



ศึกษาคูณลักษณะของดีซีมอเตอร์

STUDY THE CHARACTERISTIC OF DC MOTOR

นายศักรินทร์ หลงมะณี รหัส 46380168
นายภูวัญ เมืองวงศ์ รหัส 48380359

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... ๒๑ มี.ค. ๒๕๕๕
เลขทะเบียน..... ๑๕๖๓๐๐๕
เลขเรียกหนังสือ..... ๙/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๗๖๔ ๗ ๒๕๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา ๒๕๕๑



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	ศึกษาคุณลักษณะของดีซีมอเตอร์
ผู้ดำเนินโครงการ	นายศักรินทร์ หลงมะลิ รหัส 46380168 นายภูวพันธ์ เมืองวงศ์ รหัส 48380359
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
(ดร. พรพิศุทธิ์ วรจิรันคน)

.....กรรมการ
(อาจารย์แสงชัย มังกรทอง)

หัวข้อโครงการ	ศึกษาคุณลักษณะของดีซีมอเตอร์
ผู้ดำเนินโครงการ	นายศักรินทร์ หลงมะลิ รหัส 46380168
	นายภูวัญ เมืองวงศ์ รหัส 48380359
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

.....

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและทดลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการต่อแบบอนุกรม ขนาน และผสม ที่แรงดัน 180, 220 และ 260 โวลต์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในการต่อแบบอนุกรม ขนาน และผสม ขณะจ่ายโหลดและไม่จ่ายโหลด จากการทดลองพบว่า

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อจ่ายแรงดันที่ 180, 220 และ 260 โวลต์ ทำให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นตามระดับแรงดัน และเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง ในการต่อแบบอนุกรมพบว่า การเปลี่ยนแปลงของโหลดเพียงเล็กน้อยมีผลทำให้ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ในการต่อแบบขนานพบว่า การเปลี่ยนแปลงของโหลดมีผลทำให้ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งการต่อแบบขนานจะมีความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ ในการต่อแบบผสมการพบว่า การเพิ่มขึ้นของโหลด ทำให้ความเร็วรอบลดลง เมื่อเทียบกับการต่อแบบขนาน จะลดลงเร็วและมากกว่า แต่ที่แรงบิดเท่ากันจะกินกระแสที่น้อยกว่า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อมีความเร็วรอบเพิ่มขึ้นแรงดันที่ได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่การต่อแบบขนานจะได้แรงดันที่มากกว่าการต่อแบบอนุกรมและการต่อแบบผสม และในการจ่ายโหลดเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้แรงดันลดลงตามภาระของโหลด

Project Title Study the Characteristic of DC Motor

Name Mr.Sakkarin Loungmali ID. 46380168
Mr.Phuwat Muangwong ID. 48380359

Project Advisor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic Year 2008

ABSTRACT

This project is study and test of D.C. Motor as series, shunt and compound, the voltage at 180, 220 and 260 volt, and D.C. Generator as series, shunt and compound during load test and no-load test. The experiment found that.

D.C. Motor when voltage at 180, 220 and 260 volt, speeds up as the voltage level. When has vary loading, in series motor found that varying of load a little effect to the speed very varying, in shunt motor found that varying of load effect to the speed varying a little bit, which shunt motor will has speed constant, in compound motor found that the increasing of load will effect to speed less when compare with shunt motor which will reduce faster, but at torque equivalent will has current less.

D.C. Generator when the speed increased voltage that is also increasing. But shunt motor will has more voltage than series motor and compound motor. Load test, when increase load will effect to voltage reduce to load condition.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและได้รับคำแนะนำจาก ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบคุณ ดร. พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์ และอาจารย์แสงชัย มังกรทอง ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้ตรวจสอบปริญญานิพนธ์และคอยให้คำแนะนำในส่วนของคุณวุฒิที่เกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบคุณนายกฤษฎา สมจิตชอบ และนายณัฐภัทร มัทย์พงษ์ถาวร ที่คอยให้คำปรึกษาและดูแลในช่วงการทดลอง

ท้ายสุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง ที่คอยดูแล คอยเป็นกำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนในด้านต่างๆ มาโดยตลอดและขอขอบคุณบุคคลต่างๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง รวมถึงแหล่งข้อมูลที่เอื้อต่อการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

นายศกรินทร์ หลงมะลิ
นายภูวณัน เมืองวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ตารางการดำเนินงาน.....	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 งบประมาณที่ใช้.....	3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.3 คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	8
2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	16
2.5 แรงบิดของตัวนำ.....	22
2.6 แรงบิดของมอเตอร์.....	24
2.7 กำลังของมอเตอร์.....	26
2.8 กำลังสูญเสียในมอเตอร์.....	27
2.9 ประสิทธิภาพของมอเตอร์.....	35
2.10 การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	43
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	44

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	59
4.2 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	80

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง.....	95
5.2 ปัญหาในการทำงานและแนวทางแก้ไข.....	97
5.3 ประเมินผล.....	97
5.4 แนวทางสำหรับการพัฒนา.....	97

เอกสารอ้างอิง	98
---------------------	----

ประวัติผู้เขียนโครงงาน.....	99
-----------------------------	----

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	58
4.2 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	58
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด แบบอนุกรมที่แรงดัน 180 V.....	60
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบอนุกรมที่แรงดัน 180 V.....	60
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด แบบอนุกรมที่แรงดัน 220 V.....	61
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบอนุกรมที่แรงดัน 220 V.....	61
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด แบบอนุกรมที่แรงดัน 260 V.....	62
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบอนุกรมที่แรงดัน 260 V.....	62
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด แบบขนานที่แรงดัน 180 V.....	67
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบขนานที่แรงดัน 180 V.....	67
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด แบบขนานที่แรงดัน 220 V.....	68
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบขนานที่แรงดัน 220 V.....	68
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด แบบขนานที่แรงดัน 260 V.....	69
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบขนานที่แรงดัน 260 V.....	69
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด แบบผสมที่แรงดัน 180 V.....	74

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์	
แบบผสมที่แรงดัน 180 V	74
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด	
แบบผสมที่แรงดัน 220 V	75
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์	
แบบผสมที่แรงดัน 220 V	75
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ, แรงบิด	
แบบผสมที่แรงดัน 260 V	76
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์	
แบบผสมที่แรงดัน 260 V	76
4.21 ตารางแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อความเร็วรอบ	81
4.22 แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อความเร็วรอบ	83
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับความเร็วอาร์เมเจอร์	
และกระแสลวด	84
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า	86
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส	87
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสลวดที่โหลดต่างๆ	89
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความเร็วรอบ	90
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแส	92
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสอาร์เมเจอร์	
ที่กระแสโหลดคงที่	93
5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งาน	
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดต่างๆ	96

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.2 โครงหรือเปลือก	5
2.3 ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก	5
2.4 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก.....	6
2.5 แปรงถ่าน	6
2.6 ส่วนที่เคลื่อนที่.....	7
2.7 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์.....	7
2.8 คอมมิวเตเตอร์.....	8
2.9 วงจรภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	8
2.10 การจำแนกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	10
2.11 วงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....	10
2.12 มอเตอร์แบบอนุกรม	11
2.13 วงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน	12
2.14 มอเตอร์แบบขนาน.....	13
2.15 วงจรของมอเตอร์แบบผสมชนิดคิวมูเลทีฟ	14
2.16 วงจรของมอเตอร์แบบผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล.....	14
2.17 มอเตอร์แบบผสม.....	15
2.18 เส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้เป็นเส้นตรง พุ่งออกจากขั้วเหนือ ไปยังขั้วใต้	17
2.19 เส้นแรงแม่เหล็กล้อมรอบตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในสนามแม่เหล็ก.....	18
2.20 เส้นแรงแม่เหล็กรวมระหว่าง ϕ_{NS} กับ ϕ_1 และ ϕ_{NS} กับ ϕ_2 ในช่องว่างอากาศ ระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้.....	18
2.21 ตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง	19
2.22 ตัวนำเคี้ยวเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก.....	19
2.23 รูปสัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลัктตัวนำกับเส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้าของตัวนำเคี้ยวในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.22.....	19
2.24 แรงผลัктตัวนำคู่ในสนามแม่เหล็ก	20
2.25 แรงผลัктตัวนำหลายตัวนำในสนามแม่เหล็ก.....	21
2.26 แรงบิดของมอเตอร์และล้อขับเคลื่อนสำหรับหุ่นยนต์	22

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 แรงบิดของมอเตอร์	23
2.28 แรงและแรงบิดของมอเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็ก2คู่ขั้วที่ประกอบด้วย ตัวนำอาร์เมเจอร์ 28 ตัวนำ.....	23
2.29 แรงบิดของมอเตอร์	24
2.30 กำลังหมุนขับของมอเตอร์.....	26
2.31 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กำลังกล กำลังสูญเสีย และประสิทธิภาพของมอเตอร์.....	27
2.32 กำลังสูญเสียคงที่ของมอเตอร์	28
2.33 กำลังสูญเสียฮีสเตอร์ซิส	28
2.34 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นและไหลวนเวียนรอบแกนเหล็ก	30
2.35 เส้นแรงแม่เหล็กบนแกนอาร์เมเจอร์หมุนตัดแกนขั้วแม่เหล็ก	31
2.36 กำลังสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน ณ ส่วนต่างๆ ของมอเตอร์	33
2.37 ประสิทธิภาพของมอเตอร์.....	35
2.38 สลากแผ่นป้ายชื่อ (Name-Plate Data) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	36
2.39 การปรับฟีดแบ็คโอสแดทด้วยมือ	38
2.40 การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ความต้านทาน	39
2.41 การควบคุมความเร็วโดยการแบ่งขดลวด	39
2.42 การควบคุมความเร็วมอเตอร์อนุกรมให้สูงกว่าความเร็วปกติ	40
2.43 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้ต่ำกว่าความเร็วปกติ.....	40
2.44 การปรับความเร็วมอเตอร์แบบขนานให้มีความเร็วสูงกว่าปกติโดยใช้รีโอสแดท.....	41
2.45 การปรับความเร็วมอเตอร์แบบขนานให้มีความเร็วต่ำกว่าปกติโดยใช้รีโอสแดท	41
3.1 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply).....	43
3.2 DC โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์	43
3.3 DC มอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์	44
3.4 อิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์	44
3.5 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer).....	44
3.6 สายต่อวงจร (Connection Lead)	44
3.7 สายพาน (Timing Belt)	44

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 โหลด (Resistive Load).....	44
3.9 การต่อมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม	45
3.10 การต่อมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน	46
3.11 การต่อมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม	48
3.12 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม ขณะไม่จ่ายโหลด	50
3.13 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขณะจ่ายโหลด	51
3.14 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลด	52
3.15 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ขณะจ่ายโหลด	53
3.16 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะไม่จ่ายโหลด	55
3.17 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม ขณะจ่ายโหลด.....	56
4.1 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อของมอเตอร์.....	59
4.2 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม	59
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์	63
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์	63
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด	64
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าขาออก.....	65
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V	65
4.8 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน	66
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์	70
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์	70
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด	71
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าขาออก.....	72
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V	72
4.14 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม	73
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์	77
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์	77
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด	78
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าขาออก.....	79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V	79
4.20 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	80
4.21 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม ขณะไม่จ่ายโหลด	81
4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า	82
4.23 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม ขณะจ่ายโหลด	82
4.24 กราฟความสัมพันธ์กระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่ระดับโหลดต่างๆ).....	83
4.25 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลด.....	84
4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า.....	85
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า	85
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า.....	86
4.29 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะจ่ายโหลด	87
4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสโหลด	88
4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า.....	88
4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่กระแสโหลดระดับต่างๆ).....	89
4.33 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะไม่จ่ายโหลด.....	90
4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า	91
4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า.....	91
4.36 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะจ่ายโหลด.....	92
4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสโหลด	93
4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า	94

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันมีการใช้มอเตอร์เป็นส่วนประกอบในอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เช่น รถยนต์ พัดลม และสายพานลำเลียง เป็นต้น โดยมอเตอร์ที่ใช้บางส่วนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการต่อใช้งานแต่ละแบบจะมีลักษณะการทำงานที่ต่างกันออกไป โดยการทำงานนั้นมอเตอร์จะมีการทำงานที่เหมาะสมกับงานและมีประสิทธิภาพในการทำงานมากหรือน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ต้องใช้งาน ซึ่งการต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีทั้งแบบอนุกรม ขนาน และผสม ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานที่ต่างกัน

โครงการนี้จึงศึกษาลักษณะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในการต่อใช้งานแบบต่างๆ เพื่อจะได้รู้ถึงความสามารถและคุณสมบัติในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โครงการนี้จึงได้เปรียบเทียบลักษณะทางไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานที่เหมาะสมและทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น หรือปรับปรุงการใช้งานให้ตรงกับลักษณะการต่อของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โครงการนี้จะมุ่งเน้นเรื่องการศึกษาลักษณะของมอเตอร์ตอนทำงานเป็นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและตอนทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการต่อแบบต่างๆ
2. เพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในระดับแรงดันต่างๆ
3. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในการต่อแบบต่างๆ
4. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในการจ่ายโหลดและไม่จ่ายโหลด
5. เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการต่อแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม (Cumulative)
2. ศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในระดับแรงดัน 180 V, 220 V และ 260 V
3. ศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในการต่อแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม (Cumulative)
4. ศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในการจ่ายโหลดและไม่จ่ายโหลด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลและลักษณะการทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
2. ออกแบบและทดลองการทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง
4. สรุปผลการทดลอง

1.5 ตารางการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2551		ปี 2552		
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. หาหัวข้อโครงการที่สนใจ	←→				
2. ศึกษาข้อมูลและลักษณะการทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง		←→			
3. ออกแบบและทดลองการทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง			←→		
4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง				←→	←→
5. จัดทำรายงาน					←→

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. นำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้งานต่อไป

1.7 งบประมาณที่ใช้

1. ค่าเอกสารประกอบการทำโครงการ	300 บาท
2. ค่าจัดทำรูปเล่ม	1,500 บาท
3. ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	200 บาท
รวมเป็นเงิน	2,000 บาท
	(สองพันบาทถ้วน)

(หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ)



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟไฟฟ้า เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [4]

2.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

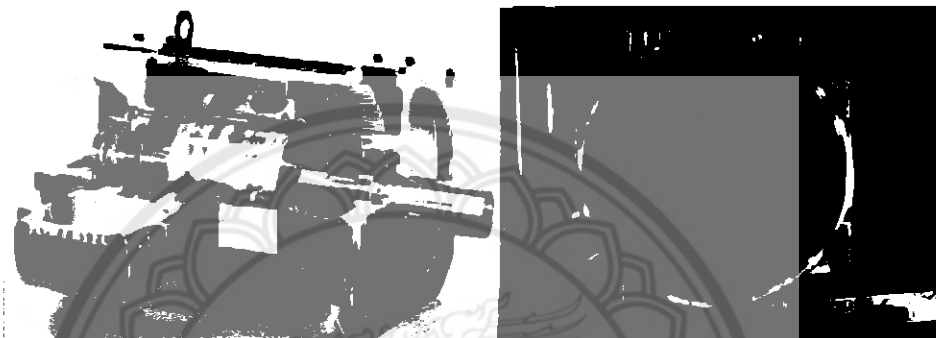
โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ และส่วนที่เคลื่อนที่ มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary Part)

ส่วนที่อยู่กับที่เป็นชิ้นส่วนหนึ่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่หมุน ประกอบด้วย

1) โครง หรือเป็ลือก (Yoke or Frame)

โครง หรือเป็ลือก ส่วนมากทำจากเหล็กหล่อ หรือวัสดุที่เป็นสารแม่เหล็ก ทำหน้าที่ยึด ขั้วแม่เหล็ก ส่วนประกอบรวม และเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Circuit) ดังแสดงในรูป ที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครง หรือเป็ลือก [5]

2) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes)

โดยทั่วไปขั้วแม่เหล็กจะทำจากแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated Sheet Steel) อัดซ้อนเข้าด้วยกัน แต่ละแผ่นจะเคลือบด้วยฉนวน ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก แสดงในรูปที่ 2.3 จะนำไปยึดเข้ากับ โครง



รูปที่ 2.3 ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก [6]

3) ขดลวดสนาม (Field Winding)

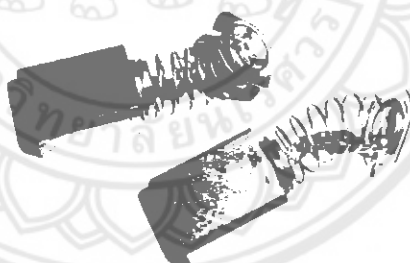
ขดลวดสนามจะพันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ขดลวดสนามมี 2 ชนิด คือ ขดลวดขนาน (Shunt Winding) จะพันด้วยลวดเส้นเล็กมีความต้านทานสูง และขดลวดอนุกรม (Series Winding) จะพันด้วยขดลวดเส้นใหญ่ความต้านทานต่ำ ขดลวดทั้งสองจะต้องพันในทิศทางกัน



รูปที่ 2.4 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก [7]

4) แปรงถ่านและแบรริง (Brushes and Bearing)

แปรงถ่านทำจากถ่านอัดแน่น มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในช่องถ่านและถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา ทำหน้าที่เป็นทางเดินไฟฟ้าจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรรภายนอก ช่องถ่านจะถูกยึดติดอยู่กับฝาครอบ ส่วนแบรริงจะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้งสองด้านของมอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่รับน้ำหนักกรวมที่ได้รับจากตัวหมุนและช่วยลดแรงเสียดทานที่เพลลา ขณะอาร์มเจอร์หมุน แสดงในรูปที่ 2.5



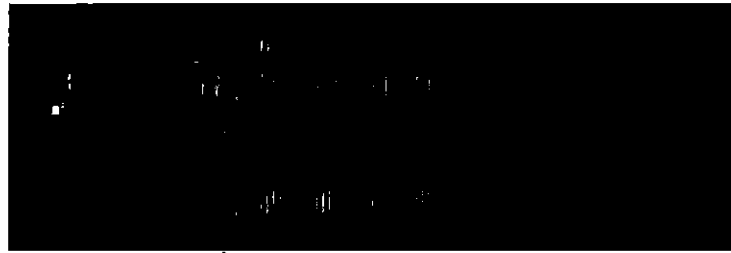
รูปที่ 2.5 แปรงถ่าน [8]

5) ฝาครอบ (End Plate)

ฝาครอบ ทำจากเหล็กหล่อ ทำหน้าที่ยึดช่องถ่านและรองรับเพลลาของส่วนที่หมุน

2.2.2 ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)

ส่วนที่เคลื่อนที่ประกอบด้วย



รูปที่ 2.6 ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) [7]

1) แกนเพลลา (Shaft)

เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ประกอบเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลลานั้นจะวางอยู่บนแบร์ริง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

2) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core)

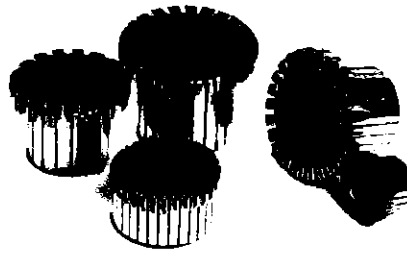
แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำจากแผ่นเหล็กบางๆ ด้านหนึ่งฉาบด้วยฉนวนอัดซ้อนเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกและทำเป็นสล๊อต (Slot) สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ ที่แกนเหล็กจะเจาะรูไว้เพื่อช่วยในการระบายความร้อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียในขดลวดและแกนเหล็ก



รูปที่ 2.7 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ [9]

3) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายซี่ อัดเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกระหว่างทองแดงแต่ละซี่จะคั่นด้วยฉนวนหนา ยึดติดไว้บนเพลลาเดียวกันกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง



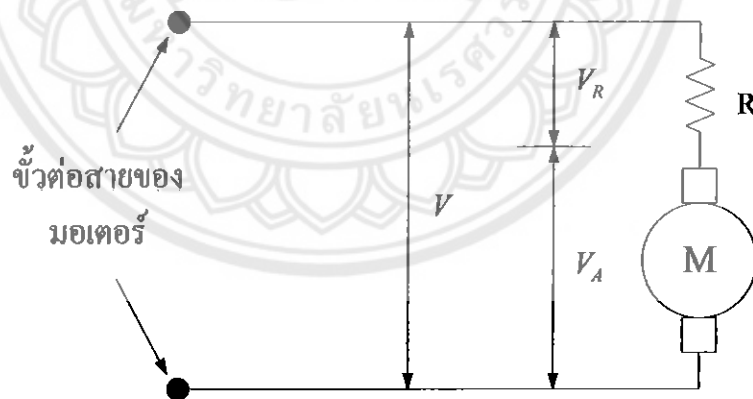
รูปที่ 2.8 คอมมิวเตเตอร์ [10]

4) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)

การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ นิยมพันเป็นแบบแลป (Lap) หรือเวฟ (Wave) ปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ ขดลวดนี้จะบรรจุในสลักของอาร์เมเจอร์

2.3 คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์ของกระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โดยสมมุติให้หุ่นโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ (V_A) และแรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด (V_R)

แรงดัน V_A ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (Back EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กสัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และความเร็วของการเคลื่อนที่ของตัวนำแรงดันที่เกิดขึ้นจะมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และแปรผันตรงกับความเร็วในการหมุน ผลบวกของแรงดันที่ทุนของโรเตอร์ V_A และแรงดันตกคร่อม V_R ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ V

$$V = V_A + V_R \quad (V) \quad (2.1)$$

เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่งความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น $V_A = 0$, $V_R = V$ กระแสที่อยู่ในมอเตอร์หาได้จาก

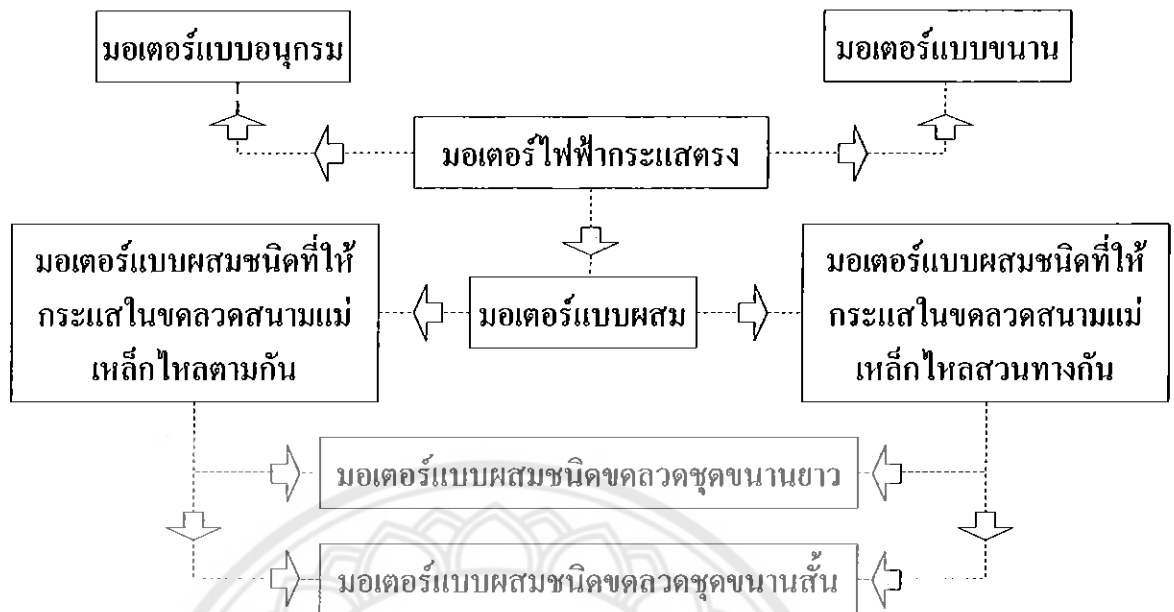
$$I = V_R / R \quad (A) \quad (2.2)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ V_A เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว V_R ซึ่งมีค่าความแตกต่างระหว่าง V_A และ V จะเริ่มลดลง กระแส I ก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร็วอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดของแรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลดและหมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของแบร็งและแรงต้านอากาศทำให้ V_A เกือบเท่ากับค่า V

2.3.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Types of Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถจำแนกชนิดออกได้ทั้งตามลักษณะของการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (หรือการพันขดลวดสนามแม่เหล็ก) และการไหลของกระแสผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กดังนี้

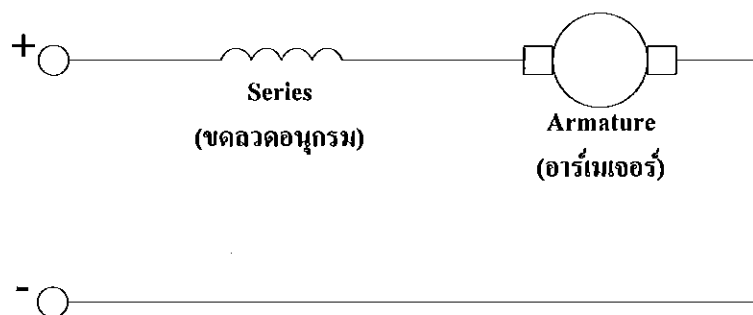
- 1) มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)
- 2) มอเตอร์แบบขนาน (Shunt Motor)
- 3) มอเตอร์แบบผสม (Compound Motor)



รูปที่ 2.10 การจำแนกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor)

คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูง นิยมใช้เป็นตัวกำลังของรถไฟฟ้า รถยกของ เทรนไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมาก แต่ถ้ามีโหลดมาต่อ ความเร็ว ก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายอย่างเช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม เป็นต้น มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดี เมื่อใช้งานหนักกระแสจะมาก ความเร็วรอบจะลดลง เมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตราย ได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



รูปที่ 2.11 วงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

ลักษณะสร้าง : มอเตอร์แบบอนุกรมประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานต่ำ พันด้วยขดลวดทองแดงเส้นใหญ่บนแกนขั้วแม่เหล็กจำนวนน้อยรอบ เช่นเดียวกับขดลวดกระแสของ แอมมิเตอร์ ถือเป็นอนุกรมกับอาร์เมเจอร์และแรงดันเมน

ลักษณะงาน : ใช้หมุนใช้งานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง และความเร็วรอบเปลี่ยนแปลง ตลอดเวลา เช่น รถไฟฟ้า รถราง รถยก เกรน ลิฟต์ คอนเวเยอร์ ฯลฯ



รูปที่ 2.12 มอเตอร์แบบอนุกรม

V_M = แรงดันเมน

ΔV = แรงดันตกคร่อมสายต่อเข้ามอเตอร์

V_D = แรงดันตกคร่อมขดลวดขดอนุกรม

V_A = แรงดันตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์

I_M = กระแสมอเตอร์

I_D = กระแสขดลวดอนุกรม

I_A = กระแสอาร์เมเจอร์

R_D = ความต้านทานขดลวดอนุกรม

R_A = ความต้านทานอาร์เมเจอร์

R_L = ความต้านทานของสายต่อเข้ามอเตอร์

P_M = กำลังของมอเตอร์

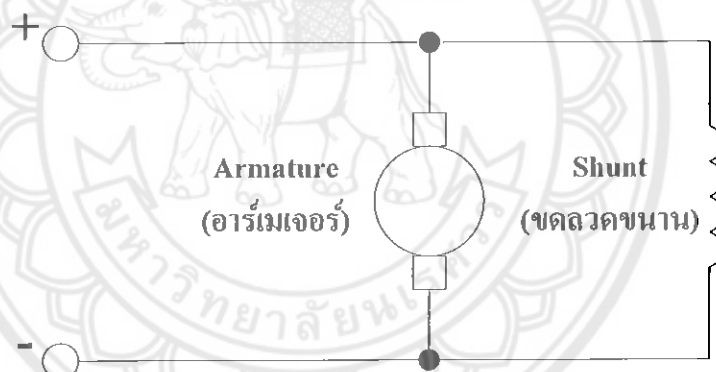
$$I_A = I_D = I_M \quad (2.3)$$

$$V_D = I_D \times R_D = I_M \times R_D = I_A \times R_D \quad (2.4)$$

$$V_A = I_A \times R_A = I_D \times R_A = I_M \times R_A \quad (2.5)$$

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

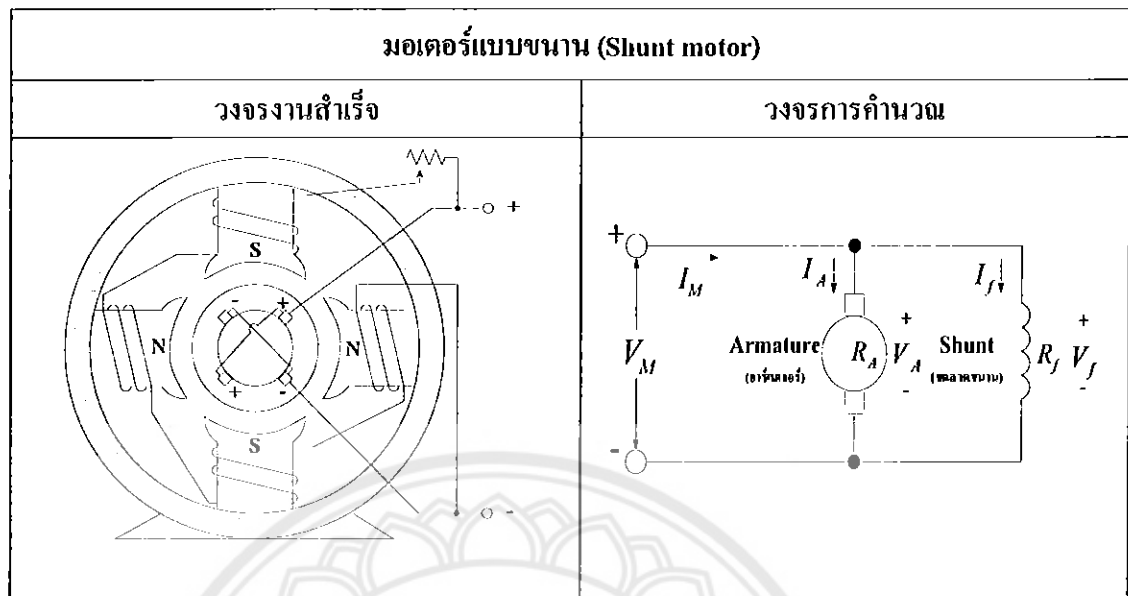
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวดชุดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชั้้นที่มอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับการใช้งาน เช่น พัดลม เพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่ และต้องการการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย



รูปที่ 2.13 วงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

ลักษณะสร้าง : ประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานค่อนข้างสูง ซึ่งใช้ลวดทองแดงเส้นเล็กๆ พันบนแกนขั้วแม่เหล็กหลายๆรอบ เช่นเดียวกับขดลวดแรงดัน (Voltage หรือ Potential Coil) ของโวลต์มิเตอร์ ต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ และต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ (รีโอสแตท : Rheostat) แล้วต่อขนานกับสายเมน

ลักษณะงาน : เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนขับเคลื่อนเครื่องจักรกลที่ต้องการความเร็วรอบคงที่



รูปที่ 2.14 มอเตอร์แบบขนาน

V_M = แรงดันเมน

$V_f = V$ = แรงดันวัดที่ขั้วของเครื่อง

V_A = แรงดันตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์

ΔV = แรงดันตกคร่อมสายต่อเข้ามอเตอร์

P_M = กำลังของมอเตอร์

I_M = กระแสมอเตอร์

I_f = กระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก

I_A = กระแสอาร์เมเจอร์

R_L = ความต้านทานของสายต่อเข้ามอเตอร์

$R_f = R_E + R_h$ = ความต้านทานของขดลวดชุดขนาน

R_A = ความต้านทานอาร์เมเจอร์

$$I_A = I_M - I_f \quad (2.6)$$

$$I_f = V_f / R_f = (V_M - \Delta V) / (R_E + R_h) \quad (2.7)$$

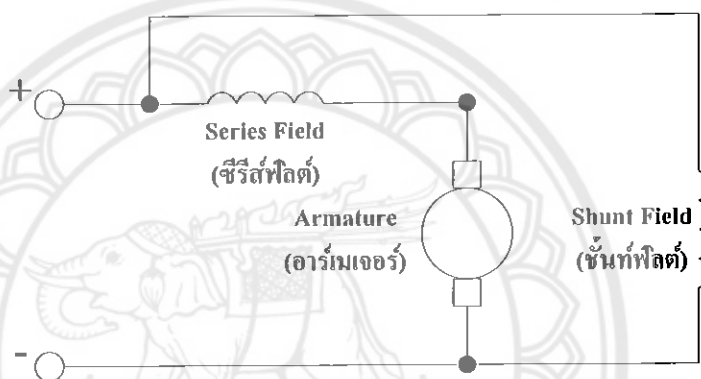
$$V_A = I_A \times R_A = R_A (I_M - I_f) \quad (2.8)$$

3) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ ขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือ มีแรงบิด สูง (High Starting Torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่

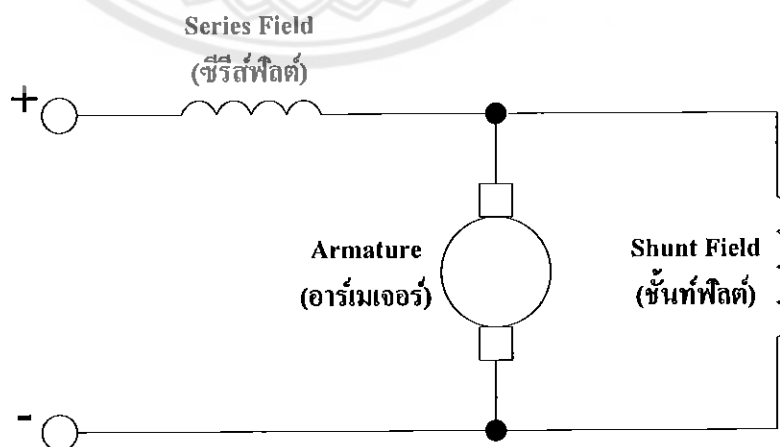
มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมมีอยู่ 2 ชนิด คือ

3.1) มอเตอร์แบบผสมชนิดคิวมูเลทิฟ (Cumulative Compound Motor) ใช้ต่อขดลวดแบบ ขนานกับอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรของมอเตอร์แบบผสมชนิดคิวมูเลทิฟ

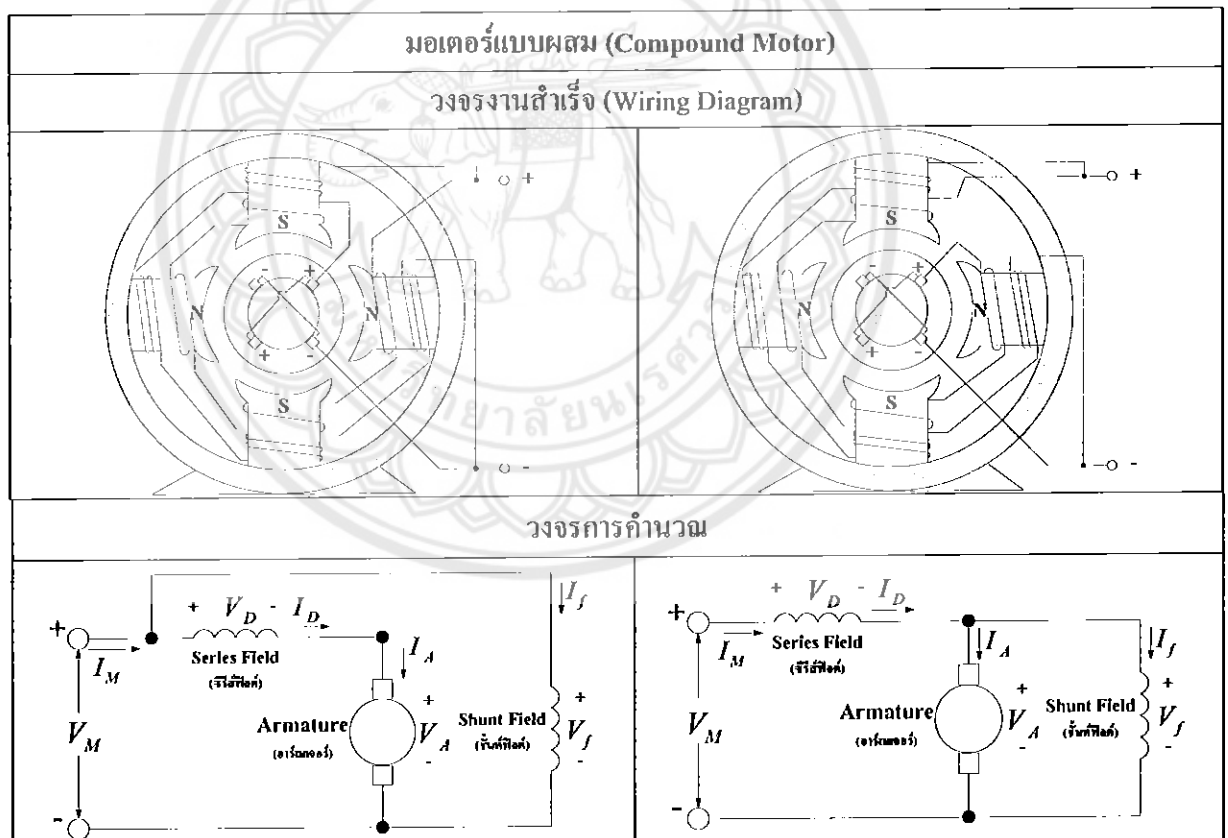
3.2) มอเตอร์แบบผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Compound Motor) ใช้ต่อขดลวด ขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรของมอเตอร์แบบผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล

ลักษณะสร้าง : เป็นการรวมมอเตอร์สองตัว คือมอเตอร์ขนานกับมอเตอร์อนุกรมเข้าด้วยกัน ดังนั้นมอเตอร์ผสมจึงประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็กสองชุด คือขดลวดสนามแม่เหล็กชุดขนานกับขดลวดสนามแม่เหล็กชุดอนุกรมพันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กขั้วเดียวกัน ถ้าพันขดลวดทั้งสองชุดในลักษณะที่ทำให้สนามแม่เหล็กมีทิศทางเสริมกันเรียกว่า มอเตอร์ชนิดคิวมูลทิฟ (Cumulative Compound Motor) ในทางตรงกันข้าม ถ้าพันขดลวดในลักษณะที่ทำให้สนามแม่เหล็กมีทิศทางหักล้างกัน เรียกว่า มอเตอร์ผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Compound Motor)

ลักษณะงาน : เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนขั้วงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบแต่อย่างใด และสามารถหมุนได้ด้วยความปลอดภัยขณะหมุนตัวเปล่า เช่น ใช้หมุนขับเคลื่อนอัดแผ่นเหล็ก เครื่องยก เครื่องรีด เครื่องม้วน และเป็นมอเตอร์หมุนขั้วในเรือขุดแร่และอื่นๆ ฯลฯ



รูปที่ 2.17 มอเตอร์แบบผสม

รูปที่ 2.17 (ซ้าย) มอเตอร์แบบผสมชนิดคิวมูเลทิฟ (Cumulative Compound Motor) ที่ให้กระแสในขดลวดสนามแม่เหล็กไหลในทิศทางเดียวกัน (ไหลตามกันหรือไหลทางเดียวกัน)

รูปที่ 2.17 (ขวา) มอเตอร์แบบผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Compound Motor) ที่ให้กระแสในขดลวดสนามแม่เหล็กไหลในทิศทางกลับกัน (ไหลสวนทางกัน)

- มอเตอร์แบบผสมชนิดคิวมูเลทิฟ

$$I_A = I_D = I_M - I_f \quad (2.9)$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{(V_M - \Delta V)}{(R_E + R_h)} \quad (2.10)$$

$$V_D = I_D \times R_D = I_A \times R_D = R_D(I_M - I_f) \quad (2.11)$$

$$V_A = I_A \times R_A = I_D \times R_A = R_A(I_M - I_f) \quad (2.12)$$

- มอเตอร์แบบผสมชนิดดิฟเฟอเรนเชียล

$$I_D = I_M \quad (2.13)$$

$$I_A = I_M - I_f = I_D - I_f \quad (2.14)$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{(V_M - \Delta V - V_D)}{(R_E + R_h)} \quad (2.15)$$

$$V_A = I_A \times R_A = R_A(I_M - I_f) = R_A(I_D - I_f) \quad (2.16)$$

2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นซึ่งมีสัดส่วนของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงของกระแสและสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางหมุนได้สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็ก หรือเหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดติดอยู่กับที่และขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

- ตัวนำที่ทำให้กระแสไหลทางเดียวกัน จะให้แรงดูดต่อกัน และ
- ตัวนำที่ทำให้กระแสไหลสวนทางกัน จะให้แรงผลักต่อกัน

แรงดูดและแรงผลักระหว่างตัวนำที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คำนวณได้ตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

$$F = \frac{2 \times 10^{-7} \times I_1 \times I_2 \times l}{a} \quad (N) \quad (2.17)$$

เมื่อ F = แรงดูดและแรงผลักต่อกันระหว่างตัวนำ (นิวตัน : N)

I_1 และ I_2 = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำทั้งสอง (แอมแปร์ : A)

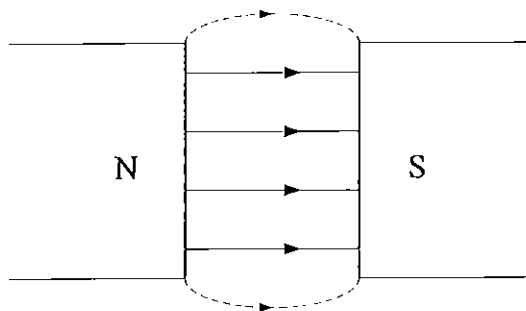
l = ความยาวตัวนำ (เมตร : m)

a = ระยะห่างระหว่างตัวนำ (เมตร : m)

2.4.1 แรงกระทำต่อตัวนำในสนามแม่เหล็ก

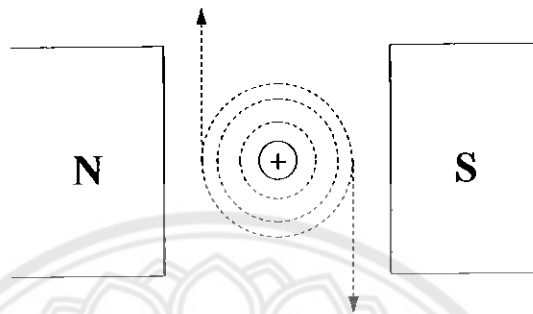
ตัวนำที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เมื่อวางไว้ในสนามแม่เหล็กจะให้กำเนิดแรงกระทำต่อตัวนำ ทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ได้ในสนามแม่เหล็กตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

เส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ ϕ_{NS} เป็นเส้นตรงมีทิศทางพุ่งออกจากขั้วเหนือ (N) ผ่านช่องว่างอากาศ (Air-Gap) ไปยังขั้วใต้ (S) ตามรูปที่ 2.18 ดังนี้

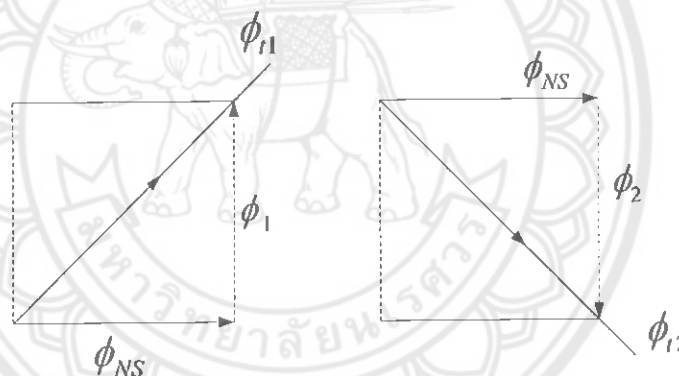


รูปที่ 2.18 เส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้เป็นเส้นตรง พุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

เส้นแรงแม่เหล็กที่ล้อมรอบตัวนำซึ่งให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและวางไว้ในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วแม่เหล็ก มีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวาของสกรู ทางซ้ายมือแม่เหล็ก ϕ_1 พุ่งขึ้น และทางด้านซ้ายมือเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_2 พุ่งลง ตามรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 เส้นแรงแม่เหล็กล้อมรอบตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในสนามแม่เหล็ก



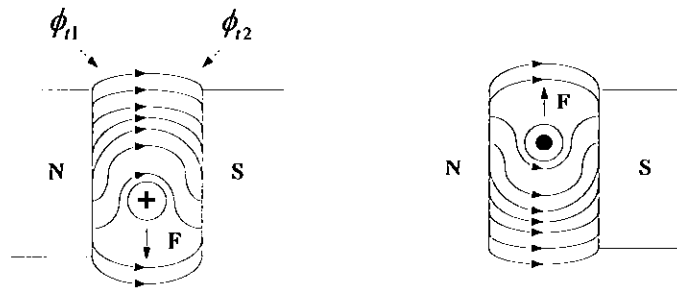
รูปที่ 2.20 เส้นแรงแม่เหล็กรวมระหว่าง ϕ_{NS} กับ ϕ_1 และ ϕ_{NS} กับ ϕ_2 ในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้

เส้นแรงแม่เหล็กรวมในช่องว่างอากาศระหว่างเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_{NS} กับเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1 และ ϕ_2 ตามรูปที่ 2.20

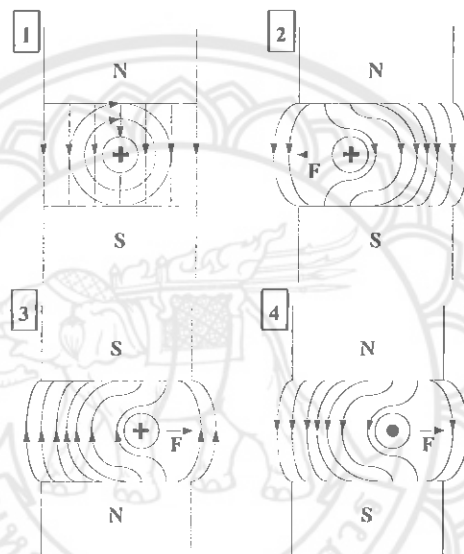
$$\phi_{i1} = \phi_{NS} + \phi_1 \quad (\text{ผลรวมทางเวกเตอร์}) \quad (2.18)$$

$$\phi_{i2} = \phi_{NS} + \phi_2 \quad (\text{ผลรวมทางเวกเตอร์}) \quad (2.19)$$

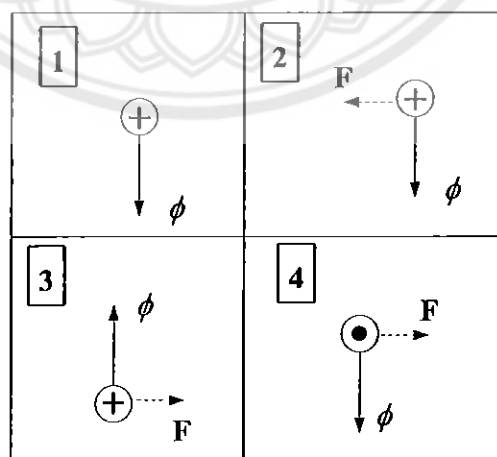
ผลของเส้นแรงแม่เหล็กรวมในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ ผลักตัวนำให้เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.21 และมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง ดังนี้



รูปที่ 2.21 คำนวณเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง



รูปที่ 2.22 คำนวณเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.23 รูปสัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลัктัวนำกับเส้นแรงแม่เหล็ก และ กระแสไฟฟ้าของตัวนำเดี่ยวในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.22

แรงผลักดันตัวนำเดี่ยว : แรงผลักดันตัวนำให้เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.22 และ 2.23 จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำในสนามแม่เหล็ก กับเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ ดังนี้

$$F = B \times l \times I \quad (N) \quad (2.20)$$

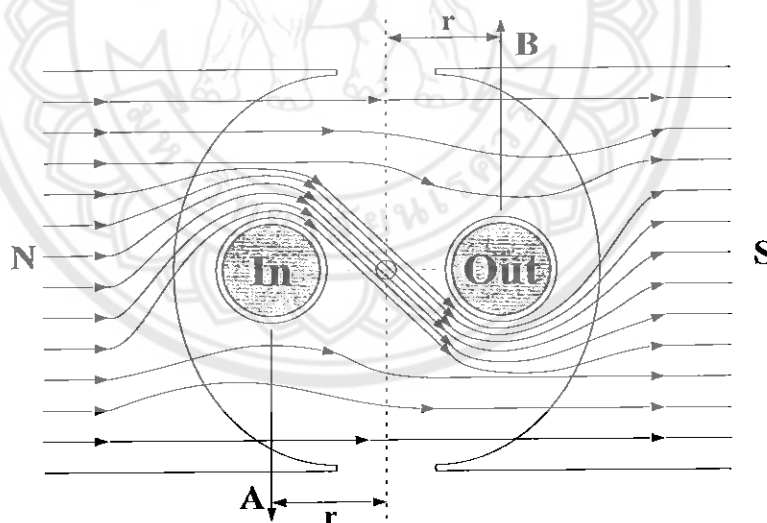
เมื่อ F = แรงผลักดันตัวนำ (นิวตัน/ตัวนำ)

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก หน่วยเทสลา ($T: Wbm^2$)

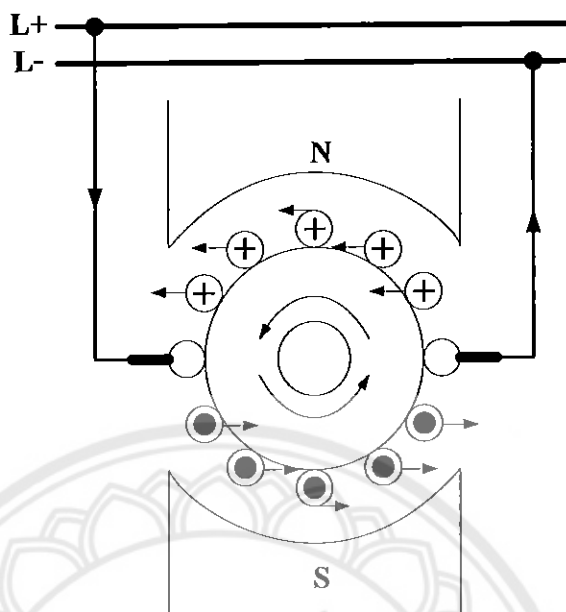
l = ความยาวของตัวนำในสนามแม่เหล็ก (เมตร: m)

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำในสนามแม่เหล็ก หน่วยแอมแปร์ (A)

- แรงผลักดันตัวนำหลายตัวนำ : ตัวนำทุกตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในสนามแม่เหล็ก จะให้เกิดแรงกระทำต่อตัวนำทุกตัวนำ ผลรวมของการกระทำต่อทุกตัวนำ มากพอที่จะทำให้ตัวนำหมุนได้ในสนามแม่เหล็ก ตามรูปที่ 2.24 และ 2.25



รูปที่ 2.24 แรงผลักดันตัวนำอยู่ในสนามแม่เหล็ก (In : กระแสไหลเข้า Out : กระแสไหลออก)



รูปที่ 2.25 แรงผลักดันตัวนำหลายตัวนำในสนามแม่เหล็ก

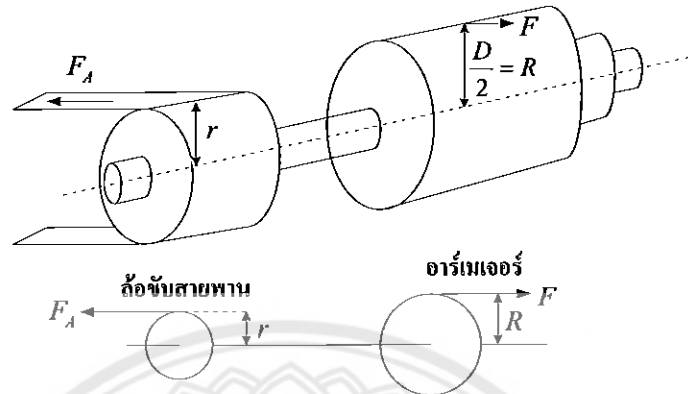
รูปที่ 2.24 เป็นตัวนำคู่ที่ให้กระแสไหลเข้าตัวนำทางด้านซ้ายมือ ส่วนทางด้านขวามือให้กระแสไหลออก แรงผลักดันตัวนำที่เกิดขึ้นคำนวณได้ $= 2 \times F = 2 \times B \times l \times I$ (N)
 รูปที่ 2.25 เป็นตัวนำหลายตัวนำที่กำหนดทิศทางกระแสไฟฟ้าไหลเข้าตัวนำทางด้านบน และไหลออกทางด้านล่าง แรงกระทำต่อทุกตัวนำ ทำให้ตัวนำหมุนได้ มีทิศทางเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง และแรงกระทำต่อตัวนำทั้งหมดคำนวณได้ตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

$$F = B \times I \times l \times Z \quad (N) \quad (2.21)$$

I = กระแสที่ไหลผ่านตัวนำ (แอมแปร์/ตัวนำ)

Z = จำนวนตัวนำทั้งหมดในสนามแม่เหล็ก (ตัวนำ)

2.5 แรงบิดของตัวนำ



รูปที่ 2.26 แรงบิดของมอเตอร์และล้อขับเคลื่อนสำหรับหมุนขั้วงาน

แรงบิด (Torque) คือ โมเมนต์หมุนหรือแรงบิด เป็นผลคูณระหว่างแรงกับแขนแรง ดังนี้ รูปที่-2.26 มอเตอร์มีขนาดรัศมีของอาร์เมเจอร์ $= D/2 = R$ หมุนขั้วล้อขับเคลื่อนขนาดรัศมี r ด้วยแรงผลักตัวนำ F และแรงดึงสายพานสำหรับหมุนขั้วงาน F_A

ให้ T = แรงบิด : โมเมนต์หมุน หน่วย (N_m)

F = แรงกดหรือแรงผลักตัวนำ (N)

R = รัศมีของอาร์เมเจอร์ : แขนแรง (m)

F_A = แรงดึงสายพานสำหรับหมุนขั้วงาน (N)

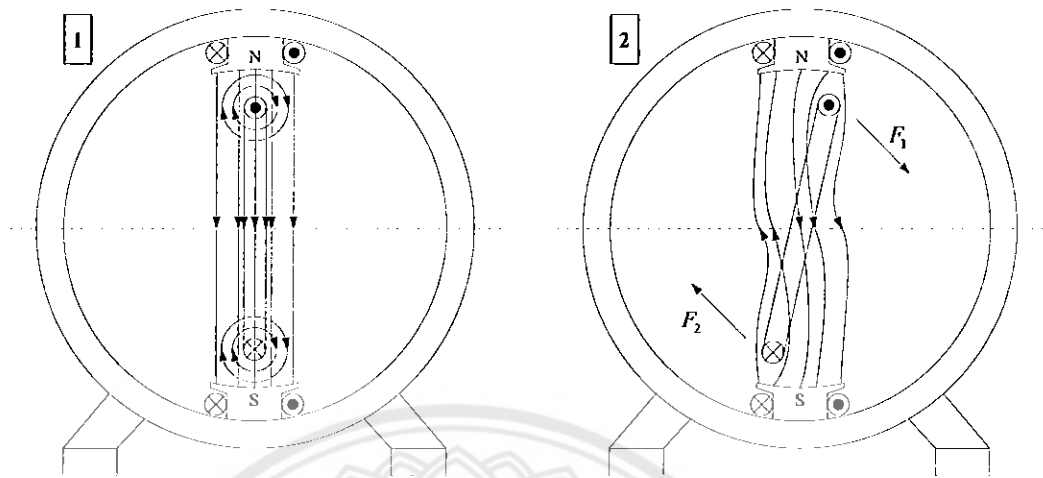
r = รัศมีของล้อขับเคลื่อน : แขนแรง (m)

ดังนั้นแรงบิดของตัวนำ : $T = F \times R = B \times I \times l \times Z \times R \quad (N_m)$

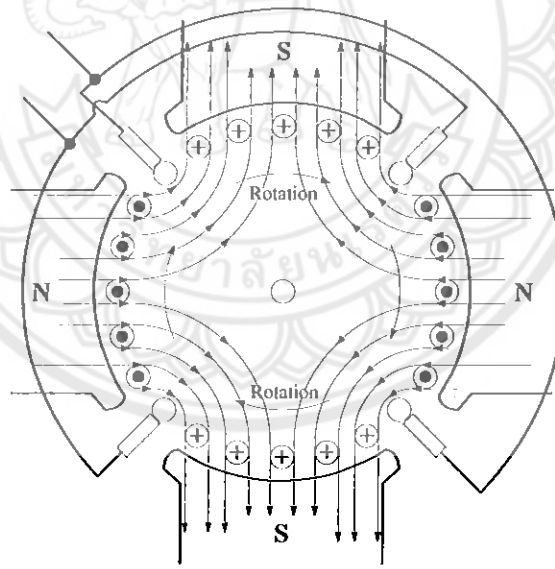
และ แรงบิดของล้อขับเคลื่อน : $T = F_A \times r \quad (N_m)$

เนื่องจากล้อขับเคลื่อนต่อแกนรวมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ แรงบิดจึงเท่ากัน ดังนั้น

$$T = F \times R = F_A \times r = B \times I \times l \times Z \times R \quad (N_m) \quad (2.22)$$

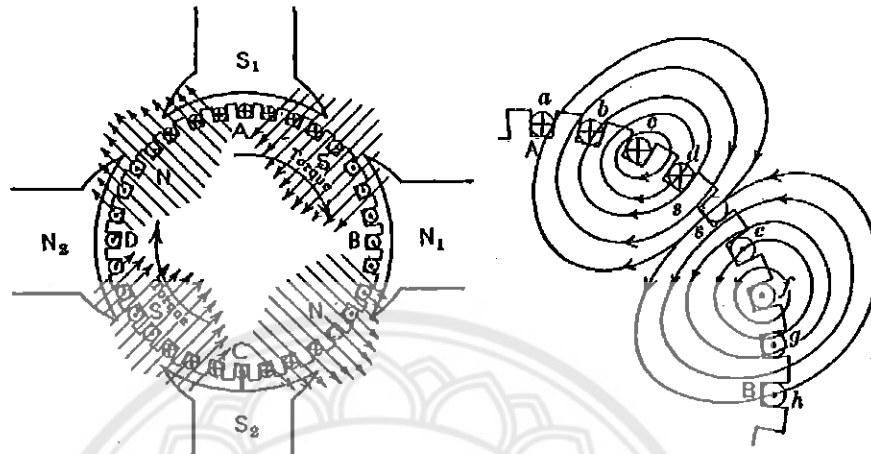


รูปที่ 2.27 แรงบิดของมอเตอร์ 1) เส้นแรงแม่เหล็กที่ล้อมรอบตัวนำของอาร์เมเจอร์ 2) เส้นแรงแม่เหล็ก
ขั้วเหนือ ขั้วใต้



รูปที่ 2.28 แรงและแรงบิดของมอเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็ก 2 คู่ขั้วที่ประกอบด้วยตัวนำอาร์เมเจอร์ 28 ตัวนำ

2.6 แรงบิดของมอเตอร์



รูปที่ 2.29 แรงบิดของมอเตอร์

มอเตอร์ในปัจจุบัน ตัวนำใส่ไว้ในร่องสล็อตของอาร์เมเจอร์แบบกลอง (Drum Annature) เช่นเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ขนาดใหญ่กำลังสูงจะกินกระแสอย่างมากมักจะพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบ “Lap Winding” ส่วนมอเตอร์ขนาดเล็กกำลังต่ำจะกินกระแสน้อยพันขดลวดแบบ “Wave Winding”

แรงผลักที่เกิดขึ้นกระทำต่อตัวนำของมอเตอร์นั้น แรงที่เกิดขึ้นจะกระทำเฉพาะบนซี่ฟัน (Armature Teeth) ของอาร์เมเจอร์เท่านั้นทั้งนี้เนื่องจากตัวนำได้ใส่ไว้ในร่องสล็อตของอาร์เมเจอร์นั่นเองตามรูปที่ 2.29

พิจารณามอเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว หรือ 2 คู่ขั้ว ตามรูปที่ 2.29 จะเห็นว่าตัว a, b, c และ d ให้กระแสไหลเข้าและไหลออกทางตัวนำ e, f, g และ h ดังนั้นส่วนของอาร์เมเจอร์ A-B ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วได้ (S) ส่วนของอาร์เมเจอร์ ส่วนของอาร์เมเจอร์ B-C เป็นขั้วเหนือ (N) C-D เป็นขั้วได้ และ D-A เป็นขั้วเหนือ ทำให้มีแรงดูดและแรงผลักเกิดขึ้นบนอาร์เมเจอร์ ดังนี้

ขั้ว N_1 ดูด A-B และผลัก B-C

ขั้ว N_2 ดูด C-D และผลัก D-A

ขั้ว S_1 ดูด D-A และผลัก A-B

ขั้ว S_2 ดูด B-C และผลัก C-D

ด้วยเหตุนี้มอเตอร์จึงสร้างแรงบิดให้เกิดขึ้น และผลักดันให้อาร์เมเจอร์หมุนได้ แรงบิดของมอเตอร์สามารถคำนวณได้ตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

$$T = F \times r = B \times l \times I \times Z \times R \quad (2.23)$$

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2.24)$$

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ($T = Wbm^{-2} = Vsm^{-2}$)

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว (Wb)

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนขั้วแม่เหล็ก (m^2)

$$I = \frac{I_A}{a} \quad (2.25)$$

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ (A /ตัวนำ)

I_A = กระแสอาร์เมเจอร์ (วัดที่ขั้วอาร์เมเจอร์) หน่วย (A)

a = จำนวนวงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนขดลวดอาร์เมเจอร์ (วงจร)

เมื่อพันขดลวดแบบ "Lap Winding" $a = n_c \times P$ และพันขดลวดแบบ "Wave Winding"

$$a = 2 \times n_c$$

$$F = \frac{\phi}{A} \times l \times \frac{I_A}{a} \times Z = \frac{\phi \times l \times I_A \times Z}{A \times a} \quad (2.26)$$

$$T = \frac{\phi \times l \times I_A \times Z \times r}{A \times a} \quad (2.27)$$

ให้ K = ค่าคงที่ของมอเตอร์

$$K = \frac{l \times Z \times r}{A \times a} \quad (2.28)$$

1733005

ป.ร.

ด.ร.ด.

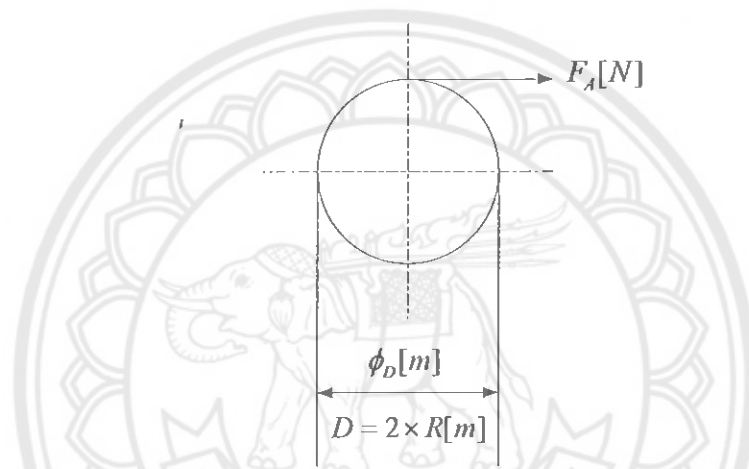
2551

$$T = K \times \phi \times I_A \quad (2.29)$$

จะเห็นได้ชัดเจนว่า แรงบิดของมอเตอร์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสของมอเตอร์ $T \propto \phi$ และ $T \propto I_A$

2.7 กำลังของมอเตอร์

กำลังหมุนขั้วของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากแกนอาร์เมเจอร์ตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้



รูปที่ 2.30 กำลังหมุนขั้วของมอเตอร์

กำหนดให้ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของอาร์เมเจอร์ (m)

F_A = แรงผลักดันที่เกิขึ้นบนอาร์เมเจอร์

T = ทอร์กของมอเตอร์ (Nm)

n = จำนวนรอบที่อาร์เมเจอร์หมุน (rpm)

P = กำลังหมุนขั้วของมอเตอร์ (W)

R = รัศมีของอาร์เมเจอร์ = $D/2$ (m)

$\therefore$ อาร์เมเจอร์หมุน 1 รอบ ให้ระยะทาง = $\pi \times D$ (m)

$$\text{อาร์เมเจอร์หมุน } n/60 \text{ (รอบ/วินาที)} = \frac{\pi \times D \times n}{60} \text{ (ms}^{-1}\text{)}$$

ถ้าให้ v = อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์ เมตร/วินาที ($m/s = ms^{-1}$)

$$\therefore v = \frac{\pi \times D \times n}{60} \quad (ms^{-1}) \quad (2.30)$$

$$P = F_A \times v \quad [N \times ms^{-1} = Nms^{-1} = W]$$

$$P = \frac{F_A \times \pi \times D \times n}{60} = \frac{2 \times \pi \times F \times R \times n}{60}$$

$$P = \frac{\pi \times n \times T}{30} \quad (W) \quad (2.31)$$

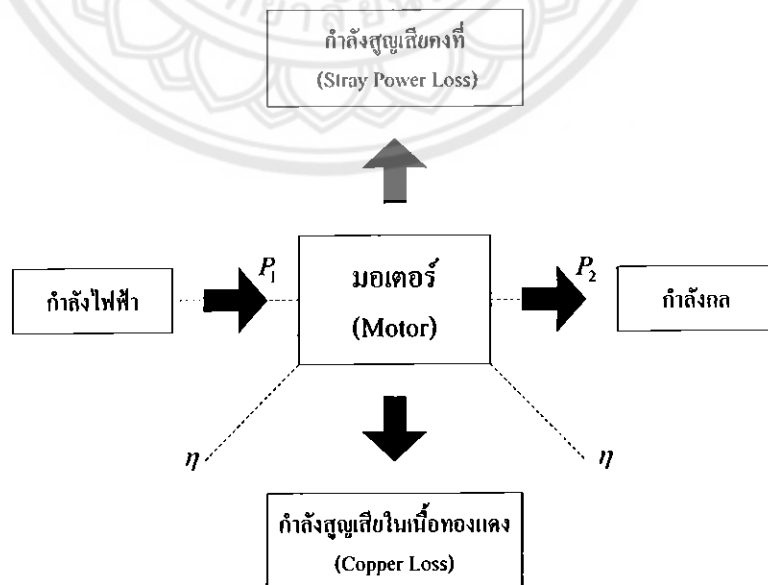
P_w = กำลังหมุนเข้าของมอเตอร์ เป็น วัตต์ (W)

P_{kw} = กำลังหมุนเข้าของมอเตอร์ เป็น กิโลวัตต์ (kW)

$$P_w = \frac{\pi n T}{30} = 0.104 n \times T \quad (2.32)$$

$$P_{kw} = \frac{\pi n T}{30000} = 0.104 \times 10^{-3} \times n \times T \quad (2.33)$$

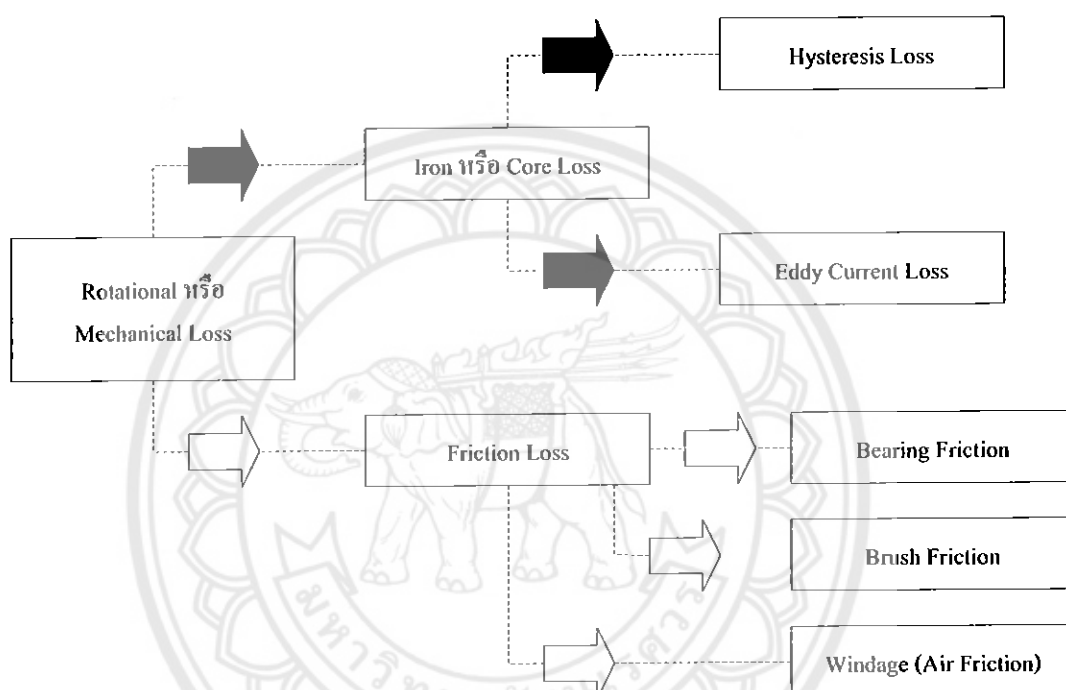
2.8 กำลังสูญเสียในมอเตอร์



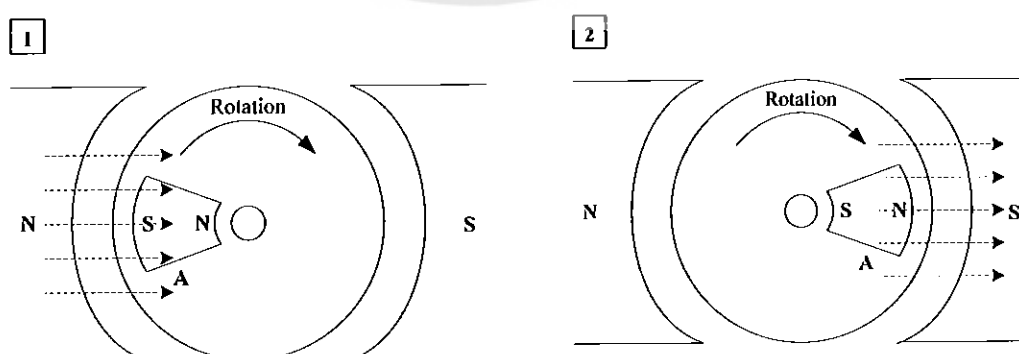
รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กำลังกล กำลังสูญเสีย และประสิทธิภาพของมอเตอร์

กำลังสูญเสียของมอเตอร์ ได้แก่ กำลังสูญเสียคงที่ (Constant Losses: Stray Power Loss) และ กำลังสูญเสียในเนื้อทองแดง (Copper Loss: Cu Loss)

2.8.1 กำลังสูญเสียคงที่ : เป็นกำลังสูญเสียบนแกนเหล็ก (Iron หรือ Core Losses) และความเสียดทาน (Friction Losses) ต่างๆ ของมอเตอร์โดยเฉพาะ ไม่ว่าโหลดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง กำลังสูญเสียจะคงที่ตลอดเวลา จึงเรียกกำลังสูญเสียนี้ว่า “Rotational” หรือ “Mechanical Losses” :



รูปที่ 2.32 กำลังสูญเสียคงที่ของมอเตอร์ประกอบด้วย กำลังสูญเสียบนแกนเหล็ก และกำลังสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานต่างๆ



รูปที่ 2.33 กำลังสูญเสียฮิสเตอร์ซิสคือ กำลังสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนขั้วของเนื้อเหล็กบนแกนอาร์เมเจอร์โดยเฉพาะ

1) กำลังสูญเสียฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Loss) : เป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งบนแกนเหล็กของอาร์เมเจอร์ เนื่องจากการเปลี่ยนขั้วของเนื้อเหล็กบนแกนอาร์เมเจอร์ (Armature Core) โดยเฉพาะมอเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็ก 2- ขั้ว ตามรูปที่ 2.33 ให้พิจารณาแกนอาร์เมเจอร์เฉพาะเนื้อเหล็กส่วน A จะเห็นได้ว่า ใน 1- รอบที่อาร์เมเจอร์หมุนเนื้อเหล็ก A จะเปลี่ยนขั้วไฟฟ้า 2- ครั้ง คือ ครั้งรอบแรกที่เนื้อเหล็ก A อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ (N) จะถูกเหนี่ยวนำให้เปลี่ยนขั้วได้ (S) ตามรูปที่ 2.33 (1) และครั้งรอบหลังที่เนื้อเหล็ก A อยู่ภายใต้ขั้วใต้ จะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วเหนือ (N) ตามรูปที่ 2.33 (2)

ดังนั้น ถ้าอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็ก 2- ขั้ว หมุนด้วยความเร็ว 1000- รอบ/นาที หมายความว่า เนื้อเหล็กทุกๆ ส่วน บนแกนของอาร์เมเจอร์ในเวลา 1- นาที จะเป็นขั้วเหนือ 1000- ครั้ง สลับกันไป ทำนองเดียวกันถ้าเป็นมอเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็ก 4- ขั้ว ที่หมุนด้วยความเร็ว 1000- รอบ/นาที ดังนั้นจะพบว่าในเวลา 1- นาที เนื้อเหล็กทุกๆ ส่วนบนแกนอาร์เมเจอร์จะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วเหนือ 2000- ครั้ง และเป็นขั้วใต้ 2000- ครั้ง สลับกันไป

การเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของเนื้อเหล็กบนแกนอาร์เมเจอร์นี้ ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น ยังผลทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กดังกล่าวเพื่อให้ น้อยลง จะต้องทำให้การเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กของเนื้อเหล็กบนแกนอาร์เมเจอร์เปลี่ยนขั้วให้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการสร้างอาร์เมเจอร์ด้วยแกนเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของซิลิกอน (Silicon Steel) และกำลังสูญเสียฮิสเตอร์รีซิสจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ตามสมการ ดังต่อไปนี้

$$P_h = K_h \times f \times B^{1.6} \times m \quad [W] \quad (2.34)$$

เมื่อ P_h = กำลังสูญเสียฮิสเตอร์รีซิส [W]

K_h = ค่าคงที่ของฮิสเตอร์รีซิสที่ขึ้นอยู่กับชนิดของแกนเหล็กที่ใช้สร้างแกนอาร์เมเจอร์

f = ความถี่ [Hz]

$$f = \frac{P \times n}{120} \quad [Hz] \quad (2.35)$$

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

n = จำนวนรอบที่อาร์เมเจอร์หมุน [รอบ/นาที]

B = ความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก [$T = Wbm^{-2}$]

m = มวลของแกนอาร์เมเจอร์ [kg]

ในกรณีที่เส้นแรงแม่เหล็กหรือความเร็วของมอเตอร์ไม่คงที่ (เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง) กำลังสูญเสียฮิสเตอร์รีซิสสามารถคำนวณได้ตามสมการ ดังต่อไปนี้

$$P_h = K_H \times n \times \phi^{1.6} \quad [\text{W}] \quad (2.36)$$

เมื่อ K_H = ค่าคงที่เช่นเดียวกับ K_h : ขึ้นอยู่กับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วของอาร์เมเจอร์ และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

n = ความเร็วที่อาร์เมเจอร์หมุนในสนามแม่เหล็ก [รอบ/นาที]

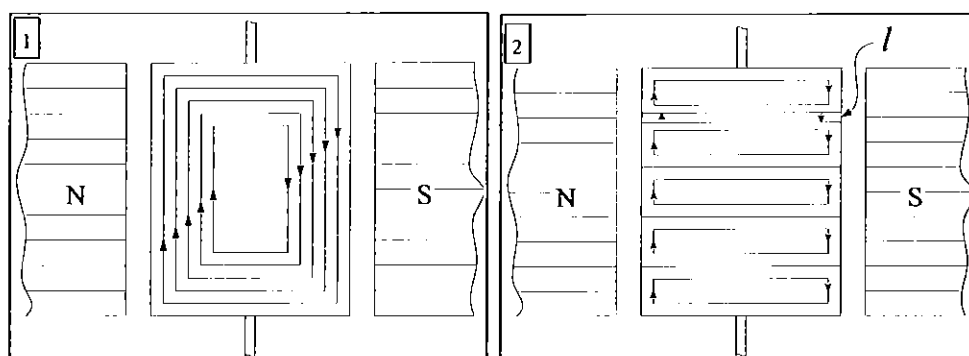
ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก [เวเบอร์]

2) การสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current Loss) : เป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าบนแกนเหล็กทั้งแกนอาร์เมเจอร์และแกนขั้วแม่เหล็กของไดนาโม เนื่องจากกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าไหลวนเวียนอยู่รอบแกนเหล็ก ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น ($I^2 \times R - \text{Heat}$) ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง เช่นเดียวกับกำลังสูญเสียฮิสเตอร์รีซิส

กระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current) ที่เกิดขึ้นและไหลวนเวียนอยู่รอบแกนเหล็กของเครื่องกลไฟฟ้านี้เกิดขึ้นได้ด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้างานนี้

- กระแสไฟฟ้าไหลวนบนแกนอาร์เมเจอร์

(1) เนื่องจากบนแกนอาร์เมเจอร์พันด้วยขดลวดทองแดง เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะมีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นล้อมรอบขดลวดและแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนแกนเหล็ก ($E = \frac{d\phi}{dt}$ [V]) จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนเวียนอยู่รอบแกนเหล็ก (Eddy Current) ของแกนอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.34 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นและไหลวนเวียนอยู่รอบแกนเหล็ก

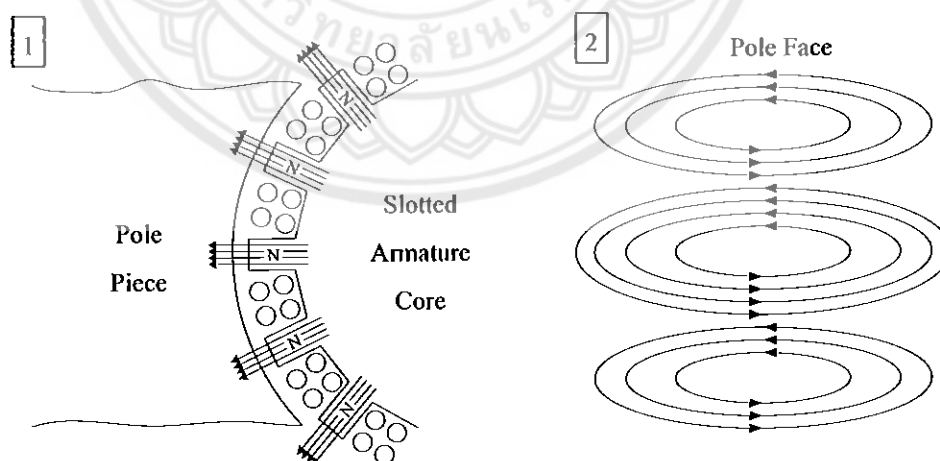
จากรูปที่ 2.34 (1) เป็นกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นและไหลวนเวียนอยู่รอบแกนเหล็กของแกนอาร์เมเจอร์ ในลักษณะตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็ก, (2) แกนเหล็กทั้งแกนขั้วแม่เหล็ก (N-S) และแกนอาร์เมเจอร์ทำด้วยเหล็กแผ่นบางๆ วางเรียงซ้อนๆ กัน (Laminated Sheet Steel) เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current Loss) ให้น้อยลง

(2) เนื่องจากแกนเหล็กของแกนอาร์เมเจอร์เป็นตัวนำ (ตัวนำที่เลว) ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนค่ามีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นบนแกนเหล็ก ($E = \frac{d\phi}{dt}$ [V]) จึงเป็นเหตุให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนเวียนอยู่รอบแกนเหล็กของแกนอาร์เมเจอร์

- กระแสไฟฟ้าไหลวนบนแกนขั้วแม่เหล็ก

(3) เช่นเดียวกับข้อ 1) บนแกนขั้วแม่เหล็กพันด้วยขดลวดทองแดง เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะมีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้น ไหลผ่านแกนขั้วแม่เหล็ก และมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของไหล ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้น (ขณะเส้นแรงแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า) จึงมีกระแสไฟฟ้าไหลวนเวียนอยู่รอบแกนขั้วแม่เหล็กเช่นเดียวกับแกนอาร์เมเจอร์

(4) เนื่องจากมีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นบนแกนอาร์เมเจอร์ตามข้อ 1) ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนในสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ จะให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นบนแกนขั้วแม่เหล็ก จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนเวียนอยู่รอบแกนขั้วแม่เหล็ก



รูปที่ 2.35 เส้นแรงแม่เหล็กบนแกนอาร์เมเจอร์หมุนตัดแกนขั้วแม่เหล็ก

จากรูปที่ 2.35 (1) เส้นแรงแม่เหล็กบนแกนอาร์เมเจอร์หมุนตัดแกนขั้วแม่เหล็ก จะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นสาเหตุให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนเวียนอยู่รอบแกนขั้วแม่เหล็ก ตามรูป (2)

กระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current) ที่เกิดขึ้นบนแกนของเครื่องกลไฟฟ้าด้วยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ($E = \frac{d\phi}{dt}$ [V]) มีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวาของเฟลมมิงทุกประการ ตามรูปที่ 2.34 และ 2.35 และจะไหลวนเวียนอยู่รอบแกนเหล็กในลักษณะตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็ก

ด้วยเหตุที่แกนเหล็กเป็นตัวนำที่ไม่ดีเพราะมีความต้านทานสูง จึงทำให้เกิดความร้อน ($I^2 \times R - \text{Heat}$) บนแกนเหล็กสูง ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องกลไฟฟ้าลดลงดังกล่าวแล้ว เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current Loss) ให้น้อยลง จะต้องปิดกั้นมิให้กระแสสามารถไหลวนเวียนอยู่บนแกนเหล็กครบรอบวงจรเด็ดขาด ด้วยการทำแกนเหล็กของแกนขั้วแม่เหล็กและแกนอาร์เมเจอร์ด้วยแผ่นเหล็กบางๆ วางเรียงซ้อนๆ กัน (Laminated Sheet Steel) ให้มีขนาด รูปร่างตามที่ต้องการ ตามรูปที่ 2.34 - 2.35 ระหว่างแผ่นต่อแผ่น กันด้วยวัสดุฉนวน เพื่อปิดกั้นมิให้กระแสไฟฟ้าไหลวนไหลผ่านระหว่างแผ่นต่อแผ่นได้ กระแสไฟฟ้าไหลวนที่เกิดขึ้นนี้มีโอกาสไหลบนแกนเหล็กเป็นช่วงๆ จะไม่มีโอกาสไหลครบรอบวงจรบนแกนเหล็กอย่างเด็ดขาดกำลังสูญเสียจึงลดลงและน้อยมาก

ด้วยเหตุนี้ แกนเหล็ก (ณ ส่วนที่มีเส้นแรงแม่เหล็กหรือกระแสไหลผ่านไม่คงที่) ของเครื่องกลไฟฟ้าทุกชนิด โดยเฉพาะเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ นิยมทำด้วย “Laminated Sheet Steel” ความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้กันทั่วไปไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร (เหล็กแท่งไม่ใช่ทำแกนของเครื่องกลไฟฟ้าอย่างเด็ดขาด เพราะว่าการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนสูงมาก) จุดประสงค์เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน นั่นเอง

การสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$P_e = K_e \times f^2 \times t^2 \times B^2 \times V \quad [\text{W}] \quad (2.37)$$

- เมื่อ P_e = การสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน
 K_e = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความต้านทานจำเพาะและขนาดของแกนเหล็ก
 f = ความถี่ [Hz]
 t = ความหนาของแผ่นเหล็ก
 B = ความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก
 V = ปริมาตรของแกนเหล็ก

เนื่องจากมอเตอร์เป็นเครื่องกลประเภทที่หมุนได้ (Rotating Machine) กระแสของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่มอเตอร์หมุนขับ และความเร็วของมอเตอร์มีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย การสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนจึงเป็นปรากฏโดยตรงกับความเร็วยกกำลังสอง (n^2) และเส้นแรงแม่เหล็กยกกำลังสอง (ϕ^2) ดังนี้

$$P_e = K_E \times n^2 \times \phi^2 \quad [\text{W}] \quad (2.38)$$

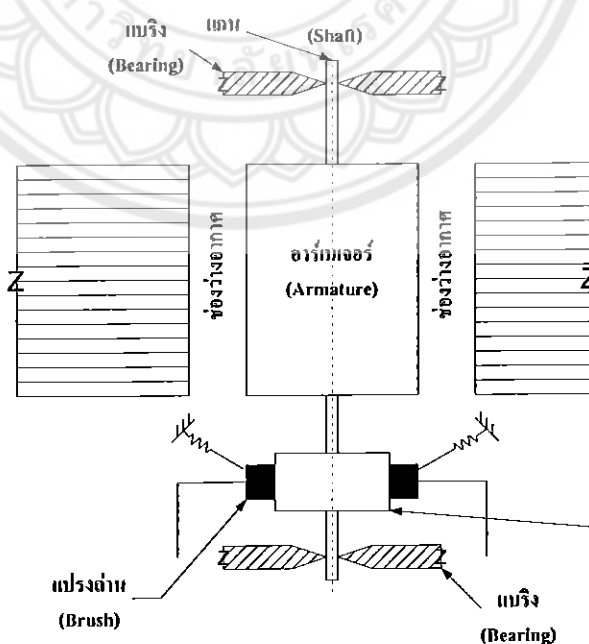
เมื่อ K_E = ค่าคงที่เช่นเดียวกับ K_e

n = ความเร็วรอบที่หมุนของอาร์เมเจอร์

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก

3) กำลังสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (Friction Loss) : เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานต่างๆ ต่อกับของเครื่องกลไฟฟ้า ตามรูปที่ 6

- Bearing Friction: ความเสียดทานระหว่างแบริ่งกับแกนของมอเตอร์
- Brush Friction: ความเสียดทานระหว่างหน้าสัมผัสของแปรงถ่านกับหน้าสัมผัสของคอมมิวเตเตอร์
- Windage Loss (Air Friction): ความเสียดทานระหว่างอากาศในช่องว่างอากาศ (Air Gap) ในสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ กับแกนอาร์เมเจอร์ (Armature Core)



รูปที่ 2.36 กำลังสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน ณ ส่วนต่างๆ ของมอเตอร์

กำลังสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานนี้ทำให้เกิดความร้อน ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ลดลง เช่นเดียวกับกำลังสูญเสียฮิสเตอร์รีซิสและการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนและกำลังสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานนี้จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์

กำลังสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานต่างๆ ของมอเตอร์ สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการทำให้ความเสียดทานของหน้าสัมผัสลดลง ดังนี้

Bearing Friction: ควรใช้แบริงชนิดพิเศษ ได้แก่ Roll หรือ Ball Bearing ให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน (โหลดที่มอเตอร์หมุนขับ)

Brush Friction: หน้าสัมผัสต้องราบเรียบ แปรงถ่านต้องแนบสนิทกับหน้าสัมผัสของคอมมิวเตเตอร์อย่างแท้จริง

Windage Loss (Air Friction): แกนอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ที่หมุนอยู่ในช่องว่างอากาศภายในสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ ต้องกลมและราบเรียบอย่างแท้จริงเช่นเดียวกัน

2.8.2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในเนื้อทองแดง (Copper Losses) : เป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในขดลวดทองแดง เนื่องจากกระแสไหลผ่านความต้านทานของขดลวดทองแดง ทำให้เกิดกำลังสูญเสีย ($I^2 \times R$ [W]) โดยเฉพาะและมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับกระแสโหลดยกกำลังสอง (I^2) โหลดยิ่งมากกำลังสูญเสีย (CU. Loss) ยิ่งมาก กำลังสูญเสียในเนื้อทองแดงของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง ได้แก่

กำลังสูญเสียในขดลวดอาร์เมเจอร์ : P_{AA}

$$P_{AA} = I_A^2 \times R_A \quad (2.39)$$

กำลังสูญเสียในขดลวดสนามแม่เหล็กชุดอนุกรม : P_D

$$P_D = I_D^2 \times R_A \quad (2.40)$$

กำลังสูญเสียในวงจรขดลวดสนามแม่เหล็กชุดขนาน : P_f

$$P_f = I_f^2 \times R_f \quad (2.41)$$

กำลังสูญเสียในขดลวดสนามแม่เหล็กชุดขนาน : P_E

$$P_E = I_E^2 \times R_E \quad (2.42)$$

กำลังสูญเสียในขดลวดสนามแม่เหล็กช่วย : P_B

$$P_B = I_B^2 \times R_B \quad (2.43)$$

กำลังสูญเสียในขดลวดสนามแม่เหล็กเสริม : P_C

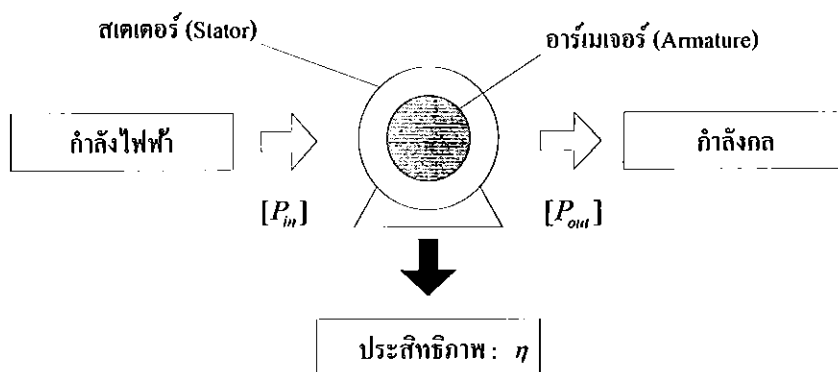
$$P_C = I_C^2 \times R_C \quad (2.44)$$

กำลังสูญเสียในขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นภายนอก : P_F

$$P_F = I_F^2 \times R_F \quad (2.45)$$

2.9 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าให้เป็นกำลังกลเพื่อใช้ขับเคลื่อนของมอเตอร์นั้น ต้องสูญเสียกำลังไฟฟ้าไปส่วนหนึ่ง ทำให้กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขับที่แกนมอเตอร์ : Output) น้อยกว่ากำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input) อัตราส่วนระหว่างกำลังกลกับกำลังไฟฟ้าเรียกว่า ประสิทธิภาพ (Efficiency) ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็คือ สมรรถนะในการทำงานของมอเตอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.37 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

ให้ η : etta = ประสิทธิภาพ

P_{in} = กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input Power)

P_{out} = กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขับเคลื่อนมอเตอร์ : Output Power)

ΔP = กำลังสูญเสียระหว่างการเปลี่ยนรูปกำลังจากกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังกล

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (2.46)$$

$$\eta = \frac{P_{out} \times 100}{P_{in}} \quad [\%] \quad (2.47)$$

$$P_{in} = \frac{P_{out} \times 100}{\eta} \quad [W] \quad (2.48)$$

$$P_{out} = \frac{\eta \times P_{in}}{100} \quad [W] \quad (2.49)$$

1) การคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์จากสลากแผ่นป้ายชื่อ (Name-Plate Data)

สลากแผ่นป้ายชื่อของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตามรูป พออธิบายได้ว่า มอเตอร์ตัวนี้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ขนาดแรงดันเมน : $V_M = 440$ โวลต์, กินกระแสเต็มโหลด : $I_{M_f} = 24$ แอมแปร์ ด้วยขนาดกำลังหมุนขับเคลื่อนที่แกนมอเตอร์ : $P_{out} = 9$ กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ : $n_f = 3000$ รอบ/นาที

Hersteller	
Typ Gk	
DC-Motor	Nr.1866
440 v	24 A
9 kW S1	Cos ψ
3000/min	Hz
Err.	220 V
1 A	
Isol.KI	1P43
0.25 t	
VDE 0530/11,72	

รูปที่ 2.38 สลากแผ่นป้ายชื่อ (Name-Plate Data) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ทุกตัวไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) หรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) กำลังเป็น kW หรือ W ที่กำหนดมาให้บนสลากแผ่นป้ายชื่อนั้น ขอให้จำไว้ว่า “เป็นกำลังกลที่หมุนขับเคลื่อนมอเตอร์หรือกำลังจ่ายออก : P_{out} ” ส่วนกำลังไฟฟ้าคือกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ดึงจากระบบไฟหรือกำลังไฟฟ้าที่ส่งให้มอเตอร์หรือกำลังรับเข้า : P_{in} สามารถหาได้จากการคำนวณตามสมการ

$$P_{in} = \text{กำลังไฟฟ้า : กำลังรับเข้า (Power Input)}$$

$$V_M = \text{แรงดันเมน}$$

$$I_M = \text{กระแสมอเตอร์}$$

$$\therefore P_{in} = V_M \times I_M \quad (2.50)$$

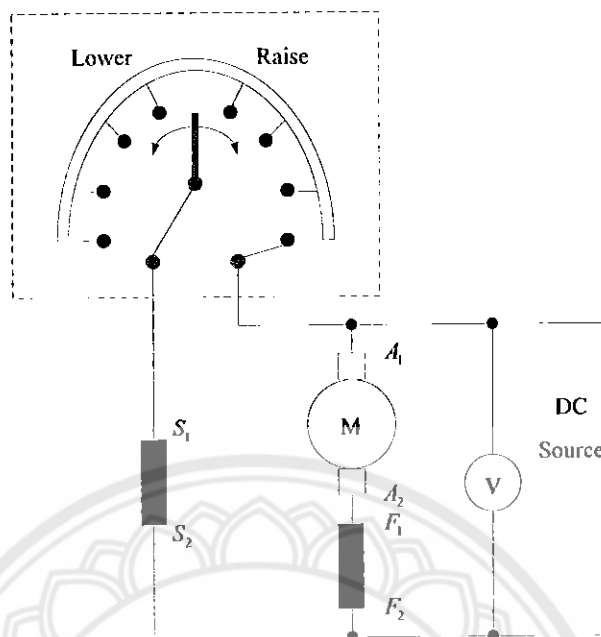
2.10 การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การสตาร์ทหรือการเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในช่วงเริ่มแรกยังไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back EMF) เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์ ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าไฟฟ้าที่ตกคร่อม (Voltage Drop) ที่อาร์เมเจอร์ จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นจำนวนมาก อาจทำให้เกิดความเสียหายกับมอเตอร์หรือฟิวส์ขาดได้ เนื่องจากความต้านทานของอาร์เมเจอร์มีค่าต่ำมาก เพราะฉะนั้นในการสตาร์ทมอเตอร์หรือเริ่มเดินมอเตอร์นั้น จำเป็นมากที่ต้องต่อความต้านทานอนุกรมกับเข้ากับอาร์เมเจอร์ เพื่อให้กระแสถูกควบคุมในขั้นปลอดภัย เมื่อมอเตอร์หมุนไปแล้วค่อยๆ ลดค่าความต้านทานลงทีละน้อย ในที่สุดจะถูกปลดออกจากวงจรอาร์เมเจอร์

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สตาร์ทมอเตอร์หรือเริ่มเดินมอเตอร์ เรียกว่าสตาร์ทติ่งบ็อก มีชนิด 3 ขั้ว (Three - Point Starting Box) และสตาร์ทติ่งบ็อกชนิด 4 ขั้ว (Four - Point Starting Box)

2.10.1 การควบคุมด้วยมือ (Manual Operation)

การปรับฟิลดรีโอสตาร์ท (Field Rheostat) ด้วยมือ ซึ่งอนุกรมกับวงจรชั้นฟิลด์ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ใช้ควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงในรูป 2.39



รูปที่ 2.39 การปรับฟิลดรี โอสแตด้วยมือ

การควบคุมตามวิธีฟิลดรี โอสแต จะเป็นตัวต้านทานที่ต่อแยกออกมาหลายๆ และมีสายต่อไปยังสวิตช์ที่มีหลายปุ่ม แขนของสวิตช์จะหมุนไปตามสัณฐานโค้งและสัมผัสปุ่มสวิตช์ที่ต่อแยกออกจากตัวต้านทาน ดังนั้นจึงเป็นการเปลี่ยนแปลงจำนวนความต้านทานในวงจรฟิลดรีด้านแขนของสวิตช์หมุนไปตามทิศทาง "Lower" จะทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นเป็นผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วลดลง แต่ถ้าแขนของสวิตช์หมุนไปตามทิศ "Raise" ความต้านทานจะลดลงเป็นผลทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วเพิ่มขึ้น

ฟิลดรี โอสแตที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดปานกลาง ตัวต้านทานที่ใช้จะเป็นลวดโลหะผสมที่มีความต้านทานจำเพาะสูง และสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำ โลหะผสมนี้ประกอบด้วยทองแดง นิกเกิล แมงกานีส และโครเมียม และมีชื่อเรียกทางการค้าว่า นิโคลแมงกานีส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ ฟิลดรี โอสแตทำจากตาข่ายเหล็กหล่อ ประกอบอยู่กับกลไกสวิตช์

รีโอสแตเริ่มเดิน ได้ออกแบบให้นำกระแสไฟในการเริ่มเดินในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น ไม่มีค่าต่ำกว่าปกติโดยการบิดแขนไว้ตรงกึ่งกลางของปุ่มสัมผัสก็จะทำให้ตัวต้านทานในการเริ่มเดินเกิดการไหม้ขึ้นได้

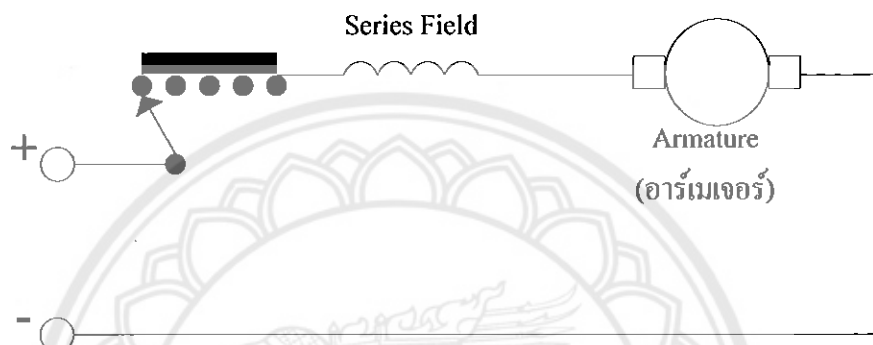
2.10.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมี 3 ชนิด คือ มอเตอร์แบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จึงต้องวิธีการที่ควบคุมแตกต่างกันไปตามชนิดของมอเตอร์ดังนี้

1) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

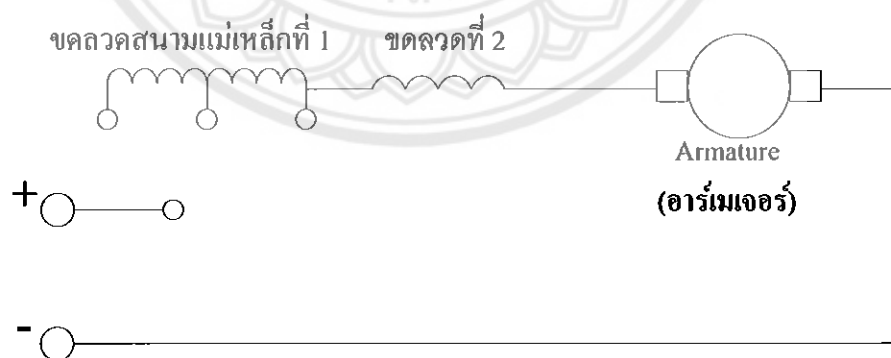
มอเตอร์ไฟฟ้าแบบอนุกรมนี้จะมีความเร็วสูงมากจึงจำเป็นต้องมีการควบคุม ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการ ในที่นี้จะกล่าวถึงการควบคุมอยู่ 2 วิธี คือ

(1-1) ใช้การต่ออนุกรมกับขดลวดเพื่อลดแรงดันไฟฟ้า และลดกระแสในอาร์เมเจอร์ ตัวต้านทานที่นิยมใช้ก็คือ ลวดนิกโครม (Nichrome Wire) และแผ่นคาร์บอน (Carbon Plate) แบบที่นิยมใช้ในมอเตอร์จักรเย็บผ้า



รูปที่ 2.40 การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ความต้านทาน

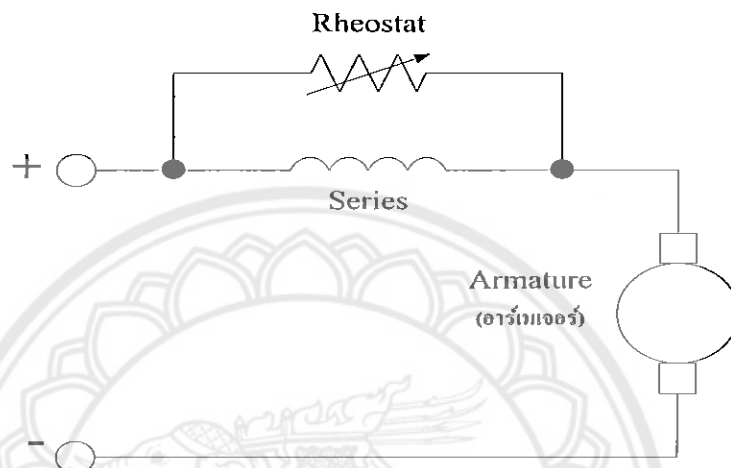
(1-2) ใช้การแบ่งที่ขดลวดขั้วแม่เหล็ก (Tapped Field) โดยการนำขดลวดขั้วแม่เหล็กที่ 1 มาแบ่งออกตามลักษณะดังรูปที่ 2.41 จากนั้นก็ต่อเข้ากับสวิตช์เลือก เพื่อปรับให้อยู่ในจุดที่ต้องการแบ่งเพื่อให้ความเร็ว ของมอเตอร์เป็นไปตามต้องการดังรูปที่ 2.41



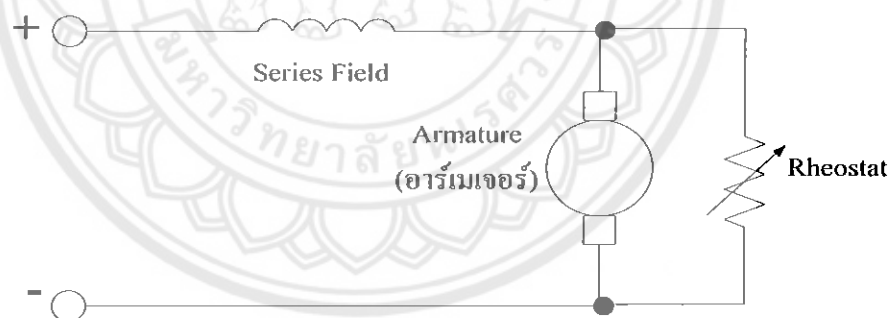
รูปที่ 2.41 การควบคุมความเร็วโดยการแบ่งขดลวด

สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่มีกระแสสูงการควบคุมความเร็วโดยการต่อความต้านทานและการปรับค่าความต้านทานและการเลื่อนปุ่ม จะทำให้เกิดประกายไฟ (Arc) และเกิดความร้อนสูง จึงใช้วิธี

แบ่งแยกกระแสในขดลวดขั้วแม่เหล็ก (Field Diverter) โดยนำความต้านทานปรับค่าได้ต่อขนานกับขดลวดสนามแม่เหล็ก เพื่อใช้ปรับความเร็ว เมื่อต้องการความเร็วสูงกว่าความเร็วปกติ ดังรูปที่ 2.42 และเมื่อต้องการความเร็วต่ำกว่าความเร็วปกติ ใช้ความต้านทานปรับค่าได้ (Rheostat) ต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.42 การควบคุมความเร็วมอเตอร์อนุกรมให้สูงกว่าความเร็วปกติ

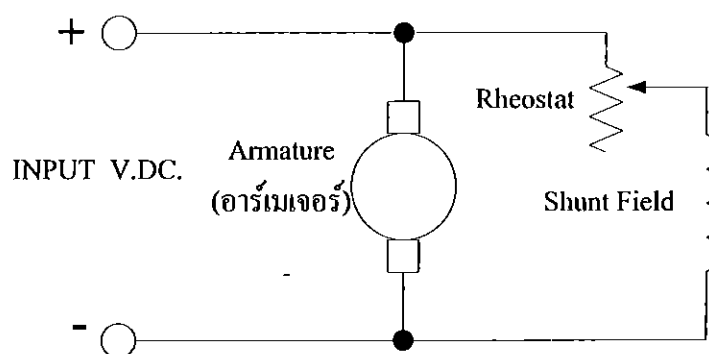


รูปที่ 2.43 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้ต่ำกว่าความเร็วปกติ

2) การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

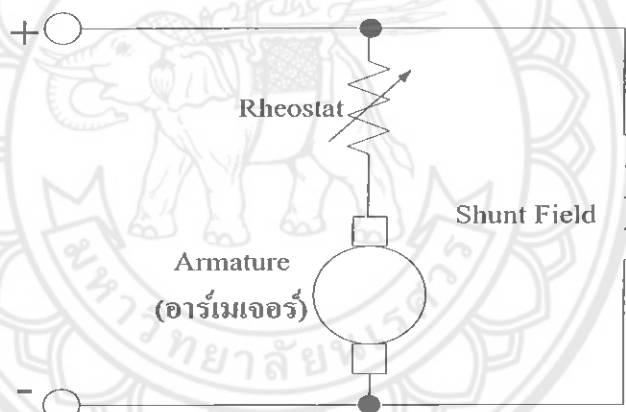
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานนี้ต่อขดลวดขั้วแม่เหล็ก (Field Coil) ขนานกับขดลวดชุดอาร์เมเจอร์ จึงเรียกว่า แบบขนานหรือชั้ตมอเตอร์ มอเตอร์แบบนี้มีความเร็วปกติคงที่

(2-1) ถ้าจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์แบบขนานนี้สูงกว่าปกติ ให้ใช้รีโอสแตท (Rheostat) ต่ออนุกรมกับขดลวดขั้วแม่เหล็ก เพื่อทำให้ค่ากระแสในขดลวดขั้วแม่เหล็กลดลง เป็นการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์แบบขนานนี้ได้ ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 การปรับความเร็วมอเตอร์แบบขนานให้มีความเร็วสูงกว่าปกติโดยใช้รีโอสแตท

(2-2) ถ้าจะให้ความเร็วของมอเตอร์แบบขนานมีความเร็วต่ำกว่าปกติ ดังนั้นจะต้อง
ต่อรีโอสแตทอนุกรมกับขดลวดจอร์อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์



รูปที่ 2.45 การปรับความเร็วมอเตอร์แบบขนานให้มีความเร็วต่ำกว่าปกติโดยใช้รีโอสแตท

ข้อดีของมอเตอร์กระแสตรงคือ

1. การควบคุมแรงบิดหรือความเร็วทำได้ง่ายและดีมาก
2. มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง (Response) ได้รวดเร็ว
3. การปรับความเร็วสามารถทำได้ในช่วงกว้าง

ข้อเสียของมอเตอร์กระแสตรงคือ

1. การบำรุงรักษาสูงมากเนื่องจากมีส่วนสึกหรอของแปรงถ่าน
2. ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับ AC Motor ที่มีขนาดแรงม้าเท่ากัน
3. มีขนาดใหญ่กว่า AC Motor ที่มีขนาดแรงม้าเท่ากัน
4. หาแหล่งจ่ายที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ยาก
5. ไม่สามารถนำไปใช้ในที่ที่มีสารไวไฟได้



บทที่ 3

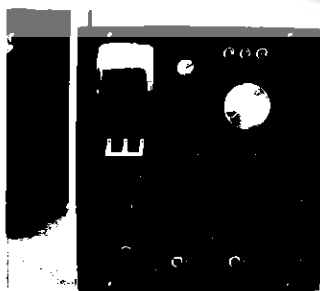
การออกแบบการทดลอง

ในส่วนของรายละเอียดเนื้อหาและหลักการทำงานรวมถึงทฤษฎีต่างๆ ของมอเตอร์กระแสตรง นั้นได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในบทนี้ผู้จัดทำจึงได้ดำเนินการออกแบบการทดลอง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทดลองการทำงานของมอเตอร์ตามทฤษฎี ซึ่งรายละเอียดการออกแบบวิธีการทดลองและเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)	1	ชุด
2. DC โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ (DC Voltmeter/Ammeter)	3	ชุด
3. DC มอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์ (DC Motor/Generator)	2	ชุด
4. อิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer)	1	ชุด
5. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)	1	ชุด
6. สายต่อวงจร (Connection Lead)	1	ชุด
7. สายพาน (Timing Belt)	1	ชุด
8. โหลด (Resistive Load)	1	ชุด

3.1.1 รูปภาพอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง



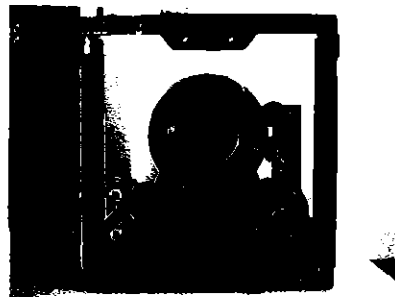
รูปที่ 3.1 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)



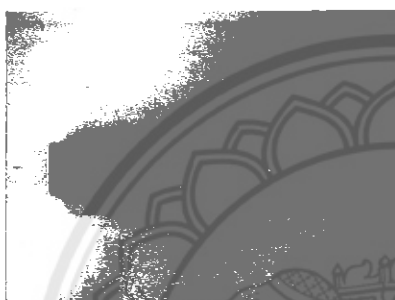
รูปที่ 3.2 DC โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์



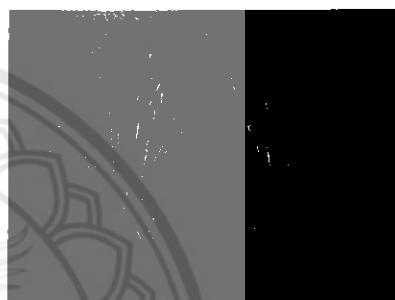
รูปที่ 3.3 DC มอเตอร์/เจนเนอเรเตอร์



รูปที่ 3.4 อิเล็กทรอนิกส์ ไมมิเตอร์



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)



รูปที่ 3.6 สายต่อวงจร (Connection Lead)



รูปที่ 3.7 สายพาน (Timing Belt)



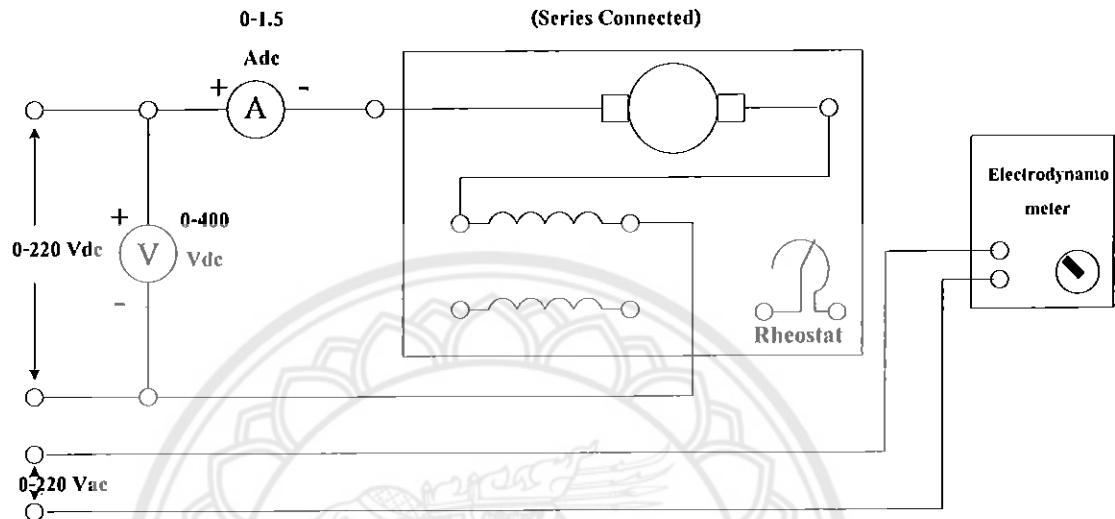
รูปที่ 3.8 โหลด (Resistive Load)

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ลำดับขั้นตอนของการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ ทดลองตอนทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและตอนทำงานเป็นเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังนี้

3.2.1 การทดลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor)



รูปที่ 3.9 การต่อมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

1.1) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ และแรงบิดของมอเตอร์

- ต่อวงจรตามรูปที่ 3.9 โดยต่ออิเล็กโตรไดนามิเตอร์กับ DC มอเตอร์ เข้าด้วยกัน โดยใช้สายพาน ซึ่งเป็นการต่อแบบอนุกรม (ไม่ต่อขดลวดชั้นดีฟิวด์และรีโอสแตท)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันดีซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $180 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ค่อยๆ เพิ่มโหลดให้สูงขึ้นประมาณ 10 ระดับ โดยหมุนปุ่มควบคุมของอิเล็กโตรไดนามิเตอร์ที่ชี้ค่าแรงบิด (Torque, τ) โดยเริ่มต้นจากศูนย์ ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา

- อ่านค่ากระแส (Armature Current, I_A) จากแอมมิเตอร์และวัดความเร็วของมอเตอร์ด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้คงที่ 220 (คอยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $220 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้คงที่ 260 (คอยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $260 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

1.2) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์

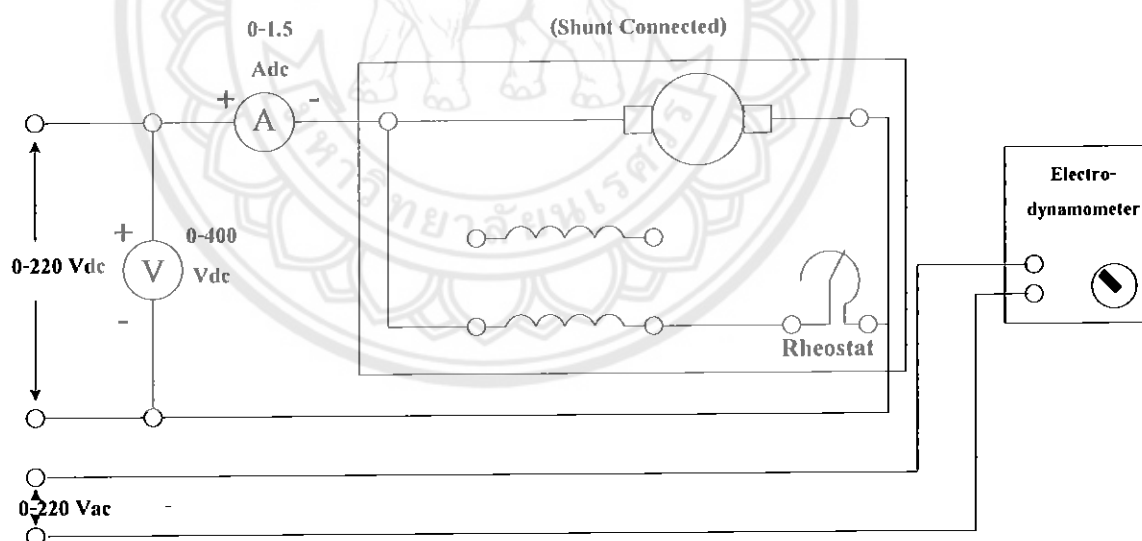
- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า 180 V_{dc} ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)
- กำหนดความเร็วรอบประมาณ 10 ไร่
- เพิ่มโหลดให้สูงขึ้นโดยหมุนปุ่มควบคุมของอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ที่ชี้ค่าแรงบิด (Torque, τ) โดยเริ่มต้นจากศูนย์ ค่อยๆ หมุนให้ได้ความเร็วรอบตามที่กำหนดไว้ ค่อยปรับแหล่งจ่ายให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ 180 V_{dc} ตลอดเวลา

- อ่านค่าแรงบิด (Torque, τ) จากอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง
- อ่านค่ากระแส (Armature Current, I_a) จากแอมมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง
- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้คงที่ 220 (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์

คงที่ 220 V_{dc} ตลอดเวลา)

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้คงที่ 260 (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์
- คงที่ 260 V_{dc} ตลอดเวลา)

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor)



รูปที่ 3.10 การต่อมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

2.1) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ และแรงบิดของมอเตอร์

- ต่อดังรูปที่ 3.10 โดยต่ออิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์กับ DC มอเตอร์ เข้าด้วยกันโดยใช้สายพาน ซึ่งเป็นการต่อแบบขนาน (ต่อขดลวดชั้นดีฟิวด์และรีโอสแตท)

- ปรับลูกบิดให้ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ไปในตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกาจนสุด (เพื่อใช้เป็นโหลดต่ำสุด ตอนเริ่มเดิน DC มอเตอร์)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดัน DC ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $180 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ปรับค่าความต้านทานของรีโอสแตท (Rheostat) จนมอเตอร์หมุนที่ความเร็ว 1500 รอบ/นาที (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา) บันทึกค่ากระแส และความเร็วรอบในตาราง (แรงบิด 0 N.m)

- ปรับโหลดของมอเตอร์กระแสตรง โดยหมุนปุ่มควบคุมของอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ซึ่งที่ค่าแรงบิด (Torque, τ) ประมาณ 10 ระดับ (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

- อ่านค่ากระแส (Armature Current, I_a) จากแอมมิเตอร์และวัดความเร็วของมอเตอร์ด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้คงที่ 220 (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $220 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้คงที่ 260 (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $260 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

2.2) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์

- ปรับลูกบิดให้ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ไปในตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกาจนสุด (เพื่อใช้เป็นโหลดต่ำสุด ตอนเริ่มเดิน DC มอเตอร์)

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $180 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ปรับค่าความต้านทานของรีโอสแตท (Rheostat) จนมอเตอร์หมุนที่ความเร็ว 1500 รอบ/นาที (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา) บันทึกค่ากระแสลงในตาราง (แรงบิด 0 N.m)

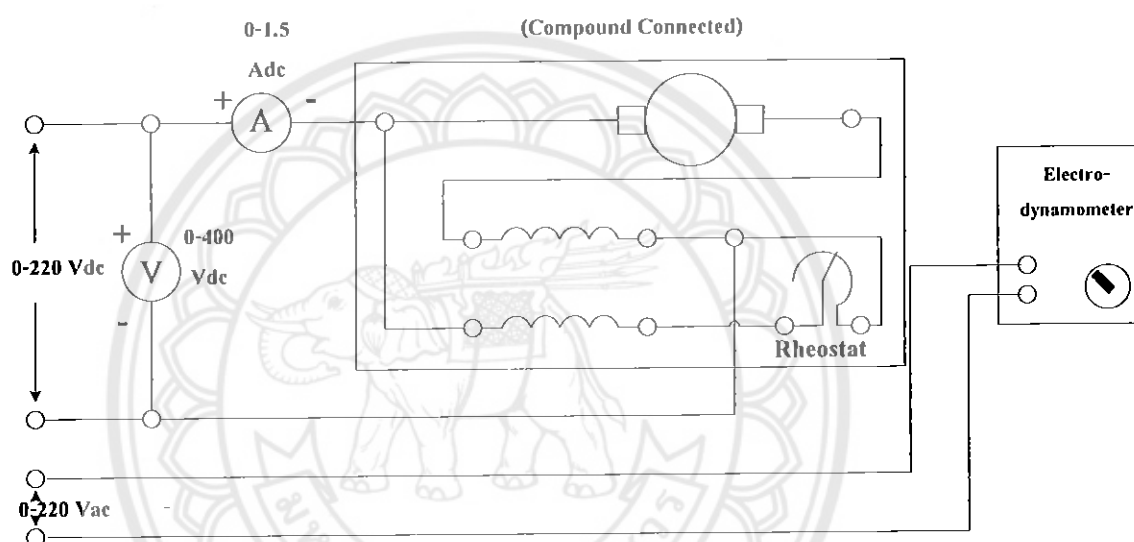
- กำหนดความเร็วรอบประมาณ 10 ระดับ

- ปรับโหลดของมอเตอร์กระแสตรง โดยหมุนปุ่มควบคุมของอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ซึ่งที่ค่าแรงบิด (Torque, τ) โดยเริ่มต้นจากศูนย์ ค่อยๆ หมุนให้ได้ตามความเร็วรอบที่กำหนดไว้ (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์คงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

- อ่านค่าแรงบิด (Torque, τ) จากอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง

- อ่านค่ากระแส (Armature Current, I_a) จากแอมมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง
- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้คงที่ 220 (คอยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ คงที่ $220 V_{dc}$ ตลอดเวลา)
- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้คงที่ 260 (คอยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ คงที่ $260 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

3) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Motor)



รูปที่ 3.11 การต่อมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม

3.1) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็วรอบ และแรงบิดของมอเตอร์

- ต่อดังตามรูปที่ 3.11 โดยต่ออิล็กโทรไดนามิเตอร์กับ DC มอเตอร์ เข้าด้วยกันโดยใช้สายพาน ซึ่งเป็นการต่อแบบผสม (ต่อขดลวดชั้นฟิลด์และรีโอสแตท)
- ปรับถูกบิดให้ควบคุมอิล็กโทรไดนามิเตอร์ไปในตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกาจนสุด (เพื่อใช้เป็นโหลดต่ำสุด ตอนเริ่มเดินทางคีมอเตอร์)
- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันคีมอเตอร์ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม
- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $180 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ปรับค่าความต้านทานของรีโอสแตท (Rheostat) จนมอเตอร์หมุนที่ความเร็ว 1500 รอบ/นาที (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ถึงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา) บันทึกค่ากระแส และความเร็ว รอบในตาราง (แรงบิด 0 N.m)

- ปรับโหลดของมอเตอร์กระแสตรง โดยหมุนปุ่มควบคุมของอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ซึ่งค่าแรงบิด (Torque, τ) ประมาณ 10 ระดับ (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ถึงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

- อ่านค่ากระแส (Armature Current, I_A) จากแอมมิเตอร์และวัดความเร็วของมอเตอร์ด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้ถึงที่ 220 (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ถึงที่ $220 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้ถึงที่ 260 (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ถึงที่ $260 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

3.2) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์

- ปรับลูกบิดให้ควบคุมอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ไปในตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกาจนสุด (เพื่อใช้เป็นโหลดต่ำสุด ตอนเริ่มเดิน DC มอเตอร์)

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $180 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ปรับค่าความต้านทานของรีโอสแตท (Rheostat) จนมอเตอร์หมุนที่ความเร็ว 1500 รอบ/นาที (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ถึงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา) บันทึกค่ากระแสลงในตาราง (แรงบิด 0 N.m)

- กำหนดความเร็วรอบประมาณ 10 ระดับ

- ปรับโหลดของมอเตอร์กระแสตรง โดยหมุนปุ่มควบคุมของอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ซึ่งค่าแรงบิด (Torque, τ) โดยเริ่มต้นจากศูนย์ ค่อยๆ หมุนให้ได้ตามความเร็วรอบที่กำหนดไว้ (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ถึงที่ $180 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

- อ่านค่าแรงบิด (Torque, τ) จากอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

- อ่านค่ากระแส (Armature Current, I_A) จากแอมมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

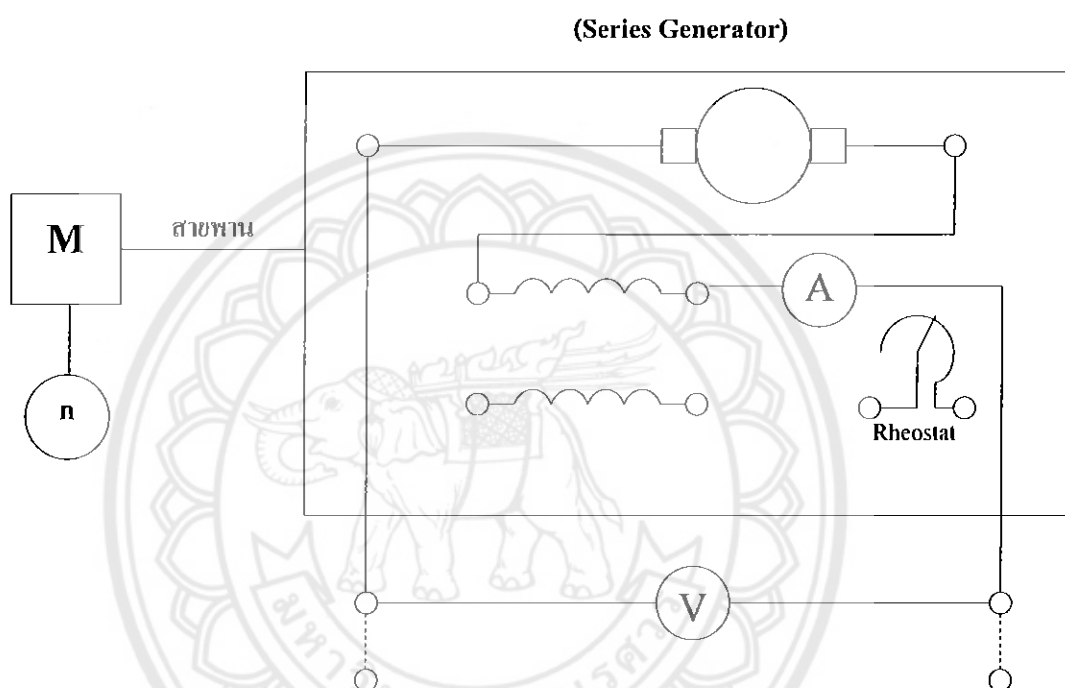
- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้ถึงที่ 220 (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ถึงที่ $220 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับแรงดันให้ถึงที่ 260 (ค่อยปรับแหล่งจ่าย ให้มีแรงดันเข้ามอเตอร์ถึงที่ $260 V_{dc}$ ตลอดเวลา)

3.2.2 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Generator)

1.1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)



รูปที่ 3.12 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)

1.1.1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเร็วรอบของอาเมเจอร์

- ต่อดังตามรูปที่ 3.12 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้ส่ายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันคัตซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

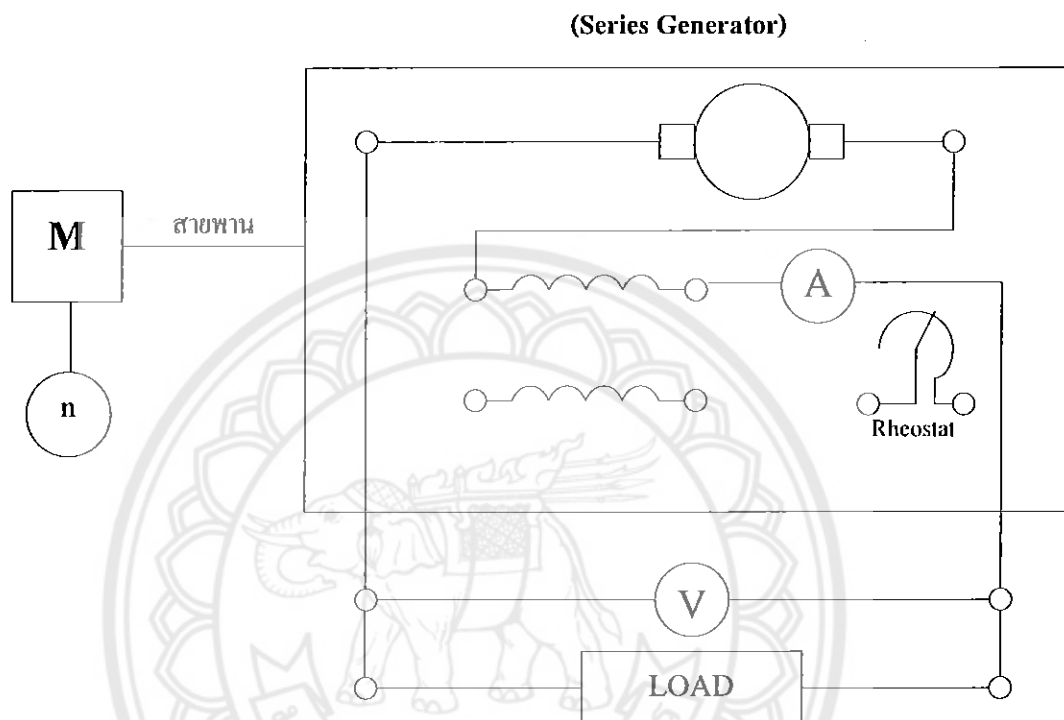
- กำหนดความเร็วรอบประมาณ 10 ระดับ

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันให้ได้ความเร็วรอบตามที่กำหนดไว้

- อ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ บันทึกค่าลงที่อ่านได้ลงใน

ตาราง

1.2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)



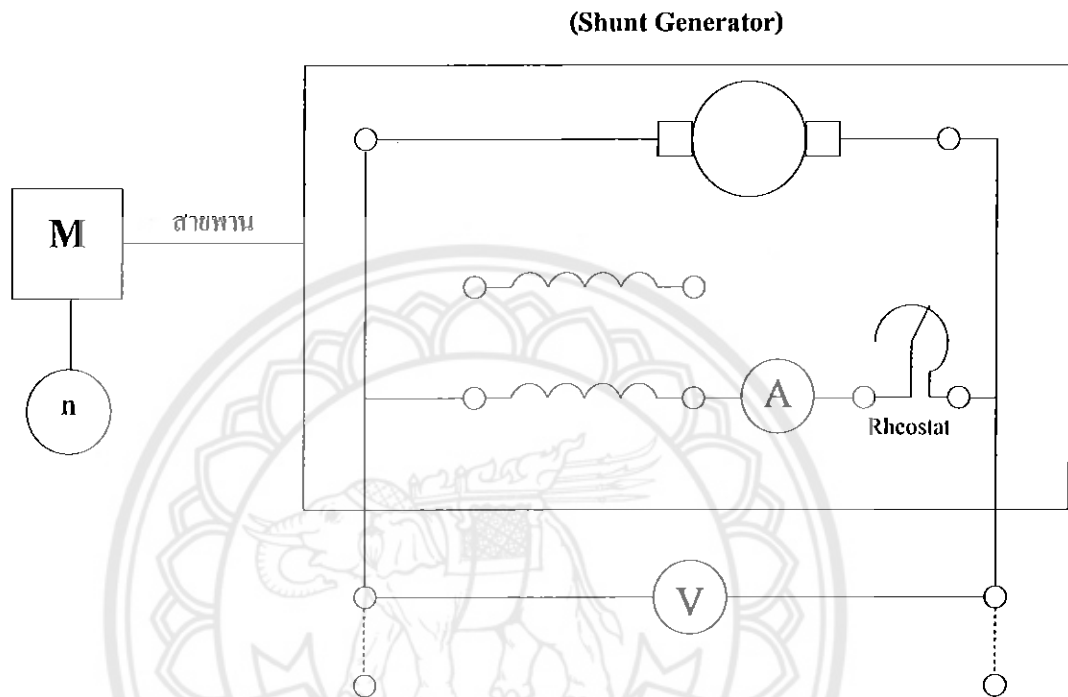
รูปที่ 3.13 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

1.2.1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสโหลด

- ต่อวงจรตามรูปที่ 3.13 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้สายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)
- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันคัตซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม
- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $220 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)
- เพิ่มโหลดโดยใช้ Resistive Load ปรับค่าได้ 7 ระดับ โดยเริ่มต้นจากกระแสไม่มีโหลด
- อ่านค่ากระแสจากแอมมิเตอร์และวัดความเร็วของมอเตอร์ด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง
- อ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจับจากโวลต์มิเตอร์ บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Generator)

2.1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)



รูปที่ 3.14 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)

2.1.1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับความเร็วของอาเมเจอร์

- ต่อวงจรตามรูปที่ 3.14 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้ส่ายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันดีซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $220 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- กำหนดความเร็วรอบของอาเมเจอร์ ประมาณ 10 ไร่ด

- ปรับความเร็วรอบของอาเมเจอร์ให้ได้ตามค่าที่กำหนดไว้ โดยหมุนรีโอสแตท

- ทุกะดับของความเร็วให้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า แล้วบันทึกลงในตาราง

2.1.2) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก

- ต้องจรรยาตามรูปที่ 3.14 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้สายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันดีซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า 220 V_{dc} ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ปรับความเร็วรอบของอาร์มเจอร์ให้ได้ความเร็ว 1500 รอบ/นาที

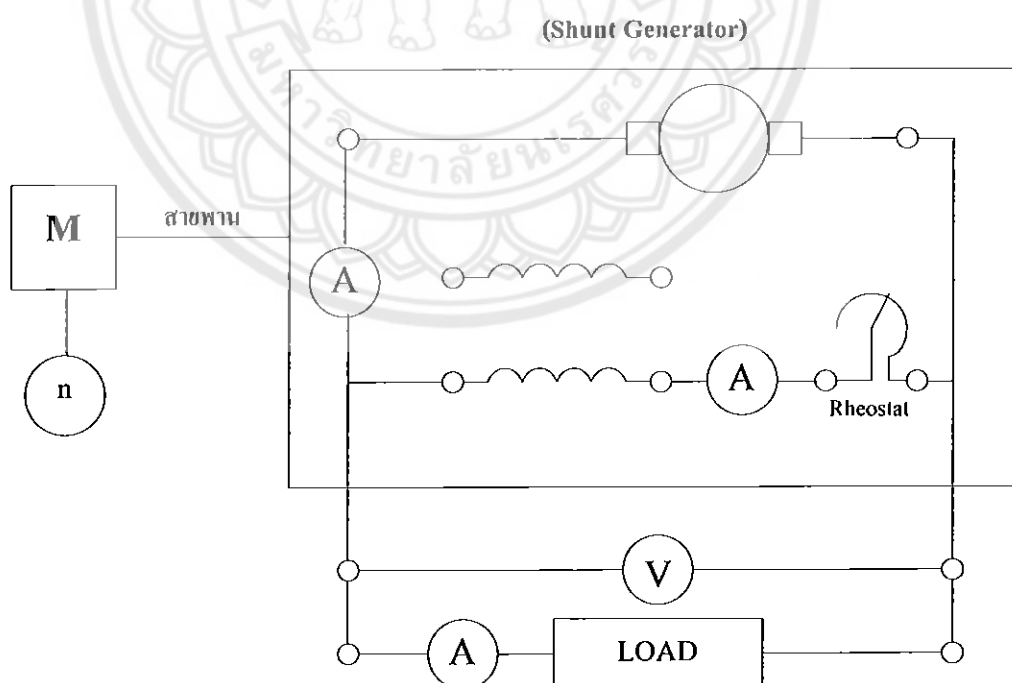
- ปรับความต้านทานของรีโอสแตท ด้วยการเริ่มต้นจาก "0" ไปเรื่อย ๆ โดยกำหนดกระแสประมาณ 10 ระดับ

- ทุก ๆ ค่าของกระแสให้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับความเร็วของอาร์มเจอร์ให้ได้ความเร็ว 1800 รอบ/นาที

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับความเร็วของอาร์มเจอร์ให้ได้ความเร็ว 1200 รอบ/นาที

2.2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ขณะจ่ายโหลด (Load Test)



รูปที่ 3.15 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

2.2.1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสอาร์เมเจอร์และกระแสโหลด

- ต่อย่างจตามรูปที่ 3.15 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้สายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันคิซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $220 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- เพิ่มโหลดโดยใช้ Resistive Load ปรับค่าได้ 7 ระดับ โดยเริ่มต้นจากกระแสไม่มีโหลด

- อ่านค่ากระแสอาร์เมเจอร์ I_A จากแอมมิเตอร์ บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง

- อ่านค่ากระแสโหลด I_L จากแอมมิเตอร์ บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง

- อ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ บันทึกค่าคงที่อ่านได้ลงในตาราง

2.2.2) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสขดลวดสนามแม่เหล็กที่โหลดคงที่

- ต่อย่างจตามรูปที่ 3.15 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้สายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันคิซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $220 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ปรับโหลดโดยใช้ Resistive Load ให้ค่าได้ 0.05 A

- กำหนดค่ากระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก ประมาณ 10 ระดับ

- ปรับกระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก ด้วยการปรับความต้านทานของรีโอสแตทตามค่าที่กำหนด

- ทุกะดับของกระแสขดลวดสนามแม่เหล็กที่โหลดคงที่ให้อัดแรงดัน แล้วบันทึกค่าลงใน

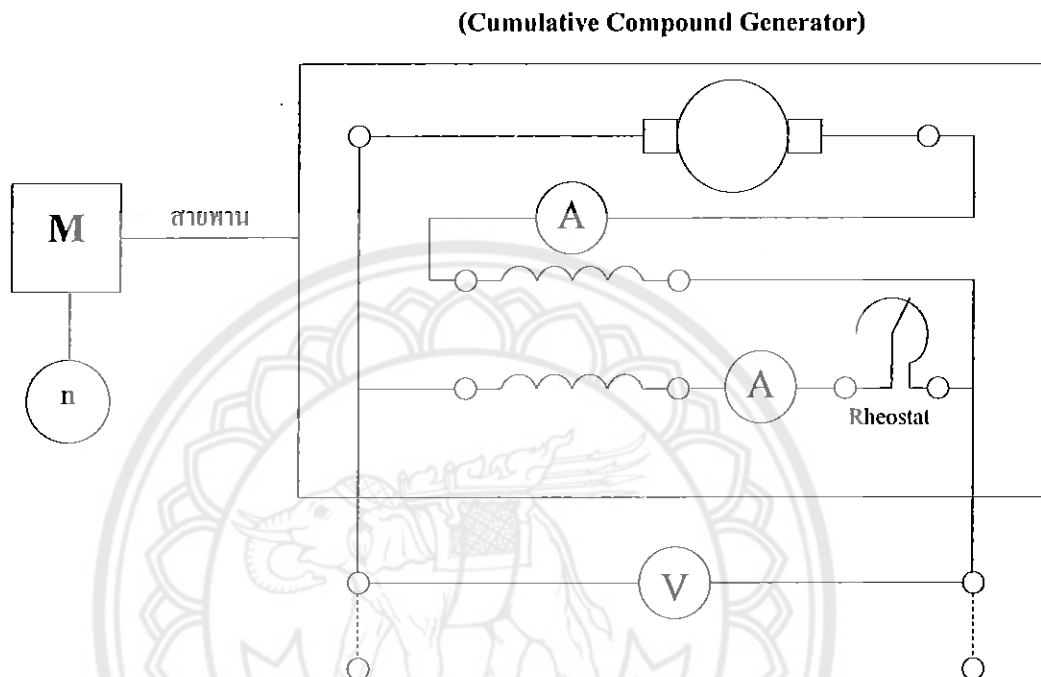
ตาราง

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับโหลดโดยใช้ Resistive Load ให้ค่าได้ 0.1 A

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับโหลดโดยใช้ Resistive Load ให้ค่าได้ 0.2 A

3) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Cumulative Compound Generator)

3.1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)



รูปที่ 3.16 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)

3.1.1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสโหลด

- ต้องจตามรูปที่ 3.16 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้สายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

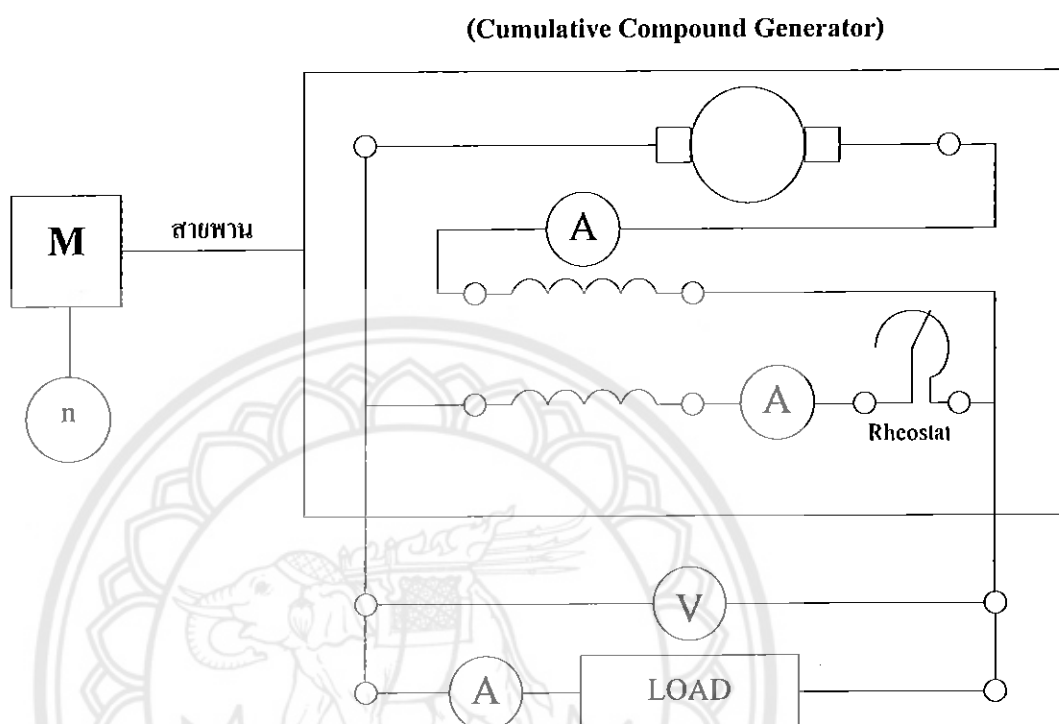
- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันคัตซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $220 V_c$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ปรับความต้านทานของรีโอสแตท ด้วยการเริ่มต้นจาก "0" ไปเรื่อย ๆ โดยกำหนดกระแสประมาณ 10 ระดับ

- ทุก ๆ ค่าของกระแสให้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความเร็วรอบของอาร์เมเจอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

3.2) การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)



รูปที่ 3.17 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

3.2.1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส

- ต้องจตามรูปที่ 3.17 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้สายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันคัตซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า $220 V_{dc}$ ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- เพิ่มโหลดโดยใช้ Resistive Load ปรับค่าได้ 7 ระดับ โดยเริ่มต้นจากกระแสไม่มีโหลด

- อ่านค่ากระแสอาร์มเจอร์ I_A จากแอมมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

- อ่านค่ากระแสโหลด I_L จากแอมมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

- อ่านค่ากระแสขดลวด I_f จากแอมมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

- อ่านค่าความเร็วรอบของอาร์มเจอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

- อ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตาราง

3.2.2) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสไหลตกที่

- ต้องจรรยาตามรูปที่ 3.17 โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับมอเตอร์ (เครื่องต้นกำลัง) เข้าด้วยกันโดยใช้สายพานซึ่งเป็นการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

- เปิดแหล่งจ่ายไฟและค่อยๆ ปรับแรงดันดีซีให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนให้สังเกตทิศทางการหมุน ถ้าไม่หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟแล้วสลับขั้วการต่อขดลวดสนาม

- เปิดแหล่งจ่ายแล้วปรับให้แรงดันมีค่า 220 V_{dc} ซึ่งวัดโดยโวลต์มิเตอร์ (V)

- ปรับโหลดโดยใช้ Resistive Load ให้ค่าได้ 0.05 A

- กำหนดค่ากระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก ประมาณ 10 ระดับ

- ปรับกระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก ด้วยการปรับความต้านทานของรีโอสแตทตามค่าที่กำหนด

- ทุกระดับของกระแสขดลวดสนามแม่เหล็กที่ไหลตกที่ให้วัดแรงดัน แล้วบันทึกค่าลงใน

ตาราง

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับ โหลด โดยใช้ Resistive Load ให้ค่าได้ 0.1 A

- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับ โหลด โดยใช้ Resistive Load ให้ค่าได้ 0.2 A



บทที่ 4

ผลการทดลอง

สังเกตที่หน้าปัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สังเกตขดลวดแบบต่างๆ ของตัวเครื่อง และอ่านค่าพิกัดของเครื่อง กรณีที่ใช้ทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกรณีที่ใช้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

Parameters	Value
กำลังไฟฟ้า	175 Watt
ความเร็ว	1,500 rpm
แรงดันไฟฟ้า	220 V
กระแสไฟฟ้า	1.3 A

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)

Parameters	Value
กำลังไฟฟ้า	110 Watt
ความเร็ว	1,500 rpm
แรงดันไฟฟ้า	220 V
กระแสไฟฟ้า	0.5 A

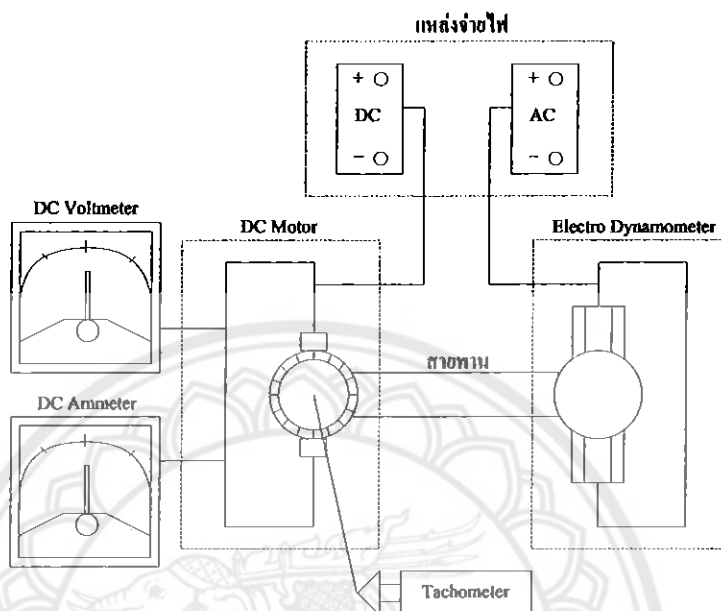
คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้า (Power Input, P_{in}), กำลังไฟฟ้าขาออก (Power Output, P_{out}) และประสิทธิภาพ (Efficiency, η) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จากสมการที่ 2.47, 2.48 และ 2.49

$$P_{in} = E.I$$

$$P_{out} = \frac{2p n}{60} \phi I_a$$

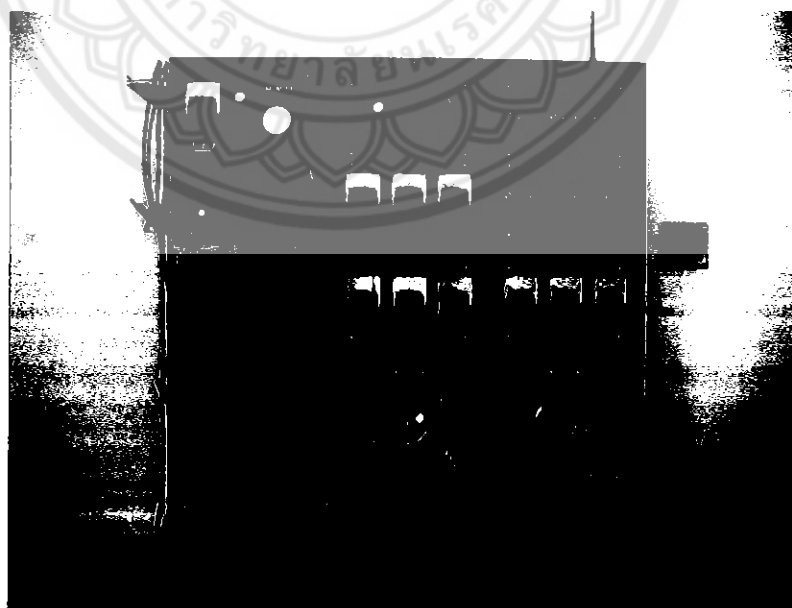
$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

4.1 ผลการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)



รูปที่ 4.1 ไลอะแกรมการเชื่อมต่อของมอเตอร์

4.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor)



รูปที่ 4.2 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบอนุกรมที่แรงดัน 180 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_m (W)	P_{out} (W)	$\%h$
1	180	0.35	2613	0	63	0	0
2	180	0.4	2348	0.1	72	24.59	34.15
3	180	0.48	2061	0.2	86.4	43.16	49.95
4	180	0.52	1869	0.3	93.6	58.71	62.72
5	180	0.61	1707	0.4	109.8	71.50	65.12
6	180	0.69	1604	0.5	124.2	83.98	67.62
7	180	0.72	1507	0.6	129.6	94.69	73.06
8	180	0.8	1414	0.7	144	103.65	71.98
9	180	0.89	1312	0.8	160.2	109.91	68.61
10	180	0.95	1255	0.9	171	118.28	69.17
11	180	0.99	1215	1	178.2	127.23	71.40

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์มเจอร์ แบบอนุกรมที่แรงดัน 180 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_m (W)	P_{out} (W)	$\%h$
1	180	0.35	2500	0	63	0	0
2	180	0.4	2400	0.08	72	20.11	27.93
3	180	0.42	2300	0.12	75.6	28.9	38.23
4	180	0.46	2200	0.16	82.8	36.86	44.52
5	180	0.49	2100	0.19	88.2	41.78	47.37
6	180	0.51	2000	0.22	91.8	46.07	50.18
7	180	0.55	1900	0.28	99	55.71	56.27
8	180	0.59	1800	0.33	106.2	62.2	58.57
9	180	0.62	1700	0.38	111.6	67.65	60.62
10	180	0.69	1600	0.48	124.2	80.42	64.75
11	180	0.75	1500	0.59	135	92.67	68.64

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบอนุกรมที่แรงดัน 220 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	$\%h$
1	220	0.35	3197	0	77	0	0
2	220	0.41	2881	0.1	90.2	30.17	33.45
3	220	0.5	2510	0.2	110	52.57	47.79
4	220	0.55	2305	0.3	121	72.41	59.84
5	220	0.61	2093	0.4	134.2	87.67	65.33
6	220	0.7	1955	0.5	154	102.36	66.47
7	220	0.76	1832	0.6	167.2	115.11	68.85
8	220	0.81	1741	0.7	178.2	127.62	71.62
9	220	0.88	1654	0.8	193.6	138.56	71.57
10	220	0.91	1577	0.9	200.2	148.63	74.24
11	220	1	1517	1	220	158.86	72.21

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบอนุกรมที่แรงดัน 220 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	$\%h$
1	220	0.5	2500	0.18	110	47.12	42.84
2	220	0.51	2400	0.24	112.2	60.32	53.76
3	220	0.52	2300	0.27	114.4	65.03	56.84
4	220	0.58	2200	0.32	127.6	73.72	57.77
5	220	0.61	2100	0.37	134.2	81.37	60.63
6	220	0.67	2000	0.45	147.4	94.25	63.94
7	220	0.71	1900	0.54	156.2	107.44	68.78
8	220	0.76	1800	0.61	167.2	114.98	68.77
9	220	0.82	1700	0.71	180.4	126.39	70.06
10	220	0.91	1600	0.84	200.2	140.74	70.3
11	220	1.02	1500	1.0	224.4	157.08	70

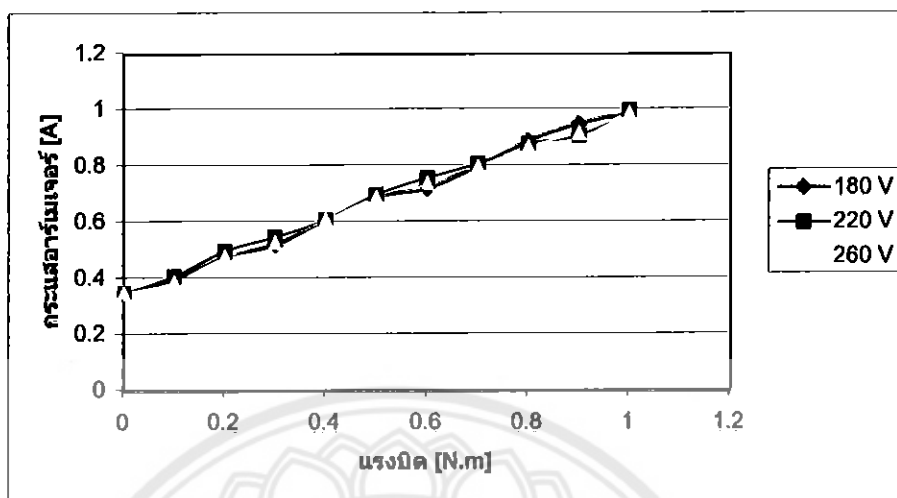
ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบอนุกรมที่แรงดัน 260 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	$\tau (\text{N.m})$	$P_{in} (\text{W})$	$P_{out} (\text{W})$	$\%h$
1	260	0.35	3704	0	91	0	0
2	260	0.39	3510	0.1	101.4	36.76	36.25
3	260	0.48	3110	0.2	124.8	65.14	52.2
4	260	0.53	2840	0.3	137.8	89.22	64.75
5	260	0.61	2569	0.4	158.6	107.61	67.85
6	260	0.69	2404	0.5	179.4	125.87	70.16
7	260	0.74	2253	0.6	192.4	141.56	73.57
8	260	0.8	2151	0.7	208	157.68	75.81
9	260	0.87	2033	0.8	226.2	170.32	75.29
10	260	0.92	1922	0.9	239.2	181.14	75.73
11	260	0.99	1850	1	257.4	193.73	75.26

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์มเจอร์ แบบอนุกรมที่แรงดัน 260 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	$\tau (\text{N.m})$	$P_{in} (\text{W})$	$P_{out} (\text{W})$	$\%h$
1	260	0.6	2500	0.33	156	86.39	55.38
2	260	0.63	2400	0.39	163.8	98.02	59.84
3	260	0.67	2300	0.45	174.2	108.38	62.22
4	260	0.72	2200	0.53	187.2	122.1	65.22
5	260	0.79	2100	0.62	205.4	136.34	66.38
6	260	0.82	2000	0.7	213.2	146.61	68.76
7	260	0.9	1900	0.83	234	165.14	70.57
8	260	0.99	1800	0.96	257.4	180.95	70.3
9	260	1.1	1700	1.14	286	202.95	70.96
10	260	1.18	1600	1.31	306.8	219.49	71.54
11	260	1.3	1500	1.5	338	235.62	69.71

๑) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสเมเจอร์



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสเมเจอร์

จากสมการที่ 2.29

$$\tau = K\phi I$$

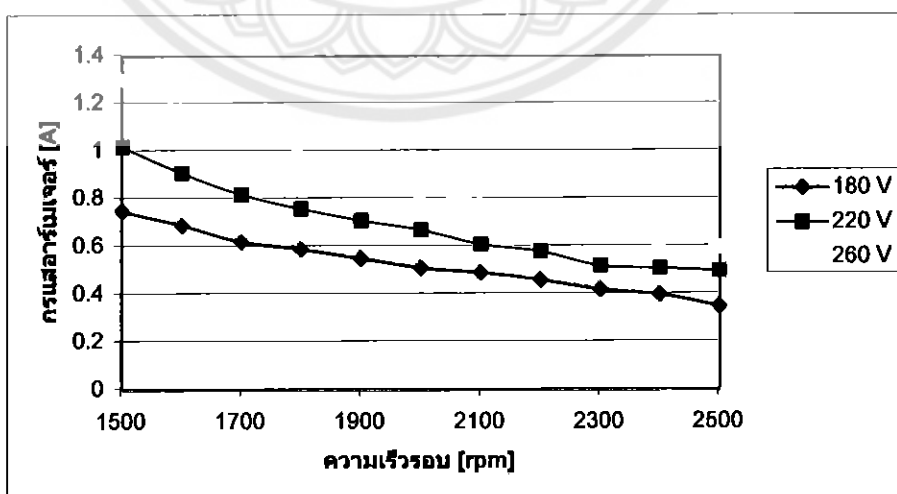
จะได้ว่า $\tau \propto \phi$ และ $\tau \propto I$

ดังนั้น $\tau \approx I^2$

I เพิ่มขึ้น ; τ เพิ่มขึ้น

I ลดลง ; τ ลดลง

๒) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสเมเจอร์



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสเมเจอร์

จากสมการที่ 2.29 และ 2.48

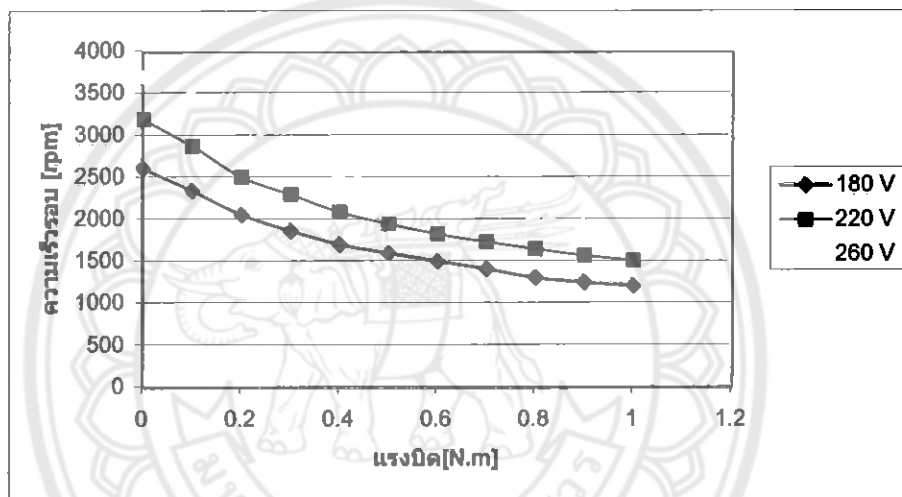
$$n = \frac{E}{K \times \phi} \quad ; \quad \phi = I$$

$$\text{จะได้ว่า } n \propto \frac{1}{\phi} \Rightarrow n \propto \frac{1}{I}$$

I เพิ่มขึ้น ; n ลดลง

I ลดลง ; n เพิ่มขึ้น

๔) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด

จากสมการที่ 2.48

$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

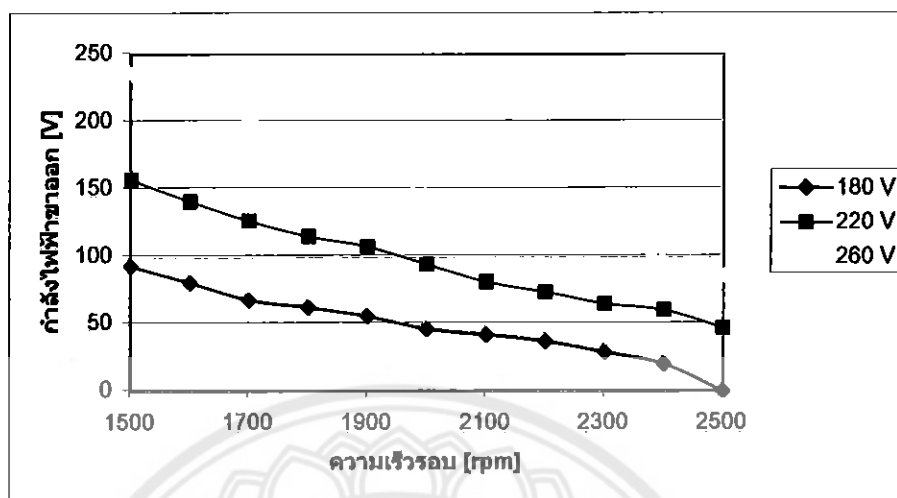
$$n = \frac{30 \times P_{out}}{\pi \times \tau} \quad ; \quad \text{ให้ } P_{out} = \text{ค่าคงที่}$$

$$\text{จะได้ว่า } n \propto \frac{1}{\tau}$$

τ เพิ่มขึ้น ; n ลดลง

τ ลดลง ; n เพิ่มขึ้น

d) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าขาออก



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าขาออก

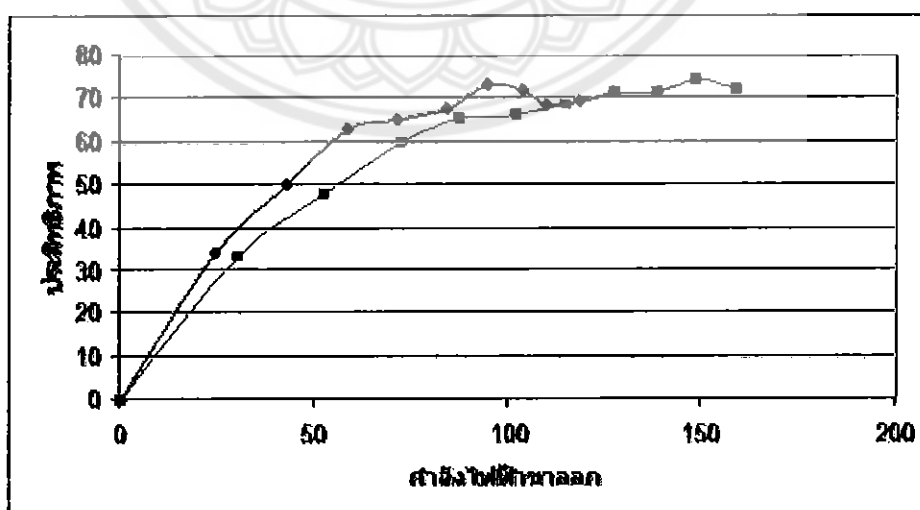
จากสมการที่ 2.48

$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

$$n \propto \frac{1}{\tau}$$

จะได้ว่า τ เพิ่มขึ้น ; n ลดลง ; P_{out} เพิ่มขึ้น
 τ ลดลง ; n เพิ่มขึ้น ; P_{out} ลดลง

e) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V

จากสมการที่ 2.47, 2.48 และ 2.49

$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

$$P_{in} = E \times I$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \Rightarrow \eta = \frac{\pi \times n \times \tau}{30 \times E \times I}$$

$$\text{ดังนั้น } \eta \propto n \times \tau \text{ และ } \eta \propto \frac{1}{E \times I}$$

ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับ 4 ตัวแปร คือไปนี้

- 1) ความเร็ว : n
- 2) แรงบิด : τ
- 3) กระแส : I
- 4) แรงดัน : E

n เพิ่มขึ้น ; η เพิ่มขึ้น : เมื่อ τ, E, I คงที่
 τ เพิ่มขึ้น ; η เพิ่มขึ้น : เมื่อ n, E, I คงที่
 E ลดลง ; η เพิ่มขึ้น : เมื่อ τ, n, I คงที่
 I ลดลง ; η เพิ่มขึ้น : เมื่อ τ, n, E คงที่

4.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor)



รูปที่ 4.8 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบขนานที่แรงดัน 180 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	$\tau (\text{N.m})$	$P_{in} (\text{W})$	$P_{out} (\text{W})$	$\%h$
1	180	0.3	1500	0	54	0	0
2	180	0.39	1450	0.1	70.2	15.18	21.62
3	180	0.45	1403	0.2	81	29.38	36.27
4	180	0.52	1378	0.3	93.6	43.29	46.25
5	180	0.61	1343	0.4	109.8	56.25	51.23
6	180	0.7	1317	0.5	126	68.95	54.72
7	180	0.79	1295	0.6	142.2	81.37	57.22
8	180	0.9	1257	0.7	162	92.14	56.87
9	180	0.97	1247	0.8	174.6	104.47	59.83
10	180	1.08	1228	0.9	194.6	115.73	59.53
11	180	1.15	1207	1	207	126.4	61.06

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์มเจอร์ แบบขนานที่แรงดัน 180 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	$\tau (\text{N.m})$	$P_{in} (\text{W})$	$P_{out} (\text{W})$	$\%h$
1	180	0.3	1500	0	54	0	0
2	180	0.35	1480	0.06	63	9.3	14.76
3	180	0.4	1460	0.12	72	18.35	25.48
4	180	0.44	1440	0.17	79.2	25.63	32.36
5	180	0.49	1420	0.21	88.2	31.23	35.41
6	180	0.52	1400	0.27	93.6	39.58	42.28
7	180	0.59	1380	0.34	106.2	49.13	46.26
8	180	0.64	1360	0.4	115.2	56.97	49.45
9	180	0.71	1340	0.5	127.8	70.16	54.9
10	180	0.82	1320	0.61	147.6	84.32	57.13
11	180	0.91	1300	0.73	163.8	99.38	60.67

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบขนานที่แรงดัน 220 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	$\tau \text{ (N.m)}$	$P_{in} \text{ (W)}$	$P_{out} \text{ (W)}$	$\%h$
1	220	0.3	1500	0	66	0	0
2	220	0.35	1478	0.1	77	15.48	20.1
3	220	0.41	1452	0.2	90.2	30.41	33.71
4	220	0.5	1435	0.3	110	45.08	40.98
5	220	0.58	1416	0.4	127.6	59.51	46.48
6	220	0.64	1398	0.5	140.8	73.2	51.99
7	220	0.7	1384	0.6	154	86.96	56.47
8	220	0.79	1364	0.7	173.8	99.99	57.53
9	220	0.83	1346	0.8	182.6	112.76	61.75
10	220	0.91	1333	0.9	200.2	125.63	62.75
11	220	1.01	1319	1	222.2	138.13	62.16

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์มเจอร์ แบบขนานที่แรงดัน 220 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	$\tau \text{ (N.m)}$	$P_{in} \text{ (W)}$	$P_{out} \text{ (W)}$	$\%h$
1	220	0.32	1500	0	70.4	0	0
2	220	0.41	1480	0.14	90.2	21.7	24.06
3	220	0.48	1460	0.22	105.6	33.64	31.86
4	220	0.54	1440	0.32	118.8	48.25	40.61
5	220	0.6	1420	0.38	132	56.51	42.81
6	220	0.64	1400	0.46	140.8	67.44	47.9
7	220	0.72	1380	0.6	158.4	86.71	54.74
8	220	0.81	1360	0.7	178.2	99.69	55.94
9	220	0.92	1340	0.82	202.4	115.06	56.85
10	220	1.02	1320	1	224.4	138.23	61.6
11	220	1.12	1300	1.11	246.4	151.11	61.33

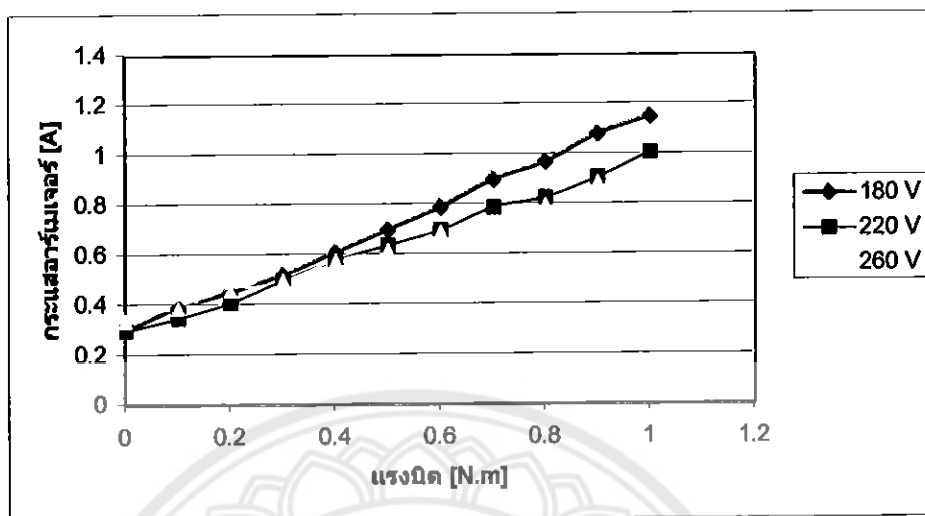
ตารางที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบขนานที่แรงดัน 260 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	$\tau (\text{N.m})$	$P_m (\text{W})$	$P_{out} (\text{W})$	$\%h$
1	260	0.34	1500	0	88.4	0	0
2	260	0.39	1475	0.1	101.4	15.45	15.24
3	260	0.46	1470	0.2	119.6	30.79	25.74
4	260	0.5	1457	0.3	130	45.77	35.21
5	260	0.58	1446	0.4	150.8	60.57	40.12
6	260	0.62	1436	0.5	161.2	75.19	46.64
7	260	0.69	1429	0.6	179.4	89.79	50.05
8	260	0.72	1424	0.7	187.2	104.38	55.76
9	260	0.8	1404	0.8	208	117.62	56.55
10	260	0.89	1388	0.9	231.4	130.82	56.53
11	260	0.93	1384	1	241.8	144.93	59.99

ตารางที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบขนานที่แรงดัน 260 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	$\tau (\text{N.m})$	$P_m (\text{W})$	$P_{out} (\text{W})$	$\%h$
1	260	0.35	1500	0	91	0	0
2	260	0.49	1480	0.24	127.4	37.19	29.19
3	260	0.59	1460	0.4	153.4	61.15	39.86
4	260	0.68	1440	0.55	176.8	82.94	46.91
5	260	0.79	1420	0.73	205.4	108.55	52.85
6	260	0.91	1400	0.92	236.6	134.88	57.01
7	260	1.08	1380	1.12	280.8	161.85	57.64
8	260	1.23	1360	1.38	319.8	196.54	61.46
9	260	1.39	1340	1.56	361.4	218.9	60.57
10	260	1.52	1320	1.71	395.2	236.37	59.81
11	260	1.65	1300	1.83	429	249.13	58.07

a) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์

จากสมการที่ 2.29

$$\tau = K\phi I$$

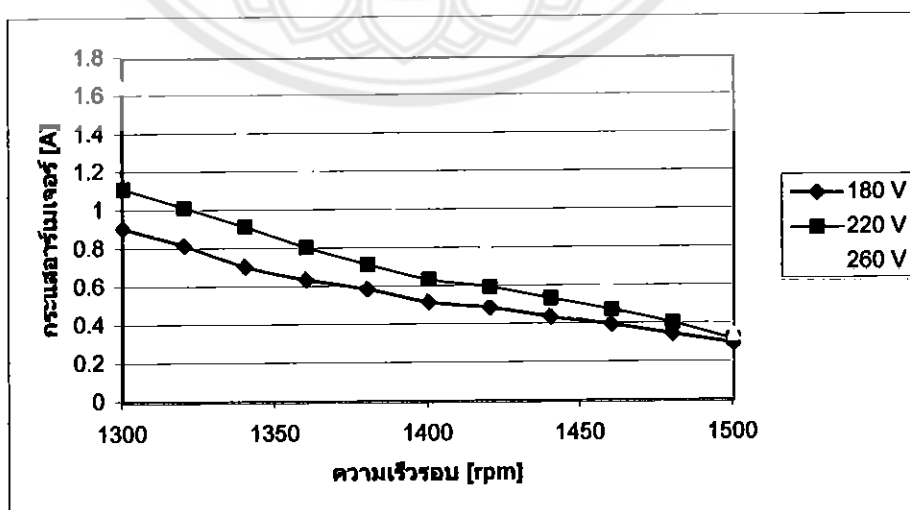
จะได้ว่า $\tau \propto \phi$ และ $\tau \propto I$

ดังนั้น $\tau \propto I$

I เพิ่มขึ้น ; τ เพิ่มขึ้น

I ลดลง ; τ ลดลง

b) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์

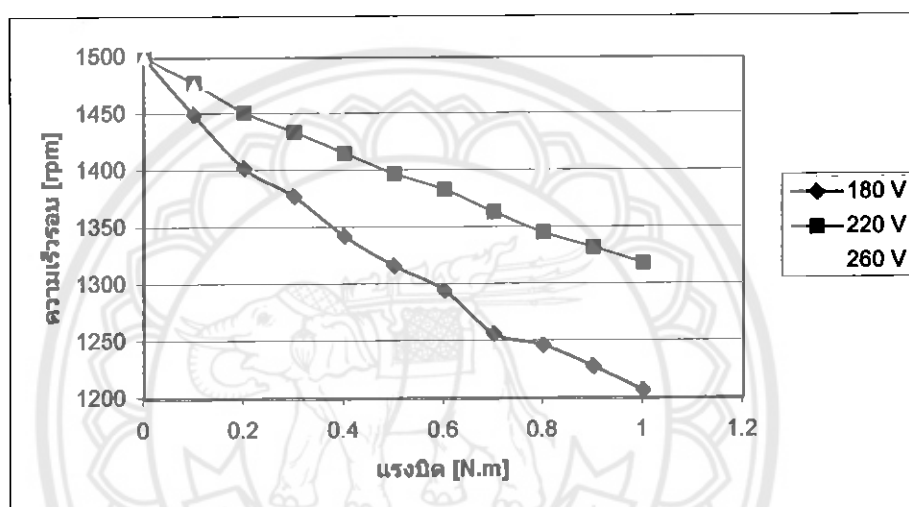
จากสมการที่ 2.29 และ 2.48 $n = \frac{E}{K \times \phi}$; $\phi = I$

$$\text{จะได้ว่า } n \propto \frac{1}{\phi} \Rightarrow n \propto \frac{1}{I}$$

I เพิ่มขึ้น ; n ลดลง

I ลดลง ; n เพิ่มขึ้น

c) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด

จากสมการที่ 2.48

$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

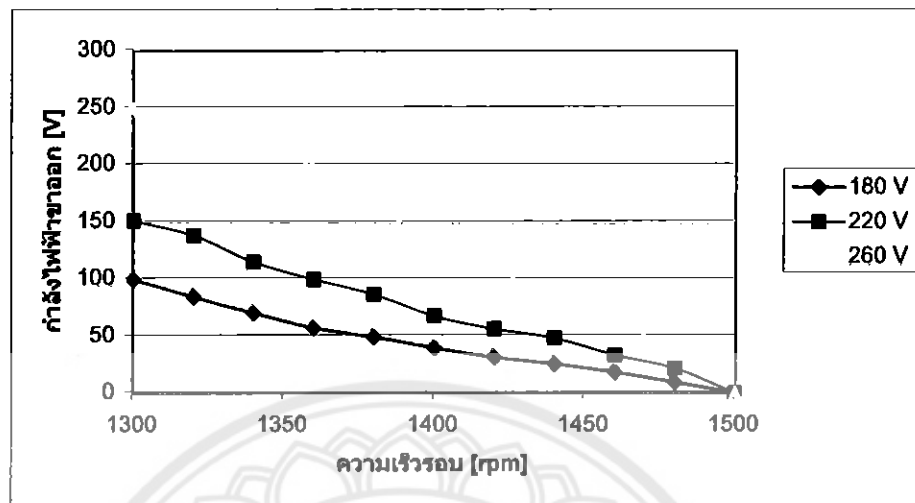
$$n = \frac{30 \times P_{out}}{\pi \times \tau} ; \text{ให้ } P_{out} = \text{ค่าคงที่}$$

$$\text{จะได้ว่า } n \propto \frac{1}{\tau}$$

τ เพิ่มขึ้น ; n ลดลง

τ ลดลง ; n เพิ่มขึ้น

d) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าขาออก



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าขาออก

จากสมการที่ 2.48

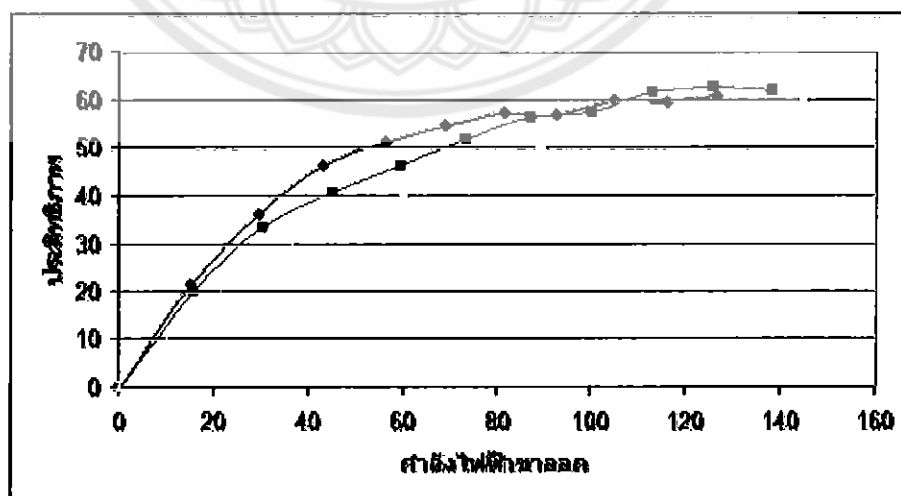
$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

$$n \propto \frac{1}{\tau}$$

จะได้ว่า τ เพิ่มขึ้น ; n ลดลง ; P_{out} เพิ่มขึ้น

τ ลดลง ; n เพิ่มขึ้น ; P_{out} ลดลง

e) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V

จากสมการที่ 2.47, 2.48 และ 2.49

$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

$$P_{in} = E \times I$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \Rightarrow \eta = \frac{\pi \times n \times \tau}{30 \times E \times I}$$

$$\text{ดังนั้น } \eta \propto n \times \tau \text{ และ } \eta \propto \frac{1}{E \times I}$$

ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับ 4 ตัวแปร ต่อไปนี้

5) ความเร็ว : n

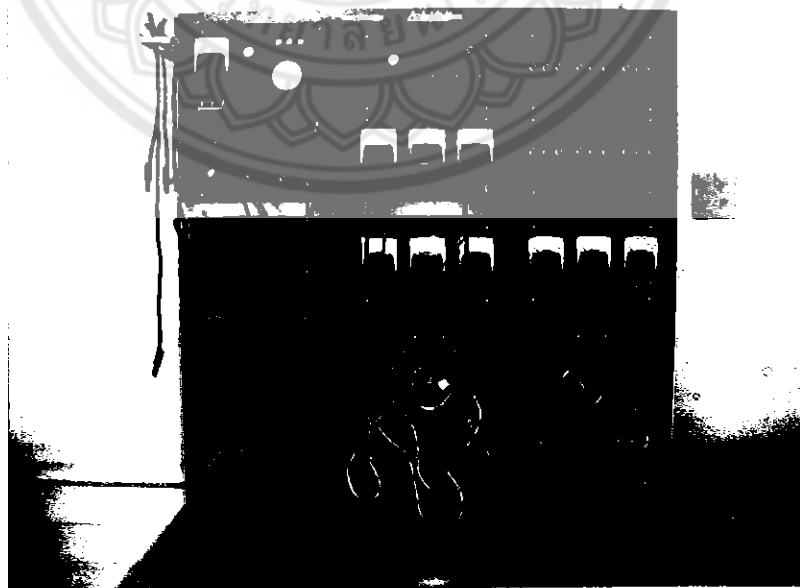
6) แรงบิด : τ

7) กระแส : I

8) แรงดัน : E

n เพิ่มขึ้น ; η เพิ่มขึ้น : เมื่อ τ, E, I คงที่
 τ เพิ่มขึ้น ; η เพิ่มขึ้น : เมื่อ n, E, I คงที่
 E ลดลง ; η เพิ่มขึ้น : เมื่อ τ, n, I คงที่
 I ลดลง ; η เพิ่มขึ้น : เมื่อ τ, n, E คงที่

4.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Motor)



รูปที่ 4.14 การต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม

ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบผสมที่แรงดัน 180 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	$\%h$
1	180	0.25	1480	0	45	0	0
2	180	0.31	1370	0.1	55.8	14.34	25.7
3	180	0.39	1292	0.2	70.2	27.06	38.55
4	180	0.45	1210	0.3	81	38.01	46.92
5	180	0.51	1180	0.4	91.8	49.43	53.84
6	180	0.58	1115	0.5	104.4	58.38	55.92
7	180	0.63	1085	0.6	113.4	68.17	60.11
8	180	0.7	1047	0.7	126	76.75	60.91
9	180	0.75	1008	0.8	135	84.44	62.55
10	180	0.8	984	0.9	144	92.74	64.4
11	180	0.87	947	1	156.6	99.17	63.33

ตารางที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์มเจอร์ แบบผสมที่แรงดัน 180 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	$\%h$
1	180	0.26	1500	0	46.8	0	0
2	180	0.28	1450	0.03	50.4	4.55	9.03
3	180	0.3	1400	0.07	54	10.26	19
4	180	0.32	1350	0.12	57.6	16.96	29.44
5	180	0.38	1300	0.18	68.4	24.5	35.82
6	180	0.41	1250	0.24	73.8	31.42	42.57
7	180	0.49	1200	0.33	88.2	41.47	47.02
8	180	0.53	1150	0.43	95.4	51.78	54.27
9	180	0.6	1100	0.53	108	61.05	56.52
10	180	0.66	1050	0.64	118.8	70.37	59.23
11	180	0.74	1000	0.75	133.2	78.54	58.96

ตารางที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบผสมที่แรงดัน 220 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	$\%h$
1	220	0.3	1500	0	66	0	0
2	220	0.35	1418	0.1	77	14.85	19.28
3	220	0.4	1386	0.2	88	29.03	32.99
4	220	0.47	1330	0.3	103.4	41.78	40.41
5	220	0.51	1290	0.4	112.2	54.04	48.16
6	220	0.58	1252	0.5	127.6	65.55	51.37
7	220	0.62	1226	0.6	136.4	77.03	56.47
8	220	0.69	1187	0.7	151.8	87.01	57.32
9	220	0.72	1174	0.8	158.4	98.35	62.09
10	220	0.79	1136	0.9	173.8	107.06	61.6
11	220	0.83	1119	1	182.6	117.18	64.17

ตารางที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ แบบผสมที่แรงดัน 220 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	$\%h$
1	220	0.3	1500	0	66	0	0
2	220	0.32	1450	0.08	70.4	12.15	17.26
3	220	0.38	1400	0.16	83.6	23.46	28.06
4	220	0.44	1350	0.27	96.8	38.17	39.43
5	220	0.5	1300	0.37	110	50.37	45.79
6	220	0.59	1250	0.5	129.8	65.45	50.42
7	220	0.66	1200	0.64	145.2	80.42	55.38
8	220	0.77	1150	0.82	169.4	98.75	58.29
9	220	0.89	1100	1.04	195.8	119.8	61.18
10	220	0.99	1050	1.2	217.8	131.95	60.58
11	220	1.12	1000	1.55	246.4	162.32	65.87

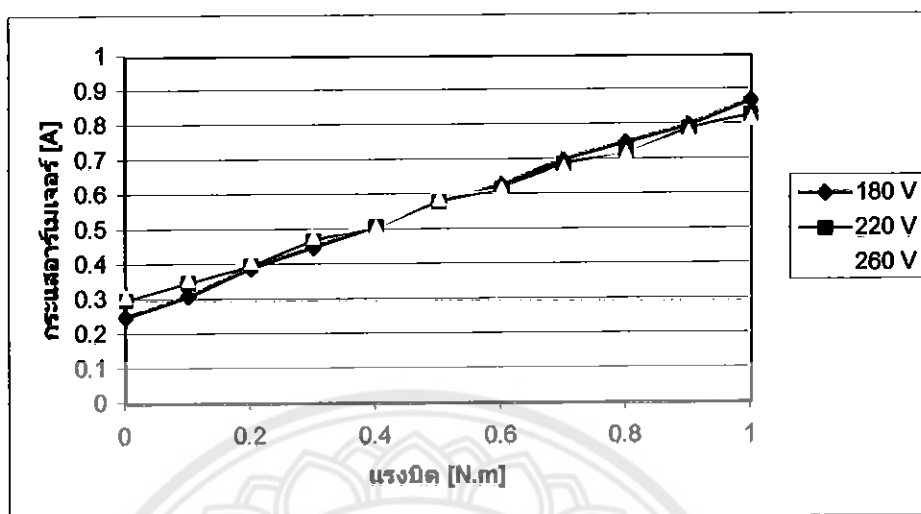
ตารางที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มเจอร์, ความเร็ว, แรงบิด แบบผสมที่แรงดัน 260 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_m (W)	P_{om} (W)	% h
1	260	0.31	1500	0	80.6	0	0
2	260	0.36	1468	0.1	93.6	15.37	16.42
3	260	0.41	1422	0.2	106.6	29.78	28.08
4	260	0.48	1396	0.3	124.8	43.86	35.14
5	260	0.51	1365	0.4	132.6	57.18	43.12
6	260	0.59	1327	0.5	153.4	69.48	45.29
7	260	0.62	1316	0.6	161.2	82.69	51.3
8	260	0.68	1299	0.7	176.8	95.22	53.86
9	260	0.72	1266	0.8	187.2	106.06	56.65
10	260	0.78	1258	0.9	202.8	118.56	58.46
11	260	0.82	1231	1	213.2	128.91	60.46

ตารางที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์มเจอร์ แบบผสมที่แรงดัน 260 V

ปรับโหลด ครั้งที่	ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าที่ได้จากการคำนวณ		
	E	I	$n(\text{rpm})$	τ (N.m)	P_m (W)	P_{om} (W)	% h
1	260	0.35	1500	0	91	0	0
2	260	0.41	1450	0.15	106.6	22.77	21.36
3	260	0.49	1400	0.27	127.4	39.58	31.07
4	260	0.58	1350	0.45	150.8	63.62	42.19
5	260	0.65	1300	0.6	169	81.68	48.33
6	260	0.77	1250	0.82	200.2	107.34	53.62
7	260	0.91	1200	1.1	236.6	138.23	58.42
8	260	1.03	1150	1.39	267.8	167.39	62.51
9	260	1.21	1100	1.75	314.6	201.58	64.07
10	260	1.39	1050	2.12	361.4	233.11	64.5
11	260	1.52	1000	2.5	395.2	261.8	66.24

ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสอาร์เมเจอร์

จากสมการที่ 2.29

$$\tau = K\phi I$$

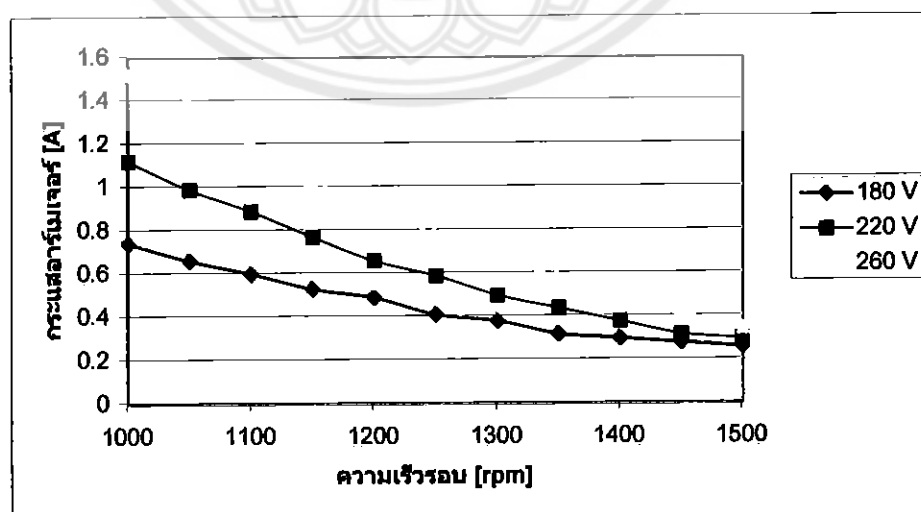
จะได้ว่า $\tau \propto \phi$ และ $\tau \propto I$

ดังนั้น $\tau \propto I$

I เพิ่มขึ้น ; τ เพิ่มขึ้น

I ลดลง ; τ ลดลง

ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์

จากสมการที่ 2.29 และ 2.48

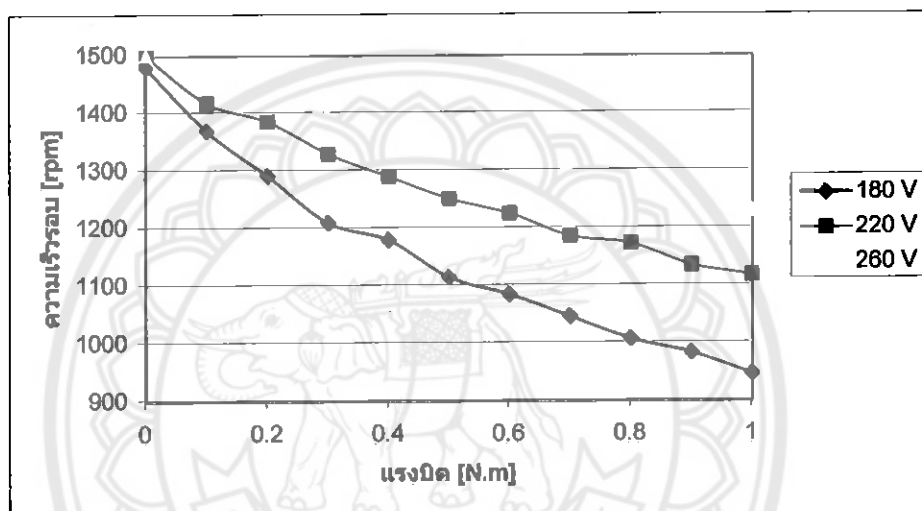
$$n = \frac{E}{K \times \phi} \quad ; \phi = I$$

$$\text{จะได้ว่า } n \propto \frac{1}{\phi} \Rightarrow n \propto \frac{1}{I}$$

I เพิ่มขึ้น ; n ลดลง

I ลดลง ; n เพิ่มขึ้น

๑) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด

จากสมการที่ 2.48

$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

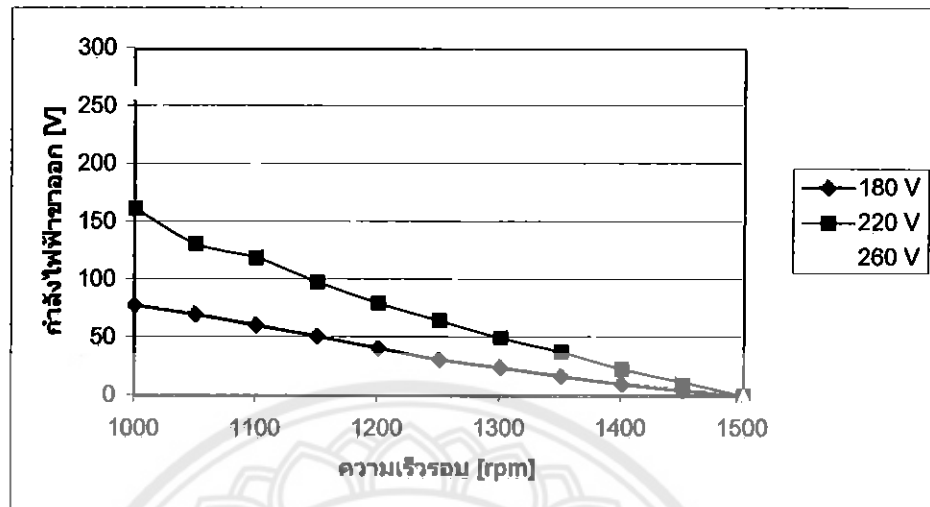
$$n = \frac{30 \times P_{out}}{\pi \times \tau} \quad ; \text{ให้ } P_{out} = \text{ค่าคงที่}$$

$$\text{จะได้ว่า } n \propto \frac{1}{\tau}$$

τ เพิ่มขึ้น ; n ลดลง

τ ลดลง ; n เพิ่มขึ้น

d) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าออก



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าออก

จากสมการที่ 2.48

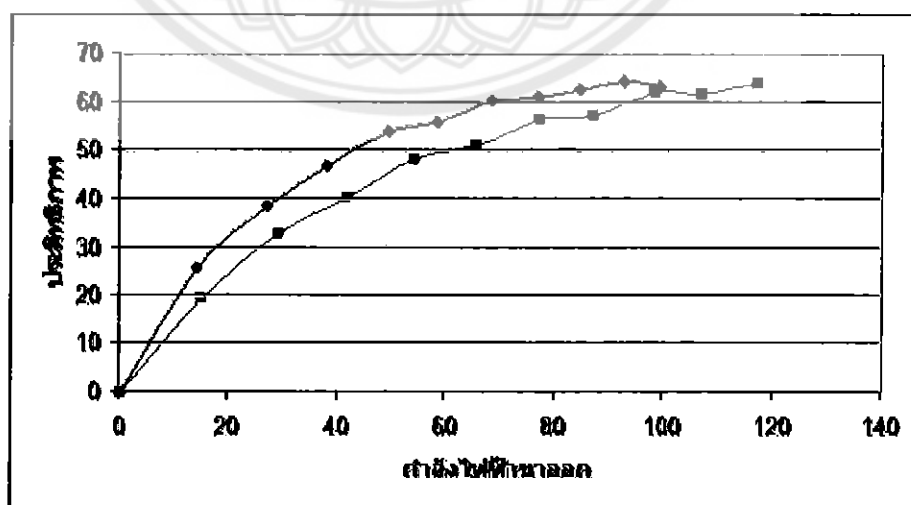
$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

$$n \propto \frac{1}{\tau}$$

จะได้ว่า τ เพิ่มขึ้น ; n ลดลง ; P_{out} เพิ่มขึ้น

τ ลดลง ; n เพิ่มขึ้น ; P_{out} ลดลง

b) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าขาออก 180, 220, 260 V

จากสมการที่ 2.47, 2.48 และ 2.49

$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times \tau}{60} = \frac{\pi \times n \times \tau}{30}$$

$$P_{in} = E \times I$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \Rightarrow \eta = \frac{\pi \times n \times \tau}{30 \times E \times I}$$

$$\text{ดังนั้น } \eta \propto n \times \tau \text{ และ } \eta \propto \frac{1}{E \times I}$$

ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับ 4 ตัวแปร ต่อไปนี้

9) ความเร็ว: n

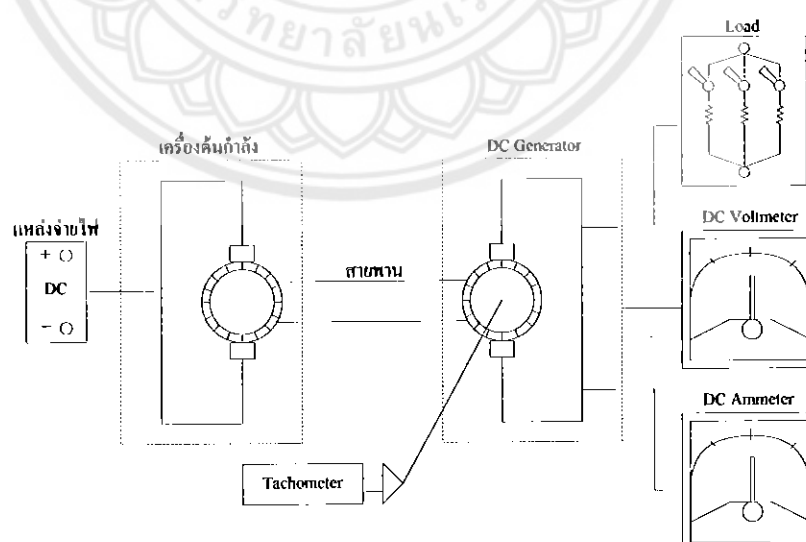
10) แรงบิด: τ

11) กระแส: I

12) แรงดัน: E

n เพิ่มขึ้น ; η เพิ่มขึ้น: เมื่อ τ, E, I คงที่
 τ เพิ่มขึ้น ; η เพิ่มขึ้น: เมื่อ n, E, I คงที่
 E ลดลง ; η เพิ่มขึ้น: เมื่อ τ, n, I คงที่
 I ลดลง ; η เพิ่มขึ้น: เมื่อ τ, n, E คงที่

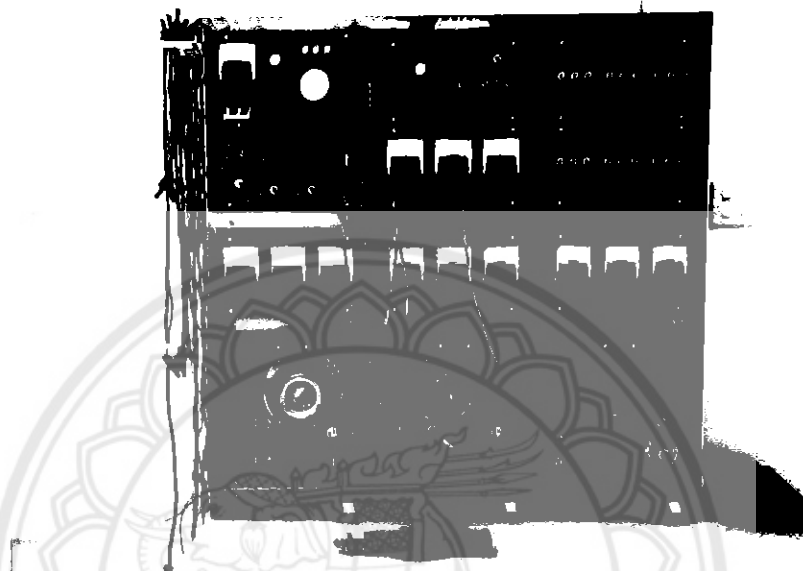
4.2 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)



รูปที่ 4.20 ไลอะแกรมการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Generator)

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)

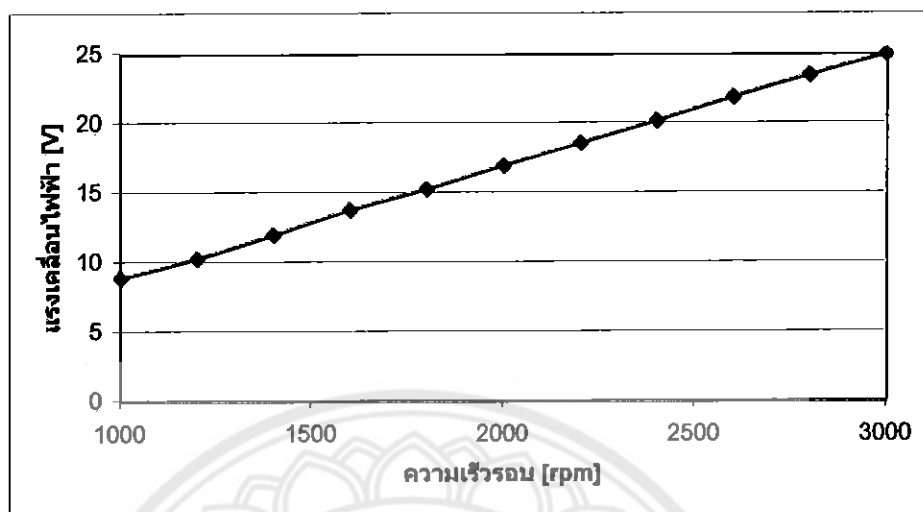


รูปที่ 4.21 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม ขณะไม่จ่ายโหลด

ตารางที่ 4.21 ตารางแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อความเร็วรอบ (ที่ความเร็วรอบระดับต่างๆ)

ลำดับ	n [rpm]	E [V]
1	3000	25
2	2800	23.5
3	2600	21.9
4	2400	20.2
5	2200	18.6
6	2000	17
7	1800	15.3
8	1600	13.8
9	1400	12
10	1200	10.3
11	1000	8.9

1.1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า



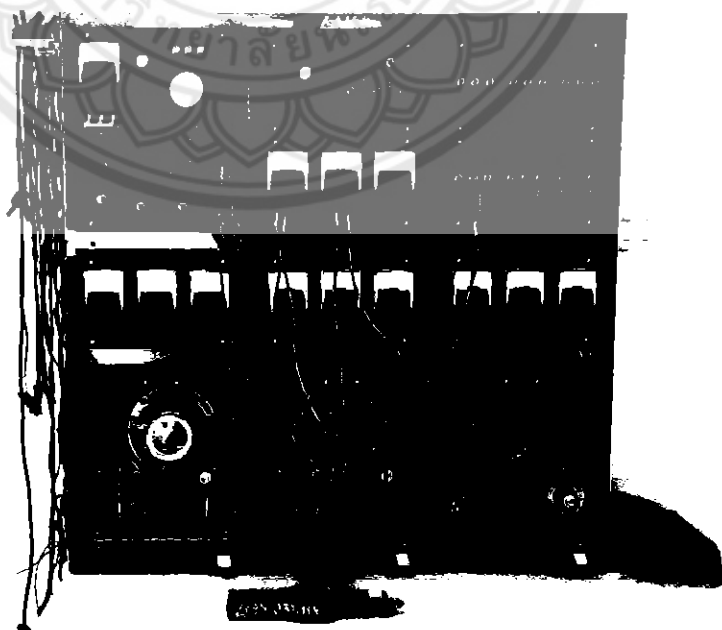
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

จาก $V \propto n$

จะได้ n เพิ่มขึ้น ; V เพิ่มขึ้น

n ลดลง ; V ลดลง

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)



รูปที่ 4.23 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม ขณะจ่ายโหลด

ตารางที่ 4.22 แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อความเร็วรอบ (ที่โหลดระดับต่างๆ)

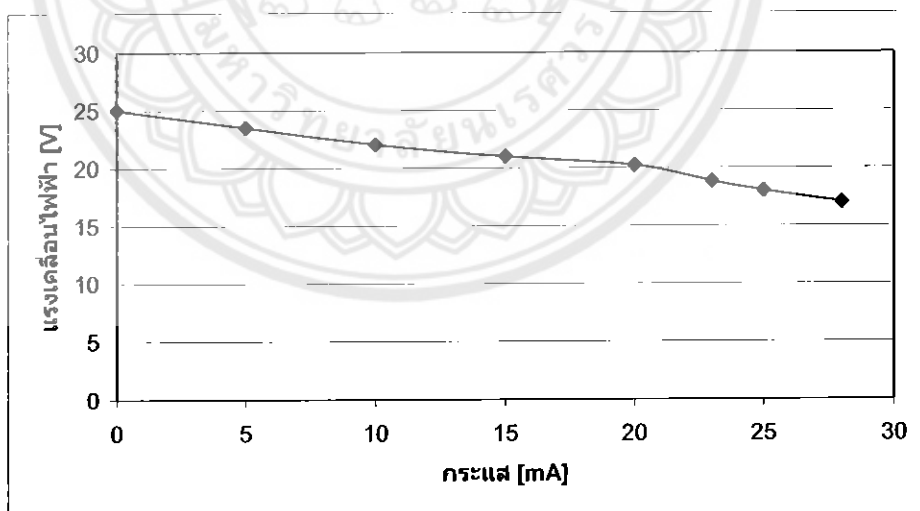
ระดับโหลด	I [mA]	E [V]	n [rpm]
1	0	25	2965
2	5	23.5	2960
3	10	22	2958
4	15	21	2955
5	20	20.2	2952
6	23	18.8	2948
7	25	18	2943
8	28	17	2938

จาก $P = V \times I \Rightarrow V = \frac{P}{I}$ จะได้ว่า $V \propto \frac{1}{I}$

ดังนั้น เมื่อ I เพิ่มขึ้น ; V ลดลง

และ เมื่อ I ลดลง ; V เพิ่มขึ้น

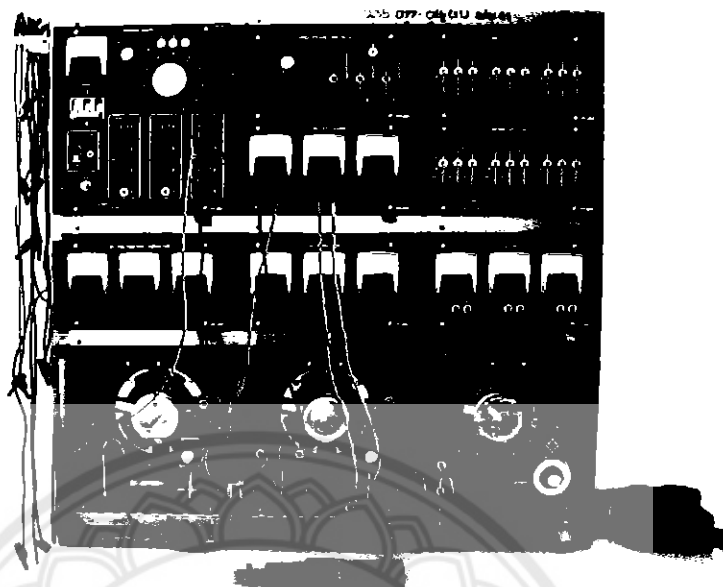
2.1) กราฟความสัมพันธ์กระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่ระดับโหลดต่างๆ)



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์กระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่ระดับโหลดต่างๆ)

4.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Generator)

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load หรือ Open Circuit)

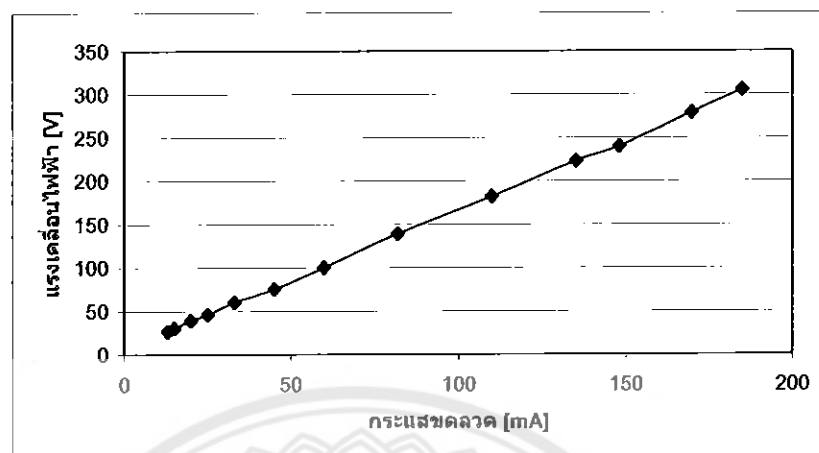


รูปที่ 4.25 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลด

ตารางที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับความเร็วมอเตอร์และกระแสโหลด

ลำดับ	n [rpm]	E [V]	I_f [mA]
1	2200	305	185
2	2100	279	170
3	2000	249	148
4	1900	223	135
5	1800	182	110
6	1700	139	82
7	1600	100	60
8	1500	75	45
9	1400	60	33
10	1300	46	25
11	1200	39	20
12	1100	30	15
13	1000	26	13

1.1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่ความเร็วรอบระดับต่างๆ)



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่ความเร็วรอบระดับต่างๆ)

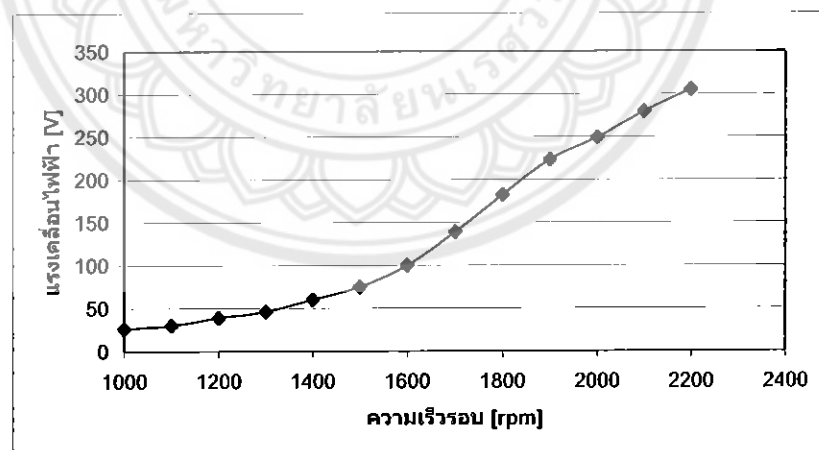
จาก $V = I \times R$

จะได้ว่า $V \propto I$

I เพิ่มขึ้น ; V เพิ่มขึ้น

I ลดลง ; V ลดลง

1.2) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

จาก $V \propto n$

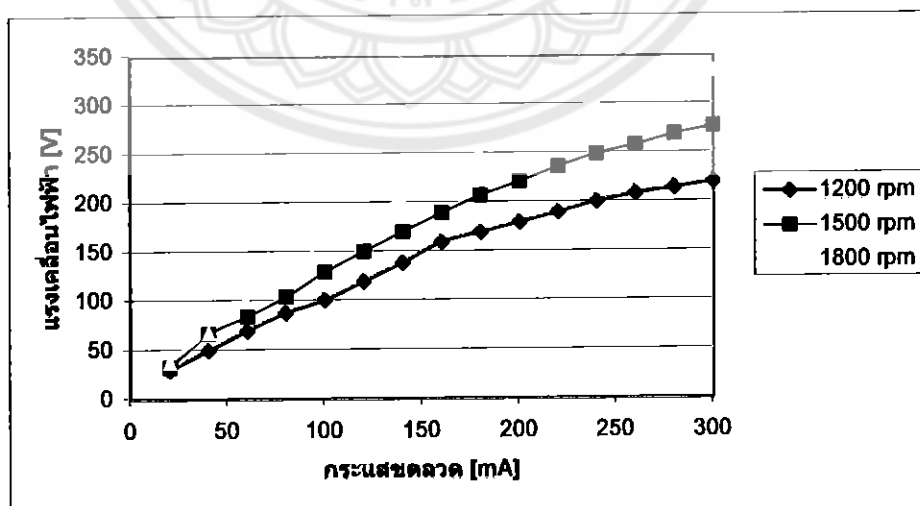
จะได้ n เพิ่มขึ้น ; V เพิ่มขึ้น

n ลดลง ; V ลดลง

ตารางที่ 4.24 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่ความเร็วรอบระดับต่างๆ)

ลำดับ	I_f (mA)	n = 1200 [rpm]	n = 1500 [rpm]	n = 1800 [rpm]
		E [V]	E [V]	E [V]
1	20	30	33	38
2	40	50	67	68
3	60	70	85	100
4	80	88	105	130
5	100	101	130	158
6	120	120	151	185
7	140	139	171	203
8	160	160	190	229
9	180	170	208	250
10	200	180	222	271
11	220	190	237	290
12	240	201	250	302
13	260	209	259	311
14	280	215	270	324
15	300	221	278	335

1.3) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่ความเร็วรอบระดับต่างๆ)



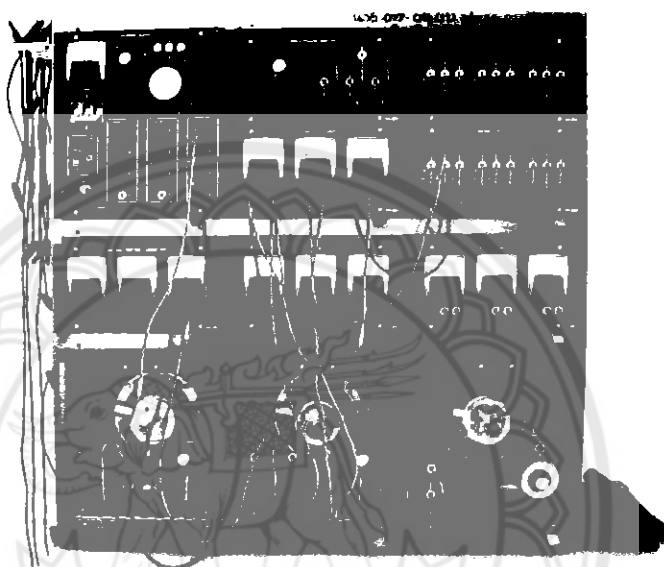
รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่ความเร็วรอบระดับต่างๆ)

จาก $V \propto n$ และ $V \propto I$

จะได้ว่า I เพิ่มขึ้น ; V เพิ่มขึ้น

I ลดลง ; V ลดลง

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานจ่ายโหลด Load Test

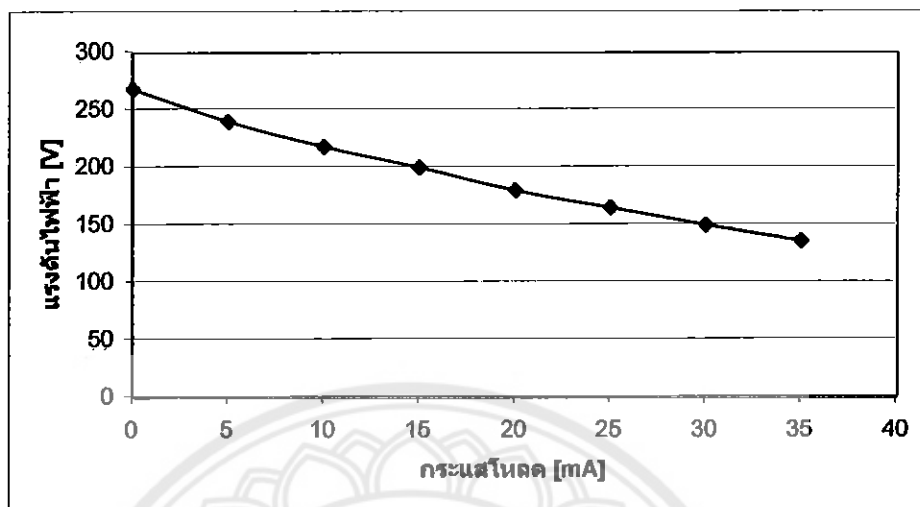


รูปที่ 4.29 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน ขณะจ่ายโหลด

ตารางที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส

ระดับ โหลด	I_A [mA]	E [V]	I_f [mA]	I_L [mA]
1	165	268	162	0
2	202	240	146	5
3	234	218	132	10
4	260	200	120	15
5	280	180	110	20
6	290	165	100	25
7	300	150	92	30
8	305	136	82	35

1.1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสหลอด



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสหลอด

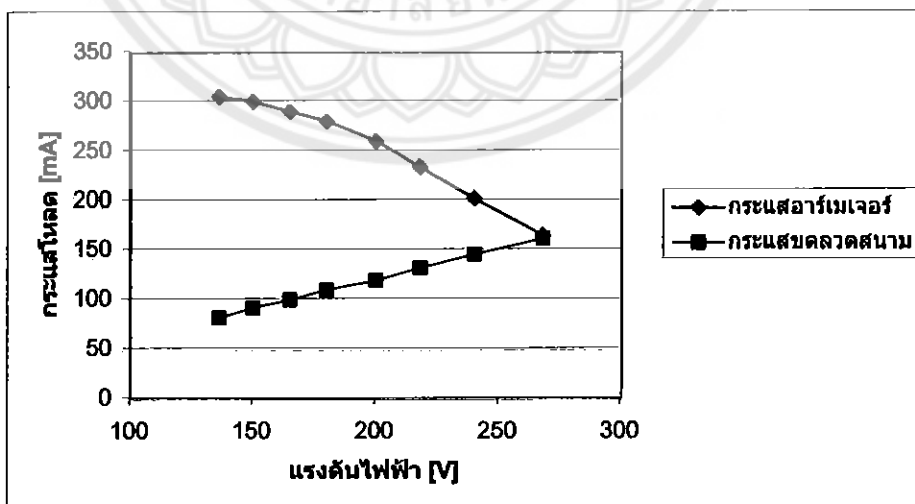
$$\text{จาก } P = V_L \times I_L \Rightarrow V_L = \frac{P}{I_L}$$

$$\text{จะได้ว่า } V_L \propto \frac{1}{I_L}$$

I_L เพิ่มขึ้น ; V_L ลดลง

I_L ลดลง ; V_L เพิ่มขึ้น

1.2) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า (ที่หลอดระดับต่างๆ)

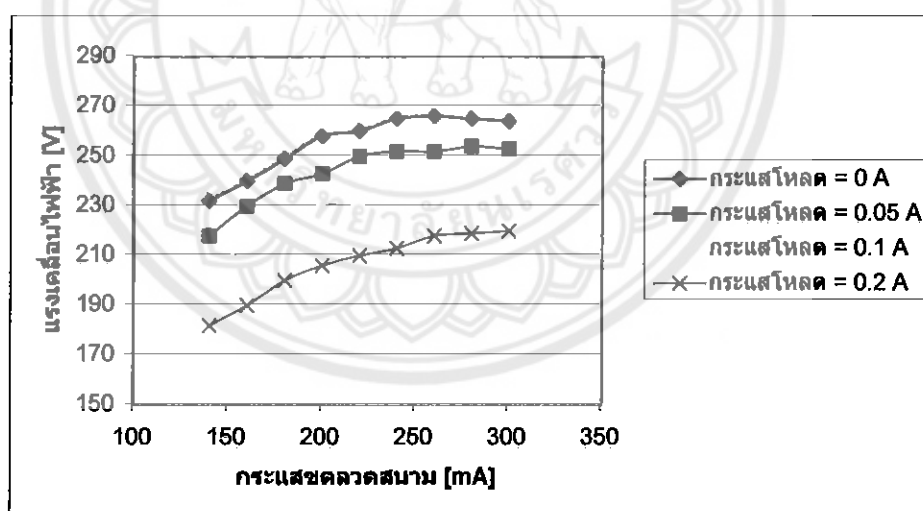


รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า (ที่หลอดระดับต่างๆ)

ตารางที่ 4.26 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสหลอดที่โหลดต่างๆ

ลำดับ	I_f [mA]	$I_L = 0$ [A]	$I_L = 0.05$ [A]	$I_L = 0.1$ [A]	$I_L = 0.2$ [A]
		E [V]	E [V]	E [V]	E [V]
1	300	264	253	240	220
2	280	265	254	240	219
3	260	266	252	240	218
4	240	265	252	236	213
5	220	260	250	232	210
6	200	258	243	230	206
7	180	249	239	222	200
8	160	240	230	214	190
9	140	232	218	202	182

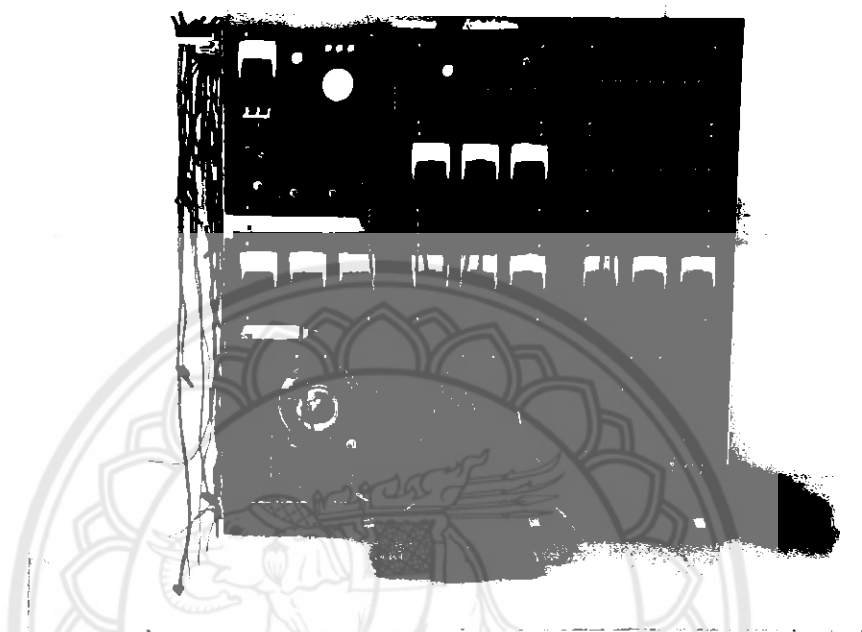
1.3) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่กระแสหลอดระดับต่างๆ)



รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่กระแสหลอดระดับต่างๆ)

4.2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Generator)

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม ขณะไม่จ่ายโหลด (No-Load) หรือ Open Circuit

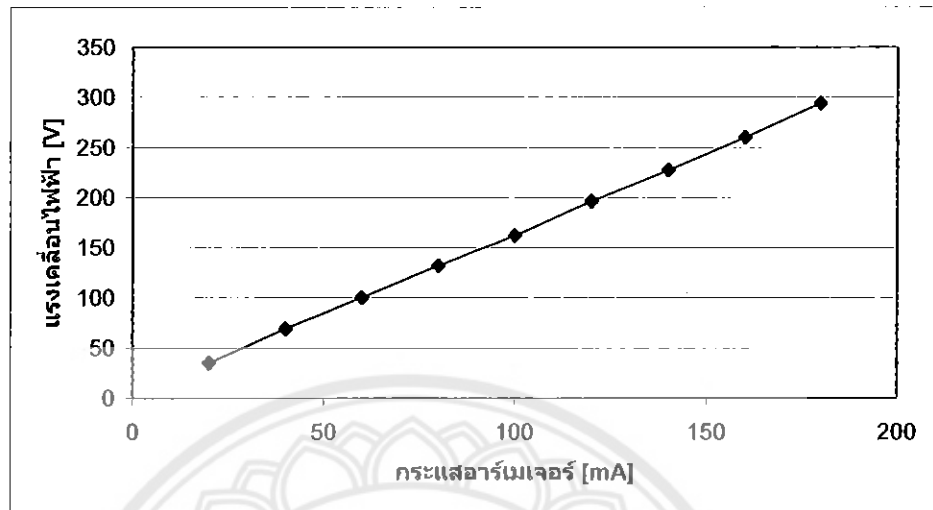


รูปที่ 4.33 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะไม่จ่ายโหลด

ตารางที่ 4.27 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความเร็วรอบ

ลำดับ	I_a [mA]	E [V]	n [rpm]
1	20	35	1653
2	40	69	1815
3	60	100	2139
4	80	132	2275
5	100	162	2294
6	120	196	2324
7	140	227	2366
8	160	260	2420
9	180	294	2478

1.1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

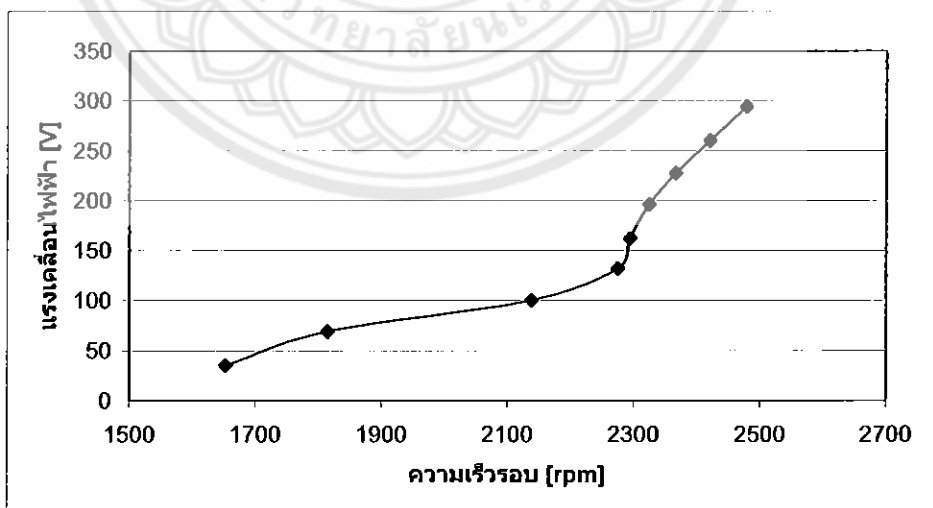
$$\text{จาก } V = I \times R$$

$$\text{จะได้ว่า } V \propto I_A$$

I_A เพิ่มขึ้น ; V เพิ่มขึ้น

I_A ลดลง ; V ลดลง

1.2) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม ขณะจ่ายโหลด (Load Test)

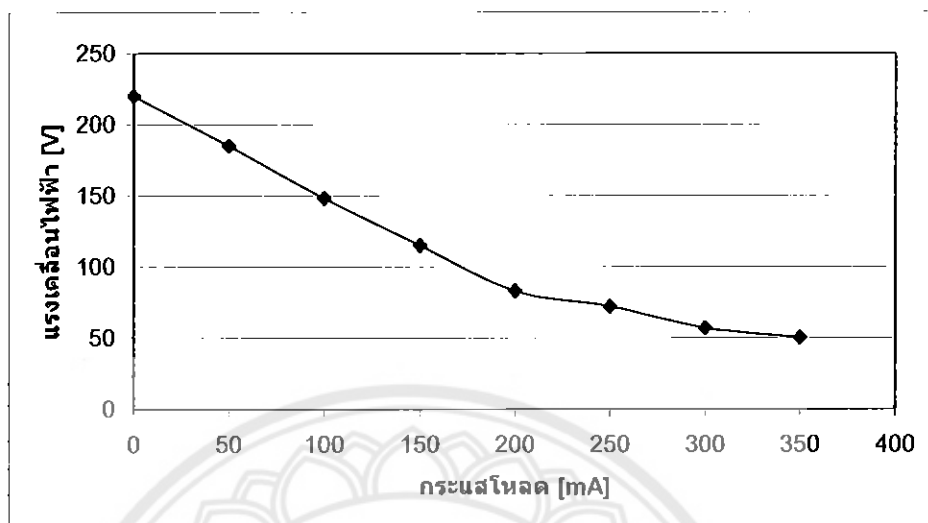


รูปที่ 4.36 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม ขณะจ่ายโหลด

ตารางที่ 4.28 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแส

ระดับโหลด	E [V]	I_A [mA]	I_f [mA]	I_L [mA]
1	220	134	139	0
2	185	155	116	50
3	148	153	141	100
4	115	147	62	150
5	83	126	52	200
6	72	125	48	250
7	57	108	35	300
8	50	105	32	350

1.1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสไหล

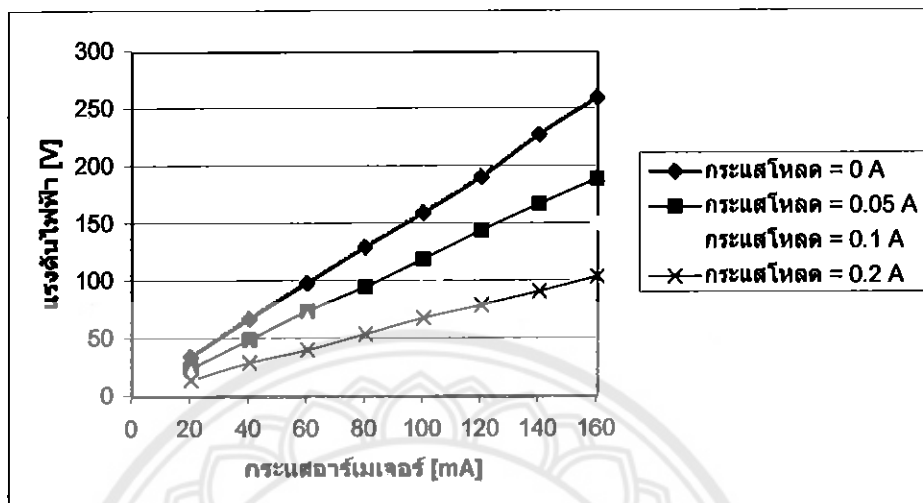


รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสไหล

ตารางที่ 4.29 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสอาร์มเจอร์ที่กระแสไหลคงที่

ลำดับ	I_A [mA]	$I_L = 0$ [A]		$I_L = 0.05$ [A]		$I_L = 0.1$ [A]		$I_L = 0.2$ [A]	
		E [V]	n [rpm]	E [V]	n [rpm]	E [V]	n [rpm]	E [V]	n [rpm]
1	160	260	2386	190	2575	151	2541	105	3043
2	140	228	2245	168	2433	131	2382	92	2755
3	120	191	2128	145	2312	112	2292	80	2512
4	100	160	2042	120	2269	95	2163	69	2337
5	80	130	1995	96	2073	78	2027	55	2080
6	60	99	1849	75	1877	68	1799	41	1771
7	40	68	1703	50	1634	40	1545	30	1351
8	20	35	1281	25	1092	21	1058	15	870

1.2) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่กระแสโหลดต่างๆ)



รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ที่กระแสโหลดต่างๆ)

จาก $V = I \times R$

จะได้ว่า $V \propto I_A$

I_A เพิ่มขึ้น ; V เพิ่มขึ้น

I_A ลดลง ; V ลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ทำการกำหนดแหล่งจ่ายแรงดันให้มีแรงดันจ่ายเข้ามอเตอร์ที่ 180, 220 และ 260 โวลต์ และทำการทดลองต่อแบบอนุกรม, ขนานและผสม (Cumulative)

ในการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ทำการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม, ขนานและผสม (Cumulative) และขณะจ่ายโหลดและไม่จ่ายโหลด

5.1 สรุปผลการทดลอง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมที่ขับเคลื่อนด้วยแรงดันคงที่ที่ 180, 220 และ 260 โวลต์ เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง กระแสอาร์เมเจอร์และเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงมีผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า “ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด (Variable-Speed Machine)” และพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ โหลดเพียงเล็กน้อยจะมีผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ดังนี้

- โหลดเพิ่มขึ้น → แรงบิดเพิ่มขึ้น → ความเร็วรอบลดลง
- โหลดลดลง → แรงบิดลดลง → ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานที่ขับเคลื่อนด้วยแรงดันคงที่ที่ 180, 220 และ 260 โวลต์ เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า “มอเตอร์ขนานเป็นมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ (Constant-Speed Machine)” และพบว่าการเปลี่ยนแปลงของโหลดจะไม่มีผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงมาก การปรับความเร็วของมอเตอร์ขนานสามารถปรับได้ 2 วิธี คือ 1) วิธีควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวดสนามแม่เหล็ก 2) วิธีควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ ดังนั้นความเร็วของมอเตอร์แปรผกผันกับกระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก แรงบิดแปรผันตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิดแปรผกผันกับความเร็วรอบ แรงบิดแปรผันตรงกับประสิทธิภาพ มอเตอร์ขนานจะเหมาะกับการใช้ความเร็วรอบคงที่

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม(Cumulative) ที่ขับเคลื่อนด้วยแรงดันคงที่ที่ 180, 220 และ 260 โวลต์ เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวดอนุกรมจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลง เมื่อเทียบกับมอเตอร์ขนานแล้ว (มอเตอร์ผสมคือมอเตอร์ที่รวมข้อดีของมอเตอร์อนุกรมและมอเตอร์ขนาน) จะลดลงอย่างรวดเร็วและมากกว่ามอเตอร์ขนาน แต่ให้แรงบิดสูงกว่ามอเตอร์ขนาน และที่แรงบิดที่เท่ากันมอเตอร์ผสมคือมอเตอร์ที่ฟองกิน

กระแสน้อยกว่ามอเตอร์ขนาน ดังนั้นมอเตอร์ผสมความเร็วที่จึงเหมาะที่จะใช้หมุนขั้วงานประเภทที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง โดยไม่คำนึงถึงความเร็วรอบ

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดต่างๆ

ชนิดของมอเตอร์	คุณสมบัติ	การประยุกต์ใช้งาน
1. มอเตอร์แบบอนุกรม	1. สามารถปรับความเร็วได้ 2. มีแรงบิดสูง	1. ใช้ในระบบจุดลาก 2. เครื่องยก เกรน 3. พัดลม
2. มอเตอร์แบบขนาน	1. มีความเร็วประมาณคงที่ 2. สามารถปรับความเร็วได้	1. เครื่องกลึง 2. บั้มแบบลูกสูบ 3. บั้มสูบน้ำแบบหนีศูนย์กลาง
3. มอเตอร์แบบผสมความเร็ว	1. สามารถปรับความเร็วได้ 2. มีแรงบิดสูง	1. ใช้ในระบบตัด ถิ่น 2. ใช้กับระบบบันไดเลื่อน 3. เครื่องอัด เครื่องปั๊ม

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขณะไม่จ่ายโหลดที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย ขณะจ่ายโหลดที่โหลดเพิ่มขึ้นหรือกระแสโหลดเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง แต่ความเร็วรอบจะเปลี่ยนแปลงไม่มาก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ขณะไม่จ่ายโหลดที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสอาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้นด้วย แต่จะมากกว่าการต่อแบบอนุกรม ขณะจ่ายโหลดที่โหลดเพิ่มขึ้นหรือกระแสโหลดเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง กระแสอาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้น และที่กระแสโหลดคงที่ต่างๆ กระแสขดลวดเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมความเร็ว ขณะไม่จ่ายโหลดความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสอาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้นด้วย ขณะจ่ายโหลดที่โหลดเพิ่มขึ้นหรือกระแสโหลดเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง กระแสอาร์เมเจอร์ลดลง และที่กระแสโหลดคงที่ต่างๆ กระแสอาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย

5.2 ปัญหาในการทำงานและแนวทางแก้ไข

5.2.1 ในขณะที่มอเตอร์แบบขนานและผสมทำให้เกิดความร้อนที่ Rheostat

- การแก้ปัญหาจึงได้ทำการแบ่งช่วงเวลาการทดลองเพื่อให้มอเตอร์ได้หยุดพักการทำงานและให้อุณหภูมิของเครื่องลดลง

5.2.2 ในการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนานถ้าปรับ Rheostat (หมุนตามเข็มนาฬิกา) มากสุดจะทำให้ฟิวส์ของมอเตอร์ตัดไฟ

- การแก้ปัญหาจึงได้กำหนดค่าในการปรับ Rheostat ไม่ให้เกินค่าที่จะทำให้ฟิวส์ตัดได้

5.3 ประเมินผล

5.3.1 จากการดำเนินงานโครงงานเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ในการทำโครงงาน ได้ผลดังนี้

5.3.2 ได้รับความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3.3 ได้รับความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

5.3.4 สามารถออกแบบวงจรการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขนานและผสมได้

5.3.5 สามารถออกแบบวงจรการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขนานและผสมได้

5.4 แนวทางการพัฒนา

5.4.1 ออกแบบให้มอเตอร์มีการทำงานได้ตรงกับลักษณะงาน

5.4.2 ออกแบบชุดควบคุมให้มอเตอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร. ปัญญา ยอดโอวาท. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ. 2546.
- [2] ศศ. ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2541.
- [3] ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2536.
- [4] <http://www.o-digital.com/wholesale-products/2179/2188-1/DC-Motor-74505.html> , สืบค้นวันที่ 15 ธ.ค. 52
- [5] <http://machinedesign.com/article/getting-torque-to-inertia-right-0323> , สืบค้นวันที่ 15 ธ.ค. 52
- [6] <http://www.calcuttayellowpages.com/adver/103632products.html> , สืบค้นวันที่ 15 ธ.ค. 52
- [7] <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/c-web/sara01.htm> , สืบค้นวันที่ 15 ธ.ค. 52
- [8] <http://www.phantippowertools.com/picture%20%20powertex/ppt-ag-100-d.html> , สืบค้นวันที่ 15 ธ.ค. 52
- [9] http://etrade.daegu.go.kr/co/kscmotor/GC00500536/CA00500583/Lamination_Motor_Core.html , สืบค้นวันที่ 15 ธ.ค.
- [10] <http://www.gasgoo.com/auto-parts-trade/image-LKRNNPP/Auto-Commutators.html> , สืบค้นวันที่ 15 ธ.ค. 52

ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายศักรินทร์ หงษ์มะลิ
 ภูมิลำเนา 189 ม.7 ต.แม่ลาหลวง อ.แม่ลาน้อย จ.แม่ฮ่องสอน
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแม่สะเรียง“บริพัตรศึกษา”
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 7

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : faro_aloha@hotmail.com



ชื่อ นายภูวรักษ์ เมืองวงศ์
 ภูมิลำเนา 179 ม.1 ต.ปากท่า อ.ปากท่า จ.อุตรดิตถ์
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนปากท่าวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : phuwat01@hotmail.com