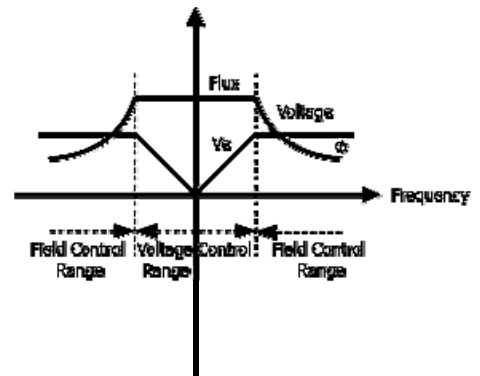


การพัฒนาทางด้านวิธีการควบคุมอินเวอร์เตอร์อุตสาหกรรม

เทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์อุตสาหกรรม ได้มีการวิจัยและพัฒนาอยู่ตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงปัจจุบัน ได้มีการวิจัยและพัฒนาวิธีการควบคุมอินเวอร์เตอร์อุตสาหกรรมขึ้นมาหลายรูปแบบด้วยกัน จนบางครั้งเกิดความสับสนกับผู้ใช้งาน ทำให้เกิดคำถามขึ้นว่า แต่ละชนิดหรือแต่ละประเภทมีข้อดี ข้อด้อยอย่างไร

1. อินเวอร์เตอร์แบบ V/F

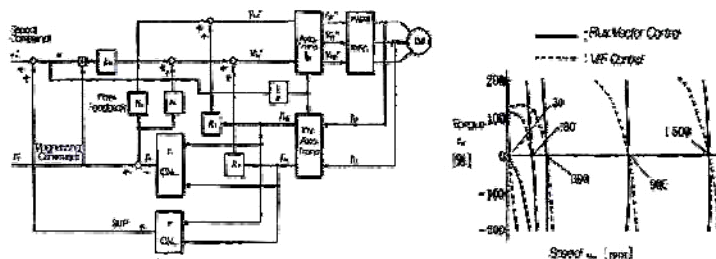
การพัฒนาในด้านวิธีการควบคุม การทำงาน ของมอเตอร์นั้น ก็เริ่มจากการควบคุมแรงดันที่หลายชั่ว ให้มีการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเชิงเส้นที่เราเรียกว่า การควบคุมแบบ V/F (Volts/Hertz) ซึ่งก็เป็นที่ทราบกันดีว่า การควบคุมแบบนี้มีข้อดีคือสามารถใช้กับมอเตอร์ทั่วไปได้ โดยไม่ต้องทราบข้อมูลพารามิเตอร์ภายใน แต่เนื่องจากการเป็นควบคุมแบบง่าย ๆ จึงไม่สามารถให้คุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วที่ดีได้และยังไม่สามารถควบคุมแรงบิดได้โดยตรง ความเร็วที่ได้ก็เปลี่ยนแปลงตามโหลด จึงเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ตั้งไว้



การควบคุมแบบ Volts/Hertz

2. อินเวอร์เตอร์แบบ Flux Vector Control

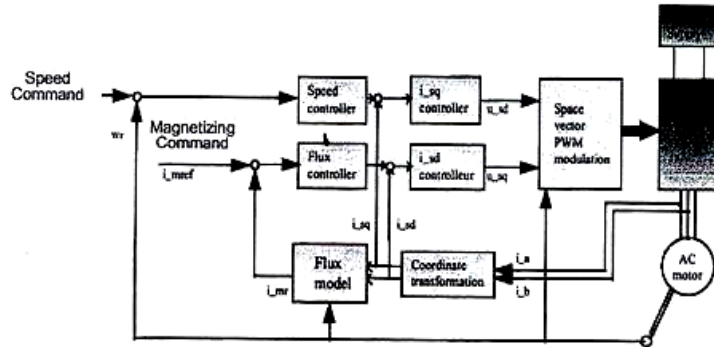
ในวิธีการนี้อินเวอร์เตอร์จะทำการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กภายในมอเตอร์ให้มีค่าคงที่(ส่วนใหญ่จะเป็นฟลักซ์ที่สเตเตอร์) โดยอาศัยการป้อนกลับของกระแส เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาการควบคุมแรงบิด-ความเร็วของการควบคุมแบบ V/F ให้ดีขึ้น ดังแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมคร่าว ๆ ได้ดังรูป



โครงสร้างและคุณสมบัติของการควบคุมแบบ Flux Vector Control

ในวิธีการนี้อินเวอร์เตอร์จะต้องทราบข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์ด้วย ถึงจะทำการควบคุม ฟลักซ์ได้อย่างถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติในย่านความเร็วต่ำก็ยังไม่ดีนัก เนื่องจาก ความไม่เป็นอุดมคติของสวิตช์กำลังและค่าผิดพลาดของพารามิเตอร์ของมอเตอร์

3. อินเวอร์เตอร์แบบ Vector Control (Field-Oriented Control)



โครงสร้างและคุณสมบัติของการควบคุมแบบ Vector Control

วิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector Control) หรือ Field-Oriented Control เป็นวิธีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะคล้ายคลึงกับมอเตอร์กระแสตรง โดยทั่วไประบบควบคุม จะทำการจ่ายกระแสเตเตอร์ที่มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือส่วนที่สร้างฟลักซ์แม่เหล็กและส่วนสร้างแรงบิด ทั้งนี้การควบคุมทั้งหมดจะกระทำอยู่บนแกนอ้างอิงที่หมุนไปพร้อมๆ กับฟลักซ์เวกเตอร์ทางด้านโรเตอร์ประเด็นสำคัญในการควบคุมชนิดนี้จึงอยู่ที่เราสามารถหาตำแหน่งของฟลักซ์เวกเตอร์ได้แม่นยำเพียงไร ซึ่งในทางปฏิบัติเนื่องจากเราไม่สามารถวัดค่าฟลักซ์ได้โดยตรง เราจึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำช่วยในการคำนวณหาค่าฟลักซ์เวกเตอร์นี้แทน ดังนั้น ข้อด้อยของระบบนี้จึงอยู่ที่เราจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์อย่างถูกต้อง จึงจะได้คุณสมบัติการควบคุมที่ดี ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งของระบบก็คือเราจำเป็นต้องทราบข้อมูลความเร็วหรือตำแหน่งของมอเตอร์ด้วย ซึ่งทำให้เราไม่สามารถนำไปใช้กับระบบที่ไม่มีเซนเซอร์วัดความเร็วได้ ดังนั้นโดยทั่วไปเรามักจะใช้ระบบควบคุมแบบเวกเตอร์นี้กับงานที่ต้องการความแม่นยำ และความเร็วในการตอบสนองสูง

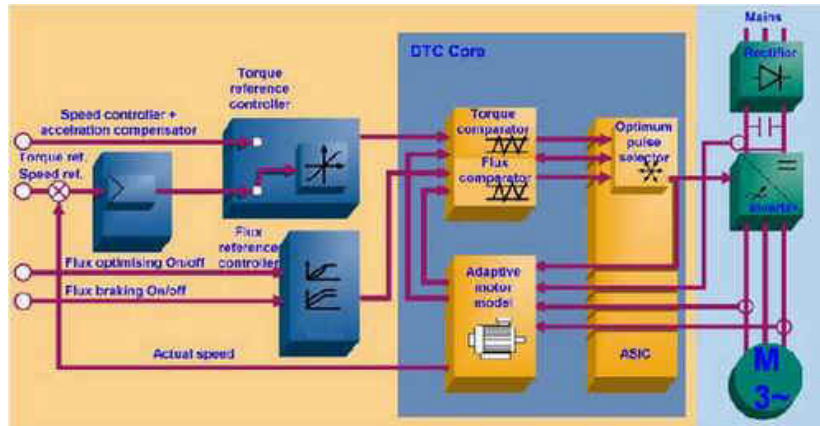
4. อินเวอร์เตอร์แบบ Direct Torque Control

Direct Torque Control (DTC) เป็นแนวคิดในการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำที่แตกต่างไปจากการควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector control) โดยการควบคุมแบบ DTC จะทำการกำหนดรูปแบบการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์โดยตรง ไม่ผ่านการทำ PWM เหมือนกับการควบคุมแบบอื่นๆ (ความถี่การสวิตช์จะไม่คงที่)

ในการควบคุมแบบ DTC อินเวอร์เตอร์จะทำการคำนวณค่าฟลักซ์ทางด้านสเตเตอร์ และค่าแรงบิดโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ จากนั้นก็จะนำค่าที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับค่าตั้ง (Setting) ของทั้งฟลักซ์และแรงบิด ผ่านตัวเปรียบเทียบแบบฮิสเตอร์รีซิส สถานะของสัญญาณขาออกของตัวเปรียบเทียบแบบฮิสเตอร์รีซิสจะทำให้เราทราบว่า จะต้องเพิ่มหรือลดฟลักซ์และแรงบิด ซึ่งข้อมูลนี้ก็จะถูกนำไปใช้ในการเลือกรูปแบบการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์จากตาราง Look-up เพื่อให้ได้แรงดันสเตเตอร์ที่เหมาะสม ที่ทำให้ฟลักซ์และแรงบิดเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ต้องการได้ โดยที่การควบคุม DTC ทำการควบคุมแรงบิดโดยตรงจึงมีชื่อเรียกว่า Direct Flux and Torque Control

แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า การควบคุมแบบ DTC ก็จำเป็นต้องใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์เช่นเดียวกันกับการควบคุมแบบเวกเตอร์ แต่อาจจะแตกต่างกันที่โดยทั่วไป DTC จะคำนวณฟลักซ์ และแรงบิดจากแบบจำลองลักษณะพลวัตทางด้านสเตเตอร์ (Stator dynamic) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลความเร็วของมอเตอร์ ดังนั้น โดยพื้นฐานแล้วการควบคุมจึงทำงานได้โดยไม่ต้องใช้เซนเซอร์วัดความเร็ว (Sensorless)

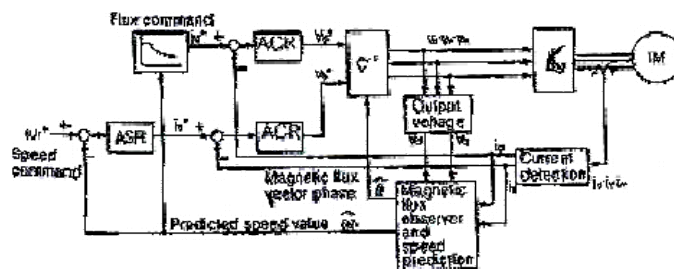
ส่วนคุณสมบัติของระบบ DTC เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบเวกเตอร์แล้ว จะไม่พบว่าแตกต่างกันมากนัก แต่การควบคุมแบบ DTC จะต้องระวังการทำงานในย่านความเร็วต่ำ ซึ่งเป็นย่านที่แรงดันตกคร่อมความต้านทานสเตเตอร์ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของทั้งฟลักซ์และแรงบิดค่อนข้างมาก



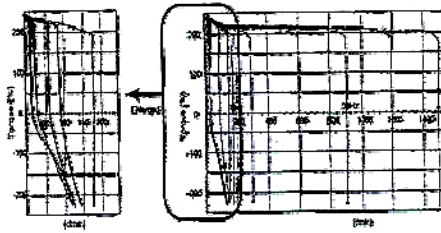
รูปโครงสร้างของระบบควบคุมแบบ Direct Torque Control

5. อินเวอร์เตอร์แบบ Sensorless Vector Control

ในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์แบบ Sensorless Vector Control ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่มีคุณสมบัติการควบคุมแรงบิดและความเร็วใกล้เคียงกับระบบควบคุมเวกเตอร์ นอกจากนี้ การทำงานของระบบนี้ก็ไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร็วด้วย จึงให้ความสะดวกในการใช้งานเหมือนกับอินเวอร์เตอร์แบบ V/F ในอินเวอร์เตอร์แบบ Sensorless ความเร็วของมอเตอร์จะถูกคำนวณโดยอาศัยแบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำ หากค่าความเร็วมอเตอร์ในตัวเองแบบจำลองมีค่าถูกต้องสัญญาณกระแส แรงดัน ฯลฯ ที่คำนวณได้ก็จะตรงกับค่าที่คำนวณได้ ในทางกลับกัน หากค่าความเร็วมอเตอร์ในตัวเองแบบจำลองผิดพลาดก็จะส่งผลทำให้ค่ากระแส แรงดัน ฯลฯ ที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดได้จริง เราสามารถใช้ค่าความผิดพลาดเหล่านี้ในการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วให้มีค่าถูกต้องได้ ตัวอย่างระบบ แสดงดังรูป



รูปโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แบบ Sensorless Vector Control



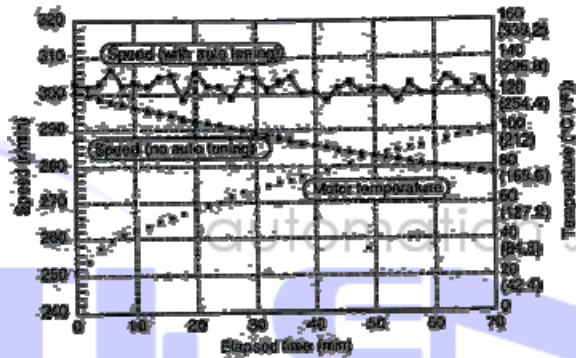
ตัวอย่างคุณสมบัติแรงบิด - ความเร็วในระบบ Sensorless

ถึงแม้เทคโนโลยี Sensorless จะได้พัฒนามานานพอสมควรแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีปัญหาในการใช้งานอยู่บ้าง โดยเฉพาะในขณะที่ยังมอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ช่วงที่แรงบิดเป็นลบ) ในย่านความเร็วต่ำ ซึ่งเป็นภาวะการทำงานที่ความถี่แรงดันที่เราจ่ายให้มอเตอร์น้อยมาก ผลกระทบจากความไม่เป็นอุดมคติของสวิตช์กำลัง และความคลาดเคลื่อนของค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์จะทำให้ระบบไม่สามารถควบคุมแรงบิดได้ดี และอาจขาดเสถียรภาพได้ด้วย ปัญหาดังกล่าวยังอยู่ในระหว่างการวิจัยหาแนวทางแก้ไข

6. เทคโนโลยีการหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ (Parameter Auto Tuning)

วิธีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเกือบทุกวิธี (ยกเว้นแบบ V/F) อินเวอร์เตอร์จะต้องทราบข้อมูลพารามิเตอร์ที่ถูกต้องของมอเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่ ในอดีตบริษัทผู้ผลิตมักจะขายอินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์คู่ไปกับมอเตอร์เพื่อใช้ในงานเฉพาะด้าน จึงสามารถทราบข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์ได้ แต่ในปัจจุบัน อินเวอร์เตอร์มีลักษณะเป็นแบบใช้งานทั่วไป (General Purpose) แทบทั้งสิ้น ดังนั้นเราจึงไม่สามารถทราบข้อมูลมอเตอร์ล่วงหน้าได้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการหาพารามิเตอร์ด้วยตัวอินเวอร์เตอร์เอง (Auto Tuning) โดยก่อนใช้งานอินเวอร์เตอร์ เราจะให้อินเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดที่เรียกว่า Auto Tuning ซึ่งอินเวอร์เตอร์จะทำการจ่ายกระแสและแรงดันไปทดสอบมอเตอร์ในลักษณะคล้าย ๆ กับการทดสอบไร้โหลด (No Load Test) และยัดโรเตอร์ (Lock Rotor Test) และนำค่าแรงดันและกระแสมาประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ ด้วยตัวประมวลผลภายในอินเวอร์เตอร์ และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อใช้งานต่อไป โดยทั่วไปแล้วการทำ Auto Tuning นี้จะทำในสภาวะที่มอเตอร์ไม่หมุน แต่ในบางกรณีก็มีการหาค่าพารามิเตอร์ทางกล เช่นค่าความเฉื่อยของระบบด้วย เพื่อใช้ในการกำหนดค่าตัวควบคุม PI ในวงรอบควบคุมความเร็ว (Speed Loop)

การทำ Auto Tuning ก่อนใช้งานจริงเพียงครั้งเดียว ในลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนี้เราอาจเรียกได้ว่าเป็นการทำ Auto Tuning แบบ Off line อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงแล้ว ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ จะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการใช้งาน เช่น ความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ค่าความเหนียวหนาเปลี่ยนแปลงตามระดับฟลักซ์แม่เหล็ก เป็นต้น ในขณะที่ใช้งานจริงหากอุณหภูมิของมอเตอร์เปลี่ยนไป ก็อาจทำให้ค่าความต้านทานทั้งทางด้านสเตเตอร์และโรเตอร์มีค่าเปลี่ยนไปได้ถึง 20 % ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติการควบคุมของอินเวอร์เตอร์ด้อยลง เช่น ทำให้เกิดค่าผิดพลาดของความเร็วและแรงบิด เป็นต้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวก็มีการพัฒนาการทำ Auto Tuning แบบ On Line ซึ่งอินเวอร์เตอร์จะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องตลอดเวลาที่อินเวอร์เตอร์ทำงาน



รูปแสดงการทำ Auto Tuning แบบ On Line

การพัฒนาด้านการใช้งาน

ในด้านการใช้งานอินเวอร์เตอร์นั้น ก็ได้มีการพัฒนาฟังก์ชันใช้งานในประเด็นปลีกย่อยต่าง ๆ อาทิเช่น

- ❖ Efficiency optimization : ทำได้โดยการปรับขนาดของฟลักซ์แม่เหล็ก ให้มีค่าลดลงในภาวะโหลดต่ำ เพื่อให้มีการสูญเสียในแกนเหล็กลดลงและประสิทธิภาพโดยรวม มีค่าสูงขึ้น วิธีการหาค่าที่เหมาะสมของฟลักซ์แม่เหล็กนั้นมีค่อนข้างหลากหลาย เช่นวิธีการตรวจหา (Search) ไปเรื่อย ๆ วิธีการปรับค่าตัวประกอบกำลังคงที่ ฯลฯ
- ❖ การลดเสียงรบกวน : เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ทำงานโดยการสวิตชิง ทำให้เกิดปัญหาเรื่องเสียงรบกวนในย่านความถี่ต่ำของคลื่นพาหะ (Carrier wave Frequency)

วิธีการลดเสียงรบกวนง่ายที่สุดคือเพิ่มความถี่การสวิตซ์ให้อยู่ในย่าน 10-15 KHz ซึ่งคนทั่วไปจะไม่ได้ยิน หรือทำการกระจายสเปกตรัมของสัญญาณ PWM ไม่ให้มีความถี่ของคลื่นพาหะคงที่ก็จะลดเสียงรบกวนที่แหลมลงได้เช่นกัน

- ❖ การเชื่อมต่อผ่านเครือข่าย ProfiBUS, DeviceNET, Sercor, InterBUS, ModBUS ฯลฯ
- ❖ การมีตัวควบคุม PID ภายในสำหรับใช้งานควบคุมกระบวนการ Process Control ง่ายๆ
- ❖ ลดจำนวนฟังก์ชันให้น้อยลง เพื่อลดความยุ่งยากของผู้ใช้ในการติดตั้ง
- ❖ ลดขนาดอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปติดตั้งในเครื่องจักรกล
- ❖ การปรับตั้งค่าต่างๆ โดยใช้ปุ่มหมุนแทนปุ่มกด และอื่นๆ

สรุป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเราพอจะมองเห็นได้ว่า ชนิดของอินเวอร์เตอร์จะพัฒนาไปใน 2 แนวทาง คือชนิดง่ายฟังก์ชันต่ำ และชนิดสมรรถนะสูง ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานเลือกใช้ได้ง่ายขึ้น และได้อินเวอร์เตอร์ที่มีสมรรถนะเหมาะสมสำหรับงานแต่ละด้าน การพัฒนาทางด้านสวิตซ์ กำลังจะทำให้อินเวอร์เตอร์ในอนาคตหันมาใช้ IPM ทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบศักยภาพแล้ว DSP ที่ถูกพัฒนามาสนับสนุนงานอินเวอร์เตอร์โดยเฉพาะ ก็จะเป็นชิพหลักที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะทำให้เราสามารถใช่วิธีการควบคุมที่ซับซ้อนได้มากขึ้น ทั้งสองเทคโนโลยีนี้จะทำให้อินเวอร์เตอร์มีขนาดเล็กลง แต่มีศักยภาพสูงขึ้นในทุกด้าน สำหรับผลกระทบต่อการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ของประเทศไทย ก็มีทั้งในทางบวกและทางลบ กล่าวคือการทำที่เราสามารถเข้าถึงและใช้เทคโนโลยีหลักทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น แต่ก็ทำให้เราต้องเร่งพัฒนาหาประเด็นยุทธศาสตร์ที่ทำให้เราสามารถแข่งขันกับนักวิจัยและนักพัฒนาทั่วโลกได้ด้วยเช่นกัน