

ศิวะ แหงนก

ศูนย์ฝึกอบรม เบรนไนค์ส เทคโนโลยี

siwa@brainics.com

www.brainics.com

อินเวอร์เตอร์

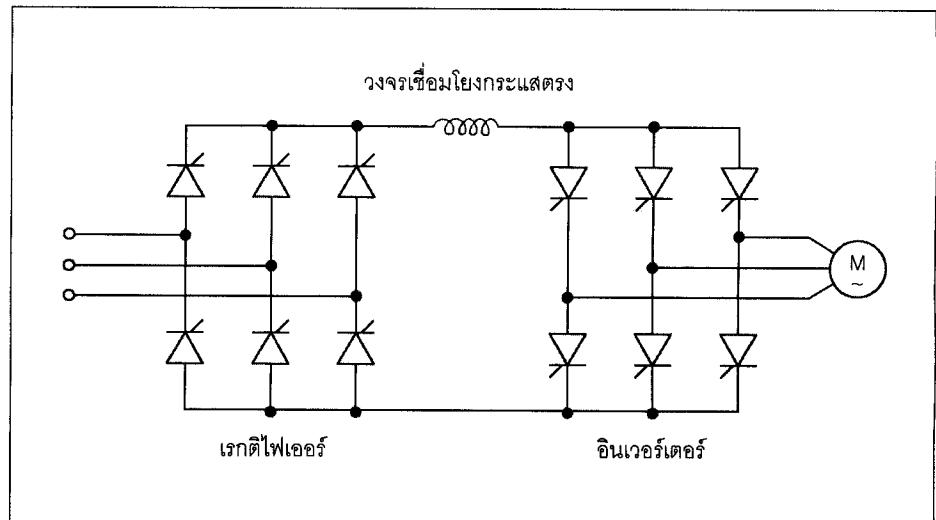
แบบแหล่งจ่ายกระแส

ผู้ใช้ส่วนใหญ่อาจจะไม่เข้าใจการทำงานของ CSI อย่างแท้จริง
 เพราะมักจะไปสับสนกับอินเวอร์เตอร์แบบ VSI

ในปัจจุบันหากกล่าวถึงอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter : CSI) หลายท่านคงเคยได้ยินแต่ครึ่ง แต่ไม่เคยใช้ และหลายท่านถึงแม้จะเคยใช้ แต่ก็ไม่ทราบแน่ชัดว่า CSI ทำงานอย่างไร

ในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์เกือบทั้งหมดจะเป็นแบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter : VSI) เท่าที่ผู้เขียนได้เห็น การใช้ CSI อยู่บ้างก็มีงานที่ใช้เทคโนโลยีสมัยกalgo และเป็นงานขนาดใหญ่ เช่น โรงงานน้ำตาล, โรงงานปุ๋นซีเมนต์ เป็นต้น และพบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่จะไม่เข้าใจการทำงานของ CSI อย่างแท้จริง เพราะจะไปสับสนกับอินเวอร์เตอร์แบบ VSI ผู้เขียนจึงถือโอกาสอธิบายการทำงานรวมถึงข้อแตกต่างและข้อดี-ข้อเสียเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์แบบ VSI ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

ผู้อ่านบางท่านอาจจะคิดว่าไม่ใช่เรื่องที่สำคัญ เพราะน่าจะถือเป็นเทคโนโลยีแบบเก่า แต่ท่านทราบหรือไม่ว่า



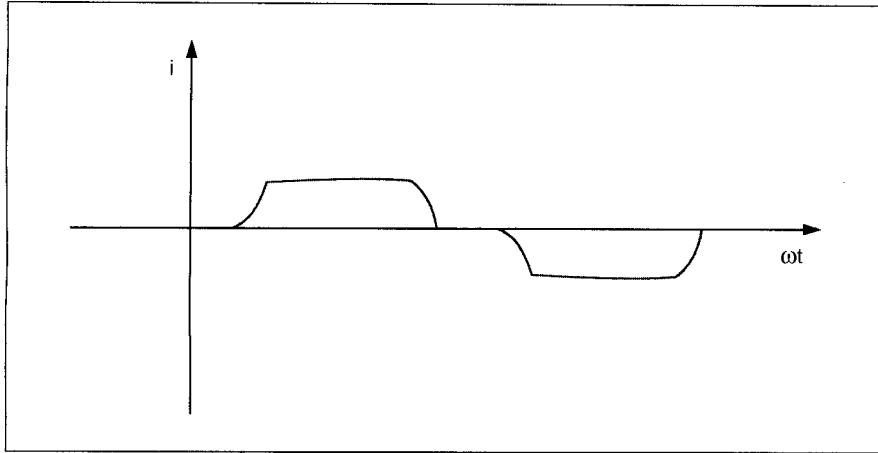
รูปที่ 1 วงจรภาคกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส

สำหรับอินเวอร์เตอร์ตัวใหญ่ๆ แล้ว บางยี่ห้อ ก็ยังใช้เทคโนโลยี CSI อยู่ นอกจากนี้ เทคโนโลยี CSI นี้หากนำไปใช้กับชิ้นเครื่องส懋มอเตอร์ จะทำให้ได้รูปแบบการทำงาน ของวงจรภาคกำลังที่เปรียบเสมือน DC motor เลยทีเดียว และเป็น DC motor ที่ไม่ต้องใช้เบรกถ่านและคอมมิเตเตอร์มาเป็นตัวเรียงกระแส หรือที่เรียกวันโดยทั่วไปว่า brushless dc motor ซึ่งจะขาดลักษณะในตอนต่อไป สำหรับในตอนนี้จะขอกล่าวถึง

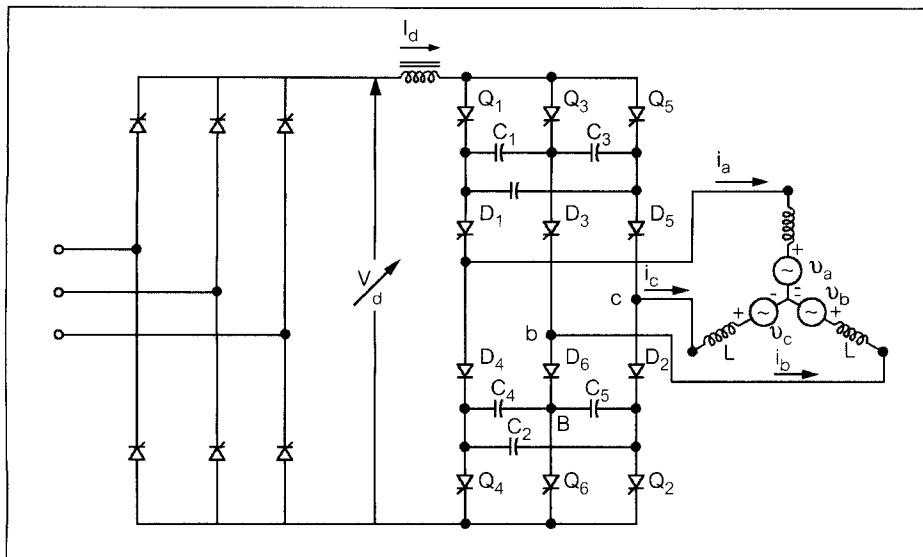
หลักการทำงานของ CSI โดยทั่วไปและพฤติกรรมของมอเตอร์แบบนี้ยังนำที่ใช้ CSI เป็นตัวจ่ายพลังงาน

หลักการทำงานของ ภาคกำลังของ CSI

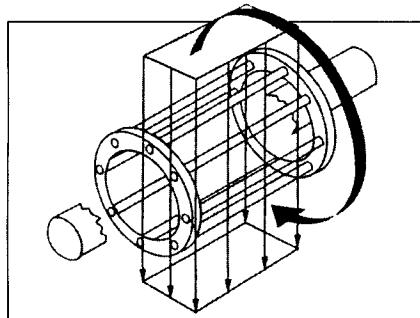
จากรูปที่ 1 ในทางทฤษฎี กระแสที่วงจรเรื่องโดยจะเป็นกระแสตรงที่เรียบ เพราะมีตัวเหนี่ยวนำทำหน้าที่กรองกระแส



รูปที่ 2 รูปร่างของกระแสไฟฟ้าเข้าแต่ละเฟสของมอเตอร์



รูปที่ 3 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ ASCI



รูปที่ 4 โรเตอร์ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กหมุน

ไทริสเตอร์ Q_1 ถึง Q_6 จะผลักกันทำงานครั้งละ 2 ครั้ง คือ Q_1-Q_2 , Q_2-Q_3 , Q_3-Q_4 , ..., Q_6-Q_1 ทำให้กระแสไฟฟ้าเข้าแต่ละเฟสของมอเตอร์มีลักษณะดังรูปที่ 2

ส่วน Q_1 ถึง Q_6 ก็จะทำหน้าที่เป็นเจตไฟฟ้าทำงานที่เปล่งไฟลับให้เป็นไฟตรงตามปกติ โดยทำงานครั้งละสองตัว เช่นกัน คือ Q_1-Q_2 , Q_2-Q_3 , ..., Q_6-Q_1

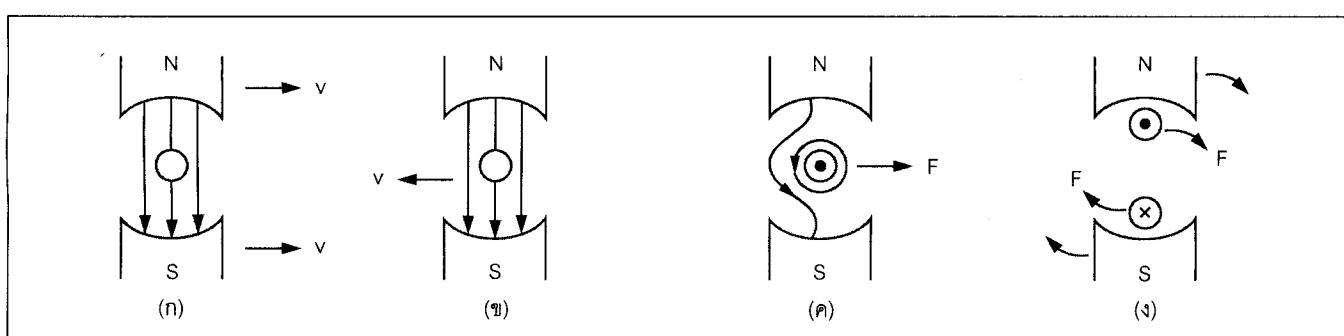
สำหรับการกำหนดจังหวะการทำงานของไทริสเตอร์นั้น ในส่วนของชุดไทริสเตอร์ Q_1-Q_6 จะไม่มีปัญหา เพราะจะข้างอยู่กับระดับแรงดันของแหล่งจ่าย จึงสามารถใช้วิธีการเปลี่ยนการนำกระแสแบบ Natural Commutation จากไทริสเตอร์ตัวหนึ่งไปยังอีกด้วยได้ แต่ชุดของ Q_1-Q_6 จะมีปัญหาไม่สามารถใช้วิธีเปลี่ยนการนำกระแสแบบ Natural Commutation ได้ เพราะไม่ได้ต่อ กับแหล่งจ่ายในการเปลี่ยนการนำกระแส จึงต้องใช้วิธีอื่นแทนที่นิยมใช้กันมากมีอยู่สองวิธี คือ

1. Auto-Sequencial-Force-Commutated Inverter วิธีนี้จะมีลักษณะการต่อของคุบกรนในภาคกำลังดังแสดงในรูปที่ 3 หลักการของวิธีนี้คือ จะใช้ C ในการเก็บประจุ เพื่อใช้หยุดการทำงานนำกระแสของไทริสเตอร์ที่มีหมายเลขเดียวกัน แล้วส่งต่อการทำงานนำกระแสไปยังไทริสเตอร์ตัวถัดไป เช่น C_1 จะใช้หยุดการทำงานนำกระแสของ Q_1 เพื่อส่งต่อการทำงานนำกระแสไปยัง Q_3

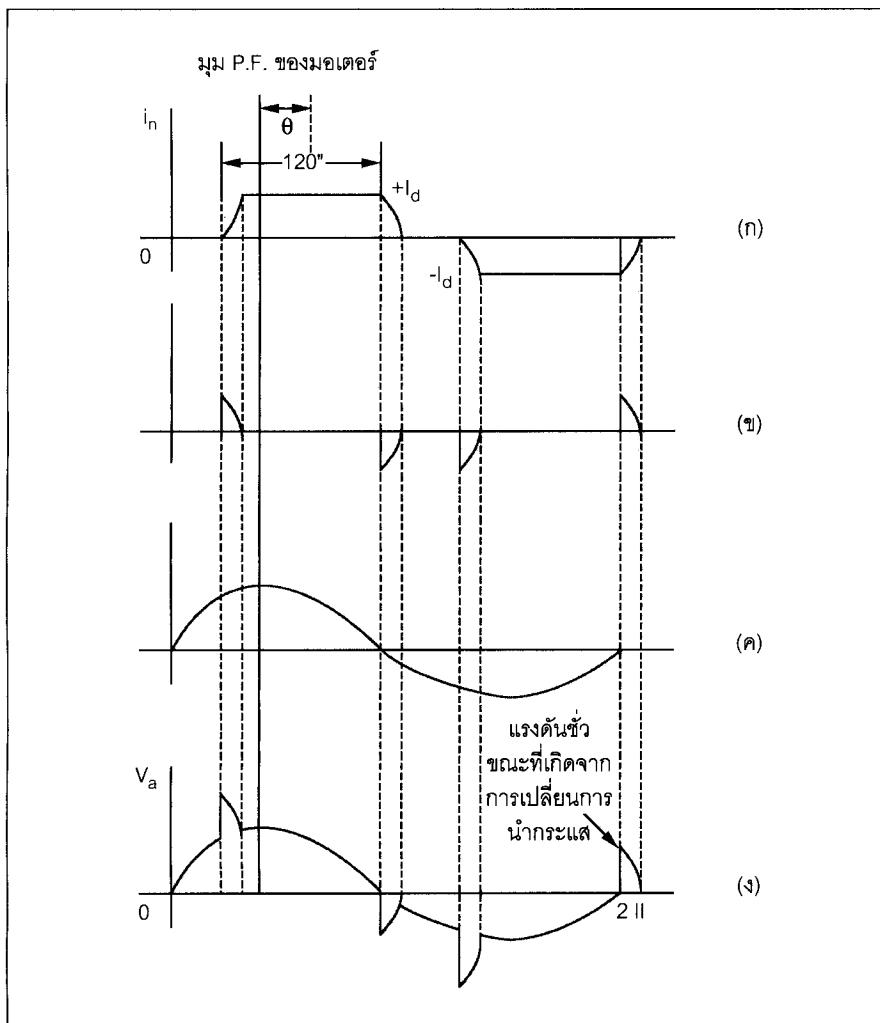
2. Self commutated Inverter วิธีนี้จะมีวงจรกำลังเหมือนรูปที่ 1 ทุกประการ เพียงแต่เปลี่ยนจากไทริสเตอร์ประเภท SCR เป็น GTO เพื่อให้สามารถ Turn-off ได้โดยไม่ต้องใช้ C ช่วย

ผลตอบสนองของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีต่อ CSI

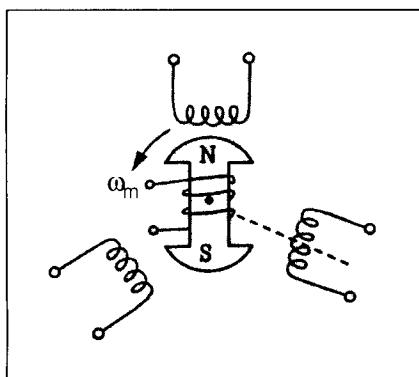
เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าเข้ามอเตอร์



รูปที่ 5 หลักการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงบิดบนโรเตอร์



รูปที่ 6 แรงเคลื่อนที่ก่อคร่อมคลอดลวดสเตเตอเรอร์



รูปที่ 7 การหมุนตัดของสนามแม่เหล็กนironเตอเรอร์ ที่มีต่อคลอดลวดสเตเตอเรอร์

เป็นกระแสสูปคลื่นสี่เหลี่ยม ไม่ใช่กระแสที่ เป็นคลื่น Sine เราจึงต้องมาพิจารณา กันว่า ลักษณะสูปคลื่นแรงดันซึ่งเป็นผลตอบสนอง ของมอเตอร์ที่มีต่อกระแสสูปสี่เหลี่ยมจะมี ลักษณะอย่างไร

จากรูปที่ 4 และ 5 เมื่อจ่ายกระแสสูป

สี่เหลี่ยมเข้าไปให้มอเตอร์จะทำให้เกิด สนามแม่เหล็กหมุน หมุนตัดผ่านironเตอเรอร์ และหนี้ยาน้ำให้ironเตอเรอร์มีกระแสสูปหนี้ยาน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กบนironเตอเรอร์ ผลักกับสนามแม่เหล็กบนสเตเตอเรอร์เกิดเป็น แรงบิดขึ้นมา ดังนั้นมือพิจารณาแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลตอบสนองของวงจรบน สเตเตอเรอร์ จะประกอบด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้า ส่องส่วน คือ

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจาก $\frac{dI}{dt}$ ขณะเปลี่ยนการนำกระแส หรือถ้าพิจารณา จากรูปที่ 6 ก็คือ ช่วงที่กระแสกำลังขึ้นและ กำลังลงในรูป (ก) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดัน ตอกคร่อมคลอดตามรูป (ข)

2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการ เหนี้ยวน้ำของสนามแม่เหล็กหมุนในช่อง ว่างอากาศ ที่เหนี้ยวน้ำคลอดบนสเตเตอเรอร์

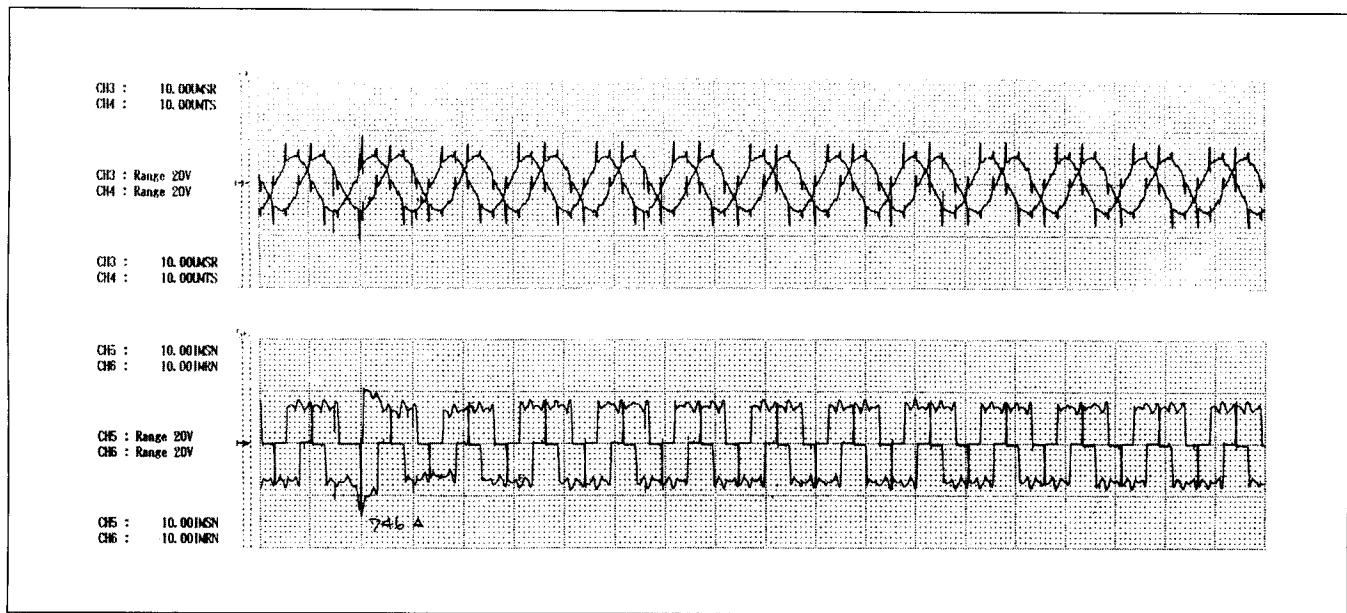
ซึ่งวงอยู่กับที่ ซึ่งแรงเคลื่อนเนี้ยวน้ำนี้ จะมีลักษณะเป็นคลื่นสูปไซน์ตามปกติ ดัง รูป (ค) ซึ่งผู้อ่านอาจจะจินตนาการเหมือน กับว่า สนามแม่เหล็กหมุนในช่องว่าง อากาศนี้ เปรียบเหมือนกับแท่งแม่เหล็กที่ หมุนตัดผ่านลวดตัวนำบนสเตเตอเรอร์ที่อยู่กับ ที่ ดังรูปที่ 7 ต่างกันเพียงแต่ว่าสนามแม่ เหล็กหมุนตัวนี้ไม่ได้เกิดจากการพันขด ลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กบนironเตอเรอร์ หากแต่เกิดจากการกระแสสูปบนสเตเตอเรอร์และ ironเตอเรอร์

ดังนั้นหากวัดแรงเคลื่อนตอกคร่อม บนสเตเตอเรอร์ก็จะได้แรงดันต่อเฟสของ คลอดบนสเตเตอเรอร์ดังรูปที่ 6 (ง) ซึ่งหาก นำมาเทียบกับรูปที่ 8 ที่แสดงแรงดัน ระหว่างเฟส S-R และ T-S และแสดงกราฟ ของเฟส S และ R ที่วัดได้จากของจริง ก็จะเห็นได้ว่าใกล้เคียงกับที่อธิบายไว้ใน ทฤษฎีค่อนข้างมาก

เราจึงสรุปได้ว่าสำหรับ CSI แล้ว แรง เคลื่อนไฟฟ้าจะเป็นผลตอบสนองของวงจร กล่าวคือ เราจ่ายกระแสเข้าไป แล้วจึงเกิด แรงดัน ซึ่งตรงกันข้ามกับ VSI ที่เรา จ่ายกระแสเข้าไปแล้วจึงเกิดกระแส ดังนั้น เราลดลงมาพิจารณา กันว่าจะเกิดอะไรขึ้นถ้า เราเพิ่มกระแสที่ DC link โดยการปรับที่ เรกเกตไฟเซอร์

เราจึงเปรียบเทียบเรกเกตไฟเซอร์ + ตัวหนี้ยาน้ำที่ delink + อินเวอร์เตอเรอร์ ได้เท่า กับแหล่งจ่ายกระแส ดังนั้นเราสามารถ เทียบวงจรสมมูลของมอเตอร์ที่ต่อ กับแหล่งจ่ายกระแสได้ดังรูปที่ 9

จากรูปที่ 9 กระแสที่โหลดเข้ามอเตอร์ จะถูกแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่โหลดเข้า L_m ซึ่งเป็นส่วนที่นำไปใช้สร้างสนามแม่ เหล็กและส่วนที่โหลดเข้า R_s ซึ่งเป็นส่วนที่ นำไปขับโหลด สมมุติเราเพิ่มกระแส I_s โดย ที่โหลดเท่าเดิม (สถิติคงที่) จะทำให้ I_m และ I_r เพิ่ม (ขนาดของ I_m และ I_r ได้โดยใช้ current divider) นั่นหมายความว่า แรงดันที่ ข้ามของมอเตอร์จะสูงขึ้น เพราะ L_m และ R_s



รูปที่ 8 แรงดันต่ำสุดของมอเตอร์ที่วัดได้จากของจริง

เท่าเดิม

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาข้างต้น เป็นการพิจารณาเมื่อลดทางกลไม่เปลี่ยนแปลง เราลองมาคิดถึงการต่อ กันว่าถ้าให้ลดเปลี่ยนแปลงจะเกิดอะไรขึ้น

จากรูปที่ 9 สมมุติว่าให้ลดทาง กลน้อยลง ซึ่งการน้อยลงของให้ลดทาง กลจะสะท้อนเข้ามาในวงจรสมมูลในรูป ของสลิปที่ลดลง ทำให้ f/s มีค่ามากขึ้น ทำให้กระแส I_s ลดลง และกระแส I_m เพิ่ม ขึ้น (อย่าลืมนั่นคือว่า I_s ต้องเท่าเดิม) หาก ให้ลดทางกลลดลงเรื่อยๆ ก็จะยังทำให้ f/s มากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ I_s ลดลงเรื่อยๆ และ I_m มากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งหมายถึงสถานะแม่เหล็ก ที่เป็นตัวกำหนดความสามารถในการสร้าง แรงบิดของมอเตอร์จะสูงขึ้นตาม I_m แต่ เนื่องจากแกนแม่เหล็กมีขีดจำกัดในการ จูสันแรงแม่เหล็ก เมื่อ I_m เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แกนแม่เหล็กก็จะเกิดการอ่อนตัว ทำให้กราฟ ความสัมพันธ์แรงบิด-ความเร็วrotate (T-S curve) ไม่เป็นไปตามเส้นประดังในรูปที่ 10 ซึ่งหากไม่คำนึงถึงการอ่อนตัวของแกนแม่เหล็ก แล้ว T-S curve จะต้องเป็นไปตามเส้นประ

รูปที่ 10 ยังแสดงถึง T-S curve ของ มอเตอร์เมื่อจ่ายกระแสตับต่างๆ และเมื่อ

เทียบกับการใช้แหล่งจ่ายแรงดันเป็น source

จากรูปที่ 10 พิจารณา T-S curve เมื่อกระแส $I_s = 1.0$ pu หากเปรียบกับ T-S curve ของมอเตอร์ที่จ่ายพลังงานด้วย แหล่งจ่ายแรงดัน จุดทำงานของมอเตอร์ จะอยู่ด้านที่ระบบมีเสถียรภาพ ซึ่งในที่นี้ ก็จะต้องเป็นจุด B แต่ปัญหาของมอเตอร์ที่ รับพลังงานจากแหล่งจ่ายกระแส คือ จุด B เป็นจุดที่แกนแม่เหล็กอ่อนตัว เนื่องจาก I_m มีค่า มาก (สลิปน้อย ทำให้ I_s ส่วนใหญ่ไหลผ่าน มหาทาง L_m) มีผลทำให้มอเตอร์อาจมีความ ร้อนสูง ในทางปฏิบัติจึงยากจุดทำงานมา อยู่ที่จุด A ซึ่งถึงแม้จะเป็นจุดที่ไม่มี เสถียรภาพแต่ก็จะไม่เกิดปัญหาความร้อน สรวนปัญหาเรื่องเสถียรภาพก็ใช้การควบคุม แบบป้อนกลับมาซ้ายแก้ปัญหา เพื่อให้ ระบบทำงานแบบมีเสถียรภาพมากขึ้น

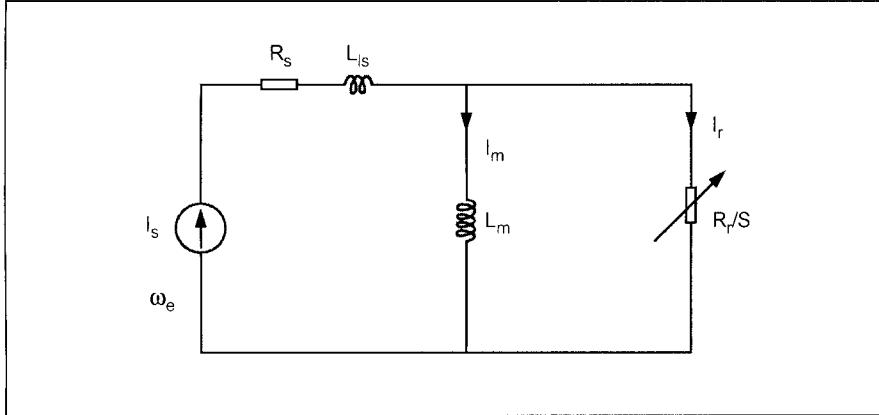
การควบคุม CSI ด้วย วิธีการควบคุมแบบ สเกลาร์

รูปที่ 11 แสดงไดอะแกรมการควบ
คุม CSI โดยใช้วิธีการควบคุมแบบสเกลาร์

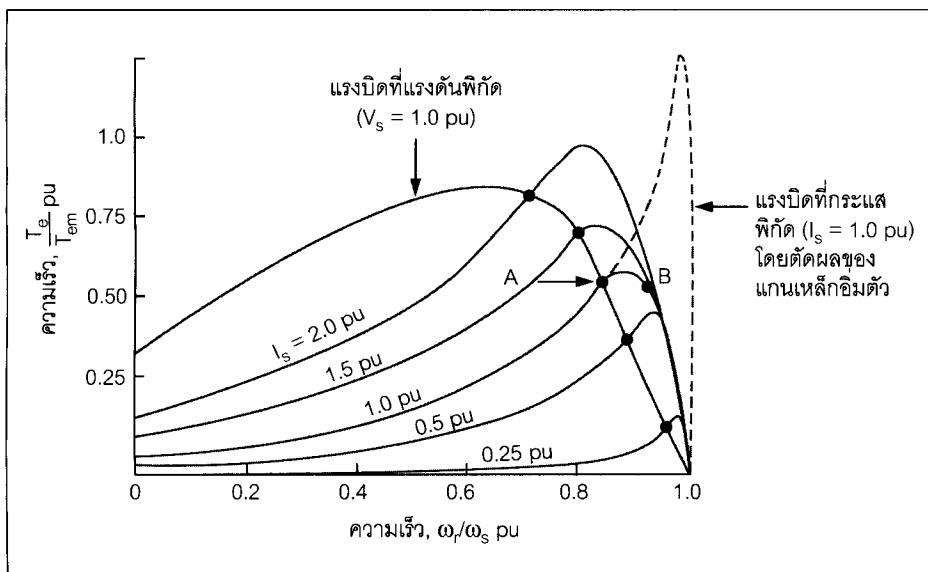
จากรูปที่ 11 ω_r คือ speed command ใน ขณะที่ ω_r คือ speed ที่รับได้จากการ ทำงานจริง สมมุติว่าในขณะที่มอเตอร์กำลัง ทำงานอยู่ ณ ความเร็ว rob ที่กำหนดแล้ว ต่อมามีให้ลดทางกลเพิ่มเข้ามา การเข้ามา ของให้ลดทางกลในขณะที่มอเตอร์ยังให้ แรงบิดเท่าเดิม ทำให้ ω_r ลดลง จึงเกิดเป็น ค่า error ขึ้น ตัวควบคุม G_2 ซึ่งโดยทั่วไป จะเป็น PI controller จะขยาย และ อินทิเกรตสัญญาณ error ทำให้ ω_{si}^* ซึ่ง หมายถึง ความเร็วสลิปมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อ ไปบวกกับ ω_r แล้ว จะได้ ω_r^* ที่สูงขึ้น ซึ่ง หมายถึงไปสั่งให้มอเตอร์ทำงานที่ ความถี่สูงขึ้น

ในขณะเดียวกัน ω_{si}^* ที่เพิ่มขึ้น ก็จะ ไปทำให้ I_d เพิ่มขึ้น เพื่อไปสั่งให้เรกติ-ไฟเซอร์ R เพิ่มกระแส I_d ให้มากขึ้น เพื่อรับ กับแรงบิดของโหลดที่มากขึ้น ω_{si}^* จะมาก ขึ้นเรื่อยๆ ตราบใดที่ ω_r ยังน้อยกว่า ω_r^* ซึ่ง หมายถึง ω_r^* จะสูงขึ้นเรื่อยๆ และ I_d ก็จะ สูงขึ้นเรื่อยๆ เพื่อให้รับกับโหลดที่เพิ่มขึ้นได้ และแก้ไขความเร็ว robust ที่ตกลงไป จนกระทั่งได้ ω_r เท่ากับ ω_r^* และแรงบิดเท่ากับแรง บิดที่โหลดต้องการ

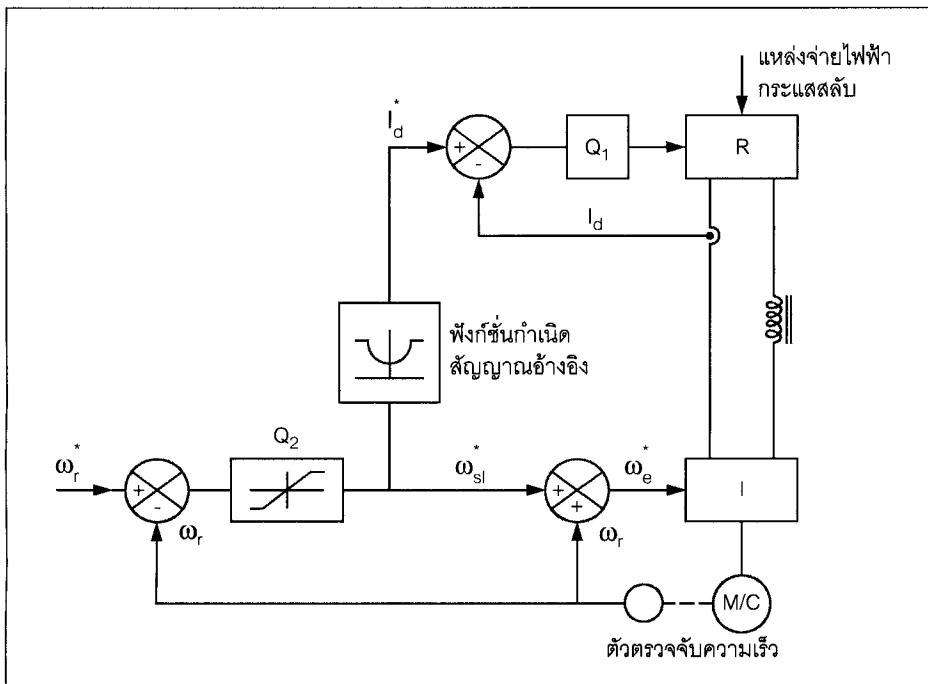
มาถึงตรงนี้ผู้อ่านบางท่านอาจจะยัง



รูปที่ 9 วงจรสมมุติของเตอร์เหนี่ยวนำ เมื่อจ่ายด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ และต้องคัดกรองของวงจรที่มีผลน้อยอย่างไป



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์แรงบิด-ความเร็ว rotor เมื่อเปลี่ยนแปลงกระแสเตอร์



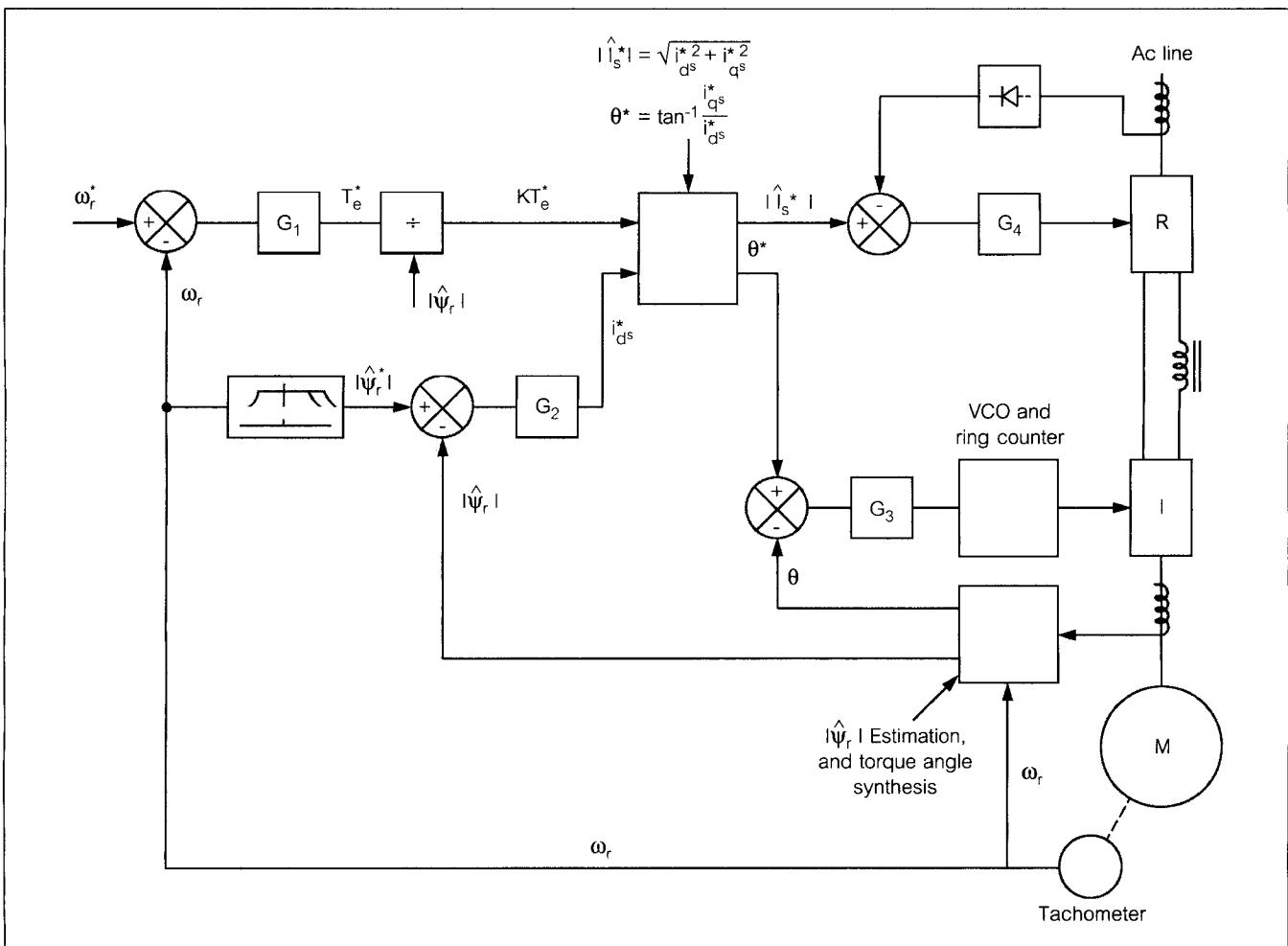
รูปที่ 11 การควบคุม CSI โดยวิธีการควบคุมแบบสเกลาร์

ไม่เข้าใจว่า ทำไม่เมื่อ ω_r ลดลง จึงต้องให้ I_d สูงขึ้น จึงขออธิบายที่มาโดยใช้ T-S curve ตามรูปที่ 10 ดังนี้

จากรูปที่ 10 สมมุติเดิมระบบทำงานอยู่ที่จุด A ต่อมาเมื่อโหลดมากขึ้น สลิปของมอเตอร์จะมากขึ้น แต่เมื่อไปถูกที่ T-S curve พบว่ามีสลิปมากขึ้น มอเตอร์จะให้แรงบิดลดลง ดังนั้นเราจึงต้องเพิ่มกระแสเพื่อให้มอเตอร์สามารถรับกับแรงบิดที่เพิ่มขึ้นมาได้ นอกจากนี้ การที่สลิปมากขึ้นหมายความว่าถ้าให้ ω_r^* หรือความถี่ในเวอร์เตอร์ ให้เดิน ω_r จะไม่มีทางเท่ากับ ω_r^* เพราะโหลดที่มากขึ้น ω_r จะลดลง เพื่อให้ ω_r กลับมาเท่ากับ ω_r^* ใหม่จึงต้องเพิ่ม ω_r^* หรือสั่งให้อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สูงขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องออกแบบระบบควบคุมให้เพิ่ม I_d และ ω_r เมื่อ ω_s มากขึ้น

การควบคุม CSI ด้วยวิธีการควบคุมแบบสเกลาร์

จากรูปที่ 12 การควบคุมจะแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของ I_d ซึ่งจะควบคุมสนามแม่เหล็กและส่วนของ I_q ซึ่งจะควบคุมแรงบิดโดยตรง โดยปกติแล้วหากความเร็ว yang ไม่ถึงพิกัดค่า I_d จะคงที่ และจะเริ่มลดลง เพื่อทำให้ field weakening เมื่อความเร็วสูงกว่าพิกัดส่วน I_d นั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงบิดที่โหลดต้องการ หรือขึ้นอยู่กับแรงบิดที่ต้องการให้มอเตอร์เอาไปขับโหลด เมื่อได้ I_d และ I_q แล้ว จะมาแปลงเป็น θ^* โดย θ^* จะเป็นค่าที่ไปบอกเรกติไฟเซอร์ว่าต้องจ่ายกระแสให้มอเตอร์เท่าไร ส่วน θ^* จะถูกนำไปใช้กำหนดความถี่ที่อินเวอร์เตอร์จะต้องทำงานผ่าน Voltage Control Oscillator หรือ VCO ถ้า θ^* มากขึ้น จะแสดงว่า I_q เพิ่มขึ้น (ถ้าให้ I_d คงที่) ซึ่งหมายถึงในโหลดต้องการแรงบิดสูงขึ้นและความเร็วรอบมากขึ้น



รูปที่ 12 การควบคุม CSI โดยวิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์

จากกฎสมมุติว่าขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานอยู่ที่ความเร็วรอบ $\omega_r = \omega_r^*$ และมีโหลดทางกลเพิ่มเข้ามา ทำให้ $\omega_r < \omega_r^*$ ตัวควบคุม G_1 ซึ่งเป็น PI controller จะสร้างสัญญาณ T_e^* ที่สูงขึ้น ซึ่งหมายถึง $|i_s^*|$ สูงขึ้น ซึ่งก็จะทำให้ i_s^* และ θ^* สูงขึ้น เจกติไฟเซอร์ R ก็จะเปิดให้กระแสไหลมากขึ้น และอินเดวอร์เตอร์ | ก็จะทำงานที่ความถี่สูงขึ้น เพื่อทำให้มอเตอร์จ่ายแรงบิดตามที่โหลดต้องการเพิ่มขึ้นได้ และทำให้มอเตอร์กลับมาหมุนที่ความเร็วเท่าเดิมตามที่ต้องการ

จะเห็นว่า ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมแบบสเกลาร์หรือแบบเวกเตอร์เมื่อมีโหลดทางกลเพิ่มเข้ามา ระบบควบคุมจะต้องทำการเพิ่ม $|i_s^*|$ ให้กับมอเตอร์เพื่อตอบรับกับแรงบิดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องทำให้ระดับแรงดัน และ spike ของแรงดันขณะ commutate เติ่งสูงขึ้นด้วย ลูกคดีนิชุดที่ 2 ในรูปที่ 8 จะแสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์นี้ได้อย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- ศิริ วงศ์นภา ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ, พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2543
- เอกสารการฝึกอบรม, ศูนย์ฝึกอบรมเบรนนิคส์ เทคโนโลยี



อุปกรณ์และปลั๊กความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรม

ประกอบด้วยอุปกรณ์หลากหลาย เช่น ตู้ผู้จัดการ, ตู้ควบคุม, ตู้แปลงสัญญาณ, ตู้ขยายสัญญาณ, ตู้แปลงอุณหภูมิ, ตู้แปลงความชื้น, ตู้แปลงอุปกรณ์และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการควบคุมและจัดการกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น ตู้ผู้จัดการที่ใช้สำหรับจัดการกระบวนการผลิต, ตู้แปลงสัญญาณที่ใช้สำหรับแปลงสัญญาณระหว่างอุปกรณ์และเครื่องจักร, ตู้ขยายสัญญาณที่ใช้สำหรับขยายสัญญาณสัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์อื่นๆ ให้มีความกว้างขวางและสามารถเชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์อื่นๆ ได้

บริษัท เอ็นไอบี อิเลคทรอนิกส์ จำกัด