

Stepping Motor

สเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor)

สเต็ปปีงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์แอตต์พุตอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำการควบคุมได้สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุน ที่ต้องการตำแหน่ง และ ทิศทางที่แน่นอน การทำงานของ สเต็ปปีงมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้นๆ ละ (Step) 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดของสเต็ปปีงมอเตอร์ตัวนั้นๆ สเต็ปปีงมอเตอร์จะแตกต่างจาก มอเตอร์กระแสตรงทั่วไป (DC MOTOR) โดยการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ปๆ ได้ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่า แต่ในส่วนใหญ่เราจะใช้สเต็ปปีงมอเตอร์มาทำการการควบคุมโดยใช้วิธีในระบบดิจิทัล เช่น พรินเตอร์ (Printer) พล็อตเตอร์ (X-Y Plotter) ดิสก์ไดรฟ์ (Disk drive) ฯลฯ

❶ ข้อดีของสเต็ปปีงมอเตอร์เมื่อเปรียบกับมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR)

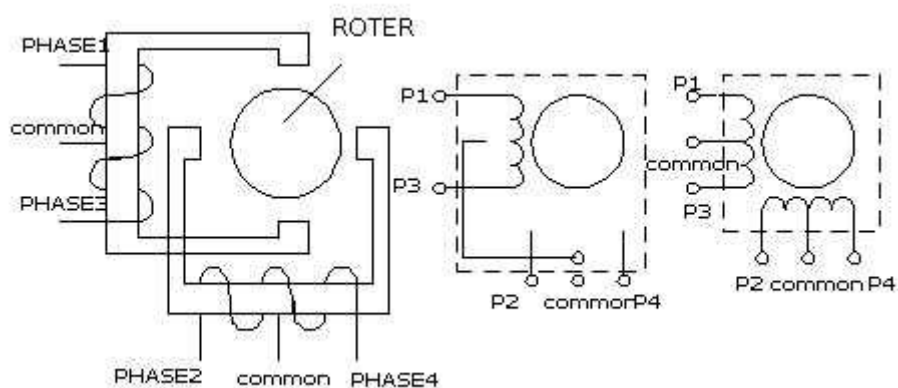
1. การควบคุมไม่ต้องอาศัยตัวตรวจจับการหมุน
2. ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีส่วนที่จะต้องสึกหรอ และปัญหาของการสปาร์ค (ที่เกิดจากหน้าสัมผัสของแปรงถ่านแหวนตัวนำในโรเตอร์) ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน
3. การควบคุมโดยทางวงจรดิจิทัลหรือไมโครโพรเซสเซอร์ ทำได้ง่าย และสะดวก



รูปสเต็ปปีงมอเตอร์ และการทำงาน

สเต็ปปีงมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการทดลองนี้ จะใช้สเต็ปปีงแบบยูนิโพลาร์ (Uni-polar stepper motor) ซึ่งโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนด้วยกันคือ

- 1 ส่วนที่ทำการหมุน (Rotor) จะเป็นแม่เหล็กถาวรหรืออื่นๆ
- 2 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) เป็นขดลวดที่พันไว้จำนวนหลายๆขด



รูปสแต็ปมอเตอร์ 4 เฟส แบบยูนิโพลาร์ (Uni-polar stepper motor)

1. แบบแม่เหล็กถาวร(PERMANENT MAGNET_PM)

สเต็ปมอเตอร์แบบ PM จะมีสเตเตอร์ (STATOR) ที่พันขดลวดไว้หลายๆ โพล โดยมีโรเตอร์ (ROTOR) เป็นรูปทรง กระบอกฟันเลื่อย และโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร เพื่อป้อนไฟกระแสตรง ให้กับขดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลักต่อโรเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนมอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงดูดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่ แม้จะไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด

2. แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (VARIABLE RELUCTANCE- VR)

สเต็ปมอเตอร์แบบ VR จะมีการหมุนโรเตอร์ได้อย่างอิสระ แม้จะไม่ได้จ่ายไฟให้โรเตอร์ทำจากสารเฟอร์ไรต์แมกเนติก กำลังอ่อน มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย รูปทรงกระบอกโดยจะมีความสัมพันธ์ โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุนโรเตอร์ ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพแต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆ จุดดังนั้นเมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่างๆ ในมอเตอร์ แตกต่างขดกันไป ก็ทำให้มอเตอร์ หมุนไปตำแหน่งต่างๆ กันโรเตอร์ของ VR จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM

3. แบบผสม(HYBRID-H)

สเต็ปมอเตอร์แบบ H จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวกหุ้มปลายซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดีทำให้ได้

นาย จิตติ พงษ์สุวรรณ 56030264

มุม การหมุนและครั้งน้อยและแม่นยำ ข้อดีก็คือ ให้แรงบิดสูงและมีขนาดกระทัดรัด และให้แรงฉุดดีโรเตอร์
นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟ

Brushless DC motors

Hub Motor หรือ Brushless DC Motor" ซึ่งจะไม่มีการแปรงถ่าน มอเตอร์แบบนี้ราคาจะสูงกว่าแบบมีแปรงถ่าน และวงจรควบคุมจะมีความซับซ้อนกว่ามาก (มีขดลวด 3 ชุดแต่จะมีหลายชุดและมีการป้อนกลับของ สัญญาณจาก hall sensor วางห่างกันตัวละ 120 องศา หรือวางใกล้ๆกันแล้วแต่ผู้ออกแบบ ซึ่ง hall sensor นี้จะวางใกล้ๆกับขดลวดติดกับแม่เหล็กในตัวมอเตอร์เอง ซึ่งรวมๆแล้วจะมีสายไฟออกจากมอเตอร์ทั้งหมด 8 เส้น) และมอเตอร์แบบนี้ยังมีแบบที่มีเกียร์ (BLDC Hub Motor แบบ Planetary Gear) ข้อดีคือ เวลาเราปั่น จะไม่หนักแรงเหมือน HubMotor แบบธรรมดา แต่ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากอุปกรณ์ภายในซับซ้อน ซ่อม ยาก อีกทั้งระบบเกียร์มักมีปัญหาไม่ทนทาน เนื่องจากไม่ใช่โลหะ

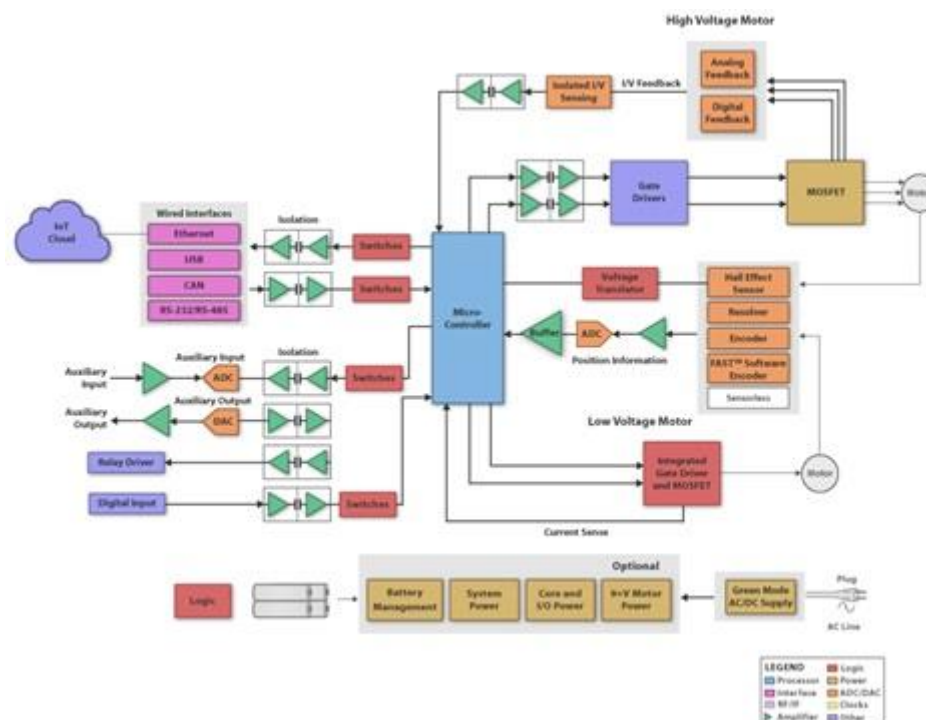
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน (Brushless DC หรือเรียกสั้นๆว่าBLDC) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

กระแสสลับแบบ synchronous (AC Synchronous) สามเฟส หรือจะเป็นแบบ permanent magnet synchronous motor (PMSM) ซึ่งต้องใช้ไฟสามเฟสในการขับ ซึ่งในอดีตเราจะเห็นการใช้งานมอเตอร์ AC Synchronous นี้ในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีแหล่งจ่ายไฟสามเฟส มอเตอร์เหล่านี้จะหมุนด้วยความเร็ว ที่เป็นจำนวนเท่า (หรือที่เรียกกันง่ายๆว่า ซิงค์) ของความถี่ของไฟสามเฟสที่จ่าย (เช่น 50 Hz) ข้อจำกัดในการ ปรับความเร็วรอบจึงทำให้มอเตอร์ประเภทนี้ไม่ถูกใช้งานมากนักในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปในครัวเรือน ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน เราสามารถควบคุมความเร็วรอบที่ค่าต่างๆ โดยไม่ต้องซิงค์ กับ 50 Hz ได้ไม่ยาก ด้วยอุปกรณ์การขับที่เรียกว่า inverter ซึ่งทำงานโดยการรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาสร้างเป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับสามเฟสจ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งจริงๆแล้ว DC มอเตอร์เองก็ใช้วิธีสลับทิศทางการจ่ายกระแส (commute) จากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจ่ายให้ขดลวดผ่าน Commutator ซึ่งใช้แปรงถ่านในการทำหน้าที่นี้ แต่ในกรณีของ BLDC จะออกแบบให้ขดลวดอยู่นิ่ง (stator)และมีแม่เหล็กถาวรหมุนได้ แล้วใช้วิธีการสลับ ทิศทางกระแสจ่ายให้ขดลวดด้วยวงจรไฟฟ้าแทนการใช้แปรงถ่านจึงกลายเป็นที่มาของชื่อ มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน



รูปที่ 1 ตัวอย่าง BLDC จาก บริษัท Maxon**รูปที่ 2** เครื่องมือช่วยกระชับใบหน้า ลดรอยเหี่ยวย่น ของ บริษัท LPG system จากฝรั่งเศส ใช้ BLDC ของ Maxon (Maxon website)**รูปที่ 3** BLDC ใช้ในการสร้าง Robot เพื่อลดความเหนื่อย ทำให้เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น (จาก บริษัท MICROMO)

BLDC เป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในแง่ของการใช้พลังงานแน่นอนว่าสูงกว่า DC มอเตอร์ที่ใช้แปรงถ่าน หรือพูดง่าย ๆ ว่าให้พลังเชิงกลเยอะกว่าเมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าๆกัน และยังให้แรงบิดสูงในความเร็วรอบที่สูงเช่นกัน รวมทั้งมีความเฉื่อยหรือการต้านการหมุนที่ต่ำ BLDC เหมาะในการนำมาใช้งานแทนมอเตอร์ DC แบบเก่า รวมทั้ง AC มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (AC induction) โดยเฉพาะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงๆ เช่นพวกที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ หรือจะเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เช่น hard disk drive, เครื่องเล่น CD/DVD, ปัม্পัตลม เครื่องดูดฝุ่น เครื่องชงกาแฟ เครื่องบินบังคับด้วยวิทยุ เครื่องมือทางการแพทย์ และพวกเครื่องมือช่างที่ใช้แบตเตอรี่ แต่ข้อด้อยที่สำคัญของ BLDC ก็คือความยุ่งยากในการขับ และการควบคุมความเร็ว (ไม่ต้องพูดถึงการควบคุมตำแหน่ง ซึ่งยากขึ้นไปอีก)



รูปที่ 4 ตัวอย่างองค์ประกอบหลักๆของชุดควบคุม BLDC (ที่มาจาก Texas Instrument)

การควบคุมความเร็วของ BLDC โดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบหลักๆดังแสดงใน รูปที่ 4 ซึ่งประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Supply)
2. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสสลับสามเฟสให้กับมอเตอร์ (ส่วนใหญ่เป็น MOSFET)

3. ชุดควบคุมในการสร้างไฟกระแสสลับสามเฟสและควบคุมความเร็ว

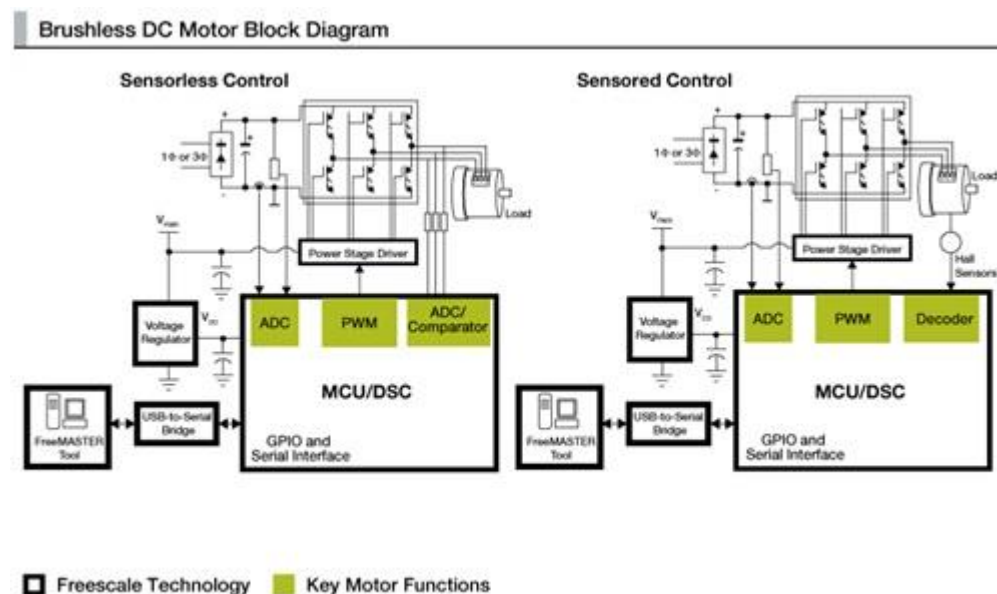
จากองค์ประกอบหลักข้างต้น ชุดควบคุมในการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส น่าจะเป็นส่วนที่ยากที่สุดที่ทำให้การใช้งาน BLDC ไม่ได้รับความนิยมในการใช้งานทั่วไปที่ไม่ได้ต้องการประสิทธิภาพสูงนัก ในการสร้างไฟกระแสสลับสามเฟสดังกล่าว จะต้องมียุติที่เข้าจังหวะกับแกนหมุนของ BLDC ที่เป็นแม่เหล็ก ที่จะหมุนตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนที่สร้างจากขดลวด คล้ายๆ กับหลักการจุดระเบิดหัวเทียนในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ที่จะต้องจุดระเบิดให้ตรงจังหวะของตำแหน่งของลูกสูบในกระบอกสูบ

หลักการในการหาเฟสที่พอดีในการสร้างไฟกระแสสลับสามเฟสนั้น เริ่มต้นจาก การติดตั้งเซนเซอร์วัดตำแหน่งเชิงมุม ของแกนหมุน (rotor) (จะอยู่ภายในหรือภายนอก ขึ้นกับโครงสร้างของ BLDC) เทียบกับส่วนที่อยู่นิ่ง (stator) โดยทั่วไปจะใช้เซนเซอร์ที่ใช้หลักการ hall effect เมื่อได้จังหวะหรือองศาทางไฟฟ้าแล้ว ก็จะทำการจ่ายกระแสให้ขดลวดแต่ละเฟส และสามารถควบคุมความเร็วโดยการควบคุมปริมาณกระแสในขดลวด ซึ่งจะสัมพันธ์กับแรงบิด วิธีการที่นิยมใช้กันคือวิธีการของ pulse width modulation (PWM) เมื่อกระแสเพิ่มแรงบิดก็จะเพิ่ม ทำให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น จังหวะการสร้างสัญญาณกระแสสลับสามเฟสก็จะถ่วงขึ้น เป็นเช่นนี้

ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ความเร็วรอบที่ต้องการ

ต่อมา ได้มีการพัฒนาวิธีการใหม่ ที่ไม่ต้องใช้เซนเซอร์ในการหาตำแหน่งเชิงมุมของ rotor โดยใช้วิธีการวัดค่าแรงดันต้านกลับจากมอเตอร์ (back EMF) ซึ่งเป็นแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์หมุนแล้ว อันเป็นหลักการเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Faraday ด้วยเหตุที่ไม่จำเป็นต้องมีเซนเซอร์ในการวัดตำแหน่งเชิงมุมนี้ วิธีการดังกล่าวนี้จึงได้ชื่อว่า sensorless สัญญาณ back EMF นี้จะเป็นสัญญาณกระแสสลับ ซึ่งสามารถนำมาหาจังหวะในการสลับ การจ่ายไฟในแต่ละเฟสได้ โดยสัญญาณ back EMF นี้สามารถวัดได้จากแรงดันและกระแสที่จ่ายให้ BLDC ในแต่ละเฟส ถ้าพูดกันตามความเป็นจริงแล้วหลักการดังกล่าวก็ไม่ใช่ว่าจะไม่มีเซนเซอร์ซะทีเดียว เพราะยังต้องใช้เซนเซอร์ในการวัดแรงดันและกระแสในแต่ละเฟส เพียงแต่ว่าเซนเซอร์ดังกล่าวเป็นสิ่งที่ใช้กันอยู่แล้วในวงจรขับ จึงเสมือนไม่ต้องมีเซนเซอร์(เพิ่มเติม)

หลายคนอาจเกิดข้อสงสัยว่า สัญญาณ Back EMF จะเกิดเมื่อมอเตอร์หมุนแล้ว แล้วในขณะเริ่มต้น จะเอาสัญญาณที่ไหนมาใช้ คล้ายๆ กับการจุดระเบิดหัวเทียนในเครื่องยนต์ ที่ต้องมีการจุดเครื่องยนต์ให้หมุนก่อน เช่นการสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่ต้องใช้แบตเตอรี่ เมื่อเครื่องยนต์หมุน จึงจะมีสัญญาณจากจานจ่ายไปจุดระเบิดที่หัวเทียน เช่นเดียวกัน ในการขับ BLDC ด้วยหลักการนี้ จะต้องหาวิธีให้ BLDC หมุนให้ได้ก่อน โดยไม่ใช้สัญญาณ Back EMF ซึ่งอาจทำได้โดยการสร้างสัญญาณกระแสสลับสามเฟสที่มีความถี่ต่ำๆ ก่อน เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหมุนช้าๆ ที่ stator เพื่อล่อให้แม่เหล็กใน rotor หมุนตามช้าๆ จนเกิดสัญญาณ Back EMF ที่ชัดเจนเพียงพอในการนำไปใช้ต่อไป



รูปที่ 5 ตัวอย่างโครงสร้างของการควบคุม BLDC ทั้งแบบใช้เซนเซอร์ และ ไม่ใช้เซนเซอร์ จาก บริษัท

Freescall

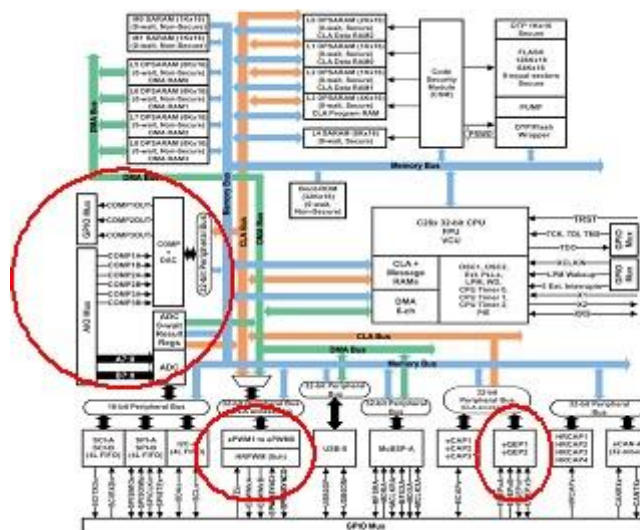
จากวิธีการขับ BLDC ดังกล่าวข้างต้น จะเหมาะสำหรับการควบคุมความเร็วรอบ ถ้าต้องการควบคุมตำแหน่ง เช่น ใน robot อาจจะเป็นเรื่องที่ยากมากที่จะไม่ใช่เซนเซอร์วัดตำแหน่งเชิงมุม เพราะการควบคุมตำแหน่งเชิงมุมนั้น ความเร็วของ BLDC จะเปลี่ยนแปลงไปมาตั้งแต่ความเร็วสูงๆ ไปถึงความเร็วต่ำๆ และหยุดนิ่ง ซึ่งที่สภาวะหยุดนิ่งหรือความเร็วต่ำๆ จะไม่สามารถวัด Back EMF ได้ ดังนั้นในการควบคุมตำแหน่งของ BLDC ยังคงเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและต้องใช้เซนเซอร์อยู่

อย่างไรก็ตาม ดูเหมือนว่า ความยุ่งยากในการสร้างชุดควบคุมสำหรับ BLDC ได้ลดลงอย่างมาก เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านคอมพิวเตอร์ หรือโดยเฉพาะหน่วยประมวลผลจิว (แต่แจ้ว) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า micro controller, micro processor ซึ่งถูกนำมาใช้ในระบบสมองกลอัจฉริยะ (embedded system) ที่อยู่ในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (อัจฉริยะ) ทั่วไป เช่น smart phone, smart TV, เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว ... โดยในปัจจุบัน ผู้ผลิต micro controller ส่วนใหญ่จะมีรุ่นที่รองรับการใช้งานกับ BLDC หรืออันที่จริงใช้กับมอเตอร์ใดๆ ก็ได้ เช่น PIC/dsPIC จากค่าย microchip, TMS320F2806x จากค่าย Texas Instrument, ATmega จากค่าย Atmel หรือจะเป็นรุ่นสุดฮืออย่าง ARM Cortex M3/M4 ซึ่งหลายๆ ค่ายข้างต้นนำไปผลิตองค์ประกอบหลักๆ ที่จำเป็นในการควบคุมความเร็ว BLDC ที่ถูกรวมเข้าไปใน micro controller ได้แก่

- โมดูลในการสร้างสัญญาณ PWM ทกช่องสัญญาณ
- วงจรขับ gate ของอุปกรณ์ power electronics เช่น MOSFET
- โมดูลรับสัญญาณป้อนกลับจาก Encoder พร้อมการนับ (Quadrature Encoder Pulse/Interface QEP, QEI)

Pulse/Interface QEP, QEI)

- โมดูลการเชื่อมต่อกับสัญญาณ analog (analog to digital และ digital to analog converter หรือ ADC และ DAC)
- โมดูลการสื่อสารข้อมูลอื่นๆ เช่น UART, I2C, ISP, CAN เป็นต้น



รูปที่ 6 ตัวอย่างโครงสร้าง micro controller ที่รองรับการควบคุมมอเตอร์ของ Texas Instrument

Microcontroller เหล่านี้มีราคาที่ถูกมาก ตัวที่มีประสิทธิภาพสูงๆ คำนวณระดับ 32 bit มี flash memory เยอะๆ ราคาต่ำกว่าหลักพัน ยิ่งถ้าซื้อจำนวนมากๆ ราคาก็อยู่ในหลักร้อยกลางๆ แต่ถ้าต้องการงานที่ไม่ซับซ้อนมากก็มีตัวขนาดเล็ก 8 ถึง 16 bit ราคาแค่หลักร้อยนิดๆ หรืออาจแค่หลักสิบบาทก็มี

นอกเหนือจาก hardware ที่มาพร้อมใน chip เดียว แล้ว ผู้ผลิต micro controller ยังมีตัวอย่างโปรแกรม ข้อมูลทางเทคนิคต่างๆ รวมทั้งชุดคำสั่งที่รองรับโปรแกรมภาษามาตรฐาน เช่น ภาษา C (C library) ซึ่งทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น

อย่างไรก็ดี ถึงแม้จะมีตัวอย่างโปรแกรมจากผู้ผลิต chip ให้ดูมากมาย เรายังคงต้องพยายามเขียนโปรแกรมอยู่ดี ซึ่งรวมถึงโปรแกรม algorithm ในการควบคุมให้ได้ความเร็วตามต้องการ เช่น PID ซึ่งต้องอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และการปรับแต่งค่าตัวแปรต่างๆ สุดท้ายก็ทำให้การหมุนมอเตอร์ Brushless DC (น่าจะยังคง) ยากอีกต่อไป!

จากการแข่งขันกันของผู้ผลิต chip ซึ่งเล็งเห็นแล้วว่า การควบคุมมอเตอร์ แบบต่างๆ นั้นมีมูลค่าทางตลาดสูงมาก ในอนาคต จะมีการควบคุมมอเตอร์ในเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยเฉพาะประเทศแถบยุโรป ดังนั้นจึงเกิดการแข่งขันกันสร้างนวัตกรรมใหม่ ทางด้านการควบคุมมอเตอร์อย่างต่อเนื่อง ล่าสุด ทาง Texas Instrument ได้ออกแบบ algorithm ที่เรียกว่า TI's InstaSPIN Motor Control Solution ที่ใช้ในการขับมอเตอร์ที่ใช้งานได้ง่าย และมีขีดความสามารถสูงมาก โดย algorithm นี้จะถูกเขียนลงใน chip มาจากบริษัทเลย (เป็นความลับ) ผู้ใช้แค่เรียนรู้วิธีการเรียกใช้งานคำสั่งต่างๆ ที่บรรจุมา ซึ่งทางบริษัทอ้างว่า ใช้งานได้ง่ายมาก ใช้กับมอเตอร์ได้หลากหลาย มีพารามิเตอร์แค่ตัวเดียวที่ต้องปรับแต่ง ต่อไปเราไม่ต้อง download โปรแกรมตัวอย่าง หรือ application notes มาศึกษาแล้ว (อะไรจะง่ายขนาดนั้น)

ยังไม่พอ ถ้าสั่งซื้อตอนนี้ ทาง Texas Instrument ยังมี Tool ที่สามารถใช้ในการปรับแต่งให้ download ฟรีๆ โดย Tool ตัวนี้ run บน window ทั่วไป ผู้ที่ไม่มีความรู้เรื่องระบบควบคุมเลย ก็สามารถควบคุม BLDC ได้ด้วยเพียงปลายนิ้วสัมผัส (โอ้แม่เจ้า control engineer คงต้องตกงานแล้วละ)

TI's InstaSPIN Motor Control Solution เป็นชุดของ software ที่สามารถใช้กับมอเตอร์ทุกประเภท ประกอบด้วยหลายๆ โมดูล ขึ้นกับการนำไปใช้งาน ได้แก่ InstaSPIN-BLDC, InstaSPIN-FOC, InstaSPIN-MOTION, โดยมีรายละเอียดคร่าวๆ ดังนี้

InstaSPIN-BLDC

เป็นชุดคำสั่ง(library) ไม่ได้เป็นโมดูลที่บรรจุมาใน chip แต่อย่างไรก็ตามใช้สำหรับงานควบคุมความเร็ว BLDC โดยเฉพาะ ที่เน้นให้ใช้งานได้ง่าย ใช้กับ BLDC ได้หลากหลาย โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรู้พารามิเตอร์ต่างๆ ของ

นาย จูติ พงษ์สุวรรณ 56030264

ตัว BLDC เลย

จุดสำคัญที่สุดของโมดูลนี้คือ การใช้ค่าฟลักซ์แม่เหล็กแทนสัญญาณ back EMF เพื่อใช้ในการกำหนดจังหวะการ สลับเฟสการจ่ายกระแส ซึ่งทำให้การควบคุมความเร็วได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะที่ความเร็วต่ำๆ ซึ่งสัญญาณ back EMF จะไม่ชัดเจน หรือมีค่าต่ำๆ หลายท่านอาจสงสัยว่า แล้วค่าฟลักซ์แม่เหล็กจะหามาได้อย่างไร จากกฎของฟาราเดย์

$$e = - (d\varphi / dt)$$

โดยที่ e คือ back EMF และ φ คือฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งหาได้จากการอินทิเกรตสัญญาณ back EMF นั้นเอง หรือนั่นคือ

$$\varphi = -\int e dt$$

ถ้าเรามองในมุมมองทางคณิตศาสตร์ การคำนวณหาค่าฟลักซ์ดังข้างต้น ก็ไม่น่าจะมีส่วนช่วยอะไร เพราะจริงๆ แล้วก็คือข้อมูลเดียวกัน แต่ในแง่ของการใช้งานจริงนั้น สัญญาณที่ได้จากการวัดจะมีสัญญาณรบกวนอยู่เสมอ การอินทิเกรตจะช่วยลดผลของสัญญาณรบกวนได้ดี เนื่องจากธรรมชาติของการอินทิเกรตจะเป็นการกรองความถี่สูงทิ้งไป (low pass filter) เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตลอดเวลาทั้งบวกบ้างลบบ้าง เมื่ออินทิเกรตแล้ว ก็เลยเจากันไป

ด้วยหลักการนี้ เลยทำให้การใช้งาน BLDC ที่ความเร็วต่ำๆ ได้ดีเช่นเดียวกับที่ความเร็วสูงๆ เนื่องจากที่ความเร็วต่ำนั้น สัญญาณจาก back EMF จะมีค่าแรงดันต่ำตามความเร็ว ซึ่งถ้าต่ำมากเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวน ก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่เมื่อใช้การคำนวณหาฟลักซ์ ผลของสัญญาณรบกวนก็จะลดลงจากการอินทิเกรตนั่นเอง

ด้วยวิธีการนี้ ผู้ใช้แค่เพียงปรับค่าพารามิเตอร์ตัวเดียว คือค่าThreshold ของฟลักซ์แม่เหล็ก ก็สามารถทำให้ BLDC หมุนได้ทันที ทางบริษัท Texas Instrument ได้ผลิตชุด Kit สำหรับการขับ BLDC โดยที่มี GUI Tool ที่สามารถตั้งค่า Threshold ได้โดยง่าย พร้อมทั้งแสดงผลของสัญญาณ back EMF และฟลักซ์แม่เหล็กด้วย ซึ่งทำให้การปรับค่า Threshold ทำได้ง่าย

นอกจากนั้น ชุด software ดังกล่าวยังมี โมดูลการควบคุมเพื่อรักษาความเร็วให้คงที่ โดยใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบ Proportional + Integral (PI) โดยที่ความเร็วของมอเตอร์ได้จากการคำนวณจากสัญญาณ back EMF นั้นเอง ยังไม่พอ ยังมีโมดูลการควบคุม torque หรือแรงบิด ซึ่งค่าแรงบิดจะสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ ซึ่งการควบคุม แรงบิดนี้ จะไม่สนใจความเร็ว แต่จะรักษาให้กระแสที่จ่ายให้มอเตอร์คงที่ตามค่าที่ผู้ใช้ตั้งไว้ ซึ่งค่าแรงบิดนี้จะส่งผลในเรื่องความเร่ง เช่นที่กระแสต่ำๆ ความเร็วรอบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นๆ แต่ถ้าเราต้องการควบคุมทั้งความเร็วและแรงบิดพร้อมกัน ก็สามารถทำได้โดยง่าย โดยนำเอาตัวควบคุม

นาย จูติ พงษ์สุวรรณ 56030264

ทั้งสองชุดมาต่ออนุกรม (case cade) นั่นเองนั่นคือ ควบคุมทั้งความเร็วและขณะเดียวกันก็ควบคุมแรงบิดด้วย โดยการควบคุมความเร็วจะทำให้เราสามารถรักษาความเร็วให้ได้ตามความเร็วที่ต้องการ ในขณะที่การควบคุมแรงบิดจะมีผลกับการเร่งความเร็ว เช่นถ้าเราใช้งานการควบคุมความเร็วโดยตั้งความเร็วที่ต้องการ (setpoint) ไว้ที่ 1,000 rpm และใช้ร่วมกับการควบคุมแรงบิด โดยตั้งค่าแรงบิดที่ต้องการไว้ต่ำๆ จะทำให้ความเร็วค่อยๆ เพิ่มขึ้นช้าๆ จนถึงค่าที่ต้องการ แต่ถ้าตั้งค่าแรงบิดไว้สูงๆ ก็จะทำให้เร่งความเร็วได้เร็วขึ้น

Insta-SPIN-FOC

ในส่วนของโมดูลนี้ จะเป็น algorithm การขับมอเตอร์แบบ Field-oriented control(FOC)ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไร้แปรงถ่านทุกประเภททั้ง AC synchronous, PMSC และ AC induction หลักการคร่าวๆ ของ FOC ก็คือ การสร้างสนามแม่เหล็กหมุนที่ stator โดยทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะพยายามให้ตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็กของ rotor มากที่สุด ซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิดมากที่สุด (ลองจินตนาการว่าถ้าเราจับแม่เหล็กในเข็มทิศให้วางตัวในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก แล้วปล่อย เข็มทิศจะหมุนกลับไปยังทิศเหนือ-ใต้ เร็วมากกว่า เมื่อเทียบกับถ้าวางตัวแม่เหล็กเอียงๆ ในแนวทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้)

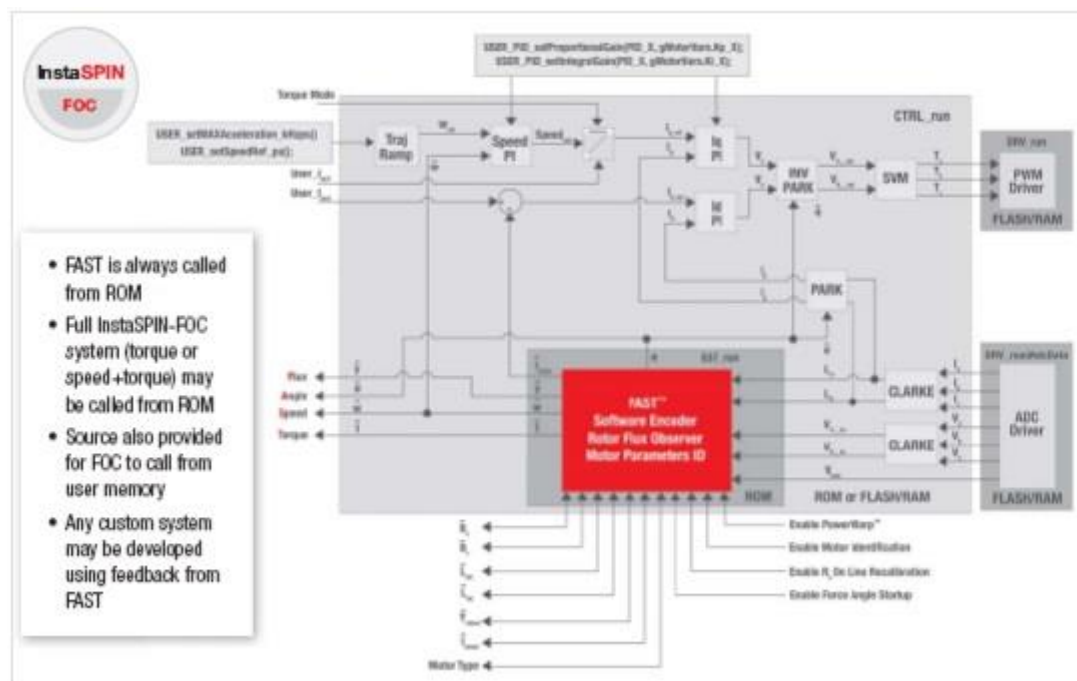
ดังนั้น หลักการที่สำคัญของ FOC คือจะสร้างสนามแม่เหล็กหมุนที่ stator ซึ่งเหมือนกับการสร้างสนามแม่เหล็กด้วยขดลวด field ของมอเตอร์กระแสตรงแบบที่ไม่ใช้แม่เหล็กถาวร โดยการสร้างสนามแม่เหล็กหมุนด้วยวิธี FOC นี้จะควบคุมทั้งความแรงและทิศทางของสนามแม่เหล็กที่จะต้องทำมุม 90 องศาทางไฟฟ้า กับสนามแม่เหล็กของแกนหมุนหรือ rotor ซึ่งต่างจากการสร้างแบบอื่นๆ ที่จะควบคุมแค่ความแรง ส่วนทิศทางนั้นจะใช้วิธีการ commutation ตามจังหวะของ back EMF ดังนั้น บางครั้ง เทคนิค FOC นี้เลยถูกเรียกอีกชื่อว่า vector(ขนาดและทิศทาง) control

จากหลักการ FOC ดังกล่าว จะเห็นว่าความยากของการควบคุม อยู่ที่เราจะทราบได้อย่างไรว่าตอนนี้ แกนหมุน หรือ rotor ของมอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งใด วิธีหนึ่งที่ใช้ได้คือการติดตั้งเซนเซอร์เพิ่มนั่นเอง ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของระบบ อย่างไรก็ตามที่ในอดีตที่ผ่านมา มีงานวิจัยมากมายที่พยายามหาวิธีการหาตำแหน่งของ rotor โดยไม่ต้องใช้เซนเซอร์เพิ่มเติม เพื่อคงหลักการของ sensorless ไว้ ซึ่งต้องอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน เพื่อคำนวณหาโมเดลของมอเตอร์ ด้วยทฤษฎีทางด้านระบบควบคุมแนวใหม่ (modern control) นั่นคือการใช้ observer ซึ่งสามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็วภายในตัว micro processor ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม algorithm สำหรับ observer ก็ยังยากอยู่มากสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป เนื่องจากต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจทางด้านทฤษฎีระบบควบคุมแนวใหม่

เพื่อให้ผู้ใช้ได้เข้าถึง algorithm ในการคำนวณหาตำแหน่งของ rotor ที่แม่นยำเพียงพอซึ่งถือเป็นหัวใจของการขับมอเตอร์แบบ FOC ทาง TI จึงได้พัฒนา algorithm ดังกล่าวลงใน chip ของบริษัทบางรุ่นที่รองรับการควบคุมมอเตอร์โดยเฉพาะโดยบรรจุลงใน ROM เลย ผู้ใช้สามารถเรียกใช้งานชุดคำสั่งดังกล่าวได้ทันที

นาย จูติ พงษ์สุวรรณ 56030264

algorithm ดังกล่าวนี้อาจยังสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่นๆ อีก ได้แก่ ฟลักซ์ (Flux) มุม (Angle) ความเร็วรอบ (Speed) และแรงบิด (Torque) และได้ตั้งชื่อทางการค้าเป็น FASTTM Software Encoder ซึ่งต้องถือว่าเป็นที่เด็ดของทาง TI เลยทีเดียว



รูปที่ 7 โครงสร้างของ InstaSPIN-FOC

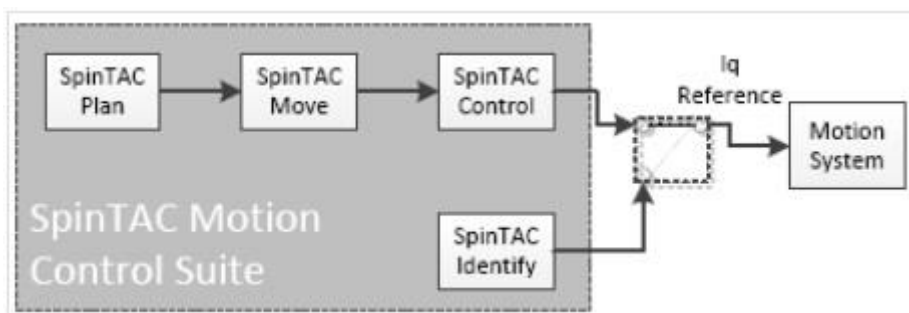
จากโครงสร้างของ InstaSPIN-FOC ใน รูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า เราสามารถใช้งานได้ทั้งในโหมดการควบคุมความเร็ว และ แรงบิด โดยจะมีตัวควบคุมซึ่งเป็นแบบ PI โดยผู้ใช้อย่างปรับแต่งพารามิเตอร์สองตัว คือ อัตราการขยายของ P และ I ผู้ใช้สามารถเลือกใช้การควบคุม ความเร็วหรือแรงบิดอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือจะใช้ทั้งสองแบบต่อกันแบบอนุกรมก็ได้

InstaSPIN-MOTION

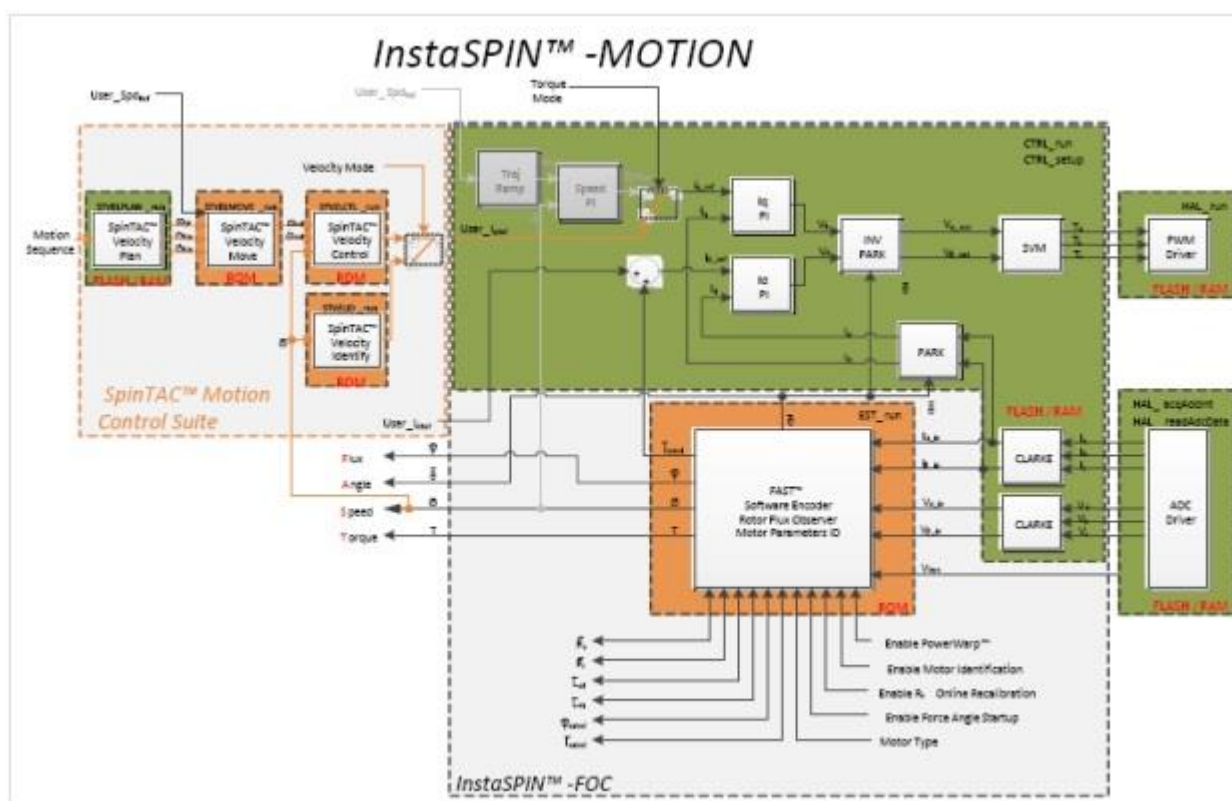
เป็นชุดคำสั่ง ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์โน้มนวดต่างๆ ทั้ง Torque, Speed และ Position ซึ่งออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย มีพารามิเตอร์เดียวที่ต้องปรับแต่ง คือ bandwidth ซึ่งไม่เหมือนกับตัวควบคุม PID ในอดีตที่ต้องปรับค่า gain หลายตัวโดยชุดคำสั่ง InstaSPIN-MOTION นี้ก็อาศัยความสามารถของเจ้า algorithm FAST เช่นเดียวกัน เพียงแต่ในการควบคุมความเร็ว ตำแหน่ง หรือ แรงบิดนั้น จะไม่ได้ใช้ PI ดังเช่นใน InstaSPIN-FOC แต่จะเป็นตัวควบคุมที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท Linestream โดยใช้ชื่อว่า SpinTAC และได้นำมาใส่ใน micro-controller ของค่าย TI นั่นเอง โดยทาง Linestream กล่าวว่าตัวควบคุม motion control ของเค้าสามารถใช้งานได้ง่าย มีเพียงพารามิเตอร์เดียวที่ต้องปรับ คือ bandwidth ซึ่งใช้ได้ทั้งการควบคุม ตำแหน่ง ความเร็ว และแรงบิด การรวมเอา motion control ของบริษัท Linestream เข้ามาร่วมกับ

นาย จูติ พงษ์สุวรรณ 56030264

algorithmFAST ของ TI แล้วให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้โดยง่ายนับว่าเป็นพัฒนาการทางด้าน embedded อย่างมากทีเดียว



รูปที่ 8 องค์ประกอบของโมดูล SpinTAC



รูปที่ 9 ภาพรวมของ InstaSPIN-MOTION ซึ่งรวมเอา SpinTAC กับ InstaSPIN-FOC เข้าด้วยกัน

จากที่ผมได้เขียนเล่าเกร็ดเล็กเกร็ดน้อยเกี่ยวกับการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ BLDC นั้น ผมมีได้ตั้งใจที่จะเขียนผลิตภัณฑ์จากค่ายใดค่ายหนึ่ง เพียงแต่จากการที่ผมได้เสาะหาข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุม BLDC ซึ่งจะนำมาใช้งานในโปรเจกต์หนึ่งของผมนั้น เดิมที่ตั้งใจจะใช้ micro-controller จากค่าย PIC หรือไม่ก็ ARM เพราะพอจะคุ้นเคยอยู่บ้างแต่พอได้สืบค้นข้อมูลจึงทำให้พบว่า ค่าย TI ได้พัฒนาเครื่องมือต่างๆ ที่เหมาะกับการควบคุมมอเตอร์ที่น่าจะใช้งานได้ง่ายกว่าค่ายอื่นๆ จึงคิดว่าน่าจะลองใช้ดู และโดยส่วนใหญ่แล้ว การเขียนโปรแกรมสำหรับ micro-controller ไม่ว่าจากค่ายไหนก็เหมือนกัน เพราะผู้ผลิต จะให้ compiler ที่

นาย จูติ พงษ์สุวรรณ 56030264

สามารถใช้กับภาษาที่ง่ายเช่น C/C++ หรืออยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าค่ายอื่นๆ จะไม่ได้มีการบรรจุชุดคำสั่ง หรือ algorithm สำหรับการควบคุมมอเตอร์ไว้ใน chip แต่ส่วนใหญ่ก็จะมีโปรแกรมตัวอย่างและ application notes ต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวอย่างได้ดีเช่นกัน ซึ่งก็น่าจะทำให้การพัฒนา embedded controller สำหรับการควบคุมมอเตอร์ได้ง่ายขึ้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

Permanent magnet

1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

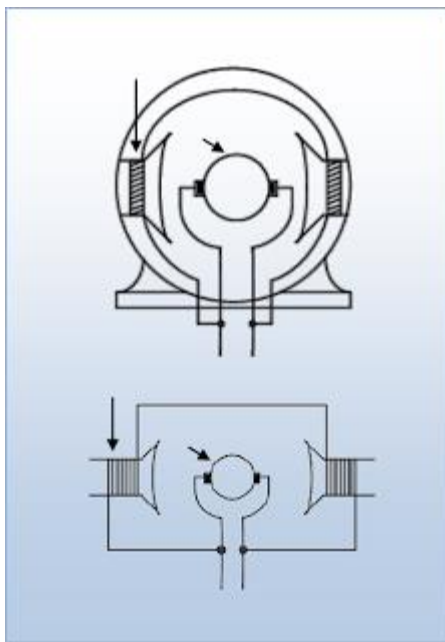
เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และ สนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการหมุนได้

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็ก หรือ เหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่ และ ขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

- Shunt wound

1. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ (Shunt Motor)

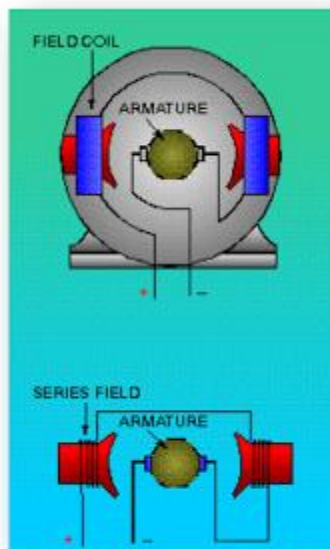
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน หรือ เรียกว่าชันทมอเตอร์ คือ มอเตอร์ที่มีขดลวดฟิลด์ (Field Coil) ต่อแบบขนานกับชุดขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าความต้านทานของขดลวดฟิลด์มีค่าสูงมากและต่อ คร่อมไว้โดยตรงกับแหล่งจ่าย แรงดันไฟฟ้าภายนอกทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดฟิลด์มีค่าคงที่ โดยที่ จะ ไม่เปลี่ยนแปลงตามรอบการหมุนของมอเตอร์เหมือนกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดฟิลด์ของมอเตอร์แบบ อนุกรม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงบิดของมอเตอร์มอเตอร์แบบขนานจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์เท่านั้น และแรงบิดขณะเริ่มหมุนจะมีค่าน้อยกว่ามอเตอร์แบบอนุกรมรวมทั้งความเร็วรอบ ของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยขณะที่โหลดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง และ เมื่อ ำ โหลดของมอเตอร์ ออกทั้งหมดมอเตอร์จะมีความเร็วรอบสูงกว่าขณะมีโหลดเพียงเล็กน้อย



- Series wound

2. .มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรียส์มอเตอร์ (Series Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแส แบบอนุกรม หรือซีรียส์มอเตอร์ คือ มอเตอร์ที่ต่อขดลวดฟิลด์อนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ เราเรียกขดลวดฟิลด์ชนิดนี้ว่า ซีรียส์ฟิลด์ (Series Field) ซึ่งซีรียส์ฟิลด์เป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเพื่อท ำปฏิกิริยากับสนามแม่เหล็กของขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยขดลวดฟิลด์ของมอเตอร์แบบ อนุกรมจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่พันขั้วแม่เหล็กไวโนจ ำนวนน้อยรอบ เนื่องจากการที่ขดลวดมีค่าความต้านทาน ต่ำ ดังนั้นในขณะที่เริ่มหมุน (Start)จะกินกระแสไฟฟ้ามากท ำให้เกิดแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูงและความเร็วรอบ ของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับโหลดของมอเตอร์ ถ้าโหลดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงจะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ เปลี่ยนแปลงด้วย กล่าวคือ มอเตอร์แบบอนุกรมจะหมุนรอบสูงถ้าโหลดของมอเตอร์ต่ำและจะหมุนรอบต่ำถ้า โหลดของมอเตอร์สูง

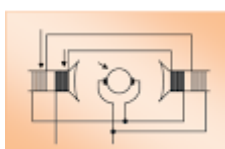
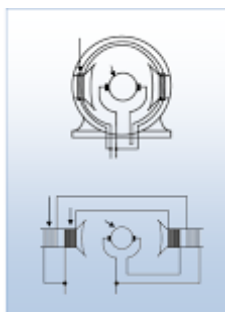


- Compound wound

3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ คือมอเตอร์ที่มีขดลวดฟิลด์ 2 ชุด หนึ่งจะต่ออนุกรมและอีกชุดหนึ่งต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5 ขดลวดฟิลด์ที่ต่อขนาน เป็นลวดตัวหนา ขนาดเล็กพันไว้ จำนวนมารอบ ส่วนขดลวดฟิลด์ที่ต่ออนุกรมอยู่จะเป็นลวดตัวหนา ขนาดใหญ่พันไว้ จำนวนน้อยรอบ แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์แบบผสมจะมีมากกว่ามอเตอร์แบบขนาน แต่น้อยกว่าของ มอเตอร์อนุกรม และการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะมีโหลดจะมีค่าน้อยกว่ามอเตอร์แบบ อนุกรม แต่เปลี่ยนแปลงมากกว่ามอเตอร์แบบขนาน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดกระทั่งมีโหลดเต็มที่ มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชั้นที่อยู่ 2 วิธีวิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชั้นที่ ขนานกับอาร์เมเจอร์เรียกว่า การต่อแบบขดลวดขนานสั้น หรือการต่อแบบช็อตชั๊นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Short Shunt Compound Motor) ดังรูปวงจรที่ 6 การต่อวงจรในลักษณะนี้จะส่งผลให้มอเตอร์มีแรงบิดในขณะเริ่มหมุน สูงกว่าการต่อแบบลวงชั๊นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (แต่ไม่สูงเท่าซีรี่ย์มอเตอร์) ในขณะที่ความเร็วรอบจะมีการ เปลี่ยนแปลงบ้าง (แต่เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าซีรี่ย์มอเตอร์) สาเหตุดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ขดลวดชั้นที่ ได้รับ กระแสที่ผ่านมาจากขดลวดซีรี่ย์ ดังนั้นหากโหลดของมอเตอร์มีมากขดลวดซีรี่ย์ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำกว่า ขดลวดชั้นที่จะดึงกระแสมาก ท าให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดชั้นที่

น้อยลง ส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ เปลี่ยนแปลง



อีกวิธีคือต่อขดลวดขนาน คร่อมระหว่างขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์ เรียกว่า การต่อแบบชุด ขดลวดขนานยาว หรือลองชั่นท์คอมปาวด์มอเตอร์(Long shunt motor) ดังรูปวงจรที่ 7 การต่อวงจร ในลักษณะนี้ จะส่งผลให้มอเตอร์มีแรงบิดในขณะเริ่ม ต่ มากกว่าการต่อแบบ ซี้อตชั่นท์คอมปาวด์ มอเตอร์ (แต่ มากกว่าเท่าซันท์ มอเตอร์) ในขณะที่ความเร็วรอบจะมีการเปลี่ยนแปลง น้อยกว่า กับซี้อทชั่นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (แต่เปลี่ยนแปลง มากกว่ากว่าซันท์มอเตอร์) สาเหตุดังกล่าวเกิดขึ้น เนื่องจากการที่ขดลวดซันท์ได้รับกระแส โดยตรงจากแหล่งจ่าย ท ำให้เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านไปยังขดลวดซันท์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่แรงบิดจะต่ำลง เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน ขดลวดซีรี่ส์จะมีค่าลดลงเนื่องจากถูกแยกไหลไปให้กับขดลวดซันท์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึง มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็น เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงาน ไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอร์และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวด ในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่ง

สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดวงจรรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปใช้ภาระที่ต้องการหมุนได้

ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ มอเตอร์อะซิงโครนัสและมอเตอร์ซิงโครนัส ซึ่งที่กล่าวในบทนี้จะเป็นมอเตอร์อะซิงโครนัส ที่เรียกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่เล็ก ๆ ไปจนถึงขนาดหลายร้อยแรงม้า มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ชนิด 1 เฟสและชนิดที่เป็นมอเตอร์ 3 เฟส มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำนี้นั้นส่วนมากแล้วจะหมุนด้วยความเร็วคงที่แต่ก็มีบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ เช่น มอเตอร์สลีปรिंगหรือมอเตอร์ชนิดขดลวดพัน ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ โรเตอร์ไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าโดยตรงแต่จะได้อาจจากการเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงเรียกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. มอเตอร์ชนิดกรงกระรอก ซึ่งมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ 1 เฟสและชนิดที่เป็น 3 เฟส
2. มอเตอร์ชนิดขดลวดพันหรือชนิดควานด์หรือมอเตอร์สลีปรึง ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส

โดยทั่วไป มอเตอร์ทุกประเภทจะมีส่วนประกอบหลัก หรือส่วนประกอบเบื้องต้นคล้ายกันคือสเตเตอร์หรือตัวที่อยู่กับที่และโรเตอร์หรือตัวหมุน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของรายละเอียดของส่วนประกอบปลีกย่อยอื่นๆ

ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1 สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วยโครงของมอเตอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ และขดลวด

1.1 โครงมอเตอร์ (Frame or Yoke) จะทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกลวง ฐานส่วนล่างจะเป็นขาตั้ง มีกล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 2 โครงจะทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ผิวด้านนอกของโครงมอเตอร์ จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีป เพื่อช่วยในการระบายความร้อน

ในกรณีที่ เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ๆ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีขนาดเล็กกะทัดรัดมากขึ้น แต่ถ้าใช้เหล็กหล่อก็จะให้มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก

นอกจากนี้แล้ว โครงของมอเตอร์ยังอาจทำด้วยเหล็กหล่อเหนียวมันเป็นแผ่นมันวับรูปทรงกระบอก แล้วเชื่อมติดกันให้มีความแข็งแรง เช่น มอเตอร์สปลิตเฟส เป็นต้น

1.2 แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ มีลักษณะกลม เจาะตรงกลางและเจาะร่องภายในโดยรอบ แผ่นเหล็กชนิดนี้เรียกว่า ลามิเนท ซึ่งจะถูกล้อมรอบด้วย ซิลิกอน เหล็กแต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 0.025 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3 (A) หลังจากนั้นจึงนำไปอัดเข้าด้วยกันจนมีความหนาที่เหมาะสม เรียกว่าแกนเหล็กสเตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3 (B)

1.3 ขดลวด (Stator Winding) จะมีลักษณะเป็นเส้นลวดทองแดงเคลือบฉนวนที่เรียกว่า อีนาเมล (Enamel) พันอยู่ในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์ตามรูปแบบต่าง ๆ ของการพันมอเตอร์

2 โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะมีโรเตอร์ 2 ชนิด คือ โรเตอร์แบบกรงกระรอกและโรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้คือ แกนเหล็ก โรเตอร์ ขดลวด ใบพัด และเพลลา ดังจะไดกล่าวรายละเอียดต่อไป

2.1 โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) จะประกอบด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ ที่เรียกว่าแผ่นเหล็กลามิเนท ซึ่งจะเป็นแผ่นเหล็กชนิดเดียวกันกับสเตเตอร์ มีลักษณะเป็นแผ่นกลม ๆ เจาะร่องผิวภายนอกเป็นร่องโดยรอบ ตรงกลางจะเจาะรูสำหรับสวมเพลลา และจะเจาะรูรอบ ๆ รูตรงกลางที่สวมเพลลาทั้งนี้เพื่อช่วยให้ในการระบายความร้อน และยังทำให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาลง เมื่อนำแผ่นเหล็กไปสวมเข้ากับแกนเพลลาแล้วจะได้เป็นแกนเหล็กโรเตอร์ หลังจากนั้นก็จะใช้แท่งตัวทองแดงหรือแท่งอะลูมิเนียมหล่ออัดเข้าไปในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปวางทั้งสองด้านด้วย วงแหวนตัวนำทั้งนี้เพื่อให้ขดลวดครบวงจรไฟฟ้าหรืออาจนำแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปในแบบพิมพ์แล้วฉีดอะลูมิเนียมเหลวเข้าไปในร่อง ก็จะได้อะลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องจนเต็มและจะได้ขดลวดตัวนำแบบกรงกระรอกฝังอยู่ในแกนเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4

ขดลวดในโรเตอร์นั้นจะเป็นลักษณะของตัวนำที่เป็นแท่งซึ่งอาจใช้ทองแดง หรืออะลูมิเนียมประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะคล้ายกรงนกหรือกรงกระรอก

2.2 โรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ (Wound Rotor) โรเตอร์ชนิดนี้จะมีส่วนประกอบคล้าย ๆ กับโรเตอร์แบบกรงกระรอก คือ มีแกนเหล็กที่เป็นแผ่นลามิเนทอัดเข้าด้วยกันแล้วสวมเข้าที่เพลลา แต่จะแตกต่างกันตรงที่ขดลวด จะเป็นเส้นลวดชนิดที่หุ้มด้วยน้ำยาฉนวน

อินามอลพันลงไปในห้องสล็อตของโรเตอร์จำนวน 3 ชุด ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับที่พันบนสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟสแล้วต่อวงจรขดลวดเป็นแบบสตาร์ โดยนำปลายทั้ง 3 ที่เหลือต่อเข้ากับวงแหวนตัวนำ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถต่อวงจรของขดลวดของโรเตอร์เข้ากับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ที่อยู่ภายนอกตัวมอเตอร์ เพื่อการปรับค่าความต้านทานของโรเตอร์ ซึ่งจะสามารถควบคุมความเร็วของโรเตอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 6

3. ฝาครอบ (End Plate) ส่วนมากจะทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลางและคว้านเป็นรูปกลมใหญ่เพื่ออัดแบร็งหรือตลับลูกปืนรองรับแกนเพลลาของโรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1

4. ฝาครอบใบพัด (Fan End Plate) จะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเหนียวขึ้นรูปให้มีขนาดสวมฝาครอบได้พอดี มีรูเจาะเพื่อระบายอากาศ และยึดติดกับฝาครอบด้านที่มีใบพัด ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสและมอเตอร์ 1 เฟสขนาดใหญ่

5. ใบพัด (Fan) จะทำด้วยเหล็กหล่อ มีลักษณะเท่ากันทุกครีบเท่ากันทุกครีบ จะสวมยึดอยู่บนเพลาด้านตรงข้ามกับเพลางาน ใบพัดนี้จะช่วยในการระบายอากาศและความร้อนได้มากที่สุดใบพัดนี้ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสและมอเตอร์ 1 เฟสขนาดย่อยถึงขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับฝาครอบใบพัด

6. สลักเกลียว (Bolt) จะทำด้วยเหล็กเหนียวจะมีลักษณะเป็นเกลียวตลอด ถ้าเป็นมอเตอร์ 3 เฟส จะประกอบด้วยสลักเกลียว 8 ตัว ทำหน้าที่ยึดฝาครอบให้ติดกับโครง ถ้าเป็นมอเตอร์ 1 เฟสขนาดเล็ก เช่น มอเตอร์สปลิตเฟสจะเป็นสลักเกลียวยาวตลอดความยาวของตัวมอเตอร์ ทำเกลียวเฉพาะด้านปลายและมีน็อตขันยึดไว้ ดังนั้นจึงมีเพียง 4 ตัว

บทสรุป

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสลับ

จะมี 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. มอเตอร์อะซิงโครนัส (Asynchronous motor)
2. มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous motor) ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ประเภทที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำ

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จะมี 2 ประเภท คือ

1. โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นตัวนำหลายตัวประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แล้วลัดวงจรหัวท้ายด้วยวงแหวนตัวนำ

2. โรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ (Wound rotor) จะมีลักษณะเป็นขดลวดพันในร่องสลีตของโรเตอร์จำนวน 3 ชุด ขดลวดด้านปลายต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบสตาร์ ด้านต้นต่อเข้ากับวงแหวนลื่นหรือสลีปริง (Slip ring)

ส่วนประกอบทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

จะประกอบด้วย

1. สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) มีลักษณะเป็นแผ่นลามิเนตประกอบเข้าด้วยกันเป็นแกนเหล็ก มีร่องเอาไว้สำหรับพันขดลวดเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กและเป็นวงจรแม่เหล็ก
2. โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) มีลักษณะเป็นแกนเหล็กทรงกระบอกจะหมุนอยู่ในช่องสเตเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่กำเนิดกำลังกลเพื่อส่งไปขับโหลด
3. ฝาครอบทั้ง 2 ด้าน (End Plate) จะมีหน้าที่ยึดโรเตอร์ให้หมุนอยู่ในช่องของ สเตเตอร์อย่างสมดุล