short Circuit Test ; I_{SC})

ใช้ต้นกำลังจุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับรักษาความเร็วรอบให้คงที่ เพื่อให้ความถี่คงที่แล้วค่อย ๆ ปรับกระแสตรงกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก จนกระทั่งกระแสจากแอมมิเตอร์อ่านค่าได้เท่ากับกระแสที่พิกัด หลังจากนั้นวัดค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลไปเขียนกราฟคุณลักษณะขณะลัดวงจร (Short Circuit Characteristic ; S.C.C.)



รูปที่ 1.20 กราฟแสดงคุณลักษณะเปิดวงจรและลัดวงจร

$$Z_s = \frac{E_{oc}}{I_{sc}} \quad \Omega$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2} \quad \Omega$$

E_{oc}	แทนค่า แรงดันทดสอบเปิดวงจร	V
I_{sc}	แทนค่า กระแสไฟฟ้าทดสอบลัดวงจร	A
Z_s	แทนค่า ซิงโครนัสอิมพีแดนซ์	Ω
R_a	แทนค่า ความต้านทานขดลวด	Ω
X_s	แทนค่า ซิงโครนัสรีแอกแตนซ์	Ω

ตัวอย่างที่ 1.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขดลวดต่อแบบสตาร์ จ่ายโหลด 500 kW ที่ 0.8 เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าช้า แรงดันไฟฟ้าที่สาย 6. kV ความต้านทานต่อเฟส 0.2 Ω และ ซิงโครไนส์แอกแตนซ์ต่อเฟส 0.8 Ω จงคำนวณหาโวลต์เตจเรกกูเลชัน

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Reg} &= \frac{E_o - V_T}{V_T} \times 100 \\
 E_o &= \sqrt{(V_T \cos \theta + I R_a)^2 + (V_T \sin \theta + I X_s)^2} \\
 V_T &= \frac{6.5 \times 10^3}{\sqrt{3}} \\
 &= 3,752.78 \quad \text{V} \\
 I_L &= \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6500 \times 0.8} \\
 &= 55.51 \quad \text{A} \\
 I R_a &= 55.51 \times 0.2 \\
 &= 11.10 \quad \text{V} \\
 I X_s &= 55.51 \times 0.8 \\
 &= 44.40 \quad \text{V} \\
 \theta &= \cos^{-1} 0.8 \\
 \theta &= 36.86^\circ \\
 \sin 36.86^\circ &= 0.6 \\
 E_o &= \sqrt{[3,752.78 \times 0.8 + 11.10]^2 + [3,752.78 \times 0.6 + 44.40]^2} \\
 &= \sqrt{9,080,121.52 + 5,271,928.26} \\
 &= \sqrt{14,352,049.79} \\
 E_o &= 3,788.40 \quad \text{V} \\
 \% \text{ Reg} &= \frac{E_o - V_T}{V_T} \times 100 \\
 &= \frac{3,788.40 - 3,752.78}{3,752.78} \times 100 \\
 \% \text{ Reg} &= 0.95 \% \quad \text{ตอบ}
 \end{aligned}$$

- ## แบบฝึกหัดประจำหน่วยที่ 1

แบบประเมินผลก่อนเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง โวลต์เตจเรกกูเลชัน และการหาค่าความต้านทานขดลวด และ ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์

คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. โวลต์เตจเรกกูเลชันคืออะไร

- ก. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดอาร์มเมเจอร์
- ข. การหาแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายของเครื่อง
- ค. การเปรียบเทียบแรงกันขณะไม่มีโหลดกับมีโหลด
- ง. แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยาอาร์มเอเจอร์
- จ. การปรับแรงดันไฟฟ้าที่โหลด

2. การทดสอบข้อใดไม่เกี่ยวข้องกับการหาโวลต์เตจเรกกูเลชัน

- ก. หาความเร็วรอบของต้นกำลัง
- ข. หาความต้านทานขดลวด
- ค. เปิดวงจรเพื่อหาแรงดัน
- ง. ถัดวงจรเพื่อหากระแส
- จ. หาค่ารีแอกแตนซ์ของขดลวด

3. ถ้าขดลวดเครื่องกำเนิด 3 เฟสต่อแบบสตาร์ ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง

- ก. แรงดันสายเท่ากับแรงดันเฟส
- ข. แรงดันสายเท่ากับ $\sqrt{3}$ แรงดันเฟส
- ค. กระแสโหลดเท่ากับ $\sqrt{3}$ กระแสเฟส
- ง. กระแสสายเท่ากับ $\sqrt{3}$ กระแสเฟส
- จ. แรงดันที่โหลดเท่ากับ $\sqrt{3}$ แรงดันเฟส

4. ถ้าขดลวดเครื่องกำเนิด 3 เฟสต่อแบบเดลตา ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง

- ก. แรงดันสายเท่ากับแรงดันเฟส
- ข. แรงดันสายเท่ากับ $\sqrt{3}$ แรงดันเฟส
- ค. กระแสโหลดเท่ากับ $\sqrt{3}$ กระแสเฟส
- ง. กระแสสายเท่ากับกระแสเฟส
- จ. แรงดันที่โหลดเท่ากับ $\sqrt{3}$ แรงดันเฟส

5. สมการข้อใดถูกต้องสำหรับการทดสอบหาความต้านทานของขดลวดต่อเฟสเมื่อขดลวดต่อแบบสตาร์

- ก. $R_a = 0.5 R_{DC}$
- ข. $R_a = 1.5 R_{DC}$
- ค. $R_a = 2 R_{DC}$
- ง. $R_a = 2.5 R_{DC}$
- จ. $R_a = R_{DC}$

6. สมการข้อใดถูกต้องสำหรับการทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวดต่อเฟสเมื่อขดลวดต่อแบบเดลตา

ก. $R_a = 0.5 R_{DC}$

ข. $R_a = 1.5 R_{DC}$

ค. $R_a = 2 R_{DC}$

ง. $R_a = 2.5 R_{DC}$

จ. $R_a = R_{DC}$

7. การทดสอบลัดวงจรทำเพื่อหาอะไร

ก. แรงดันไฟฟ้า

ข. ปฏิกริยาอาร์เมเจอร์

ค. ความต้านทานขดลวด

ง. กระแสไฟฟ้า

จ. กำลังไฟฟ้าที่โหลด

โจทย์ต่อไปนี้นำคำตอบข้อ 8 ถึง ข้อ 10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับ 3 เฟส ต่อแบบ-เดลตา จ่ายโหลด 25 MW ที่ 0.8 เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าช้า แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว 22 kV ความต้านทานต่อเฟส 0.3 โอห์มต่อเฟสและซิงโครไนส์แอกแดนซ์ 0.8 โอห์มต่อเฟส

8. จงคำนวณหากระแสที่เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดเต็มที่มีค่ากระแสเท่าไร

ก. 729 A

ข. 820 A

ค. 909 A

ง. 1,136 A

จ. 1,186 A

9. จงคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เฟสมีค่าแรงดันเท่าไร

ก. 33.3 kV

ข. 22.3 kV

ค. 22 kV

ง. 20.3 kV

จ. 11.3 kV

10. จงคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สายหรือแรงดันสาย มีค่าแรงดันเท่าไร

ก. 38.1 kV

ข. 33.3 kV

ค. 22.3 kV

ง. 19.6 kV

จ. 11.3 kV

แบบประเมินผลหลังเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง โวลต์เตจเรกจูเลชั่น และการหาค่าความต้านทานขดลวด และซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์

คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. การทดสอบลัดวงจรทำเพื่อหาอะไร

ก. แรงดันไฟฟ้า

ข. ปฏิกริยาอาร์เมเจอร์

ค. ความต้านทานขดลวด

ง. กระแสไฟฟ้า

จ. กำลังไฟฟ้าที่โหลด

โจทย์ต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 2 ถึง ข้อ 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ต่อแบบ-เดล ตายโหลด 25 MW ที่ 0.8 เพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าหลัง แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว 22 kV ความต้านทานต่อเฟส 0.3 โอห์มต่อเฟสและซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์ 0.8 โอห์มต่อเฟส

2. จงคำนวณหากระแสที่เครื่องกำเนิดจ่ายโหลดเต็มที่มีค่ากระแสเท่าไร

ก. 729 A

ข. 820 A

ค. 909 A

ง. 1,136 A

จ. 1,186 A

3. จงคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เฟสมีค่าแรงดันเท่าไร

ก. 33.3 kV

ข. 22.3 kV

ค. 22 kV

ง. 20.3 kV

จ. 11.3 kV

4. จงคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สายหรือแรงดันสาย มีค่าแรงดันเท่าไร

ก. 38.1 kV

ข. 33.3 kV

ค. 22.3 kV

ง. 19.6 kV

จ. 11.3 kV

5. สมการข้อใดถูกต้องสำหรับการทดสอบหาความต้านทานของขดลวดต่อเฟสเมื่อขดลวดต่อแบบเดลตา

ก. $R_a = 0.5 R_{DC}$

ข. $R_a = 1.5 R_{DC}$

ค. $R_a = 2 R_{DC}$

ง. $R_a = 2.5 R_{DC}$

จ. $R_a = R_{DC}$

6. โวลต์เตจเรกูเลชันคืออะไร

- ก. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์
- ข. การหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายของเครื่อง
- ค. การเปรียบเทียบแรงกันขณะไม่มีโหลดกับมีโหลด
- ง. แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์
- จ. การปรับแรงดันไฟฟ้าที่โหลด

7. การทดสอบข้อใดไม่เกี่ยวข้องกับการหาโวลต์เตจเรกูเลชัน

- ก. หาความเร็วรอบของต้นกำลัง
- ข. หาค่าความต้านทานขดลวด
- ค. เปิดวงจรเพื่อหาแรงดัน
- ง. ถัดวงจรเพื่อหากระแส
- จ. หาค่ารีแอกแตนซ์ของขดลวด

8. ถ้าขดลวดเครื่องกำเนิด 3 เฟสต่อแบบสตาร์ ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง

- ก. แรงดันสายเท่ากับแรงดันเฟส
- ข. แรงดันสายเท่ากับ $\sqrt{3}$ แรงดันเฟส
- ค. กระแสโหลดเท่ากับ $\sqrt{3}$ กระแสเฟส
- ง. กระแสสายเท่ากับ $\sqrt{3}$ กระแสเฟส
- จ. แรงดันที่โหลดเท่ากับ $\sqrt{3}$ แรงดันเฟส

9. ถ้าขดลวดเครื่องกำเนิด 3 เฟสต่อแบบเดลตา ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง

- ก. แรงดันสายเท่ากับแรงดันเฟส
- ข. แรงดันสายเท่ากับ $\sqrt{3}$ แรงดันเฟส
- ค. กระแสโหลดเท่ากับ $\sqrt{3}$ กระแสเฟส
- ง. กระแสสายเท่ากับกระแสเฟส
- จ. แรงดันที่โหลดเท่ากับ $\sqrt{3}$ แรงดันเฟส

10. สมการข้อใดถูกต้องสำหรับการทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวดต่อเฟสเมื่อขดลวดต่อแบบสตาร์

- ก. $R_a = 0.5 R_{DC}$
- ข. $R_a = 1.5 R_{DC}$
- ค. $R_a = 2 R_{DC}$
- ง. $R_a = 2.5 R_{DC}$
- จ. $R_a = R_{DC}$

แบบประเมินผลภาคทฤษฎี สัปดาห์ที่ 4

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จำนวน 20 ชั่วโมง

ชื่อเรื่อง โวลต์เตจเรกกูเลชั่น และการหาค่าความต้านทานขดลวด และซิงโครไนส์แอกแตนซ์ จำนวน 2 ชั่วโมง

ชื่อ – นามสกุลชั้นและกลุ่ม.....

ลำดับ ที่	การประเมินผล	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	วิธีการ
1	ทดสอบก่อนเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
2	ทดสอบหลังเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
3	คุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะ อันพึงประสงค์			
	3.1 ตรงต่อเวลา	2		สังเกต
	3.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย	2		สังเกต
	3.3 รับผิดชอบต่อหน้าที่	2		สังเกต
	3.4 ความสนใจ ใฝ่รู้	2		สังเกต
	3.5 มนุษยสัมพันธ์	2		สังเกต
4	แบบฝึกหัดทำถูกต้องครบถ้วนและส่งตรงเวลา	20		ทำแบบฝึกหัด
รวม		50		

สรุปการประเมิน ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน ☐

หมายเหตุ เกณฑ์ผ่านการประเมินคะแนนต้องได้ไม่ต่ำกว่า 60% หรือเท่ากับ 30 คะแนน

ข้อเสนอแนะ.....
.....

ผู้ประเมิน.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

	ใบความรู้ที่ 5	หน่วยที่ 1
	วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2	สัปดาห์ที่ 5
	ชื่อหน่วย : เครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับ	จำนวนคาบรวม 20 ชม.
ชื่อเรื่อง : หลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแส กำลัง และแรงบิดเชิงโครโนซ์		จำนวนคาบ 2 ชม.
จุดประสงค์การสอน		รายการสอน
จุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจ และมีเจตคติที่ดีใน เรื่องหลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแส กำลัง และแรงบิดเชิงโครโนซ์ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักศึกษา เรียนจบแล้วสามารถ - อธิบาย หลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ได้ - แสดงวิธีการหาค่า กระแส กำลัง และแรงบิดเชิงโครโนซ์ได้ - มีคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ - ตรงต่อเวลา - แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย - มีความรับผิดชอบต่อนหน้าที่ - มีความสนใจใฝ่รู้ - มนุษยสัมพันธ์		เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เรื่อง หลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแส กำลัง และแรงบิดเชิงโครโนซ์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator or AC. Generator)

1.5 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Parallel Alternators or Synchronizing Alternators)

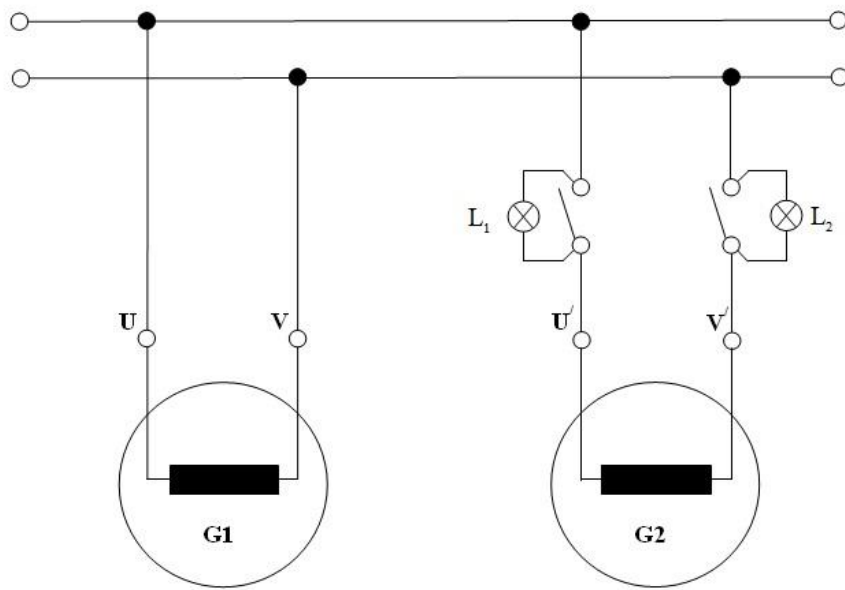
1.5.1 เงื่อนไขสำคัญในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า จะมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหลาย ๆ เครื่องต่อขนานกัน เพื่อช่วยกันจ่ายโหลด การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้เราเรียกว่า การซิงโครไนซ์ (Synchronizing) การขนานเครื่องกำเนิดจะเป็นการเพิ่มกำลังไฟฟ้าเพื่อช่วยกันจ่ายโหลด โดยแรงดันคงที่แต่เพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

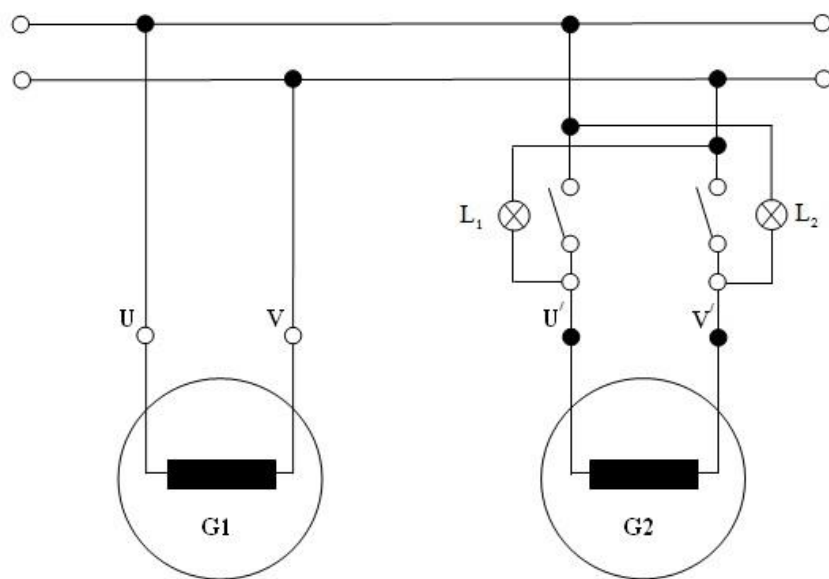
1. แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต้องเท่ากัน โดยใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าแล้วนำมาเปรียบเทียบ -
2. ความถี่ต้องเท่ากัน ใช้เครื่องมือวัดความถี่วัดค่าแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน
3. การลำดับเฟส (Phase Sequence) ต้องเหมือนกันและเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยใช้หลอดไฟฟ้า

1.5.2 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส (Synchronizing of Single Phase Alternators)

การขนานเครื่องกำเนิดกระแสสลับ 1 เฟส 2 เครื่องเข้าด้วยกัน ต้องให้แรงดันและความถี่เท่ากัน ส่วนการลำดับเฟสต้องใช้หลอดไฟฟ้าซึ่งมีวงจรการตรวจสอบการลำดับเฟสอยู่ 2 วงจร ดังรูปที่ 1.21 การตรวจสอบการลำดับเฟสโดยหลอดไฟฟ้าดับ 2 หลอด และรูปที่ 1.22 การตรวจสอบการลำดับเฟสโดยหลอดไฟฟ้าสว่าง 2 หลอด



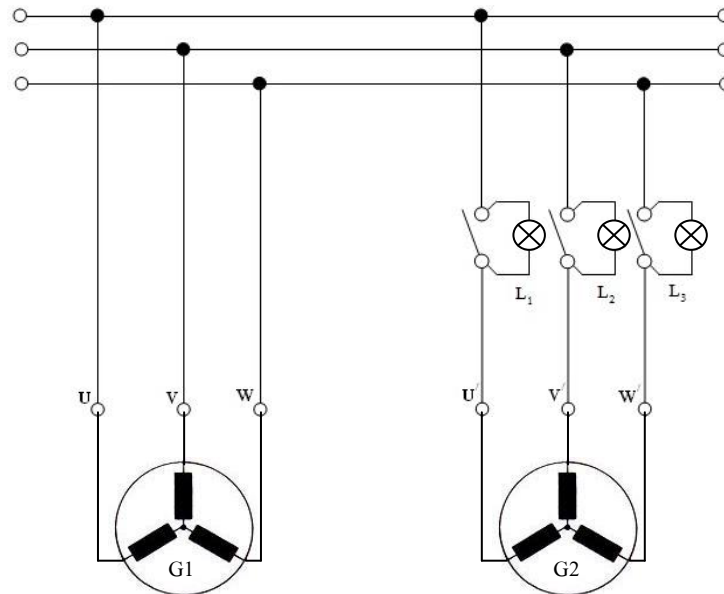
รูปที่ 1.21 การตรวจสอบการลำดับเฟสแบบหลอดไฟฟ้าดับ 2 หลอด



รูปที่ 1.22 แสดงการตรวจสอบการลำดับเฟสแบบหลอดไฟฟ้าสว่าง 2 หลอด

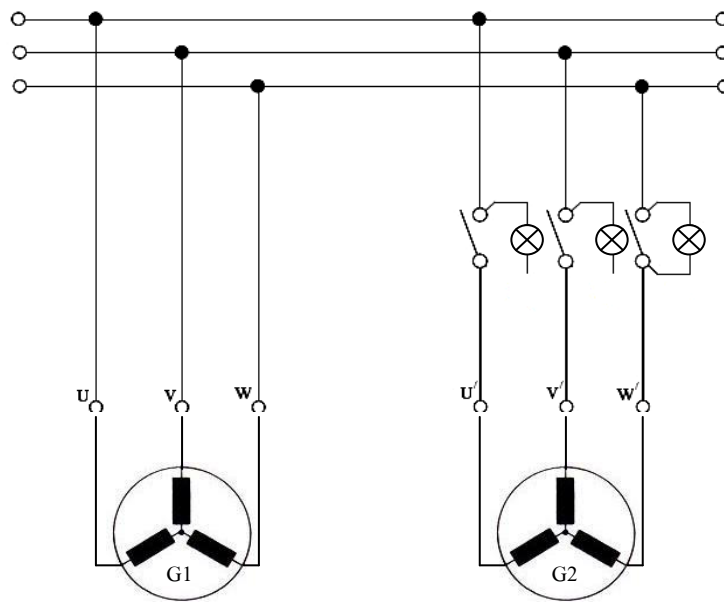
1.5.3 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Synchronizing of Three Phase Alternators)

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 2 เครื่อง เข้าด้วยกัน ต้องให้แรงดันและความถี่เท่ากัน ส่วนการลำดับเฟสต้องใช้หลอดไฟฟ้ ซึ่งมีการลำดับเฟสอยู่ 2 วงจร ดังรูปที่ 1.23 การตรวจสอบการลำดับเฟสโดยหลอดไฟฟ้ 3 หลอด และรูปที่ 1.24 การตรวจสอบการลำดับเฟสโดยหลอดไฟฟ้ 1 หลอด สว่าง 2 หลอด



รูปที่ 1.23 การตรวจสอบการลำดับเฟสโดยหลอดไฟฟ้ 3 หลอด

จากรูปที่ 1.23 การตรวจสอบการลำดับเฟสโดยหลอดไฟฟ้ 3 หลอด การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 2 (G2) เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 1 (G1) จะขนานเข้าด้วยกันได้ต้องสังเกตดูหลอดไฟฟ้ทั้ง 3 หลอดต้องดับสนิทเป็นเวลานาน แสดงว่าการลำดับเฟสถูกต้องไม่มีความต่างศักย์ที่หลอดไฟฟ้ทั้ง 3 หลอด



รูปที่ 1.24 การตรวจสอบการลำดับเฟสโดยหลอดไฟฟ้าดับ 1 หลอด สว่าง 2 หลอด

จากรูปที่ 1.24 การตรวจสอบการลำดับเฟสโดยหลอดไฟฟ้าดับ 1 หลอด สว่าง 2 หลอด การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 2 (G2) เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 1 (G1) จะขนานเข้าด้วยกันได้ต้องสังเกตหลอดไฟฟ้า L_1 และ L_2 จะสว่าง ส่วนหลอดไฟฟ้า L_3 จะดับ แสดงว่าการลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 เหมือนกันสามารถขนานกันได้

1.5.4 กระแสซิงโครไนซ์ (Synchronizing Current)

ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่องขนานกันจะมีแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม $E_1 = E_2$ ดังรูปที่ 1.25 (ก) ทำให้ไม่มีกระแสไหลวน (I_{sy}) ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ถ้าความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดเครื่องที่ 2 ลดลง ทำให้แรงดันไฟฟ้า E_2 ถ้าหลังเป็นมุม α องศาทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1.25 (ข) จึงทำให้ E_2 นำหน้า E_1 เป็นมุม $\theta_2 - \theta_1$ ผลรวมของแรงดันไฟฟ้า E_1 กับ E_2 มีค่าเท่ากับ E_r จะเกิดกระแสไหลวน เรียกว่า กระแสซิงโครไนซ์

$$\frac{E_r}{Z_s} \quad A$$

กำหนดให้

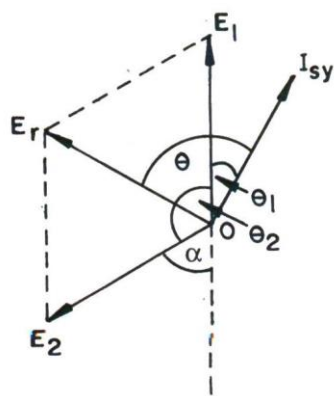
E_r	แทนค่า ผลรวมของแรงดันไฟฟ้า E_1 กับ E_2 มีหน่วยเป็น	V
I_{sy}	แทนค่า กระแสซิงโครไนซ์	มีหน่วยเป็น A
Z_s	แทนค่า ซิงโครไนซ์อิมพีแดนซ์	มีหน่วยเป็น Ω
X_s	แทนค่า ซิงโครไนซ์รีแอกแตนซ์	มีหน่วยเป็น Ω
R_a	แทนค่า ความต้านทานขดลวด	มีหน่วยเป็น Ω

การหาค่ามุม θ

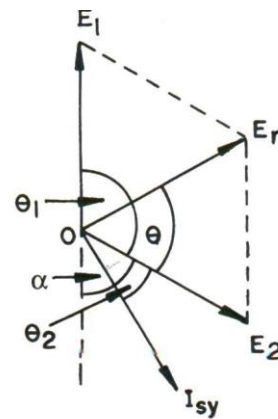
$$\frac{X_s}{R_a} \left(\frac{X_s}{R_a} \right)$$



(ก) แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้ามกัน



(ข) แรงดัน E_2 ล้าหลังเป็นมุม α



(ค) แรงดัน E_2 นำหน้าเป็นมุม α

รูปที่ 1.25 แสดงเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้ากับกระแสเชิงโคโรไนซ์

(ที่มา ; ไชยชาญ หินเกิด 2542 : 68)

ถ้าให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 มีความเร็วเพิ่มขึ้นจะทำให้เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า E_2 เลื่อนไปข้างหน้าเป็นมุม α องศาทางไฟฟ้า แต่จะล้าหลังแรงดันไฟฟ้า E_1 เป็นมุม θ_1 กระแส I_{sy} จะเกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 และล้าหลัง E_2 อยู่เป็นมุม θ_2 ดังแสดงในรูปที่ 1.25 (ค) กระแสนี้จะหน่วงให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 มีความเร็วลดลง และในขณะเดียวกันก็จะเร่งความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 เพิ่มขึ้น

1.5.5 กำลังไฟฟ้าซิงโครไนซ์ (Synchronizing Power)

หลังจากที่เครื่องกำเนิด 2 เครื่องขนานกันแล้ว ถ้าเครื่องกำเนิดเครื่องที่ 2 มีความเร็วรอบช้ากว่าเครื่องกำเนิดเครื่องที่ 1 ดังแสดงในเวกเตอร์รูปที่ 1.25 (ข) กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดเครื่องที่ 1 จ่ายออกเรียกว่ากำลังไฟฟ้าซิงโครไนซ์

กำลังไฟฟ้าซิงโครไนซ์ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 จ่ายออกต่อเฟสมีค่าดังนี้

$$P_{sy} = \frac{\alpha E^2}{X_s} \quad \text{W (เมื่อไม่คิด } R_a)$$

$$P_{sy} = XE I_{sc} \quad \text{W}$$

$$I_{sc} = \frac{E}{Z_s} \quad \text{A}$$

กำลังไฟฟ้าซิงโครไนซ์รวมสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส มีค่าดังนี้

ขณะไม่มีโหลด $P_{sy} = \frac{3\alpha E^2}{X_s} \quad \text{W (เมื่อไม่คิด } R_a)$

$$P_{sy} = \frac{3\alpha E^2}{Z_s} \quad \text{W (เมื่อไม่คิด } R_a)$$

ขณะมีโหลด $P_{sy} = \frac{3\alpha E E_0}{X_s} \quad \text{W (เมื่อไม่คิด } R_a)$

$$P_{sy} = \frac{3\alpha E E_0}{Z_s} \quad \text{W (เมื่อไม่คิด } R_a)$$

กำหนดให้

P_{sy}	แทนค่า กำลังซิงโครไนซ์	มีหน่วยเป็น W
E	แทนค่า แรงดันไฟฟ้าขณะที่มีโหลดต่อเฟส	มีหน่วยเป็น V
E_0	แทนค่า แรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลดต่อเฟส	มีหน่วยเป็น V
Z_s	แทนค่า ซิงโครไนส์อิมพีแดนซ์ต่อเฟส	มีหน่วยเป็น Ω
I_{sc}	แทนค่า กระแสลัดวงจร	มีหน่วยเป็น A
α	แทนค่า มุมระหว่างแรงดันไฟฟ้า E_2 กับแกนอ้างอิง	มีหน่วยเป็น องศาไฟฟ้า
α	แทนค่า $\frac{\pi}{180^\circ}$	มีหน่วยเป็น เรเดียน

1.5.6 แรงบิดซิงโครไนซ์ (Synchronizing Torque)

$$P_{sy} = T_{sy} \times 2\pi \frac{N_s}{60} \quad \text{W (สำหรับ 3 เฟส)}$$

$$T_{sy} = \frac{P_{sy} \times 60}{2\pi N_s} \quad \text{N-m}$$

กำหนดให้

T_{sy}	แทนค่า แรงบิดเชิงโครไนซ์	มีหน่วยเป็น	N-m
N_s	แทนค่า ความเร็วเชิงโครไนซ์	มีหน่วยเป็น	rpm.

ตัวอย่างที่ 1.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 1,500 kVA มี 4 ขั้ว แม่เหล็กต่อแบบ-สตาร์ถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ต่อขนานอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับตัวอื่น โดยต่อเข้ากับสายส่ง 2,000 V เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเชิงโครไนซ์รีแอกแตนซ์ 25% กำลังไฟฟ้าเชิงโครไนซ์และแรงบิดเชิงโครไนซ์จะมีค่าเท่าไร เมื่อแรงดันไฟฟ้าเลื่อนไป 1 องศาทางกล

วิธีทำ

จาก	$P_{sy} = \frac{3\alpha E^2}{Z_s}$	W
เมื่อไม่เกิด R_a	$P_{sy} = \frac{3\alpha E^2}{X_s}$	W
เมื่อ	$\frac{4}{2}$	องศาทางไฟฟ้า
	$\alpha = 2$	องศาทางไฟฟ้า
	$\alpha = 2^\circ \times \frac{\pi}{180}$	เรเดียน
	$\alpha = \frac{\pi}{90^\circ}$	เรเดียน
แรงดันไฟฟ้าต่อเฟส	$E = \frac{2000}{\sqrt{3}}$	
	$= 1,154$	
กระแสที่สาย	$I_L = \frac{KVA \times 10^3}{\sqrt{3} V_L}$	
	$= \frac{1,500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 2,000}$	
	$= 433$	A
ดังนั้น	$IX_s = 25\% \times 1,154$	
	$X_s = \frac{25 \times 1,154}{100 \times 360}$	
	$= 0.80$	Ω

$$P_{sy} = \frac{3\alpha E^2}{X_s}$$

$$= \frac{3 \times \pi \times (1,154)^2}{60 \times 0.80}$$

$$P_{sy} = 261.48 \quad \text{kW} \quad \text{ตอบ}$$

$$T_{sy} = \frac{P_{sy} \times 60}{2\pi N_s} \quad \text{N-m}$$

$$= \frac{26148 \times 10^3 \times 60}{2\pi \times 1500}$$

$$T_{sy} = 1,664.63 \quad \text{N-m} \quad \text{ตอบ}$$

แบบฝึกหัดประจำหน่วยที่ 1

เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003 หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง หลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแส กำลัง และแรงบิด
ซิงโครไนซ์

คำแนะนำ จงตอบคำถามให้สมบูรณ์ (20 คะแนน)

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสต่อขดลวดแบบวาย ขนาด 1,000 kVA มี 4 ขั้ว
หมุนที่ ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที ต่อขนานอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับตัวอื่น โดย
ต่อเข้ากับบัสบาร์ 1,200 V เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีซิงโครไนส์แอกแตนซ์ 20% กำลังไฟฟ้า
ซิงโครไนซ์ และแรงบิดซิงโครไนซ์มีค่าเท่าไร เมื่อแรงดันไฟฟ้าเลื่อนไป 2 องศาทางกล
(20 คะแนน)

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินผลก่อนเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง หลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแส กำลัง และแรงบิด

ชิงโครโนซ์

คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. ข้อใดไม่ใช่เงื่อนไขของการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

- | | |
|---|-----------------------------|
| ก. แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเท่ากัน | ข. การลำดับเฟสต้องเหมือนกัน |
| ค. โหลดต้องเป็นชนิดเดียวกัน | ง. ความถี่ต้องเท่ากัน |
| จ. ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดต้องเท่ากัน | |

2. ถ้าความถี่ของเครื่องกำเนิดไม่เท่ากับแหล่งจ่ายจะอย่างไร

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| ก. ปรับโหลดของเครื่องกำเนิด | ข. ปรับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด |
| ค. เปลี่ยนขั้วของเครื่องกำเนิด | ง. ปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิด |
| จ. ปรับกระแสกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก | |

3. หลอดไฟฟ้าที่ต่อในวงจรขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ต่อไว้เพื่ออะไร

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| ก. ตรวจสอบการลำดับเฟส | ข. ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า |
| ค. ตรวจสอบกระแสไฟฟ้า | ง. ตรวจสอบความถี่ไฟฟ้า |
| จ. ตรวจสอบความเร็วรอบ | |

โจทย์ต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 4 และข้อ 5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

ขดลวดต่อแบบวาย ขนาด 5 kVA 440 V มี 6 ขั้วหมุนที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที

4. จงหาค่ากระแสของเครื่องกำเนิดมีค่าเท่าไร

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 4.9 A | ข. 6.5 A |
| ค. 8.5 A | ง. 11.3 A |
| จ. 13.2 A | |

5. ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายโหลดขนาด 3 kW เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.8 ถ้าหลังกระแสของโหลดมีค่าเท่าไร

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 4.9 A | ข. 6.5 A |
| ค. 8.5 A | ง. 11.3 A |
| จ. 13.2 A | |

6. ถ้าแรงดันของเครื่องกำเนิดไม่เท่ากับแหล่งจ่ายจะทำอย่างไร

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| ก. ปรับโหลดของเครื่องกำเนิด | ข. ปรับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด |
| ค. เปลี่ยนขั้วของเครื่องกำเนิด | ง. ปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิด |
| จ. ปรับกระแสกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก | |

โจทย์ข้อต่อไปนี้นำใช้ตอบคำถามข้อ 7 ถึงข้อ 9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 500 kVA มี 8 ขั้ว หมุนที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที แรงดันไฟฟ้า 380 V ขดลวดต่อแบบวาย

7. ความถี่ของเครื่องกำเนิดมีค่าเท่าไร

- | | |
|----------|----------|
| ก. 45 Hz | ข. 50 Hz |
| ค. 55 Hz | ง. 60 Hz |
| จ. 65 Hz | |

8. พิกัดกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่าไร

- | | |
|----------|----------|
| ก. 438 A | ข. 468 A |
| ค. 558 A | ง. 598 A |
| จ. 658 A | |

9. ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด 400 kW เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.8 ล้าหลัง กระแสที่โหลดมีค่าเท่าไร

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 1052 A | ข. 1011 A |
| ค. 919 A | ง. 829 A |
| จ. 759 A | |

10. การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องทำเพื่ออะไร

- | | |
|--------------------------------|--|
| ก. เพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายโหลด | ข. ปรับความเร็วรอบให้เท่ากัน |
| ค. เพิ่มกระแสไฟฟ้าที่จ่ายโหลด | ง. เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า |
| จ. เพิ่มความถี่ให้กับระบบ | |

แบบประเมินผลหลังเรียน

วิชา เครื่องกลไฟฟ้า 2 รหัส 3104-2003

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ชื่อเรื่อง หลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแส กำลัง และแรงบิด

ชิงโครไนซ์

คะแนน 10 คะแนน

คำแนะนำ 1. อ่านคำถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ข้อที่ถูกที่สุดในกระดาษคำตอบ

2. เวลาสำหรับทำแบบประเมิน 10 นาที

1. ถ้าแรงดันของเครื่องกำเนิดไม่เท่ากับแหล่งจ่ายจะอย่างไร

ก. ปรับโหลดของเครื่องกำเนิด

ข. ปรับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด

ค. เปลี่ยนขั้วของเครื่องกำเนิด

ง. ปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิด

จ. ปรับกระแสกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก

โจทย์ต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 2 ถึงข้อ 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 500 kVA มี 8 ขั้ว หมุนที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที แรงดันไฟฟ้า 380 V ขดลวดต่อแบบวาย

2. ความถี่ของเครื่องกำเนิดมีค่าเท่าไร

ก. 45 Hz

ข. 50 Hz

ค. 55 Hz

ง. 60 Hz

จ. 65 Hz

3. พิกัดกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่าไร

ก. 438 A

ค. 468 A

ค. 558 A

ง. 598 A

จ. 658 A

4. ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด 400 kW เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.8 ล้าหลัง กระแสที่โหลดมีค่าเท่าไร

ก. 1052 A

ข. 1011 A

ค. 919 A

ง. 829 A

จ. 759 A

5. การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องทำเพื่ออะไร

ก. เพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายโหลด

ข. ปรับความเร็วรอบให้เท่ากัน

ค. เพิ่มกระแสไฟฟ้าที่จ่ายโหลด

ง. เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จ. เพิ่มความถี่ให้กับระบบ

6. ข้อใดไม่ใช่เงื่อนไขของการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

- | | |
|---|-----------------------------|
| ก. แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเท่ากัน | ข. การลำดับเฟสต้องเหมือนกัน |
| ค. โหลดต้องเป็นชนิดเดียวกัน | ง. ความถี่ต้องเท่ากัน |
| จ. ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดต้องเท่ากัน | |

7. ถ้าความถี่ของเครื่องกำเนิดไม่เท่ากับแหล่งจ่ายจะทำอย่างไร

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| ก. ปรับโหลดของเครื่องกำเนิด | ข. ปรับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด |
| ค. เปลี่ยนขั้วของเครื่องกำเนิด | ง. ปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิด |
| จ. ปรับกระแสกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก | |

8. หลอดไฟฟ้าที่อยู่ในวงจรการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ต่อไว้เพื่ออะไร

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| ก. ตรวจสอบการลำดับเฟส | ข. ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า |
| ค. ตรวจสอบกระแสไฟฟ้า | ง. ตรวจสอบความถี่ไฟฟ้า |
| จ. ตรวจสอบความเร็วรอบ | |

โจทย์ต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 4 และข้อ 5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

ขดลวดต่อแบบวาย ขนาด 5 kVA 440 V มี 6 ขั้วหมุนที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที

9. จงหาค่ากระแสของเครื่องกำเนิดมีค่าเท่าไร

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 4.9 A | ข. 6.5 A |
| ค. 8.5 A | ง. 11.3 A |
| จ. 13.2 A | |

10. ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายโหลดขนาด 3 kW เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.8 ล้าหลังกระแสของโหลดมีค่าเท่าไร

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 4.9 A | ข. 6.5 A |
| ค. 8.5 A | ง. 11.3 A |
| จ. 13.2 A | |

แบบประเมินผลภาคทฤษฎี สัปดาห์ที่ 5

หน่วยที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จำนวน 20 ชั่วโมง

ชื่อเรื่อง หลักการและการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแส กำลัง และแรงบิดเชิงโคโรไนซ์

จำนวน 2 ชั่วโมง

ชื่อ - นามสกุลชั้นและกลุ่ม.....

ลำดับ ที่	การประเมินผล	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	วิธีการ
1	ทดสอบก่อนเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
2	ทดสอบหลังเรียน	10		ทำแบบทดสอบ
3	คุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะ อันพึงประสงค์			
	3.1 ตรงต่อเวลา	2		สังเกต
	3.2 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบวิทยาลัย	2		สังเกต
	3.3 รับผิดชอบต่อหน้าที่	2		สังเกต
	3.4 ความสนใจ ใฝ่รู้	2		สังเกต
	3.5 มนุษยสัมพันธ์	2		สังเกต
4	แบบฝึกหัดทำถูกต้องครบถ้วนและส่งตรงเวลา	20		ทำแบบฝึกหัด
รวม		50		

สรุปการประเมิน ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน ☐

หมายเหตุ เกณฑ์ผ่านการประเมินคะแนนต้องได้ไม่ต่ำกว่า 60% หรือเท่ากับ 30 คะแนน

ข้อเสนอแนะ.....
.....

ผู้ประเมิน.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....