

การออกแบบควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่งเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสองตัว โดยวิธีการควบคุมแรงบิดโดยตรง

สาริต สมญาดี¹⁾ และ วิจิตร กิณเรศ²⁾

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่งเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสองตัวโดยวิธีการควบคุมแรงบิดโดยตรง ซึ่งเป็นการลดจำนวนกึ่งของอินเวอร์เตอร์ลง และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการควบคุมแรงบิดโดยตรงแบบอินเวอร์เตอร์สามกึ่ง แบบจำลองถูกสร้างขึ้น และวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ผลจากการวิเคราะห์สามารถยืนยันได้ว่ามอเตอร์ทั้งสองตัวสามารถที่จะหมุนด้วยความเร็วรอบที่แตกต่างกันได้ โดยที่มอเตอร์ทั้งสองตัวรับภาระโหลดที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : อินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง, การควบคุมแรงบิดโดยตรง, มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

* ¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 Email: Sathit_somyadee@yahoo.com

²⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Design of five-leg inverter control for driving two three phase induction motors using a direct torque control technique

Sathit Somyadee^{*1)} and Vijit Kinnares²⁾

ABSTRACT

This paper presents the design of five-leg inverter control driving two three phase induction motors using a direct torque control technique (DTC). It allows a reduction in leg counts compared with a classical the DTC for three-leg inverters. The simulation model of the system is created and analyzed by using the Matlab/Simulink program. The obtained results confirm that both motors are able to operate at different speed and different load conditions.

Keywords: Five-leg inverter, Direct torque control, Three-phase induction motor.

* ¹⁾ Graduate student, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok 10520 E-mail: Sathit_somyadee@yahoo.com

²⁾ Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok 10520

บทนำ

การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้ ผู้ออกแบบระบบโดยส่วนใหญ่จะมุ่งประเด็นให้เกิดความประหยัดด้านการใช้พลังงาน อย่างเช่น การควบคุมพัดลมดูดอากาศ คอมเพรสเซอร์ และปั๊ม เป็นต้น (Delarue *et al.*, 2003) แต่ทางด้านผู้ผลิตมักจะออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยคำนึงถึงเรื่องต้นทุนการผลิตเป็นสำคัญ ในการพิจารณาการออกแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ให้สอดคล้องด้านการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนการผลิตนี้ การลดจำนวนสวิตช์ (Power switch) ของระบบอินเวอร์เตอร์ จะทำให้สามารถบรรลุลักษณะดังกล่าวดังกล่าวได้

การลดจำนวนสวิตช์ในระบบอินเวอร์เตอร์นี้ จะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากจะทำให้ลดจำนวนการใช้วัสดุดิบ ลดพลังงาน และเวลาในการสร้างอุปกรณ์ อีกทั้งยังทำให้เมื่อนำไปใช้งานจะเกิดการสูญเสียพลังงานจากการสวิตช์ (Switching loss) น้อยลงด้วย ซึ่งเป็นการช่วยลดพลังงานขณะใช้งานได้อีกทางหนึ่ง

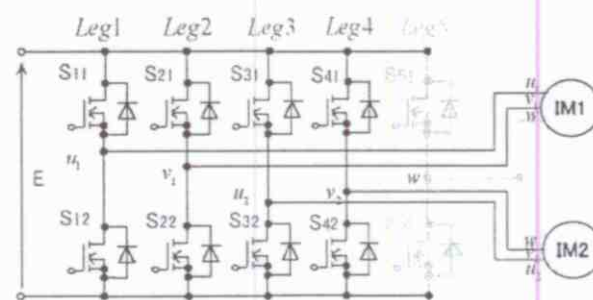
บทความได้นำเสนอการออกแบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส พร้อมกันสองตัว โดยลดการใช้จำนวนสวิตช์ จากเดิม 12 ตัว เหลือเพียง 10 ตัว โดยใช้วิธีการควบคุมแรงบิดโดยตรง เป้าหมายในการออกแบบ คือ ต้องการควบคุมมอเตอร์ทั้งสองตัวให้หมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน มีขนาดของมอเตอร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงรับภาระโหลดที่แตกต่างกัน แบบจำลองและผลการทดสอบ จะถูกนำเสนอด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

รูปแบบของอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง

รูปแบบอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่งแบบแหล่งจ่ายแรงดัน เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสพร้อมกันสองตัว แสดงดังรูปที่ 1 จากรูปเฟส w ของมอเตอร์ทั้งสองจะถูกต่อร่วมกันที่กึ่งที่ 5 (Leg 5) ทำให้ ณ เวลาใด ๆ ในการสวิตช์แรงดันให้แก่มอเตอร์ทั้งสองตัว รูปแบบการสวิตช์แรงดัน ที่กึ่งที่ 5 จะถือเป็นเรื่องสำคัญมากที่จะถูกนำมาพิจารณา ด้วยสาเหตุนี้การมอดูเลชัน (Modulation) สำหรับ

อินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่ง จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ (Kazuo *et al.*, 2005) รูปแบบอินเวอร์เตอร์ และการต่อเข้ากับมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 1

การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสองตัว โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง ด้วยวิธีการควบคุมแรงบิดโดยตรง นั้น หลักการควบคุมโดยรวม จะมีลักษณะเหมือนกับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ สองตัวโดยใช้อินเวอร์เตอร์สามกึ่งแยกอิสระสองชุด การควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่งนี้ ทำได้โดยการปรับปรุงตาราง (Lookup table) การสวิตช์แรงดันให้มอเตอร์ทั้งสองอย่างเหมาะสมเท่านั้น



รูปที่ 1 รูปแบบของอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง

หลักการควบคุมแรงบิดโดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่ง

หลักการควบคุมเบื้องต้นของการควบคุมแรงบิดโดยตรงสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบสวิตช์หกตัว สามกึ่ง แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 2 การควบคุมค่าของแรงบิด และฟลักซ์แม่เหล็ก ทำได้โดยการนำค่าของกระแส และแรงดันชั่วขณะ ที่ถูกวัดจากขดลวด สเตเตอร์ มาคำนวณเพื่อหาค่าแรงบิด และฟลักซ์แม่เหล็กชั่วขณะ จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าแรงบิด และฟลักซ์แม่เหล็กอ้างอิง จะทำให้ได้ค่าความผิดพลาด โดยจะส่งค่านี้ เข้าระบบตัดสินใจสั่งสวิตช์ค่าของเวกเตอร์แรงดันที่เหมาะสม

การประมาณค่าฟลักซ์แม่เหล็ก และแรงบิด

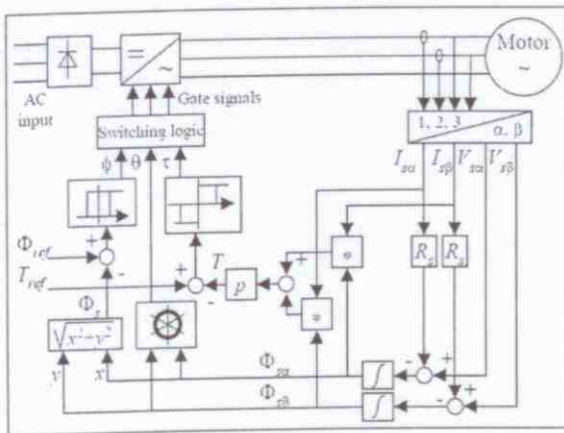
จากสมการของฟลักซ์แม่เหล็ก (Stator flux) ที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ คือ

$$\overline{\Phi}_s(t) = \int [\overline{V}_s(t) - R_s \overline{I}_s(t)] dt \quad (1)$$

และ

$$\begin{cases} \overline{\Phi}_{s\alpha} = \int [\overline{V}_{s\alpha} - R_s \overline{I}_{s\alpha}] dt \\ \overline{\Phi}_{s\beta} = \int [\overline{V}_{s\beta} - R_s \overline{I}_{s\beta}] dt \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ $\overline{\Phi}_s$ คือฟลักซ์แม่เหล็กที่สเตเตอร์ $\overline{V}_s$ คือแรงดันสเตเตอร์ $\overline{I}_s$ คือกระแสสเตเตอร์ และ R_s คือความต้านทานสเตเตอร์



รูปที่ 2 ระบบควบคุมแรงบิดโดยตรงของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส

สมการที่มีส่วนสำคัญของการควบคุมแรงบิดโดยตรงนี้ ก็คือสมการแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic torque) โดยเขียนรูปสมการได้ดังนี้

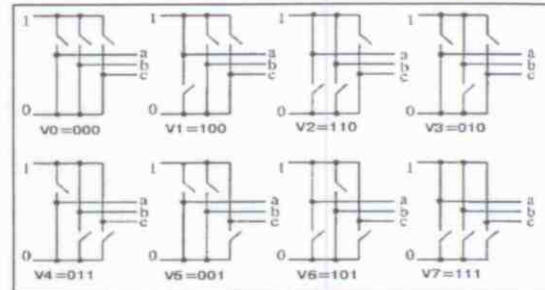
$$\Gamma_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\Phi_{s\alpha} i_{s\beta} - \Phi_{s\beta} i_{s\alpha}) \quad (3)$$

เมื่อ $i_{s\alpha}$ และ $i_{s\beta}$ เป็นกระแสสเตเตอร์ในแกนตรง (Direct axis) และแกนขวาง (Quadrature axis) ตามลำดับ ส่วน $\Phi_{s\alpha}$ และ $\Phi_{s\beta}$ เป็นฟลักซ์แม่เหล็กที่สเตเตอร์ในแกนตรง และแกนขวาง ตามลำดับ P คือจำนวนขั้วของมอเตอร์

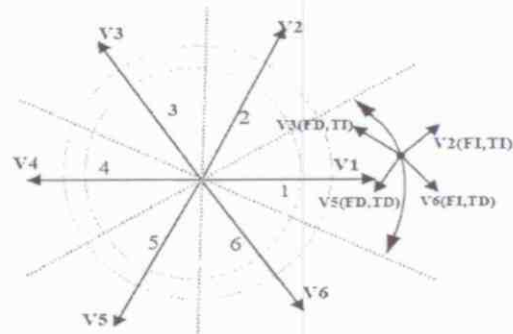
การควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก และแรงบิด

ลักษณะของการสวิตช์แรงดัน ของอินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่งนั้น มีรูปแบบที่แตกต่างกันแปดรูปแบบ

ดังแสดงดังรูปที่ 3 โดยจะมีสองรูปแบบที่จะไม่มีการส่งผ่านแรงดันจากแหล่งจ่ายไปยังมอเตอร์นั้นคือ V0 และ V7 ซึ่งจากรูปแบบการสวิตช์ทั้งแปดแบบนี้ จะสามารถกำหนดเป็นเวกเตอร์ เพื่อให้ให้นิยามต่อการทำให้เกิดการเพิ่ม หรือลดค่าแรงบิด และฟลักซ์ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 รูปแบบการสวิตช์แรงดันทั้งแปดแบบของอินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่ง



รูปที่ 4 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์แรงดัน ซึ่งมีผลต่อการเพิ่ม-ลดของฟลักซ์ และแรงบิด

การควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux) และแรงบิดสนามแม่เหล็ก ถือเป็นหัวใจสำคัญในการควบคุมแรงบิดโดยตรง การควบคุมจะเริ่มจากการคำนวณฟลักซ์แม่เหล็ก และแรงบิดจากสมการที่ (1) และ (3) มาทำการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ จะส่งผ่านตัวเปรียบเทียบแบบฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Comparator) เพื่อแปลงให้เกิดค่าแบบลอจิก (Toufouti et al., 2006) และนำค่าที่ได้นี้ เป็นตัวเลือกรูปแบบการสวิตช์แรงดันไปยังมอเตอร์ การสวิตช์แต่ละรูปแบบจะมีผลต่อการเพิ่ม-ลดฟลักซ์ และแรงบิดต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่ามุมของฟลักซ์นั้นอยู่ในเซกเตอร์ไหน การแบ่งเซกเตอร์นั้น จะเริ่มจากมุม -30 ถึง 30 เป็นเซกเตอร์ที่หนึ่ง แต่ละเซกเตอร์จะมีขนาด 60 องศา แบ่งเช่นนี้จนครบ

6 เซกเตอร์ ยกตัวอย่างเมื่อฟลักซ์ทำมุมอยู่ในเซกเตอร์ที่หนึ่ง การสวิตช์ V2 จะมีผลทำให้เกิดการเพิ่มฟลักซ์และแรงบิด การสวิตช์ V6 จะมีผลทำให้เกิดการเพิ่มฟลักซ์และลดแรงบิด V3 จะทำให้เกิดการลดฟลักซ์ และเพิ่มแรงบิด ส่วน V5 จะมีผลทำให้เกิดการลดฟลักซ์ และแรงบิด ส่วนเมื่อต้องการคงสภาวะแรงบิด และฟลักซ์จะใช้ V0 หรือ V7 ใช้ความสัมพันธ์เช่นนี้สร้างตารางการสวิตช์จนครบทั้งหกเซกเตอร์ ตารางการสวิตช์แรงดันในภาวะต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1 (Fatha et al., 2005)

ตารางที่ 1 การสวิตช์เวกเตอร์แรงดัน ที่สถานะต่าง ๆ

ฟลักซ์	แรงบิด	Sector					
		S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
$\Delta\Phi = 1$	$\Delta\Gamma = 1$	V2	V3	V4	V5	V6	V1
	$\Delta\Gamma = 0$	V0	V7	V0	V7	V0	V7
	$\Delta\Gamma = -1$	V6	V1	V2	V3	V4	V5
$\Delta\Phi = 0$	$\Delta\Gamma = 1$	V3	V4	V5	V6	V1	V2
	$\Delta\Gamma = 0$	V7	V0	V7	V0	V7	V0
	$\Delta\Gamma = -1$	V5	V6	V1	V2	V3	V4

การปรับปรุงตารางการสวิตช์แรงดัน

จากบทความของ (Antoni Arias Pujol, 2000) ได้นำเสนอการสวิตช์แรงดันที่มีแรงดันเป็นศูนย์ (Zero voltage vector) แทนที่การสวิตช์เวกเตอร์ที่มีแรงดันไม่เป็นศูนย์ (non-zero voltage vector) ในช่วงที่ระบบต้องการลดแรงบิด การปรับปรุงตารางการสวิตช์แรงดันดังตารางที่ 2 จะช่วยลดแรงบิดกระเพื่อม (Torque ripple) ลงได้

ตารางที่ 2 การปรับปรุงการสวิตช์แรงดันเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงบิด

ฟลักซ์	แรงบิด	Sector					
		S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
$\Delta\Phi = 1$	$\Delta\Gamma = 1$	V2	V3	V4	V5	V6	V1
	$\Delta\Gamma = 0$	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7
	$\Delta\Gamma = -1$	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7
$\Delta\Phi = 0$	$\Delta\Gamma = 1$	V3	V4	V5	V6	V1	V2
	$\Delta\Gamma = 0$	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7
	$\Delta\Gamma = -1$	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7	V0, V7

เมื่อ

- $\Delta\Phi = 1$: ความต้องการเพิ่มฟลักซ์
- $\Delta\Phi = 0$: ความต้องการคงค่าฟลักซ์
- $\Delta\Gamma = 1$: ความต้องการแรงบิด
- $\Delta\Gamma = 0$: ความต้องการคงค่าแรงบิด
- $\Delta\Gamma = -1$: ความต้องการลดแรงบิด

เมื่อสังเกตจากตารางที่ 2 การสวิตช์แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟให้กับมอเตอร์นั้น จะมีแค่ช่วงที่มอเตอร์ต้องการเพิ่มแรงบิดเท่านั้น โดยช่วงที่มอเตอร์ต้องการคงสภาวะแรงบิด และช่วงที่ต้องการลดแรงบิดนั้น จะใช้การสวิตช์แรงดันศูนย์ ให้กับมอเตอร์ ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งสองรูปแบบคือ V0 หรือ V7 จากค่าที่ได้จากตารางที่ 2 นี้เองจะนำไปสู่การออกแบบ การสร้างตารางสวิตช์แรงดันสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์สองตัวให้ทำงานพร้อมกันได้

การสร้างตารางการสวิตช์แรงดัน สำหรับควบคุมมอเตอร์สองตัว

จากรูปแบบการสวิตช์แรงดันของอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่งเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของการสวิตช์ทั้งแปดแบบได้ดังตารางที่ 3 ถ้าสังเกตจากตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มของรูปแบบการสวิตช์แรงดัน

กลุ่มที่ 1 สวิตช์ C = 0	กลุ่มที่ 2 สวิตช์ C = 1
V0 = 0 0 0	V4 = 0 1 1
V1 = 1 0 0	V5 = 0 0 1
V2 = 1 1 0	V6 = 1 0 1
V3 = 0 1 0	V7 = 1 1 1

เราสามารถแบ่งกลุ่มการสวิตช์ ออกเป็นสองกลุ่ม โดยดูจากรูปแบบการสวิตช์ที่กึ่ง C ซึ่งเราจะกำหนดให้กึ่ง C นี้เป็นกึ่งที่นำเฟส w ของมอเตอร์ทั้งสองตัวมาต่อร่วมกัน โดยถ้าจะให้มอเตอร์ทั้งสองทำงานร่วมกันได้ จะต้องกำหนดให้ มอเตอร์ทั้งสองตัวต้องสวิตช์ ณ เวลาใด ๆ ในแต่ละครั้งของการเลือกรูปแบบการสวิตช์ ต้องสวิตช์แค่ กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้นให้กับมอเตอร์

ตารางที่ 4 การสวิตช์แรงดันให้กับมอเตอร์ เมื่อต้องการเพิ่มแรงบิดให้มอเตอร์ทั้งสอง

M1: $\Delta\Gamma = 1$ M2: $\Delta\Gamma = 1$			M1: Sector											
			S1		S2		S3		S4		S5		S6	
			$\Delta\Phi =$		$\Delta\Phi =$		$\Delta\Phi =$		$\Delta\Phi =$		$\Delta\Phi =$		$\Delta\Phi =$	
			1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
M2: Sector	S1	$\Delta\Phi =$	1	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5
			0	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5
	S2	$\Delta\Phi =$	1	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6
			0	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6
	S3	$\Delta\Phi =$	1	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7
			0	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7
	S4	$\Delta\Phi =$	1	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8
			0	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8
	S5	$\Delta\Phi =$	1	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1
			0	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1
	S6	$\Delta\Phi =$	1	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2
			0	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2	V_2/V_3	V_3/V_4	V_4/V_5	V_5/V_6	V_6/V_7	V_7/V_8	V_8/V_1	V_1/V_2

ทั้งสองตัว ยกตัวอย่างเมื่อต้องการสวิตช์ รูปแบบแรงดัน V_1 ให้กับมอเตอร์ตัวที่หนึ่ง มอเตอร์อีกตัวหนึ่งจะต้องได้รับการสวิตช์ได้เพียงแค่รูปแบบ V_0 , V_1 , V_2 หรือ V_3 เท่านั้น

ถ้าสังเกตการสวิตช์จากตารางที่ 2 สภาวะในการที่จะสวิตช์แรงดันจากแหล่งจ่ายไปยังมอเตอร์ จะมีน้อยกว่าการสวิตช์แรงดันศูนย์ให้กับตัวมอเตอร์ และใช้ความสัมพันธ์ของการสวิตช์จากตารางที่ 3 มากำหนดสภาวะต่าง ๆ ที่เกิดกับมอเตอร์สองตัว เพื่อสร้างตารางใหม่เพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์สองตัวพร้อมกัน จะสามารถแบ่งได้ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1

เมื่อมอเตอร์ทั้งสองตัวต้องการสวิตช์ให้เกิดการเพิ่มแรงบิด ถ้าสังเกตจากตารางที่ 2 ถ้าต้องการให้มอเตอร์ทั้งสองตัวเกิดการเพิ่มแรงบิดพร้อมกันนั้น ในบางสภาวะจะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากเงื่อนไขที่มอเตอร์ตัวที่หนึ่งต้องการสวิตช์ V_5 แต่มอเตอร์ตัวที่สองต้องการสวิตช์ V_1 สภาวะเช่นนี้จะทำให้ที่กึ่ง C จะมีลักษณะการสวิตช์ไม่เหมือนกัน ด้วยเหตุนี้การกำหนดลักษณะการทำงานให้มอเตอร์ทั้งสองตัว ทำงานสมบูรณ์แบบ

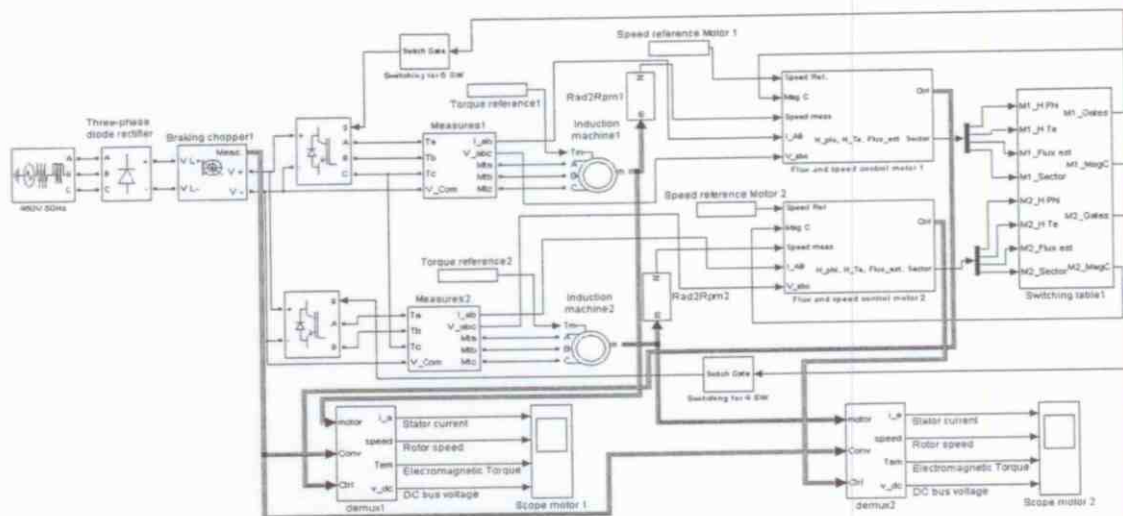
คงเป็นไปไม่ได้ จึงได้กำหนดให้มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง จะเป็นหลักในการออกแบบตารางการสวิตช์ โดยถ้าเกิดการขัดแย้ง ดังที่ยกตัวอย่างขึ้น มอเตอร์ตัวที่สองจะทำการสวิตช์แรงดันศูนย์แทน เมื่อกำหนดเงื่อนไขเช่นนี้แล้วจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ของการสวิตช์ตามเงื่อนไขที่ 1 ได้ดังตาราง ที่ 4

เงื่อนไขที่ 2

เมื่อมอเตอร์ตัวที่หนึ่งต้องการสวิตช์ให้เกิดการเพิ่มแรงบิด และมอเตอร์ตัวที่สองต้องการคงสภาวะแรงบิด หรือต้องการลดแรงบิด ถ้าสังเกตจากตารางที่ 2 จะเห็นว่าถ้ามอเตอร์ต้องการคงสภาวะแรงบิด หรือต้องการลดแรงบิด นั้นจะใช้การสวิตช์เพียงสองแบบ คือ V_0 หรือ V_7 ดังนั้นจึงสามารถ เขียนความสัมพันธ์ของการสวิตช์ตามเงื่อนไขที่ 2 ได้ดังตารางที่ 5

เงื่อนไขที่ 3

เมื่อมอเตอร์ตัวที่สองต้องการสวิตช์ให้เกิดการเพิ่มแรงบิด และมอเตอร์ตัวที่หนึ่งต้องการคงสภาวะแรงบิด หรือต้องการลดแรงบิด ตารางการสวิตช์แรงดันจะคล้าย ๆ กับตารางที่ 5 เพียงแต่เปลี่ยนการสวิตช์แรงดัน



รูปที่ 5 แสดงแบบจำลองของระบบ ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Matlab Simulink

ศูนย์ให้แก่มอเตอร์ตัวที่หนึ่งแทน ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ของการสวิตช์ตามเงื่อนไขที่ 3 ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 การสวิตช์แรงดันให้กับมอเตอร์ เมื่อต้องการเพิ่มแรงบิดให้มอเตอร์ตัวที่หนึ่ง และต้องการ คงสภาวะแรงบิด หรือลดแรงบิดให้กับมอเตอร์ตัวที่สอง

$M1: \Delta\Gamma=1$	$M1: \text{Sector}$					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$
$M2: \Delta\Gamma=0, -1$	1	0	1	0	1	0
$M2: \Delta\Gamma=0, -1$	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6

ตารางที่ 6 การสวิตช์แรงดันให้กับมอเตอร์ เมื่อต้องการเพิ่มแรงบิดให้มอเตอร์ตัวที่สอง และต้องการ คงสภาวะแรงบิด หรือลดแรงบิดให้กับมอเตอร์ตัวที่หนึ่ง

$M2: \Delta\Gamma=1$	$M2: \text{Sector}$					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$	$\Delta\Phi=$
$M1: \Delta\Gamma=0, -1$	1	0	1	0	1	0
$M1: \Delta\Gamma=0, -1$	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_1

เงื่อนไขที่ 4

เมื่อมอเตอร์ทั้งสองตัว ต้องการคงสภาวะแรงบิด หรือต้องการลดแรงบิด เมื่อเกิดสภาวะตามเงื่อนไขนี้ ก็เพียงแค่สวิตช์แรงดันศูนย์ V_0 หรือ V_7 ให้แก่มอเตอร์

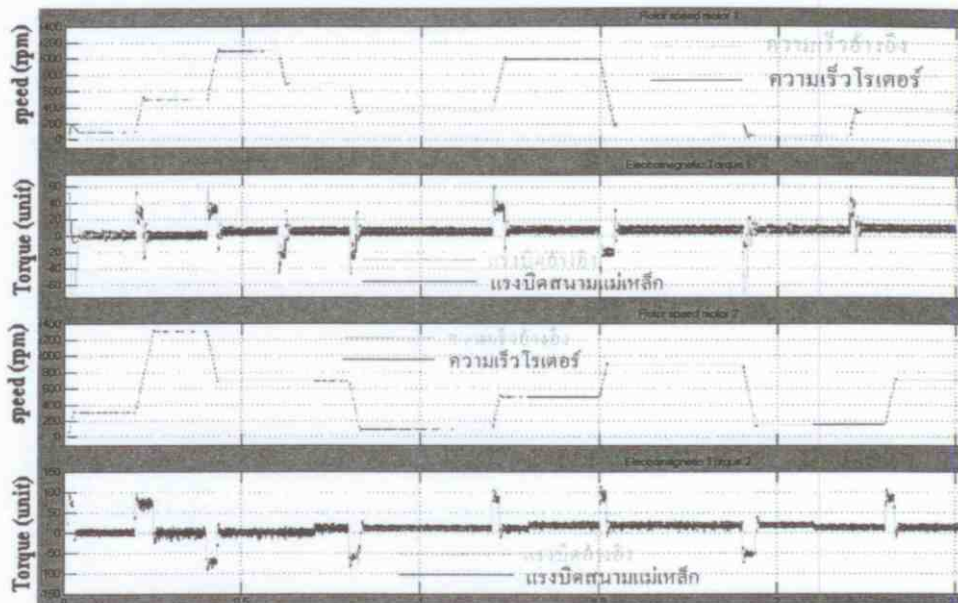
ทั้งสอง โดยแบบจำลองที่ได้นำเสนอนี้ จะใช้การสวิตช์ V_0 เพียงอย่างเดียวให้แก่มอเตอร์ทั้งสองตัว เมื่อเกิดเงื่อนไขนี้

ผลการทดสอบ

โครงสร้างของแบบจำลองการควบคุมแรงบิดโดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส แบบควบคุมอินเวอร์เตอร์ห้ากึ่ง เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองตัวพร้อมกัน และแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ถูกแสดงดังรูปที่ 5 จากแบบจำลองได้กำหนดให้มอเตอร์ทั้งสองมีขนาดพิกัดที่ไม่เท่ากัน การกำหนดความเร็วอ้างอิงของมอเตอร์ และการรับภาระโหลดที่แตกต่างกันอีกด้วย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink แสดงดังรูปที่ 6 พบว่ามอเตอร์ทั้งสองตัวสามารถหมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกันได้ สามารถควบคุมความเร็วรอบของโรเตอร์ได้ใกล้เคียงความเร็วรอบอ้างอิง มีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย การตอบสนองของแรงบิด ทำได้รวดเร็วอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่จะสังเกตเห็นแรงบิดกระเพื่อมที่เกิดขึ้นมีปริมาณค่อนข้างสูง

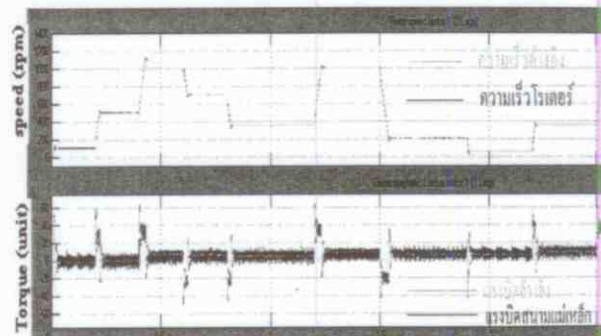
เมื่อนำผลที่ได้ จากการควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง มาเปรียบเทียบกับ การควบคุมความเร็วโดยใช้อินเวอร์เตอร์ แบบสามกึ่งแยกอิสระ ซึ่งถูกแสดงดังรูปที่ 7



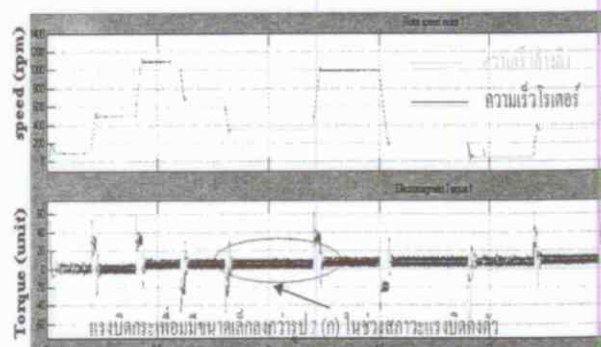
รูปที่ 6 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ในสภาวะโหลดต่าง ๆ กัน รูปบนผลของความเร็ว และแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่หนึ่ง รูปล่างสำหรับมอเตอร์ตัวที่สอง

สำหรับมอเตอร์ตัวที่ 1 และรูปที่ 8 สำหรับมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยทำการกำหนดค่าการควบคุมความเร็ว และการรับภาระ โหลดให้เหมือนกันทั้งสองแบบ ผลปรากฏว่าการควบคุม มอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง สามารถให้ ผลตอบสนองได้เช่นเดียวกับการใช้อินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่ง ที่แยกอิสระ โดยแรงบิดกระเพื่อมที่เกิดขึ้นจากการควบคุม ด้วยอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่งจะมีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย ในช่วงสภาวะแรงบิดคงตัว (Steady state)

เมื่อนำผลที่ได้ จากการควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบ ห้ากึ่ง มาเปรียบเทียบกับ การควบคุมความเร็วโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ แบบสามกึ่งแยกอิสระ ซึ่งถูกแสดงดังรูปที่ 7 สำหรับมอเตอร์ตัวที่ 1 และรูปที่ 8 สำหรับมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยทำการกำหนดค่าการควบคุมความเร็ว และการรับภาระ โหลดให้เหมือนกันทั้งสองแบบ ผลปรากฏว่าการควบคุม มอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง สามารถให้ ผลตอบสนองได้เช่นเดียวกับการใช้อินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่ง ที่แยกอิสระ โดยแรงบิดกระเพื่อมที่เกิดขึ้นจากการควบคุม ด้วยอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่งจะมีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย ในช่วงสภาวะแรงบิดคงตัว

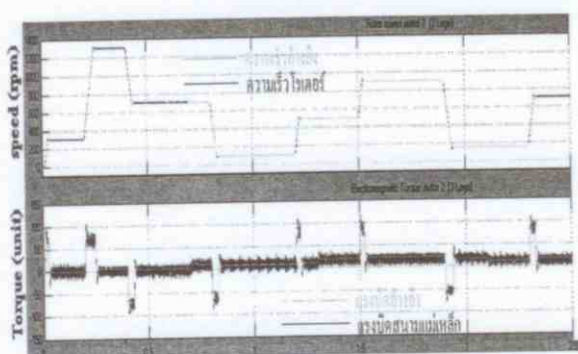


(ก)

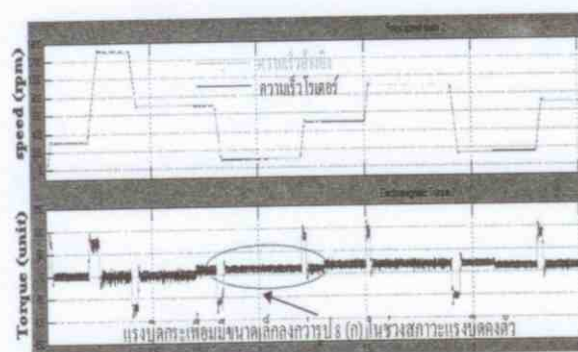


(ข)

รูปที่ 7 (ก) แสดงผลตอบสนองของมอเตอร์ตัวที่ 1 เมื่อ ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่ง (ข) ผลตอบสนอง เมื่อควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 (ก) แสดงผลตอบสนองของมอเตอร์ตัวที่ 2 เมื่อควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่ง (ข) ผลตอบสนองเมื่อควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง

สรุปผลการทดลอง

บทความนี้เป็นกรนำเสนอแนวทางการออกแบบอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองตัวให้ทำงานพร้อมกัน ด้วยวิธีการควบคุมแรงบิดโดยตรง ซึ่งเมื่อสังเกตผลที่เกิดจากแบบจำลองที่วิเคราะห์โดยโปรแกรม Matlab/Simulink การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสองตัวให้หมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน อีกทั้งมอเตอร์ทั้งสองยังมีขนาดแตกต่างกัน และรับภาระโหลดที่แตกต่างกันนั้นสามารถทำได้ การควบคุมความเร็วรอบ สามารถตอบสนองได้ใกล้เคียงความเร็วรอบอ้างอิง ผลตอบสนองของอินเวอร์เตอร์แบบห้ากึ่ง มีลักษณะใกล้เคียงกับการใช้อินเวอร์เตอร์แบบสามกึ่งสองตัวที่แยกอิสระต่อกัน แต่จากวิธีการควบคุมที่ได้ถูกออกแบบข้างต้นนี้ยังมีจุดอ่อนในเรื่องที่ยังไม่สามารถควบคุมมอเตอร์ทั้งสองให้หมุนกลับทิศทางได้รวมถึง

แรงบิดกระเพื่อมที่เกิดขึ้นอาจส่งผลในทางปฏิบัติต่อมอเตอร์ โดยจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ตัวมอเตอร์ และอาจมีเสียงดังขณะมอเตอร์ทำงาน การจะแก้ปัญหาในเรื่องแรงบิดนี้สามารถที่จะประยุกต์ใช้แนวทางการวิจัยการปรับปรุงประสิทธิภาพในการควบคุมแรงบิดโดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและนำเสนออย่างแพร่หลายในหลายแนวทาง ตัวอย่างเช่น การเพิ่มเซนเซอร์ในการควบคุมฟลักซ์ จากหกเซนเซอร์เพิ่มเป็นสิบสองเซนเซอร์ (ศิริชัย แดงแอม, 2549) การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบ ฟัซซี่ (Fuzzy controller) แทนการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI controller) หรือการใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural network) เป็นต้น

ยิ่งไปกว่านั้นแนวทางการออกแบบดังกล่าวนี้ยังสามารถใช้ออกแบบการควบคุมมอเตอร์สามตัว โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบเจ็ดกึ่ง หรือมอเตอร์สี่ตัว โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบเก้ากึ่งได้อีกด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ลงอีก เมื่อออกแบบระบบให้ควบคุมมอเตอร์ได้หลาย ๆ ตัวพร้อมกัน การจะบรรลุเป้าหมายในการควบคุมดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่มีความเร็วสูง ตัวอย่างเช่น การใช้ dSPACE-DS1104 prototyping system ช่วยในการออกแบบ เป็นต้น

ภาคผนวก

พิกัด และพารามิเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 1

5.4 HP, 4 KW, 400 V, 50 Hz, 1430 rpm.

พิกัด และพารามิเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 2

10 HP, 7.5 KW, 400 V, 50 Hz, 1440 rpm.

เอกสารอ้างอิง

ศิริชัย แดงแอม. 2549. "การควบคุมแรงบิดโดยตรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบเพิ่มพื้นที่." การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29.

- I. Takahashi, T. Noguchi. 1985 "A new quick response and high efficiency strategy of an induction motor." IEEE IAS. 495-502.
- M. Depenbrock. 1985. "Direct self control for high dynamic performance of inverter feed a.c. machines." ETZ Archive. 7: 211-218.
- Nuno M. Silva, Antonio P. Martins, Adriano S. Carvalho. 2002. "Torque and speed mode simulation of DTC-Controlled induction motor." MED Lisbon.
- R.Toufouti, S.Meziane, H. Benalla. 2006. "Direct torque control for induction motor using fuzzy logic." ACSE Journal.
- Ph. Delarue, A. Bouscayrol. 2003. "Control implementation of a five-leg voltage-source-inverter supplying two three-phase induction motor." IEEE. 1909-1915.
- Fatiha Zidani, Rachid Nait Said. 2005. "Direct torque control of induction motor with fuzzy minimization torque ripple." Journal of Electrical engineering. vol56.
- Antoni Arias Pujol. 2000. "Improvement in direct torque control of induction motors." Doctoral thesis. Catalunya polytechnic University.
- Kazuo Oka, Yusuke Nozawa. 2005. "Improved method of voltage utility factor for PWM control method of Five-leg inverter." JIASC2005.