การสะท้อนพลังงานของชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ
A REFLECTION ENERGY OF SERVO MOTOR FOR VARIOUS SPEED

พิสิษฐ์ศักดิ์ สุทธิชัย
รุ่งโรจน์ แสงจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสะท้อนพลังงานของชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ
A REFLECTION ENERGY OF SERVO MOTOR FOR VARIOUS SPEED

T143927

พิสิษฐ์ศักดิ์ สุทธิชัย
รุ่งโรจน์ แสงจันทร์

b0026808
b.12807754
วิทย.
ว576ก
2558
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143927
วัน.เดือน.ปี 04 มิ.ย. 2559

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A REFLECTION ENERGY OF SERVO MOTOR FOR VARIOUS SPEED

PISITSAK SUTTHICHAI
ROONGROJ SANGCHAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสะท้อนพลังงานของชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ A REFLECTION ENERGY OF SERVO MOTOR FOR VARIOUS SPEED
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพิสิษฐ์ศักดิ์ สุทธิชัย **รหัสนักศึกษา** 55010870 นายรุ่งโรจน์ แสงจันทร์ **รหัสนักศึกษา** 55011051
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา	2558

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
รศ.ดร.สุพรรณ กุลพาณิชย์	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสะท้อนพลังงานของชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ
A REFLECTION ENERGY OF SERVO MOTOR FOR VARIOUS SPEED
นักศึกษาผู้จัดทำ นายพิสิษฐ์ศักดิ์ สุทธิชัย **รหัสนักศึกษา** 55010870
นายรุ่งโรจน์ แสงจันทร์ **รหัสนักศึกษา** 55011051
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุพรรณ กุลพาณิชย์
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับการสะท้อนพลังงานของชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ โดยการcoupling ทางกล กับ dc motor หรือ มอเตอร์ไฟฟ้ามาทำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และมีตัวต้านทานเป็นโหลด ซึ่งจะเน้นไปที่พารามิเตอร์ความเร็ว,ค่าแรงบิดและกำลังไฟฟ้าเป็นสำคัญ โดยถือให้กำลังงานไฟฟ้าที่ชุดเซอร์โวมอเตอร์เป็นกำลังไฟฟ้าที่ขาเข้า และพิจารณากำลังงานของตัวต้านทานที่เกิดจากการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นกำลังงานไฟฟ้าขาออก ผลการทดลองทำการวัดค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวต้านทาน มาคำนวณเพื่อวิเคราะห์และสะท้อนหาค่าพลังงานย้อนกลับของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A REFLECTION ENERGY OF SERVO MOTOR FOR VARIOUS SPEED
Author	Mr. Pisitsak Sutthichai
	Mr. Roongroj Sangchan
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Supan Gulpanich
Year	2015

ABSRACT

This Project present about a reflection of energy of servo motor for various speed by using dc motor with coupling. Importantly, we focus on the parameter of speed, torque and electrical power. We determine electrical power from the servo motor as input power and electrical power from load as output power. According to experiment, measuring current and voltage can be calculated to analyze and indicate the reflection energy of servo motor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการสะท้อนพลังงานของชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ(A reflection energy of servo motor for various speed) สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอุปถัมภ์จากบุคคลหลายฝ่ายที่ให้คำปรึกษาและชี้แนวทาง ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ดร.สุพรรณ กุลพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ให้ข้อคิดในการแก้ปัญหา รวมถึงช่วยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ นอกจากนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำสาขาวิชาการวัดและควบคุมที่ให้คำปรึกษา

และสุดท้ายผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว เป็นอย่างสูงสำหรับ ความรัก กำลังใจ คำปรึกษา และการสนับสนุนด้านต่างๆ ที่มอบให้อย่างสม่ำเสมอจนเกิดเป็นแรงผลักดัน ทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ประสบความสำเร็จและผ่านลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เซอร์โวมอเตอร์	3
2.1.1 ส่วนประกอบพื้นฐาน	3
2.1.2 องค์ประกอบหลักของเซอร์โวมอเตอร์	4
2.1.3 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	6
2.1.4 Speed และ Torque Ratings	6
2.2 เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.2.2 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	9
2.2.3 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของมอเตอร์	11
2.2.4 การสูญเสียและประสิทธิภาพ	11
2.2.5 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	11
2.2.6 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.7 จุดมุ่งหมายการควบคุมมอเตอร์	12
2.2.8 ประเภทของการควบคุมมอเตอร์	13
2.2.9 การเริ่มเดินมอเตอร์	14
2.3 ทรานซิสเตอร์	14
2.4 Potentiometer	16
2.5 Couplings	17
2.5.1 หน้าที่ของ Couplings.	18
2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไฟฟ้า	18
2.6.1 Ohm's Law	18
2.6.2 กำลังไฟฟ้า	19
บทที่ 3 โครงสร้างและการออกแบบ	20
3.1 อุปกรณ์และโครงสร้าง	20
3.2 วิธีการทดลอง	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง	24
4.1 ผลการทดลองที่สภาวะไร้โหลด	24
4.2 ผลการทดลองที่สภาวะโหลด	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	29
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
5.3 อุปสรรคและปัญหา	29
บรรณานุกรม	31
ภาคผนวก	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองที่สภาวะไร้โหลด	24
4.2 ผลการทดลองที่สภาวะโหลด ณ มอเตอร์ไฟฟ้า	26
4.3 ผลการทดลองที่สภาวะโหลด ณ ตัวต้านทาน	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบพื้นฐานของเซอร์โวมอเตอร์	4
2.2	ตัวอย่าง HMI	4
2.3	Servo Drive	5
2.4	Servo motor	5
2.5	Shunt DC Motor	9
2.6	Series DC Motor	10
2.7	Compound Motor	10
2.8	Transistor	15
2.9	โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN	15
2.10	สัญลักษณ์ ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด	15
2.11	แสดงการเกิดกระแสเมื่อมีการป้องกันแรงดันที่ ขาต่าง ๆ	16
2.12	โครงสร้างของโพเทนชิโอมิเตอร์	17
2.13	การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานของเส้นลวดที่พันบนแกน	17
3.1	โครงสร้างของอุปกรณ์	20
3.2	การ detect อุปกรณ์ของโปรแกรม	21
3.3	แถบควบคุม Servo Motor	21
3.4	หน้าต่างควบคุมความเร็วของ Servo motor	22
3.5	กราฟแสดงค่า Torque demand	23
3.6	ชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับการทดลอง	23
4.1	กราฟแสดงค่าต่างๆที่สภาวะไร้โหลด	25
4.2	กราฟแสดงค่าต่างๆ ณ มอเตอร์ไฟฟ้า	26
4.3	กราฟแสดงค่าต่างๆ ณ ตัวต้านทาน	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

มอเตอร์เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในลักษณะของการหมุน มอเตอร์ไฟฟ้านี้มีหลายประเภทด้วยกันทั้งแบบ DC. และ AC. สำหรับโครงงานวิจัยนี้จะอาศัย AC. เซอร์โวมอเตอร์ก็เป็นมอเตอร์ที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการอาทิเช่น การควบคุมความเร็วสามารถกระทำได้ที่ความเร็วต่ำ 100 rpm จนถึงความเร็วสูงสุด 3000 rpm โดยที่ยังคงรักษาแรงบิดให้สม่ำเสมอได้ ถึงแม้ว่ามอเตอร์จะรับภาระหรือโหลดที่สภาวะใดๆก็ตาม ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานสามารถนำไปใช้ได้ทั้งการควบคุมตำแหน่ง (Position Control) เช่น เครื่องเจาะชนิด 3 แกนประเภทต่างๆทั้ง โลหะ และ PCB เป็นต้นการประยุกต์ใช้งานอีกลักษณะหนึ่ง คือการควบคุมเพื่อรักษาความเร็วให้คงที่(Speed Control)โดยการเพิ่งแรงบิด เช่น การป้อนโลหะแผ่นที่ม้วนอยู่ใน Roll เพื่อ แสตมป์ เพื่อขึ้นรูปหรือขึ้นลาย จำเป็นต้องอาศัยความเร็วคงที่ ถึงแม้ว่าปริมาณของวัตถุดิบที่ม้วนอยู่ใน Roll จะแตกต่างกันก็ตาม มิฉะนั้นแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้ โครงงานวิจัยนี้ จะสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของค่าความเร็ว , แรงบิด และกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์หลักที่มีความสำคัญของตัวเซอร์โวมอเตอร์ มาคำนวณเพื่อสะท้อนค่าพลังงานให้ปรากฏถึงพลังงานของเซอร์โวมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ เป็นกำลังไฟฟ้าที่ขาเข้า และพิจารณากำลังงานของตัวต้านทานที่เกิดจากการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นกำลังงานไฟฟ้าขาออก เพื่อสะท้อนพลังงานย้อนกลับของเซอร์โวมอเตอร์นั้นเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
2. ศึกษาอุปกรณ์ของ OMRON
3. ศึกษาการใช้โปรแกรม CX-ONE

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในโครงงาน
2. สามารถใช้โปรแกรม CX-ONE ทำการควบคุม Servo motor ได้
3. หาความสัมพันธ์ระหว่าง Speed, Torque, Electrical Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาค้นคว้าหลักการทำงานของ Servo motor และ DC generator
2. ศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม CX-ONE
3. ศึกษาวิธีการ Simulation ของ Servo motor
4. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Servo motor และ DC generator

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับ Servo motor และ DC Generator
2. สามารถนำโปรแกรม CX-ONE มาใช้ควบคุมการทำงานของ Servo motor
3. สามารถบอกความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์(Servo motor) คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์ และส่วนควบคุมต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือ ภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC, GND และ สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้จากสายสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณ พัลส์วิดมอด (PMW) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา, ให้แรงบิดสูง, กินพลังงานน้อยและสามารถควบคุมด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ (Driver) อื่นๆ เพราะ มอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่งหรือทิศทางที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ 180° หรือครึ่งรอบเท่านั้น หรือบางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210° แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้เนื่องจากโครงสร้างภายในประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้นเซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบได้เพียงแค่ประมาณ 180 องศา

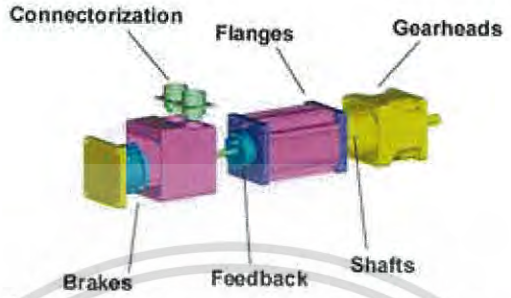
2.1.1 ส่วนประกอบพื้นฐาน

องค์ประกอบหลักของเซอร์โวโดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบหลักดังนี้คือ

1. Servo Case ซึ่งส่วนใหญ่จะทำมาจากพลาสติก
2. Motor ซึ่งเป็นส่วนให้กำลังในการหมุนของเซอร์โว
3. Control Circuit มีหน้าที่ในการถอดรหัสสัญญาณควบคุมจากรีซีฟซึ่งส่งมาเป็นแบบ PWM และ ส่งการควบคุมไปสั่งการทำงานของมอเตอร์ให้หมุนแขนของเซอร์โวให้อยู่ในตำแหน่งที่ได้ถอดรหัสมา
4. Potentiometer คือ ส่วนที่ตรวจวัดตำแหน่งของเซอร์โวและส่งสัญญาณกลับไปยัง Control Circuit เพื่อแก้ไขตำแหน่งให้ถูกต้องตามสัญญาณที่ได้เซ็ตไว้
5. Drive Gear คือชุดทดรอบจากการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ได้แรงบิดที่สูง
6. Output Spline คือส่วนที่ป้องกันการเสียดสีระหว่าง Servo Case และ Output shaft ซึ่งอาจใช้อุปกรณ์ประเภท Baring เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานที่ดี
7. Servo wire คือสายไฟของเซอร์โว ซึ่งจะมีอยู่สามเส้นซึ่งจะติดเป็นชุดเดียวกัน ซึ่งจะมีหน้าที่คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นที่ 1 จ่ายไฟกระแส + DC ซึ่งแรงดันปรกติจะอยู่ที่ 5-6 โวลต์
เส้นที่ 2 เป็นสาย Ground หรือเป็นขั้ว – DC
เส้นที่ 3 เป็นสายสัญญาณ โดยที่รีซีฟจะส่งสัญญาณลักษณะ on/off pulsed



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซอร์โวมอเตอร์

2.1.2 องค์ประกอบหลักของ servo motor

การทำงานเพียงตัว Servo Motor เพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำงานได้ การที่จะให้ Servo Motor จะควบคุมลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนั้นต้องมีองค์ประกอบดังนี้

1. **HMI**

HMI คือ human machine interface เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสั่งงานเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆยกตัวอย่างเช่น touch screen

รูปที่ 2.2 ตัวอย่าง HMI

2. Servo Driver

Servo Driver จะรับสัญญาณมาจาก Controller และสั่งการให้กับตัว Servo Motor เคลื่อนที่ตามที่ Controller สั่งการมาแต่ทำไม Controller ไม่สั่งการควบคุมไปที่ Servo Motor โดยตรง เนื่องจาก Servo Driver จะเป็นตัวที่ปรับตั้งค่าของตัว Servo Motor ให้ทำงานตามรูปแบบของการควบคุมไม่ว่า จะเป็นการควบคุม ความเร็ว(Speed Control) , แรงบิด(Toucque) และ ตำแหน่ง (Position Control) ตัว Servo Driver จะเป็น ตัวกำหนดค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Servo Motor ให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพราะฉะนั้นเมื่อใช้ Servo Motor ก็จะต้องมี Servo Driver เสมอ

รูปที่ 2.3 Servo Drive

3. Servo Motor

Servo Motor มีหน้าที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์ของเครื่องจักรกลหรือระบบของการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ ได้รับคำสั่งจากตัว Servo Driver พร้อมกับส่งสัญญาณป้อนกลับให้กับตัว Servo Driver ว่าตอนนี้ Servo Motor เคลื่อนที่ด้วย ความเร็วเท่าไหร่และระยะทางในการเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าไหร่แล้ว ด้วยสัญญาณของตัว Encoder ที่อยู่ภายในตัว Servo Motor ทำให้การเคลื่อนที่ของ Servo Motor นั้นมีความแม่นยำสูง

ด้วยองค์ประกอบข้างต้นทั้งหมดทั้งมวลนั้น พอจะทำให้ผู้ที่จะใช้งานหรือผู้ที่กำลังศึกษา พอที่จะมองภาพของการ ทำงานของระบบ Servo Motor ว่าองค์ประกอบของระบบหรือการที่จะใช้งาน Servo Motor นั้นต้องมีองค์ประกอบอะไรบ้างจึงจะใช้งาน Servo Motor ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

รูปที่ 2.4 Servo motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดยการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือ จุดกึ่งกลางของมอเตอร์
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม -90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม +90 องศา หรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆนั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลสเป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุดทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม -45 องศา เราก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และสัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้

โดยหลักการคือ จะอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจร RC ภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจร RC นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าจะถูกยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งการหมุนของมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่า (VR) เปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยในขณะที่เราป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุม สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจร RC หากค่าทั้ง 2 ไม่เท่ากัน มอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าความกว้างพัลส์ของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม(Control line) มอเตอร์จึงจะหยุดหมุน

2.1.4 Speed และ Torque Ratings

นอกเหนือจากขนาดภายนอกของเซอร์โวที่เราต้องพิจารณาในการใช้งานแล้วยังมีคุณลักษณะที่เราต้องพิจารณาอีกก็คือ speed(ความเร็ว) และ Torque (แรงบิด)

Speed การวัดความเร็วของเซอร์โวก็คือเวลาที่เซอร์โวใช้ต่อองศาในการหมุนค่าหนึ่ง ซึ่งมุมมาตรฐานที่ใช้วัดกันทั่วไปคือ 60 องศา จึงกล่าวได้ว่า ความเร็วของเซอร์โวก็คือ เวลาที่ใช้ในการหมุนแขนของเซอร์โวไปจากตำแหน่งเดิมเป็นมุม 60 องศา ดังนั้น ตัวเลขเวลาที่มีค่าน้อยเท่าไหร่ หมายถึงเซอร์โวยิ่งมีความเร็วมากขึ้นเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น เซอร์โวตัวหนึ่งมีความเร็ว 0.12 sec/60° ซึ่งหมายถึงเซอร์โวตัวนี้ใช้เวลา 0.12 วินาที ในการหมุนแขนของเซอร์โวเป็นมุม 60 องศา ซึ่งถือว่าเป็นมีความเร็วเป็นสองเท่าของความเร็วของเซอร์โวมาตรฐานซึ่งมีความเร็วอยู่ที่ 0.24 sec/60° แต่สำหรับเซอร์โวที่ใช้ควบคุมหางของเฮลิคอปเตอร์วิทยุบังคับแล้วอาจต้องใช้เซอร์โวที่มีความเร็วที่มากขึ้นเช่น 0.06 sec/60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Torque แรงบิด หมายถึง แรงที่แขนของเซอร์โวสามารถกระทำได้ ซึ่งแรงนี้วัดกันในหน่วยของออนซ์ ต่อ นิ้ว(oz-in) หรือ กิโลกรัม ต่อ เซนติเมตร (kg-cm) ซึ่งตัวเลขที่มากหมายถึงแรงที่ที่เซอร์โวสามารถฉุดหรือผลักได้ โดยที่ standard servo แรงบิดจะอยู่ที่ประมาณ 40 oz-in สำหรับเซอร์โวประเภทแรงบิดสูง(high torque) อาจมีแรงบิดสูงถึง 200 oz-in แล้ว 40 ounce-inches หมายถึงอะไร หมายถึง ถ้าแขนของเซอร์โวมีความยาวหนึ่งนิ้วจะมีแรงดึงหรือแรงฉุดขนาด 40 ounces ก่อนที่เซอร์โวจะมาสามรถหมุนได้อีก(Stalling) ดังนั้นหากแขนของเซอร์โวมีความยาก ½ นิ้ว ก็จะสามารถดึงหรือฉุดได้ 80 ounces และ หากแขนของเซอร์โวยาว 2 นิ้ว ก็จะสามารถฉุดหรือดึงได้ 20 ounces ตามหลักการคำนวนโมเมนต์

ความเร็วและแรงบิดของเซอร์โวจะมีค่าต่างกันเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกันให้กับรีซีฟ โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2ค่าคือ 4.8 โวลท์ และ 6.0 โวลท์ ซึ่งจะได้มาจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าของ BEC's หรือ อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า(voltage regulator) และแน่นอนอยู่แล้วว่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าย่อมให้ ความเร็วและแรงบิดที่สูงกว่า จึงได้มีเซอร์โวที่รองรับแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 8.6 volts ซึ่งให้ ความเร็วและแรงบิดที่สูงมาก ทั้งยังสามารถรับแรงดันไฟฟ้าจากแบ็ต 2S Lipo ได้โดยไม่ต้องมีวงจรปรับแรงดันไฟฟ้าและแน่นอนว่ารีซีฟก็ต้องสามารถรองรับแรงดันไฟฟ้านี้ได้ด้วยซึ่งรีซีฟระบบ 2.4 GhZ ในปัจจุบันส่วนใหญ่ก็สามารถรองรับได้

2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่านประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ อาเมเจอร์ขั้วแม่เหล็ก คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน นอกจากนั้นยังมีส่วนประกอบอื่นๆอีก เช่น แกนเพลาตลับลูกปืน ชุดยึดแปรงถ่าน และโครงเครื่อง เป็นต้น

1.) **อาเมเจอร์** คือ ส่วนที่หมุนตัดกับสนามแม่เหล็กเพ่อผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้า โครงสร้างของอาเมเจอร์ประกอบด้วยแกนเหล็กอาเมเจอร์และขดลวดอาเมเจอร์

- แกนเหล็กอาเมเจอร์ ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอนหนาประมาณ 0.5 ม.ม. ผิวทั้งสองด้านฉาบด้วยฉนวนไฟฟ้าจำพวกวานิช นำมาอัดซ้อนกับเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิส (Hysteresis loss) และกระแสไหลวน (Eddy current loss) ในแกนเหล็ก ผิวด้านนอกของทรงกระบอกทำเป็นร่อง (slot) เรียงตามแนวเส้นรอบวงรอบนอกของแกนเหล็ก เพื่อใช้พันขดลวดอาเมเจอร์ ลักษณะของร่องมี 2 แบบ คือ ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็กหรือเครื่องที่มีความเร็วรอบสูง จะใช้ร่องแบบกึ่งปิด แต่ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดกลางหรือขนาดใหญ่นั้น เนื่องจากใช้ขดลวดอาเมเจอร์ที่พันไว้ล่วงหน้า (Form coil) จึงจำเป็นต้องใช้ร่องแบบเปิดลักษณะของแกนเหล็กและขดลวดอาเมเจอร์

- ขดลวดอาเมเจอร์ ทำจากเส้นลวดทองแดงอาบฉนวนไฟฟ้า ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสไม่สูงมากนักจะใช้ลวดทองแดงพื้นที่หน้าตัดกลม ในเครื่องกลไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสสูงๆ จะใช้ลวดทองแดงพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบน ลักษณะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดอาเมเจอร์ที่พันไว้ล่วงหน้าหรือฟอร์มคอล์ยแสดงไว้ในรูป ส่วนของขดอาเมเจอร์ที่บรรจุลงในร่องร่องเรียกว่า "คอล์ยไซด์"(Coil side) และส่วนที่เหลือ(หัวและท้าย)ของขดลวดที่ไม่ได้อยู่ในลิ่งไฟเบอร์สอดไว้ที่ปากร่อง เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดอาเมเจอร์หลุดออกจากร่องอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) ในขณะหมุนทำงาน

2.) **ขั้วแม่เหล็ก** คือส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กให้ผ่านแกนเหล็กอาเมเจอร์ขั้วแม่เหล็กของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงจะยึดติดกับโครงเครื่อง (Frame or yoke) ด้วยน็อตและสกรู ขั้วแม่เหล็กประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) หรือขดลวดฟิลด์ แกนของขั้วแม่เหล็ก (Pole core) และโปลชู (Pole shoe)

- โครงเครื่อง เป็นส่วนที่ยึดแกนของขั้วแม่เหล็กและฝาครอบเครื่อง นอกจากนั้นยังใช้เป็นทางผ่านของสนามแม่เหล็กเพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กเดินครบวงจร โครงเครื่องอาจทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นที่โค้งงอเป็นรูปทรงกระบอกแล้วเชื่อมยึดรอยต่อเข้าด้วยกัน ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดใหญ่เพื่อความสะดวกในการขนส่ง จึงออกแบบโดยแบ่งโครงเครื่องออกเป็นสองส่วน คือส่วนบนและส่วนล่าง ซึ่งทั้งสองส่วนนี้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันด้วยน็อตและสกรูได้
- แกนของขั้วแม่เหล็กและโปลชู ทำจากเหล็กแผ่นลามิเนต (Laminated sheet steel) ปั๊มเป็นแกนของขั้วแม่เหล็กและโปลชูในแผ่นเดียวกัน แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โปลชูคือส่วนที่ยื่นออกจากขอบทั้งสองข้างบริเวณด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กและมีลักษณะโค้งงอตามความโค้งของแกนเหล็กอาเมเจอร์
- ขดลวดสนามแม่เหล็ก คือขดลวดฟิลด์ที่พันรอบแกนของขั้วแม่เหล็กหลักทุกขั้ว โดยมากมักใช้ขดลวดฟิลด์ที่พันไว้ล่วงหน้า หุ้มฉนวน (พันด้วยเทปผ้าฝ้าย) อาบวานิชและอบแห้งแล้วจึงนำไปสวมเข้ากับแกนของขั้วแม่เหล็ก การต่อขดลวดฟิลด์ที่พันรอบขั้วแม่เหล็กหลักแต่ละขั้วเข้าด้วยกันต้องต่อให้เกิดขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันหรือขั้วที่อยู่ประชิดกับต้องเป็นขั้วต่างชนิดกัน ขดลวดฟิลด์ของเครื่องกลไฟฟ้าแบบชั้นท์และแบบคอมเปานด์

3.) **คอมมิวเตเตอร์** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เรียงกระแสหรือเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอาเมเจอร์ให้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแต่ละซี่มีลักษณะคล้ายรูปลิ่ม เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกโดยมีแผ่นไมก้าคั่นกลาง ความหนาของแต่ละซี่ของคอมมิวเตเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดกำลังของเครื่อง และ โวลท์เตจระหว่างซี่คอมมิวเตเตอร์ที่อยู่ประชิดกัน โครงสร้างภายในของคอมมิวเตเตอร์

4.) **แปรงถ่านและชุดยึดแปรงถ่าน** แปรงถ่านจะสัมผัสกับผิวหน้าของคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา เพื่อต่อวงจรขดลวดอาเมเจอร์กับวงจรภายนอกเข้าด้วยกัน แปรงถ่านส่วนมากทำจากคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแกรไฟท์ แปรงถ่านคาร์บอนทำจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ ใช้ในเรื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็กที่พิกัดกระแสต่ำแปรงถ่านแกรไฟท์ทำจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์และโดยการเพิ่มปริมาณความร้อนจึงเปลี่ยนสถานะเป็นแกรไฟท์ แปรงถ่านชนิดนี่มีคุณสมบัติที่ดีและนิยมใช้กันเครื่องกลไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสสูงและโวลท์เตจต่ำ

ชุดยึดแปรงถ่าน ทำหน้าที่ยึดแปรงถ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม มีสปริงกดแปรงถ่านให้สัมผัสกับผิวหน้าของคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา ด้านบนของแปรงถ่านมีเส้นลวดทองแดงผ่อยถักหรือตีเกลียวต่อเชื่อมระหว่างแปรงถ่านกับชุดยึดแปรงถ่าน ในกรณีที่ต้องการเลื่อนแปรงถ่านให้เปลี่ยนตำแหน่งไฟพร้อมๆกันทุกชุด จำเป็นต้องติดตั้งชุดยึดแปรงถ่านกับแท่งตัวนำซึ่งยึดติดอยู่กับแขนของร้อคเกอร์ (Rocker arm)

2.2.2 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

การแบ่งชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งตามลักษณะการนำกระแสไฟฟ้าไปกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Excitation) ได้ 2 แบบ คือ

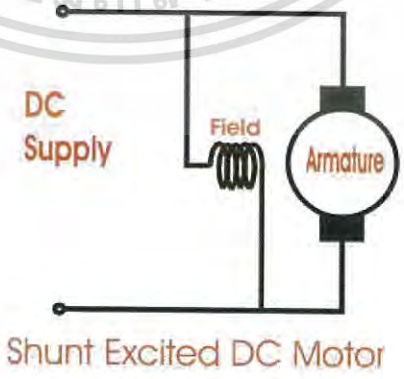
1. Separately Excitation (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นแยก)

   เครื่องกำเนิดแบบนี้จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมากระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก

2. Self Excitation (เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นตัวเอง)

   เครื่องกำเนิดแบบนี้แบ่งออกตามลักษณะการต่อขดลวดสนามแม่เหล็กเข้ากับวงจรขดลวดอาเมเจอร์และยังแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

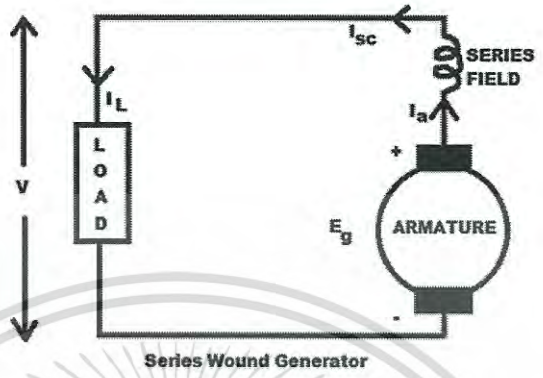
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์ (shunt generator) ขดลวดสนามแม่เหล็กพันด้วยลวดทองแดงเส้นเล็ก จำนวนมากรอบเรียกว่า ชั้นท์ฟิลด์ (shunt field) ต่อขนานกับอาเมเจอร์



รูปที่ 2.5 Shunt DC Motor

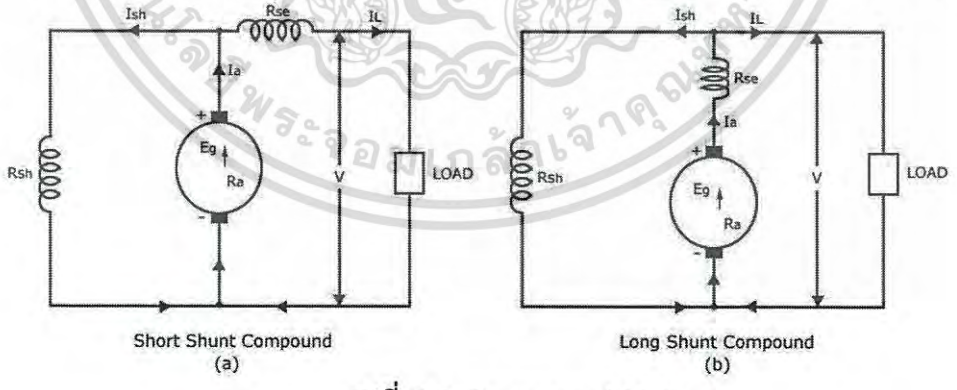
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องกำเนิกไฟฟ้าแบบซีรีส์ (series generator) ขดลวดสนามแม่เหล็กพันด้วยทองแดงเส้นใหญ่ จำนวนน้องรอยเรียกว่า ซีรีส์ฟิลด์ (series field) ต่ออนุกรมกับอาเมเจอร์และโหลด



รูปที่ 2.6 Series DC Motor

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมเปานด์ (compound generator) มีขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุด พันรอบขั้วแม่เหล็กหลังทุกขั้ว คือ ขดลวดชั้นท์ฟิลด์ และ ขดลวดซีรีส์ฟิลด์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมเปานด์แบ่งการต่อวงจรขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองชุดกับอาเมเจอร์ได้ 2 แบบ คือ แบบลองชั้นท์คอมเปานด์ (long shunt compound) และแบบชอร์ทชั้นท์ คอมเปานด์ (short shunt compound) ซึ่งแต่ละแบบยังสามารถแบ่งการต่อวงจรเป็น 2 วิธี คือ หากต่อวงจรแล้วปรากฏว่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กทั้งสองชุดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกันเรียกว่า "คิวมูเลตีฟ คอมเปานด์" (cumulative compound) ถ้าสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักร้างกันเรียกว่า "ดิฟเฟอเรนเชียล คอมเปานด์" (differential compound)



รูปที่ 2.7 Compound Motor

2.2.3 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบขนานและแบบอนุกรม (Comparison of shunt and series motor)

มอเตอร์แบบขนาน (Shunt motor) ลักษณะสมบัติต่างๆของมอเตอร์แบบนี้ นำมาสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. เป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบเกือบคงที่

ข. เมื่อใช้กระแสอินพุทเท่ากัน จะให้แรงบิดเริ่มหมุนต่ำกว่ามอเตอร์แบบอนุกรม จากลักษณะสมบัติในข้อ ก. และข้อ ข. มอเตอร์แบบนี้จึงนิยมใช้กับงานดังนี้

1. งานที่ต้องการรักษาความเร็วรอบให้คงที่จากสภาวะไร้โหลดถึงมีดโหลดเต็มพิกัด
2. ขับโหลด ณ ความเร็วรอบต่างๆกัน โดยแต่ละความเร็วจะคงที่กับงานๆหนึ่ง เป็นเวลานาน เช่น ใช้ขับเครื่องกลึง ซึ่งต้องการใช้ความเร็วในการกลึงโลหะแต่ละชนิดแตกต่างกัน สามารถควบคุมความเร็วได้ง่ายและประหยัด

มอเตอร์แบบอนุกรม (Series motor) ลักษณะสมบัติต่างๆของมอเตอร์แบบนี้ นำมาสรุปได้ดังนี้

ก. เป็นมอเตอร์ที่มีแรงบิดเริ่มหมุนสูงมาก (High starting torque)

ข. มีอัตราเร่งของแรงบิดดีมาก (Goof accelerating torque)

ค. มีความเร็วรอบต่ำเมื่อโหลดมาก และความเร็วจะสูงมากจนอาจเป็นอันตรายกับโหลดเมื่อโหลดลดลงมาก

จากลักษณะสมบัติดังกล่าวข้างต้น มอเตอร์แบบนี้จึงเหมาะกับงานดังนี้

1. งานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูงมาก เช่น ใช้กับกว้าน (Hoists) ปั้นจั่น รถราง
2. งานที่มอเตอร์สามารถต่อกับโหลดได้โดยตรง เช่น พัดลมซึ่งแรงบิดจะ เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ
3. งานที่ไม่ต้องการความเร็วรอบคงที่ งานที่โหลดเพิ่มขึ้นแล้วความเร็วรอบ ลดลงซึ่งถือว่าเป็นข้อได้เปรียบของมอเตอร์ คือแรงบิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กำลังอินพุทของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตัวอย่างเช่น แรงบิดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าแต่กำลังอินพุตที่มอเตอร์ต้องการจะเพิ่มขึ้นประมาณ 50-60 % เท่านั้น
4. ไม่ควรนำไปใช้กับงานที่โหลดมีโอกาสลดลงจนกระทั่งเหลือค่าน้อยมาก เช่น งานขับปั๊มหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pumps) และงานขับโหลดด้วยสายพาน เป็นต้น

2.2.4 การสูญเสียและประสิทธิภาพ(Losses and efficiency)

จะเห็นได้ว่าการหาค่าประสิทธิภาพสามารถหาได้โดยการหาค่าของการสูญเสีย การสูญเสียที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ก็เช่นเดียวกับการสูญเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิด มีดังนี้

ก. การสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper losses)

ข. การสูญเสียทางแม่เหล็ก (Magnetic losses)

ค. การสูญเสียทางกล (Mechanical losses)

2.2.5 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงาน ดังนั้นเราจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า ตลอดคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์นั้นๆ และสามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับงานออกแบบระบบประปาหมู่บ้านหรืองานอื่นที่เกี่ยวข้องได้ ดังนั้นเพื่อศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับ ชนิด โครงสร้าง ส่วนประกอบและหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส และ 3 เฟส การเริ่มเดินมอเตอร์ การกลับทางหมุน การต่อวงจรมอเตอร์ต่างๆ สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานควบคุม การเลือกขนาดสายไฟฟ้าและป้องกันอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ การต่อวงจรขดลวดสปลิตเฟสมอเตอร์และมอเตอร์ 3 เฟส ต่อสายวงจรการเริ่มเดินและกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ 1 เฟส และ 3เฟส

2.2.6 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

ในการติดตั้งวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีหลักเกณฑ์ หรือสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ที่จะต้องพิจารณาก่อนการติดตั้ง เพื่อที่จะสามารถใช้ประโยชน์จากมอเตอร์ได้อย่างเต็มที่ และเกิดความปลอดภัยแก่ผู้ที่ใช้งานอย่างสูงสุด โดยมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาก่อนการติดตั้งวงจรควบคุมไฟฟ้าดังนี้

1. การบริการทางไฟฟ้า คือ ข้อจำกัดหรือคุณลักษณะของการบริการทางไฟฟ้า เช่น เป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับ จำนวนความถี่ เป็นต้น

2. มอเตอร์ คือ พิจารณาว่ามอเตอร์นั้นมีความเหมาะสมกับการบริการทางไฟฟ้าอยู่หรือไม่ เช่น ขนาดของมอเตอร์มีขนาดเหมาะสมพอดีกับการบริการทางไฟฟ้าที่มีอยู่

3. วิธีการควบคุมมอเตอร์ คือ วิธีการควบคุมมอเตอร์ขั้นพื้นฐานนั้นก็คือ วงจรการควบคุมปิดเปิดมอเตอร์ และวงจรป้องกันมอเตอร์จากความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากอุบัติเหตุ ซึ่งทั้งสองวงจรจะมีการติดตั้งอยู่เสมอภายในวงจรควบคุมมอเตอร์ แต่บางครั้งการใช้งานยังมีวิธีการที่จะต้องพิจารณาเพิ่มขึ้นอีก เช่น การควบคุมมอเตอร์ให้สามารถหมุนกลับทิศทางไปมาได้ หรือการควบคุมมอเตอร์ให้สามารถทำงานได้ความเร็วรอบในระดับต่างๆ กัน

4. สิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันนี้การพิจารณาเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก ดังที่จะเห็นได้จากมีการตั้งกฎและข้อบังคับต่างๆ ขึ้นมา เพื่อเป็นข้อบังคับหรือข้อปฏิบัติสำหรับผู้ประกอบการเพื่อให้เกิดความเสียหายต่อสภาพแวดล้อมให้น้อยที่สุด ดังนั้น ในการติดตั้งมอเตอร์จะต้องมีการพิจารณาเรื่องของสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น เรื่องของเสียงหรือสภาพแวดล้อมภายในโรงงาน

5. สัญลักษณ์และมาตรฐานทางไฟฟ้า การใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการติดตั้ง หรือการใช้สัญลักษณ์นั้นก็เพื่อเป็นการบอกขั้นตอนในการควบคุมมอเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์และสัญลักษณ์ที่ใช้จะต้องเป็นมาตรฐานสากล และเป็นที่ยอมรับของหน่วยงานที่ควบคุมภายในท้องถิ่นนั้นด้วย

2.2.7 จุดมุ่งหมายการควบคุมมอเตอร์

1. การเริ่มเดินและหยุดเดินมอเตอร์ เป็นจุดมุ่งหมายเบื้องต้นในการควบคุมมอเตอร์ การเริ่มเดินและการหยุดเดินมอเตอร์นั้นอาจจะเป็นเรื่องง่าย แต่ที่แท้จริงแล้วมีความยุ่งยากอยู่ไม่น้อย เนื่องจากลักษณะของงานที่มีความแตกต่างกันออกไป ดังนั้นการเริ่มเดินและการหยุดมอเตอร์จึงมีหลายลักษณะเพื่อตอบสนองให้ตรงกับงานที่ทำ เช่น การเริ่มเดินแบบเร็วหรือแบบช้า การเริ่มเดินแบบโหลดน้อยหรือเริ่มเดินแบบโหลดมาก การหยุดเดินแบบทันทีหรือหยุดเดินแบบช้าๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การหมุนกลับทิศทาง การควบคุมมอเตอร์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางได้อาจจะโดยอัตโนมัติ หรือใช้ผู้ควบคุมได้

3. การหมุนของมอเตอร์ การควบคุมมอเตอร์หมุนให้ปกติตลอดเวลาการทำงานมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่มอเตอร์ เครื่องจักรกล โรงงาน และที่สำคัญที่สุดคือ ผู้ใช้งาน

4. การควบคุมความเร็วรอบ การควบคุมความเร็วรอบเป็นอีกเหตุผลหนึ่งในการควบคุมมอเตอร์ โดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์นั้นสามารถทำได้หลายแบบด้วยกัน เช่น กาควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ กาควบคุมความเร็วรอบที่ต่างกัน หรือการควบคุมเร็วรอบที่สามารถปรับได้ตามต้องการ

5. การป้องกันอันตรายที่จะเกิดแก่ผู้ใช้งาน ในการติดตั้งวงจรควบคุมมอเตอร์นั้นก็จะต้องมีการวางแผนป้องกันอันตรายที่จะเกิดแก่ผู้ใช้งาน หรือผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงด้วย โดยการป้องกันอันตรายที่ดีที่สุดก็คือการอบรมแก่พนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่ ให้คำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอันอับแรกในการทำงานอยู่เสมอ

6. การป้องกันความเสียหายจากอุบัติเหตุ การออกแบบวงจรการควบคุมมอเตอร์ที่ดีควรจะมีการป้องกันความเสียหายให้กับมอเตอร์ เครื่องจักรที่มอเตอร์ติดตั้งอยู่ในโรงงาน หรือความเสียหายต่อชิ้นส่วนที่กำลังอยู่ในสายการผลิตในขณะนั้นไว้ด้วย การป้องกันมอเตอร์จากความเสียหายนั้นมีด้วยกันหลายลักษณะ เช่น การป้องกันโหลดเกินขนาด การป้องกันการกลับเฟส หรือการป้องกันความเร็วมอเตอร์เกินขีดจำกัด

2.2.8 ประเภทของการควบคุมมอเตอร์

1. การควบคุมด้วยมือ (Manual control)

การควบคุมด้วยมือ เป็นการสั่งงานให้อุปกรณ์ควบคุมทำงานโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานควบคุมระบบกลไกทางกลทำงานซึ่งการสั่งงานให้ระบบกลไกทำงานนี้โดยส่วนมากจะใช้คนเป็นผู้สั่งงานแทบทั้งสิ้น ซึ่งมอเตอร์จะถูกควบคุมจากการสั่งงานด้วยมือโดยการควบคุมผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ท็อกเกิ้ลสวิทช์ เซฟตี้สวิทช์ ดรัมสวิทช์ ตัวควบคุมแบบหน้าจาน

2. การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic control)

โดยการใช้สวิทช์กดปุ่ม ที่สามารถควบคุมระยะไกลได้ ซึ่งมักจะต่อร่วมกับสวิทช์แม่เหล็กที่ใช้จ่ายกระแสจำนวนมากๆ ให้กับมอเตอร์แทนสวิทช์ธรรมดาซึ่งสวิทช์แม่เหล็กนี้อาศัยผลการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้า วงจรควบคุมมอเตอร์กึ่งอัตโนมัตินี้ต้องอาศัยคนคอยกดสวิทช์จ่ายไฟให้กับสวิทช์แม่เหล็กสวิทช์แม่เหล็กจะดูดให้หน้าสัมผัสแตะกัน และจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ และถ้าต้องการหยุดมอเตอร์ก็จะต้องอาศัยคนคอยกดสวิทช์ปุ่มกดอีกเช่นเดิม จึงเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ

3. การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control)

การควบคุมแบบนี้จะอาศัยอุปกรณ์ชี้นำ คอยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่างๆ เช่น สวิทช์ลูกลอยทำหน้าที่ตรวจวัดระดับน้ำในถัง และสั่งให้มอเตอร์หยุดเมื่อน้ำเต็มถัง สวิทช์ความดันทำหน้าที่ตรวจจับความดันลมเพื่อสั่งให้ปั๊มลมทำงาน เทอร์โมสตัททำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าตามอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือต่ำ เป็นต้น วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบนี้เพียงแต่ใช้คนกดปุ่มเริ่มเดินมอเตอร์ในครั้งแรกเท่านั้น ต่อไปวงจรก็จะทำงานเองโดยอัตโนมัติตลอดเวลา

2.2.9 การเริ่มเดินมอเตอร์

การสตาร์ทมอเตอร์หรือการเริ่มเดินมอเตอร์ ในช่วงเริ่มแรกยังไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back EMF) เกิดขึ้นที่อาเมเจอร์ ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าไฟฟ้าที่ตกคร่อม(Voltage Drop) ที่อาเมเจอร์จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นจำนวนมาก อาจเป็นให้เกิดอันตรายกับมอเตอร์หรือฟิวส์ขาดได้เนื่องจากความต้านทานของอาเมเจอร์ที่มีค่าต่ำมาก เพราะฉะนั้นในการสตาร์ทมอเตอร์หรือเริ่มเดินมอเตอรนั้นจำเป็นมากที่ต้องต่อความต้านทานอนุกรมกับเข้ากับอนุกรมกับอาเมเจอร์เพื่อให้กระแสถูกควบคุมในขั้นปลอดภัย เมื่อมอเตอร์หมุนไปแล้วค่อยๆลดค่าความต้านทานทีละน้อยในที่สุดจะถูกปลดออกจากวงจรอาเมเจอร์ จากสมการของความเร็ว จะสังเกตเห็นว่าเราสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้โดย

1. ปรับแต่งค่าของฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้ว (Flux control)
2. ปรับแต่งค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์(Rheostatic control)
3. ปรับแต่งขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป (Voltage control)

วิธีการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขนาน , ผสม และอนุกรม

2.3 ทรานซิสเตอร์

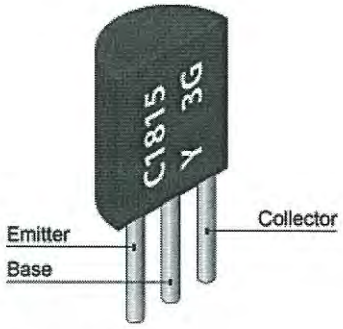
ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถควบคุมการไหลของอิเล็กตรอนได้ ใช้ทำหน้าที่ ขยายสัญญาณไฟฟ้า, เปิด/ปิดสัญญาณไฟฟ้า, ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่เป็นต้น การทำงานของทรานซิสเตอร์เปรียบได้กับวาล์วควบคุมที่ทำงานด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่ขาเข้า เพื่อปรับขนาดกระแสไฟฟ้าขาออกที่จ่ายมาจากแหล่งจ่ายไฟ

ทรานซิสเตอร์ประกอบด้วยวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ที่มีอย่างน้อยสามขั้วไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อกับวงจรภายนอก แรงดันหรือกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วทรานซิสเตอร์หนึ่งคู่ จะมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระแสที่ไหลผ่านในขั้วทรานซิสเตอร์อีกคู่หนึ่ง เนื่องจากพลังงานที่ถูกควบคุม (เอาต์พุต)จะสูงกว่าพลังงานที่ใช้ในการควบคุม (อินพุท) ทรานซิสเตอร์จึงสามารถขยายสัญญาณได้ ปัจจุบัน บางทรานซิสเตอร์ถูกประกอบขึ้นมาต่างหากแต่ยังมีอีกมากที่พบฝังอยู่ใน แผงวงจรรวม

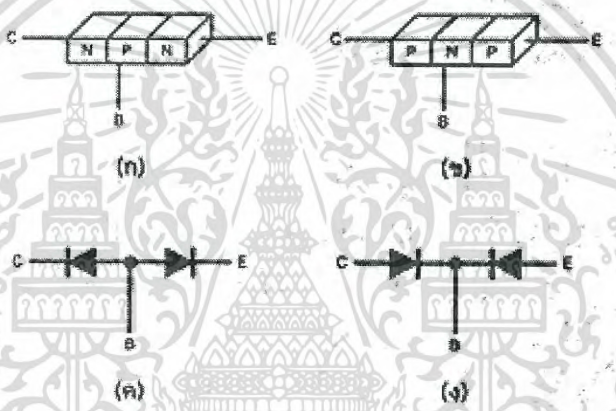
ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำสาร P และสาร N 3 ชิ้น นำมาต่อเรียงกัน ดังรูปที่ 2.9 โดยเรียงต่อกันได้ 2 แบบ ดังรูป ก และ ข ในรูป ก. ใช้สาร N 2 ชิ้น และสาร P 1 ชิ้น โดยมีสาร P อยู่ตรงกลาง จึง เรียกทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ว่า NPN และต่อขาออกมา 3 ขา เป็นขา B (เบส), C(คอลเลคเตอร์), E(อีมิตเตอร์) โดยที่ขา B ต่อออก มาจากสาร P ส่วนในรูปที่ 2.9 ข. ตรงกันข้ามกับรูปที่ 2.9 ก. และเรียกว่าชนิด PNP ส่วนขาที่ต่อออกมาเช่นเดียวกับรูปที่ 2.9 ก. ด้วย โครงสร้างดังกล่าวนี้ จะเหมือนกับไดโอด 2 ตัวชนกันดังรูป ค. และ ง. โดยใช้สาร P หรือ N ตรงกลางเป็นตัวร่วมกัน

จากรูปที่ 2.9 สามารถเป็นสัญลักษณ์เพื่อให้ดูง่าย ๆ ดังรูปที่ 2.10 ในรูป ก เป็นของชนิด PNP สังเกตที่ลูกศรของเขา E จะชี้ ออกส่วนชนิด PNP แสดงในรูป ข. สัญลักษณ์ต่างกันที่ขา E คือ ลูกศรที่ขา E จะชี้เข้า

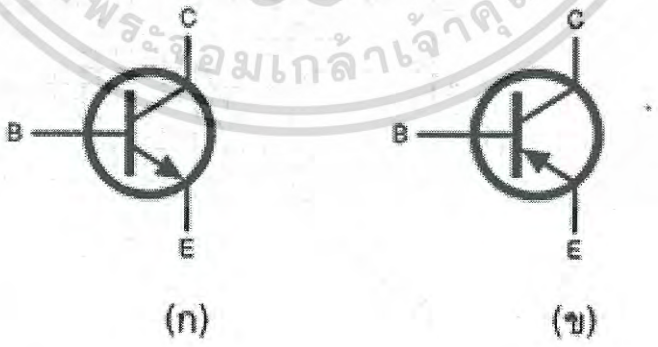
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 Transistor



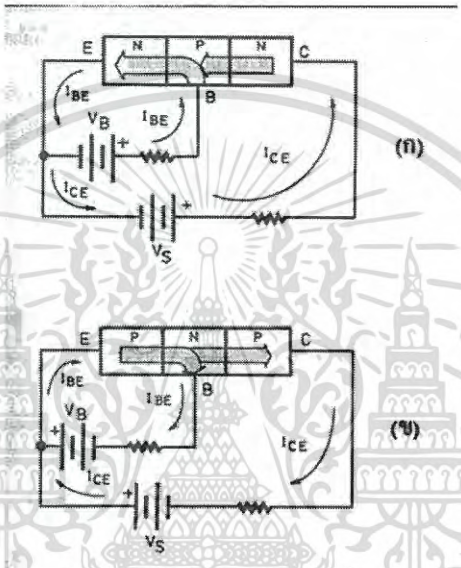
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ในรูป ก. และ PNP ในรูป ข. ส่วน ค. และ ง. แสดงการเปรียบเสมือน ไดโอด 2 ตัวชนกัน



รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์ ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์พอจะอธิบายได้โดยการต่อวงจรดังรูปที่ 3 ด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน ในรูปที่ 2.10 ก. เป็นการต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN พิจารณาทางด้านขา B และขา E จะเป็นการต่อในลักษณะไบแอสตรง ให้กับสาร P และ N ด้วย VB (เหมือนไดโอด) จึงมีกระแสส่วนหนึ่งไหลเรียกว่า IBE ซึ่งเป็นผลให้ทางด้านขา C เกิดกระแสไหลตามไปด้วย คือ มีกระแสวิ่งจากแบตเตอรี่ VS ไปสาร N ไปสาร P และไปสาร N ที่ E ครบวงจรอีก กระแสส่วนที่วิ่งตาม IBE นี้มีชื่อว่า ICE และกระแสที่วิ่งออกมาจากขา E มี 2 ส่วนคือ ส่วนขาของ IBE และICE ส่วนในรูปที่ 2.10 ข. ก็มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับของ ชนิด PNP เพียงแต่กลับขั้วแบตเตอรี่เท่านั้น และเมื่อหากว่า IBE หยุดไหลICE จะหยุดไหลตามไปด้วยเช่นกัน



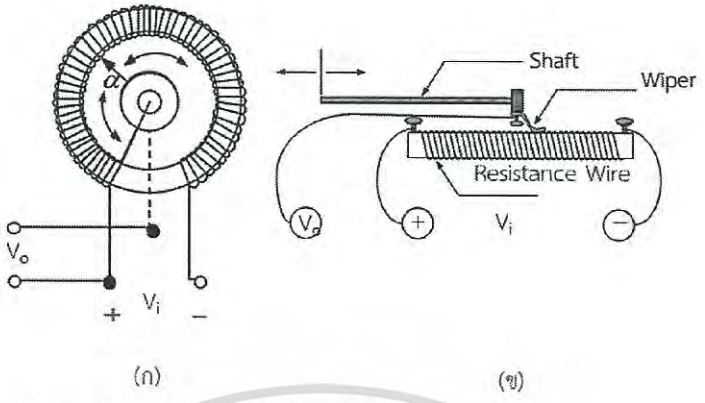
รูปที่ 2.11 แสดงการเกิดกระแสเมื่อมีการป้องกันแรงดันที่ ขาต่าง ๆ

2.4 Potentiometer

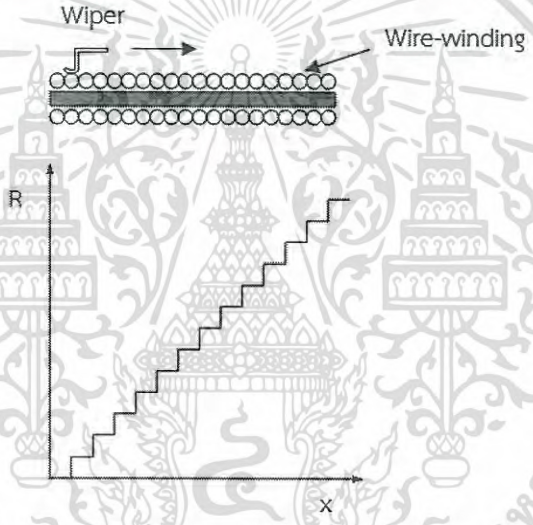
โพเทนชิโอมิเตอร์ (potentiometer) เป็นทรานสดิวเซอร์วัดตำแหน่งและระยะทางชนิดเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน “Resistive position transducer” ประเภทพาสซีฟ (passive transducer) โดยอาศัยหลักการแปลงตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของค่าความต้านทานไฟฟ้า นิยมใช้ในอุตสาหกรรม มีโครงสร้างที่ง่าย ประกอบด้วยตัวต้านทานและหน้าสัมผัส (หรือเรียกว่า “ไวเปอร์ (wiper)”) ที่สามารถเลื่อนไปมาบนตัวต้านทานได้ โดยหน้าสัมผัสสามารถเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้น เชิงมุม หรือทั้งสองรูปแบบซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นวงซ้อนหรือเกลียว ค่าความต้านทานของขดลวดที่พันบนแกนจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของแกน โดยค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสกับขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของโพเทนชิโอมิเตอร์ (ก) แบบเชิงมุม และ (ข) แบบเชิงเส้น



รูปที่ 2.13 การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานของเส้นลวดที่พันบนแกน

โพเทนชิโอมิเตอร์เป็นทรานสดิวเซอร์ (transducer) ที่นิยมใช้งานในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งาน และมีราคาถูก สามารถนำสัญญาณทางด้านเอาต์พุตไปใช้ในระบบควบคุมได้ อย่างไรก็ตาม ค่าที่วัดได้อาจเกิดความคลาดเคลื่อน (error) เนื่องจากความเสียดทานระหว่างหน้าสัมผัสกับตัวต้านทาน หรือจากการติดตั้งที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น

2.5 Couplings

Couplings คำจำกัดความ Couplings คือ ทำหน้าที่ยึดเพลาสองเพลาให้เข้าด้วยกัน ลักษณะการส่งถ่ายแรงบิดที่มีการเยื้องศูนย์ของเพลา (Shaft Misalignment) จะสร้างความเสียหายอย่างมากต่ออุปกรณ์ต่างๆ ของระบบส่งกำลังเช่น ลูกปืน โดยการตั้งศูนย์เพลาที่ดีจะสามารถยืดอายุการใช้งานของตลับลูกปืนได้ 2-3 เท่า โดยการตั้งศูนย์ที่ดีนั้นจำเป็นต้องใช้เวลานาน และมีปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
143927

ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ ทำให้มีการยืดหรือหดตัวของวัสดุ และการยุบตัวของพื้นที่ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ ในความเป็นจริงของการส่งกำลังทางกล ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสภาวะการทำงานที่อยู่ภายใต้การเยื้องศูนย์ของแกนเพลาได้ ด้วยปัจจัยหลายประการ (จากการผลิต, การประกอบ และสภาพแวดล้อม) จึงมีการเลือกใช้งาน Couplings ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และระดับการยอมรับการเยื้องศูนย์

2.5.1 หน้าที่ของ Couplings

1. หน้าที่โดยพื้นฐานของประกับเพลาใดๆก็คือการส่งกำลังจากเพลาต้นกำลังหรือเพลา ขับ ผ่านไปยังเพลาตาม กำลังที่ว่านี้อยู่ในรูปของแรงบิดและความเร็วรอบ ในระบบเมตริกซึ่งกำลัง (Power, P) มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์(kW) แรงบิด(Torque, T)มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร(Nm) และความเร็วรอบ(Speed, n) ซึ่งมักจะบอกกันเป็นรอบต่อนาที(rpm) ความสัมพันธ์ของมันก็คือ

$$P = \frac{T \times n}{9550}$$

2. นอกจากการส่งกำลัง ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของมันแล้ว ประกับเพลามักถูกออกแบบไว้รองรับการเยื้องศูนย์(Misalignment) ซึ่งอาจจะเป็นการเยื้องศูนย์เชิงมุม(Angular misalignment) หรือการเยื้องศูนย์แบบขนาน(Parallel misalignment หรือ Parallel offset) หรือทั้งสองอย่างในเวลาเดียวกัน
3. ในงานที่มีแรงกระแทก(Shock) หรือความสั่นสะเทือน(Vibration) การเลือกใช้ประกับเพลาจะเป็นไปโดยคำนึงถึงความสามารถในการดูดซับแรงกระแทก หรือความสั่นสะเทือนไม่ให้ถูกส่งผ่านไปยังอีกเพลาหนึ่ง
4. ในการใช้งานบางประเภทซึ่งมีการยืดหดของเพลา ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ประกับเพลาต้องสามารถรองรับการยืดหรือหดตัวของเพลา หรือไม่ก็จำกัดการเคลื่อนตัวของเพลา(end float) ลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไฟฟ้า

2.6.1 Ohm's Law

กฎของโอห์ม ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับ ความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้ากับความต้านทาน กล่าวคือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำใดๆ แปรผันโดยตรงกับความต่างศักย์

$$I \propto V$$

และกระแสไฟฟ้าจะแปรผกผันกับความต้านทานระหว่างสองจุดนั้น(คือถ้าความต้านทานมากจะทำให้กระแสไหลผ่านน้อย, ถ้าความต้านทานน้อยจะทำให้มีกระแสมาก) เขียนเป็นสมการได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I \propto \frac{1}{R}$$

นำสูตรสมการทางคณิตศาสตร์ทั้งสองมารวมกัน, เขียนได้ดังนี้:

$$V = IR$$

โดยที่ V คือความต่างศักย์ มีหน่วยเป็น โวลต์, I คือกระแสในวงจร หน่วยเป็น แอมแปร์ และ R คือความต้านทานในวงจร หน่วยเป็น โอห์ม

2.6.2 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (electric power) เป็นอัตราที่พลังงานไฟฟ้าจะถูกถ่ายโอนไปยังวงจรไฟฟ้า มีหน่วย SI เป็นวัตต์ ซึ่งเท่ากับหนึ่งจูลต่อวินาที

$$P = VI$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า หน่วยมาตรฐานวัตต์ (W)
V = แรงดัน หน่วยมาตรฐานโวลต์ (V)
I = กระแส หน่วยมาตรฐานแอมแปร์ (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

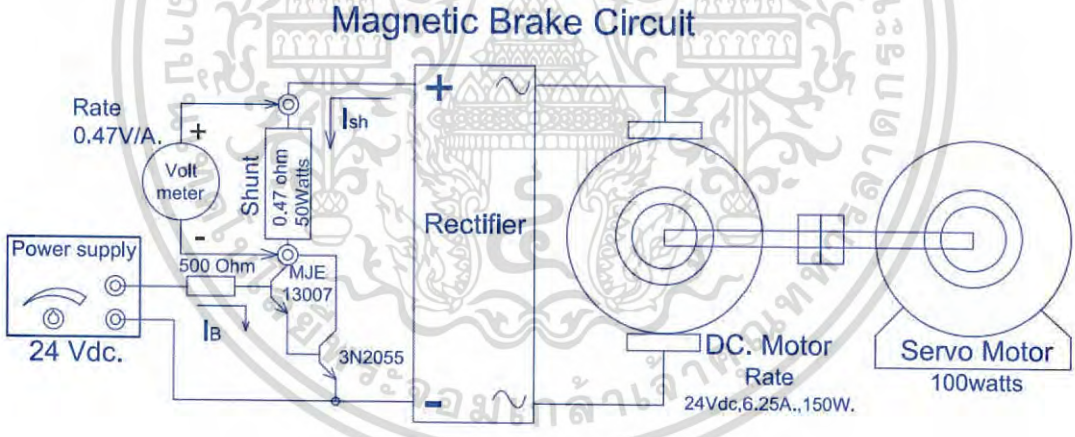
บทที่ 3
โครงสร้างและการออกแบบ

สำหรับการออกแบบชุดทดลองจะนำชุดของเซอร์โวมอเตอร์มาทำการคัปปลิ้งกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมีตัวต้านทานเป็นโหลดของระบบ ทำการควบคุมด้วยซอร์ฟแวร์ CX-ONE เพื่อทำการควบคุมค่าความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์

3.1 อุปกรณ์และโครงสร้าง

อุปกรณ์ที่เลือกนำมาใช้ในโครงงานนี้ จะมีดังนี้

1. MY-6812 DC Motor 24Vdc, 6.25 A, 150W
2. R88M-KE10030H AC Servo Motor
3. Resistor 0.47 ohm
4. MJE 13007 Transistor(NPN)
5. 2N3055 Transistor(NPN) x2
6. Power Supply 24Vdc



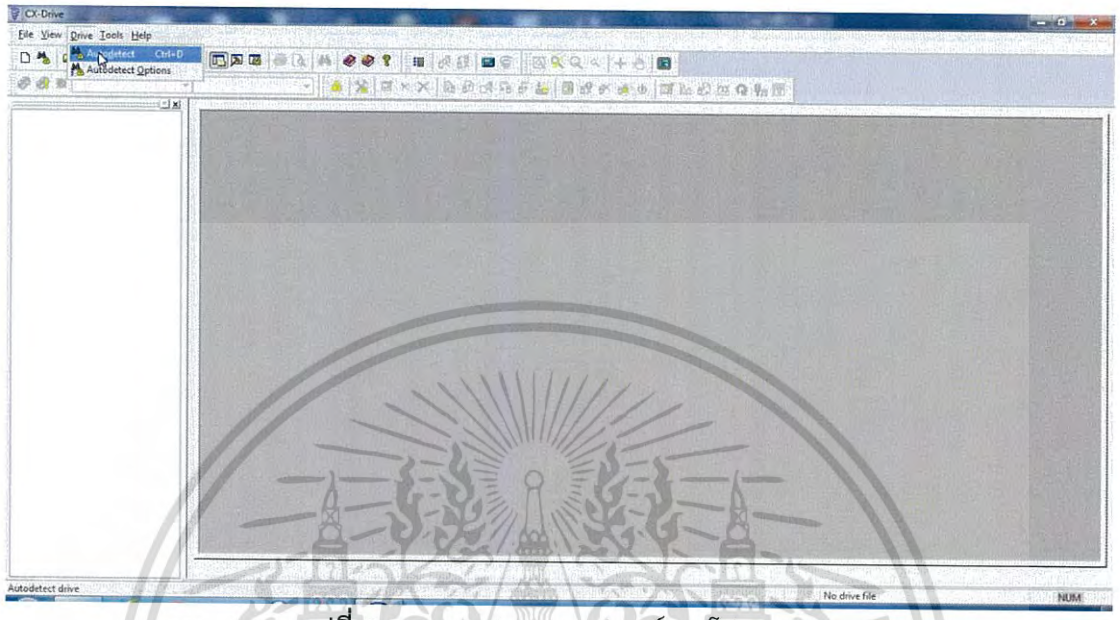
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของอุปกรณ์

3.2 วิธีการทดลอง

โปรแกรมหลักที่ใช้ในการทำโครงงานคือ CX-Drive ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อยของ CX-ONE ซึ่งโปรแกรมตัวนี้สามารถทำการควบคุม Servo motor, เขียน PLC, ปรับเปลี่ยนค่า Parameter ต่างๆ ที่ต้องการได้ โดยมีวิธีการดังนี้

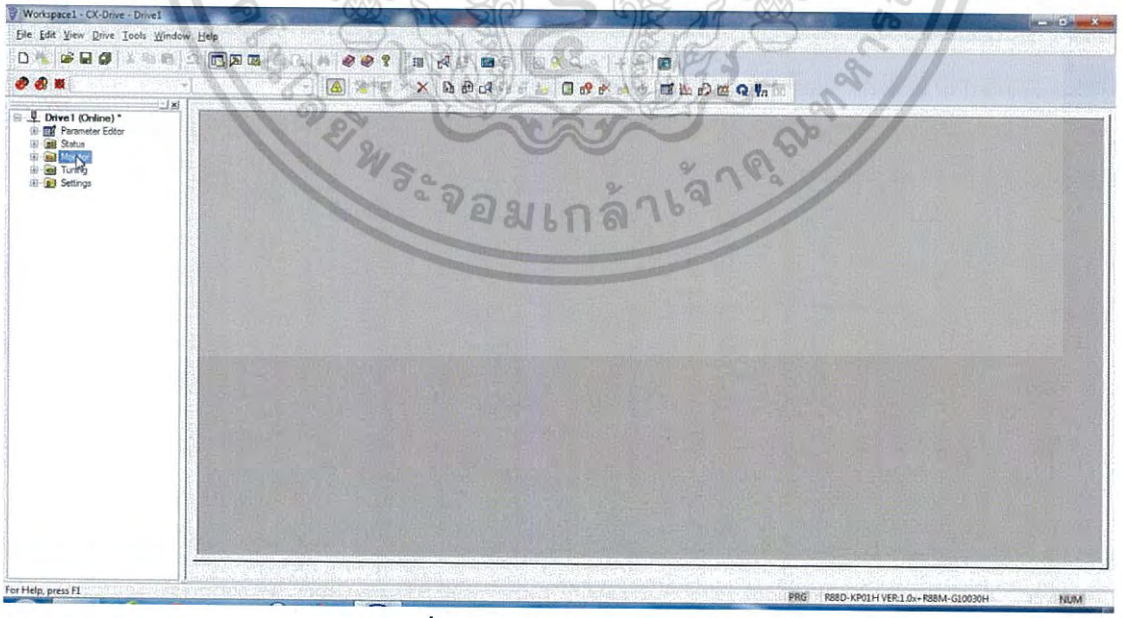
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนแรกเชื่อมต่อ Hardware เข้ากับ PC หรือ Laptop โดยใช้สาย Mini USB จากนั้นเปิดโปรแกรม DX-Drive -> เลือก Drive -> เลือก Autodetect



รูปที่ 3.2 การ detect อุปกรณ์ของโปรแกรม

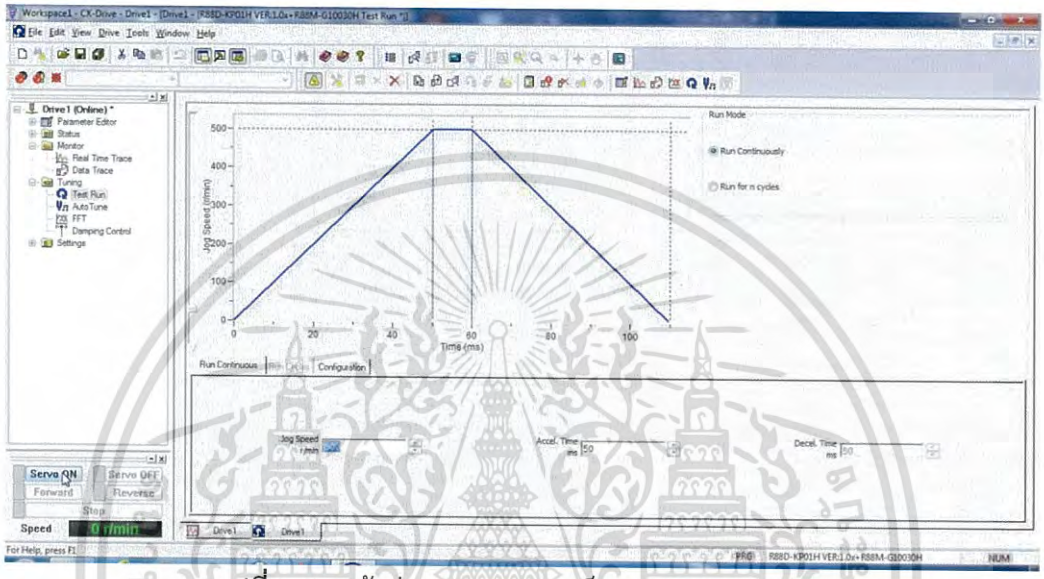
ในการเชื่อมต่อครั้งแรกตัวโปรแกรมจะทำการค้นหา Hardware ด้วยตัวเองก่อน เมื่อพบแล้ว จะขึ้นแถบข้อมูลให้ทำการควบคุม โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แถบควบคุม Servo Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

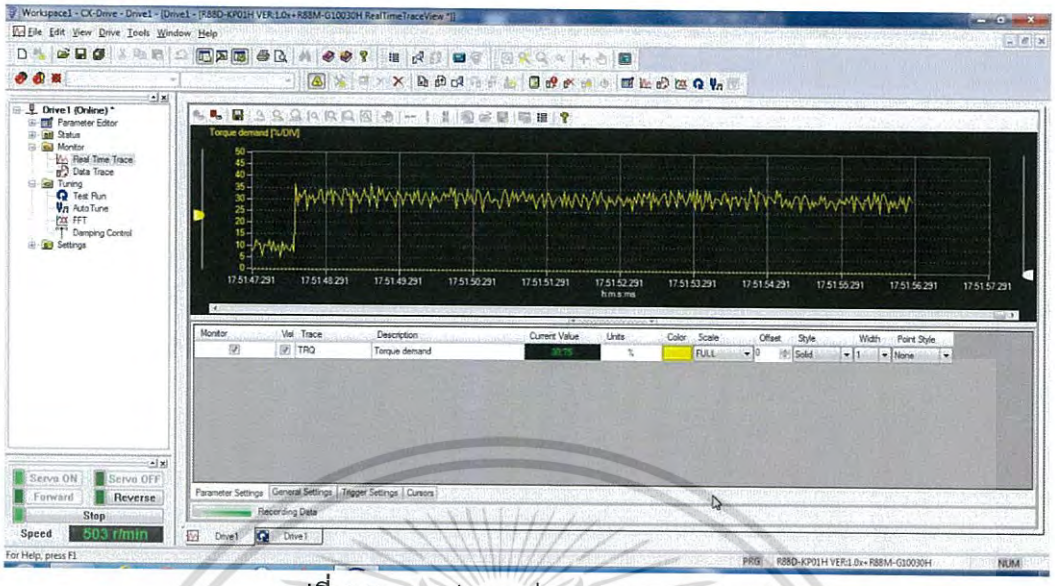
เลือกที่แถบ Tunning -> Test Run -> จากนั้นจะขึ้นหน้าต่างให้ใส่ค่า Parameter ต่างๆ ซึ่งตรงจุดนี้ เราจะทำการเปลี่ยนค่า Speed (RPM) ต่างๆ ขอ Servo Motor หลังจากเลือกความเร็วได้แล้ว ให้คลิกที่ Servo ON -> Forward ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือ (จากรูปที่ 3.4 Speed = 500 RPM, Accel. Time = 50ms, Decel. Time = 50ms)



รูปที่ 3.4 หน้าต่างควบคุมความเร็วของ Servo motor

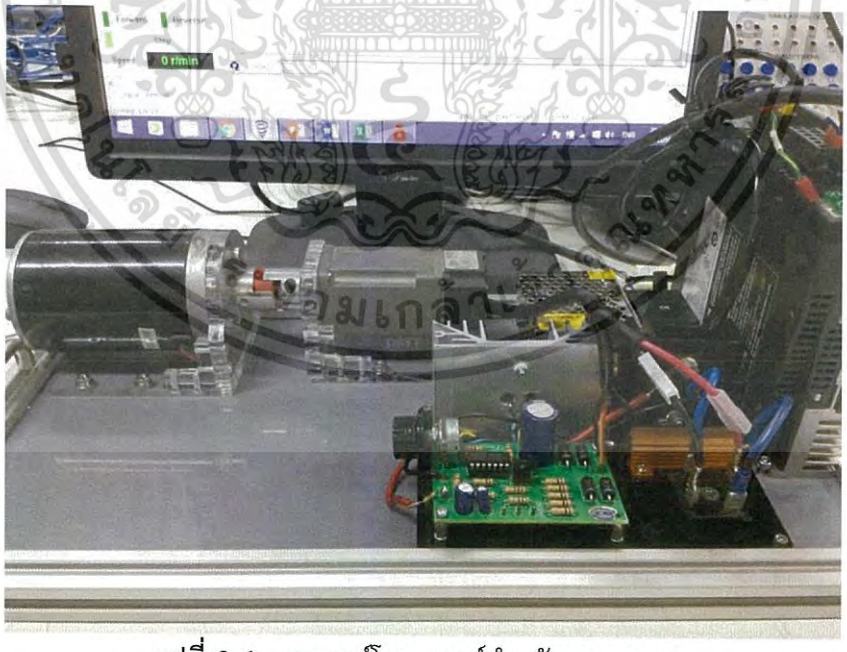
นอกจากนี้ตัวโปรแกรมยังสามารถบันทึกค่าข้อมูลเป็นกราฟได้ โดยจะเน้นในด้านการหา Torque ของตัวมอเตอร์ โดยกราฟที่ได้จะเป็นค่า Torque demand(%) ซึ่งแสดงถึงผลของ Torque ที่เกิดขึ้น โดยเลือกที่แถบ Monitor -> เลือก Real Time Trace (จากรูปที่ 3.5 Speed = 500 RPM , Scale = FULL Scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่า Torque demand

สำหรับการวัดค่าพลังงานที่ออกมาจากตัวมอเตอร์นั้น จะใช้อุปกรณ์การวัดคือ Digital Multimeter ซึ่งการวัดในแต่ละครั้งนั้น มีเงื่อนไขที่ต้องคำนึงอยู่ 2 เงื่อนไขคือ สภาวะ “No Load” และ “Full Load” โดยผู้ทดลองสามารถปรับเปลี่ยนทั้งสองสภาวะนี้ได้ จากการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัว Potentiometer



รูปที่ 3.6 ชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่สถาวะไร้โหลด

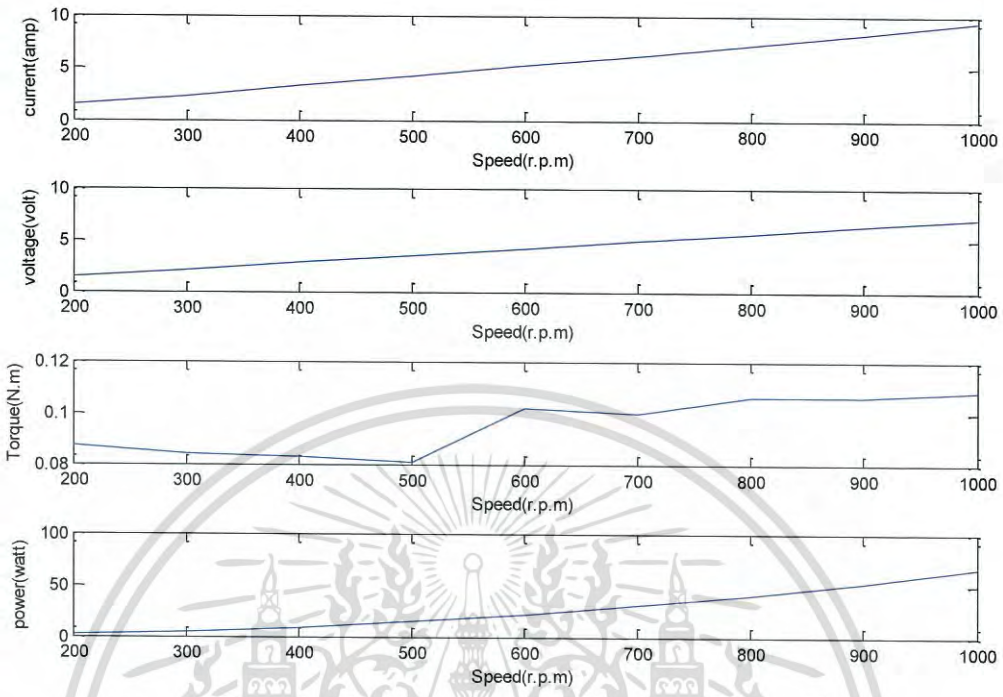
สำหรับผลการทดลองที่สภาวะไร้โหลดหรือ No Load ของชุดเซอร์โวมอเตอร์ ที่ความเร็วตั้งแต่ 200-1000 rpm โดยใช้เครื่องมือ Digital Multimeter ในการวัด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่สภาวะไร้โหลด

Speed	Current (A)	Voltage (V)	Torque Demand (%)	Torque(N.m)	Power(W)
200	1.497	1.399	9.232	0.087	2.094
300	2.317	2.1	8.932	0.084	4.866
400	3.288	2.797	8.74	0.083	9.197
500	4.174	3.496	8.54	0.081	14.592
600	5.283	4.19	10.75	0.102	22.136
700	6.219	4.892	10.58	0.1	30.423
800	7.206	5.588	11.24	0.106	40.267
900	8.234	6.317	11.23	0.106	52.014
1000	9.376	7.03	11.45	0.108	65.913

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อมีความเร็วเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนั้น มีค่ามากขึ้น สามารถแสดงในรูปของกราฟได้ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าต่างๆที่สถาวะไร้โหลด

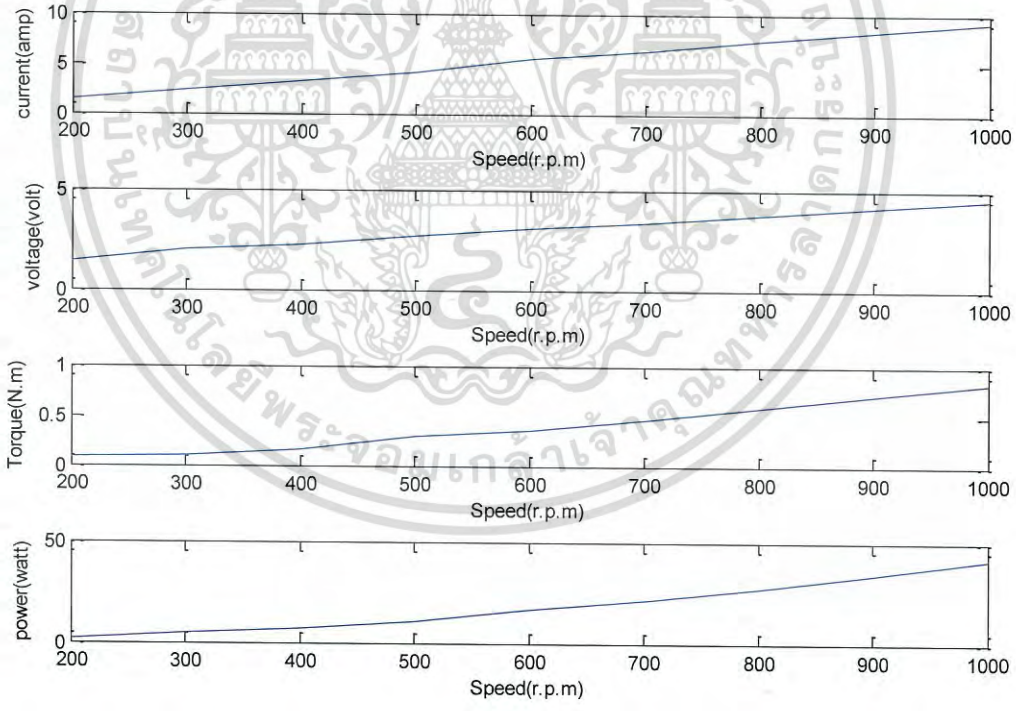
4.2 ผลการทดลองที่สภาวะโหลด

สำหรับผลการทดลองที่สภาวะโหลดหรือ Full Load ของชุดเซอร์โวมอเตอร์ ที่ความเร็วตั้งแต่ 200-1000 rpm โดยใช้เครื่องมือ Digital Multimeter ในการวัด ทำการวัดที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและที่ตัวต้านทาน แสดงดังตารางข้างล่างตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่สภาวะโหลด ณ มอเตอร์ไฟฟ้า

Speed	Current (A)	Voltage (V)	Torque Demand (%)	Torque(N.m)	Power(W)
200	1.375	1.398	9.112	0.087	1.922
300	2.316	2.003	10.788	0.102	4.639
400	3.252	2.271	17.02	0.161	7.385
500	4.093	2.658	31.01	0.294	10.879
600	5.551	3.077	38.25	0.363	17.08
700	6.28	3.406	49.212	0.467	21.389
800	7.283	3.763	61.062	0.58	27.406
900	8.198	4.126	73.81	0.701	33.825
1000	9.162	4.529	87.24	0.828	41.495

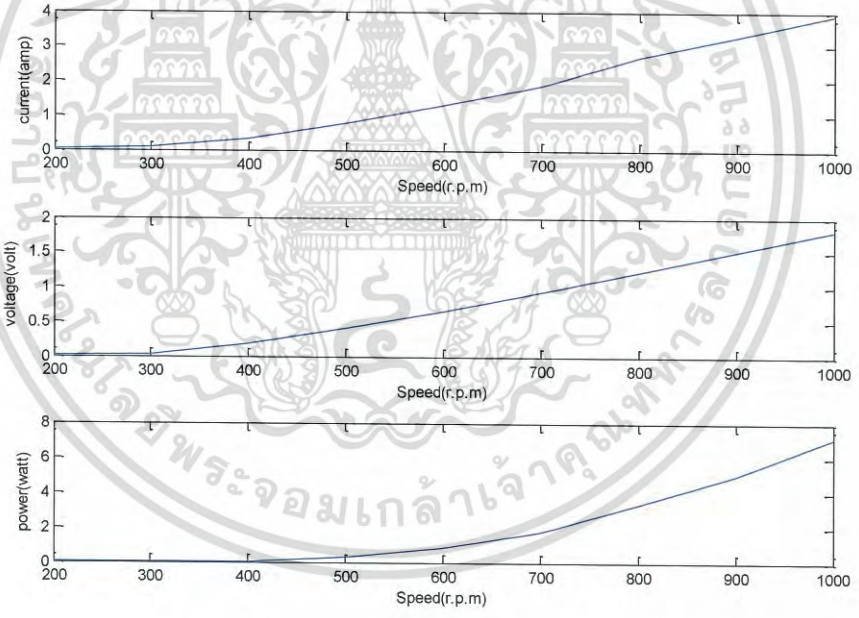


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าต่างๆ ณ มอเตอร์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่สภาวะโหลด ณ ตัวต้านทาน

Speed	Current(A)	Voltage(V)	Power(W)
200	0.001	0.001	0.000001
300	0.098	0.034	0.003332
400	0.331	0.191	0.063221
500	0.781	0.407	0.317867
600	1.318	0.65	0.8567
700	1.871	0.934	1.747514
800	2.701	1.229	3.319529
900	3.294	1.518	5.000292
1000	3.923	1.821	7.143783



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าต่างๆ ณ ตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 เห็นได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับตอนระบบอยู่ในสถาวะไร้โหลดคือ พารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ในขณะที่ความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ยกเว้นค่าแรงบิดหรือ Torque ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยสาเหตุที่ว่า Torque คือแรงที่มอเตอร์พยายามเอาชนะโหลด เพราะฉนั้น ค่าTorque จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนแปรผันตรงกับความเร็ว

หากพิจารณาที่ตัวต้านทานหรือที่โหลดของระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานที่มอเตอร์ผลิตออกมาในตอนแรก พลังงาน ณ จุดของโหลดมีค่าลดลงอย่างมาก เนื่องจากเราพิจารณาให้พลังงานที่มอเตอร์ไฟฟ้าผลิต เป็นกำลังไฟฟ้าที่ขาเข้า และพลังงานที่โหลด เป็นกำลังไฟฟ้าที่ขาออก ซึ่งตามหลักการควรจะมีค่าเท่ากัน หรือใกล้เคียงกัน แต่ผลการทดลองชี้เห็นว่า เกิดพลังงานสูญเสีย (Power Loss) อยู่ในระบบ ซึ่งในการทดลองไม่ได้สรุปออกมาเป็นตัวเลขชัดเจนแต่อย่างใด เพียงแต่ทราบว่าเกิดพลังงานสูญเสียในระบบอย่างแน่นอน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการสะท้อนพลังงานของชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ โดยการนำเซอร์โวมอเตอร์ไปคลัปปิ้งกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมีการใช้โปรแกรม CX-One เพื่อควบคุมความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์ เนื่องจากชุดของเซอร์โวมอเตอร์ที่ทำการคลัปปิ้งกับมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ จึงได้ทำการวิเคราะห์พลังงานต่างๆ ที่มอเตอร์ไฟฟ้า แทนที่จะเป็นเซอร์โวมอเตอร์โดยตรง โดยพิจารณาเหมือนให้ชุดเซอร์โวมอเตอร์ เป็นแหล่งจ่าย ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายที่ให้ทั้งความเร็วและแรงบิด อีกนัยหนึ่งคือให้พลังงานกล ส่วนทางด้านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หลังจากได้รับแรงบิด จากตัวเซอร์โวมอเตอร์ จึงปรับเปลี่ยนประพฤติกรรมให้กลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแทน แล้วจึงส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังตัวต้านที่เป็นโหลดของระบบ

ซึ่งในการทดลองได้แสดงไว้เป็นตัวเลขชัดเจนเกี่ยวกับ พลังงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ผลิตออกมา และ พลังงานที่โหลดของระบบ ตั้งแต่ความเร็ว 200 ถึง 1000 RPM โดยจะเห็นได้ว่า ในสถาวะไร้โหลด(No Load) พารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็ว แต่ถ้าระบบอยู่ในสถาวะโหลด(Full Load) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้นั้น จะมีค่าลดลงแต่แรงบิดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ตามความเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองเกิดพลังงานสูญเสีย (Power Loss) ขึ้นในระบบอย่างมาก ยิ่งความเร็วเพิ่มขึ้น จะยิ่งเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น เพียงแต่ไม่ได้สรุปเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงค่าพลังงานที่สูญเสียไป ซึ่งอาจจะเกิดจากความร้อนในระบบ เมื่อทำการทดลองนานๆ หากมีการพัฒนาต่อในอนาคต ควรจะมีการสรุปเป็นค่าที่ชัดเจนออกมา อาจรวมถึงวิธีการแก้ไขเพื่อปรับลดค่าพลังงานสูญเสียของระบบด้วยก็เป็นได้

5.3 อุปสรรคและปัญหา

โปรแกรม CX-One อาจมีปัญหาใช้งานไม่ได้กับ OS ใหม่ๆ อย่างเช่น Windows 8/8.1 หรือ Windows 10 ถ้าเป็นไปได้ควรลงโปรแกรมกับ Windows 7 เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา และหากตัวโปรแกรมตรวจไม่พบฮาร์ดแวร์ ขณะเชื่อมต่อกันอยู่ ให้ทำการตรวจสอบว่าโปรแกรมมีไดร์เวอร์ที่ตรงกับรุ่นของเซอร์โวไดร์ฟหรือไม่ (R88D-KP) หากไม่พบ วิธีการแก้ปัญหาเบื้องต้นคือ เข้าไปทำการเปลี่ยน Region ตรง Setting ให้เป็น Asia และหากยังไม่สามารถตรวจสอบได้อีก ควรจะลงโปรแกรมใหม่ดูอีกรอบหนึ่ง นอกจากนี้ควรหมั่นสังเกตความร้อนที่เซอร์โวมอเตอร์อยู่เสมอ เพราะเมื่อทำการทดลองไปสักพัก อาจจะเกิดความร้อนขึ้นที่ตัวมอเตอร์ได้ เมื่อเป็นเช่นนั้น ควรหยุดการทดลองก่อน และรอให้มอเตอร์เย็นลง จึงทำการทดลองใหม่ มิเช่นนั้นอาจทำให้มอเตอร์เกิดการเสียหายได้ เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ ที่มีพารามิเตอร์อยู่มากถึง 600 พารามิเตอร์ แต่พารามิเตอร์หลักๆ ที่สำคัญในการทดลองไม่ได้มากจนเกิดที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษา เพราะฉนั้นควรเข้าไปศึกษาเพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับพารามิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งจะทำให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในตัวของเซอร์โวมอเตอร์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] รศ.ธีรศิลป์ ทุมวิภาตและสุภาพร จำปาทอง. (2545). *เรียนรู้ PLC ขั้นต้นด้วยตัวเอง*

[2] MILWAUKEE SCHOOL OF ENGINEERING. (Page 6.1). *LABORATORY SESSION 6: DC GENERATOR LOAD CHARACTERISTICS*

[3] Simple Electric Motors. *Calculations.* http://simplemotor.com/calculations/

[4] Shorya Awtar. (2000). MAGNETIC COUPLING BETWEEN *DC TACHOMETER AND MOTOR AND ITS EFFECTION CONTROL IN THE PRESENCE OF SHAFT COMPLIANCE*

[5] MICROMO Corp., *DC Motor Calculation*, http://www.micromo.com/technical-library/dc-motor-tutorials/motor-calculations

[6] OMRON Corporation, *Datasheet AC Servomotors/Drives G5-series Pulse Train Input Type*, pp. 5-12, Tokyo, Japan, 2012

[7] OMRON Corporation, *CX-Drive OPERATIONAL MANUAL*, Tokyo, Japan, 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

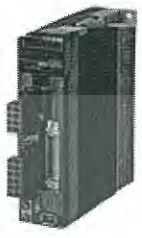
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G5-series Pulse Train Input Type AC Servo Drives

R88D-KP

Contents

- Ordering Information
- Specifications
  - General Specifications
  - Characteristics
    - Servo Drives with Single-phase or three-phase 200 VAC Input Power
    - Servo Drives with Three-phase 200 VAC Input Power
- Components and Functions
  - Servo Drive Part Names
  - Functions
- Dimensions



Specifications

General Specifications

Item			Specifications
Ambient operating temperature and operating humidity			0 to +50°C, 20 to 85%RH max. (with no condensation)
Storage ambient temperature and humidity			-20 to +65°C, 20 to 85%RH. (with no condensation) Maximum allowable temperature: 80°C for 72 hours maximum (with no condensation)
Operating and storage atmosphere			No corrosive gases
Vibration resistance			10 to 60 Hz and at an acceleration of 5.88 m/s² or less (Not to be run continuously at the resonance point)
Insulation resistance			Between power supply/power line terminals and FG terminal: 0.5 MΩ min. (at 500 VDC Megger)
Dielectric strength			Between power supply/power line terminals and FG terminal: 1,500 VAC for 1 min at 50/60 Hz
Protective structure			Built into panel
International standard	EC directives	EMC directive	EN55011, EN61000-6-2, IEC61800-3
		Low voltage directive	EN61800-5-1
	UL standards		UL508C
	CSA standards		CSA22.2 No.14

Note: 1. The above items reflect individual evaluation testing. The results may differ under compound conditions.
Note: 2. Never perform dielectric strength or other megameter tests on the Servo Drive. Failure to follow this guideline may result in damaging the internal elements.
Note: 3. Depending on the operating conditions, some Servo Drive parts will require maintenance. For details, refer to the G5-series Pulse Train Input Type USER'S MANUAL. Man.No. I584

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics

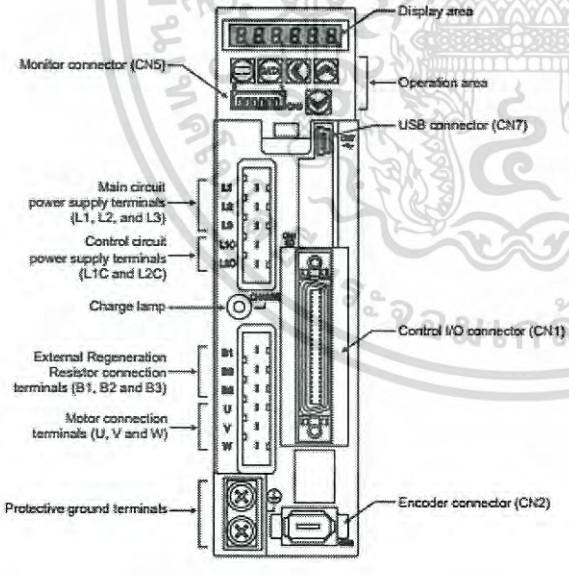
● Servo Drives with 200VAC Input Power
for Single-phase/Three-phase input type

Item			R88D-KP01H	R88D-KP02H	R88D-KP04H	R88D-KP08H	R88D-KP10H	R88D-KP15H
Continuous output current (rms)			1.2A	1.6A	2.6A	4.1A	5.9A	9.4A
Input power supply	Main circuit	Power supply capacity	0.5KVA	0.5KVA	0.9KVA	1.3KVA	1.8KVA	2.3KVA
		Power supply voltage	Single-phase or Three-phase 200 to 240 VAC (170 to 264 V) 50/60 Hz					
		Rated current	1.6/0.9A *2	2.4/1.3A *2	4.1/2.4A *2	6.6/3.6A *2	9.1/5.2A *2	14.2/8.1A *2
		Heat value *1	14.3/13.7W *2	23/19W *2	33/24W *2	30/35.5W *2	57/49W *2	104/93W *2
	Control circuit	Power supply voltage	Single-phase 200 to 240 VAC (170 to 264 V) 50/60 Hz					
		Heat value *1	4W	4W	4W	4W	7W	7W
Weight			Approx. 0.8 kg	Approx. 0.8kg	Approx. 1.0kg	Approx. 1.6kg	Approx. 1.8kg	Approx. 1.8kg
Maximum applicable motor capacity			100W	200W	400W	750W	1kW	1.5kW
Applicable Servomotors	3,000 r/min Servomotors	INC	KE05030H KE10030H	KE20030H	KE40030H	KE75030H	–	KE1K030H KE1K530H
	2,000 r/min Servomotors	INC	–	–	–	–	KE1K020H	KE1K520H
	1,000 r/min Servomotors	INC	–	–	–	–	–	KE90010H

*1. The heat value is given for rated operation.
*2. The first value is for single-phase input power and the second value is for 3-phase input power.

Components and Functions

Servo Drive Part Names



Display area
A 6-digit 7-segment LED display shows the Servo Drive status, alarm codes, parameters, and other information.

Operation area
Monitors the parameter setting and driver condition.

Charge Lamp
Lits when the main circuit power supply is turned ON.

Control I/O Connector (CN1)
Used for command input signals and I/O signals.

Encoder connector (CN2)
Connector for the encoder installed in the Servomotor.

Monitor Connector (CN5)
Uses a specified cable to monitor the motor rotation speed, torque command value, etc.

USB connector (CN7)
Communications connector for the computer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G5-series Pulse Train Input Type series AC Servomotors

R88M-KE INC

Contents

- Ordering Information
- Specifications
  - General Specifications
  - Characteristics/Torque and Rotation Speed Characteristics
  - <Cylinder type>
    - •3,000r/min servomotors(200V)
    - •2,000r/min servomotors(200V)
    - •1,000r/min servomotors(200V)
  - Encoder Specifications
- Dimensions

Specifications

General Specifications

Item			3,000-r/min motors 50 to 750W	2,000-r/min motors 3,000-r/min motors 1 to 5kW	1,000-r/min motors 900 W to 3kW
Ambient operating temperature and operating humidity			0 to 40°C 20 to 85% RH (with no condensation)		
Storage ambient temperature and humidity			–20 to +65°C, 20% to 85% RH (with no condensation) Maximum allowable temperature: 80°C for 72 hours maximum (standard humidity)		
Operating and storage atmosphere			No corrosive gases		
Vibration resistance *			Acceleration of 49 m/s² 24.5 m/s² max. in X, Y, and Z directions when the motor is stopped		
Impact resistance			Acceleration of 98 m/s² max. 3 times each in X, Y, and Z directions		
Insulation resistance			Between power terminal and FG terminal: 20 MΩ min. (at 500 VDC Megger)		
Dielectric strength			1,500 VAC between power terminal and FG terminal for 1 min (voltage 200 V) 1,000 VAC between brake terminal and FG terminal for 1 min		
Insulation class			Type B	Type F	
Protective structure			IP65 (except for through-shaft parts and motor and encoder connector pins)		
International standard	EC directive	Low voltage directive	EN60034-1/-5		
	UL standards		UL1004-1		
	CSA standards		CSA 22.2 No.100		

* The amplitude may be amplified by machine resonance. Do not exceed 80% of the specified value for extended periods of time.
Note: 1. Do not use the cable when it is laying in oil or water.
Note: 2. Do not expose the cable outlet or connections to stress due to bending or the weight of the cable itself.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics/Torque and Rotation Speed Characteristics

Characteristics
<Cylinder type>
3,000 r/min Servomotors (200 VAC Input Power)

Item \ Model (R88M-)		Unit	KE05030H	KE10030H	KE20030H	KE40030H	KE75030H	KE1K030H	KE1K530H	KE2K030H	KE3K030H	KE4K030H	KE5K030H
Rated output *1		W	50	100	200	400	750	1,000	1,500	2,000	3,000	4,000	5,000
Rated torque *1		N・m	0.16	0.32	0.64	1.3	2.4	3.18	4.77	6.37	9.55	12.7	15.9
Rated rotation speed		r/min	3,000										
Momentary maximum rotation speed		r/min	5,000				4,500	5,000				4,500	
Momentary maximum torque *1		N・m	0.48	0.95	1.91	3.8	7.1	9.55	14.3	19.1	28.6	38.2	47.7
Rated current *1		A (rms)	1.1	1.1	1.6	2.6	4.0	6.6	8.2	11.3	18.1	19.6	24.0
Momentary maximum current *1		A (rms)	4.7	4.7	6.9	11.0	17.0	28	35	48	77	83	102
Rotor inertia	Without brake	kg・m²	0.025×10^{-4}	0.051×10^{-4}	0.14×10^{-4}	0.26×10^{-4}	0.87×10^{-4}	2.03×10^{-4}	2.84×10^{-4}	3.68×10^{-4}	6.50×10^{-4}	12.9×10^{-4}	17.4×10^{-4}
	With brake	kg・m²	0.027×10^{-4}	0.054×10^{-4}	0.16×10^{-4}	0.28×10^{-4}	0.97×10^{-4}	2.35×10^{-4}	3.17×10^{-4}	4.01×10^{-4}	7.85×10^{-4}	14.2×10^{-4}	18.6×10^{-4}
Applicable load inertia		–	30 times the rotor inertia max. *2				20 times the rotor inertia max. *2	15 times the rotor inertia max. *2					
Torque constant *1		N・m/A	0.10±10%	0.21±10%	0.29±10%	0.36±10%	0.45±10%	0.37	0.45	0.44	0.41	0.49	0.49
Power rate *1	Without brake	kW/s	10.4	20.1	30.3	62.5	66.0	49.8	80.1	110	140	126	146
	With brake	kW/s	9.3	19.0	25.8	57.2	58.9	43.0	71.8	101	116	114	136
Mechanical time constant	Without brake	ms	1.56	1.08	0.71	0.52	0.45	0.61	0.49	0.44	0.41	0.51	0.50
	With brake	ms	1.74	1.14	0.84	0.57	0.51	0.71	0.55	0.48	0.49	0.56	0.54
Electrical time constant		ms	0.70	0.79	2.6	3.0	4.6	5.8	6.3	6.7	11	12	13
Allowable radial load *3		N	68.6	68.6	245	245	392	490	490	490	490	784	784
Allowable thrust load *3		N	58.8	58.8	98	98	147	196	196	196	196	343	343
Weight	Without brake	kg	Approx. 0.32	Approx. 0.47	Approx. 0.82	Approx. 1.2	Approx. 2.3	Approx. 3.5	Approx. 4.4	Approx. 5.3	Approx. 8.3	Approx. 11.0	Approx. 14.0
	With brake	kg	Approx. 0.53	Approx. 0.68	Approx. 1.3	Approx. 1.7	Approx. 3.1	Approx. 4.5	Approx. 5.4	Approx. 6.3	Approx. 9.4	Approx. 12.6	Approx. 16.0
Radiator plate dimensions (material)			100×80×t10 (Al)		130×120×t12 (Al)		170×160 ×t12 (Al)	320×300×t20 (Al)		380×350×t30 (Al)			
Applicable drivers (R88D-)			KP01H	KP01H	KP02H	KP04H	KP08H	KP15H	KP15H	KP20H	KP30H	KP50H	KP50H
Brake specifications	Brake inertia	kg・m²	2×10^{-7}	2×10^{-7}	1.8×10^{-6}	1.8×10^{-6}	7.5×10^{-6}	0.33×10^{-4}	0.33×10^{-4}	0.33×10^{-4}	0.33×10^{-4}	1.35×10^{-4}	1.35×10^{-4}
	Excitation voltage *4	V	24 VDC±5%					24 VDC±10%					
	Power consumption (at 20°C)	W	7	7	9	9	10	19	19	19	19	22	22
	Current consumption (at 20°C)	A	0.3	0.3	0.36	0.36	0.42	0.81±10%	0.81±10%	0.81±10%	0.81±10%	0.90±10%	0.90±10%
	Static friction torque	N・m	0.29 min.	0.29 min.	1.27 min.	1.27 min.	2.45min.	7.8min.	7.8min.	7.8min.	11.8min.	16.1min.	16.1min.
	Attraction time *5	ms	35 max.	35 max.	50 max.	50 max.	70max.	50max.	50max.	50max.	80max.	110max.	110max.
	Release time *5	ms	20 max.	20 max.	15 max.	15 max.	20max.*6	15max.*6	15max.*6	15max.*6	15max.*6	50max.*7	50max.*7
	Backlash		±1°										
	Allowable work per braking	J	39.2	39.2	137	137	196	392	392	392	392	1,470	1,470
	Allowable total work	J	4.9×10^{3}	4.9×10^{3}	44.1×10^{3}	44.1×10^{3}	1.47×10^{5}	4.9×10^{5}	4.9×10^{5}	4.9×10^{6}	4.9×10^{6}	2.2×10^{6}	2.2×10^{6}
	Allowable angular acceleration	rad/s²	30,000 max. (Speed of 2,800 r/min or more must not be changed in less than 10 ms)					10,000					
	Brake limit	–	10 million times min.										
	Rating	–	Continuous										
	Insulation class	–	Type F										

*1. These are the values when the motor is combined with a driver at normal temperature (20°C, 65%). The momentary maximum torque indicates the standard value.

*2. Applicable load inertia.

- The operable load inertia ratio (load inertia/rotor inertia) depends on the mechanical configuration and its rigidity. For a machine with high rigidity, operation is possible even with high load inertia. Select an appropriate motor and confirm that operation is possible.
- If the dynamic brake is activated frequently with high load inertia, the Dynamic Brake Resistor may burn. Do not repeatedly turn the servo ON/OFF while the dynamic brake is enabled.
- The dynamic brake is designed only for emergency stops. Design the system so that the Servomotor remains stopped for at least 3 minutes after applying the dynamic brake. Otherwise the dynamic brake circuits may fail.

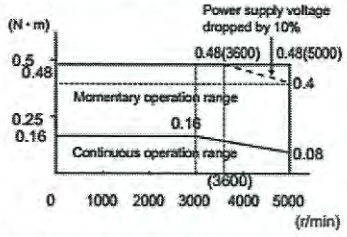
*3. The allowable radial and thrust loads are the values determined for a limit of 20,000 hours at normal operating temperatures. The allowable radial loads are applied as shown in the following diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

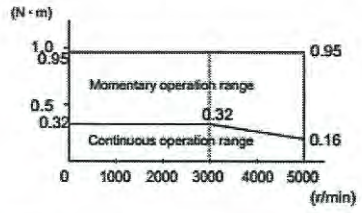
Torque and Rotation Speed Characteristics
3,000 r/min Servomotors (200 VAC Input Power)

The following graphs show the characteristics with a 3 m standard cable and a 200 VAC input.

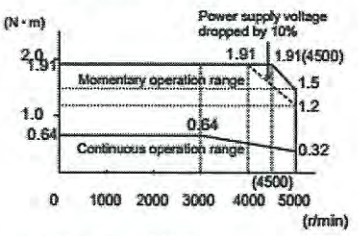
• R88M-KE05030H (50W)



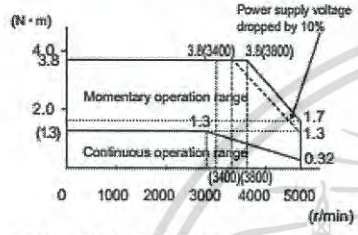
• R88M-KE10030H (100W)



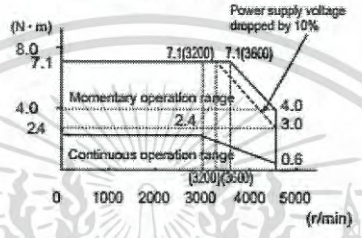
• R88M-KE20030H (200W)



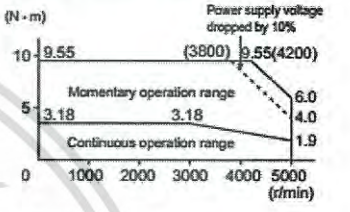
• R88M-KE40030H (400W)



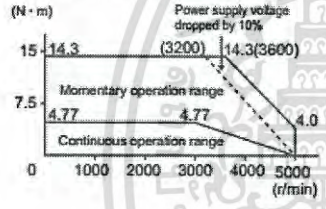
• R88M-KE75030H (750W)



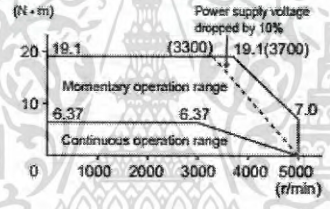
• R88M-KE1K030H (1kW)



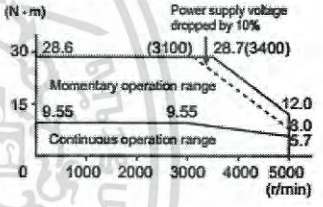
• R88M-KE1K530H (1.5kW)



• R88M-KE2K030H (2kW)



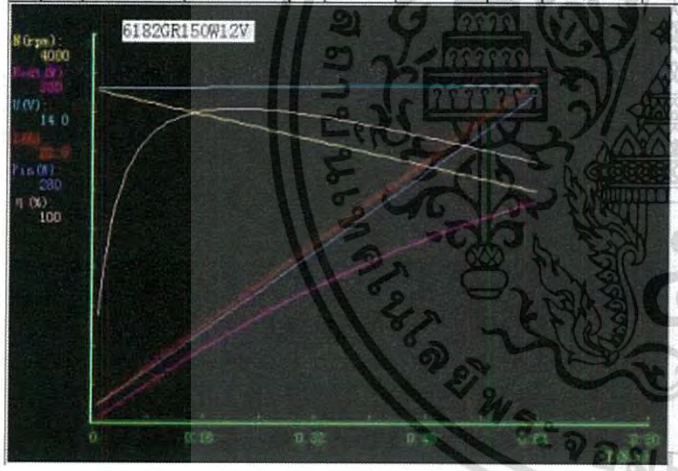
• R88M-KE3K030H (3kW)

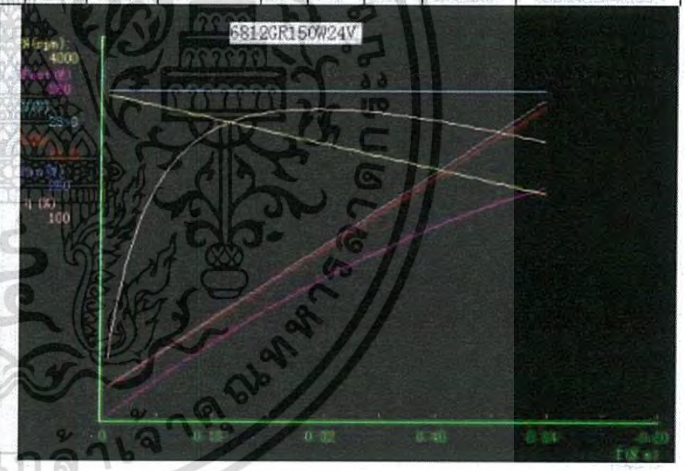


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Motor Specifications

	Series/Model			No load			With Load					TYPICAL APPLICATION	Unit Wt. kgs	Qty/ctn (pcs)	G.W./ ctn (kgs)	Carton SIZE	SHAFT FASTEN
				Volt.	Current	Rotate Spped	Torque	Rotate Spped	Out Put	Current	Efficiency						
				V	(A)	(rpm)	N.m	(rpm)	(W)	(A)	(%)						
17	6812	6812GR150W	6812GR15-12	12	0.6~1.1	3500±5%	0.56	2400-2700	150	≤14.3	η≥68	SCOOTER	1.2	20	26.8	42x27x18	3M belt Sprocket
18	6812	6812GR150W	6812GR15-24	24	≤0.60	3500±5%	0.56	2400-2700	150	≤8.9	η≥70	SCOOTER	1.2	20	26.8	42x27x18	3M belt Sprocket





2N3055(NPN), MJ2955(PNP)

Preferred Device

Complementary Silicon Power Transistors

Complementary silicon power transistors are designed for general−purpose switching and amplifier applications.

Features

- DC Current Gain − h_{FE} = 20−70 @ I_C = 4 Adc
- Collector−Emitter Saturation Voltage − $V_{CE(sat)}$ = 1.1 Vdc (Max) @ I_C = 4 Adc
- Excellent Safe Operating Area
- Pb−Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector−Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector−Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector−Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter−Base Voltage	V_{EB}	7	Vdc
Collector Current − Continuous	I_C	15	Adc
Base Current	I_B	7	Adc
Total Power Dissipation @ T_C = 25°C Derate Above 25°C	P_D	115 0.657	W W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	−65 to +200	°C

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

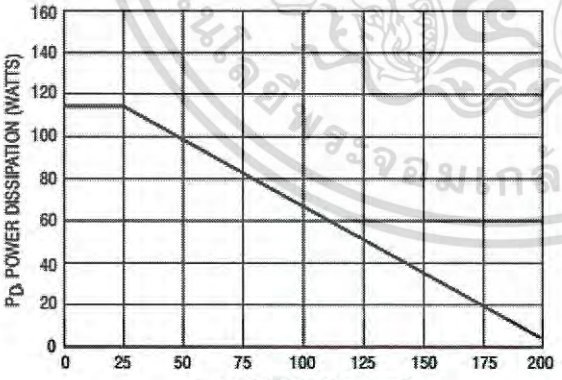


Figure 1. Power Derating

*For additional information on our Pb−Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

15 AMPERE POWER TRANSISTORS COMPLEMENTARY SILICON 60 VOLTS, 115 WATTS

TO−204AA (TO−3)
CASE 1−07
STYLE 1

MARKING DIAGRAM

xxxx55 = Device Code
xxxx = 2N30 or MJ20
G = Pb−Free Package
A = Location Code
YY = Year
WW = Work Week
MEX = Country of Orgin

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
2N3055	TO−204AA	100 Units / Tray
2N3055G	TO−204AA (Pb−Free)	100 Units / Tray
MJ2955	TO−204AA	100 Units / Tray
MJ2955G	TO−204AA (Pb−Free)	100 Units / Tray

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction–to–Case	$R_{\theta JC}$	1.52	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS*				
Collector–Emitter Sustaining Voltage (Note 1) (I_C = 200 mAdc, I_B = 0)	$V_{CEO(sus)}$	60	–	Vdc
Collector–Emitter Sustaining Voltage (Note 1) (I_C = 200 mAdc, R_{BE} = 100 Ω)	$V_{CER(sus)}$	70	–	Vdc
Collector Cutoff Current (V_{CE} = 30 Vdc, I_B = 0)	I_{CEO}	–	0.7	mAdc
Collector Cutoff Current (V_{CE} = 100 Vdc, $V_{BE(off)}$ = 1.5 Vdc) (V_{CE} = 100 Vdc, $V_{BE(off)}$ = 1.5 Vdc, T_C = 150°C)	I_{CEX}	– –	1.0 5.0	mAdc
Emitter Cutoff Current (V_{BE} = 7.0 Vdc, I_C = 0)	I_{EBO}	–	5.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS* (Note 1)				
DC Current Gain (I_C = 4.0 Adc, V_{CE} = 4.0 Vdc) (I_C = 10 Adc, V_{CE} = 4.0 Vdc)	h_{FE}	 20 5.0	 70 –	–
Collector–Emitter Saturation Voltage (I_C = 4.0 Adc, I_B = 400 mAdc) (I_C = 10 Adc, I_B = 3.3 Adc)	$V_{CE(sat)}$	 –	 1.1 3.0	Vdc
Base–Emitter On Voltage (I_C = 4.0 Adc, V_{CE} = 4.0 Vdc)	$V_{BE(on)}$	–	1.5	Vdc
SECOND BREAKDOWN				
Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased (V_{CE} = 40 Vdc, t = 1.0 s, Nonrepetitive)	$I_{s/b}$	2.87	–	Adc
DYNAMIC CHARACTERISTICS				
Current Gain – Bandwidth Product (I_C = 0.5 Adc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 MHz)	f_T	2.5	–	MHz
*Small–Signal Current Gain (I_C = 1.0 Adc, V_{CE} = 4.0 Vdc, f = 1.0 kHz)	h_{fe}	15	120	–
*Small–Signal Current Gain Cutoff Frequency (V_{CE} = 4.0 Vdc, I_C = 1.0 Adc, f = 1.0 kHz)	f_{hfe}	10	–	kHz

*Indicates Within JEDEC Registration. (2N3055)

1. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MJE13007

Switch-mode NPN Bipolar Power Transistor

For Switching Power Supply Applications

The MJE13007 is designed for high−voltage, high−speed power switching inductive circuits where fall time is critical. It is particularly suited for 115 and 220 V switch−mode applications such as Switching Regulators, Inverters, Motor Controls, Solenoid/Relay drivers and Deflection circuits.

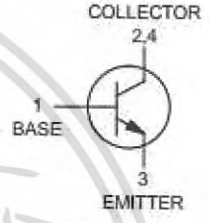
Features

- SOA and Switching Applications Information
- Standard TO−220
- These Devices are Pb−Free and are RoHS Compliant*
- Complementary to the MJE5850 through MJE5852 Series

ON Semiconductor®

www.onsemi.com

POWER TRANSISTOR
8.0 AMPERES
400 VOLTS − 80 WATTS



TO−220AB
CASE 221A−09
STYLE 1

MAXIMUM RATINGS

Rating		Symbol	Value	Unit
Collector−Emitter Sustaining Voltage		V_{CEO}	400	Vdc
Collector−Base Breakdown Voltage		V_{CES}	700	Vdc
Emitter−Base Voltage		V_{EBO}	9.0	Vdc
Collector Current	− Continuous	I_C	8.0	Adc
Collector Current	− Peak (Note 1)	I_{CM}	16	Adc
Base Current	− Continuous	I_B	4.0	Adc
Base Current	− Peak (Note 1)	I_{BM}	8.0	Adc
Emitter Current	− Continuous	I_E	12	Adc
Emitter Current	− Peak (Note 1)	I_{EM}	24	Adc
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C		P_D	80 0.64	W W/°C
Operating and Storage Temperature		T_J, T_{stg}	−65 to 150	°C

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.
1. Pulse Test: Pulse Width = 5 ms, Duty Cycle ≤ 10%.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction−to−Case	$R_{\theta JC}$	1.56	°C/W
Thermal Resistance, Junction−to−Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes 1/8" from Case for 5 Seconds	T_L	260	°C

*Measurement made with thermocouple contacting the bottom insulated mounting surface of the package (in a location beneath the die), the device mounted on a heatsink with thermal grease applied at a mounting torque of 6 to 8lbs.

*For additional information on our Pb−Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

MARKING DIAGRAM

A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
G = Pb−Free Package

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MJE13007G	TO−220 (Pb−Free)	50 Units / Rail

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS (Note 2)					
Collector−Emitter Sustaining Voltage (I_C = 10 mA, I_B = 0)	$V_{CEO(sus)}$	400	–	–	Vdc
Collector Cutoff Current (V_{CES} = 700 Vdc)	I_{CES}	–	–	0.1	mAdc
(V_{CES} = 700 Vdc, T_C = 125°C)		–	–	1.0	
Emitter Cutoff Current (V_{EB} = 9.0 Vdc, I_C = 0)	I_{EBO}	–	–	100	μAdc
SECOND BREAKDOWN					
Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased	$I_{s/b}$	See Figure 6			
Clamped Inductive SOA with Base Reverse Biased	–	See Figure 7			
ON CHARACTERISTICS (Note 2)					
DC Current Gain (I_C = 2.0 Adc, V_{CE} = 5.0 Vdc)	h_{FE}	8.0	–	40	–
(I_C = 5.0 Adc, V_{CE} = 5.0 Vdc)		5.0	–	30	
Collector−Emitter Saturation Voltage (I_C = 2.0 Adc, I_B = 0.4 Adc)	$V_{CE(sat)}$	–	–	1.0	Vdc
(I_C = 5.0 Adc, I_B = 1.0 Adc)		–	–	2.0	
(I_C = 8.0 Adc, I_B = 2.0 Adc)		–	–	3.0	
(I_C = 5.0 Adc, I_B = 1.0 Adc, T_C = 100°C)		–	–	3.0	
Base−Emitter Saturation Voltage (I_C = 2.0 Adc, I_B = 0.4 Adc)	$V_{BE(sat)}$	–	–	1.2	Vdc
(I_C = 5.0 Adc, I_B = 1.0 Adc)		–	–	1.6	
(I_C = 5.0 Adc, I_B = 1.0 Adc, T_C = 100°C)		–	–	1.5	
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Current−Gain − Bandwidth Product (I_C = 500 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 MHz)	f_T	4.0	14	–	MHz
Output Capacitance (V_{CB} = 10 Vdc, I_E = 0, f = 0.1 MHz)	C_{ob}	–	80	–	pF

SWITCHING CHARACTERISTICS

Resistive Load (Table 1)						
Delay Time	(V_{CC} = 125 Vdc, I_C = 5.0 A, I_{B1} = I_{B2} = 1.0 A, t_p = 25 μs, Duty Cycle ≤ 1.0%)		t_d	–	0.025	0.1	μs
Rise Time			t_r	–	0.5	1.5	
Storage Time			t_s	–	1.8	3.0	
Fall Time			t_f	–	0.23	0.7	
Inductive Load, Clamped (Table 1)							
Voltage Storage Time	V_{CC} = 15 Vdc, I_C = 5.0 A, V_{clamp} = 300 Vdc	T_C = 25°C	t_{sv}	–	1.2	2.0	μs
		T_C = 100°C		–	1.6	3.0	
Crossover Time	$I_{B(on)}$ = 1.0 A, $I_{B(off)}$ = 2.5 A, L_C = 200 μH	T_C = 25°C	t_c	–	0.15	0.30	μs
		T_C = 100°C		–	0.21	0.50	
Fall Time		T_C = 25°C	t_{fi}	–	0.04	0.12	μs
		T_C = 100°C		–	0.10	0.20	

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

2. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้