

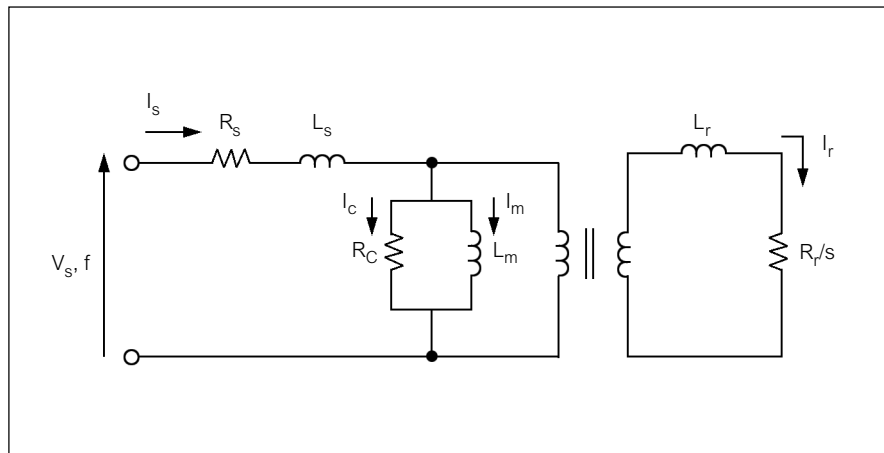
ข้อแตกต่างระหว่าง v/f กับ Vector Control

มาดูกันชัดๆ ที่ว่า v/f ควบคุมแรงบิดไม่ได้นั้น เป็นอย่างไร และที่กล่าวว่า vector control สามารถควบคุมแรงบิดได้โดยตรงนั้น ทำอย่างไร

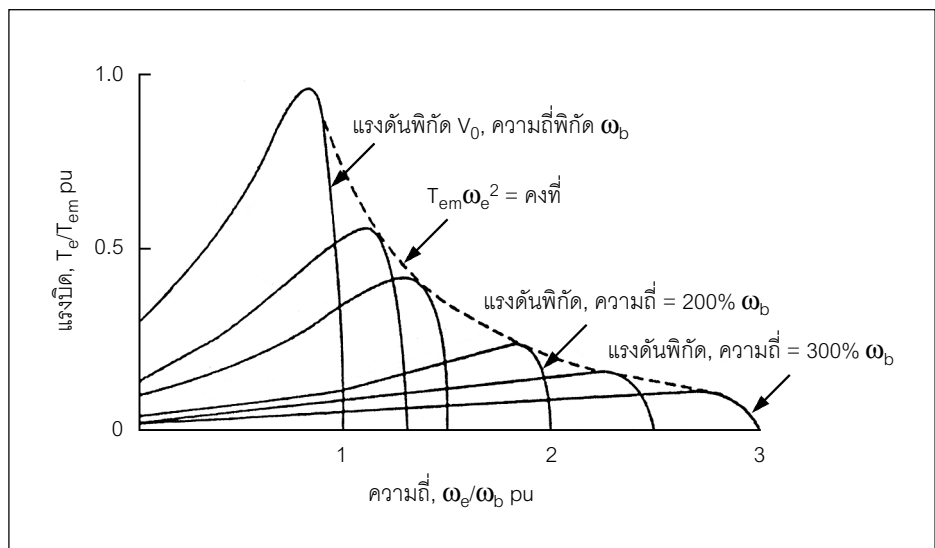
นับตั้งแต่ที่ผู้เขียนได้ลงบทความเรื่อง “มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับกับการควบคุมแบบเวกเตอร์” ในวารสาร E&C ฉบับที่ 5 ก็มีผู้สนใจอีเมลมาสอบถามเพิ่มเติมเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่จะขอให้ชี้แจงเพิ่มเติมว่า ที่ว่า v/f ควบคุมแรงบิดไม่ได้นั้น เป็นอย่างไร และที่กล่าวว่า vector control สามารถควบคุมแรงบิดได้โดยตรงนั้น ทำอย่างไร ยกตัวอย่างให้เห็นชัดๆ ได้หรือไม่ ซึ่งผู้เขียนคิดว่าคงมีผู้อ่านอีกหลายท่านที่อ่านบทความของผู้เขียนในฉบับดังกล่าว แล้วอยากทราบเพิ่มเติม เหมือนกับผู้อ่านที่อีเมลเข้ามาสอบถาม ผู้เขียนจึงขอใช้บทความนี้ในการอธิบายเพิ่มเติมเพื่อให้ผู้อ่านได้มองเห็นภาพชัดเจนขึ้น

ทำไมจึงควบคุมแรงบิดไม่ได้ เมื่อควบคุมแบบ v/f

แนวความคิดเริ่มต้นก่อนที่จะมาเป็น v/f คือ ความต้องการที่จะปรับความเร็วรอบมอเตอร์ด้วยการเปลี่ยนแปลงความถี่ เพื่อให้รอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงตามสมการ



รูปที่ 1 วงจรสมมูล



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์แรงบิด-ความเร็วรอบ เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่

v/f กับ Vector Control

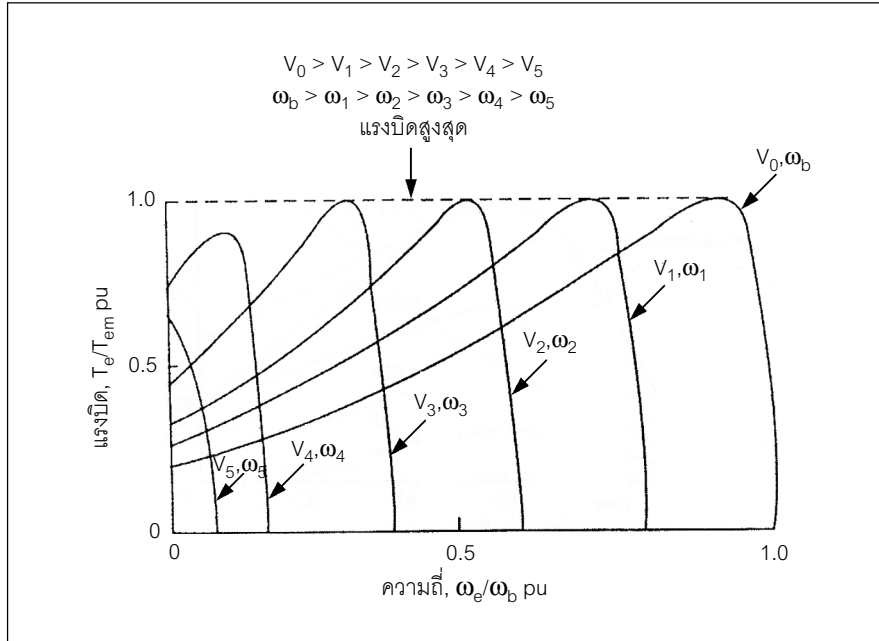
$n = 120f/p$ แต่เนื่องจากเมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงแล้วจะไปทำให้ X_L เปลี่ยน ลำพัง X_L ของ L_S กับ L_r เปลี่ยนนั้นก็ไม่น่าจะมีปัญหาอะไร แต่ปัญหาอยู่ที่ X_L ของ L_m เพราะถ้า X_L ตัวนี้เปลี่ยนในขณะที่แรงดัน V_S เท่าเดิม จะหมายถึง I_m เปลี่ยนแปลงด้วย เนื่อง

จากสนามแม่เหล็กที่สร้างจากสเตเตอร์เพื่อส่งพลังงานไปโรเตอร์ ขึ้นอยู่กับขนาดของ I_m ถ้า I_m เปลี่ยน ขนาดของสนามแม่เหล็กนี้ก็เปลี่ยนด้วย

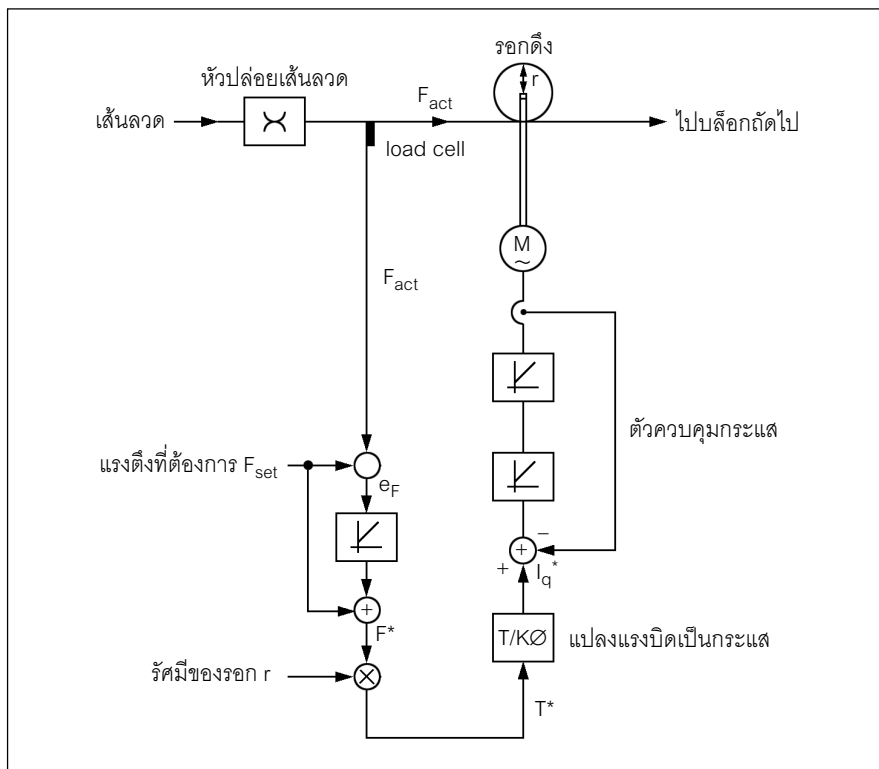
โดยส่วนตัวแล้วผู้เขียนชอบเปรียบเทียบสนามแม่เหล็กตัวนี้เหมือนกับสะพาน

พลังงาน มีหน้าที่เป็นทางข้ามให้กับพลังงานเดินข้ามจากฝั่งสเตเตอร์ไปยังโรเตอร์ ถ้าเปรียบพลังงานเหมือนกับคน เราก็อาจจะกล่าวได้ว่า เมื่อเราจ่าย I_m ค่าหนึ่ง ก็จะเกิดสะพานขึ้นขนาดหนึ่ง ซึ่งมีความกว้างที่ยอมให้คนจำนวนหนึ่งเดินข้ามไปพร้อมๆ กันได้ คนจำนวนทั้งหมดนี้ไปช่วยกันออกแรงเพื่อขับโหลดที่ต่อกับโรเตอร์เกิดเป็นแรงบิดขึ้น ดังนั้นถ้าเราให้ I_{mr} คือ พิกัดกระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กอันเกิดจากการจ่ายแรงดันพิกัด และความถี่พิกัดให้กับมอเตอร์ I_{mr} นี้ก็จะทำให้เกิดสะพานสนามแม่เหล็กที่มีขนาดกว้างขนาดหนึ่งที่จะสามารถส่งคนจำนวนหนึ่งไปช่วยออกแรงกระทำต่อโหลด จนทำให้เกิดแรงบิดพิกัดได้พอดี (ให้จินตนาการว่าการส่งคนข้ามสะพานไปนั้นจะต้องเดินเรียงหน้ากระดานข้ามไปและไปได้ชุดเดียว) และเราก็จะเรียกขนาดของสะพานที่เกิดจาก I_m ตามพิกัดนี้ว่าค่าพิกัดของสะพาน

จากที่กล่าวมาแล้วว่า การปรับความถี่ ทำให้ I_m เปลี่ยน ซึ่งแน่นอนว่าส่งผลโดยตรงต่อสะพานสนามแม่เหล็กตามที่กล่าวข้างต้นแล้วด้วย การปรับให้ความถี่มีค่ามากขึ้นจะทำให้ X_L มีค่ามากขึ้น และ I_m มีค่าลดลง ผลก็คือ สะพานสนามแม่เหล็กมีขนาดแคบลง ถ้าสมมุติว่าเดิมสามารถส่งคนเดินเรียงหน้ากระดานไปได้ 10 คน และคน 10 คนนี้ ไปทำให้เกิดแรงบิดสูงสุดบนโรเตอร์ได้ 100 Nm เมื่อสะพานมีขนาดแคบลงก็จะสามารถส่งคนเดินผ่านสะพานไปได้ น้อยลง ยิ่งความถี่เพิ่มมากขึ้น I_m ก็จะลดลงในสัดส่วนเดียวกัน และสะพานก็จะมีขนาดลดลงตามขนาดของ I_m ซึ่งหมายความว่า ความสามารถในการส่งคนข้ามสะพานไปทำงานก็จะน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อคนน้อยลง แรงบิดสูงสุดที่จะทำได้ก็น้อยลงด้วยเหตุดังกล่าว ถ้าเราวาดกราฟแสดงแรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้ เมื่อทำงานที่ความถี่ต่างๆ กัน ก็จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2 ในทางกลับกันถ้าเราให้ความถี่ลดลง



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์แรงบิด-ความเร็วรอบที่อัตราส่วน v/f คงที่



รูปที่ 4 การควบคุมแรงดึงในระบบการผลิตลวด

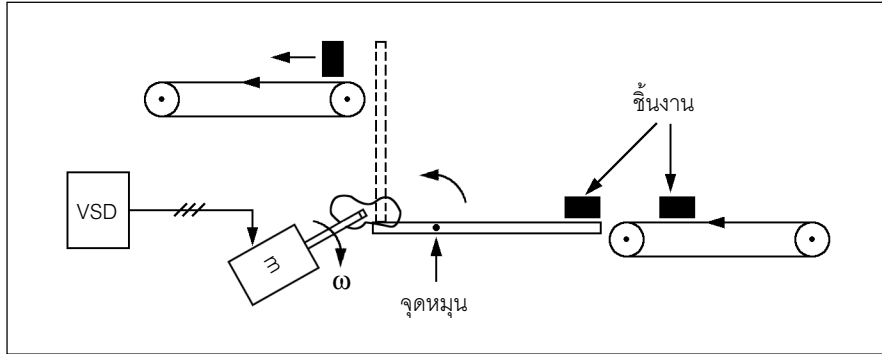
เรื่อยๆ ในขณะที่ V_s เท่าเดิม ถ้ามองอย่างผิวเผินก็น่าจะดี เพราะทำให้กระแส I_m มากขึ้น สะพานก็น่าจะกว้างขึ้น แต่ผลกลับไม่เป็นเช่นนั้น เหตุเพราะว่าเมื่อกระแสมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแกนเหล็กจะอิ่มตัว หากเปรียบแกนเหล็กกับตุ่มน้ำ และเปรียบเส้นแรงแม่เหล็กเหมือนน้ำ ก็อาจกล่าวได้ว่าตุ่มน้ำจุน้ำได้จำกัดขั้นใด แกนเหล็กก็จุเส้นแรงแม่เหล็กได้จำกัดขั้นนั้น เมื่อน้ำเต็มตุ่มแล้วถ้าเรายังฝืนใส่น้ำลงไป น้ำก็ล้นตุ่ม เช่นเดียวกัน เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กเต็มแกนเหล็กแล้วเรายังฝืนเพิ่มกระแสขึ้นไป เส้นแรงก็ล้นแกนเหล็ก แต่เนื่องจากในความเป็นจริงเส้นแรงล้นแกนเหล็กนั้นไม่มีผล ก็จะออกมาเป็นความร้อนที่แกนเหล็กสูงขึ้นแทน

สรุปได้ว่าไม่ว่า จะเพิ่มความเร็วหรือลดความเร็ว ต่างก็ไม่เป็นผลดีต่อมอเตอร์ทั้งคู่ วิธีที่ดีที่สุดก็คือ ให้ I_m มีค่าคงที่ไม่ว่าความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม ซึ่งจะทำให้ขนาดของสะพานสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ ความสามารถในการส่งคนไปทำงานก็ได้สูงสุด 10 คนคงที่ นั่นหมายถึง มอเตอร์จะให้แรงบิดได้สูงสุดคงที่ เมื่อมาพิจารณาว่าทำอย่างไร กระแส I_m จึงจะคงที่ หากพิจารณาจากสมการของ I_m ซึ่งเท่ากับ $v/2\pi fL$ จะเห็นว่าถ้าเราคงสัดส่วนระหว่าง v กับ f ให้คงที่ กระแส I_m ก็จะคงที่ เราก็จะสามารถคงขนาดของสะพานแม่เหล็กนี้ไว้ได้ กราฟแสดงรูปร่างของแรงบิดของมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ กัน ก็จะเป็นดังรูปที่ 3

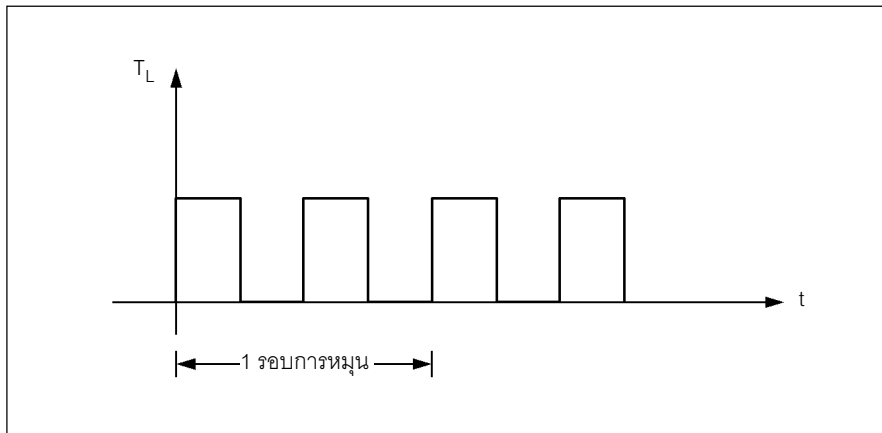
อย่างไรก็ตาม การที่สะพานมีความกว้างคงที่ขนาด 10 คน ข้าม ก็ไม่ได้หมายความว่าเราจะต้องส่งคนไปทั้งหมด 10 คนเสมอไป เพราะการที่คนจะข้ามไปมาน้อยเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับว่าโหลดต้องการเท่าใด หากกลับไปพิจารณาวงจรสมมูลของมอเตอร์ตามรูปที่ 1 ก็จะเห็นว่าพฤติกรรม การรับโหลดทางกลของมอเตอร์นั้นจะสะท้อนเข้ามาในวงจรไฟฟ้าใน ผ่านสลิป s ถ้าโหลดทางกลมีแรงบิดต้านมาก ถ้าสลิป s ก็จะมากทำให้ R_r/s มีค่าน้อย กระแส I_r ก็จะ

มาก ตรงกันข้าม ถ้าโหลดทางกลมีค่าน้อย ก็จะทำให้ R_r/s มีค่ามาก กระแส I_r ก็จะน้อย เนื่องจากกระแส I_r นี้ก็เปรียบได้กับคนที่ข้ามสะพานมาทำงานมาทำให้เกิดแรงบิด ซึ่งจะมามากหรือน้อย เราไม่สามารถกำหนดได้ เพราะกระแส I_r จะมามากหรือน้อย

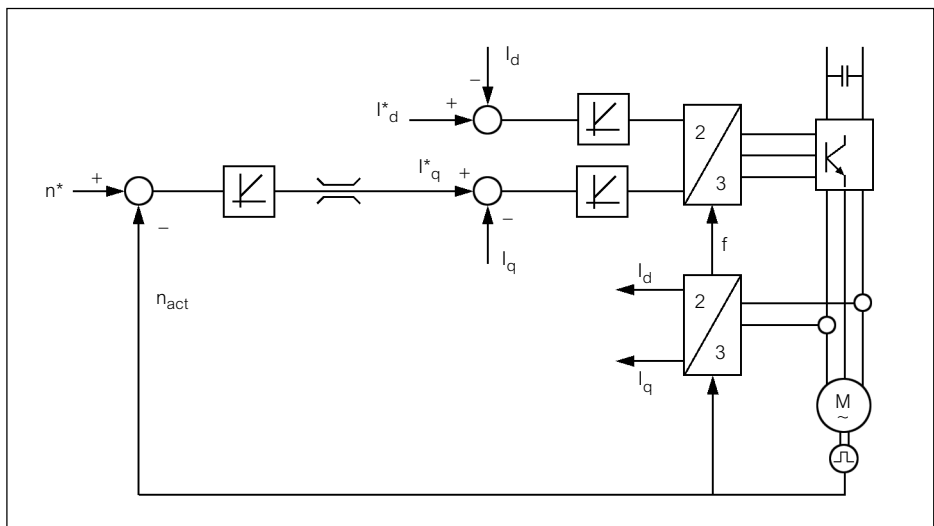
จะขึ้นอยู่กับโหลดทางกล ซึ่งผ่านเข้ามาในรูปของค่าสลิปเท่านั้น เปรียบได้เหมือนกับว่าถ้างานต้องการคนทำงานแค่ 3 คน เราก็ส่งไป 3 คน แม้สะพานจะกว้างพอสำหรับคน 10 คน ก็ตาม ด้วยเหตุนี้ เราจึงกล่าวได้ว่า ถ้าเป็น



รูปที่ 5 โหลดประเภทแขนเหวี่ยง



รูปที่ 6 แรงบิดที่โหลดออกจากการหมุนของมอเตอร์ที่มีโหลดประเภทแขนเหวี่ยง



รูปที่ 7 การควบคุมแบบเวกเตอร์

การควบคุมแบบ v/f แล้ว เราจะไม่สามารถควบคุมแรงบิดได้ ซึ่งจะต่างกับกรณีของการควบคุมแบบเวกเตอร์ที่เราสามารถควบคุมแรงบิดได้โดยผ่าน I_d ในขณะที่ความกว้างของสะพานถูกตรึงให้คงที่โดยผ่าน I_d ซึ่งหมายความว่าเราสามารถกำหนดได้เลย

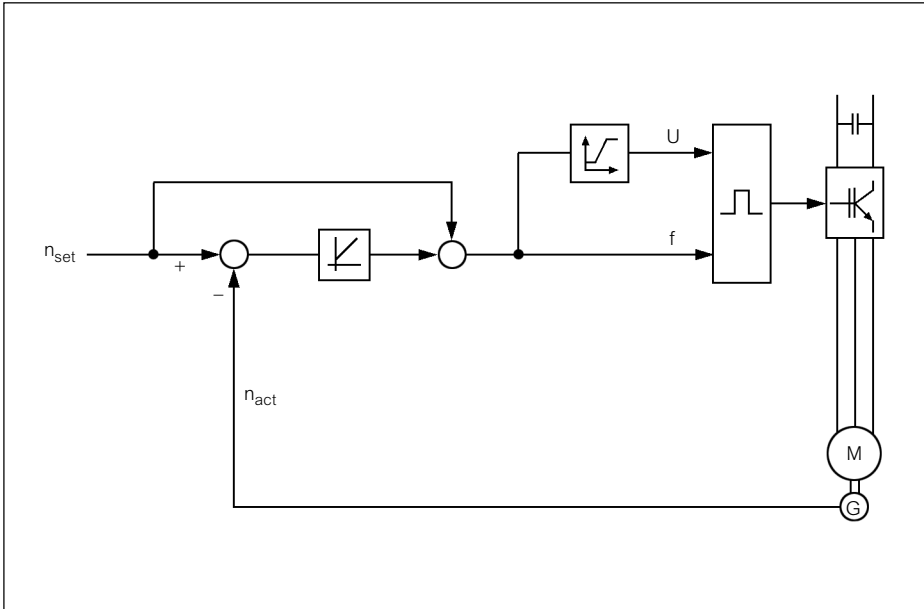
ว่าจะให้คนไปทำงานกี่คนโดยไม่สนใจไหลดทางกลที่มีอยู่

มาถึงตรงนี้นหลายคนคงตั้งคำถามเหมือนกับที่ผู้เขียนเคยเจอมาบ่อยๆ ว่าแล้วอย่างนี้ จะมีประโยชน์อะไรในการควบคุมแรงบิด เพราะถ้าส่งไปเกินกว่าที่ไหลดต้อง

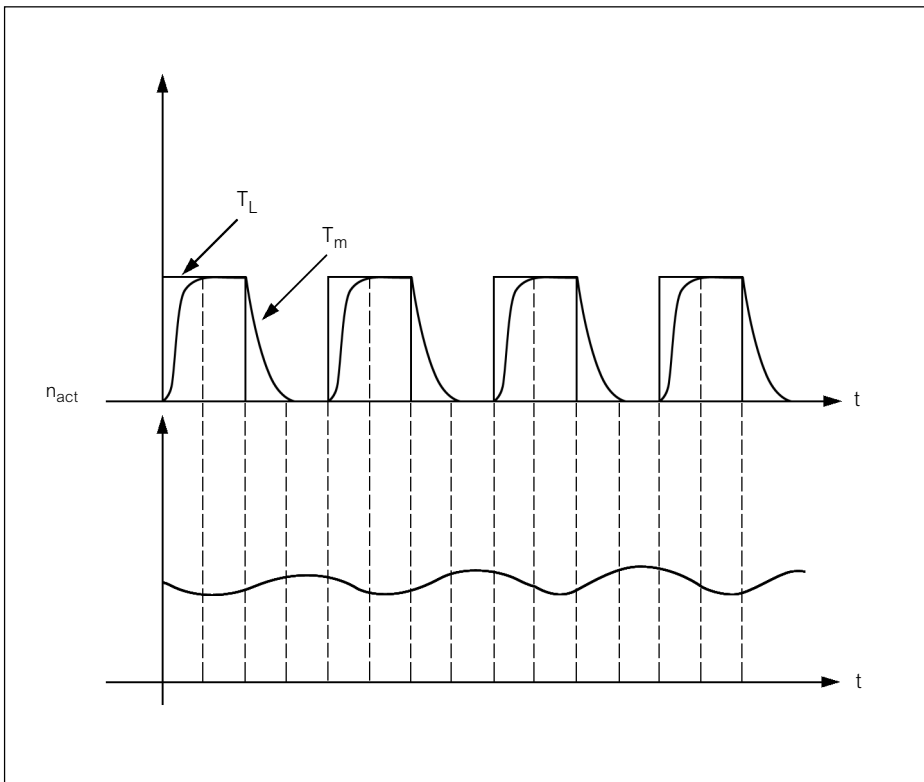
การสวนที่เกินไปก็ไม่น่าจะมีประโยชน์เปรียบเสมือนกับว่าถ้างานต้องการคนทำงานเพียง 3 คน แต่เราส่งไป 5 คน อีก 2 คน ก็ว่างงาน ใช่ครับถ้าเป็นคนจริงๆ ก็คงเป็นอย่างนั้น แต่เนื่องจากเป็นคนจำลองจึงมีความขยันกว่าคนจริงๆ เพราะถ้างานต้องการ 3 คน แต่เราส่งไป 5 คน อีก 2 คน ก็จะไปช่วยทำงานให้เสร็จไวขึ้น ตัวอย่างง่ายๆ ที่พอจะยกให้เห็นชัดๆ ก็คือ การกำหนดอัตราเร่ง หรือที่ผู้ที่คุ้นเคยกับไดร์ฟจะรู้จักกันในนาม acceleration time

โดยทั่วไปการกำหนดอัตราเร่งนี้จะกำหนดเป็นระยะเวลา เช่น 10 วินาที, 5 วินาที แล้วแต่ว่าผู้ใช้งานต้องการให้เร่งเร็วหรือเร่งช้า แต่คำว่าเร่งที่ในความหมายของ v/f กับเวกเตอร์จะมีความหมายต่างกัน ถ้าในมุมมองของเวกเตอร์นั้น คำว่าเร่งจะหมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเร็วจาก 0 เป็น 100% ภายในระยะเวลาที่กำหนดตาม acceleration time ดังนั้นถ้ากำหนด acc. time เท่ากับ 10 s ก็จะมีหมายความว่ากำหนดให้มอเตอร์เปลี่ยนความเร็วจาก 0 เป็น 100% (เช่น 0 ถึง 1500 rpm) ภายในเวลา 10 วินาที แต่ถ้าเป็นมุมมองของ v/f คำว่าเร่งจะหมายถึง การเปลี่ยนแปลงความถี่จาก 0 เป็น 100% ภายในเวลาที่กำหนดตาม acc. time ดังนั้นถ้ากำหนด acc. time เท่ากับ 10 s ก็จะมีหมายความว่ากำหนดให้เปลี่ยนความถี่ของมอเตอร์จาก 0 เป็น 100% (เช่น 0 ถึง 50 Hz) ภายในเวลา 10 วินาที

มาถึงตรงนี้นหลายคนคงสงสัยว่าก็น่าจะเหมือนกัน เพราะ 100% ของความเร็วก็น่าจะหมายถึง 100% ของความถี่ เช่น ถ้าความถี่ 50 Hz ทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 1500 rpm ดังนั้น 100% ของความถี่ก็น่าจะเป็นตัวเดียวกันกับ 100% ของความเร็วรอบ คำตอบ คือ ใช่ครับถ้าความเร็วที่ว่าเป็นความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนบนสเตเตอร์ เพราะสำหรับมอเตอร์ 4 โพลแล้ว ถ้าความถี่ขึ้นถึง 50 Hz เมื่อใด ความเร็วของ



รูปที่ 8 การควบคุมของ v/f



รูปที่ 9 ความเร็วที่ตอบสนองตามแรงบิด

v/f กับ Vector Control

สนามแม่เหล็กหมุนก็เป็น 1500 rpm เมื่อนั้น แต่ถ้าความเร็วที่กล่าวถึง คือ ความเร็วของโรเตอร์แล้วละก็ คำตอบก็คือ ไม่ใช่ครับ ยกตัวอย่าง เช่น สตาร์ทมอเตอร์แบบ direct on line บ้อนไป 50 Hz เข้าไปแบบทันทีทันใด ความเร็วของโรเตอร์ก็ไม่ได้วิ่งด้วยความเร็ว 1500 rpm อย่างทันทีทันใด แต่จะค่อยๆ ขึ้น ถ้าโหลดมากก็ขึ้นช้า ถ้าโหลดน้อยก็ขึ้นเร็ว ที่เป็นเช่นนี้เพราะความเร็วของโรเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรนั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความถี่ แต่จะขึ้นอยู่กับปัจจัยสามอย่าง คือ แรงบิดของมอเตอร์, แรงบิดด้านของโหลด และโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบ (รวมของของโรเตอร์กับโหลด) ซึ่งสัมพันธ์กันตามสมการ

$$T_m - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

เมื่อ T_m = แรงบิดของมอเตอร์

T_L = แรงบิดด้านของโหลด

J = โมเมนต์ความเฉื่อย

ω = ความเร็วเชิงมุม

$d\omega/dt$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หรือ อัตราเร่ง

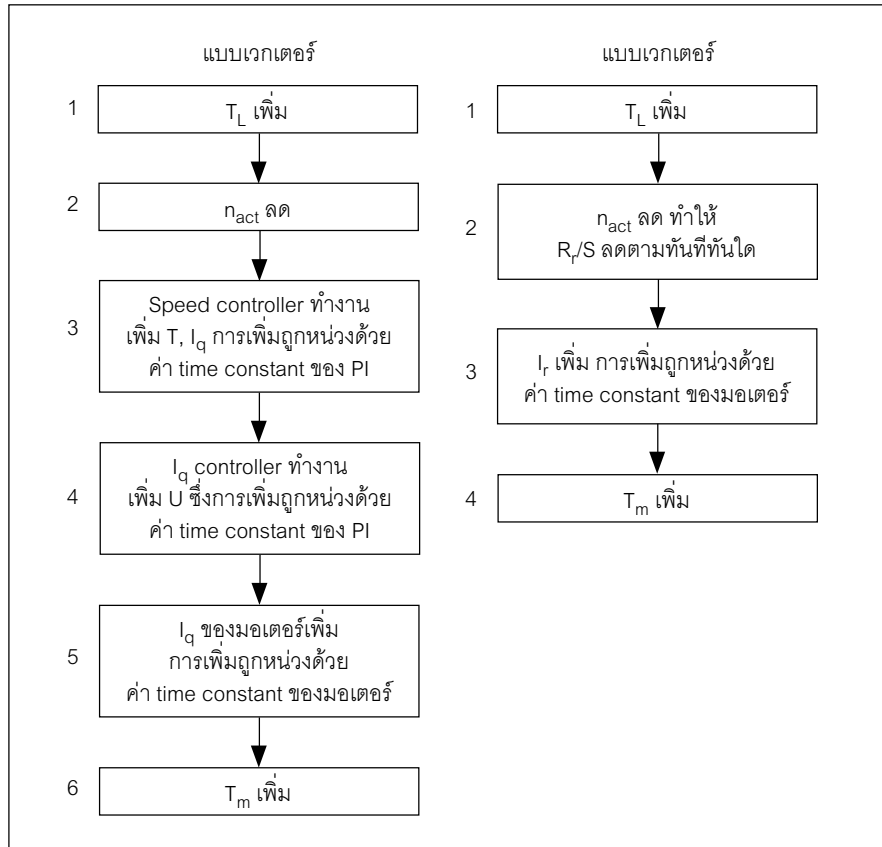
จากสมการจะเห็นว่า แท้ที่จริงแล้ว $d\omega/dt$ ก็คือ อัตราเร่งที่เราต้องการนั่นเอง โดย dt ก็คือ acc. time ส่วน $d\omega$ ก็คือ ช่วงของการเปลี่ยนแปลงความเร็ว เช่น จาก 0 เป็น 100%

ถ้าสมมุติเราทราบขนาดของ J และ T_L และเราต้องการควบคุมให้ความเร็วเปลี่ยนจาก 0 เป็น 100% ภายในเวลา 10 วินาที ถ้าพิจารณาจากสมการ เราก็จะสามารถทำได้โดยกำหนดค่าของ T_m ลงไปให้สอดคล้องกับสมการ มอเตอร์ก็จะสามารถวิ่งจาก 0 ไป 100% ภายในเวลา 10 วินาทีได้ตามกำหนด ซึ่งการทำแบบนี้จะสามารถทำได้ถ้าเราใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์ เพราะทำให้เราสามารถกำหนดขนาดของ T_m ได้ตามที่สมการต้องการ แต่ไม่สามารถทำได้ถ้าเป็น v/f เนื่องจากว่าเราไม่สามารถควบคุมขนาดของแรงบิดให้เป็น

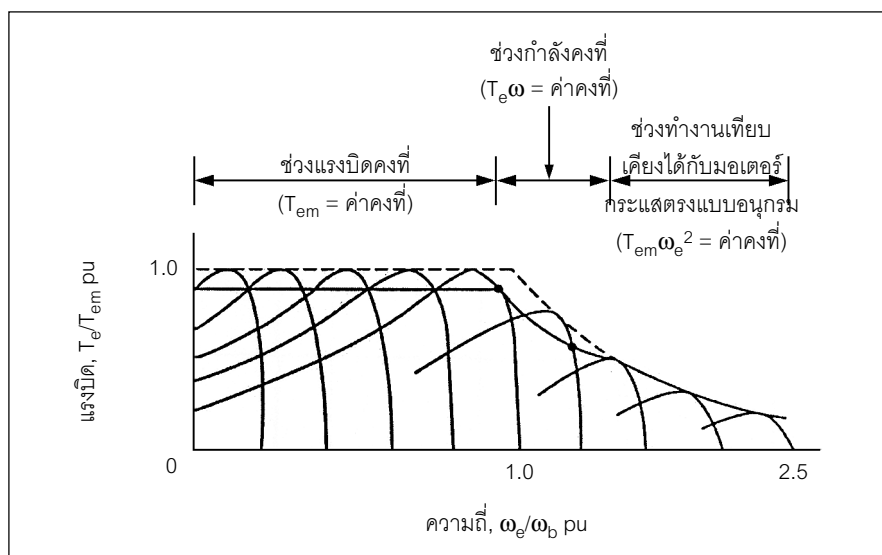
ไปตามต้องการได้ ถ้ากำหนดการควบคุมเป็น v/f ดังนั้นในกรณีของ v/f ถ้าเรากำหนด acc. time เท่ากับ 10 s วงจรควบคุมก็จะมีหน้าที่เพียงแค่เพิ่มความถี่ จาก 0 เป็น 50 Hz ภายในเวลา 10 วินาที แต่ความเร็วของโรเตอร์จะขึ้นทันทีหรือไม่มันจะไม่สนใจ ถ้า

T_L หรือ J มาก ความเร็วโรเตอร์ก็ไต่ระดับได้ช้า แต่ถ้า T_L หรือ J น้อย ความเร็วโรเตอร์ก็ไต่ระดับได้เร็ว

ยังมีตัวอย่างอีกตัวอย่างหนึ่งซึ่งน่าจะให้เห็นข้อแตกต่างระหว่าง v/f และเวกเตอร์ได้ดี คือ กรณีของงานประเภทควบคุม



รูปที่ 10 เปรียบเทียบกระบวนการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดระหว่างเวกเตอร์กับ v/f



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์แรงบิด-ความเร็วรอบของ VVVF

v/f กับ Vector Control

แรงดึง เช่น ควบคุมแรงดึงของกระดาษ, เส้นลวด หรืออื่นๆ ในที่นี้ผู้เขียนจะขอยกตัวอย่างการควบคุมแรงดึงในกระบวนการผลิตลวด ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างทางกลดังแสดงในรูปที่ 4

จากรูป จะเห็นว่าการที่จะควบคุม

แรงดึงของเส้นลวดได้จำเป็นจะต้องใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์ เพื่อให้สามารถควบคุมแรงบิดได้โดยตรง (torque control) โดยแรงดึงที่ต้องการ F_{set} จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ F_{act} เพื่อแก้ error แล้วนำกลับมามากกับ F_{set} ใหม่อีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้

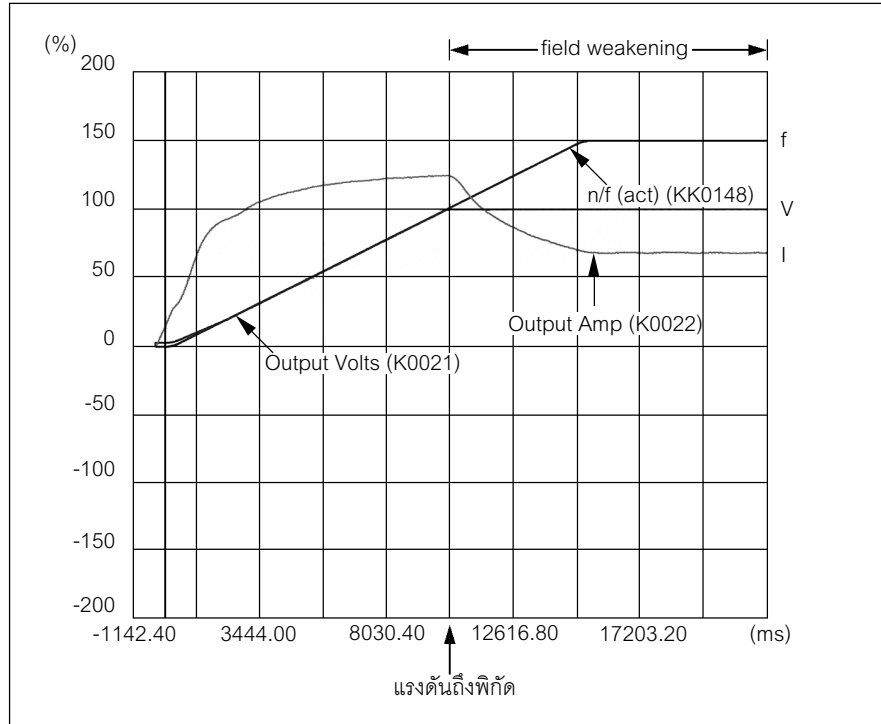
F command (F^*) สำหรับไดรฟ์ แต่เนื่องจากคำสั่งที่จะไปสั่งไดรฟ์ต้องอยู่ในรูปของแรงบิด จึงต้องนำ F^* มาคูณกับรัศมีของรอกดึง ก็จะได้คำสั่งที่จะไปทำให้รอกออกแรงบิดตามที่ต้องการ จะเห็นว่าการควบคุมในลักษณะนี้ v/f จะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากเราไม่สามารถควบคุมแรงบิดได้ เมื่อทำงานแบบ v/f

เมื่อเป็นอย่างนี้แล้ว v/f จะมีประโยชน์อะไร

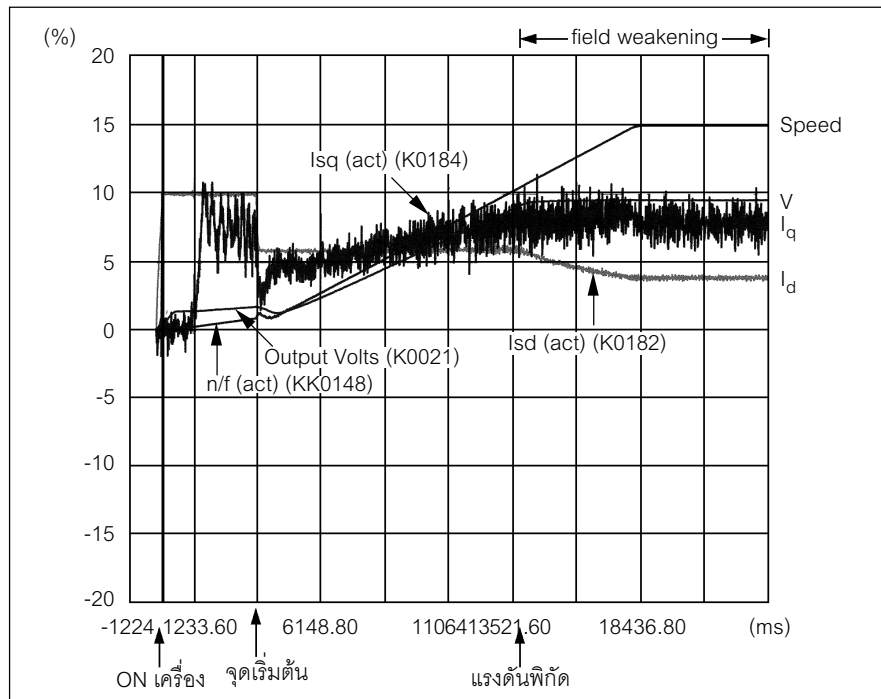
หากดูเผินๆ ก็ดูเหมือนกับว่า เวกเตอร์แทบจะดีไปกว่า v/f เสียทุกอย่าง โดยเฉพาะเรื่องแรงบิด เพราะถ้าเป็นเรื่องของการควบคุมความเร็วรอบที่ไม่สนใจอัตราเร่ง, อัตราหน่วง ก็ยังพอสู้กันไหวไม่แตกต่างกันนัก แต่ถ้าจำเป็นต้องควบคุมแรงบิดเมื่อใด v/f เป็นอันต้องพับกระเป่ากลับบ้านทุกที แต่ช้าก่อนครับ ถ้าผู้เขียนจะลองให้ผู้อ่านจินตนาการถึงโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดด้านเร็วๆ จะเป็นอะไรก็ได้ที่แรงบิดด้านมีการเปลี่ยนแปลงไวๆ และเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ ที่พอจะเป็นตัวอย่างได้ก็มีโหลดประเภทแขนเหวี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 5 หลักการทำงาน ก็คือมอเตอร์จะหมุนปั่นลูกเบี้ยวไปเรื่อยๆ ตามความเร็วที่กำหนด การหมุนของลูกเบี้ยวจะทำให้ก้านส่งชิ้นงานติดตัวขึ้นไป เพื่อส่งชิ้นงานระหว่างสายพานลำเลียงสองชุด แล้วตกกลับมารับชิ้นงานใหม่ และเป็นไปอย่างนี้อย่างต่อเนื่องตามแรงกดของลูกเบี้ยว

ลักษณะของแรงบิดที่โหลดออกมา ด้านการหมุนของมอเตอร์ก็จะเป็นดังรูปที่ 6 ซึ่งจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และอย่างรวดเร็วตามความเร็วของมอเตอร์ เมื่อเข้าใจลักษณะของโหลดแล้วเรามาดูกันครับว่าการใช้เวกเตอร์กับ v/f ให้ผลต่างกันอย่างไร

เนื่องจากการควบคุมเป็นการควบคุมความเร็วรอบธรรมดา ดังนั้น ไดอะแกรม



รูปที่ 12 ผลการทดลองให้ไดรฟ์ทำงานแบบ v/f



รูปที่ 13 ผลการทดลองลดความเร็วโดยการลด I_d ที่เป็นการเลียนแบบการทำงานของดีซีมอเตอร์



v/f กับ Vector Control

การควบคุมของเวกเตอร์จะเป็นดังรูปที่ 7 ส่วนของ v/f จะเป็นดังรูปที่ 8 เรามาดูกรณีของเวกเตอร์ก่อน โดยเริ่มจากเมื่อมีสัญญาณจากสายพานลำเลียงชุดแรกผ่านเข้ามาที่แขนเหวี่ยง แรงบิดด้านของโหลดที่เพิ่มเข้ามาจะทำให้ความเร็ว n_{act} ของมอเตอร์ตกลงไป PI controller ที่ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบจะสั่งเพิ่มแรงบิดโดยการเพิ่ม I_d เพื่อไปปรับกับโหลด แต่กว่าที่คำสั่งเพิ่ม I_d จะไปถึง มอเตอร์ก็ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งทำให้ I_d ไม่สามารถเพิ่มตามโหลดได้อย่างทันทีทันใด

ในช่วงนี้ความเร็วมอเตอร์จึงตกลงและกว่าที่ไดรฟ์จะตอบสนองโดยการเพิ่ม I_d เข้าไปให้มอเตอร์ โหลดก็อาจจะหลุดไปที่สายพานเส้นที่ 2 แล้ว ผลก็คือ โหลดไม่มีแรงบิดด้าน T_L แต่มอเตอร์ออกแรงบิดเพิ่มไปให้ ระบบก็จะถูกเร่งขึ้น และพอมิโหลดใหม่เข้ามา ก็จะประสบกับเหตุการณ์แบบเดิมอีก เมื่อเป็นเช่นนี้ ความเร็วก็จะออกสลิปแสดงดังแสดงในรูปที่ 9

หันมาดูกรณี v/f บ้าง ในกรณีของ v/f ตามรูปที่ 8 นั้น เนื่องจากการเพิ่มแรงบิดของมอเตอร์ไม่ต้องรอคำสั่งจากชุดควบคุม แต่การเพิ่มแรงบิดของมอเตอร์เพื่อตอบสนองต่อโหลดจะเป็นไปตามธรรมชาติของมอเตอร์เอง โดยผ่านการเปลี่ยนแปลงของค่า R_f/S ดังนั้น ทันทึที่มีโหลดเข้ามามอเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วย v/f ก็จะออกแรงบิดมาด้านการเพิ่มขึ้นของ T_L อย่างทันทีทันใด จะเข้าไปบ้างก็ช้าด้วยค่า time constant ของระบบ ซึ่งประกอบด้วย $R_s + R_f$ และ $L_s + L_f$ เท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว $L_s + L_f$ จะมีค่าไม่เยอะนักการตอบสนองต่อแรงบิดของโหลด จึงรวดเร็วกว่าแบบเวกเตอร์ ผลของการออกสลิปแสดงจะมีน้อยกว่ามาก

เพื่อให้เห็นภาพชัดขึ้น เราอาจจะสรุปเปรียบเทียบกระบวนการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดระหว่างเวกเตอร์กับ v/f ดังรูปที่ 10

สรุปได้ว่า ถึงแม้การควบคุมแบบเวก-

เตอร์จะมีข้อดีกว่า v/f ในแง่ของการที่สามารถควบคุมแรงบิดได้โดยตรง แต่ก็มีข้อที่ผู้ไม่ได้ คือ ตอบสนองต่อแรงบิดได้ช้ากว่าครับ มาถึงตรงนี้ ผู้เขียนเชื่อว่าผู้อ่านน่าจะสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่าง v/f กับเวกเตอร์ได้แล้ว และน่าจะสามารถนำความรู้จากบทความนี้ไปใช้ประโยชน์ในการเลือกว่าจะใช้การควบคุมแบบใดได้ดีพอสมควร แต่ก่อนจะจบบทความนี้ ผู้เขียนจะขอกล่าวถึงข้อแตกต่างอีกข้อหนึ่ง แต่เป็นข้อแตกต่างที่ไม่ได้เกี่ยวกับแรงบิดหรือความเร็วรอบแต่อย่างใด ข้อแตกต่างที่ว่านี้คือ ข้อแตกต่างของวิธีทำ field weak ของการควบคุมแบบ v/f และแบบเวกเตอร์

v/f กับการทำ field weak

วิธีการทำ fieldweak ของ v/f ก็คือการเพิ่ม f ไปเรื่อยๆ โดยไม่เพิ่ม v ตาม ซึ่งจะทำให้ I_m ลดลง ผลก็คือ ความกว้างของสะพานลดลง ความสามารถในการส่งคนไปทำงานตามความต้องการของโหลดก็ลดลง ดังนั้นกราฟแรงบิดที่ความถี่ต่างๆ ก็จะกลับไปเป็นเหมือนรูปที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 10

เวกเตอร์ กับการทำ field weak

เนื่องจากการควบคุมแบบเวกเตอร์เป็นการทำงานเลียนแบบมอเตอร์กระแสตรง ดังนั้นวิธีการทำ fieldweak ของการควบคุมแบบเวกเตอร์จะทำได้โดยการลด I_d ซึ่งก็เปรียบเสมือนการลดขนาดสะพานทำให้ความสามารถส่งคนไปทำงานตามความต้องการของเราลดลง รูปร่างของกราฟที่แสดงแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ จึงเป็นเช่นเดียวกับรูปที่ 11 รูปที่ 12 และ 13 เป็นการทดลองกับของจริงโดยรูปที่ 12 เป็นผลการทดลองให้ไดรฟ์ทำงาน

แบบ v/f จะเห็นได้ว่าเมื่อถึงช่วงที่ทำ field weak กล่าวคือ เป็นช่วงที่แรงดันถึงพิกัดแล้ว แต่ยังคงต้องการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นไปอีก ก็จะส่งผลให้ I_m มีค่าลดลง

แต่ถ้าเป็นกรณีของเวกเตอร์ เนื่องจากชุดทดลองที่ใช้ไม่มีตัวตรวจจับความเร็วรอบโดยตรง จึงต้องกำหนดการควบคุมเป็นแบบ sensorless vector control ทำให้ต้องใช้เวลารอช่วงเวลาที่เครื่องได้รับสัญญาณ ON กับจุดเริ่มต้นทำการ set ตัวเครื่องเอง ดังนั้น กราฟต่างๆ ที่ปรากฏในช่วงต้นจะไม่เกี่ยวข้องกับการทำงานตามปกติ สำหรับกระแส I_d ที่มีการแกว่งตัวตลอดเวลานั้น เป็นการปรับตัวตามการควบคุมของ P_f ซึ่งถ้าเป็นการควบคุมแบบ vector control with sensor จะแกว่งน้อยกว่านี้ ตามรูปที่ 13 การเพิ่มความเร็วจะทำให้โดยการลด I_d ซึ่งเป็นการเลียนแบบการทำงานของดีซีมอเตอร์

จะเห็นได้ว่าหากพิจารณาดูให้ดีแล้ว ก็อาจเปรียบ I_d ของเวกเตอร์ได้กับ I_m ของ v/f และเปรียบ I_q ของเวกเตอร์ได้กับ I_f ของ v/f แต่ต่างกันตรงที่ว่า ถ้าเป็นเวกเตอร์เราเข้าไปควบคุม I_d และ I_q ได้โดยตรง เปรียบเหมือนเราเข้าไปควบคุม I_m และ I_f ได้โดยตรง แต่ก็มีข้อเสียดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

