

การควบคุมแบบเวกเตอร์คอนโทรล ของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส

มักจะมีผู้เข้าใจผิดอยู่เสมอว่า การควบคุมแบบเวกเตอร์คอนโทรลจะใช้ได้เฉพาะกับอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะความเข้าใจสับสนในเรื่องของการแบ่งประเภทของอินเวอร์เตอร์ที่ผู้ใช้บางส่วนไม่ได้แยกแยะตามลักษณะของการแบ่งประเภทที่มีอยู่หลายแบบ เช่น แบ่งตามวงจรภาคกำลัง แบ่งตามรูปแบบการควบคุมหรือแม้แต่การแบ่งตามลักษณะของการมอดูเลต ทำให้มักจะมีผู้เข้าใจผิดอยู่เสมอว่า PWM เป็นเรื่องของการควบคุม ส่วนเวกเตอร์คอนโทรลเป็นเรื่องของการมอดูเลตในวงจรภาคกำลัง ความเข้าใจผิดนี้ ไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะผู้ใช้งานชาวไทย แม้แต่ฝรั่งบางคนที่ยังเขียนเคอร์รี่ก็มักเข้าใจผิด และเป็นสาเหตุว่า เมื่อผู้เขียนต้องเข้าไปยุ่งเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสที่มีการควบคุมแบบเวกเตอร์ มักจะได้รับคำถามอยู่เสมอว่า อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสมีเวกเตอร์คอนโทรลด้วยหรือ ดังนั้นก่อนจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อนี้ ผู้เขียนจะขออนุญาตแบ่งประเภทของอินเวอร์เตอร์ตามลักษณะการแบ่งประเภทที่แตกต่างกันเสียก่อน เพื่อให้ผู้อ่านที่ยังสับสนกับประเภทของอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีอยู่มากมายเหลือเกินได้หายสงสัย และจะได้เข้าใจไปในทิศทางเดียวกัน ดังนี้

ประเภทของอินเวอร์เตอร์เมื่อแบ่งตามลักษณะของ DC Link ในวงจรภาคกำลัง

1. อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน อินเวอร์เตอร์ประเภทนี้จะมี C อยู่ที่ DC Link
2. อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแส อินเวอร์เตอร์ประเภทนี้จะมี L อยู่ที่ DC Link

ประเภทของอินเวอร์เตอร์เมื่อแบ่งตามลักษณะของวงจรภาคควบคุม

1. สเกลาร์คอนโทรล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อยตามลักษณะของวงจรภาคกำลังคือ

- 1.1 V/F คงที่ ในกรณีที่วงจรภาคกำลังเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน
- 1.2 I/F คงที่ ในกรณีที่วงจรภาคกำลังเป็นแหล่งจ่ายกระแส

2. เวกเตอร์คอนโทรล โดยปกติหลักการควบคุมแบบเวกเตอร์คอนโทรลจะใช้ได้กับวงจรภาคกำลังทั้ง 2 แบบ ไม่ได้แบ่งแยกตามลักษณะของวงจรภาคกำลังดังเช่นในกรณีของสเกลาร์คอนโทรล แต่จะถูกแบ่งออกตามรายละเอียดของวิธีการที่จะให้ได้มาซึ่ง Torque และ Flux ตามที่ต้องการ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

- 2.1 Classical Vector Control เป็นลักษณะการควบคุม Torque และ Flux ผ่านการควบคุม I_d และ I_q และตรวจสอบค่า I_d และ I_q ผ่านมอเตอร์โมเดล ซึ่งจะเป็นรูปแบบของเวกเตอร์คอนโทรลที่ผู้เขียนกล่าวถึง
- 2.2 Direct Torque Control เป็นลักษณะการควบคุม Torque และ Flux โดยไม่ใช้ I_d และ I_q และตรวจสอบ T และ λ_e ผ่านมอเตอร์โมเดล

โดยการควบคุมแต่ละแบบจะมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งจะยังไม่ขอกล่าวถึงในขั้นนี้

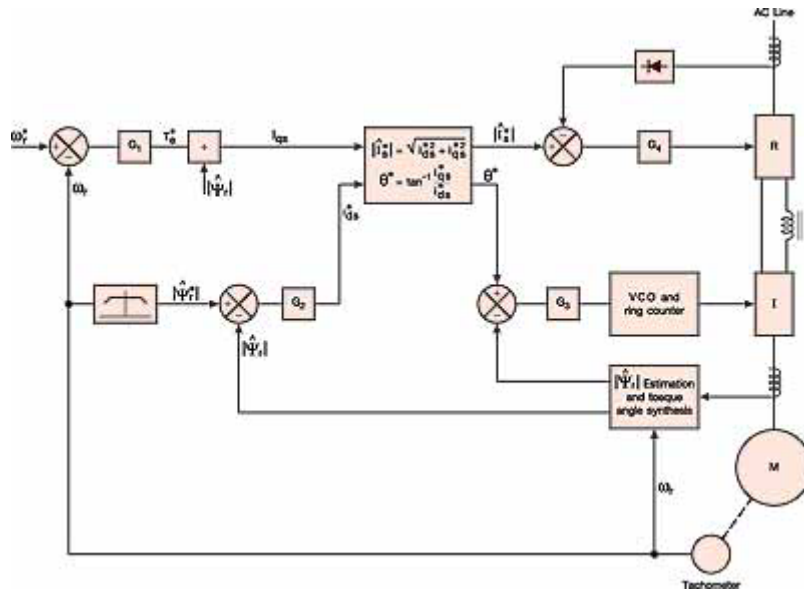
ประเภทของอินเวอร์เตอร์เมื่อแบ่งตามลักษณะของการมอดูเลตสัญญาณทริก IGBT

1. PWM Modulation เป็นการมอดูเลตที่ใช้กับการควบคุมแบบ V/F ธรรมดา
2. Space Vector Modulation เป็นการมอดูเลตที่ใช้กับการควบคุมแบบ Classical Vector Control
3. Hysteresis Modulation เป็นการมอดูเลตที่ใช้กับการควบคุมแบบ Direct Torque Control

สำหรับประเภทของการมอดูเลตนั้น ในการใช้งานจริงจะมีมากกว่านี้ แต่ผู้เขียนขอยกตัวอย่างที่พอมองเห็นง่าย ๆ เพียง 3 ตัวอย่างข้างต้น ทั้งนี้เพียงเพื่อให้ผู้อ่านที่ยังไม่คุ้นเคยกับการแบ่งประเภทได้พอแยกแยะได้อย่างง่าย ๆ เมื่อได้เห็นภาพของการแบ่งประเภทอินเวอร์เตอร์ตามควรแล้ว จะขอนำผู้อ่านมาเข้าเรื่องการควบคุมอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสด้วยเวกเตอร์คอนโทรลกันต่อ

รูปที่ 1 เป็นการควบคุมอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสด้วยเวกเตอร์คอนโทรล จากรูปจะเห็นว่าการควบคุมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 เส้นทางหลักคือ เส้นทางควบคุมทอร์กที่มี T_e^* เป็น Torque Command และเส้นทาง

การควบคุมฟลักซ์ที่มี Y_r^* เป็น Flux Command ในส่วนของ Torque Command T_e^* เมื่อนำไปหารด้วย Y_r^* ก็จะกลายเป็น I_q^* Command หรือ I_q^* ในขณะที่ Flux Command นั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ Flux Actual หรือ Y_r แล้วค่า Error ที่ได้จะถูกแก้ไขโดย G_2 ซึ่งเป็น PI Regulator ดังนั้น Outlet ของ G_2 จึงเป็น I_d Command หรือ I_d^* เพราะ I_d เป็นตัวสร้าง Y_r ถ้า I_d มีค่าถูกต้อง ก็จะทำให้ Y_r มีค่าเท่ากับ Y_r^* พอดี

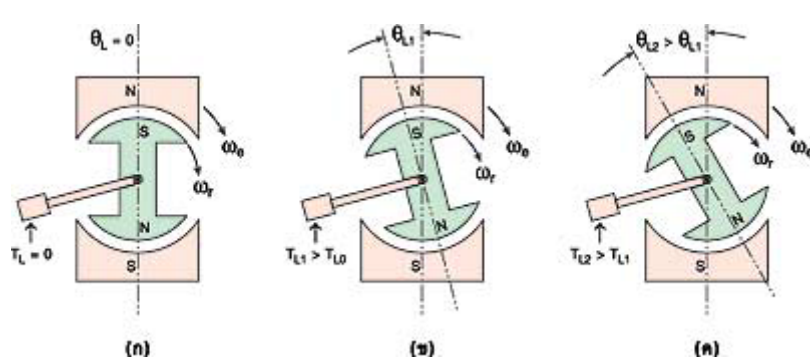


รูปที่ 1 การควบคุมอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสด้วยเวกเตอร์คอนโทรล

เมื่อได้ I_d^* และ I_q^* แล้ว I_d^* และ I_q^* จะถูกนำไปแปลงเป็น $|I_s^*|$ และ q^* โดย $|I_s^*|$ จะเป็นตัวไปกำหนดมุมจตุรคหวนเรกตีไฟเออร์เพื่อให้ได้ขนาดของกระแสตามที่ต้องการ ในขณะที่ q^* จะเป็นตัวไปกำหนดความถี่ของภาคอินเวอร์เตอร์ เพราะ q คือ Load Angle ถ้า q^* มากขึ้นก็แสดงว่าภาคควบคุมต้องการให้มี Load Angle เพิ่มขึ้น ซึ่งก็หมายถึง การเพิ่มแรงบิดนั่นเอง อย่างไรก็ตาม Load Angle จะสูงขึ้นก็ต่อเมื่อ F มีค่ามากขึ้น ดังนั้นผลต่างระหว่าง q^* (Load Angle Command) กับ (Load Angle Actual) จึงเป็นตัวกำหนดว่าจะให้อินเวอร์เตอร์เพิ่มความถี่หรือลดความถี่จากเดิมเท่าใด

มาถึงตรงนี้หลายท่านคงเริ่มมีคำถามในใจว่า ความถี่ไปเกี่ยวอะไรกับ Load Angle และหลายท่านคงถามต่อว่า แล้ว Load Angle ที่ว่านี่คืออะไร เพื่อให้คำถามคาใจนี้หายออกไป ผู้เขียนจึงจะขอตอบคำถามเหล่านี้ก่อน เพราะความรู้เบื้องต้นนี้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการทำความเข้าใจการทำงานของอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสที่ควบคุมด้วยวิธีเวกเตอร์คอนโทรล

เรามาทำความเข้าใจคำว่า Load Angle กันก่อน โดยเริ่มศึกษาจากกรณีของซิงโครนัสมอเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว เพราะเป็นกรณีตัวอย่างที่ทำให้เราเข้าใจ Load Angle ได้โดยง่าย



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของ Load Angle เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ Torque Load

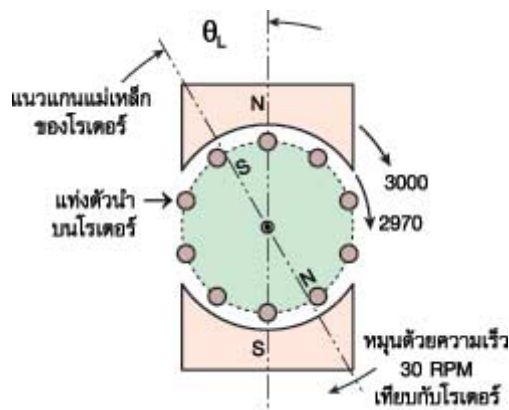
จากรูป ถ้าสมมุติว่า ไม่คิดแรงเสียดทานของการหมุนและแรงต้านของลม พิจารณารูป 2ก เนื่องจากมอเตอร์ไม่ได้รับโหลดทางกลใด ๆ ดังนั้น $T_L = 0$ และทำให้แนวแกนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์จะทับกับแนวแกนขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์พอดี และแม่เหล็กทั้งสองจะหมุนเกาะกันไปด้วยความเร็ว w_e ซึ่งเป็นความเร็ว

ซิงโครนิส ($w_r = w_e$) ในกรณีนี้แม่เหล็กทั้งสองไม่มีการทำมุมซึ่งกันและกัน ทั้งนี้สมมติว่ามอเตอร์หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา

ต่อมาเมื่อมอเตอร์เริ่มรับโหลดทางกล ($T_L = T_{L1}$ ซึ่งมากกว่า 0) การเข้ามาของโหลดทางกลในเริ่มแรก จะทำให้โรเตอร์ถูกดึงให้หมุนช้าลง ($w_r = w_e$) การที่โรเตอร์หมุนช้ากว่า w_e ของสเตเตอร์ จะทำให้แรงดึงระหว่างแม่เหล็กบนสเตเตอร์กับโรเตอร์มีมากขึ้น และทราบได้ที่ w_r ยังน้อยกว่า w_e (เนื่องจากมอเตอร์ยังสร้างแรงดึงมาไม่พอกับ T_L ที่สูงขึ้น) แรงดึงนี้ก็จะยังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งในที่สุด แรงดึงนี้มีค่าเท่ากับ T_L โรเตอร์ก็จะหยุดช้าลงและหมุนด้วยความเร็ว w_e ใหม่ แต่ ณ จุดนั้น แนวแกนแม่เหล็กของโรเตอร์ก็ล้าหลังแนวแกนแม่เหล็กของสเตเตอร์ไปแล้ว ส่งผลให้เกิดการทำมุมระหว่างแนวแกนของขั้วแม่เหล็กทั้งสอง และเนื่องจากว่ามุมที่เกิดขึ้นนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากการเข้ามาของโหลด เราจึงเรียกมุมระหว่างแนวแกนแม่เหล็กทั้งสองนี้ว่า Load Angle

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่า ยิ่งเพิ่มโหลดให้มากขึ้น ($T_{L2} > T_{L1}$), Load Angle, (L) ก็ยิ่งมากขึ้น เราจึงสรุปได้ว่า Load Angle กับ Load Torque มีความสัมพันธ์กันโดยตรง

ตัวอย่างดังกล่าวข้างต้นเป็นตัวอย่างของซิงโครนิสมอเตอร์ที่โรเตอร์มีลักษณะเป็นแท่งแม่เหล็กที่เห็นชัดและจับต้องได้ การพิจารณา Load Angle จึงทำได้ง่าย อย่างไรก็ตาม กรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ การพิจารณา Load Angle ก็ทำได้เช่นเดียวกัน เพียงแต่ว่าแนวแกนของสนามแม่เหล็กบนโรเตอร์จะไม่สามารถมองเห็นและจับต้องได้ แต่ขนาดมุมของ Load Angle จะมากขึ้นตามขนาดของโหลดทางกลที่เข้ามาเช่นเดียวกัน ผู้อ่านบางท่านอาจจะสงสัยว่า แล้ว Load Angle ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะคงที่หรือไม่ เพราะกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์จะหมุนช้ากว่าสนามแม่เหล็กบนสเตเตอร์ คำตอบคือคงที่ครับ เพราะแม้ว่าตัวโรเตอร์จะหมุนช้ากว่า แต่ถ้าพิจารณาไปที่สนามแม่เหล็กบนโรเตอร์แล้วจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนิสเท่ากับแม่เหล็กบนสเตเตอร์พอดีครับ เป็นไปได้อย่างไร ครับเรามาพิจารณากันตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนบนโรเตอร์

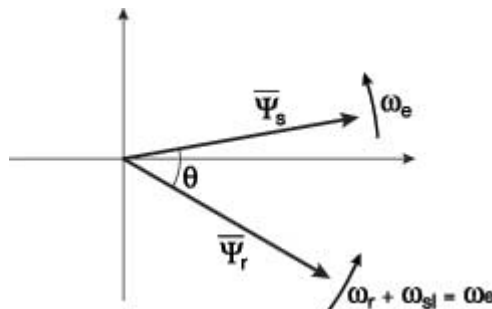
จากรูปที่ 3 สมมติว่าจ่ายไป 50 Hz ทำให้มอเตอร์มีความเร็วซิงโครนิสเท่ากับ 3,000 RPM และในขณะรับโหลดทำให้เกิดสลลิปที่ทำให้ความเร็วของโรเตอร์เท่ากับ 2,970 RPM ผลของการที่โรเตอร์วิ่งช้ากว่าสเตเตอร์ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นบนโรเตอร์ และเมื่อตัวนำครบวงจรก็จะทำให้เกิดกระแสไหล และกระแสที่ไหลนี้ก็จะทำให้เกิดแม่เหล็กขึ้นบนโรเตอร์ แต่เนื่องจากกระแสเหนี่ยวนำนี้ถูกเหนี่ยวนำด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 30 RPM ($w_{sl} = 30$ RPM) ทำให้กระแสเหนี่ยวนำมีความถี่เพียง 0.5 Hz ดังนั้น เมื่อกระแสเหนี่ยวนำสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา สนามแม่เหล็กนี้ก็จะหมุนรอบโรเตอร์ด้วยความเร็วรอบ 30 RPM หรือเท่ากับ w_{sl} พอดี เมื่อนำไปรวมกับความเร็วของโรเตอร์เองคือ 2,970 RPM แล้ว สนามแม่เหล็กบนโรเตอร์ก็就会有ความเร็วรอบเทียบกับจุดหยุดนิ่งเท่ากับ 3,000 RPM เช่นเดียวกับสนามแม่เหล็กบนสเตเตอร์ ด้วยเหตุนี้ Load Angle ระหว่างสนามแม่เหล็กทั้งสองจึงไม่เปลี่ยนแปลงถ้าโหลดทางกลไม่เปลี่ยน

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของ Load Angle ตามที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะของการเป็น Passive กล่าวคือ Load Angle จะมีขนาดเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับว่าโหลดทางกลมีมากหรือน้อยเท่าใด ไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่าเรา (ในฐานะผู้ควบคุม) ต้องการให้ Load Angle มีค่าเป็นเท่าใด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เป็น Passive นี้มักจะเกิดขึ้นในกรณีที่เรากำลังใช้การควบคุมแบบสเกลาร์คอนโทรล เพราะการควบคุมแบบนี้เป้าหมายของการควบคุมไม่ได้อยู่ที่การควบคุมแรงบิด หากแต่เป้าหมายของการควบคุมจะอยู่ที่ความถี่และความเข้มของสนามแม่เหล็กบนสเตเตอร์ ส่วนแรงบิดจะเป็นเท่าใดขึ้นอยู่กับว่าโหลดทางกลต้องการเท่าใด มอเตอร์ก็จะดึงกระแสจากวงจรภาคกำลังไปสร้างแรงบิดให้ได้เท่ากับที่โหลดทางกลต้องการซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจามธรรมชาติไม่มีการควบคุมรูปแบบการปล่อยกระแสให้มอเตอร์แต่อย่างใด (ยกเว้นแต่การจำกัดขนาด

สูงสุดของกระแสไว้ ไม่ให้เกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ ในกรณีของ VSI และการปรับกระแสรวมของมอเตอร์เพื่อให้กระแส Magnetic คงที่ ในกรณีของ CSI) ซึ่งพฤติกรรมการณ์เปลี่ยนแปลงของ Load Angle ในลักษณะนี้จะตรงกันข้ามกับกรณีที่รูปแบบการควบคุมเป็นแบบเวกเตอร์เพราะเป้าหมายแรกของการควบคุมแบบเวกเตอร์คือการเข้าไปควบคุมแรงบิด ดังนั้น Load Angle ที่เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์จะเป็นเท่าใดนั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่า โหลดทางกลต้องการเท่าใด แต่ขึ้นอยู่กับว่าระบบควบคุมต้องการให้ Load Angle มีค่าเท่ากับเท่าใด วิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้คือการเปลี่ยนความถี่เพื่อให้ได้ Load Angle ตามที่ต้องการ

ความถี่เปลี่ยนแล้วทำให้ Load Angle เปลี่ยนได้อย่างไร

รูปที่ 4 แสดง Load Angle ระหว่าง Stator Axis กับ Rotor Axis ถ้าสมมติว่าเดิมทั้ง $\bar{\Psi}_s$ และ $\bar{\Psi}_r$ ต่างหมุนด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส ω_{e0} และสมมติให้โหลดทางกลมีค่าคงที่ ทันทันทีที่เราเพิ่มความถี่ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ $\bar{\Psi}_s$ จะหมุนเร็วขึ้นอย่างทันทีทันใด ในขณะที่ $\bar{\Psi}_r$ ยังหมุนด้วยความเร็วเดิมอยู่ชั่วขณะเนื่องจากผลของความเฉื่อยทางกล ผลก็คือมุม q ระหว่าง $\bar{\Psi}_s$ กับ $\bar{\Psi}_r$ เพิ่มขึ้นซึ่งจะสัมพันธ์กับกระแส I_s ที่จะไหลเข้ามอเตอร์มากขึ้น ทำให้มอเตอร์ออกแรงบิดเพิ่มขึ้นโดยไม่สนใจขนาดของโหลดทางกล ในทางกลับกันถ้าเราลดความถี่ที่ป้อนให้มอเตอร์ $\bar{\Psi}_s$ ก็จะหมุนช้าลงอย่างทันทีทันใด ในขณะที่ $\bar{\Psi}_r$ ยังหมุนด้วยความเร็วเดิมอยู่ชั่วขณะ ผลก็คือมุม q ระหว่าง $\bar{\Psi}_s$ กับ $\bar{\Psi}_r$ ลดน้อยลง ซึ่งหมายถึงมอเตอร์ออกแรงบิดน้อยลงโดยไม่สนใจขนาดของโหลดทางกลเช่นกัน นั่นก็หมายความว่าถ้าเรานำคำสั่ง Torque Command มาเปลี่ยนเป็นความถี่ที่ทำให้ชุดอินเวอร์เตอร์ทำงานได้ เราก็สามารถกำหนด Load Angle (ซึ่งหมายถึงแรงบิด) ผ่านการเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ และหมายความว่า เราสามารถควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ได้โดยตรงตามเป้าหมายของการควบคุมแบบเวกเตอร์คอนโทรล



รูปที่ 4 แสดงเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กบนสเตเตอร์และโรเตอร์

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าผลต่างระหว่าง Load Angle Command (q^*) กับ Load Angle Actual (q) จะเป็นตัวกำหนดว่าอินเวอร์เตอร์ควรเพิ่มหรือลดความถี่ลงจากเดิม ผ่านการควบคุมของ G_3 ซึ่งเป็น PI Controller ซึ่งทำหน้าที่กำเนิดความถี่ที่จะเป็นตัวกำหนดการทำงานของชุดอินเวอร์เตอร์ ถ้า $q^* > q$ ค่า Error ที่เป็น Input ของ G_3 จะมากกว่า 0 ส่งผลให้ระดับแรงดัน Output ของ G_3 มีค่าสูงขึ้น ซึ่งหมายถึงว่า Output ของ VCO ก็จะมีค่าที่สูงขึ้น อินเวอร์เตอร์ก็จะเพิ่มความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์ Load Angle ของจริงก็จะมากขึ้น q ก็จะมากขึ้น จนกระทั่ง $q = q^*$ จึงหยุดการเปลี่ยนแปลง ในทำนองกลับกัน ถ้า $q^* < q$ จะทำให้ Error ที่เป็น Input ของ G_3 มีค่าเป็นลบ ทำให้แรงดัน Output ของ G_3 มีค่าลดลง ซึ่งหมายถึง Output ของ VCO ก็จะมีค่าที่ลดลงตาม ส่งผลให้อินเวอร์เตอร์ลดความถี่ของกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ ทำให้ Load Angle ของจริงลดลง q ก็จะลดลง จนกระทั่ง $q = q^*$ ก็จะหยุดการเปลี่ยนแปลง จะเห็นว่าเป้าหมายของตัว Controller G_3 นั้นไม่ได้อยู่ที่ว่าอินเวอร์เตอร์จะต้องเปลี่ยนแปลงความถี่ไปเท่าใด เพื่อให้ Load Angle Actual (q) มีค่าเท่ากับ Load Angle ที่ต้องการ (q^*) ส่วนความเร็วรอบจะเป็นเท่าใดนั้นจะถูกควบคุมด้วย Speed Controller อีกทีหนึ่ง

สุดท้ายจะขอยกตัวอย่างการควบคุมอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสด้วยเวกเตอร์คอนโทรลที่ใช้ในงานจริง มาให้ดูสักหนึ่งตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ยกมานี้เป็นระบบควบคุมของไดรฟ์ยี่ห้อซีเมนส์ขนาด 200 kW ซึ่งผู้เขียนได้มาจากผู้ใช้รายหนึ่ง โดยรูปที่ 5 จะเป็นส่วนของการสร้างสัญญาณควบคุม $|I_s^*|$ และ q^* ในรูปแบบ และวิธีการตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยส่วนบนคือส่วนของกระบวนการสร้าง I_d^* ในขณะที่ส่วนล่างคือส่วนของกระบวนการสร้าง I_q^* หลังจากนั้นก็จะนำเอา I_d^* และ I_q^* ไปเปลี่ยนเป็น $|I_s^*|$ และ Load Angle Command q^*



ไป) Output ของ PI Controller ซึ่งก็คือ I_d^* จะเพิ่มขึ้น ผลของการเพิ่มขึ้นนี้จะไปทำให้ Y_{act} เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ Y^*

3. บล็อก V2, บล็อก V2 นี้ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวกรองสัญญาณให้เรียบ ไม่มีบทบาทในการควบคุม

ส่วนของการสร้าง I_q^*

1. บล็อก R2 คือ Speed Controller ทำหน้าที่แก้ Error ที่เกิดจากการเปรียบเทียบ Speed Actual ที่ได้จากการวัดกับ Speed Reference ที่มาจากบล็อก H2 ซึ่งเป็น Speed ที่ต้องการ Output ของ Speed

Controller คือ Torque Command ซึ่งจะถูกแปลงเป็น I_q Command อีกทีหนึ่งผ่านสมการ $I_q^* = \frac{T}{k\psi}$ ดังนั้น ถ้า $n_{act} < n_{ref}$, Output ของ Speed Controller ซึ่งก็คือ Torque Command จะสูงขึ้น และทำให้ I_q^* สูงขึ้นด้วย แต่ถ้า $n_{act} > n_{ref}$, Output ของ Speed Controller ก็จะลดลงและทำให้ I_q^* ลดลงด้วย

2. บล็อก V1 และ V2 ทำหน้าที่เป็นตัวกรองสัญญาณ ไม่มีบทบาทในการควบคุมเมื่อได้ I_d^* และ I_q^* แล้ว สัญญาณทั้งสองจะถูกส่งไปเปลี่ยนเป็น $|I_s^*|$ และ q^* ที่บล็อก W1 และค่าที่ได้คือ $|I_s^*|$ และ q^* จะถูกส่งต่อไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไปในวงจรตามรูปที่ 6

ส่วนของการสร้างความเร็วอ้างอิง

1. บล็อก H2, สัญญาณ Output ที่ออกจากบล็อก H2 นั้น นอกจากจะทำหน้าที่เป็น Speed Reference ให้กับ Speed Controller แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นตัวส่งความเร็วอ้างอิง F Reference ให้กับวงจรควบคุม การทำงานของชุดอินเวอร์เตอร์อีกด้วย ในกรณีที่โหมดการควบคุมเปลี่ยนเป็นแบบ Frequency Control ไม่ใช่ Speed Control

2. สัญญาณ F Slip-Reference, ค่า F Slip นี้จะถูกนำไปบวกกับ F Actual ที่วงจรในรูปที่ 6 ผลบวกของความถี่ทั้งสองจะเป็นความเร็วอ้างอิงเบื้องต้นที่จะเป็นตัวกำหนดว่าอินเวอร์เตอร์จะต้องทำงานที่ความถี่เท่าใด สำหรับการคำนวณค่า F Slip นั้น จะใช้หลักการของดีซีมอเตอร์มาใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} V_a &= I_a R_a + e_b \\ &= I_a R_a + kYn \end{aligned}$$

$$\frac{V_a}{k\psi} = \frac{I_a R_a}{k\psi} + n$$

สำหรับดีซีมอเตอร์นั้น เป็นที่ทราบกันดีว่าเราสามารถกำหนดความเร็วรอบโดยการกำหนดค่า V_a ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า

ถ้า n ก็คือ Speed Actual

$$\frac{V_a}{k\psi}$$

ก็คือ Speed Command

$$\frac{V_a}{k\psi} - n = \frac{I_a R_a}{k\psi}$$

และผลต่าง $\frac{V_a}{k\psi} - n = \frac{I_a R_a}{k\psi}$ ก็คือ Slip

และเนื่องจาก I_q ของมอเตอร์เอซี เทียบได้กับ I_a ของมอเตอร์ดีซี

ดังนั้น R_s ของมอเตอร์เอซีก็น่าจะเทียบได้กับ R_a ของมอเตอร์ดีซี

จากวงจรในรูปที่ 5 เราจึงหา Slip ได้จาก



พิจารณาวงจรตามรูปที่ 6

1. บล็อก R3 ทำหน้าที่เป็น Load Angle Controller และ Limiter Input ของ q Controller คือค่า Error ที่เกิดจากการเปรียบเทียบ q_{act} กับ q^* และ Output ของ R3 คือ DF กล่าวคือถ้า $q_{act} < q^*$ แสดงว่าวงจรควบคุมต้องการให้เพิ่ม Load Angle PI Controller ของ R3 จะทำหน้าที่อินทิเกรตค่า Error ที่เป็นบวก ทำให้ Output ของ Controller มีค่ามากขึ้น ซึ่งก็คือ DF มีค่ามากขึ้น และ DF นี้จะถูกนำไปบวกกับ Fact และ Fslip ทำให้ F Command ที่ไปกำหนดความเร็วของอินเวอร์เตอร์มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ Load Angle Actual มีค่ามากขึ้นตามต้องการ ในทางตรงกันข้าม ถ้า $q^* < q_{act}$, DF ซึ่งเป็น Output ของ R3 ก็จะลดลง ทำให้ F Command มีค่าลดลง

2. บล็อก S2 จะทำหน้าที่เป็น Pre-Control มีบทบาทเฉพาะในช่วงที่ q^* เกิดการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น ประโยชน์ของเอาต์พุตที่ได้จากบล็อกนี้คือ ทำให้ F Command มีการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นเมื่อ q^* เปลี่ยนแปลง

ส่วนของการวัดค่า

1. บล็อก M1 จะวัดแรงดันและกระแสของมอเตอร์แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Load Angle, q_{act} , Stator Frequency, F_s , Flux Actual, I-Torque, $I_{q_{act}}$, I-exc, $I_{d_{act}}$ และ I-abs, $|I_s|_{act}$

2. การหาค่า F Actual

$$F_{act} = F_s - F_{slip}$$

F_s ได้จากการวัด

$$\frac{I R_s}{\omega}$$

$$F_{slip} \text{ ได้จากการคำนวณโดย } F_{slip} = k\psi$$

ค่า F Command ที่ได้จะถูกส่งผ่าน df/dt Limiter เพื่อจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ไปยังบล็อก S2 ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานที่ความเร็วตามต้องการ

ตัวอย่างที่ยกมาให้ดูข้างต้นนี้เป็นตัวอย่างที่ใช้ในงานจริง ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์กับผู้อ่านที่มีอินเวอร์เตอร์ประเภทนี้ใช้อยู่ แต่สำหรับผู้อ่านที่ไม่มีอินเวอร์เตอร์ประเภทนี้ใช้ ถึงแม้จะไม่ได้ประโยชน์จากการนำความรู้ไปใช้ในงานซ่อมบำรุงจริง แต่การศึกษางานของอินเวอร์เตอร์ประเภทนี้ ก็จะทำให้เข้าใจหลักการของเวกเตอร์คอนโทรล และพฤติกรรมของมอเตอร์ขณะถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบเวกเตอร์คอนโทรลมากขึ้น