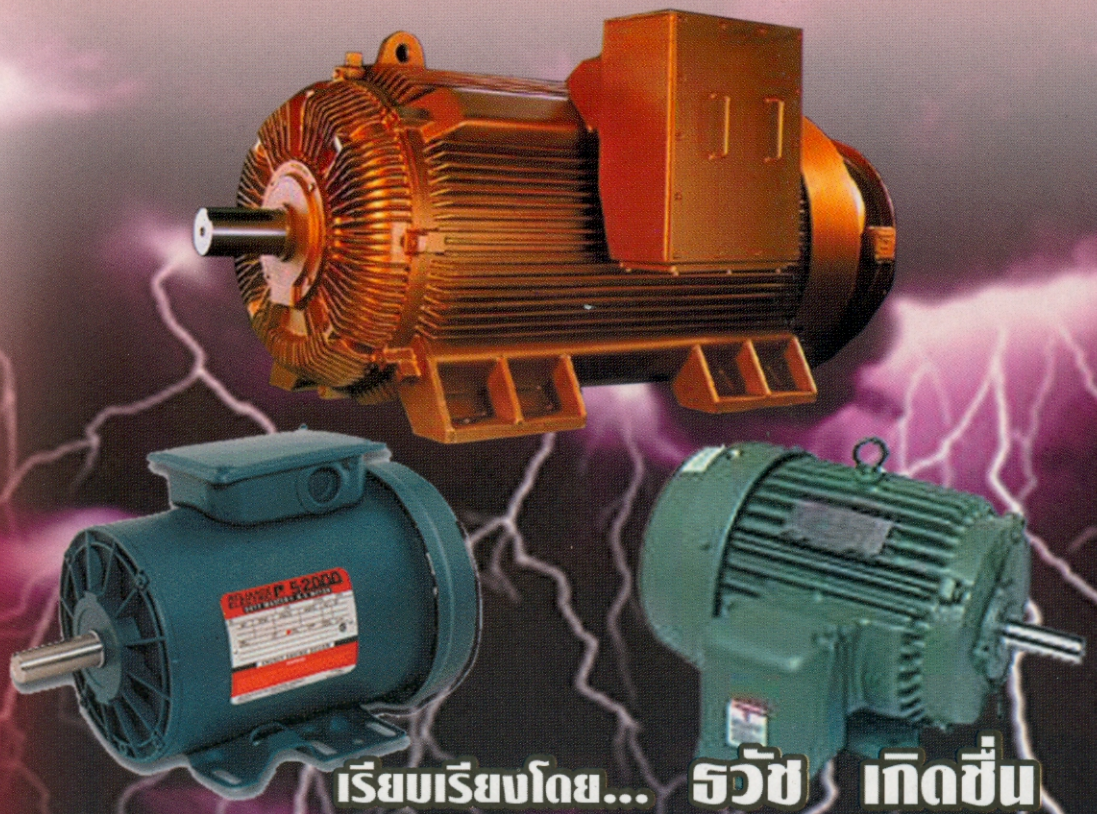
เครื่องกลไฟฟ้า 1

Electrical Machines 1

รหัส 04-211-102 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)
ของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

รหัส 04-210-210 ระดับปริญญาตรี



เรียบเรียงโดย... ธวัช เกิดชื่น

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1 พื้นฐานเครื่องกลไฟฟ้า		**1**
1.1	บทนำ	1
1.2	กฎของนิวตันเกี่ยวกับการหมุน และความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า	1
1.3	สนามและวงจรแม่เหล็ก	5
1.4	การเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็ก	12
1.5	ความเหนี่ยวนำ	18
1.6	การกระตุ้นด้วยรูปคลื่นซายน์	20
1.7	ความสูญเสียในแกน	21
1.8	บทสรุป	27
บทที่ 2 หม้อแปลงไฟฟ้า		**31**
2.1	บทนำ	31
2.2	โครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	31
2.3	หม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติ	33
2.4	หม้อแปลงไฟฟ้าทางปฏิบัติ	37
2.5	การหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า	44
2.6	ระบบค่าต่อหน่วย	48
2.7	การรักษาระดับแรงดัน	51
2.8	ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	55
2.9	บทสรุป	57
บทที่ 3 หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสและหม้อแปลงพิเศษ		**59**
3.1	บทนำ	59
3.2	หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส	59
3.3	กลุ่มของเวกเตอร์	63
3.4	หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัว	64
3.5	พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้าและปัญหาที่เกี่ยวข้อง	70
3.6	หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต	74

3.7 พื้นฐานการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 82
3.8 บทสรุป 85

บทที่ 4 การแปรสภาพพลังงานกลไฟฟ้า 87

4.1 บทนำ 87
4.2 กระบวนการแปรสภาพพลังงาน 87
4.3 พลังงานที่สะสมในสนามแม่เหล็ก 88
4.4 อุปกรณ์ที่มีการกระตุ้นข้างเดียว 90
4.5 ระบบที่มีการกระตุ้น 2 ทาง 96
4.6 บทสรุป 100

บทที่ 5 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง 103

5.1 บทนำ 103
5.2 การทำงานของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง 103
5.3 โครงสร้างของอาร์เมเจอร์ 110
5.4 ปัญหาเกี่ยวกับการคอมมิวเตชัน 115
5.5 แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ และแรงบิดเหนี่ยวนำ 121
5.6 โครงสร้างและส่วนประกอบ 125
5.7 บทสรุป 126

บทที่ 6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 129

6.1 บทนำ 129
6.2 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 130
6.3 เส้นการทำให้เป็นแม่เหล็ก 131
6.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น 132
6.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน 138
6.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม 144
6.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมชนิดคอมมูเลตีฟ 146
6.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล 151
6.9 บทสรุป 154

บทที่ 7 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 157

7.1 บทนำ 157
7.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์กระแสตรง 158

7.3 มอเตอร์แบบแยกกระตุ้นและแบบขนาน 159
7.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร 171
7.5 มอเตอร์แบบอนุกรม 171
7.6 มอเตอร์แบบผสม 176
7.7 อุปกรณ์เริ่มเดิน และควบคุมมอเตอร์กระแสตรง 179
7.8 ประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแสตรง 182
7.9 บทสรุป 183

บทที่ 8 พฤติกรรมพลวัตของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง 187

8.1 บทนำ 187
8.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น 187
8.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 194
8.4 การจำลองด้วยโปรแกรม Matlab 204
8.5 บทสรุป 205

แผนการสอนและเฉลยเครื่องกลไฟฟ้า 1 207
บรรณานุกรม

บทที่ 1 พื้นฐานเครื่องกลไฟฟ้า

1.1 บทนำ

บทนี้จะพยายามนำเสนอพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกลไฟฟ้า ตลอดจนคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกลไฟฟ้า โดยจะเริ่มตั้งแต่กฎของนิวตันที่เกี่ยวกับการหมุน สนามและวงจรแม่เหล็กในวัสดุสารเฟอร์โรแมกนิติก การเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ การเกิดแรงบิดเหนี่ยวนำ การสูญเสียในแกนเหล็ก โดยจะแยกพิจารณาทั้งความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current loss) และฮีสเตอรีซีส (hysteresis loss) โดยทั้งหมดนั้นจะเป็นพื้นฐานให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.2 กฎของนิวตันเกี่ยวกับการหมุน และความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า

1.2.1 ตำแหน่งเชิงมุม (Angular position, θ)

เป็นมุมของวัสดุที่วัดจากจุดใดๆ โดยปกติวัดให้มีหน่วยเป็นเรเดียน (radians) หรือองศา (degree) ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็น $2\pi = 360^\circ$

1.2.2 ความเร็วเชิงมุม (angular velocity, ω)

เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเชิงมุมต่อเวลา ซึ่งจะมีค่าเป็นบวกเมื่อการหมุนเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกา ถ้าหากเป็นความเร็วเชิงเส้นมีค่าเป็น

$$v = \frac{dr}{dt} \qquad (1.1)$$

เมื่อ r เป็นตำแหน่งเชิงเส้น แต่ถ้าเป็นระบบการหมุนแล้วก็จะพิจารณาในรูปความเร็วเชิงมุมโดยมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (radians / sec.)

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \qquad (1.2)$$

นอกจากนี้อาจพบหน่วยที่แตกต่างกันออกไปอาทิเช่น n_m , f_m หรือ ω_m ซึ่ง m แสดงเป็นปริมาณทางกลไม่ใช่ปริมาณทางไฟฟ้า โดย

ω_m มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (radians per second)

f_m มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (revolutions per second)

n_m มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (revolutions per minute)

แบบฝึกหัดเสริม บทที่ 3

ข้อ 3.1 ต้องการหม้อแปลงสามเฟสที่มีพิกัด 400kVA 34.5/13.8kV อยากทราบว่าต้องใช้หม้อแปลง 1 เฟสที่มีพิกัดกำลัง พิกัดแรงดัน อัตราส่วนหม้อแปลงเป็นเท่าใด เมื่อหม้อแปลงสามเฟสนั้นเกิดจากการต่อดังต่อไปนี้ วาย-วาย วาย-เดลต้า เดลต้า-วาย เดลต้า-เดลต้า และเดลต้าเปิด

ข้อ 3.2 จากการนำหม้อแปลงหนึ่งเฟสขนาด 100kVA 7967/480V มาต่อเป็นหม้อแปลงสามเฟสมีพิกัด 13800/480V แบบวาย-เดลต้า จากการทดสอบลัดวงจรโดยให้เครื่องวัดอยู่ด้ายแรงดันสูงปรากฏว่า V_{SC}=560V I_{SC}=12.6A และ P_{SC}=3300W

(a) ถ้าหม้อแปลงสามเฟสนี้จ่ายโหลดที่พิกัดแรงดัน และกระแส ตัวประกอบกำลังเป็น 0.88ล้าหลัง แรงดันด้านปฐมภูมิควรเป็นเท่าใด

(b) ค่าเปอร์เซ็นต์การรักษาระดับแรงดันในข้อ (a) มีค่าเท่าใด

ข้อ 3.3 หม้อแปลงสามเฟสต่อแบบเดลต้า-เดลต้า ขนาด 100MVA 230/115kV มีค่าความต้านทาน 0.02pu. และรีแอคแตนซ์ 0.055pu. ส่วนของการกระตุ้นมีค่า $R_{C,pu}$=110pu. และ $X_{M,pu}$=20pu.

(a) ถ้าหม้อแปลงจ่ายโหลดที่กำลังไฟฟ้าปรากฏ 0.8pu. ที่ตัวประกอบกำลัง 0.85 ล้าหลัง และแรงดันที่ขั้วทุติยภูมิเป็น 115kV จงหาค่าเปอร์เซ็นต์การรักษาระดับแรงดัน

(b) จงเขียนเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันและกระแสในข้อ (a) เป็นค่าต่อหน่วย

(c) จงเขียนวงจรสมมูลด้านแรงดันต่ำ

ข้อ 3.4 หม้อแปลงแบบออโตสามเฟสต่อแบบวาย-วายชนิดแปลงขึ้นมีแรงดันด้านแรงดันต่ำเป็น 12.6kV และด้านแรงดันสูงเป็น 13.8kV มีพิกัดกำลังเป็น 2000kVA

(a) อยากทราบว่าอัตราส่วน N_C/N_{SE} มีค่าเท่าใด

(b) กำลังไฟฟ้าปรากฏในแต่ละขดลวดเป็นเท่าใด

(c) หม้อแปลงแบบธรรมดาในแต่ละเฟสที่จะต่อให้ได้หม้อแปลงดังกล่าวต้องมีพิกัดเท่าใด

จุดประสงค์การเรียนรู้

บทที่	รายการ	เวลา
1	**พื้นฐานเครื่องกลไฟฟ้า**	**6 คาบ**
	1.1 รู้คำจำกัดความและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกลไฟฟ้า	50 นาที
	1.1.1 บอกคำจำกัดความของคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกลไฟฟ้า	
	1.1.2 บอกกฎที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกลไฟฟ้า	
	1.2 คำนวณเกี่ยวกับสนามและวงจรแม่เหล็ก	100 นาที
	1.2.1 อธิบายความเกี่ยวข้องของสนามแม่เหล็กกับวงจรแม่เหล็ก	
	1.2.2 คำนวณหาค่าฟลักซ์แม่เหล็ก ความหนาแน่น และความเข้มสนามแม่เหล็ก	
	1.3 คำนวณเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็ก	50 นาที
	1.3.1 อธิบายการเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำในขดลวดอยู่กับที่	
	1.3.2 อธิบายการเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ตัวเคลื่อนที่	
	1.3.3 อธิบายการเกิดแรงเหนี่ยวนำบนตัวนำ	
	1.3.4 คำนวณหาค่าทั้งแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและแรงเหนี่ยวนำบนตัวนำตัวเดียวกัน	
	1.4 เข้าใจลักษณะของความเหนี่ยวนำ	50 นาที
	1.4.1 อธิบายความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กกับค่าความเหนี่ยวนำ	
	1.4.2 บอกสูตรความเหนี่ยวนำที่เกิดจากวงจรแม่เหล็ก	
	1.5 เข้าใจการกระตุ้นขดลวดด้วยรูปคลื่นซายน์	50 นาที
	1.5.1 อธิบายการเกิดฮีสเตอรีซีสลูปในแกนเฟอร์โรแมกนิติก	
	1.5.2 อธิบายการเกิดความสูญเสียในแกนเฟอร์โรแมกนิติก	
2	**หม้อแปลงไฟฟ้า**	**6 คาบ**
	2.1 รู้โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า	20 นาที
	2.1.1 บอกส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า	
	2.1.2 บอกลักษณะการพันขดลวดของหม้อแปลง	
	2.2 เข้าใจลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าทางอุดมคติ	50 นาที
	2.2.1 อธิบายการทำงานของหม้อแปลงขณะไม่มีความสูญเสีย	
	2.2.2 อธิบายการกำหนดขั้วของหม้อแปลง	
	2.2.3 อธิบายการย้ายค่าอิมพีแดนซ์ผ่านหม้อแปลงอุดมคติ	

เฉลยแบบฝึกหัดเสริม บทที่ 2

ข้อ 2.1 (a) $R_{eq,p}$= 51.7 Ω $X_{eq,p}$= 95.1 Ω $R_{C,p}$= 250 kΩ และ $X_{M,p}$= 30 kΩ

(b) $R_{eq,pu}$= 0.023pu. $X_{eq,pu}$= 0.0298pu. $R_{C,pu}$= 78.125pu. และ $X_{M,pu}$= 9.375pu.

(c) $8290\angle 0.55^\circ$ VR = 3.63%

(d) $\eta = 95.6\%$

ข้อ 2.2 (a) $R_{eq,s}$= 0.140 Ω $X_{eq,s}$= 0.532 Ω $R_{C,s}$= 441Ω และ $X_{M,s}$= 134Ω

(b) 3.3% ; 1.1% ; -1.5%

(c) 94.9%

ข้อ 2.3 (a) $218\angle -3.1^\circ$ V ; VR=4.7%

(b) $246\angle -1.2^\circ$ V ; VR=-7.07%

ข้อ 2.4 VR=3.84% ; $\eta = 97.6\%$

เฉลยแบบฝึกหัดเสริม บทที่ 3

ข้อ 3.1 หม้อแปลงแต่ละตัวที่นำมาต่อเป็นหม้อแปลง 3 เฟส

การต่อ	แรงดันปฐมภูมิ	แรงดันทุติยภูมิ	กำลังปรากฏ	อัตราส่วน
Y-y	19.9kV	7.97kV	133kVA	2.50:1
Y-d	19.9kV	13.8kV	133kVA	1.44:1
D-y	34.5kV	7.97kV	133kVA	4.33:1
D-d	34.5kV	13.8kV	133kVA	2.50:1
Open-D	34.5kV	13.8kV	231kVA	2.50:1