
	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 1
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง
<p style="text-align: center;">หน่วยที่ 9 การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง</p> <p>1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง</p> <p>1.1 ความหมายของมอเตอร์ไฟฟ้า</p> <p>มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยการทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง</p> <div data-bbox="665 873 1037 1108" data-label="Image"></div> <p style="text-align: center;">รูปที่ 1.1 รูปโครงสร้างของมอเตอร์</p> <p>(ที่มา: https://sites.google.com/site/apizzaip013/khorngrang-mxtexr/chnid-khxng-mxtexr)</p> <p>1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์</p> <p>เมื่อมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนอาร์เมเจอร์ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ และทำปฏิกิริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักดันขึ้นบนตัวนำทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้ ขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลและวางอยู่บนแกนของอาร์เมเจอร์ โดยวางห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ r กำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดที่ปลาย A และไหลออกที่ปลาย B จากคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดผ่านซึ่งกันและกัน ดังนั้นปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีจำนวนมากที่ด้านบนของปลาย A จึงทำให้เกิดแรง F_1 กดตัวนำ A ลงด้านล่างและขณะเดียวกันที่ปลาย B นั้น เส้นแรงแม่เหล็กจะมีปริมาณมากที่ด้านหน้าทำให้เกิดแรง F_2 ดันให้ตัวนำ B เคลื่อนที่ด้านบนของแรง F_1 และ F_2 นี้เองทำให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ไปได้ดังนั้นการทำงานของมอเตอร์จึงขึ้นอยู่กับหลักการที่ว่า เมื่อเอาตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปวางในสนามแม่เหล็ก มันจึงพยายามทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ คุณสมบัติทั่วไป และคุณสมบัติทางเทคนิค ดังนี้</p> <div data-bbox="649 1758 971 2004" data-label="Image"></div> <p style="text-align: center;">รูปที่ 1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์</p>

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 2
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

1.2.1 คุณสมบัติทั่วไป

เป็นคุณสมบัติประจำตัวของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภทที่บอกคุณสมบัติของมอเตอร์แบบกว้าง ๆ ไม่ได้เจาะลึก ได้แก่ ลักษณะโครงสร้าง ลักษณะงาน ลักษณะของวงจร เช่น คุณสมบัติของมอเตอร์อนุกรม คือ ลักษณะโครงสร้างจะประกอบด้วยลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานต่ำมาก (พันด้วยลวดทองแดงเส้นใหญ่น้อยรอบแกนขั้วแม่เหล็ก) ต่อเป็นอนุกรมกับอาร์เมเจอร์และต่อโดยตรงกับแรงดันเมน ลักษณะวงจร A1 – A2 เป็นอาร์เมเจอร์ต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กชุดอนุกรม D1 – D2 และต่อโดยตรงกับสายเมน L+, L- และลักษณะสนามแม่เหล็กทำให้ความเร็วสูงเมื่อโหลดลดลง จึงเป็นมอเตอร์ที่หมุนไม่คงที่ความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามโหลดจะเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นมอเตอร์สตาร์ทเครื่องพ่นน้ำ

1.2.2 คุณสมบัติทางเทคนิค

เป็นคุณสมบัติประจำเครื่องกลไฟฟ้าแต่ละประเภทเช่นเดียวกัน ที่ให้รายละเอียดซึ่งเจาะลึกเข้าไปในเชิงวิชาการ สามารถทดสอบและวัดด้วยเครื่องวัดได้ด้วยวิธีทดลองในห้องปฏิบัติการทดลอง ส่วนใหญ่จะแสดงด้วยกราฟเพื่อแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าหนึ่งกับอีกค่าหนึ่ง เช่น สมรรถนะในการกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงด้วย “กราฟแม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation หรือ Magnetization curve)” สมรรถนะในการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงด้วย External Characteristic ส่วนคุณสมบัติทางเทคนิคของมอเตอร์จะแสดงด้วย Performance Curve ซึ่งได้แก่ สมรรถนะในการหมุนขับโหลด (Speed load Curves หรือ Speed/load Characteristic) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสมอเตอร์ (n = ความเร็วรอบให้อยู่บนแกน Y หรือ Ordinate และ I_a = กระแสอาร์เมเจอร์ให้อยู่บนแกน X หรือ abscissae) หรืออาจให้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (n เป็น ordinate หรือ แกน Y) กับทอร์ก หรือกำลังที่หมุนขับงาน (T = ทอร์ก, P =กำลังวัตต์ หรือกิโลวัตต์ ให้อยู่บนแกน x หรือ abscissae) จุดประสงค์เพื่อต้องการแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่หมุนขับโหลดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงไป

1.3 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้า


มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

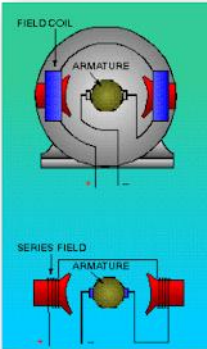
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วยโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจร และยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรง สเตเตอร์ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียว รูปทรงกระบอก มีลักษณะเป็นขั้วแม่เหล็กยื่นทำด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ เคลือบด้วยฉนวนเรียงซ้อนกัน ผิวด้านหน้าเป็นรูปโค้งรับกับทรงกลมของอาร์เมเจอร์ และที่แกนเหล็กจะพันด้วยขดลวดทองแดงทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอก เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น อาจจะมี 2 ขั้ว 4 ขั้ว หรือหลายขั้วขึ้นอยู่กับการออกแบบมอเตอร์ นอกจากนั้นยังมีแปรงถ่านและช่องติดตั้งไว้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยมีฟัดหัวท้ายสำหรับรองรับแบร็ง และเพลาลูกกลิ้ง


	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 3
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง			
<p>2. ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ ซึ่งตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงาน มีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ โดยตัวโรเตอร์จะประกอบด้วย 4 ส่วนคือ</p> <p>2.1 แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Croe) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่หนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้</p> <p>2.2 แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)</p> <p>2.3 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่ แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่ง ให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ที่เรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor action)</p> <p>2.4 ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Widing) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้น ๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ ที่ต้องการ</p> <p>มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าพิจารณาตามส่วนประกอบ จะสามารถแบ่งส่วนประกอบของมอเตอร์ได้ดังนี้</p> <p>1. เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก จากขั้วแม่เหล็ก โดยขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็ก และขดลวด</p> <p>แกนขั้วแม่เหล็ก (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งเพื่อโค้งรับรูปทรงกลมของตัวโรเตอร์ เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็ก และโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด จะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุด แล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque)</p> <p>ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบ ๆ แกนขั้วแม่เหล็ก ขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาร์มาเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น</p> <p>2. แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Croe) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนแบริ่งเพื่อบังคับให้หมุนอยู่หนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือน</p>			

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 4
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง
<p>4. แปร่งถ่าน ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในช่องแปร่งถ่านมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้แปร่งถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแส และส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์ กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก คือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ให้ลวดอาร์มาเจอร์เกิดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุนได้</p> <p>1.4 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง</p> <p>หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะผ่านแปร่งถ่าน ผ่านคอมมิวเตเตอร์ เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์ สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนามในเวลาเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางตรงข้ามกันจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวกันจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลลาและแกนเพลลานี้สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้น เป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง (Fleming's left hand rule)</p> <p>1.5 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง</p> <p>มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ</p> <p>1.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor)</p> <p>คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือ ให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้า รถยกของเครนไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมาก แต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวดของมอเตอร์ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดี เมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบจะลดลง เมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ</p>



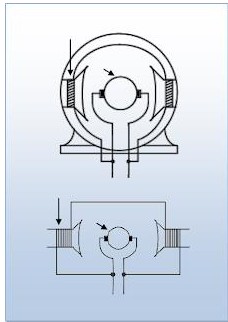
รูปที่ 1.3 รูปโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 5
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

1.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)


มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) หรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ คือ มอเตอร์ที่มีขดลวดฟิลด์ (Field Coil) ต่อแบบขนานกับขดขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าความต้านทานของขดลวดฟิลด์มีค่าสูงมากและต่อคร่อมไว้โดยตรงกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าภายนอก ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดฟิลด์มีค่าคงที่ โดยที่จะไม่เปลี่ยนแปลงตามรอบการหมุนของมอเตอร์เหมือนกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดฟิลด์ของมอเตอร์แบบอนุกรม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงบิดของมอเตอร์แบบขนานจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์เท่านั้น และแรงบิดขณะเริ่มหมุนจะมีค่าน้อยกว่ามอเตอร์แบบอนุกรมรวมทั้งความเร็วรอบของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยขณะโหลดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง และเมื่อนำโหลดของมอเตอร์ออกทั้งหมด มอเตอร์จะมีความเร็วรอบสูงกว่าขณะมีโหลดเพียงเล็กน้อย



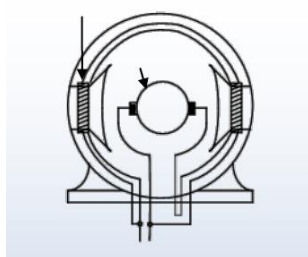
รูปที่ 1.3 รูปโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

1.5.3 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

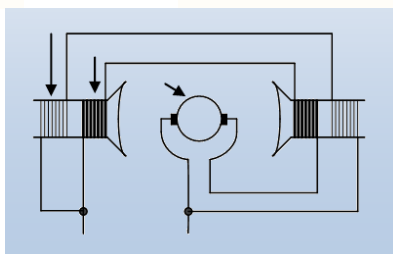
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ คือมอเตอร์ที่มีขดลวดฟิลด์ 2 ชุด ๆ หนึ่งจะต่ออนุกรมและอีกชุดหนึ่งต่อขนานกับขดขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 ขดลวดฟิลด์ซึ่งต่อขนานเป็นลวดตัวนำขนาดเล็กพันไว้จำนวนมากรอบ ส่วนขดลวดฟิลด์ที่ต่ออนุกรมอยู่จะเป็นลวดตัวนำขนาดใหญ่พันไว้จำนวนน้อยรอบ แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์แบบผสมจะมีมากกว่ามอเตอร์แบบขนาน แต่น้อยกว่าของมอเตอร์อนุกรม และการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะมีโหลดจะมีค่าน้อยกว่ามอเตอร์แบบ อนุกรม แต่เปลี่ยนแปลงมากกว่ามอเตอร์แบบขนาน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดกระทั่งมีโหลดเต็มที่ มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชันที่อยู่ 2 วิธีวิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชัน ขนานกับอาร์เมเจอร์เรียกว่า การต่อแบบขดลวดขนานสั้น หรือการต่อแบบช็อตชันท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Short Shunt Compound Motor) ดังรูปวงจรที่ 1.5 การต่อวงจรในลักษณะนี้จะส่งผลให้มอเตอร์มีแรงบิดในขณะเริ่มหมุน สูงกว่าการต่อแบบลวงชันท์คอมปาวด์มอเตอร์ (แต่ไม่สูงเท่าซีรี่ส์มอเตอร์) ในขณะที่ความเร็วรอบจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง (แต่เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าซีรี่ส์มอเตอร์) สาเหตุดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ขดลวดชันท์ได้รับกระแสที่ผ่านมาจากขดลวดซีรี่ส์ ดังนั้นหากโหลดของมอเตอร์มีมากขดลวดซีรี่ส์ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำกว่า ขดลวดชันท์จะดึงกระแสมาก ทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดชันท์น้อยลง ส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 6
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

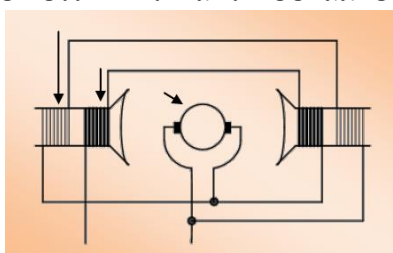
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง



รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม




รูปที่ 1.5 แสดงโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมต่อแบบช็อตชันทคอมปาวด์มอเตอร์



รูปที่ 1.6 แสดงโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมต่อแบบลองชันทคอมปาวด์มอเตอร์
(ที่มา: <https://sites.google.com/site/mxtextr55647/prapheth-khxng-mxtextr-fifakrasae-trng>)

อีกวิธีคือต่อขดลวดขนานคร่อมระหว่างขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์ เรียกว่า การต่อแบบชดชดลวดขนานยาว หรือลองชันทคอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt motor) ดังรูปวงจรที่ 1.6 การต่อวงจรในลักษณะนี้ จะส่งผลให้มอเตอร์มีแรงบิดในขณะเริ่มหมุนต่ำกว่าการต่อแบบช็อตชันทคอมปาวด์มอเตอร์ (แต่มากกว่าชันทมอเตอร์) ในขณะที่ความเร็วรอบจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าช็อตชันทคอมปาวด์มอเตอร์ (แต่เปลี่ยนแปลงมากกว่าชันทมอเตอร์) สาเหตุดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ขดลวดชันทได้รับกระแสโดยตรงจากแหล่งจ่าย ทำให้เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปยังขดลวดชันทจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่แรงบิดจะต่ำลง เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวดซีรีส์จะมีค่าลดลงเนื่องจากถูกแยกไหลไปให้กับขดลวดชันท

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 7
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		

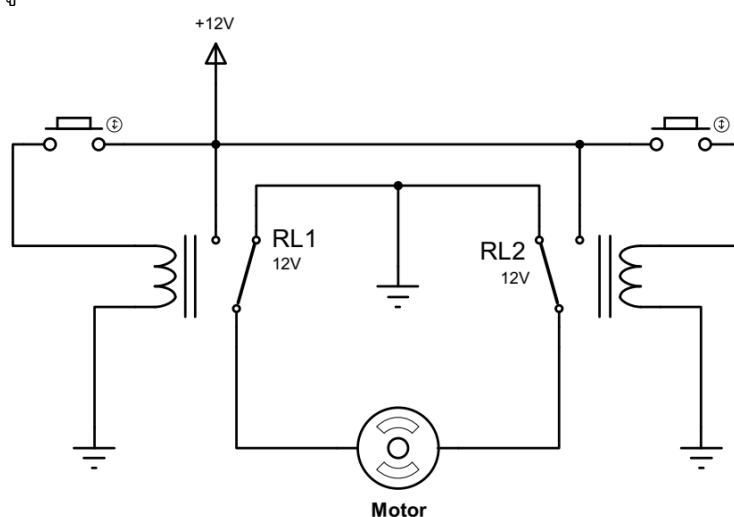
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

2. การควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

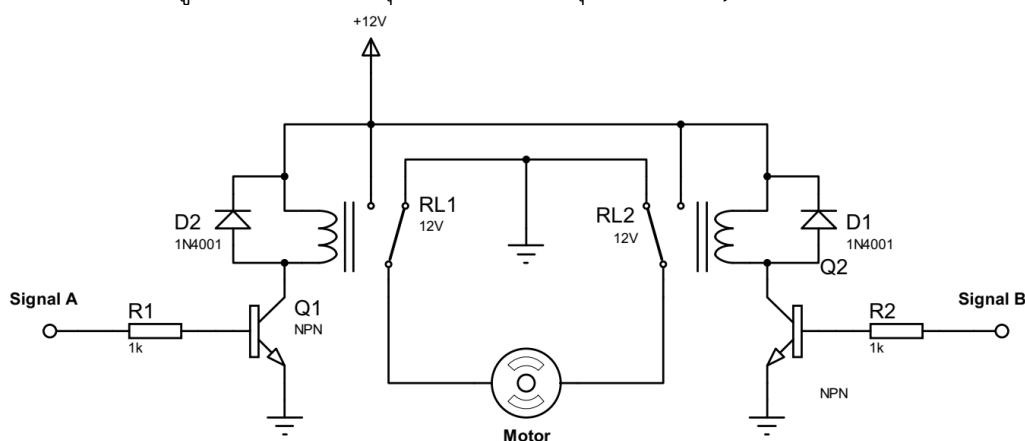
การควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถควบคุมทิศทาง และความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

2.1 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้อุปกรณ์ Relay


การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้อุปกรณ์ Relay นั้นสามารถกระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ Relay ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เพื่อกำหนดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าให้แก่ DC Motor ทำให้อุปกรณ์ DC Motor หมุนตามทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วของ DC Motor ซึ่งการทำงานของ Relay อาจถูกควบคุมโดยอุปกรณ์เชิงกล เช่น สวิตช์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ก็ได้ ดังรูปตัวอย่างวงจรควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor ในรูปที่ 1.7 และ 1.8



รูปที่ 1.7 การควบคุมมอเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ Relay และสวิตช์



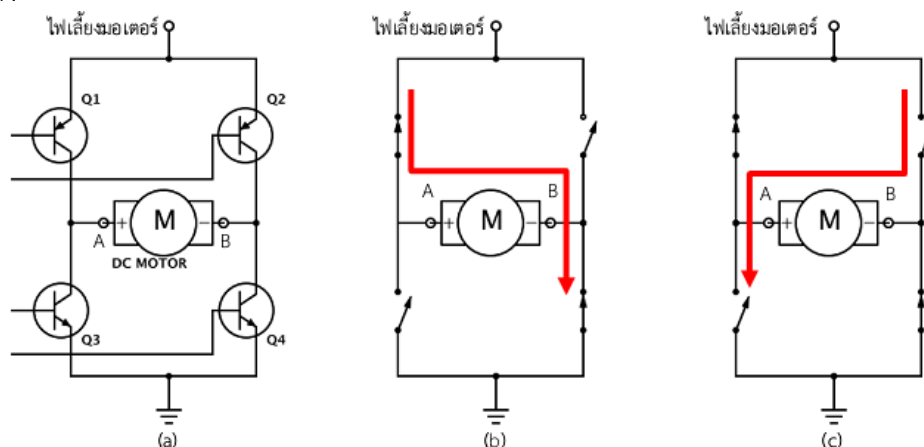
รูปที่ 1.8 การควบคุมมอเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ Relay และทรานซิสเตอร์

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 8
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

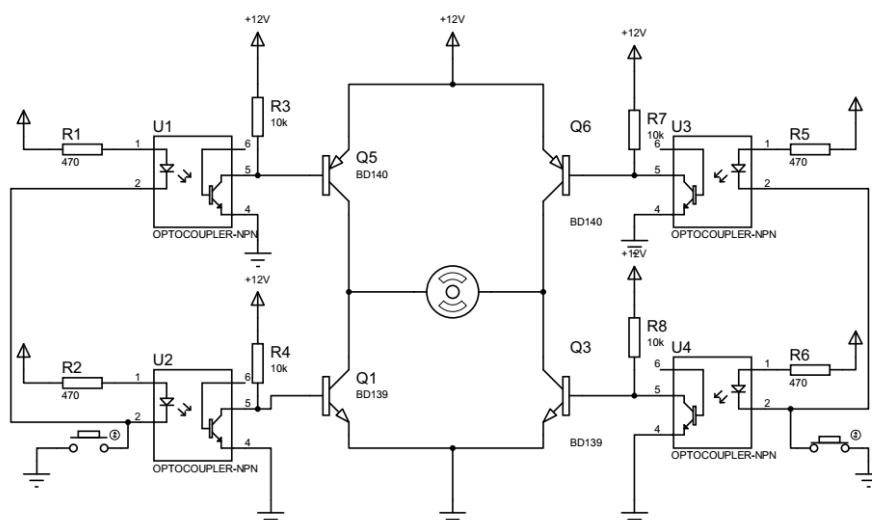
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

2.2 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้วงจร H-bridge จากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ


วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ H-Bridge ซึ่งวงจรประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์หรือมอดเฟส ที่ให้ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดปิดจำนวน 4 ตัว (Q1-Q4) โดยต่อกับมอเตอร์ดังรูป 1.9 (a) ซึ่งสามารถควบคุมการทิศทางการไหลของกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์มอเตอร์ได้ เมื่อส่งสัญญาณควบคุมให้ ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ทำงาน และปิดการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 กระแสจะไหลจากจุด A ไปจุด B ดังรูป 1.9 (b) เป็นผลทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน และเมื่อส่งสัญญาณควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ทำงาน และปิดการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 กระแสจะไหลจากจุด B ไปจุด A ดังรูป 1.9 (c) เป็นผลให้มอเตอร์ หมุนกลับทิศทาง



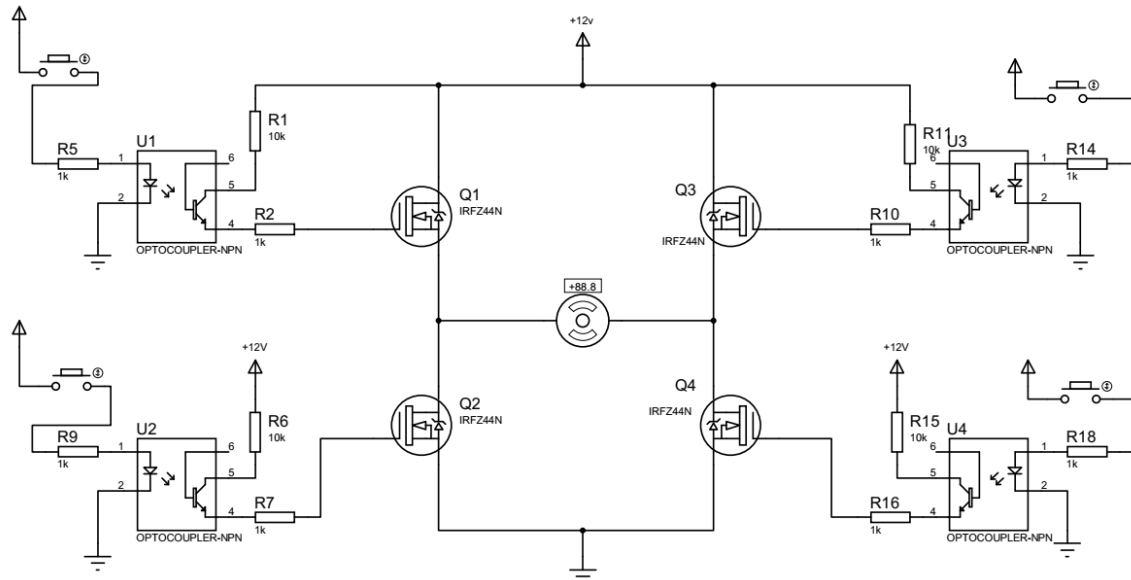
รูปที่ 1.9 หลักการทำงานของวงจร H-bridge ที่ใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์
(ที่มา : <http://aimagin.com/blog/motor/?lang=th>)



รูปที่ 1.10 วงจร H-bridge ที่ใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 9
		หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

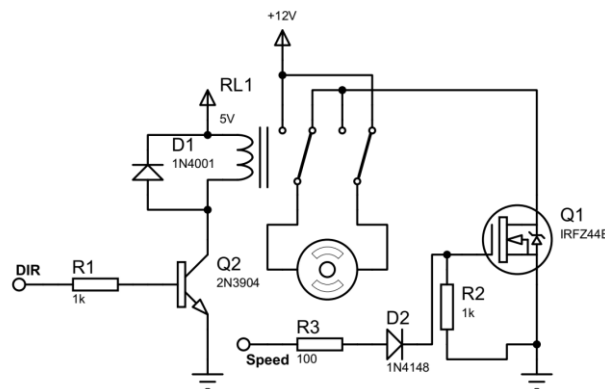


รูปที่ 1.11 วงจร H-bridge ที่ใช้อุปกรณ์มอสเฟตเพื่อควบคุมการทำงานของดีซีมอเตอร์


วงจร H-bridge นอกจากจะควบคุมทิศทางการหมุนของอุปกรณ์ดีซีมอเตอร์แล้วยังสามารถควบคุมความเร็วในการหมุนได้ด้วย โดยใช้ขาสัญญาณ 1 ถึง 2 ขาส่งสำหรับกำหนดทิศทางการหมุน และอีก 1 ขาสัญญาณสำหรับควบคุมความเร็วในการหมุนดังรูปที่ 1.10 และ 1.11

2.3 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้อุปกรณ์ Relay ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้อุปกรณ์ Relay ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ทรานซิสเตอร์ หรือมอสเฟต โดยจะใช้อุปกรณ์ Relay ทำหน้าที่ในการกำหนดทิศทางการหมุน ส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจะทำหน้าที่ในการเปิดปิดการทำงานของดีซีมอเตอร์ หรือกำหนดความเร็วในการหมุน ดังรูปที่ 1.12



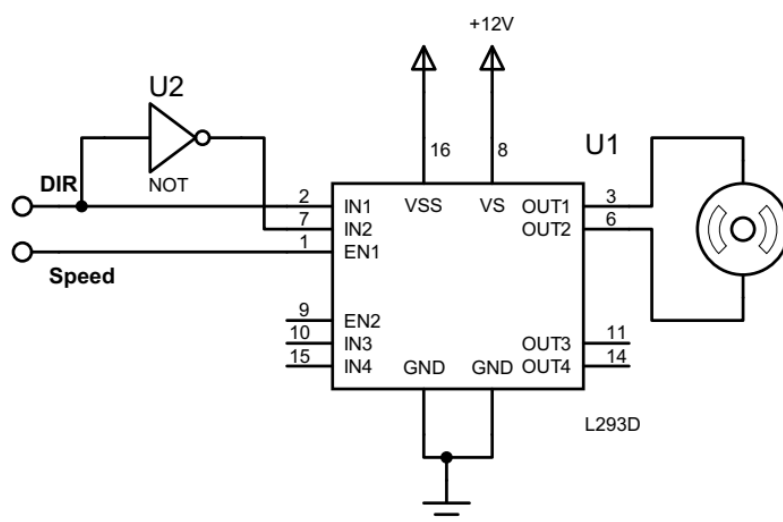
รูปที่ 1.12 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้อุปกรณ์ Relay ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 10
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

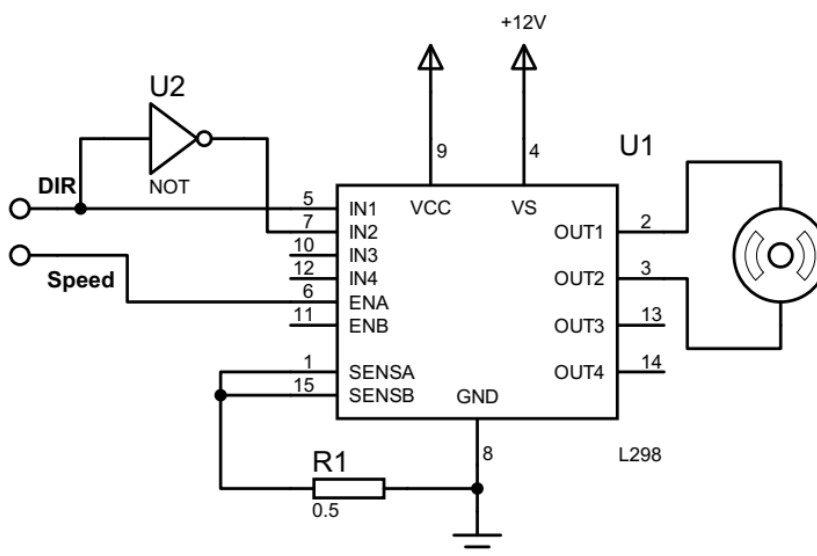
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

2.4 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้ไอซีสำเร็จรูป


ไอซีสำเร็จรูปสำหรับควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ในปัจจุบันมีให้เลือกใช้งานมากมาย แต่ที่นิยมเลือกนำมาใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นเบอร์ L293D และ L298N เนื่องจากสามารถหามานำมาใช้งานได้ง่าย ราคาไม่แพง และสามารถขับมอเตอร์ที่กินกระแสตั้งแต่ขนาด 1 A ถึง 4 A ขึ้นอยู่กับลักษณะของการต่อใช้งาน และคุณสมบัติของไอซี โดยในรูปที่ 1.13 และ 1.14 เป็นตัวอย่างการต่อใช้งานไอซี L293D และ L298N เพื่อควบคุมมอเตอร์ 1 ตัว





รูปที่ 1.12 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้ไอซี L293D



รูปที่ 1.13 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor โดยใช้ไอซี L298N

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 11
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง
<h3>3. สเต็ปปีงมอเตอร์</h3> <p>สเต็ปปีงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุนที่ต้องการตำแหน่ง และทิศทางที่แน่นอน การทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้น ๆ ละ (Step) 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดของสเต็ปปีงมอเตอร์ตัวนั้น ๆ สเต็ปปีงมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป โดยการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ป ๆ ได้ ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยาก ซึ่งสเต็ปปีงมอเตอร์ถูกนำไปใช้งานต่าง ๆ เช่น พรินเตอร์ (Printer) พล็อตเตอร์ (X-Y Plotter) และดิสก์ไดรฟ์ (Disk drive) เป็นต้น</p> <div data-bbox="606 896 994 1158" data-label="Image"></div> <p>รูปที่ 1.14 รูปของสเต็ปปีงมอเตอร์</p> <p>(ที่มา: http://www.9ddn.com/content.php?pid=884)</p> <h4>3.1 คุณสมบัติเด่นของสเต็ปปีงมอเตอร์</h4> <ol style="list-style-type: none">1. มุมในการหมุน (rotation angle) มีค่าตามสัดส่วนของจำนวนของพัลส์อินพุตที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์2. ความเร็วในการหมุน (rotation speed) มีค่าตามสัดส่วนและสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณพัลส์อินพุตที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์3. ใช้ในการควบคุมตำแหน่งแบบระบบเปิดที่มีความแม่นยำสูง โดยไม่ต้องใช้สัญญาณป้อนกลับของการกำหนดตำแหน่ง4. ไม่มีความผิดพลาดสะสมของการกำหนดตำแหน่ง5. เหมาะกับงานที่ต้องการกลไกเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ แรงบิดสูง โดยไม่ต้องใช้ระบบเฟืองทดรอบเพิ่มเติม6. สามารถกำเนิดและรักษาแรงบิดได้ในทันทีที่มอเตอร์ถูกกระตุ้นให้ทำงาน7. สามารถรักษาสถานะการหมุนของแกนได้โดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย8. ไม่มีแปรงถ่าน ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน9. มีลูกปืนความเที่ยงตรงสูง เพื่อช่วยการหมุนของแกนมีความแม่นยำ <h4>3.2 ข้อดีของสเต็ปปีงมอเตอร์</h4> <ol style="list-style-type: none">1. การกำหนดหรือการเกิดเรโซแนนซ์ทำให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ได้2. การทำให้มอเตอร์สามารถหมุนแกนด้วยความเร็วสูงทำได้ยาก

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 12
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

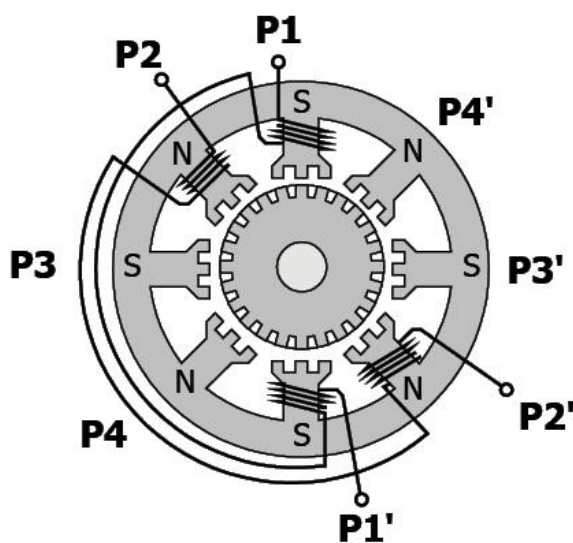
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

3. หากเกิดแรงบิดสูงเกินกว่าที่รับได้หรือเกิดโอเวอร์ทอร์กมอเตอร์จะสูญเสียการรับรู้ตำแหน่งของแกนหมุน จะต้องกลับไปเริ่มต้นการอินิเชียลใหม่

4. ให้แรงบิดที่น้อยกว่ามอเตอร์ไฟตรงและมอเตอร์ไฟสลับที่ขนาดของตัวมอเตอร์เท่ากัน

3.3 ชนิดของสเต็ปปีงมอเตอร์


ในอดีตมีการแบ่งชนิดของสเต็ปปีงมอเตอร์ตามลักษณะโครงสร้าง ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ แบบแม่เหล็กถาวรหรือ PM (Permanent Magnet), แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้หรือ VR (Variable Reluctance) และแบบผสมหรือไฮบริด (Hybrid) ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างแบบ PM และ VR โดยในปัจจุบันนี้สเต็ปปีงมอเตอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบไฮบริด เนื่องจากสามารถทำให้มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ของแกนได้สูงถึง 0.9 องศาต่อสเต็ป (ซึ่งเป็นข้อดีของแบบ VR) และให้แรงบิดหรือทอร์กที่สูง โดยใช้พลังงานต่ำ (เป็นข้อดีของแบบ PM) ซึ่งในรูปที่ 1.15 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริด ดังนั้นการกำหนดชนิดของสเต็ปปีงมอเตอร์ในยุคต่อมาจนถึงปัจจุบันจึงพิจารณาที่ลักษณะของการฟันขดลวด , การต่อสายออกมาใช้งาน และวงจรขับ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ คือ ชนิดไบโพลาร์ (bipolar) และชนิดยูนิโพลาร์ (uni-polar)



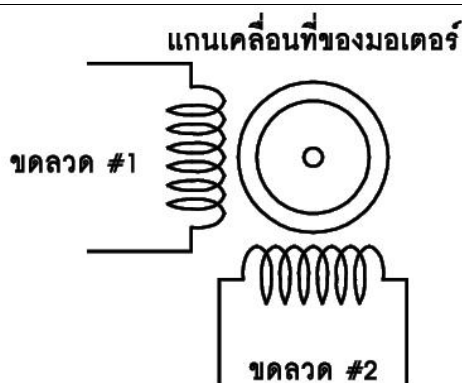
รูปที่ 1.15 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดไฮบริด
(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์>)

3.3.1 สเต็ปปีงมอเตอร์แบบไบโพลาร์

สเต็ปปีงมอเตอร์แบบไบโพลาร์มีลักษณะการฟันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 1.16 แบ่งออกเป็น 2 ขดที่ไม่มีแท่งกลาง ทำให้บางครั้งเรียกว่าสเต็ปปีงมอเตอร์แบบนี้ว่า สเต็ปปีงมอเตอร์แบบ 2 เฟส การขับให้มอเตอร์แบบนี้หมุนจะต้องป้อนแรงดันต่างขั้วกันให้แก่ขดลวดแต่ละขด ทำให้วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ค่อนข้างซับซ้อน

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 13
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

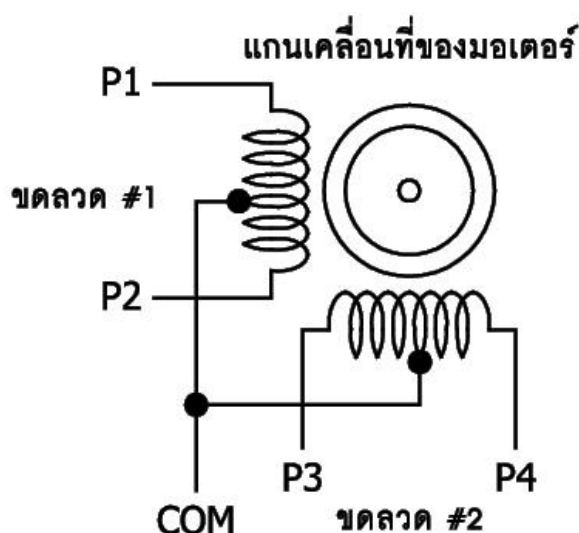
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง




รูปที่ 1.16 แสดงลักษณะการพันขดลวดสเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์
(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์>)

3.3.2 สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 1.17 มีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบ 5 และ 6 สาย บางครั้งเรียกสเต็ปมอเตอร์แบบนี้ว่า เป็นสเต็ปมอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วหรือเฟสของมอเตอร์ให้เรียงลำดับอย่างถูกต้อง มอเตอร์จึงจะสามารถหมุนได้อย่างราบรื่น สเต็ปมอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟสคือ เฟส 1, 2, 3 และ 4 หลังจากนั้นมีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปมอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สาย และ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว



รูปที่ 1.16 แสดงลักษณะการพันขดลวดสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์
(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์>)


	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 14
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

3.4 ขนาดของสเต็ปปีงมอเตอร์มาตรฐาน

เพื่อให้การเลือกใช้งานสเต็ปปีงมอเตอร์เป็นสากลจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานขนาดของสเต็ปปีงมอเตอร์ขึ้น ภายใต้ข้อตกลงร่วมกันของสมาคมผู้ผลิตชิ้นส่วนทางไฟฟ้าแห่งชาติหรือ NEMA (National Electrical Manufacturer's Association) ได้ทำการกำหนดขนาดมาตรฐานของสเต็ปปีงมอเตอร์ออกมา โดยแบ่งตามลักษณะรูปร่างของสเต็ปปีงมอเตอร์ดังนี้

1. รูปลูกบาศก์ (Cube) มีด้วยกัน 4 ขนาดคือ NEMA 14, 15, 16 และ 17 ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 1.17


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 1.17 แสดงข้อมูลเบื้องต้นที่ควรทราบของสเต็ปปีงมอเตอร์มาตรฐาน NEMA (ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์>)


2. ทรงกระบอก (Cylinder) มีขนาดเดียวคือ NEMA 23 ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 1.18

รูปร่าง


ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญ :

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


รูปที่ 1.18 แสดงข้อมูลเบื้องต้นที่ควรทราบของสเต็ปปีงมอเตอร์มาตรฐาน NEMA23 รูปทรงกระบอก (ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์>)

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 15
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

3. ทรงกระป๋องซ้อน (Stack can) สเต็ปป์มอเตอร์ที่มีรูปร่างแบบนี้จะมีขนาดที่ไม่แน่นอน แต่ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว รายละเอียดทางเทคนิคอื่น ๆ แสดงในรูปที่ 1.19

รูปร่าง



ข้อมูลทางเทคนิคที่ควรทราบ :

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

รูปที่ 1.19 แสดงข้อมูลเบื้องต้นที่ควรทราบของสเต็ปป์มอเตอร์มาตรฐานทรงกระป๋องซ้อน
(ที่มา : <https://www.inventor.in.th/home/สเต็ปเปอร์มอเตอร์>)

4. การควบคุมการเคลื่อนที่ของสเต็ปป์มอเตอร์


การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีควเ็นเชียลในรูปแบบที่ถูกต้อง สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบเวฟ (wave) หรือแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (full step 1-phase) , แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส และแบบครึ่งสเต็ป (half step)

4.1 การควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์แบบเวฟหรือฟูลสเต็ป 1 เฟส

การควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์แบบเวฟหรือฟูลสเต็ป 1 เฟส เป็นการควบคุมที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งไล่เรียงถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1, 2, 3, 4 แล้ววนกลับมาขดที่ 1 วนไปเรื่อย ๆ หรือเริ่มที่ขดที่ 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4, 3, 2 แล้วกลับมาขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทางของการหมุนกลับทิศทางในการกระตุ้นแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบนี้มีราคาถูกและง่ายขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1.1 แสดงรูปแบบการกระตุ้นของสเต็ปป์มอเตอร์แบบเวฟหรือฟูลสเต็ป 1 เฟส

สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 16
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

4.2 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส


การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส เป็นการควบคุมที่คล้ายกับแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส ดังตัวอย่าง ขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่ 1 และ 2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขดที่ 1 และ 2 วนไปตามลำดับเช่นนี้ หรือเริ่มที่ขด 1 และ 4 ตามด้วยขดที่ 4 และ 3 ถัดไปเป็นขดที่ 3 และ 2 ต่อไปเป็นขดที่ 2 และ 1 แล้ววนกลับมาที่ขดที่ 1 และ 4 ทิศทางการหมุนจะกลับทิศหากัน การกระตุ้นสเต็ปมอเตอร์แบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และเคลื่อนที่ต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแสดงดังในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงรูปแบบการกระตุ้นของสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

4.3 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป

การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการควบคุมแบบฟูลสเต็ป 1 และ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวน ของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มจากขดลวดที่ 1, 1 และ 2, 2, 2 และ 3, 3, 3 และ 4, 4, 4 และ 1 แล้ววนกลับมายังขดลวดที่ 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง แต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับระยะเท่ากับ 1 สเต็ปเต็มของการควบคุมใน 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานควบคุมแสดงดังในตารางที่ 1.3

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 17
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		

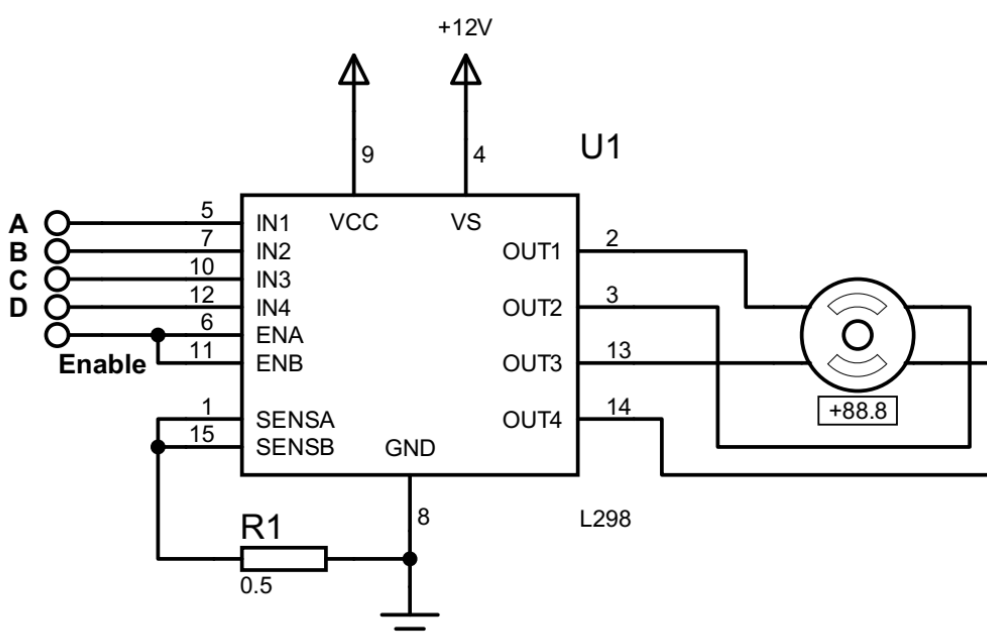
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

ตารางที่ 1.3 แสดงรูปแบบการกระตุ้นของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป


สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	-		
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

4.4 วงจรควบคุมการสเต็ปมอเตอร์

วงจรควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์สามารถสร้างได้โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเช่น ทรานซิสเตอร์ และมอสเฟต เป็นต้น รวมถึงไอซีที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ เช่น L298N หรือ A4988 เป็นต้น โดยในหน่วยนี้จะยกตัวอย่างการใช้งานไอซี L298N เพื่อควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ดังรูปที่ 1.20



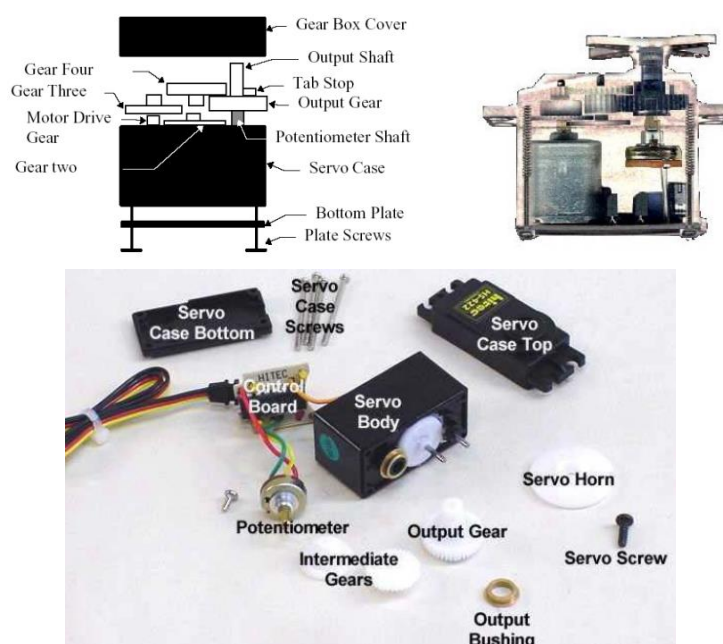
รูปที่ 1.20 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของสเต็ปมอเตอร์โดยใช้ไอซี L298N

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 18
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	


ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

5. อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์

อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับ ชุดเกียร์ และส่วนควบคุมต่าง ๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือ ภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC , GND แล สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียวโดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณ พัลส์วิดโมด (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4-6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้คือ จะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ให้แรงบิดสูง กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุมด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ (Driver) อื่น ๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือทิศทางองศาตามที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ 180° หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น หรือ บางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210° แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ 90 องศา , 180 องศา , 210 องศา หรือ 270 องศาเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ถ้าหากเราต้องการให้มอเตอร์หมุนเป็นวงรอบ (360°) นั้นสามารถทำได้ โดยจะต้องทำการปรับแต่ง (Modify) ดัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์



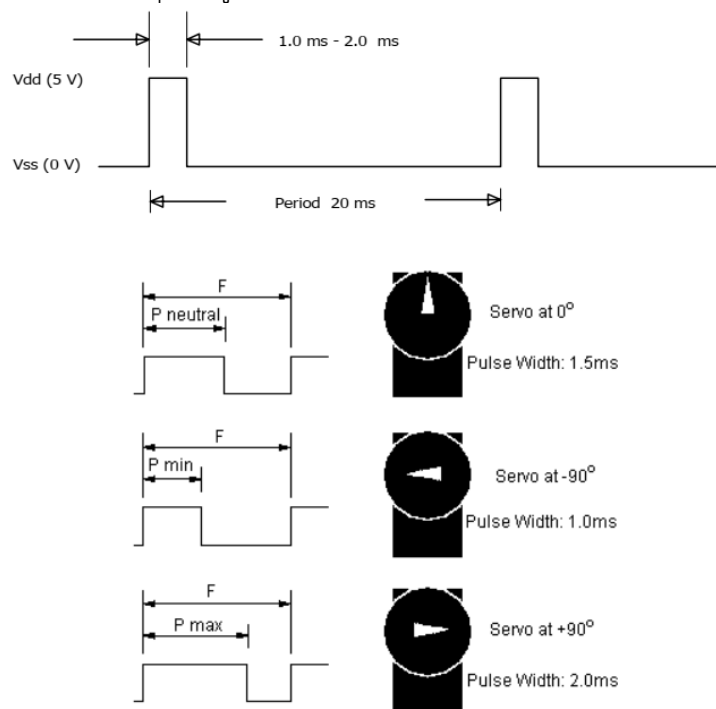
รูปที่ 1.21 โครงสร้างของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์
(ที่มา : www.ett.co.th)

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 19
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง

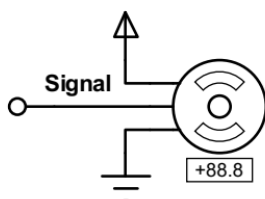
6. การควบคุมการเคลื่อนที่ของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดยการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้น ๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูปที่ 1.22 คือ




รูปที่ 1.22 รูปสัญญาณการควบคุมการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ ณ จุดอ้างอิง

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือ จุดกึ่งกลางของมอเตอร์
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม -90 องศา หรือ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม +90 องศา หรือ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 1.23 ตัวอย่างการต่อใช้งานอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์

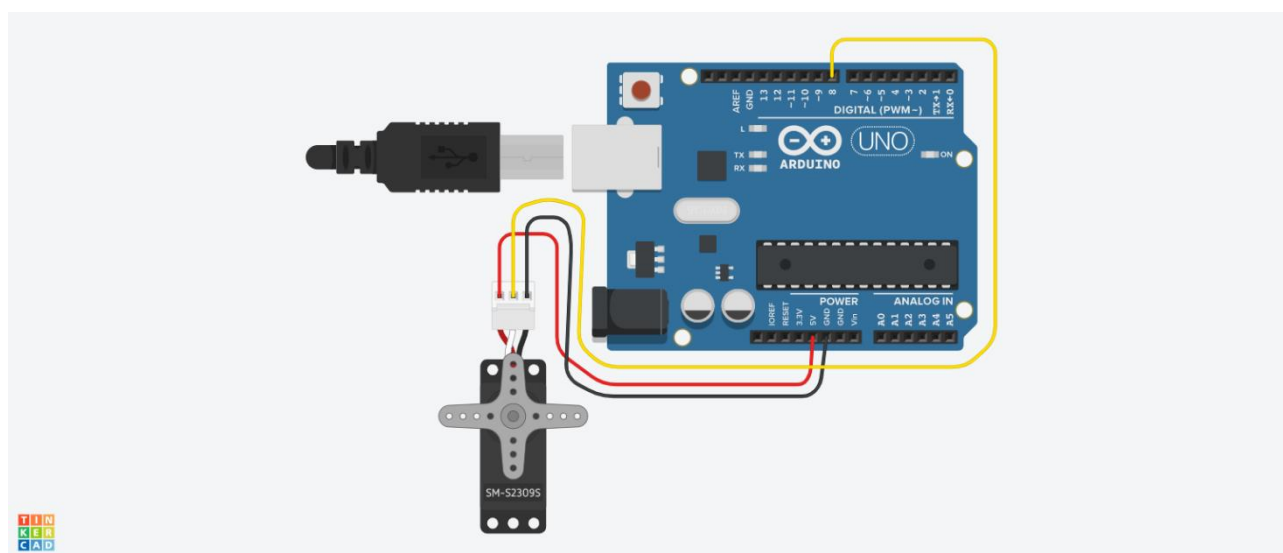
	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 20
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	

ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง


7. การควบคุมการเคลื่อนที่ของอาร์ชีเซอร์โวมอเตอร์ด้วยบอร์ด Arduino Uno


บอร์ด Arduino Uno ได้เตรียมไลบรารีสำหรับการควบคุม RC Servo ไว้ให้ใช้งานสูงสุด 12 ตัว ซึ่งสามารถต่อใช้งานที่ขา D0 – D13 และขา A0 – A5 ได้ก็ได้ โดยเมื่อต้องการใช้งาน RC Servo จะต้องทำการ include ไลบรารี Servo เข้ามาในโปรแกรม ซึ่งไลบรารี Servo จะเป็นการใช้งาน timer1 เพื่อสร้างสัญญาณการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ RC Servo ดังนั้นเมื่อมีการใช้งาน RC Servo โดยเรียกใช้ไลบรารี Servo ขา D9 และ D10 จะไม่สามารถใช้งานเป็นขา PWM โดยใช้ฟังก์ชัน analogWrite() ได้ และค่าเวลาเริ่มต้นของการสร้างสัญญาณการควบคุมการหมุนของ Servo ที่ 0 องศาจะเป็นการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณ 544uS และสัญญาณการควบคุมการหมุนของ Servo ที่ 180 องศาจะเป็นการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณ 180uS โดยไลบรารี Servo มีฟังก์ชันที่ดังนี้

```
servo.attach(pin)           //ฟังก์ชันที่ผูกขาสัญญาณของ arduino เข้ากับฟังก์ชัน Servo
servo.attach(pin,min,max)  //ฟังก์ชันที่ผูกขาสัญญาณของ arduino เข้ากับฟังก์ชัน Servo และสามารถ
กำหนดค่าคาบเวลาของการสร้างพัลส์ที่ 0 องศา และ 180 องศา ได้
servo.write(angle)         //ฟังก์ชันที่ให้ servo หมุนไปยังองศาที่กำหนด โดย angle มีค่าอยู่ระหว่าง 0
ถึง 180 องศา
servo.detach()             //ฟังก์ชันที่หยิกเลิกการผูกขาสัญญาณของ arduino เข้ากับฟังก์ชัน Servo
```



รูปที่ 1.24 ตัวอย่างการต่อใช้งานอาร์ชีเซอร์โวมอเตอร์กับบอร์ด Arduino Uno

	แบบฝึกหัด	หน้าที่ 1
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		
<p><u>คำสั่ง</u> จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง</p> <ol style="list-style-type: none"> ให้นักศึกษาอธิบายความหมายของมอเตอร์ไฟฟ้า ให้นักศึกษาอธิบายหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า ให้นักศึกษาบอกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้า ดีซีมอเตอร์ไฟฟ้ามีกี่ประเภทอะไรบ้าง ให้นักศึกษาอธิบายการทำงานของวงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge ให้นักศึกษาออกแบบวงจรขับดีซีมอเตอร์แบบ H-Bridge โดยใช้อุปกรณ์มอสเฟต ให้นักศึกษาบอกจุดเด่นของสแต็ปปีงมอเตอร์ 		

	แบบฝึกหัด	หน้าที่ 2
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 9
	ชื่อหน่วย การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง	
ชื่อเรื่อง การควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กำลัง		
<p>8. จงบอกประเภทของสแต็ปมอเตอร์ที่แยกตามลักษณะการพันขดลวด และการต่อสายไฟเพื่อใช้งาน</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>9. อธิบายคุณสมบัติของการควบคุมสแต็ปมอเตอร์แบบ Half Step</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>10. ให้อธิบายวิธีการควบคุมการหมุนของอุปกรณ์อาร์ซีเซิร์ฟเวอร์มอเตอร์</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		