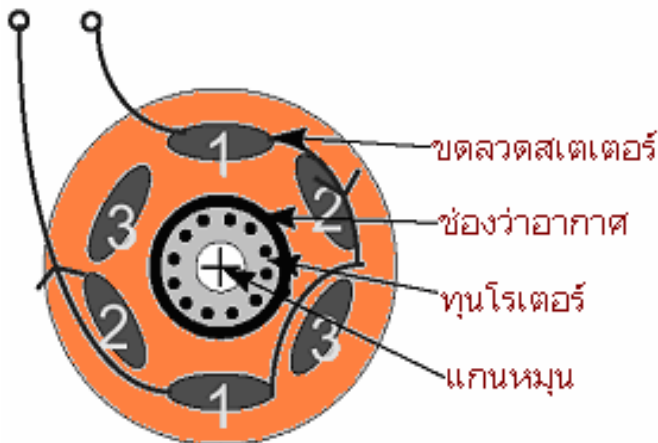


## พื้นฐานการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ แบบเวกเตอร์คอนโทรล

### Basic of Variable Speed Drive Vector Control Drives

การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD) นอกเหนือจากมอเตอร์ไฟฟ้า ยังต้องมีชุดควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือตามท้องตลาดจะเรียกว่า อินเวอร์เตอร์ เพื่อปรับรอบมอเตอร์ ในอดีตที่ผ่านมาการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเสียเป็นส่วนใหญ่ เพราะชุดควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ ในสมัยก่อนจะใช้วงจรเรียงกระแสด้วยไทรสเตอร์ (SCR) และการประมวลผล หรือการควบคุมยังเป็นแบบอนาล็อก โดยทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้า ด้วย SCR ทั้งนี้การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถทำได้ง่ายกว่า มีความแม่นยำ และง่ายต่อการควบคุม

แต่อย่างไรก็ตามมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะมีราคาสูง, ขนาดใหญ่ และต้องการการบำรุงรักษาแปร่ง ถ่านอยู่เสมอๆ ดังนั้นการใช้งานอินดักชันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีราคาต่ำกว่า, มีความน่าเชื่อถือสูง โครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีการใช้งานกันโดยทั่วไปอย่างกว้างขวางสามารถหาซื้อได้ง่าย แต่ในการควบคุมความเร็วของอินดักชันมอเตอร์จะมีความยุ่งยากซับซ้อนจะต้องใช้ คอนเวอร์เตอร์ หรือ อินเวอร์เตอร์ มาเป็นชุดควบคุม



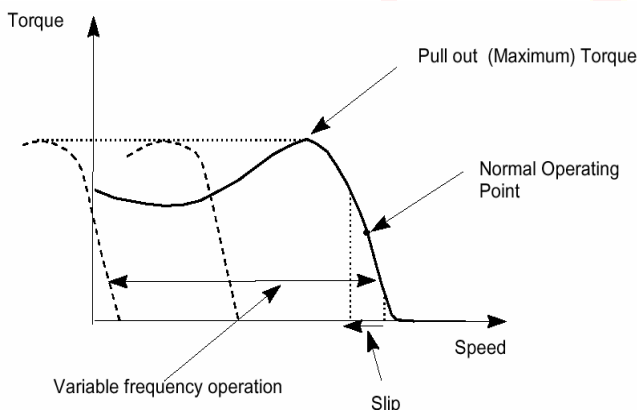
ภาพตัดขวางของอินดักชันมอเตอร์อย่างง่าย

การจะเข้าใจว่าอินเวอร์เตอร์ทำงานอย่างไรนั้น จำเป็นจะต้องเข้าใจโครงสร้าง และหลักการทำงานของอินดักชันมอเตอร์ (Induction Motor) ว่าทำงานอย่างไรก่อน การทำงานของอินดักชันมอเตอร์จะคล้ายกับการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อขดลวดสเตเตอร์ เป็นชุด Primary ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ มีขดลวดอยู่ภายนอก ต่อกับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนเท่ากับความเร็วของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ผลของสนามแม่เหล็กที่ตัดผ่าน ช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างสเตเตอร์ และทวนโรเตอร์ ทำให้เกิดการไหลของกระแสในขดลวดโรเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดแรงผลักรวมจากสนามแม่เหล็กขึ้นบนแท่งตัวนำโรเตอร์ โดยเป็นปฏิกิริยาของกระแสที่ไหลร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจึงทำ

ให้โรเตอร์หมุนได้ เนื่องจากแรงผลักรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำในแท่งโรเตอร์นั่นเอง

อย่างไรก็ตามถ้าการหมุนของโรเตอร์เท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนั้นก็คือ จะไม่มีการตัดกันของสนามแม่เหล็กหมุนกับแท่งตัวนำโรเตอร์ ดังนั้นจะไม่มีกระแสไหลในแท่งตัวนำ จึงไม่มีสนามแม่เหล็กย้อนกลับมาต้านจึงไม่มีแรงบิดเกิดขึ้นด้วยเหตุผลดังกล่าว ทวนโรเตอร์จึงต้องหมุนด้วยความเร็วที่ช้ากว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กเพียงเล็กน้อยอยู่เสมอ ทั้งนี้เพื่อให้มีการตัดกันของสนามแม่เหล็ก เพื่อให้เกิดแรงผลักรวม จึงได้แรงบิดเกิดขึ้น ความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กกับความเร็วของโรเตอร์เรียกว่า สลลิป (Slip)

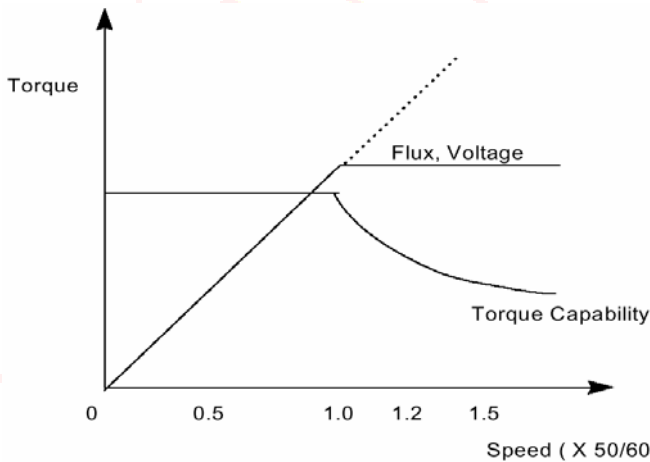


รูปที่ 1 ลักษณะสมบัติของแรงบิด ต่อความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์



ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ จะขึ้นอยู่กับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนว่าจะหมุนเร็วหรือช้าขนาดไหน จะทำให้หุ่นโรเตอร์หมุนช้า หรือเร็วตามสนามแม่เหล็กหมุน แต่สนามแม่เหล็กหมุนเองก็ขึ้นอยู่กับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ และจำนวนขั้วแม่เหล็กที่ออกแบบมา ดังนั้นการจะควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ จำเป็นจะต้องควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ตามสมการ

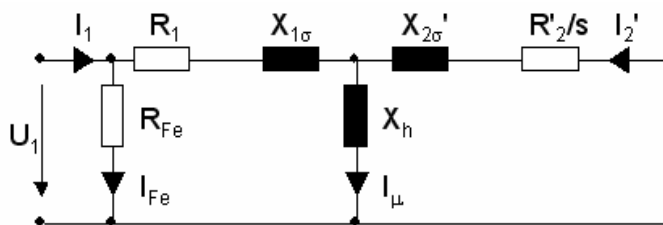
$$Speed(n) \approx \frac{120f}{P}$$



เมื่อ  
 Speed (n) = ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)  
 Frequency (f) = ความถี่แรงดันไฟฟ้า (Hz)  
 Pole (P) = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

เนื่องจากค่าประกอบส่วนใหญ่ในตัวมอเตอร์จะเป็นค่า อินдукแตนซ์ (Inductance) หรือค่า L เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 3 ในกรณีที่ต้องการปรับความเร็วรอบลดลง ความถี่ไฟฟ้าจะต้องถูกลดลงตามสมการ จะส่งผลทำให้ค่า  $X_L$  หรือความต้านทานรวมทางไฟฟ้าของมอเตอร์ ( $Z_T=R_T + jX_L$ ) ลดลงตามไปด้วย เมื่อค่าความต้านทานรวมลดลง จะทำให้กระแสไหลเข้าสู่มอเตอร์มากขึ้น อาจจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ จึงจำเป็นต้องลดแรงดันไฟฟ้าลงด้วย ตามสูตร  $I_1=U_1/Z_T$  เพื่อควบคุมไม่ให้กระแสไหลเข้าสู่ตัวมอเตอร์จนเกินพิกัดจนทำให้มอเตอร์ไหม้

รูปที่ 2 การลดลงของแรงบิดเมื่อความเร็วสูงกว่ามาตรฐาน



แต่ถ้าเป็นการเพิ่มความถี่ขึ้น เกินกว่าค่ามาตรฐาน เช่น มากกว่า 50 Hz เพื่อปรับรอบให้หมุนเร็วขึ้นเกินพิกัด ส่งผลให้ค่า  $Z_T$  มีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากความถี่ที่เพิ่มขึ้น ( $X_L \sim f$ )

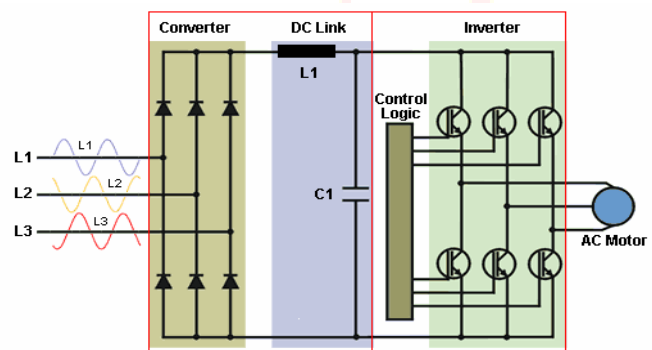
รูปที่ 3 วงจรสมมูลของ อินдукแตนซ์มอเตอร์ ชนิดกรงกระบอก

ตามหลักการจะต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นตาม ทั้งนี้เพื่อจะรักษากระแสไฟฟ้า หรือฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าคงที่ ( $I_1=U_1/Z_T$ ) เพื่อให้มีความสามารถขับแรงบิดได้คงที่ และมากเพียงพอต่อการขับโหลด แต่ในความเป็นจริง เราไม่สามารถจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงกว่าค่าพิกัดแรงดันของมอเตอร์ได้ เพราะจะทำให้จำนวนที่ขดลวดมอเตอร์อาจจะทะลุ ลัดวงจรภายในตัวมอเตอร์ได้ จึงยังผลทำให้ กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ จำต้องลดลงตามสูตร ( $I_1=U_1/Z_T$ ) เมื่อปริมาณกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ลดลง จะทำให้สนามแม่เหล็กลดลงตามไปด้วย ( $\phi \sim I$ ) มอเตอร์จึงไม่สามารถขับโหลดที่มีแรงบิดเพิ่มขึ้นได้ จำเป็นจะต้องลดแรงบิดลง เราเรียกช่วงนี้ว่า Field weakling rang ดังรูปที่ 2 ที่ความเร็วรอบเกินพิกัด เส้นกราฟแรงบิดจะต้องลดลงจากค่าแรงบิดสูงสุดดังรูป

ดังนั้นการจะควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำโดยการควบคุมความถี่ เพียงอย่างเดียวไม่ได้ จึงต้องมีการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ด้วย จึงเป็นที่มาของการควบคุมแบบ V/F

เมื่อพิจารณาจากข้อดีในด้านราคาของอินдукแตนซ์มอเตอร์แล้ว ทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์ และทางการดำเนินการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วรอบ หรือ อินเวอร์เตอร์ สามารถกระทำได้ และมีการพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงง่ายต่อการใช้งาน และราคาลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถที่เพิ่มมากขึ้น

อิเล็กทรอนิกส์คอนเวอร์เตอร์ ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเป็นที่รู้จักกันในชื่อของ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยปกติจะแปลงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนโดยใช้ชุดเรกติไฟเออร์ (rectifier) แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงนี้แปลงผันกลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่เปลี่ยนความถี่และแรงดันโดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ การเชื่อมต่อระหว่างเรกติไฟเออร์กับ อินเวอร์เตอร์เรียกว่า DC Link โดยได้แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมความเร็ว (หรือที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์) ดังรูปที่ 4

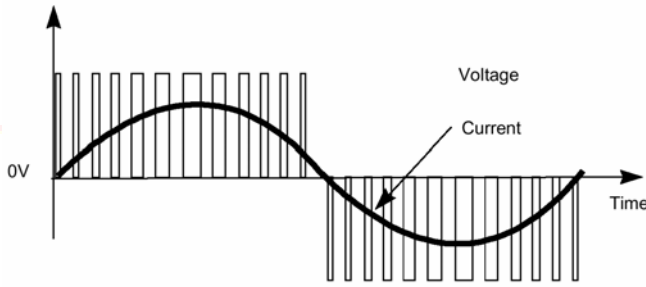


รูปที่ 4 พื้นฐานวงจรไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์แบบ Voltage Source, PWM

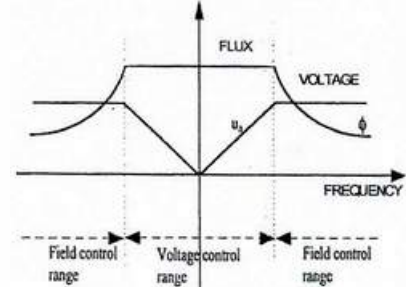


แหล่งจ่าย (Supply) ซึ่งจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ป้อนให้กับเรกติไฟเออร์แบบเต็มรูปคลื่น ซึ่งจ่ายผ่านให้กับตัวเก็บประจุใน DC link ตัวเก็บประจุจะทำให้ ripple ของแรงดันลดลง และทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่แหล่งจ่ายขาดหายไปในช่วงเวลาสั้นๆ แรงดันในตัวเก็บประจุจะไม่สามารถควบคุมได้แต่จะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าสูงสุด (Peak) ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงผั้กลับ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้วิธี Pulse Width Modulation (PWM) รูปคลื่นที่ต้องการจะถูกสร้างขึ้นมาโดยใช้เทคนิคการสวิทช์ของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ (Insulated Gate Bipolar Transistors : IGBTs) ซึ่งเปิดและปิดด้วยความถี่ของการสวิทช์ของที่ กระแสที่ต้องการสามารถกำหนดออกมาได้โดยเปลี่ยนแปลงเวลาเปิดและปิดของ IGBTs แต่แรงดันเอาต์พุตจะยังคงเป็นรูปคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยมอนุกรมกันไป แสดงในรูปที่ 5

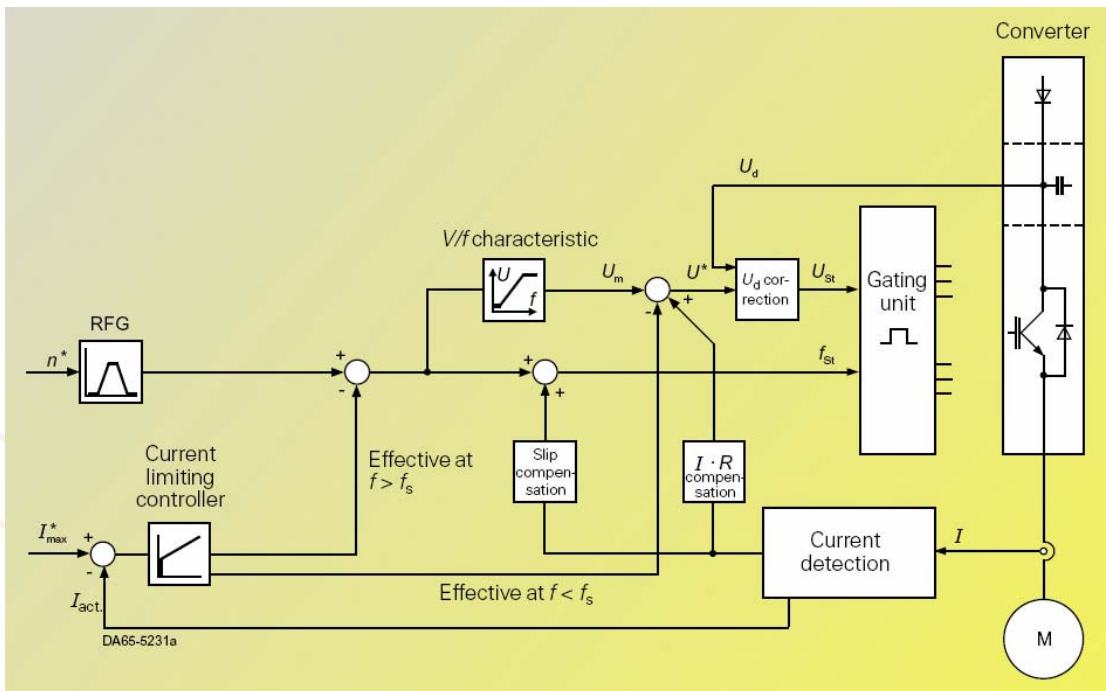


รูปที่ 5a Pulse Width Modation (PWM)



รูปที่ 5b การควบคุมแบบ V/F

การควบคุมแบบ V/F (Volts/Hertz) ซึ่งก็เป็นที่ยอมรับกันดีว่า การควบคุมแบบนี้มีข้อดีคือ สามารถใช้กับมอเตอร์ทั่วไปได้ โดยไม่ต้องทราบข้อมูลพารามิเตอร์ภายในมากนัก แต่เนื่องจากการเป็นกรควบคุมแบบง่ายๆ จึงไม่สามารถให้คุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วที่ดีได้ และยังไม่สามารถควบคุมแรงบิดได้โดยตรง ความเร็วที่ได้ก็เปลี่ยนแปลงตามโหลดจึงอาจมีความเร็วรอบ คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ตั้งไว้บ้างเล็กน้อย



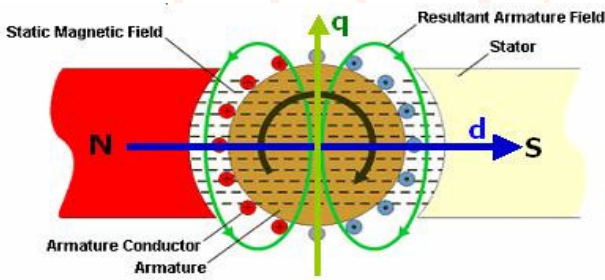
รูปที่ 6 ภาพแสดงวงจรการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ แบบ V/F

### อินเวอร์เตอร์แบบ Vector Control

เวกเตอร์คอนโทรล (Vector Control) หรือ ฟิวดออเรียนเต็ดคอนโทรล (Field Oriented Control) คือวิธีการ และระบบการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่พัฒนามาจากการควบคุม จากแบบเดิมซึ่งเป็น V/F โดยอาศัยวิธีผสมผสาน และหลักการเลียนแบบการควบคุมความเร็วรอบจาก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดขดลวดกระตุ้นแยก (Separated Exciting) เพื่อให้ได้กราฟของแรงบิด และกำลังต่อความเร็วรอบ ให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2 เปรียบเทียบกับรูปที่ 5b โดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ คำนวณอยู่บน



แกนอ้างอิงที่หมุนไปพร้อมๆ กับฟลักซ์เวกเตอร์ทางด้านโรเตอร์ ให้มาอยู่ในรูปเทียบเคียงกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 7 ภาพแสดงแนวแกนสนามแม่เหล็ก d และ q

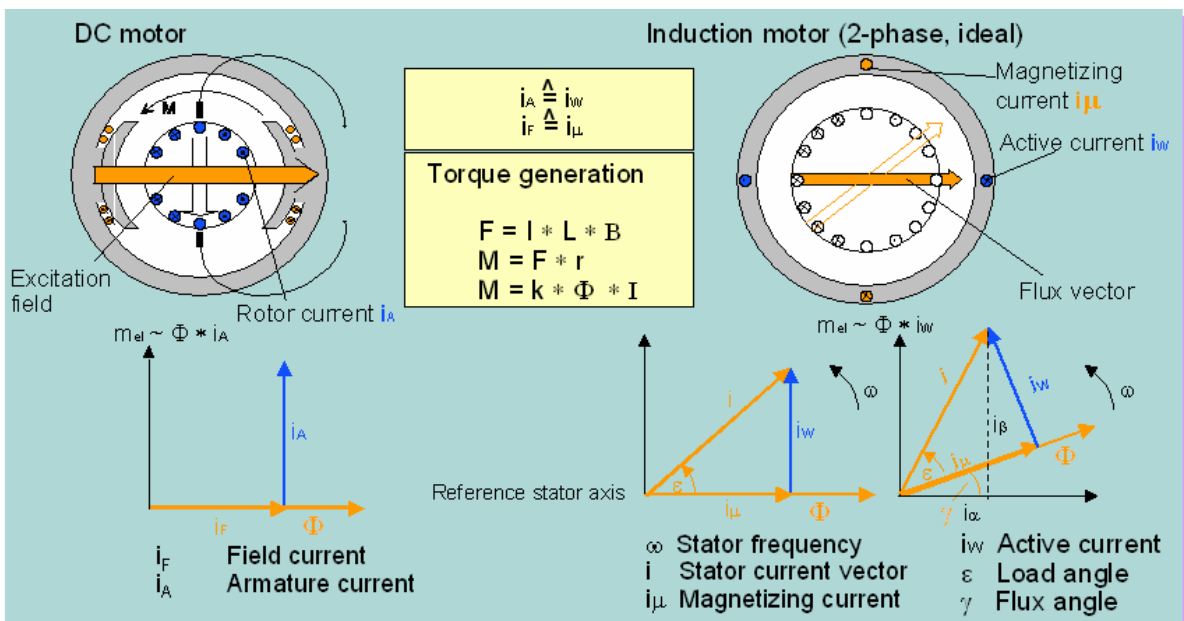
ทำความเข้าใจ การควบคุมมอเตอร์แบบเวกเตอร์ ก็ต้องเริ่มทำความเข้าใจที่การควบคุมมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดขดลวดกระตุ้นแยก (Separated Exciting) ก่อนดังนี้

ในการควบคุมความเร็วรอบ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำได้สองวิธีด้วยกัน คือ การควบคุมปริมาณสนามแม่เหล็ก จากขดลวดชุด Field หรือ Separated Exciting Field และจากขดลวดในทุ่นโรเตอร์ หรือขดลวดอาร์เมเจอร์ นั้นเอง

การควบคุมปริมาณสนามแม่เหล็ก จากขดลวดชุด Field สามารถทำได้โดยวิธีการควบคุมกระแสที่นำไปสร้างสนามแม่เหล็กหลัก หรือ  $I_f$  ดังรูปที่ 7,8,9 องค์ประกอบของสนามแม่เหล็ก  $I_f$  นี้ เกิดขึ้นจากขดลวดบนสเตเตอร์ที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กหลัก มีทิศชี้จาก ด้านซ้ายไป ด้านขวา ดังรูปที่ 7,8 และเรียกสนามแม่เหล็กแนวแกนนี้ว่า แกน d หรือ Direct axis

ส่วน  $I_a$  หรือกระแสที่นำไปสร้างสร้างสนามแม่เหล็กรอบอาร์เมเจอร์ องค์ประกอบของสนามแม่เหล็กนี้จึงเกิดขึ้นโดยรอบขดลวดบนโรเตอร์ โดยมีทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กหลัก จากทิศใต้ขึ้นไปยังทิศเหนือดังรูปที่ 7 จึงเรียกแนวแกนของสนามแม่เหล็กนี้ว่า แกน q หรือ quartered axis ดังรูปที่ 7,8

ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น วิธีที่ง่ายในทางปฏิบัติเราจะให้องค์ประกอบหรือ สนามแม่เหล็กในแนวแกน d มีค่าคงที่ แล้วเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ เฉพาะในแนวแกน q กล่าวคือ โดยปกติจะให้  $I_f$  มีค่าคงที่ และเมื่อต้องการเปลี่ยนความเร็วรอบ หรือเปลี่ยนแปลงแรงบิด ก็จะมาควบคุม  $I_a$  เป็นหลัก ต่อเมื่อต้องการควบคุมความเร็วเกินพิกัด จึงจะทำการลด  $I_f$  ลง การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงแยกออกเป็นสองลักษณะดังรูปที่ 8,9



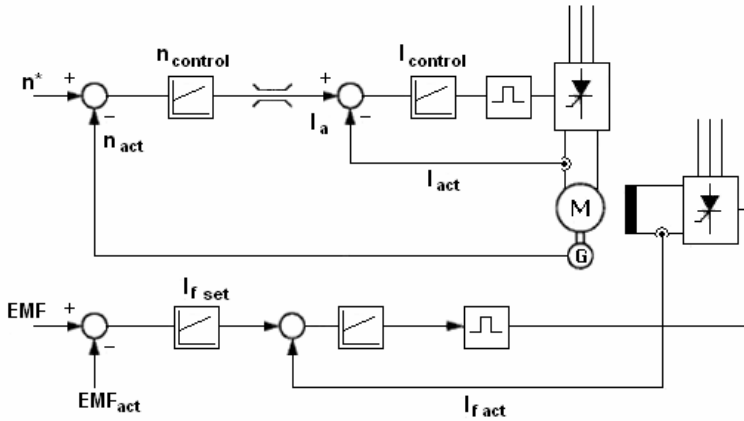
รูปที่ 8 ภาพแสดงแนวแกนสนามแม่เหล็ก d และ q เปรียบเทียบระบบ DC กับ AC

ในสภาวะปกติ  $I_f$  จะถูกตั้งค่าไว้ให้คงที่ ตามพิกัดของมอเตอร์ ส่วน  $I_a$  จะมีค่ามาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับ อัตราการเร่งของมอเตอร์ และแรงบิดของโหลดที่ต้องการ  $I_{act}$  ในสภาวะปกติ ของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า



กระแสตรง จะควบคุมเพียงแค่  $I_a$  เพียงตัวเดียวเท่านั้น โดยไม่ต้องไปควบคุมกระแส หรือสนามแม่เหล็กทางด้านขดลวดสนาม ( $I_f$ ) ทำให้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงง่ายแก่การควบคุม ไม่สลับซับซ้อนเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

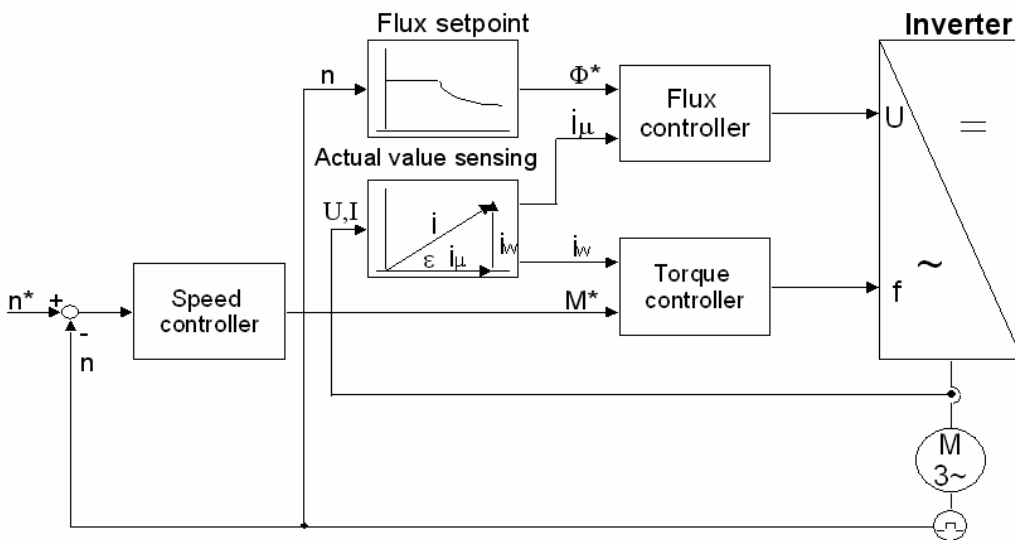
การควบคุมแบบเวกเตอร์ได้ลอกเลียนแบบแนวความคิด และวิธีการของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กล่าวคือ ให้มองภาพสนามแม่เหล็ก และวิธีการควบคุม แยกออกเป็น สองส่วน คือ



รูปที่ 9 ภาพแสดงวงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อเปรียบเทียบ จึงเหมือนกับวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงเกือบทุกประการ ดังรูปที่ 9, 10 ที่แสดงโครงสร้างการทำงาน เมื่อเปรียบเทียบกัน

หัวใจของระบบนี้อยู่ที่การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กหมุน ห่างกัน  $120^\circ$  ทางไฟฟ้า ต้องแปลงมาให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์เป็น  $I_d$  และ  $I_q$  ซึ่งวิธีปกติที่ใช้กันทั่วไป คือ วิธีที่แสดงรูปที่ 9 และ รูปที่ 10  $I_\mu$  ก็เปรียบเสมือนกับ  $I_f$  หรือ  $I_d$  ส่วน  $I_w$  ก็เปรียบเสมือนกับ  $I_a$  หรือ  $I_q$  ของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 10 ภาพแสดงวงจรพื้นฐานของการควบคุมแบบ Vector Control

จากรูปที่ 10 กระแส  $I$  จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของ  $I_\mu, I_w$  หรือแตกเวกเตอร์ออกมาเป็น แกน d และ q ระบบควบคุมจะพยายามรักษาค่าประกอบในแกน d ให้คงที่ ส่วนองค์ประกอบในแกน q นั้นจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความต้องการของโหลด แต่ถ้าทำงานในย่านความเร็วรอบที่สูงกว่าความเร็วพิกัด ระบบจะต้องลดแรงดันไฟฟ้าลงเพื่อทำ field weakening ให้กับมอเตอร์ ซึ่งเมื่อสามารถควบคุมได้ดังนี้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่เรา กำลังควบคุมอยู่ ก็จะมีคุณสมบัติเทียบเสมือนได้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หากมองในแง่การซ่อมบำรุงรักษาน่าจะดีกว่า เพราะการบำรุงรักษามอเตอร์กระแสสลับแบบกรงกระรอกทำได้ง่ายวามอเตอร์กระแสตรงเป็นอย่างมาก

1. ส่วนที่เป็นองค์ประกอบในแกน d เรียกว่า  $I_d$  ทำหน้าที่ควบคุมความเข้มสนามแม่เหล็กในแกน d โดยปกติจะมีค่าคงที่ ยกเว้นกรณีมอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบเกินพิกัด
2. ส่วนที่เป็นองค์ประกอบในแกน q เรียกว่า  $I_q$  ทำหน้าที่เหมือนกับ  $I_a$  ของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดย  $I_q$  จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการเร่งและแรงบิดด้านของโหลด ดังนั้นเมื่อต้องการเปลี่ยนความเร็ว (มีความเร่ง) และเพิ่มหรือลดโหลดทางกล ก็จะไปปรับที่  $I_q$  โดยตรง

จากที่กล่าวมาข้างต้น รูปแบบแนวความคิด ของการควบคุมแบบเวกเตอร์



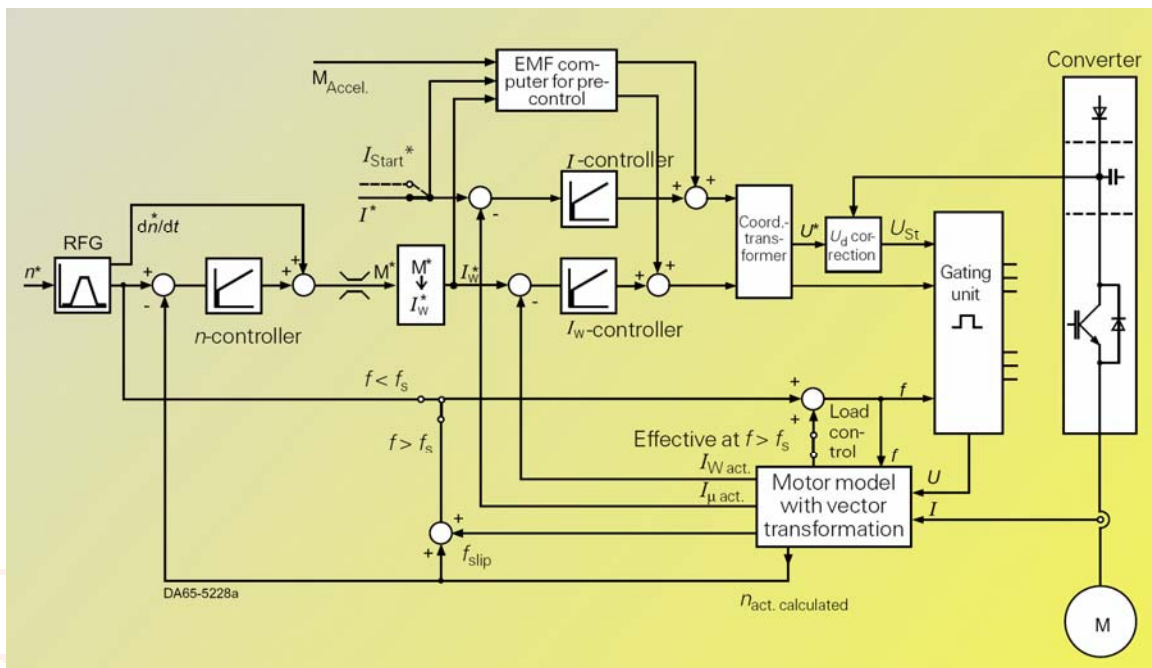
อย่างไรก็ตาม หากสังเกตดูในรูปที่ 10 จะพบว่ามีความไม่สะดวกอยู่อย่างหนึ่งในทางปฏิบัติ คือ การที่ต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วรอบ ซึ่งอาจจะเป็น tachogenerator หรือ pulse encoder ก็ได้แน่นอนว่าในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง อย่างไรก็ตามเสียก็คงต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วรอบนอกจากจะทำให้เปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้นแล้ว ยังอาจทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุม เนื่องจากปัญหาสัญญาณรบกวนและเกิดความยุ่งยากในระบบทางกลที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้เข้าไปอีกด้วย

## อินเวอร์เตอร์แบบ Sensor less Vector Control

เพื่อให้การใช้งานสะดวกมากขึ้น ผู้ผลิต VSD เกือบทุกยี่ห้อจึงได้ทำระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ที่ไม่ต้องใช้เซ็นเซอร์ (sensor less vector control) ขึ้นมา โดยมีรูปร่างหน้าตาของระบบควบคุมดังรูปที่ 11 จะเห็นว่าวงจรควบคุมจะคล้ายกับ รูปที่ 10 ทุกประการ จะต่างกันก็ตรงที่ความเร็วรอบมอเตอร์ตามรูปที่ 10 ได้มาจากการตรวจจับความเร็วรอบจริง แต่ในรูปที่ 11 ได้มาจากการคำนวณ ของหน่วยคำนวณภายในเครื่อง ซึ่งความแม่นยำย่อมสู้ของจริงไม่ได้ แต่ก็สามารถใช้ได้ในงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำนัก

ประเด็นสำคัญในการควบคุมชนิดนี้จึงอยู่ที่ว่า เราสามารถหาตำแหน่งของฟลักซ์เวกเตอร์ได้แม่นยำเพียงใด ซึ่งในทางปฏิบัติเนื่องจากเราไม่สามารถวัดค่าฟลักซ์ได้โดยตรง เราจึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำช่วยในการคำนวณหาตำแหน่งฟลักซ์เวกเตอร์นี้แทน (motor model with vector transformation) ดังนั้นข้อดีของระบบนี้จึงอยู่ที่เราจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์อย่างถูกต้อง จึงจะได้คุณสมบัติการควบคุมที่ดี ในทางกลับกันหากค่าความเร็วรอบมอเตอร์ในตัวแบบจำลองผิดพลาดก็จะส่งผลทำให้ค่ากระแส แรงดัน ฯลฯ ที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดได้จริง เราสามารถใช้ค่าความผิดพลาดเหล่านี้ในการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วให้มีความถูกต้องได้

ดังนั้นโดยทั่วไปเรามักจะใช้ระบบควบคุมแบบเวกเตอร์นี้กับงานที่ต้องการความแม่นยำ และความเร็วในการตอบสนองสูง



รูปที่ 11 ภาพแสดงวงจรการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ แบบ Sensor less vector control

ในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์แบบ Sensor less Vector Control ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เพื่อให้ให้ได้มาซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่มีคุณสมบัติการควบคุมแรงบิดและความเร็วใกล้เคียงกับระบบควบคุมระบบควบคุมเวกเตอร์ที่ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ และต้องการความสะดวกในการใช้งานเหมือนกับอินเวอร์เตอร์แบบ V/F

ถึงแม้เทคโนโลยี Sensor less จะได้พัฒนามานานพอสมควรแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีปัญหาในการใช้งานอยู่บ้างโดยเฉพาะในขณะที่ยังมอเตอร์ทำงานในโหมดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ช่วงที่แรงบิดเป็นลบ หรือ Regenerative Q4) ในย่านความเร็วต่ำ ซึ่งเป็นภาวะการทำงานที่ความถี่แรงดันที่เราจ่ายให้มอเตอร์น้อยมาก ผลกระทบจากความไม่เป็นอุดมคติของสวิตช์กำลังและความคลาดเคลื่อนของค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์จะทำให้



ให้ระบบไม่สามารถควบคุมแรงบิดได้ดี และอาจขาดเสถียรภาพได้ ด้วย ปัญหาดังกล่าวยังอยู่ในระหว่างการวิจัยหาแนวทางแก้ไข

ส่วนคำถามที่ว่า เมื่อมีการควบคุมแบบเวกเตอร์แล้ว การควบคุมแบบ V/F ก็หมดความหมายใช่หรือไม่ ตรงนี้คงต้องตอบว่าไม่ใช่ เพราะงานบางอย่างการควบคุม V/F ก็ให้ประโยชน์มากกว่าการควบคุมแบบเวกเตอร์ เช่นการควบคุมความเร็วรอบของพัดลม ปั้มน้ำ หรือไหลดที่มีแรงบิดแปรผันตรงกับความเร็วรอบ และแปรผันตามความเร็วรอบกำลังสอง ซึ่งถ้าใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์ เมื่อทำงานที่รอบต่ำ ยังคงต้องการกระแสไหลค่างอยู่ในมอเตอร์มากกว่า เมื่อมีการควบคุมแบบ V/F ทำให้การสูญเสียมีน้อยกว่า สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า ซึ่งลักษณะงานไม่มีความจำเป็น ที่ต้องควบคุมความเร็วรอบ หรือแรงบิดให้แม่นยำมากนัก

แล้วอย่างนี้จะมีประโยชน์อะไร ก็ไปใช้ V/F เสียเลยไม่ดีกว่าหรือ คำตอบก็คือ ถึงแม้การควบคุมแบบนี้จะไม่แม่นยำเหมือนกับแบบมี ตัวจรวจจับความเร็วรอบจริงๆ แต่ยังมีที่ตีเหนือกว่า V/F คือ สามารถควบคุมแรงบิดได้โดยตรง ซึ่งความสามารถนี้จะไม่มีในการควบคุมแบบ V/F เนื่องจากประโยชน์และความสะดวกในการใช้งานตามที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ในปัจจุบันผู้ผลิตเกือบจะทั้งหมด ได้หันมาพัฒนาไดรฟ์ของตน ให้เป็นการควบคุมแบบเวกเตอร์ เสียเป็นส่วนใหญ่

ในการเลือกใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์ จึงควรเลือกใช้อย่างเข้าใจ และควรพิจารณาถึงความต้องการที่แท้จริงของลักษณะงาน ว่ามีความจำเป็นมากน้อยแค่ไหน ในการเลือกโหมด การควบคุมแบบเวกเตอร์ หรือ V/F

### เทคโนโลยีการหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ (Parameter Auto Tuning)

วิธีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเกือบทุกวิธี (ยกเว้นแบบ V/F) อินเวอร์เตอร์จะต้องทราบข้อมูลพารามิเตอร์ที่ถูกต้องของมอเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่ ในอดีตบริษัทผู้ผลิตมักจะขายอินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์คู่ไปกับมอเตอร์เพื่อใช้ในงานเฉพาะด้าน จึงสามารถทราบข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์ได้ แต่ในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์มีลักษณะเป็นแบบใช้งานทั่วไป (General Purpose ) แทบทั้งสิ้น ดังนั้นเราจึงไม่สามารถทราบข้อมูลมอเตอร์ล่วงหน้าได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการหาพารามิเตอร์ด้วยตัวอินเวอร์เตอร์เอง (Auto Tuning ) โดยก่อนใช้งานอินเวอร์เตอร์ เราจะให้อินเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดที่เรียกว่า Auto Tuning ซึ่งอินเวอร์เตอร์จะทำการจ่ายกระแสและแรงดันไปทดสอบมอเตอร์ในลักษณะคล้ายๆกับการทดสอบไร้โหลด ( No Load Test) และยึดโรเตอร์ (Lock Rotor Test) และนำค่าแรงดันและกระแสมาประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ด้วยตัวประมวลผลภายในอินเวอร์เตอร์ และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อใช้งานต่อไป โดยทั่วไปแล้วการทำ Auto Tuning นี้จะทำในสภาวะที่มอเตอร์ไม่หมุน แต่ในบางกรณีก็มีการหาค่าพารามิเตอร์ทางกล เช่นค่าความเฉื่อยของระบบด้วยเพื่อใช้ในการกำหนดค่าตัวควบคุม PI ในวงรอบควบคุมความเร็ว (Speed Loop)

การทำ Auto Tuning ก่อนใช้งานจริงเพียงครั้งเดียวในลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนี้เราอาจเรียกได้ว่าเป็นการทำ Auto Tuning แบบ off line อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้วค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการใช้งาน เช่น ความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ค่าความเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงตามระดับฟลักซ์แม่เหล็ก เป็นต้น ดังนั้นในขณะที่ใช้งานจริงหากอุณหภูมิของมอเตอร์เปลี่ยนไปก็อาจทำให้ค่าความต้านทานทั้งทางด้านสเตเตอร์และโรเตอร์มีค่าเปลี่ยนไปได้ถึง 20 % ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติการควบคุมของอินเวอร์เตอร์ด้อยลง เช่นทำให้เกิดค่าผิดพลาดของความเร็วและแรงบิด เป็นต้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวก็มีการพัฒนาการทำ Auto Tuning แบบ On Line ซึ่งอินเวอร์เตอร์จะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องตลอดเวลาที่อินเวอร์เตอร์ทำงาน

### การพัฒนาการใช้งาน

ในด้านการใช้งานอินเวอร์เตอร์นั้น ได้มีการพัฒนาฟังก์ชันใช้งานในประเด็นปลีกย่อยต่างๆ อาทิเช่น

- การเชื่อมต่อยานเครือข่าย PROFIBUS, MODBUS ฯลฯ
- การมีตัวควบคุม PID หรือ Block diagram เหมือนกับมี PLC อยู่ภายใน สำหรับใช้งานควบคุมกระบวนการ Process Control ตั้งแต่จ่ายไฟไปจนถึงการควบคุมที่ซับซ้อนในบางรุ่น
- ลดจำนวนฟังก์ชัน และวิธีการตั้งค่าเริ่มต้น ในการติดตั้งให้น้อยลง เพื่อลดความยุ่งยากของผู้ใช้งานในการติดตั้ง และดูแลรักษา เหมือนกับคอมพิวเตอร์
- ลดขนาดอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปติดตั้งในเครื่องจักรกล ประหยัดพื้นที่



Efficiency optimization : ทำให้ได้โดยการปรับขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าลดลงในภาวะโหลดต่ำ เพื่อให้มีการสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าลดลงและประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าสูงขึ้น วิธีการหาค่าที่เหมาะสมของฟลักซ์แม่เหล็กนั้นมีค่อนข้างหลากหลาย เช่นวิธีการตรวจหา (Search) ไปเรื่อยๆ วิธีการปรับค่าตัวประกอบกำลังคงที่ ฯลฯ

การลดเสียงรบกวน: เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ทำงานโดยการสวิตชิง ทำให้เกิดปัญหาเรื่องเสียงรบกวนในย่านความถี่ ต่ำของคลื่นพาหะ (Carrier wave Frequency) วิธีการเสียงรบกวนที่ง่ายที่สุดก็คือเพิ่มความถี่การสวิตซ์ให้อยู่ในย่าน 10-15 KHz ซึ่งคนทั่วไปจะไม่ได้ยิน หรือทำการกระจายสเปกตรัมของสัญญาณ PWM ไม่ให้ความถี่ของคลื่นพาหะคงที่ก็จะลดเสียงรบกวนที่แหลมลงได้เช่นกัน

### สรุป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเราพอจะมองเห็นได้ว่า ชนิดของอินเวอร์เตอร์จะพัฒนาไปใน 2 แนวทาง คือชนิดง่ายฟังก์ชันต่ำ และชนิดสมรรถนะสูง ในปัจจุบันผู้ผลิตทุกค่ายได้พัฒนาทาง Hard ware ให้ VSD สามารถทำได้ทั้งการควบคุมแบบ V/F, Vector sensor less หรือ แบบที่มี sensor ซึ่งช่วยทำให้ผู้ใช้งานเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ได้ง่ายขึ้น โดยไปเลือกที่ Soft ware แทน ทำให้ผู้ใช้งานจะได้อินเวอร์เตอร์ที่มีสมรรถนะเหมาะสมสำหรับงานแต่ละด้าน และด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทั้ง Micro Processor และ Power electronics IGBTs จะทำให้อินเวอร์เตอร์ มีขนาดเล็ก ราคาถูกลงลงแต่มีศักยภาพสูงขึ้นในทุกด้าน เหมือนกับการพัฒนาของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน



### อักษรย่อ

<b>IGBT's</b>	<b>I</b> nsulated <b>G</b> ate <b>B</b> ipolar <b>T</b> ransistor
<b>PWM</b>	<b>P</b> ulse <b>W</b> idth <b>M</b> odulation
<b>VSD</b>	<b>V</b> ariable <b>S</b> peed <b>D</b> rives ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
<b>PLC</b>	<b>P</b> rogrammable <b>L</b> ogic <b>C</b> ontroller

### อ้างอิง

1. "Simovert MD" *Siemens catalog Master Drives DA 65*
2. "ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ" โดย ศิวะ หงษ์นภา