

อินเวอร์เตอร์แบบย้อนกลับแรงดัน สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 5 กิโลวัตต์



นาย เกษียร สุชีโมกษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-578-059-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017000

A Voltage Feedback Inverter for 5 kW Induction Motors

Mr. Kasiean Sukemoke

A Thesis Submitted in Partical Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-578-059-6



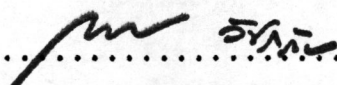
หัวข้อวิทยานิพนธ์ อินเวอร์เตอร์แบบป้อนกลับแรงดัน สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ
ขนาด 5 กิโลวัตต์

โดย นายเกษียร สุทธิโมกษ์

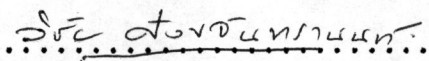
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

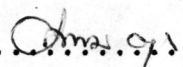
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.โคทม อารียา

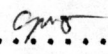
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

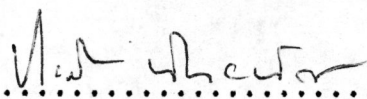

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรารักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ วิชัย ดั่งขจันทรานนท์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.โคทม อารียา)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิฑิต)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ นิตยพันธ์)



เกษียร สุชีโมกษ์ : อินเวอร์เตอร์แบบป้อนกลับแรงดัน สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด
5 กิโลวัตต์ (A VOLTAGE FEEDBACK INVERTER FOR 5 kW INDUCTION MOTORS)

อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.โกทม อาริยา, 92 หน้า. ISBN 974-578-059-6

การมอดูเลตความกว้างของพัลส์โดยการป้อนกลับแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ทำให้สามารถ
ค่าแรงดันขาออกได้ เมื่อใช้อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3-เฟส ก็สามารถปรับให้อัตรา
ส่วนของแรงดันต่อความถี่มีค่าคงที่ ซึ่งมีผลทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กในช่องอากาศของมอเตอร์ มีค่าคงที่โดยไม่
ขึ้นกับแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ ได้มีการทดลองใช้อินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นขับเคลื่อน
มอเตอร์ขนาด 5 กิโลวัตต์ โดยปรับความเร็วให้เปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องจาก 150 ถึง 1500 รอบ
ต่อนาที กระแสที่ไหลในมอเตอร์ก็มีรูปร่างใกล้เคียงรูปไซน์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อผู้คิด *Dr. S.P.*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *(Signature)*



KASIEAN SUKEMOKE : A VOLTAGE FEEDBACK INVERTER FOR 5 kW
INDUCTION MOTORS. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. GOTHOM ARYA,
Dr.-Ing. 92 PP. ISBN 974-578-059-6

Pulsewidth modulation obtained from voltage feedback allows inverter output voltage to be regulated. When the inverter is use for motor drive, its output-voltage-to-frequency ratio is maintained constant resulting in a constant value of airgap flux which becomes independent of DC supply voltage. The inverter can drive a 3- ϕ 5 kW induction motor whose speed can be adjusted from 150 to 1500 rpm in a continuous way and whose current waveform is almost a sinewave.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต *[Signature]*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *[Signature]*



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.โคทม อาริยา ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อีกทั้ง ศ.ดร.มงคล เดชนครินทร์ , รศ. สันต์ คิวรัตน์ , ผศ.ดร.ยุพธนา กุลวิจิต และ อ.เจิดกุล โสภานิตย์ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอกราบขอพระคุณคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น ตลอดทั้ง คุณวิจิตร เหลืองเจริญโต และเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี และบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้เงินทุนสนับสนุนบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอพระคุณมารดาเป็นอย่างสูง ซึ่งสนับสนุนด้านการเงิน และกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

เกษียร สุทธิโมกษ์



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ภาควงจรกำลัง.....	16
3. ภาควงจรควบคุมแรงดัน.....	27
4. ภาควงจรควบคุมการทำงานและป้องกัน.....	48
5. การทดสอบ.....	59
6. บทสรุปและเสนอแนะ.....	86
เอกสารอ้างอิง.....	89
ประวัติผู้เขียน.....	92



สารบัญตาราง

๗

ตารางที่		หน้า
2.1.	ข้อกำหนดในการออกแบบอินเวอร์เตอร์.....	17
5.1.	ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบ.....	61
5.2.	ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟตรง.....	63
5.3.	ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์.....	65
5.4.	ผลการวัด การคงค่าแรงดันโดยการเปลี่ยนแรงดันขาเข้า (line regulation).....	67
5.5.	ผลการทดสอบหาการคงค่าแรงดันโดยการเปลี่ยนโหลด (load regulation).....	69
5.6.	ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ขาออก กับ ค่าองค์ประกอบหลักมูล ของแรงดันขาออก ของอินเวอร์เตอร์.....	70
5.7.(ก)	ฮาร์มอนิกส์ ของแรงดันขาออก เมื่อความถี่หลักมูลเท่ากับ 20 Hz....	71
5.7.(ข)	ฮาร์มอนิกส์ ของแรงดันขาออก เมื่อความถี่หลักมูลเท่ากับ 25 Hz....	73
5.7.(ค)	ฮาร์มอนิกส์ ของแรงดันขาออก เมื่อความถี่หลักมูลเท่ากับ 30 Hz....	74
5.7.(ง)	ฮาร์มอนิกส์ ของแรงดันขาออก เมื่อความถี่หลักมูลเท่ากับ 35 Hz....	75
5.7.(จ)	ฮาร์มอนิกส์ ของแรงดันขาออก เมื่อความถี่หลักมูลเท่ากับ 40 Hz....	76
5.7.(ฉ)	ฮาร์มอนิกส์ ของแรงดันขาออก เมื่อความถี่หลักมูลเท่ากับ 50 Hz....	77



ภาพที่

1.9 ก) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบ PWM ที่ใช้แหล่งแรงดัน (voltage source)	
ข) แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์แบบ PWM (V_{ab}).....	13
2.1 โครงสร้างของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน ที่มีวงจรเบรคพลาวัต.....	16
2.2 ก) วงจรเรียงกระแสที่ใช้ในการชิมมูเลต	
ข) กระแสที่ไหลผ่านไดโอด D_1 (I_{D1}) ที่ได้จากการชิมมูเลต.....	20
2.3 แสดงขนาดของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดที่หน้าลัมผัส s_1 ปิดลงที่เวลา 10 ms.....	21
2.4 แสดงคุณสมบัติแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	22
2.5 แสดงทิศทางของพลังงานจากมอเตอร์ขณะทำการเบรค.....	23
2.6 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์กับเวลา.....	24
3.1 ก) แสดงแผนภาพบล็อกของวงจรควบคุมแรงดัน	
ข) : รูปบน คือ สัญญาณอ้างอิง และแรงดันป้อนกลับ ผ่านวงจรกรอง	
: รูปล่าง คือ สัญญาณ PWM ที่ได้จากการเปรียบเทียบ เทียบสัญญาณ V_r กับ V_o	28
3.2 วงจร RC กรองผ่านต่ำ (RC-low-pass filter) ที่ต่อกับวงจรเปรียบเทียบแบบมีฮิสเตอร์ซิส.....	29
3.3 แสดงแผนภาพบล็อกของวงจรตรวจวัดระดับแรงดันไฟ ตรง (1) และ (2) คือ วงจรแปลงผันไฟตรงเป็น ไฟตรง (3) คือ วงจรแหล่งจ่ายไฟที่มีการแยกโดด	31
3.4 แสดงวงจรตรวจวัดระดับแรงดันไฟตรง.....	32

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่		
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟตรง ที่ทำการ วัดผ่านตัวต้านทานแบ่งแรงดันกับแรงดันขาออก.....	32
3.6	วงจรตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงระดับของแรงดันออก ของอินเวอร์เตอร์.....	33
3.7	โครงสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอ้างอิงรูปไซน์.....	34
3.8	วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นความถี่โดยใช้ไอซี 4046.....	36
3.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f_o กับ V_{in} ของวงจร VCO.....	36
3.10	วงจรมนับแบบไบนารี(binary counter) เริ่มนับจาก 00H ถึง FEH.....	37
3.11	วงจร เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก.....	39
3.12	ภาพถ่ายของสัญญาณรูปไซน์ที่ออกจากวงจร DAC.....	40
3.13	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ของสัญญาณ อ้างอิงรูปไซน์ เมื่อผ่านวงจรชดเชยขนาดแรงดันที่ ความถี่ต่ำ.....	41
3.14	วงจรชดเชยขนาดแรงดันอ้างอิงรูปไซน์ที่ความถี่ต่ำ.....	41
3.15	แสดงสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ ตัวบน (T1) และทรานซิสเตอร์ตัวล่าง (T2) ของ ภาพที่ 2.1 และสัญญาณ PWM.....	42
3.16	วงจรหน่วงเวลาการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ เป็นสวิตช์.....	43
3.17	วงจรมับนำเบสของทรานซิสเตอร์.....	44
3.18	รูปถ่ายสัญญาณของกระแสและแรงดันที่ขั้วเบสและ อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ในวงจรอินเวอร์เตอร์	
	(ก) รูปของแรงดัน (V_{be})	
	(ข) สัญญาณกระแส (I_b)	47

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่	
4.1 แผนภาพบล็อกแสดงโครงสร้างการทำงานของวงจร.....	48
4.2 วงจรปรับอัตราการเพิ่มและลดของความเร็วมอเตอร์.....	50
4.3 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรเบรก.....	52
4.4 วงจรควบคุมการเบรกมอเตอร์.....	54
4.5 แสดงระดับกระแสและแรงดันของอินเวอร์เตอร์.....	56
4.6 วงจรป้องกันการทำงานผิดปกติของอินเวอร์เตอร์.....	58
5.1 วงจรทดสอบหาประสิทธิภาพในขั้นตอนที่ 1.....	59
5.2 วงจรทดสอบหาประสิทธิภาพในขั้นตอนที่ 2.....	59
5.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพที่ได้จากตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3.....	66
5.4 วงจรที่ใช้วัดค่าองค์ประกอบหลักมูลของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์.....	68
5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์.....	70
5.6 แสดงแอมพลิจูดของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ที่อันดับความถี่ (fn) ต่างๆ เทียบกับแอมพลิจูดที่ความถี่หลักมูล ที่ความถี่ 20 Hz.....	72
5.7 แสดงแอมพลิจูดของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ที่อันดับความถี่ (fn) ต่างๆ เทียบกับแอมพลิจูดที่ความถี่หลักมูล ที่ความถี่ 25 Hz.....	72
5.8 แสดงแอมพลิจูดของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ที่อันดับความถี่ (fn) ต่างๆ เทียบกับแอมพลิจูดที่ความถี่หลักมูล ที่ความถี่ 30 Hz.....	74
5.9 แสดงแอมพลิจูดของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ที่อันดับความถี่ (fn) ต่างๆ เทียบกับแอมพลิจูดที่ความถี่หลักมูล ที่ความถี่ 35 Hz.....	75
5.10 แสดงแอมพลิจูดของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ที่อันดับความถี่ (fn) ต่างๆ เทียบกับแอมพลิจูดที่ความถี่หลักมูล ที่ความถี่ 40 Hz.....	76
5.11 แสดงแอมพลิจูดของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ที่อันดับความถี่ (fn) ต่างๆ เทียบกับแอมพลิจูดที่ความถี่หลักมูล ที่ความถี่ 50 Hz.....	77

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	3
1.2	4
1.3	6
1.4	7
1.5	7
1.6	8
1.7	9
1.8	11

ภาพที่

5.12 (ก) :	รูปแสดงสัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อทำการเดินเครื่อง และ หยุดเดินเครื่องโดยการจ่ายไฟสลับ และหยุดจ่ายไฟสลับ ตามลำดับ	
(ข) :	รูปบน แสดงสัญญาณความเร็วของการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แบบจ่ายไฟเข้าโดยตรง (direct on line start)	
	: รูปล่าง แสดงขนาดของกระแสที่ไหลในมอเตอร์.....	79
5.13 :	รูปบน แสดงสัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์	
	: รูปล่าง แสดงกระแสที่ไหลในมอเตอร์ โดยทำการตั้งค่าจำกัดกระแสของอินเวอร์เตอร์ไว้ที่ 10 A.....	80
5.14 :	รูปบน แสดงสัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์	
	: รูปล่าง แสดงกระแสในมอเตอร์เมื่อตั้งค่าจำกัดกระแสที่ 15 A.....	80
5.15 :	รูปบน แสดงสัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์	
	: รูปล่าง แสดงกระแสในมอเตอร์เมื่อตั้งค่าจำกัดกระแสที่ 25 A.....	81
5.16 :	รูปบน แสดงสัญญาณความเร็วมอเตอร์	
	: รูปล่าง แสดงสัญญาณควบคุมความเร็ว.....	81
5.17 (ก) :	รูปบน แสดงระดับแรงดันไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเบรค	
	: รูปล่าง แสดงสัญญาณควบคุมการเบรค	
(ข) :	รูปบน แสดงสัญญาณความเร็วในขณะเบรคใช้ เวลาประมาณ 1.6 วินาที	
	: รูปล่าง แสดงสัญญาณควบคุมการเบรค.....	83
5.18 :	รูปบน แสดงสัญญาณควบคุมในการเบรค	
	: รูปล่าง แสดงสัญญาณความเร็วของมอเตอร์.....	84

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

5.19	: รูปบน แสดงสัญญาณควบคุมการเบรกของอินเวอร์เตอร์	
	: รูปล่าง แสดงสัญญาณความเร็วของมอเตอร์.....	84
5.20	รูปบน : แรงดันระหว่างสายขาออกของอินเวอร์เตอร์ (V_{ab})	
	รูปล่าง : กระแสในสายที่ไหลเข้ามอเตอร์ (I_a).....	85