



รายงาน

เรื่อง มอเตอร์ไฟฟ้า

จัดทำโดย

นายกิตติชัย โปหาวิ รหัสนักศึกษา 56030263

เสนอ

อาจารย์ ผศ.โกศล ตราชู

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา ระบบสมองกลฝังตัว (EMBEDDED SYSTEM)

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม แขนงวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาระบบสมองกลฝังตัว (EMBEDDED SYSTEM) ผู้จัดทำได้ทำรายงานเรื่องมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งรายงานเรื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเรื่องที่น่าสนใจ รายงานฉบับนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง มอเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับ ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า และสตีปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

ข้าพเจ้าหวังว่า เนื้อหาในรายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ หากมีสิ่งใดในรายงานฉบับนี้จะต้องปรับปรุง ข้าพเจ้าขอน้อมรับในข้อชี้แนะและจะนำไปแก้ไขหรือพัฒนาให้ถูกต้องสมบูรณ์ต่อไป

กิตติชัย โปหาวิ

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
มอเตอร์ไฟฟ้า	1
1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)	2
1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด	2
1.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	5
1.3 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)	8
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)	8
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิด	8
3. สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)	
3.1 ความหมายของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)	14
3.2 หลักการทำงานของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)	14
3.3 คุณสมบัติเด่นของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)	15
3.4 ข้อดีของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)	15
3.5 ชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)	16
3.6 ขนาดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์มาตรฐาน	18
บรรณานุกรม	21

มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มอเตอร์ที่ใช้ในงานในปัจจุบัน แต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปต้องการความเร็ว รอบหรือกำลังงานที่ต่างกัน ซึ่งมอเตอร์แต่ละชนิด จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานกระแสไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่าดี.ซี มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีย์มอเตอร์ (Series Motor)
2. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ (Shunt Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase)
 - สปลิทเฟส มอเตอร์ (Split-Phase motor)
 - คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)
 - รีพัลชันมอเตอร์ (Repulsion-type motor)
 - ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)
 - เช็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (A.C. Two phas Motor)

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าที่เฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor)

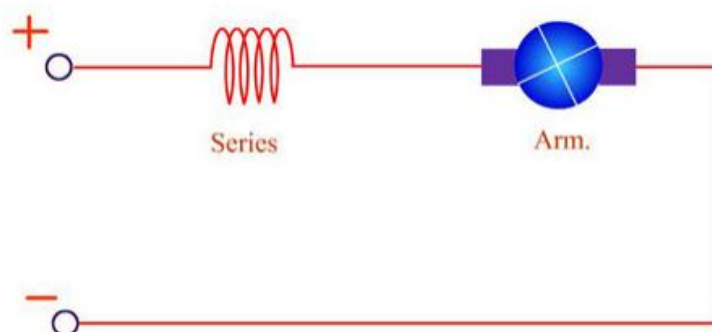
1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จัก อุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1.1.1 มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีย์มอเตอร์ (Series Motor)

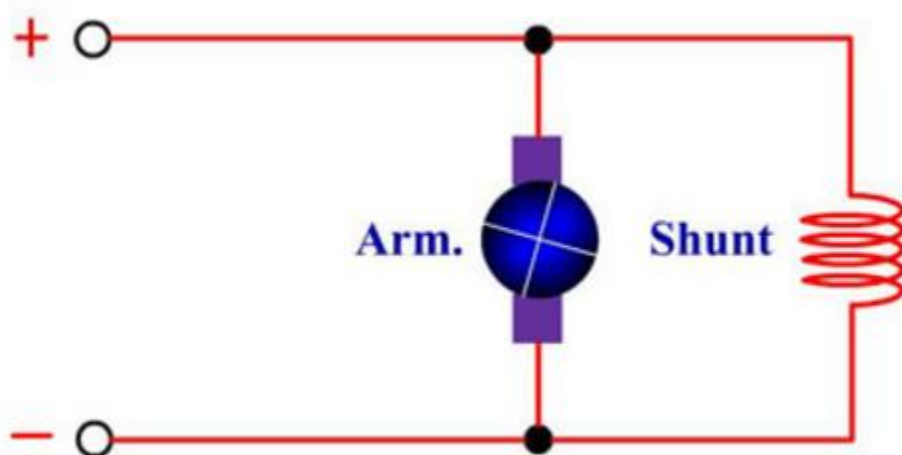
คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีย์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้า รถยกของเครนไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็ว ก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

1.1.2 มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ (Shunt Motor)

หรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ (Field Coil) จะต่อขนานกับ ขดลวด ชุดอาเมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชันทมอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับงานดังนี้พัฒนาเพราะพัฒนาต้องการความเร็วคงที่ และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย แสดงดังรูปที่ 1.2



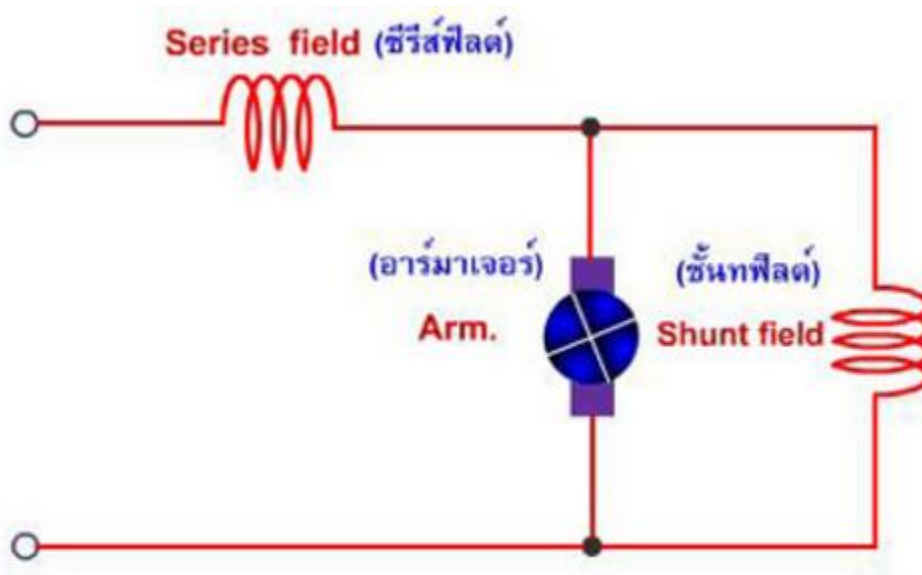
รูปที่ 1.2 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

1.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสม มีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่นั้นที่ไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่

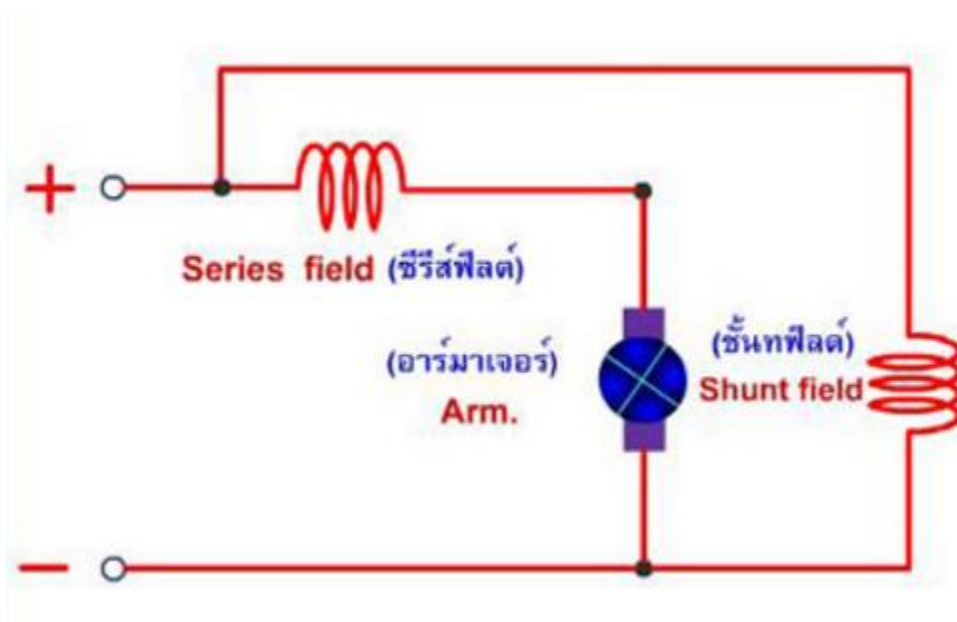
มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชันทอยู่ 2 วิธี

1. วิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชันทขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชันท (Short Shunt Compound Motor) แสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอร์ตชันทฟิลด์คอมเพาต์

2. วิธีสองคือต่อขดลวด ขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่าลองชันทฟิลด์คอมเพาต์มอเตอร์ (Long shunt motor) แสดงดังรูปที่ 1.4



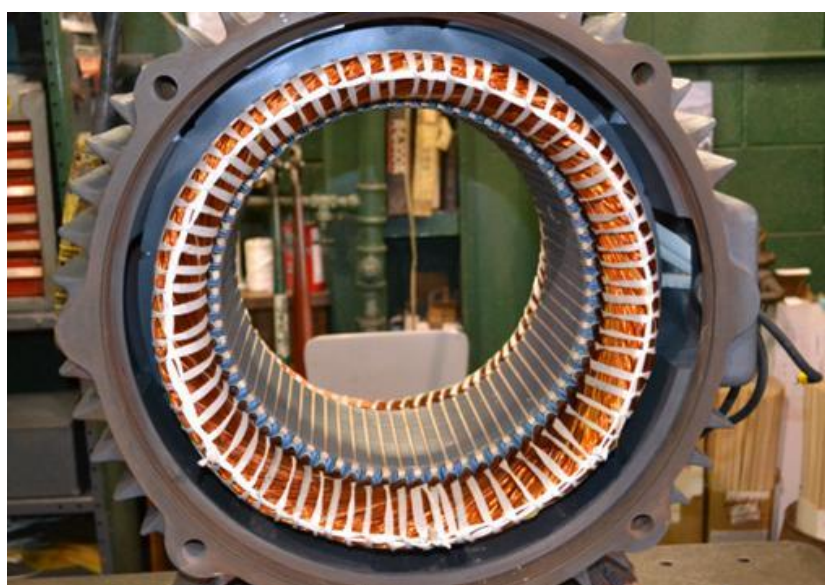
รูปที่ 1.4 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลองชันทฟิลด์คอมเพาต์มอเตอร์

1.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

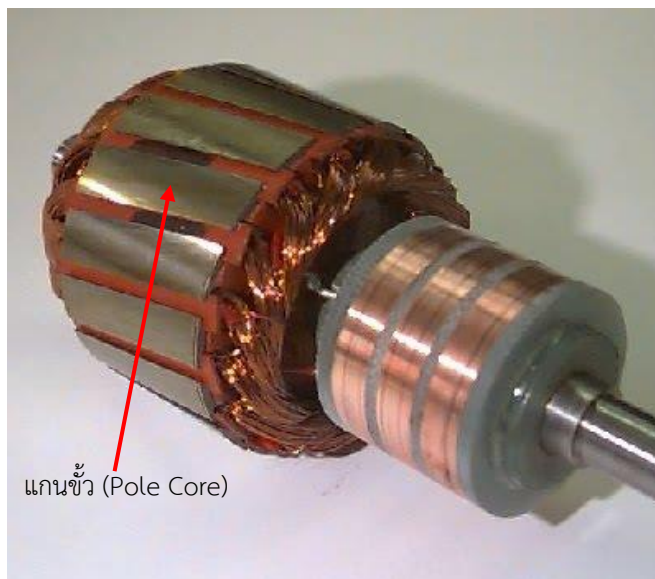
- เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาขึ้นเป็นรูปทรงกระบอก



รูปที่ 1.5 ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์

- ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด

ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque) แสดงดังรูปที่ 1.6



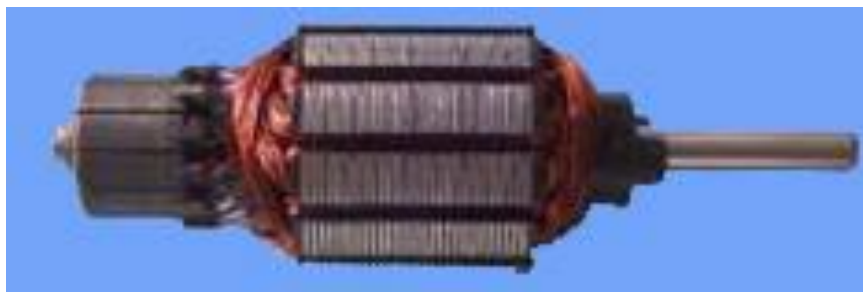
รูปที่ 1.6 แกนขั้ว (Pole Core)

ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆ แกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil)

3. ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 ตัวหมุน (Rotor)

ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. แกนเพลลา (Shaft)

เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนแบร์ริง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

2. แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core)

ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยัง ขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวนมาแล้วเรียกว่า ปฏิกริยามอเตอร์ (Motor action)

4. ขอลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding)

เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ การออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ ควรศึกษาต่อไปในเรื่องการพันอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) ในโอกาสต่อไป

1.3 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะ แปรงผ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวยาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลลาและแกนเพลลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวยาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิง (Fleming's left hand rule)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึง มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอร์และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกลคือตัวหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรรปิดหรือขดลวดกรงกระรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปใช้กับภาระที่ต้องการหมุนได้

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase)

2.1.1.1 สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split phase motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสลับชนิดเฟสเดียวแบบสปลิต เฟสมอเตอร์มีขนาดแรงม้าขนาดตั้งแต่ 1/4 แรงม้า , 1/3 แรงม้า, 1/2 แรงม้าจะมีขนาดไม่เกิน 1

แรงม้าบางทีนิยมเรียกสปลิตเฟสมอเตอร์นี้ว่า อินดักชั่นมอเตอร์(Induction motor) มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้งานมากในตู้เย็น เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก เครื่องซักผ้า แสดงดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 สปลิตเฟสมอเตอร์(Split phase motor)

2.1.1.2 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor) คาปาซิเตอร์เตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสที่มีลักษณะคล้ายสปลิตเฟสมอเตอร์มาก ต่างกันตรงที่มีคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นมาทำให้มอเตอร์แบบนี้มีคุณสมบัติพิเศษกว่าสปลิตเฟสมอเตอร์ คือมี แรงบิดขณะสตาร์ทสูงใช้กระแสขณะสตาร์ทน้อยมอเตอร์ชนิดนี้มีขนาดตั้งแต่ 1/20 แรงม้าถึง10 แรงม้า มอเตอร์นี้นิยมใช้งานเกี่ยวกับ ปั้มน้ำ เครื่องอัดลม ตู้แช่ตู้เย็น แสดงดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor)

2.1.1.3 รีพัลชั่นมอเตอร์(Repulsion Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดโรเตอร์ (Rotor) จะต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์และมีแปรงถ่านเป็นตัวต่อ ลัดวงจร จึงทำให้ปรับความเร็วและแรงบิดได้ โดยการปรับตำแหน่งแปรงถ่าน สเตเตอร์(Stator) จะมี ขดลวดพันอยู่ในร่องเพียงชุดเดียวเหมือนกับขดรีนของสปลิตเฟสมอเตอร์

เรียกว่า ขดลวดเมน (Main winding) ต่อกับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง แรงบิดเริ่มหมุนสูง ความเร็วคงที่ มีขนาด 0.37-7.5 กิโลวัตต์ (10 แรงม้า) ใช้กับงาน ปั่นคอมเพลสเซอร์ ปั่นลม ปั่นน้ำขนาดใหญ่ แสดงดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 รีพัลชันมอเตอร์ (Repulsion Motor)

2.1.1.4 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal Motor) เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีขนาดก าลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1/200 แรงม้าถึง 1/30 แรงม้า น ำไปใช้ได้กับ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส มอเตอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติ ที่โดดเด่น คือให้แรงบิดเริ่มหมุนสูงนำไปปรับความเร็วได้ทั้งปรับความเร็วได้ง่ายทั้งวงจรลดแรงดันและ วงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ นิยมนำไปใช้เป็นตัวขับเคลื่อนใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องบดและผสม อาหาร มีดโกนหนวดไฟฟ้า เครื่องนวดไฟฟ้า มอเตอร์จักรเย็บผ้า สว่านไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal Motor)

2.1.1.5 เซ็ตเด็ตโพลมอเตอร์ (Shaded Pole Motor) เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กที่สุดที่มีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำมาก นำไปใช้งานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ เช่น ไดร์เป่าผม พัดลมขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 เซ็ตเด็ตโพลมอเตอร์ (Shaded Pole Motor)

2.1.2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทุเฟสมอเตอร์ (A.C. Two phas Motor)

2.1.3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor)

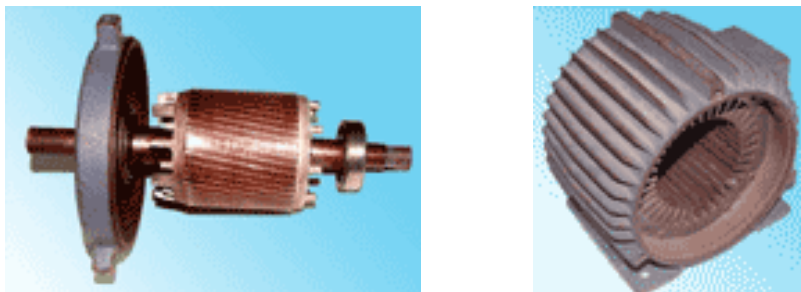
แบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

2.1.3.1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชัน (3 Phase Induction Motor)

มอเตอร์ไฟสลับ 3 ที่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบอินดักชันมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ นิยมใช้กันมาก เป็นต้น กำลังในโรงงานอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนลิฟท์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียงขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึง มอเตอร์อินดักชันมี 2 แบบ แบ่งตามลักษณะตัวหมุนคือ

1. อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)

อินดักชันมอเตอร์แบบนี้ ตัวโรเตอร์จะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอกเหมือนกับโรเตอร์ของสปลิทเฟสมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.14 อินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)

2. อินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor Induction Motors)

อินดักชั่นมอเตอร์ชนิดนี้ตัวโรเตอร์จะทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกันเป็นตัวหุนคล้ายๆ อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีร่องสำหรับวางขดลวดของตัวโรเตอร์เป็นขดลวด 3 ชุด สำหรับสร้างขั้วแม่เหล็ก 3 เฟส เช่นกันปลายของขดลวดทั้ง 3 ชุดต่อกับสปริง (Slip Ring) จำนวน 3 อันสำหรับเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าครบวงจรทั้ง 3 เฟสการทำงานของอินดักชั่นมอเตอร์

เมื่อจ่ายไฟฟ้าสลับ 3 เฟสให้ที่ขดลวดทั้ง 3 ของตัวสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบๆ ตัวสเตเตอร์ ทำให้ตัวหุน (โรเตอร์) ได้รับการเหนี่ยวนำทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์ และขั้วแม่เหล็กนี้ จะพยายามดึงดูดกับสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่รอบๆ ทำให้มอเตอร์ของอินดักชั่นมอเตอร์หมุนไปได้ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวสเตเตอร์นี้จะคงที่ตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นโรเตอร์ของอินดักชั่นของมอเตอร์ จึงหมุนตามสนามหมุนดังกล่าวไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

2.1.3.2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

ซิงโครนัสมอเตอร์เป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่สุด ที่ขนาดพิกัดของกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 150 kW (200 hp) จนถึง 15 MW (20,000 hp) มีความเร็วตั้งแต่ 150 ถึง 1,800 RPM แสดงดังรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.15 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

โครงสร้างของซิงโครนัสมอเตอร์ ที่สำคัญมี 2 ส่วนคือ

1. สเตเตอร์ (Stator)

2. โรเตอร์ (Rotor)

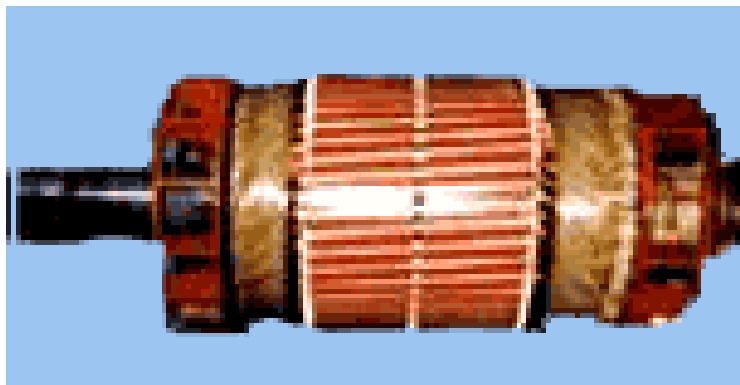
1. สเตเตอร์ (Stator) ของซิงโครนัสมอเตอร์เหมือนกับสเตเตอร์ของ 3 เฟส

อินดักชันมอเตอร์มีร่องสำหรับพันขดลวดจำนวน 3 ชุด เฟสละ 1 ชุด เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนอินดักชันมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.16 สเตเตอร์ (Stator) ของซิงโครนัสมอเตอร์เหมือนกับสเตเตอร์ของ 3 เฟส

2. โรเตอร์ (Rotor) ของซิงโครนัสมอเตอร์ เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันข้าง ๆ ขั้วแม่เหล็กยื่นเหล่านั้นขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันรอบขั้วแม่เหล็กยื่นต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวโรเตอร์ การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจากตัวหมุน (โรเตอร์) ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวดสนามแม่เหล็กพันอยู่รอบ ๆ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับภายนอก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ขึ้น ขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามหมุนของสเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ แสดงดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 โรเตอร์ (Rotor) ของซิงโครนัสมอเตอร์

3. สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

3.1 ความหมายของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor) เป็นอุปกรณ์เอาต์พุตอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำการควบคุมได้สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุน ที่ต้องการตำแหน่ง และทิศทางที่แน่นอน การทำงานของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ขับเคลื่อนทีละขั้นๆ ละ (Step) 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตัวนั้นๆ สเต็ปเปอร์มอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป (DC MOTOR) โดยการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ปๆ ได้ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่า แต่ในส่วนใหญ่เราจะใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์มาทำการการควบคุมโดยใช้วิธีในระบบดิจิทัล เช่น พรินเตอร์ (Printer) พล็อตเตอร์ (X-Y Plotter) ดิสก์ไดรฟ์ (Disk drive) เป็นต้น

3.2 หลักการทำงานของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

สเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไป เพราะจะต้องป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ให้แก่ขดลวดของมอเตอร์เป็นจังหวะอย่างเหมาะสม และการหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้จะหมุนเป็นจังหวะตามพัลส์ที่ป้อนเข้ามา หากมีการป้อนสัญญาณพัลส์ต่อเนื่อง มอเตอร์ก็จะสามารถหมุนได้อย่างต่อเนื่องเหมือนกับมอเตอร์ไฟตรงปกติ ดังนั้นด้วยจังหวะในการป้อนสัญญาณพัลส์จึงทำให้ผู้ควบคุมสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนได้ จังหวะการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์เรียกว่า สเต็ป (step) นั่นจึงเป็นที่มาของชื่อของมอเตอร์ชนิดนี้ความละเอียดของมอเตอร์กำหนดเป็นองศาที่หมุนไปในหนึ่งสเต็ป หาก

มอเตอร์มีจำนวนองศาต่อสเต็ปมาก หมายความว่า มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำ ยกตัวอย่าง การหมุนครบ 1 รอบเท่ากับ 360 องศา หากมอเตอร์มีสเต็ปการหมุนเท่ากับ 7.5 องศาต่อสเต็ป มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 48 ตำแหน่ง แต่ถ้าหากมีสเต็ปการหมุนกับ 1.8 องศาต่อสเต็ป ความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 200 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ตัวหลังมีความละเอียดสูงกว่าตัวแรกมาก ทำให้นำมาใช้ในงานที่ต้องการกำหนดตำแหน่งได้ดีกว่า แน่นอนว่า ผนวกเข้ากับวงจรขับเคลื่อนครึ่งสเต็ป ความละเอียดของการหมุนจะเพิ่มขึ้นอีก 2 เท่า ทำให้มีความละเอียดของการหมุนกลายเป็น 400 ตำแหน่ง ขนาดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีการผลิตและจำหน่ายในท้องตลาด มีตั้งแต่ขนาดแรงดันต่ำ 3V ไปจนถึง 24V และ 48V ส่วนขนาดของกระแสมีตั้งแต่ไม่กี่สิบลิลลิแอมป์อันเป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตัวเล็กไปจนถึงเป็นสิบลแอมป์ ซึ่งมีขนาดของมอเตอร์ใหญ่โตขึ้นตามลำดับ ราคาอยู่ในหลักเป็นร้อยบาทขึ้นไปสำหรับของใหม่

3.3 คุณสมบัติเด่นของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

1. มุมในการหมุน (rotation angle) มีค่าตามสัดส่วนของจำนวนของพัลส์อินพุตที่ใช้ขับเคลื่อน
2. ความเร็วในการหมุน (rotation speed) มีค่าตามสัดส่วนและสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณพัลส์อินพุตที่ใช้ขับเคลื่อน
3. ใช้ในการควบคุมตำแหน่งแบบระบบเปิดที่มีความแม่นยำสูง โดยไม่ต้องใช้สัญญาณป้อนกลับของการกำหนดตำแหน่ง
4. ไม่มีความผิดพลาดสะสมของการกำหนดตำแหน่ง
5. เหมาะกับงานที่ต้องการกลไกเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ แรงบิดสูง โดยไม่ต้องใช้ระบบเฟืองทดรอบเพิ่มเติม
6. สามารถกำเนิดและรักษาแรงบิดได้ในทันทีที่มอเตอร์ถูกกระตุ้นให้ทำงาน
7. สามารถรักษาสภาพการหมุนของแกนได้โดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย
8. ไม่มีแปรงถ่าน ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
9. มีลูกปืนความเที่ยงตรงสูง เพื่อช่วยการหมุนของแกนมีความแม่นยำ

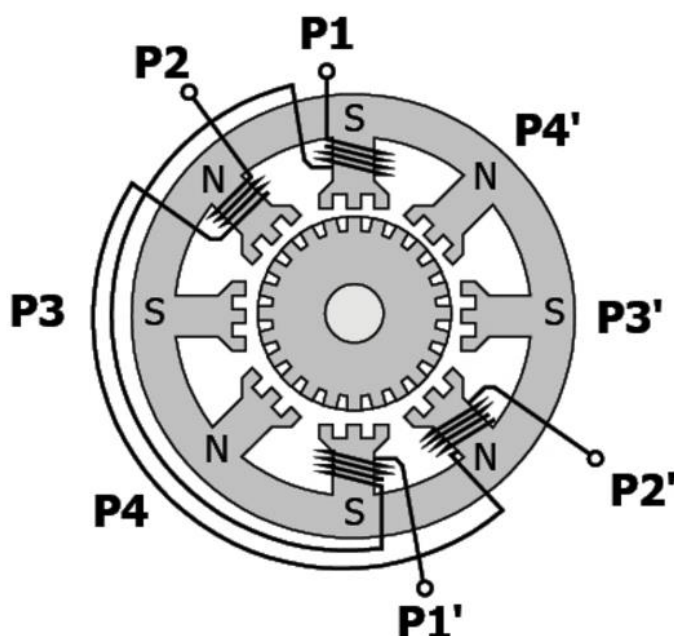
3.4 ข้อด้อยของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

1. การกำหนดหรือการเกิดเรโซแนนซ์ทำให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้
2. การทำให้มอเตอร์สามารถหมุนแกนด้วยความเร็วสูงทำได้ยาก

3. หากเกิดแรงบิดสูงเกินไปกว่าที่รับได้หรือเกิดโอเวอร์ทอร์คมอเตอร์จะสูญเสียการรับรู้ตำแหน่งของแกนหมุน จะต้องกลับไปเริ่มต้นการอินิเชียลใหม่
4. ให้แรงบิดที่น้อยกว่ามอเตอร์ไฟตรงและมอเตอร์ไฟสลับที่ขนาดของตัวมอเตอร์เท่ากัน

3.5 ชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

ในอดีตมีการแบ่งชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตามลักษณะโครงสร้างซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ แบบแม่เหล็กถาวรหรือ PM (Permanent Magnet), แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้หรือ VR (Variable Reluctance) และแบบผสมหรือไฮบริด (Hybrid) ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างแบบ PM และ VR ในปัจจุบันนี้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบไฮบริด เนื่องจากสามารถทำให้มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ของแกนได้สูงถึง 0.9 องศาต่อสเต็ป (ซึ่งเป็นข้อดีของแบบ VR) และให้แรงบิดหรือทอร์กที่สูง โดยใช้พลังงานต่ำ (เป็นข้อดีของแบบ PM) ในรูปที่ 18 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด

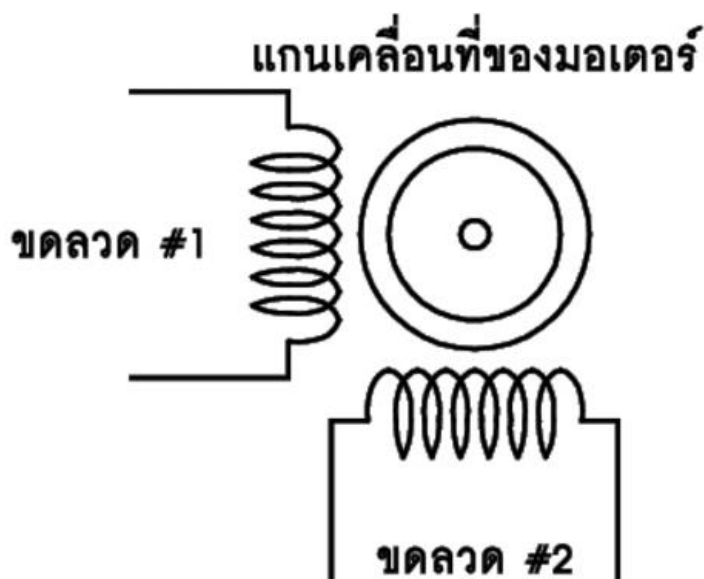


รูปที่ 18 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด

ดังนั้นการกำหนดชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ในยุคต่อมาจนถึงปัจจุบันจึงพิจารณาที่ลักษณะของการพันขดลวด, การต่อสายออกมาใช้งาน และวงจรขับ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ ชนิดไบโพลาร์ (bipolar) และชนิดยูนีโพลาร์ (uni-polar)

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไบโพลาร์

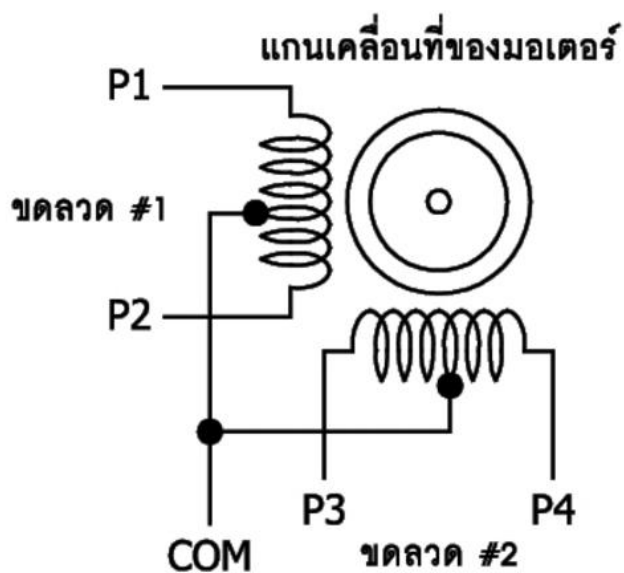
มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2 แบ่งออกเป็น 2 ชุดที่ไม่มีแท่งกลาง ทำให้บางครั้งจึงเรียกสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ว่า เป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 2 เฟส การขับให้มอเตอร์แบบนี้หมุนจะต้องป้อนแรงดันต่างขั้วกันให้แก่ขดลวดแต่ละชุด ทำให้วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ค่อนข้างซับซ้อน แสดงดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 ลักษณะการพันขดลวดสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไบโพลาร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 3 มีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบ 5 และ 6 สาย บางครั้งเรียกสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ว่า เป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วหรือเฟสของมอเตอร์ให้เรียงลำดับอย่างถูกต้อง มอเตอร์จึงจะสามารถหมุนได้อย่างราบรื่น สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟสคือ เฟส 1, 2, 3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว สำหรับในบทความนี้จะเน้นหนักไปที่สเต็ปเปอร์แบบยูนิโพลาร์นี้ เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายกว่า และใช้วงจรขับที่มีความซับซ้อนน้อยกว่ามาก แสดงดังรูปที่ 1.20



รูปที่ 1.20 ลักษณะการพันขดลวดสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

3.6 ขนาดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์มาตรฐาน

เพื่อให้การเลือกใช้งานสเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นสากลจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานขนาดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ขึ้น ภายใต้ข้อตกลงร่วมกันของสมาคมผู้ผลิตชิ้นส่วนทางไฟฟ้าแห่งชาติหรือ NEMA (National Electrical Manufacturer's Association) ได้ทำการกำหนดขนาดมาตรฐานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ออกมา โดยแบ่งตามลักษณะรูปร่างของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ดังนี้

1. รูปลูกบาศก์ (Cube) มีด้วยกัน 4 ขนาดคือ NEMA 14, 15, 16 และ 17 ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 21

รูปร่าง	NEMA	ขนาดด้านหน้า (นิ้ว)	ระยะห่างของรูยึด (นิ้ว)
	14	1.38	1.024
	15	1.57	1.220
	16	1.57	1.220
	17	1.65	1.220

ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญ :

- เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนหมุน 0.197 นิ้ว
- เส้นผ่านศูนย์กลางของร่องแกน 0.866 นิ้ว
- จำนวนสเต็ปต่อรอบ 200 หรือ 400 (1.8 องศา/สเต็ป หรือ 0.9 องศา/สเต็ป)

รูปที่ 1.21 รายละเอียดของลูกบาศก์ (Cube)

2. ทรงกระบอก (Cylinder) มีขนาดเดียวคือ NEMA 23 ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 1.22



ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญ :

- เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนหมุน 0.25 นิ้ว
- เส้นผ่านศูนย์กลางของร่องแกน 1.5 นิ้ว
- จำนวนสเต็ปต่อรอบ 200 สเต็ป (1.8 องศา/สเต็ป)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังมอเตอร์ 2.2 นิ้ว

รูปที่ 1.22 รายละเอียดของทรงกระบอก (Cylinder)

3. ทรงกระป๋อง (Stack can) สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีรูปร่างแบบนี้จะมีขนาดที่ไม่แน่นอน แต่ส่วนใหญ่มิจะมีขนาดเล็กคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว รายละเอียดทางเทคนิคอื่นๆ แสดงในรูปที่ 1.23



ข้อมูลทางเทคนิคที่ควรทราบ :

- เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนหมุนมีหลายขนาด
- ไม่มีร่องแกน
- จำนวนสแต็ปต่อรอบ 24 หรือ 48 สแต็ป (15 องศา/สแต็ป หรือ 7.5 องศา/สแต็ป)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังมอเตอร์มีหลายขนาดจนถึงประมาณ 2.2 นิ้ว
- ที่ปลายของแกนหมุนมักจะติดตั้งเฟืองเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนต่อไป

รูปที่ 1.23 รายละเอียดของทรงกระป๋องซ้อน (Stack can)

บรรณานุกรม

PSP TECH CO., LTD. มอเตอร์ไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.psptech.co.th/

มอเตอร์motorคืออะไร-19171.page (วันที่ค้นข้อมูล : 1 พฤษภาคม 2560).

scribd. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.scribd.com/doc/151700771/มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ-3-เฟส-docxpage (วันที่ค้นข้อมูล :

scribd.com/doc/151700771/มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ-3-เฟส-docxpage (วันที่ค้นข้อมูล : 1 พฤษภาคม 2560).

Posted. สเต็ปเปอร์มอเตอร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์/#.WQLktryhPY (วันที่ค้นข้อมูล : 1 พฤษภาคม 2560).

มอเตอร์/#.WQLktryhPY (วันที่ค้นข้อมูล : 1 พฤษภาคม 2560).