



การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์

Four Quadrant Control of DC Machine

นายรเทพ	ลิมพัฒนสำราญ	รหัส 45362860
นางสาวนวิรัตน์	พุกขาวาณิชย์	รหัส 45362886
นายนิยม	จันดี	รหัส 45362894
นางสาวมัธนา	เชยโต	รหัส 45363058

15080794 e.g

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	
วันที่รับ.....	17 มี.ค. 2549
เลขทะเบียน.....	4900019
เลขเรียกหนังสือ.....	ป.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๗443	

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2548



ใบรับรองโครงการวิจัย

หัวข้อโครงการ	การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคนิค โฟร์ควอดแรนต์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายนรเทพ	ถิ้มพัฒน์สำราญ	รหัส 45362860
	นางสาวนวรรตน์	พฤกษาวาณิชย์	รหัส 45362886
	นายนิคม	จันดี	รหัส 45362894
	นางสาวมัทนา	เชยโต	รหัส 45363058
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

.....
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
 การศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะกรรมการสอบ โครงการวิจัย

.....ประธานกรรมการ
 (ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ
 (ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
 (ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

หัวข้อโครงการ	การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคนิค ฟูรีควอดแรนต์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายรเทพ	ลิมพัฒน์สำราญ	รหัส 45362860
	นางสาวนวรรตน์	พฤกษาวาณิชย์	รหัส 45362886
	นายนิยม	จันดี	รหัส 45362894
	นางสาวมัทนา	เขยโต	รหัส 45363058
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. สรวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์		
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมโดยใช้เทคนิค ฟูรีควอดแรนต์ ซึ่งเป็นวงจรควบคุมการหมุนและการเบรกของมอเตอร์ โดยสามารถควบคุมการทำงานได้ 4 ควอดแรนต์ คือ การหมุนเดินหน้า การหมุนกลับทิศทาง การเบรกแบบเดินหน้า และการเบรกแบบกลับทิศทาง ซึ่งการทำงานจะอาศัยการป้อนสัญญาณควบคุมให้กับอุปกรณ์สวิตซ์กำลังในวงจรกำลังอย่างเหมาะสม เพื่อให้ทำงานตามต้องการ

ในโครงการนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุมที่ป้อนให้กับวงจร นอกจากนี้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ยังสามารถติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกโหมดการทำงานได้หรือปรับค่าพารามิเตอร์ได้

Project title	Four Quadrant Control of DC Machine		
Name	Mr. Norathep	Limpattanasamran	ID. 45362860
	Miss Nawarat	Phurecksawanich	ID. 45362886
	Mr. Niyom	Jantee	ID. 45362894
	Miss Mattana	Choeito	ID. 45363058
Project advisor	Dr. Somyot	Kiattivanichvilai	
Co-Project advisor	Mr. Sarawut	Wattanawongpitak	
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2005		

.....

ABSTRACT

This project presents a four quadrant control of DC Machine. This techniques com control the operation of motor in motoring and braking mode. Four quadrant composes of first quadrant operation forward motoring ,second quadrant operation forward braking ,third quadrant operation reverse motoring and fourth quadrant operation reverse braking. Each operation mode is controlled by using a control signal and Power Circuit.

In this project ,microcontroller is used as a controller. Not only that, the microcontroller is able to interface to user via computer program which the operating modes can be selected by user and the control parameters are also able to be adjusted.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้ สำเร็จล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและให้คำแนะนำ จาก ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล ที่เป็นผู้เสนอหัวข้อและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรในครั้งนี้ และขอขอบคุณชมรมโรบอทที่ให้ความช่วยเหลือในการเขียน โปรแกรม

ท้ายสุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง ที่คอยดูแล คอยเป็นกำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนในด้านต่างๆมาโดยตลอดในการทำปริญญาบัตรนี้ และขอขอบคุณบุคคลต่างๆที่ไม่ได้กล่าวถึงรวมถึงแหล่งข้อมูลที่เอื้อต่อการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 งบประมาณที่ใช้	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทํางาน	4
2.1 เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์และวงจรถ่วง	4
2.2 อุปกรณ์ถ่วงและวงจรถ่วง	13
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรถ่วงการทํางาน	15
3.1 ระบบการทํางานของวงจรถ่วงการทํางานของมอเตอร์	15
3.2 การออกแบบทางด้านการเขียนโปรแกรม	15
3.3 การออกแบบวงจรถ่วงและวงจรถ่วง	17
3.4 วิธีการทดลอง	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง และทำการทดลอง	21
4.1 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice	21
4.2 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในแต่ละควอดแรนต์	30
บทที่ 5 บทสรุป	37
5.1 สรุปผล	37
5.2 สรุปกราฟเปรียบเทียบการทดลอง โดยใช้โปรแกรม p-spice และการวัดค่าจริงจากมอเตอร์	38
5.3 ประเมินผล	42
5.4 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข	42
5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	56
ประวัติผู้เขียนโครงการ	58



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คาบการทำงานของมอเตอร์ที่ถูกควบคุมโดยสวิตช์ ในวงจร H-Bridge	13
4.1 การตั้งค่า T_1, T_2, T_3, T_4 สำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 3.10 ด้วยโปรแกรม PSpice	22
4.2 การตั้งค่า T_1, T_2, T_3, T_4 สำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 3.14 ด้วยโปรแกรม PSpice	24
4.3 การตั้งค่า T_1, T_2, T_3, T_4 สำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 3.18 ด้วยโปรแกรม PSpice	26
4.4 การตั้งค่า T_1, T_2, T_3, T_4 สำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 3.22 ด้วยโปรแกรม PSpice	28



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพแสดงระบบการทำงานโดยรวม	4
2.2	แสดงวงจรการทำงานของมอเตอร์ แบบ Four Quadrant	5
2.3	ภาคการทำงานแต่ละควอดแรนต์	5
2.4	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_1 และ T_2 นำกระแส	6
2.5	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_1 หยุดนำกระแส T_2 นำกระแส	6
2.6	แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า V_o , I_a , I_s ในควอดแรนต์ที่ 1	7
2.7	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 นำกระแส	7
2.8	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 หยุดนำกระแส	8
2.9	แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า V_o , I_a , I_s ในควอดแรนต์ที่ 2	8
2.10	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_3 และ T_4 นำกระแส	9
2.11	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 หยุดนำกระแส	9
2.12	แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า V_o , I_a , I_s ในควอดแรนต์ที่ 3	10
2.13	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_1 และ T_2 หยุดนำกระแส	11
2.14	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_2 นำกระแส	11
2.15	แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า V_o , I_a , I_s ในควอดแรนต์ที่ 4	12
2.16	วงจร H-Bridge	12
2.17	วงจรสับเบออร์	14
3.1	บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมมอเตอร์	15
3.2	หน้าจอแสดงผลที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์	15
3.3	โพลีชาร์ตแสดงการทำงาน	16
3.4	วงจรขั้วมอเตอร์	17
3.5	การต่อไอซีเบอร์ IR2110 กับมอสเฟต	18
3.6	การต่อไอซีเบอร์ H11L1 และรูปคลื่นสัญญาณ	18
3.7	การต่อวงจรเพื่อขั้วมอสเฟต	19
3.8	วงจรขั้วมอเตอร์	19
3.9	การทดสอบวงจร	20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	วงจร Four Quadrant แบบการหมุนเดินหน้า (First Quadrant)	21
4.2	สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.1	22
4.3	สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.1	22
4.4	สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.1	23
4.5	วงจร Four Quadrant แบบการเบรกแบบเดินหน้า (Second Quadrant)	24
4.6	สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.5	25
4.7	สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.5	25
4.8	สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.5	25
4.9	วงจร Four Quadrant แบบการเบรกแบบเดินหน้า (Third Quadrant)	26
4.10	สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.9	27
4.11	สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.9	27
4.12	สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.9	27
4.13	วงจร Four Quadrant แบบการเบรกแบบกลับทิศทาง (Fourth Quadrant)	28
4.14	สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.13	29
4.15	สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.13	29
4.16	สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.13	29
4.17	กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 1)	30
4.18	กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมตัวต้านทาน (ควอดแรนต์ที่ 1)	30
4.19	กราฟของกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 1)	31
4.20	กราฟของกระแสที่แหล่งจ่าย (ควอดแรนต์ที่ 1)	31
4.21	กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 2)	32
4.22	กราฟของกระแสจากการเบรกโดยใช้เทคนิคไฟร์ควอร์ดแรนต์(ควอดแรนต์ที่ 2)	32
4.23	กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์(ควอดแรนต์ที่ 3)	33
4.24	กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมตัวต้านทาน (ควอดแรนต์ที่ 3)	33
4.25	กราฟของกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 3)	34
4.26	กราฟของกระแสที่แหล่งจ่าย (ควอดแรนต์ที่ 3)	34
4.27	กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดระหว่างอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 4)	35
4.28	กราฟของกระแสจากการเบรกโดยใช้เทคนิคไฟร์ควอร์ดแรนต์(ควอดแรนต์ที่ 4)	35

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.1	แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง	38
5.2	แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง	38
5.3	แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง	39
5.4	แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง	39
5.5	แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง	40
5.6	แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง	40
5.7	แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง	41
5.8	แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง	41



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันโลกกำลังพัฒนาเข้าสู่ยุคเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า อุตสาหกรรมจึงได้เข้ามามีบทบาทต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ในด้านการผลิตเครื่องจักรกลเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการลดต้นทุนในการจ้างแรงงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

มอเตอร์หรือเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรกลที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม และยังมี การพัฒนาไปใช้ในงานต่างๆ อาทิเช่น พัดลม เครื่องปั่นไฟ รถไฟฟ้า เป็นต้น ฯลฯ

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ระบบที่นิยมใช้ในการควบคุม มอเตอร์ คือระบบโฟร์ควอดแรนต์ (Four Quadrant) ในการตัดสินใจเลือกใช้ระบบควบคุมมักมี องค์ประกอบหลายๆด้านที่ต้องคำนึงถึง ทั้งนี้เพื่อสะดวกที่จะนำมาใช้ควบคุม ความทันสมัยตลอดจน เพื่อความเหมาะสมกับงานนั้นๆ มอเตอร์กระแสตรงเป็นมอเตอร์ให้แรงบิดเริ่มต้นสูง สร้างแรงบิด ทำงานสูง และควบคุมง่าย อย่างไรก็ตามการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมยัง เป็นปัญหาที่ต้องการการพัฒนา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ประยุกต์ใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ในการควบคุมมอเตอร์
- 1.2.2 จำลองการทำงานของระบบควบคุมแบบโฟร์ควอดแรนต์ด้วยโปรแกรมพี-สไปซ์ (Pspice)
- 1.2.3 ศึกษาและทดลองการเบรกแบบคืนพลังงานของมอเตอร์

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงพิกัด 24V 1A
- 1.3.2 สร้างโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์ให้สามารถหมุนเดินหน้า หมุนกลับทิศทาง เบรก แบบเดินหน้า และเบรกแบบกลับทิศทาง ตามทิศทางที่ต้องการ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคไฟร์ควอดแรนต์ ในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง
- 1.6.2 สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

1.7 งบประมาณ

- 1.7.1 ค่าถ่ายเอกสารและค่าเช่าเล่ม
- 1.7.2 ค่าหนังสือข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมต่างๆที่ใช้ในการทำโครงการ
- 1.7.3 ค่าหมึกพิมพ์
- 1.7.4 อื่นๆ เช่น มอเตอร์ วงจรขับ ไอซี มอสเฟต
รวมเป็นเงิน 4,000 บาท (สี่พันบาทถ้วน)



บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการทำงาน

ระบบควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ใช้เทคนิคฟรீควอดเรนต์เป็นระบบหนึ่งที่มีคุณลักษณะเฉพาะตัว ระบบนี้สามารถควบคุมการทำงานได้หลายโหมด สามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนเดินหน้า หมุนกลับทิศทาง เบรกแบบด้านหน้า และเบรกแบบกลับทิศทาง การควบคุมการทำงานของแต่ละ โหมดอาจทำได้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมสัญญาณพัลส์ที่เหมาะสมเพื่อให้มอเตอร์ ทำงานตามต้องการ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีหลายประการ เช่น ให้แรงบิดออกตัว (starting torque) สูง สามารถควบคุมอัตราเร็วในย่านที่กว้างกว่าการควบคุมแบบอื่น และมีต้นทุนต่ำกว่า การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

จากคุณสมบัติของการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้เทคนิคฟรี้ควอดเรนต์ ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานได้หลายรูปแบบ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก โครงการนี้จึงประยุกต์ใช้เทคนิคฟรี้ควอดเรนต์ ในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเพื่อที่สามารถนำ มอเตอร์ไปใช้ในงานได้ในอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง

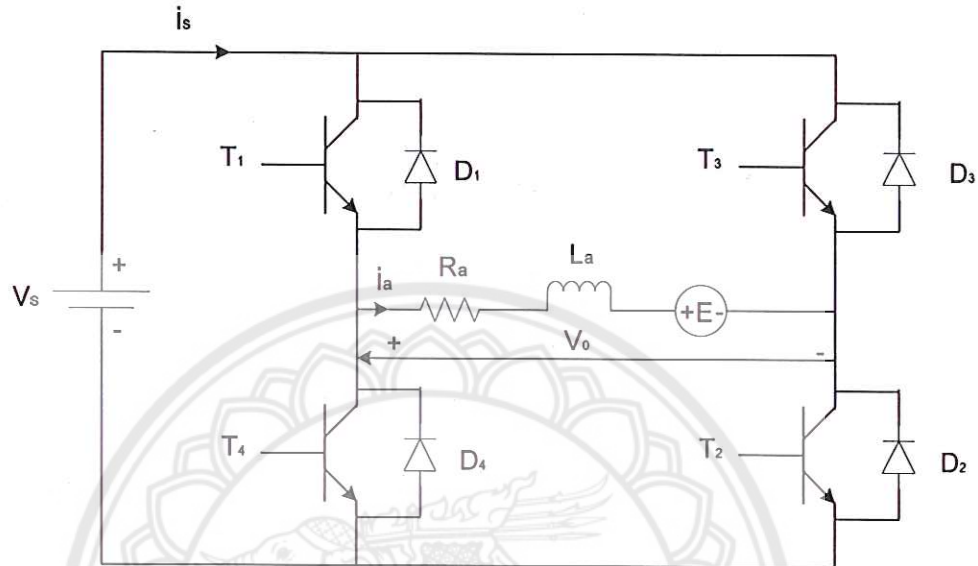


รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงระบบการทำงานโดยรวม

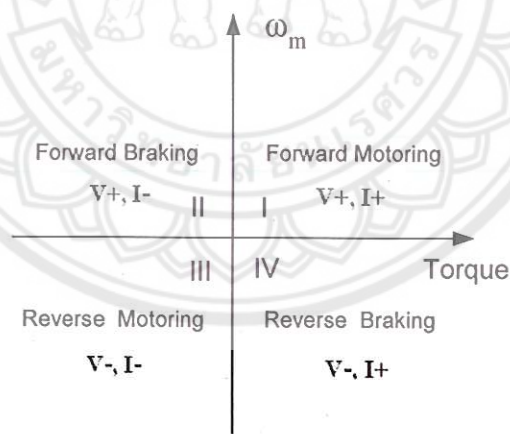
2.1 เทคนิคฟรี้ควอดเรนต์และวงจรกำลัง

เทคนิคฟรี้ควอดเรนต์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ทำให้มอเตอร์ สามารถทำงานได้ 4 โหมด คือ มอเตอร์หมุนเดินหน้า (forward motoring) การเบรกแบบเดินหน้า (forward braking) มอเตอร์หมุนกลับ ทิศทาง (reverse motoring) และการเบรกแบบกลับทิศทาง (reverse braking) โดยการควบคุมการทำงาน ของสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 4 ตัว ดังรูปที่ 2.2 เพื่อให้ทำงานตามที่ต้องการ

การควบคุมการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังให้ทำงานโดยการป้อนสัญญาณพัลส์ เพื่อให้ทำงานตามที่ต้องการ โดยการทำงานแต่ละควอดแรนต์ สัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้แก่สวิตช์แต่ละตัว จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการว่าจะให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานแบบใด



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรการทำงานของมอเตอร์ แบบ Four-Quadrant



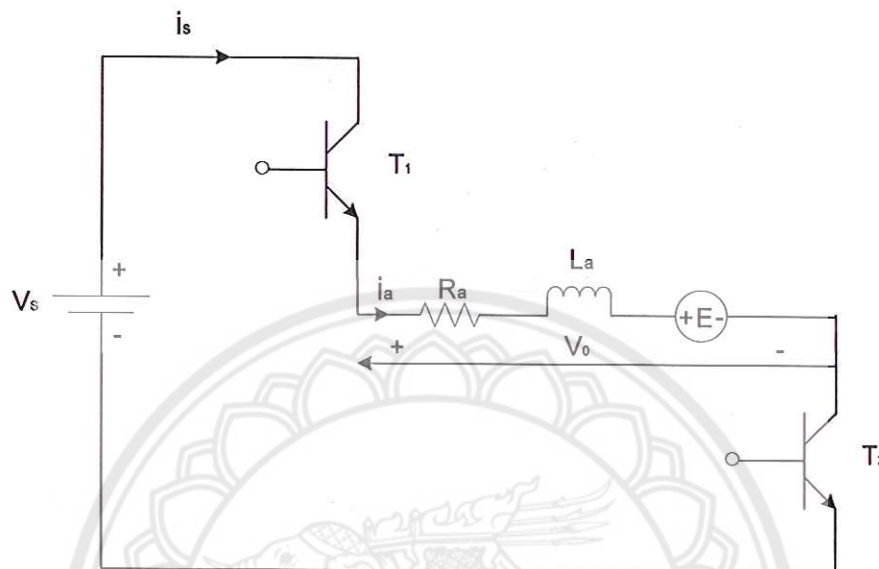
รูปที่ 2.3 ภาควงการทำงานแต่ละควอดแรนต์

2.1.1 การทำงานของควอดแรนต์ที่ 1 (มอเตอร์หมุนเดินหน้า)

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 ค่าของแรงดันเอาต์พุต (V_o) และกระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) จะมีค่าเป็นบวก สำหรับแรงบิด และอัตราเร็ว ก็จะมีค่าเป็นบวก ดังนั้นมอเตอร์จะทำงานเป็นมอเตอร์จ่ายพลังงานทางกล และการทำงานในควอดแรนต์นี้เรียกว่า “มอเตอร์หมุนเดินหน้า”

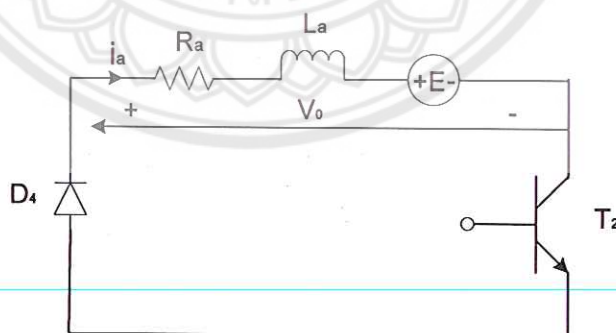
หลักการทํางาน

ซึ่งจากวงจรรูปที่ 2.2 กำหนดให้ T_1 และ T_2 นำกระแสพร้อมกัน ค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นบวก และมีขนาดเท่ากับแหล่งจ่ายแรงดัน (โดยใช้สัญญาณพัลส์เป็นตัวควบคุม) เมื่อกำหนดสัญญาณพัลส์ให้ T_1 และ T_2 นำกระแสพร้อมกัน กระแสจะไหลผ่าน T_1 และ T_2 ดังรูปที่ 2.4



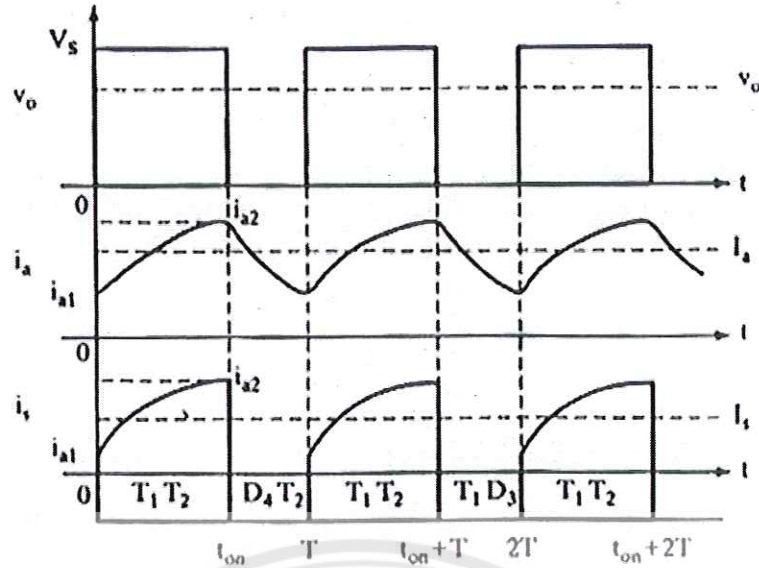
รูปที่ 2.4 แสดงการทํางานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ให้ T_1 และ T_2 นำกระแส

กำหนดให้ T_1 หรือ T_2 หยุดนำกระแส สมมติให้ T_1 หยุดนำกระแส กระแสจะไหลผ่าน T_2 และ ไดโอด D_4 เพื่อคายพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทิศทางของกระแสที่ไหลยังคงเป็นทิศทางเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการทํางานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ให้ T_1 หยุดนำกระแส และ T_2 นำกระแส

เมื่อให้ T_1 นำกระแสอีกครั้ง การไหลของกระแสจะเป็นดังรูปที่ 2.4 และเมื่อให้ T_1 นำกระแส และหยุดนำกระแสสลับกันไปเรื่อยๆ โดยให้ T_2 นำกระแสตลอด จะได้ค่าของแรงดันเอาต์พุต กระแสอาร์เมเจอร์ และกระแสที่แหล่งจ่าย เป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า V_o , I_a , I_s ในควอดแรนต์ที่ 1 (ที่มา ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysys ,and Control : หน้าที่ 128)

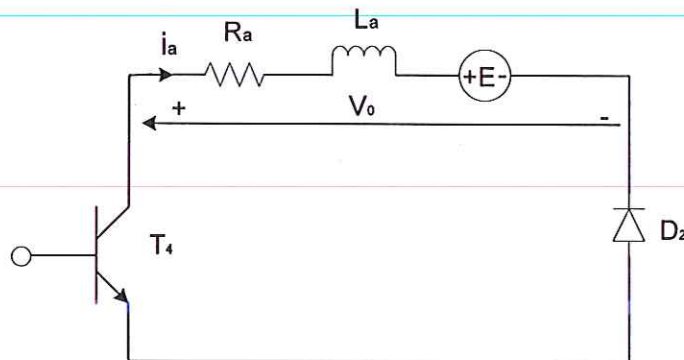
จากรูปที่ 2.6 ค่ากระแสและค่าแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเป็นบวก มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดินหน้า ซึ่งเป็นการทำงานในควอดแรนต์ที่ 1

2.1.2 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 (การเบรกแบบเดินหน้า)

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 ค่าของแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเป็นบวก กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเป็นลบ สำหรับการหมุนจะหมุนแบบเดินหน้าแต่แรงบิดมีค่าเป็นลบ ดังนั้นการทำงานในควอดแรนต์ นี้ เรียกว่า “ การเบรกแบบเดินหน้า ”

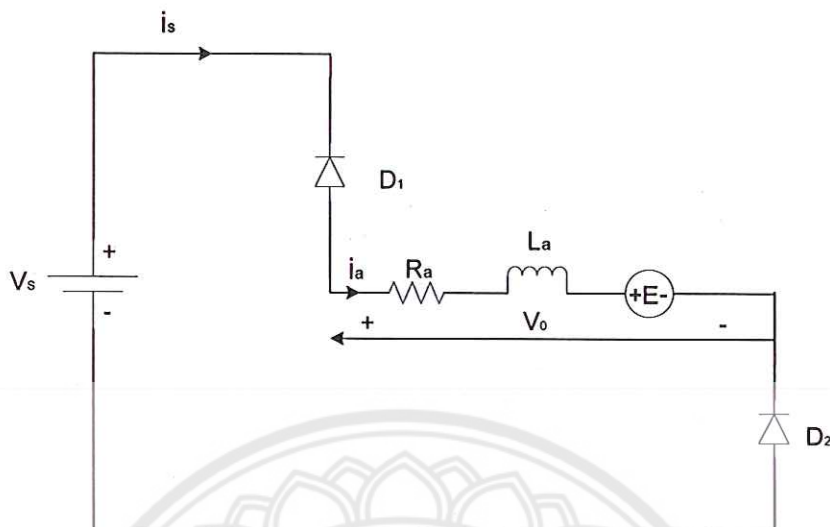
หลักการทํางาน

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 นี้จะทำงานต่อเนื่องจากการทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 กระแสจะไหลออกจากแหล่งจ่ายมายังโหลด จากนั้นกำหนดให้ T_1 และ T_2 หยุดนำกระแส แล้วให้ T_4 หรือ T_3 สมมุติให้ T_4 นำกระแส ทิศทางการไหลของกระแสจะมีทิศทางตรงข้าม (เป็นลบ) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.7



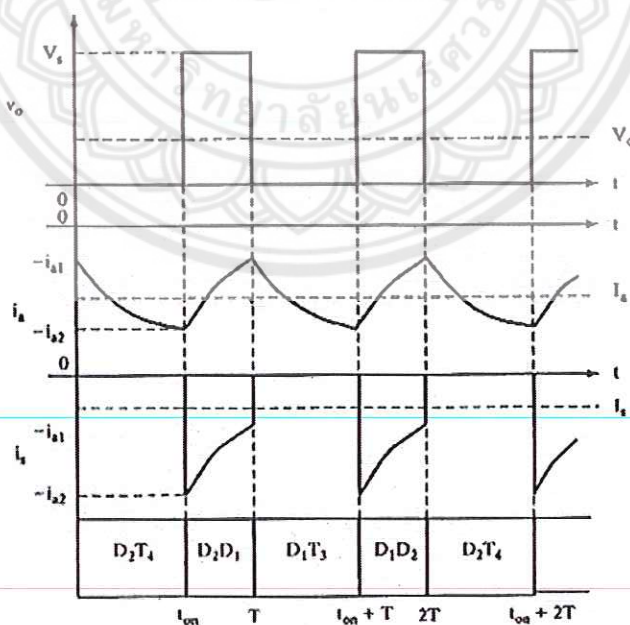
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 นำกระแส

เมื่อกระแสในวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นค่าหนึ่ง T_4 จะหยุดนำกระแสไดโอด D_1 จะได้รับการไบแอสไปข้างหน้า และกระแสจะไหลจากโหลดไปแหล่งจ่าย โดยผ่านทางไดโอด D_2 ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 หยุดนำกระแส

และเมื่อ T_4 นำกระแสกระแสจะมีค่าลดลง และเมื่อ T_4 หยุดนำกระแส กระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้น กระแสจะไหลจากโหลดไปแหล่งจ่าย จะได้รูปค่าของแรงดันเอาต์พุต กระแสอาร์เมเจอร์ และกระแสที่แหล่งจ่าย เป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า V_o , I_a , I_s ในควอดแรนต์ที่ 2 (ที่มาจาก ELECTRIC MOTOR

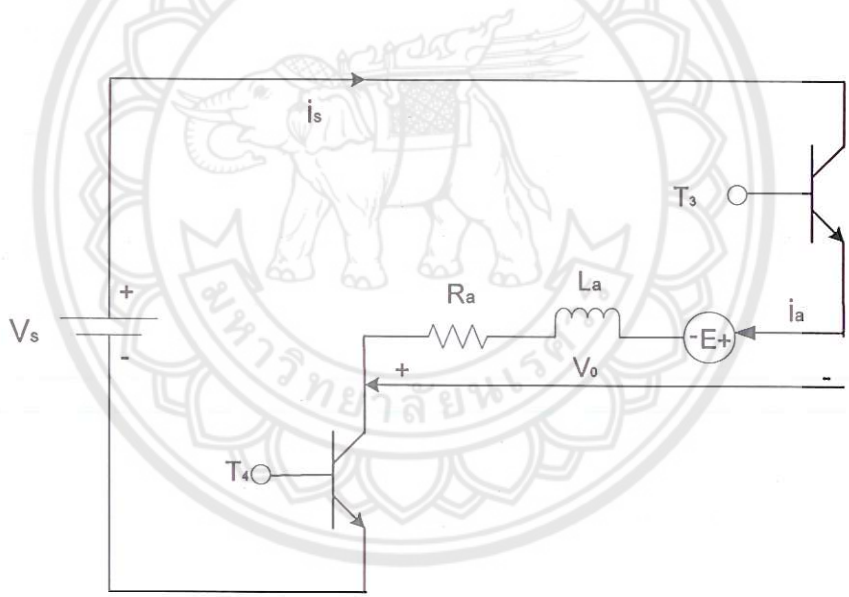
จากรูปที่ 2.9 ค่ากระแสมาเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเป็นบวก มอเตอร์จะเบรกแบบเดินหน้า ซึ่งเป็นการทำงานในควอดแรนต์ที่ 2

2.1.3 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 (มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง)

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 ค่าของแรงดันเอาต์พุต (V_o) และกระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) จะมีค่าเป็นลบ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับจะกลับทิศทาง ($-E$) สำหรับแรงบิด และอัตราเร็ว จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้น มอเตอร์จะทำงานจ่ายพลังงานทางกล และการทำงานในควอดแรนต์ นี้เรียกว่า “ มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง ”

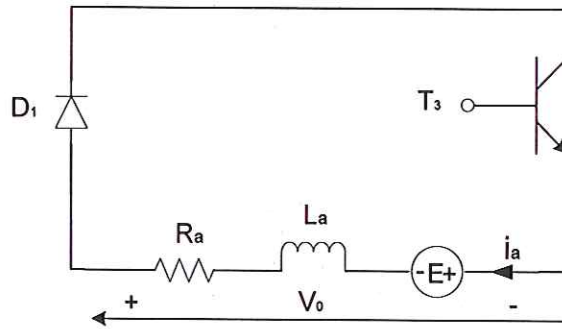
หลักการทํางาน

กำหนดให้ T_3 และ T_4 นำกระแสพร้อมกัน ค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นลบ และมีขนาดเท่ากับแหล่งจ่ายแรงดัน กระแสจะไหลผ่าน T_3 และ T_4 ดังรูปที่ 2.10



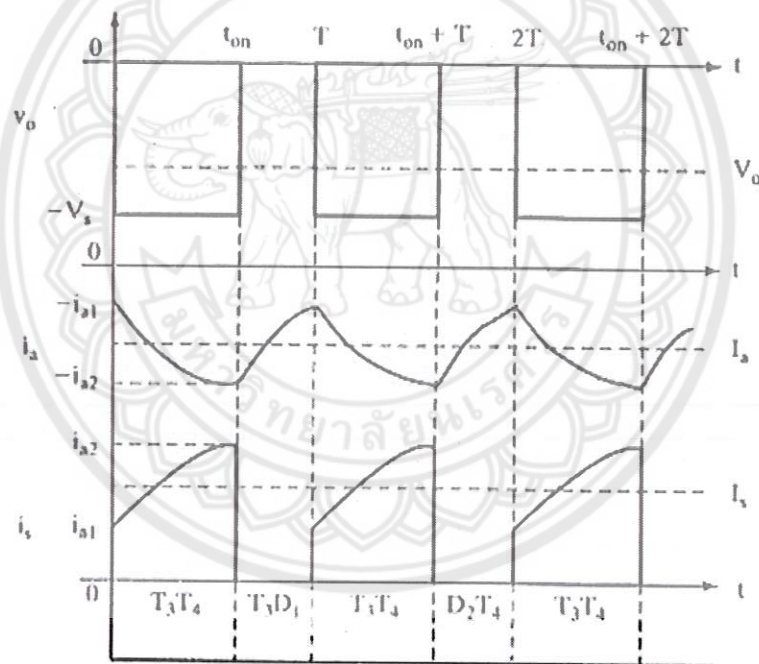
รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_3 และ T_4 นำกระแส

กำหนดให้ T_3 หรือ T_4 หยุดนำกระแส สมมุติให้ T_4 หยุดนำกระแส กระแสจะไหลผ่าน T_3 และ ไดโอด D_1 เพื่อคายพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทิศทางการไหลของกระแส แสดงไว้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 หยุดนำกระแส

เมื่อให้ T_4 นำกระแสอีกครั้ง การไหลของกระแสจะเป็นดังรูปที่ 2.10 และเมื่อให้ T_4 นำกระแส และหยุดนำกระแสสลับกันไปเรื่อยๆ โดยให้ T_2 นำกระแสตลอด จะได้ค่าของแรงดันเอาต์พุต กระแสอาร์มเจอร์ และกระแสที่แหล่งจ่าย เป็นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า V_o , I_a , I_s ในควอดแรนต์ที่ 3 (ที่มา ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysys ,and Control : หน้าที่ 131)

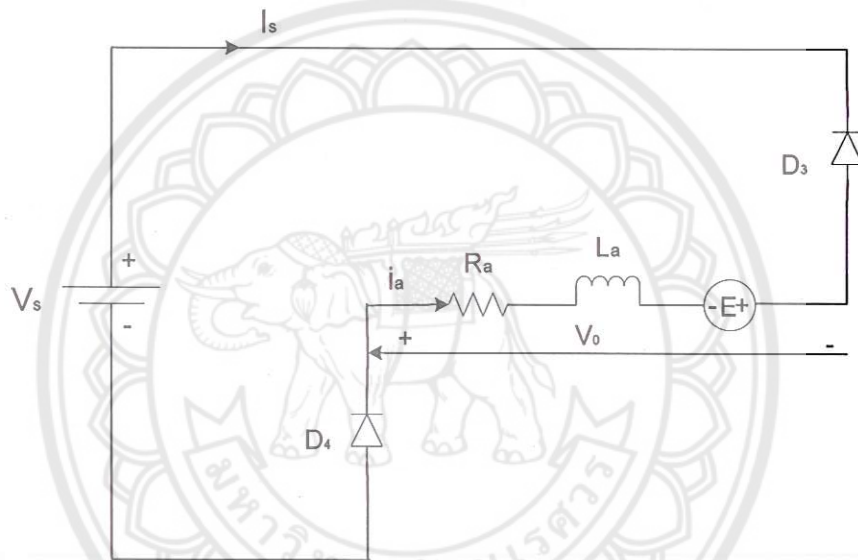
จากรูปที่ 2.12 ค่ากระแสและค่าแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเป็นลบ มอเตอร์จะหมุน กลับทิศทาง ซึ่งเป็นการทำงานในควอดแรนต์ที่ 3

2.1.4 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 (การเบรกแบบกลับทิศทาง)

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นลบ กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเป็นบวก แรงดันไฟฟ้าต้านกลับจะกลับทิศทาง (-E) สำหรับการหมุนจะหมุนกลับทิศทางแต่แรงบิดมีค่าเป็นบวก ดังนั้นการทำงานในควอดแรนต์นี้เรียกว่า “การเบรกแบบกลับทิศทาง”

หลักการทำงาน

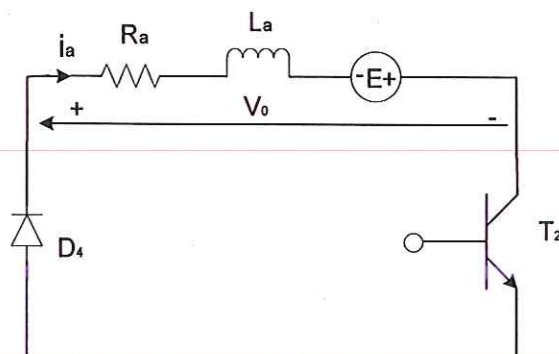
การทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 นี้จะทำงานต่อเนื่องจากการทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 กำหนดให้ T_1 หรือ T_2 นำกระแส สมมติให้ T_2 นำกระแส จากนั้นให้ T_2 หยุดนำกระแส ไดโอด D_3 จะได้รับการไบแอสไปข้างหน้า และกระแสจะไหลจากโหลดไปแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 2.13



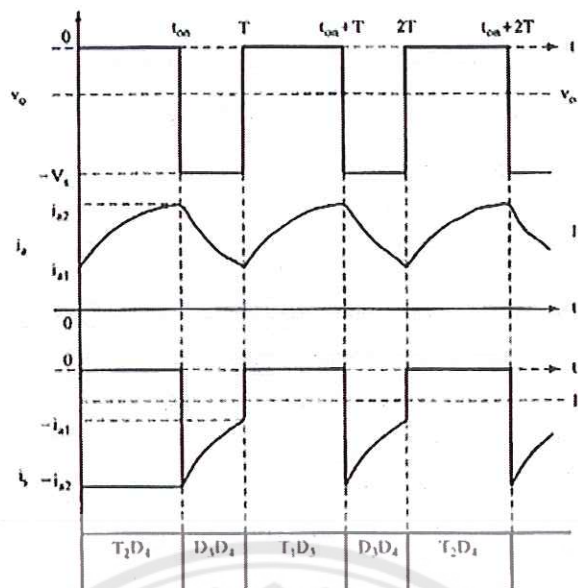
รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_1 และ T_2 หยุดนำกระแส

และเมื่อกระแสในวงจรมีค่าลดลง T_2 จะเริ่มนำกระแสอีกครั้ง กระแสจะไหลผ่าน T_2 และ ไดโอด D_4 ดังรูปที่ 2.14 เมื่อกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นค่าหนึ่ง T_2 จะหยุดนำกระแส กระแสจะไหลจากโหลดไปแหล่งจ่าย จะได้รูปค่าของแรงดันเอาต์พุต กระแสอาร์เมเจอร์ และกระแสที่แหล่งจ่าย เป็นดังรูปที่

2.15



รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_2 นำกระแส



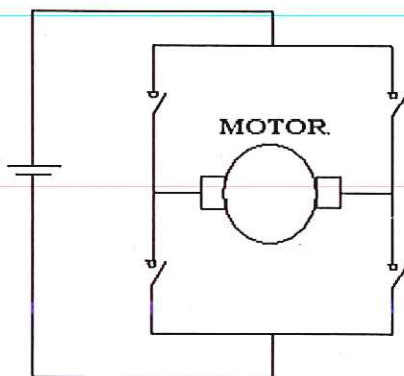
รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า V_o , I_a , I_s ในควอดแรนต์ที่ 4 (ที่มา ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysys ,and Control : หน้าที่ 129)

จากรูปที่ 2.15 ค่ากระแสมีค่าเป็นบวกและค่าแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเป็นลบ มอเตอร์จะเบรกแบบกลับทิศทาง ซึ่งเป็นการทำงานในควอดแรนต์ที่ 4

2.1.5 H-Bridge

วงจร H-Bridge บางครั้งเรียกว่า Full -Bridge ที่ถูกเรียกว่า H-Bridge ซึ่งมีลักษณะการวางสวิตช์ 4 ตัว อยู่ที่มุมคล้ายตัวอักษร H และจะมีมอเตอร์เชื่อมระหว่างแถบของตัว H รูปของ H-Bridge ได้ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 2.16

การทำงานของ H-Bridge จะต้องทำงานเป็นคู่ คือสวิตช์บนซ้ายและล่างขวา หรือสวิตช์บนขวาและล่างซ้าย แต่สวิตช์ในสาขาเดียวกันจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ หากนำกระแสพร้อมกันจะเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบในแบตเตอรี่ ถ้าวงจรมีการทำงานที่ถูกต้องมันจะให้กระแสไหลผ่านได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.16 วงจร H-Bridge

จากรูปการทำงานของมอเตอร์ สวิตช์คู่ใดคู่หนึ่งในแนวทแยงมุมทำงานพร้อมกัน อาทิเช่น สวิตช์บนซ้ายและล่างขวานำกระแสจะทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางเดินหน้า แต่ถ้าสวิตช์บนขวาและล่างซ้ายนำกระแสแทน การไหลเวียนของกระแสจะกลับทิศ และมอเตอร์จะหมุนในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงการทำงานตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คาบการทำงานของมอเตอร์ที่ถูกควบคุมโดยสวิตช์ ในวงจร H-Bridge

สวิตช์บนซ้าย	สวิตช์บนขวา	สวิตช์ล่างซ้าย	สวิตช์ล่างขวา	คำอธิบายควอดแรนต์
ON	OFF	OFF	ON	มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา
OFF	ON	ON	OFF	มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา
ON	ON	OFF	OFF	มอเตอร์เบรกหน้าและทำให้ช้าลง
OFF	OFF	ON	ON	มอเตอร์เบรกหลังและทำให้ช้าลง

2.2 อุปกรณ์กำลังและวงจรเสริม

ในโครงการนี้ใช้ MOSFET เป็นอุปกรณ์กำลังซึ่ง MOSFET เป็นคำที่ย่อมาจาก Metal-Oxide Semi-conductor Field-Effect Transistor มอสเฟตเป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าของสนามไฟฟ้าจากเกตควบคุม

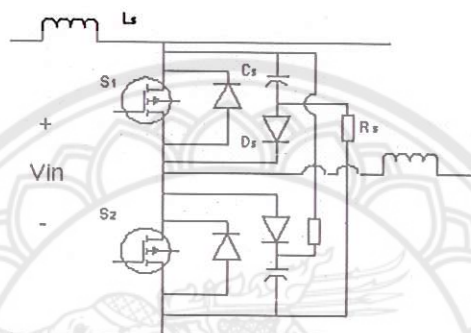
ในการประยุกต์ใช้งานขับเคลื่อน มอสเฟตจะเป็นเหมือนกับสวิตช์ หากมีการจ่ายแรงดันอย่างเพียงพอให้กับ V_{GS} (ประมาณ 10 V) การทำงานจะอยู่ในย่านของความต้านทานคงที่ซึ่งสอดคล้องกับย่านอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์กำลัง การทำงานในย่านดังกล่าวนี้ ถือว่าเป็นการทำงาน และการให้ V_{GS} เป็นศูนย์กลางจะเกิดการลัดวงจรระหว่างขาเกต (G) และซอส (S) จะทำให้ V_{GS} ต่ำกว่าค่าแรงดันเริ่มต้นการทำงานของมอสเฟต และเป็นการหยุดการทำงาน

ความแตกต่างประการหนึ่งในการสั่งงานหรือควบคุมระหว่างทรานซิสเตอร์และมอสเฟตกำลังคือ ทรานซิสเตอร์จะใช้กระแสในการควบคุมการทำงาน ส่วนมอสเฟตจะใช้แรงดัน นอกจากนั้นขาเกตจะถูกแยกออกจากซอสด้วยชั้นของซิลิคอนออกไซด์ จึงทำให้วงจรกเกตของมอสเฟตมีค่าความต้านทานที่สูงมาก ส่งผลให้เกนของกำลังมีค่าที่สูงตามไปด้วย ข้อได้เปรียบของมอสเฟตเมื่อเทียบกับทรานซิสเตอร์ได้แก่

1. การสูญเสียเนื่องจากสวิตช์ต่ำกว่า
2. วงจรขับนำเรียบง่ายและราคาถูก
3. ความน่าเชื่อถือดีกว่า ราบเรียบกว่า และมีเสถียรภาพในเรื่องของอุณหภูมิ
4. ความสามารถในการทนยอดกระแส (peak current) สูงๆได้ และความเร็วในการสวิตช์สูงกว่า ส่วนข้อเสียมีเพียงอย่างเดียวคือแรงดันตกคร่อมภายในสูง

2.2.1 วงจรสับเบอร์ (Snubber Circuit)

เป็นวงจรป้องกันมอสเฟต การออกแบบวงจรสับเบอร์ต้องดูพิกัดของมอสเฟตที่ต้องการป้องกัน เนื่องจากการใช้งานมอสเฟตมักใช้ที่ความเร็วการสวิตช์สูง ซึ่งจะเกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ $V = C(di/dt)$ หรือ $V = L(dV/dt)$ ซึ่งถ้าแรงดันนี้สูงเกินพิกัดของอุปกรณ์ที่เราใช้จะทำให้อุปกรณ์พัง ในมอเตอร์ที่มีค่าตัวเหนี่ยวนำสูง เมื่อเรามีการสับปิด-เปิดสวิตช์ $V = L(dV/dt)$ จะสูงมาก วิธีการง่ายสุดในการแก้ปัญหานี้ คือ ต่อตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุ คร่อมอุปกรณ์สวิตช์ เพื่อหน่วงแรงดัน วงจรที่ต่อคร่อมเข้าไปกับอุปกรณ์สวิตช์ นี้เรียกว่า “วงจรสับเบอร์”



รูปที่ 2.17 วงจรสับเบอร์

อย่างไรก็ตามการต่อวงจรสับเบอร์อย่างเดียวอาจไม่สามารถป้องกันได้สมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรต่อซีเนอร์ไดโอด หรือวาริสเตอร์ ที่ด้านขาออกของอุปกรณ์สวิตช์กับกราวด์

ในการใช้งานมอเตอร์กระแสตรง กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ในขณะที่หยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตช์มอเตอร์จะไม่หยุดหมุนทันที และจะหยุดนำกระแสทันทีไม่ได้เนื่องจาก โหลดของตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้น จึงต้องมีการต่อ ไดโอดเพื่อให้มีทางเดินกระแสไฟฟ้าเรียกว่า “freewheeling diode”

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการศึกษ ทฤษฎีและหลักการทำงานของการควบคุมมอเตอร์ในแต่ละควอดแรนต์ และมีการกล่าวถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญบางอย่างที่ใช้ในวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยใช้เทคนิคไฟร์ควอดแรนต์นี้ ซึ่งจากการศึกษาในบทนี้แล้วก็จะนำทฤษฎีและหลักการทำงานไปทดลองจริง และมีการบันทึกผลการทดลองจริงที่ได้เปรียบเทียบกับทฤษฎี โดยรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างวงจรควบคุมการทำงาน

จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการงานที่ผ่านมาในบทที่แล้ว ในบทนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตามทฤษฎี แล้วก็นำไปทดลองขับมอเตอร์จริง

3.1 ระบบการทำงานของวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์

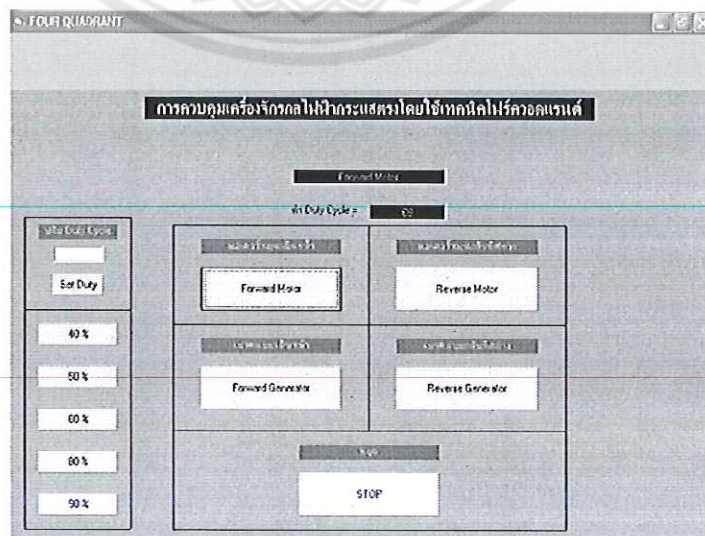
วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นประกอบด้วยส่วนต่างๆ โดยการทำงานนั้นสามารถอธิบายได้อย่างกว้างๆ ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์



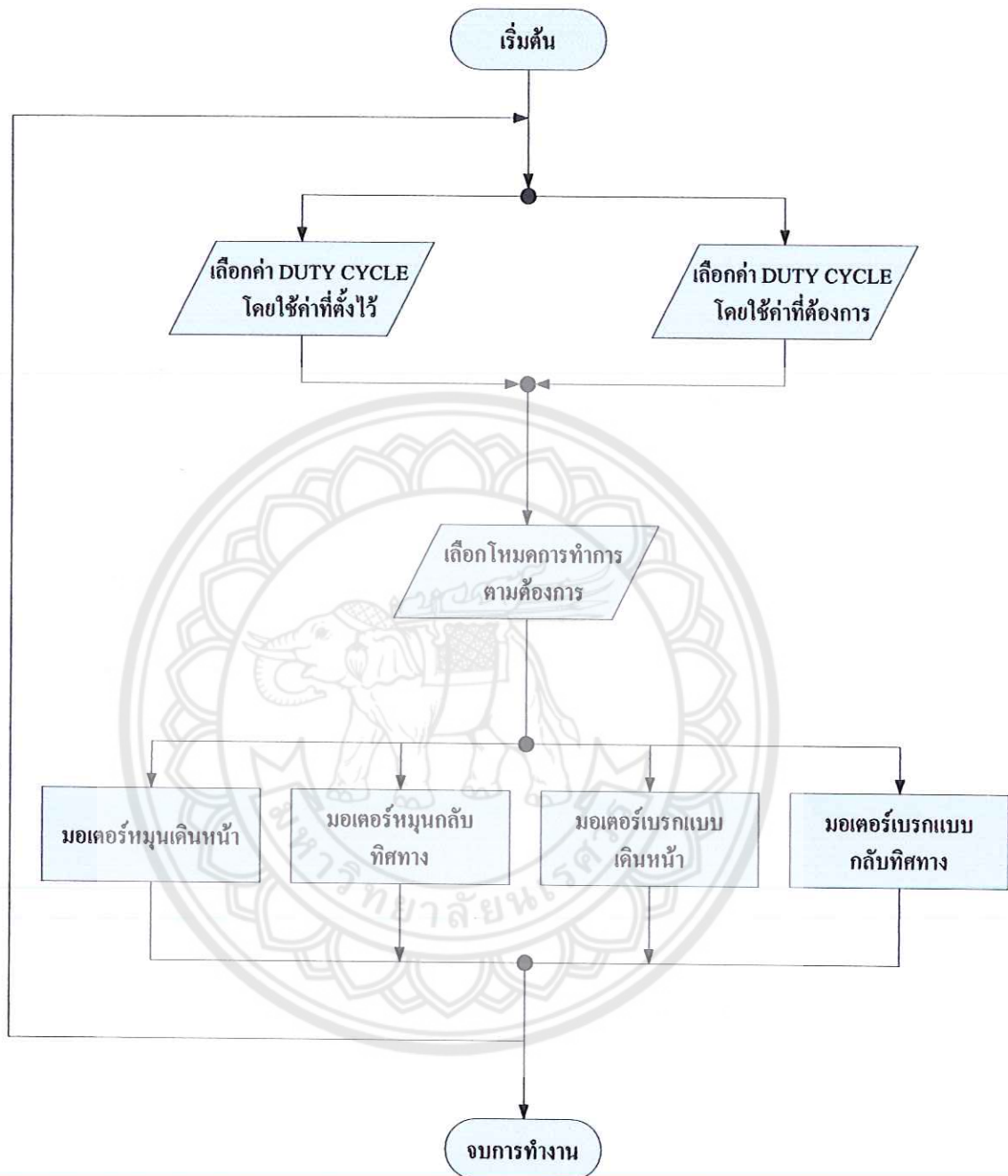
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมมอเตอร์

3.2 การออกแบบทางด้านการเขียนโปรแกรม

การเขียน โปรแกรมโดยทำการรับค่าจากคีย์บอร์ดแล้วเอาค่าที่ออกทางพอร์ตขนานเพื่อใช้ในการควบคุมติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถดูโปรแกรมควบคุมการทำงานที่ภาคผนวก ก



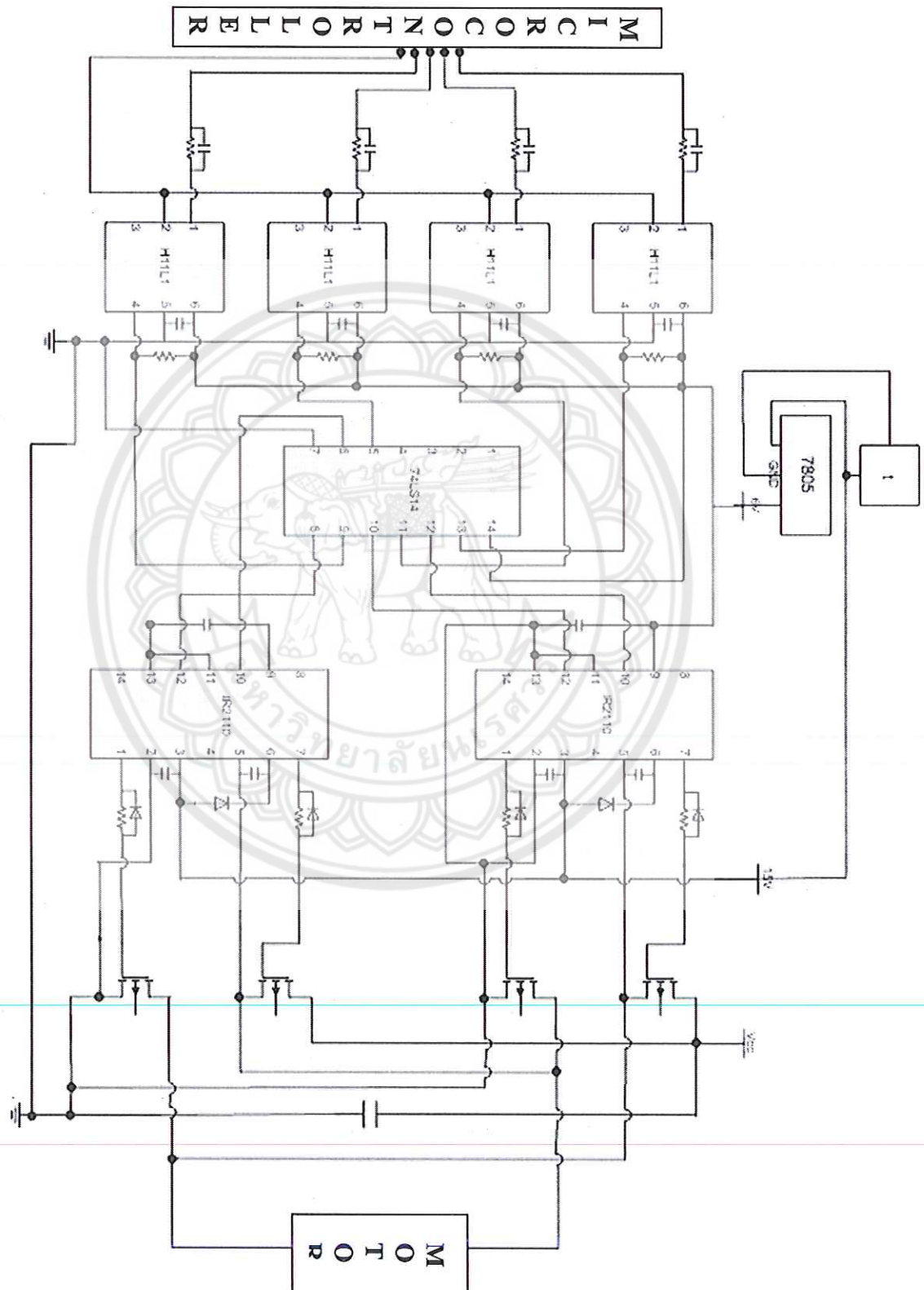
รูปที่ 3.2 หน้าจอแสดงผลที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 3.3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงาน

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมและวงจรกำลัง

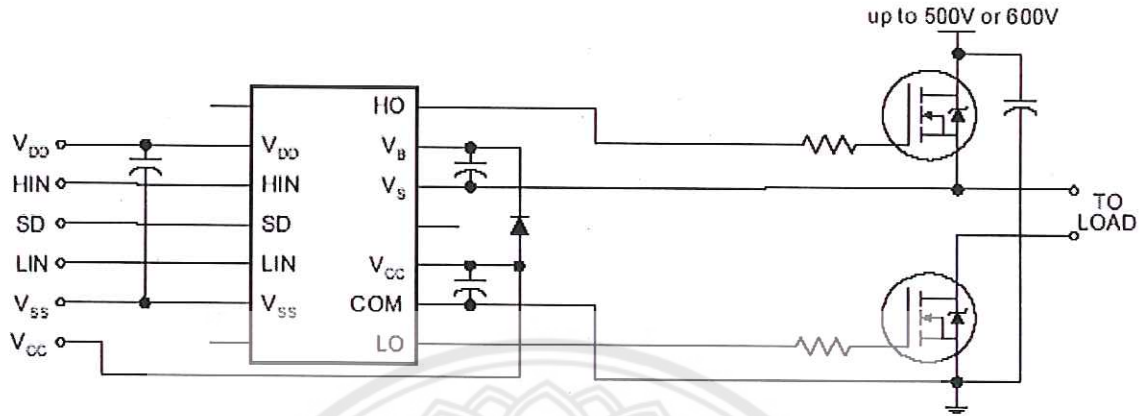
ในวงจรที่ใช้ในโครงการนี้เป็นวงจรที่ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์ และใช้ไอซีเบอร์ IR2110 เป็นตัวขับมอสเฟต โดยวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์เป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรขับมอเตอร์

3.3.1 การต่อไอซีเบอร์ IR2110 กับวงจร

IR2110 เป็นไอซีที่ใช้ขับมอเตอร์ ซึ่งสามารถขับมอเตอร์ได้สองตัว และจะต้องต่ออุปกรณ์กำลังดังรูปที่ 3.5 จึงจะสามารถขับมอเตอร์ได้



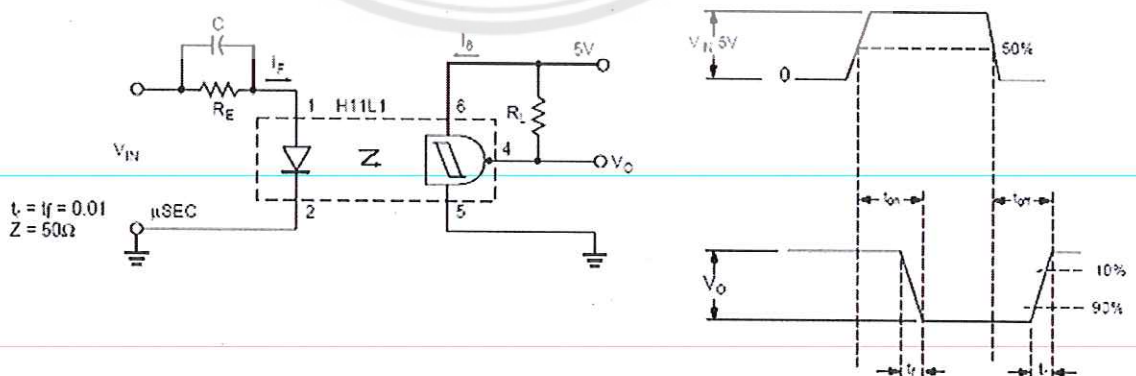
รูปที่ 3.5 การต่อ ไอซีเบอร์ IR2110 กับมอเตอร์

3.3.2 การต่อมอเตอร์เบอร์ IRFP450 กับวงจร

มอเตอร์เบอร์ IRFP450 เป็นมอเตอร์ชนิด N channel ซึ่งสามารถทนแรงดัน ได้ 500โวลต์ และทนกระแสได้ 14 แอมแปร์

3.3.3 การต่อไอซีเบอร์ H11L1 กับวงจร

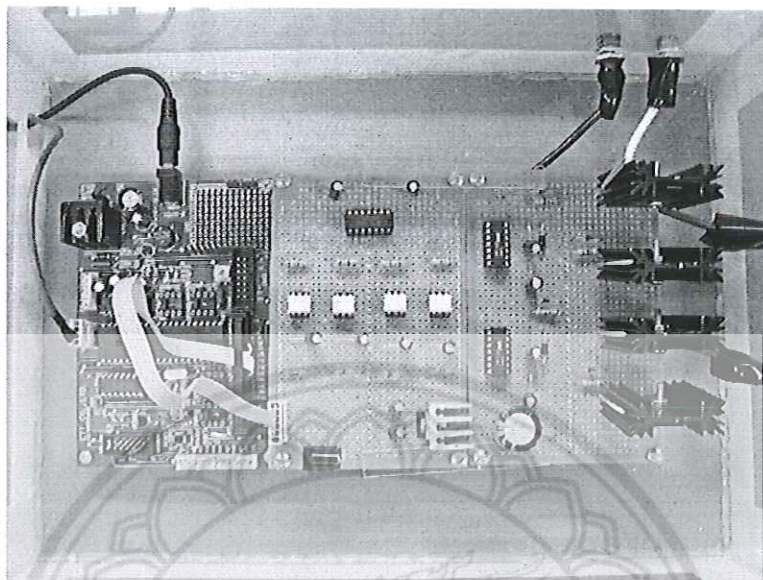
ในโครงการนี้ใช้ไอซีเบอร์ H11L1 ในการป้องกันการลัดวงจร ซึ่งแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากไอซี H11L1 จะมีการกลับสัญญาณดังรูปที่ 3.6 ดังนั้นจะต้องต่อ Inverting เพื่อกลับสัญญาณ



รูปที่ 3.6 การต่อ ไอซีเบอร์ H11L1 และรูปคลื่นสัญญาณ

3.4 วิธีการทดลอง

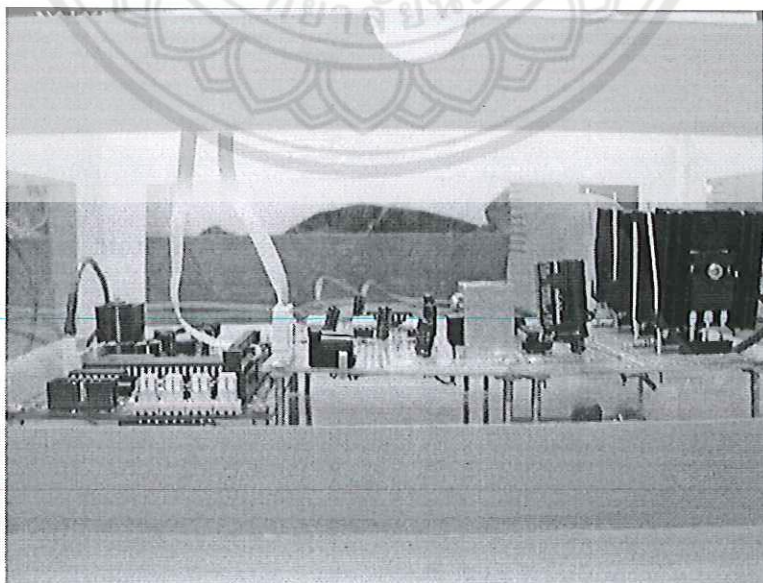
3.4.1 ต่อวงจรเพื่อทำการจับมอสเฟต



รูปที่ 3.7 การต่อวงจรเพื่อจับมอสเฟต

3.4.2 เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ไปควบคุมการทำงานของมอสเฟต

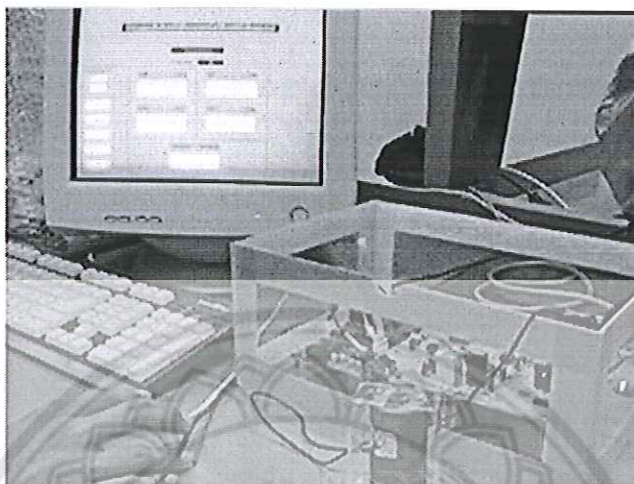
3.4.3 ต่อวงจรเพื่อทำการจับมอเตอร์



รูปที่ 3.8 วงจรจับมอเตอร์

3.4.4 เขียนโปรแกรมในการควบคุมมอเตอร์

3.4.5 ทำการทดสอบโปรแกรมกับวงจรขั้วมอเตอร์



รูปที่ 3.9 การทดสอบวงจร

3.4.6 บันทึกผลการทดลอง

เมื่อทำตามขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอนแล้ว จึงนำผลการทดลองที่ได้มาบันทึกผลและเปรียบเทียบตามทฤษฎี

3.4.7 ต่อวงจรขั้วมอเตอร์ที่ใช้งานจริง

การต่อวงจรมอเตอร์ที่ใช้งานจริง ซึ่งสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ข

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยในส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงาน ได้เริ่มจากการเขียนไฟล์ชาร์ตแสดงการทำงานของมอเตอร์ และเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยแบ่งเป็น 4 ควบคุมแรนด์ คือ มอเตอร์หมุนเดินหน้า การเบรคแบบเดินหน้า มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง และการเบรคแบบกลับทิศทาง โดยได้ออกแบบให้โปรแกรมรับค่า Duty Cycle ทางคีย์บอร์ด

และในส่วนของวงจรขั้วมอเตอร์ได้เริ่มทำการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรขั้วมอเตอร์ จากนั้นนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังต่างๆ มาประกอบรวมกันเป็นวงจรขั้วมอเตอร์ แล้วนำวงจรขั้วมอเตอร์นี้ไปทดลองขั้วมอเตอร์จริง ซึ่งจะได้ผลการทดลองที่จะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิธีการทดลอง

ในการศึกษาการทำงานของมอเตอร์นั้น ถ้าศึกษากับมอเตอร์จริงโดยตลอดก็จะเกิดความยุ่งยาก จึงได้เริ่มทำการศึกษาการควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม P-Spice ก่อน ซึ่งสามารถจำลองการทำงานของมอเตอร์ได้ ทำให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์ค่าผลลัพธ์ให้เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามา และในบทนี้จะมีการบันทึกผลการทดลองที่วัดค่าได้จริงจากการควบคุมมอเตอร์

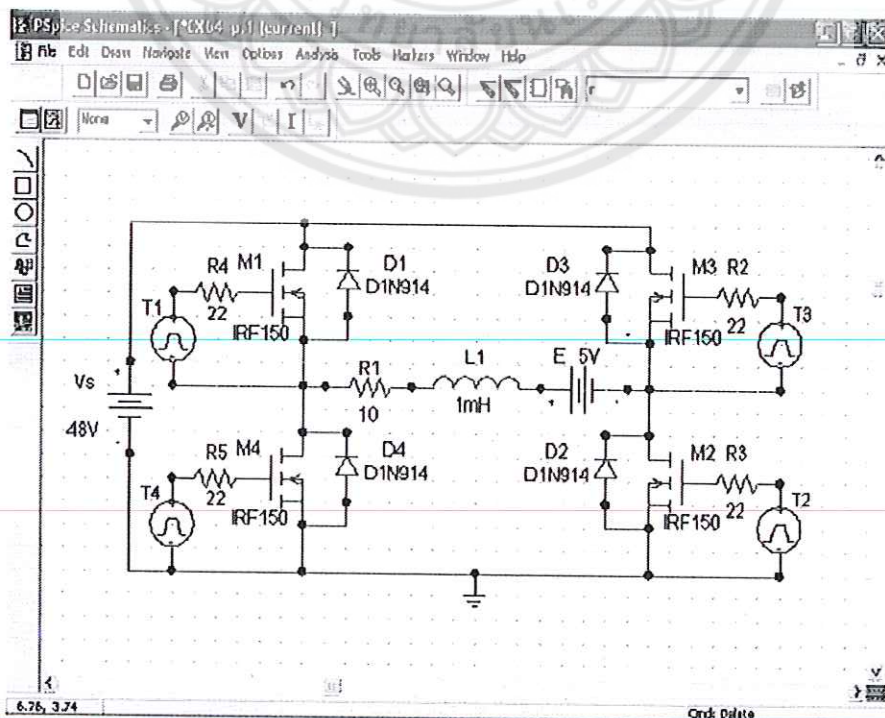
4.1 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice

โปรแกรม PSpice เป็นโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการทดลองผลทางคอมพิวเตอร์ก่อนการทดลองในวงจรจริงเพื่อนำผลที่ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับวงจรที่สร้างขึ้นจริงซึ่งจะทำให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

4.1.1 การวิเคราะห์ Four Quadrant ด้วยโปรแกรม PSpice

1) มอเตอร์หมุนเดินหน้า (First Quadrant)

1. เขียนวงจร Four Quadrant ลงในโปรแกรม โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่อยู่ในไลบรารี (libraries) ของโปรแกรม PSpice และกำหนดค่าต่างๆตามรูปที่ 4.1



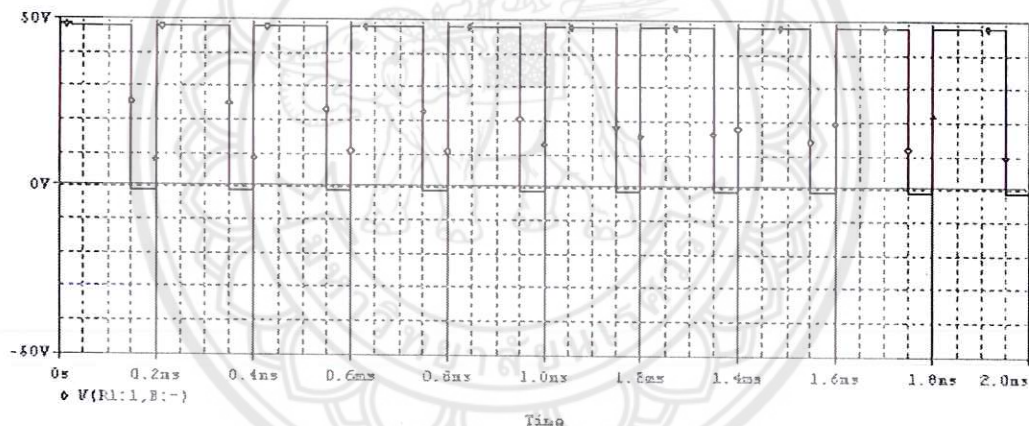
รูปที่ 4.1 วงจร Four Quadrant แบบการหมุนเดินหน้า (First Quadrant)

2. ตั้งค่าที่ T1, T2, T3, T4 โดยกำหนดแต่ละค่าตามตารางที่ 4.1

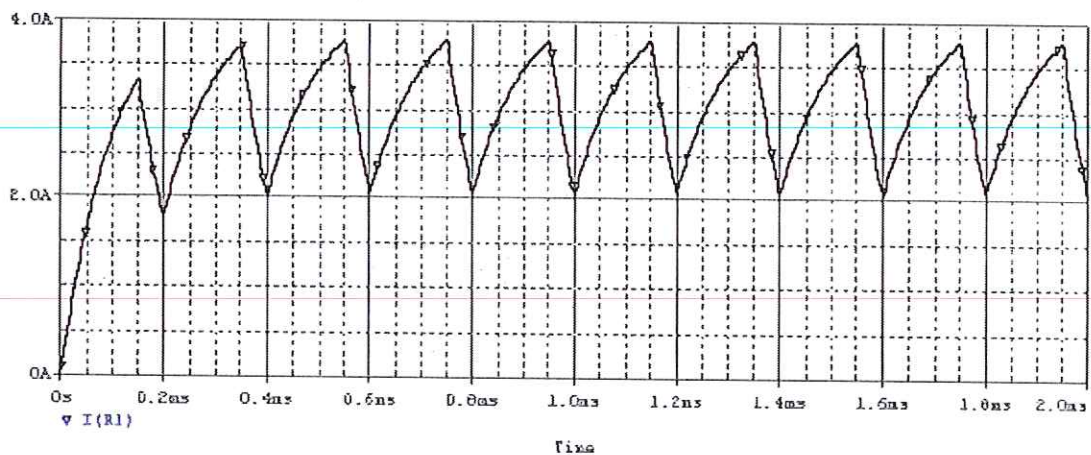
ตารางที่ 4.1 การตั้งค่า T1, T2, T3, T4 สำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.1 ด้วยโปรแกรม PSpice

	T1	T2	T3	T4
V1	0	15	0	0
V2	15	15	0	0
TD	1n	1n	1n	1n
TR	47n	47n	47n	47n
TF	47n	47n	47n	47n
PW	150u	150u	150u	150u
PER	200u	200u	200u	200u

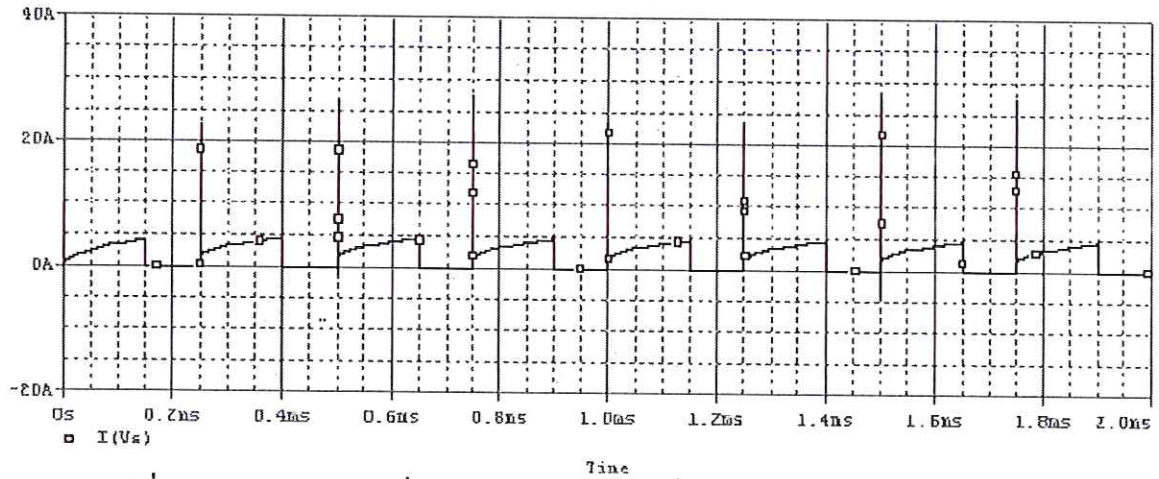
3. ทำการวิเคราะห์ห้วงจรโดยคลิกที่ (simulation) และจะได้ผลดังรูปที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 สัญญาณแรงดันอินเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.3 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.1



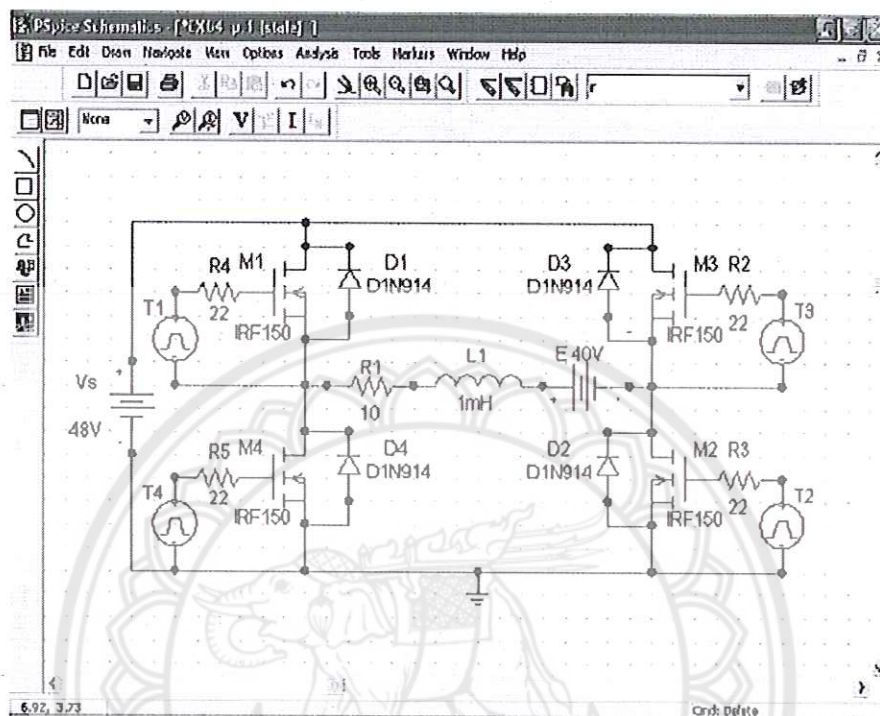
รูปที่ 4.4 สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย V_s ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.1

ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Pspice แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าเป็นบวก และค่าของกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุต มีค่าเป็นบวกเหมือนกัน ดังนั้นจึงเหมือนกับการทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 ของมอเตอร์ เป็นการหมุนแบบเดินหน้าของมอเตอร์



2) การเบรกแบบเดินหน้า (Second Quadrant)

1. วาดวงจร Four Quadrant ลงในโปรแกรม โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่อยู่ในไลบรารี (libraries) ของโปรแกรม PSpice และกำหนดค่าต่างๆตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจร Four Quadrant แบบการเบรกเดินหน้า (Second Quadrant)

2. ตั้งค่าที่ T1, T2, T3, T4 โดยกำหนดแต่ละค่าตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การตั้งค่า T1, T2, T3, T4 สำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.5 ด้วยโปรแกรม PSpice

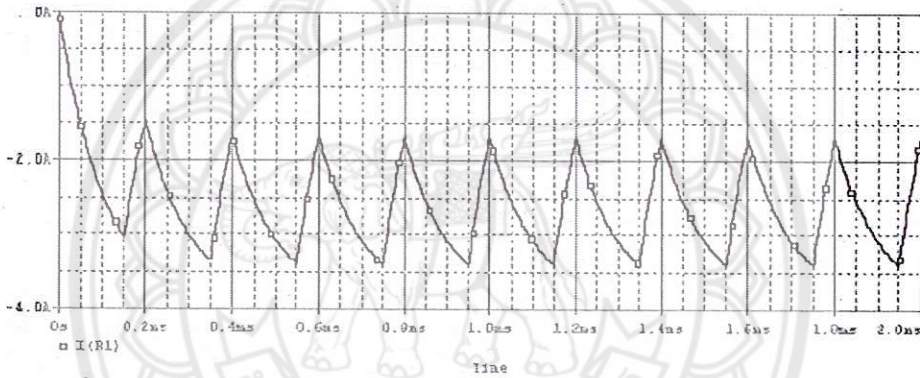
	T1	T2	T3	T4
V1	0	0	0	0
V2	0	0	0	15
TD	1n	1n	1n	1n
TR	47n	47n	47n	47n
TF	47n	47n	47n	47n
PW	150u	150u	150u	150u
PER	200u	200u	200u	200u

3. ทำการวิเคราะห์วงจรโดยคลิกที่ (simulation) และจะได้ผลดังรูปที่ 4.6 รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8

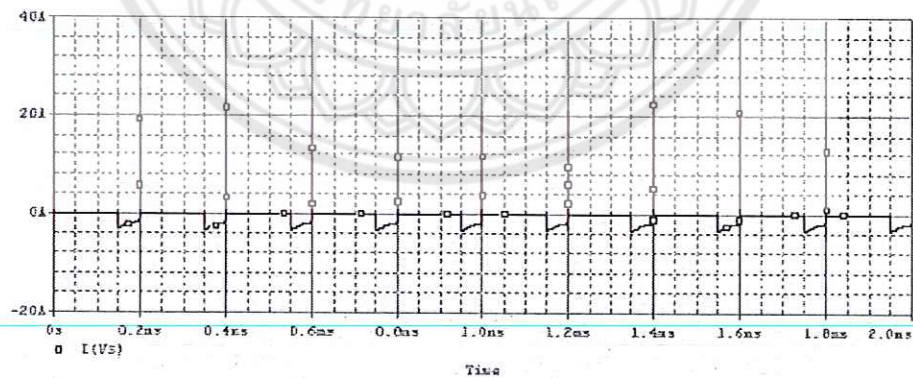


ร.ร.
1449
2548.

รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.7 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5

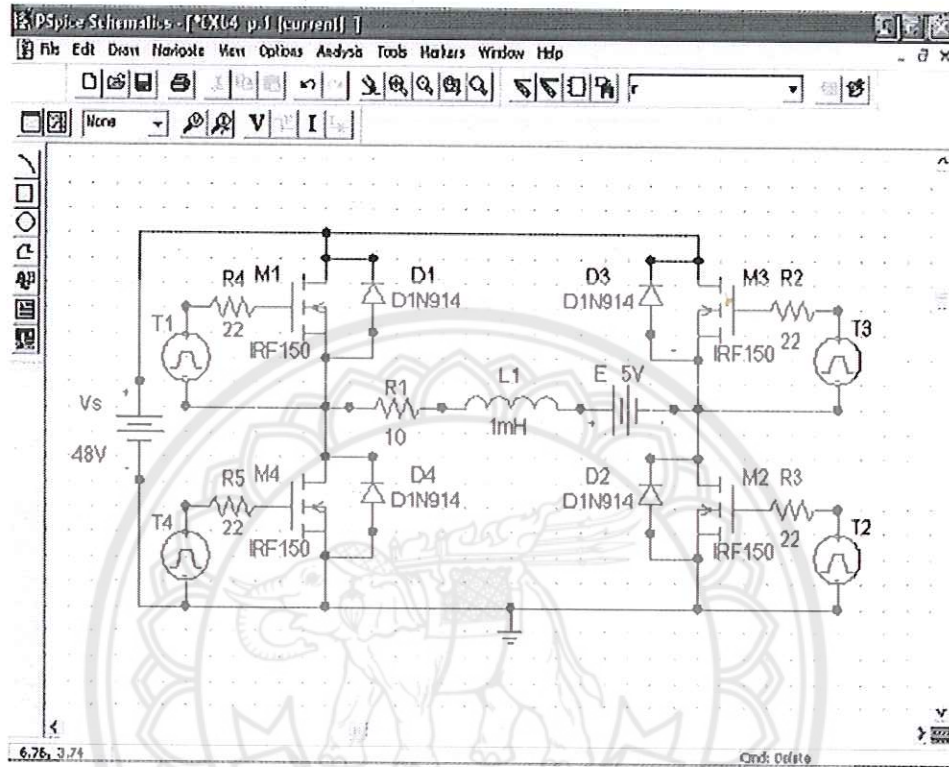


รูปที่ 4.8 สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5

จากผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Pspice แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าเป็นบวก และค่าของกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุต มีค่าเป็นลบ ดังนั้นจึงเหมือนกับการทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 ของมอเตอร์ เป็นการเบรกแบบเดินหน้าของมอเตอร์

3) มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง (Third Quadrant)

1. วาดวงจร Four Quadrant ลงในโปรแกรม โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่อยู่ใน ไลบรารี (libraries) ของโปรแกรม PSpice และกำหนดค่าต่างๆตามรูปที่ 4.9



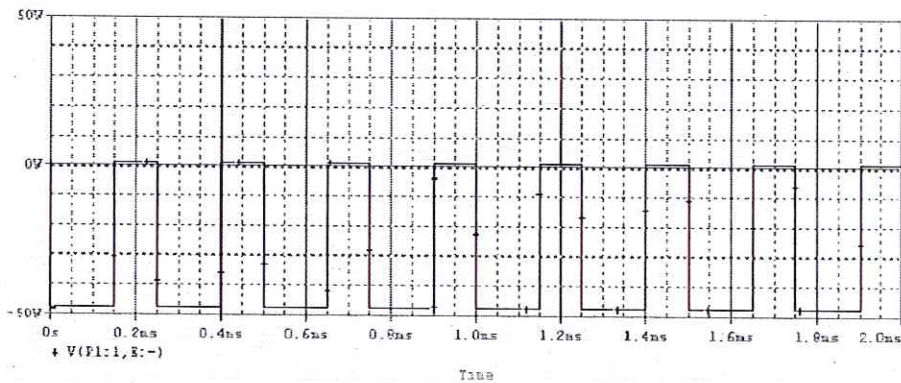
รูปที่ 4.9 วงจร Four Quadrant แบบการหมุนกลับทิศทาง (Third Quadrant)

2. ตั้งค่าที่ T1, T2, T3, T4 โดยกำหนดแต่ละค่าตามตารางที่ 4.3

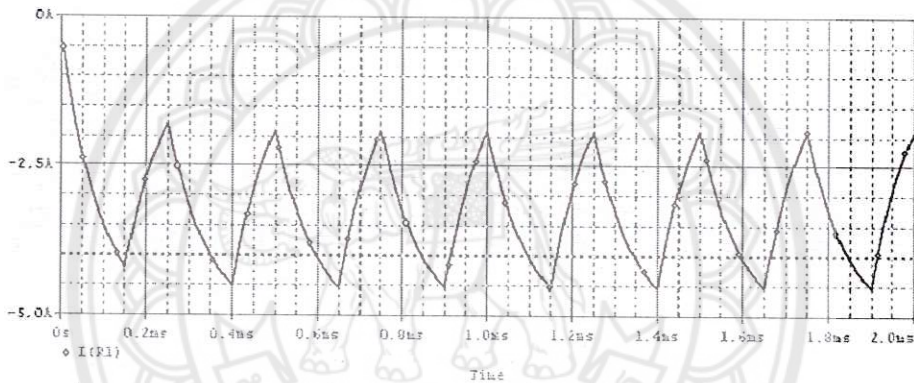
ตารางที่ 4.3 การตั้งค่า T1, T2, T3, T4 สำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.9 ด้วยโปรแกรม PSpice

	T1	T2	T3	T4
V1	0	0	0	15
V2	0	0	15	15
TD	1n	1n	1n	1n
TR	47n	47n	47n	47n
TF	47n	47n	47n	47n
PW	150u	1500u	150u	150u
PER	200u	200u	200u	200u

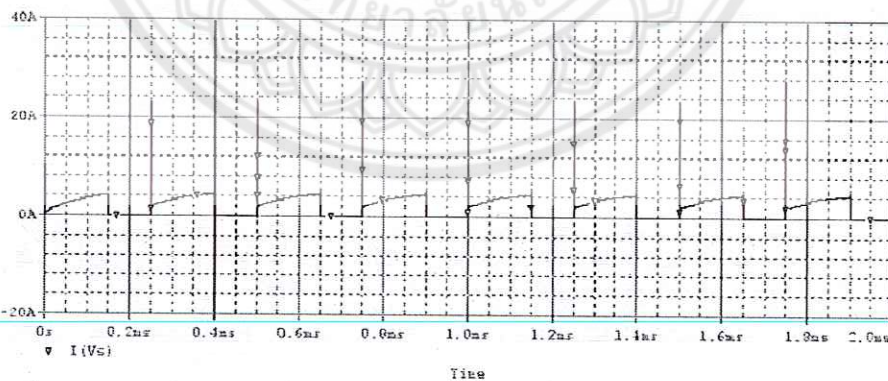
3. ทำการวิเคราะห์ห้วงจร โดยคลิกที่ (simulation) และจะได้ผลดังรูปที่ 4.10 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.11 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.9

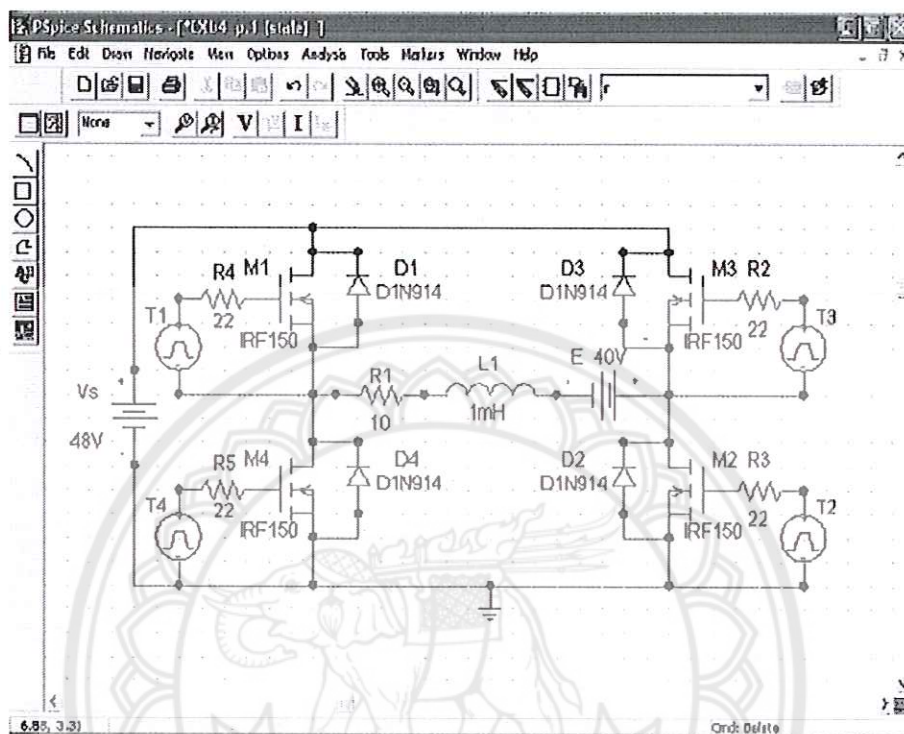


รูปที่ 4.12 สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.9

จากผลการทดลองที่ได้จาก โปรแกรม Pspice แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าเป็นลบ และค่าของกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุต มีค่าเป็นลบเหมือนกัน ดังนั้นจึงเหมือนกับการทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 ของมอเตอร์เป็นการหมุนแบบกลับทิศทางของมอเตอร์

4) การเบรกแบบกลับทิศทาง (Fourth Quadrant)

1. วาดวงจร Four Quadrant ลงในโปรแกรม โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่อยู่ในไลบรารี (libraries) ของโปรแกรม PSpice และกำหนดค่าต่างๆตามรูปที่ 4.13



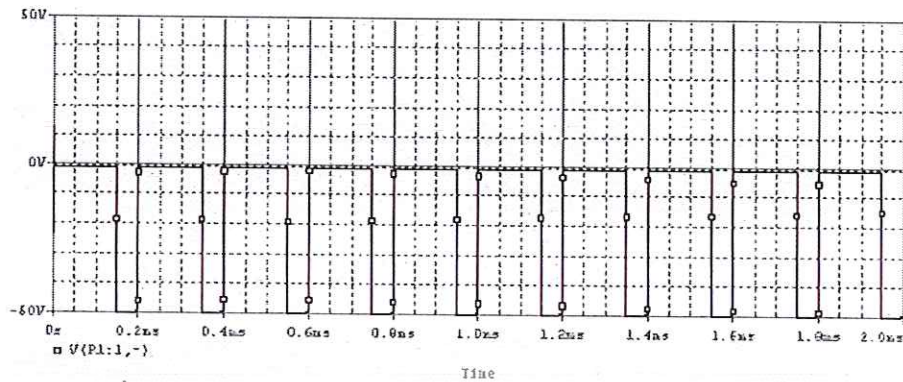
รูปที่ 4.13 วงจร Four Quadrant แบบการเบรกกลับทิศทาง (Fourth-Quadrant)

2. ตั้งค่าที่ T1, T2, T3, T4 โดยกำหนดแต่ละค่าตามตารางที่ 4.3

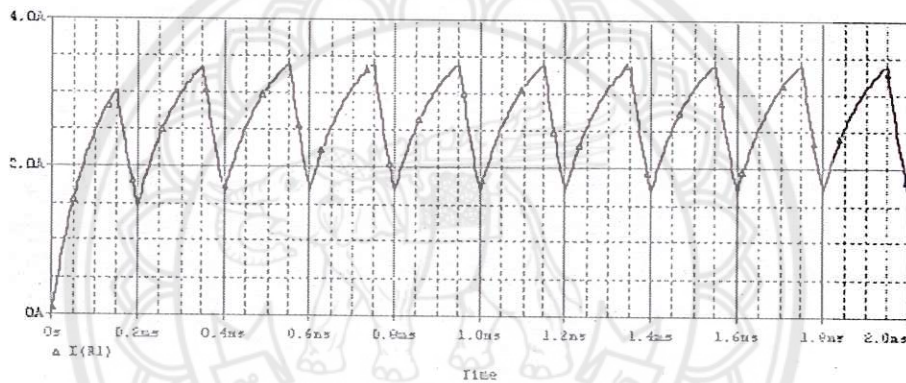
ตารางที่ 4.4 การตั้งค่า T1, T2, T3, T4 สำหรับการวิเคราะห์ห้วงวงจรรูปที่ 4.13 ด้วยโปรแกรม PSpice

	T1	T2	T3	T4
V1	0	0	0	0
V2	0	15	0	0
TD	1n	1n	1n	1n
TR	47n	47n	47n	47n
TF	47n	47n	47n	47n
PW	150u	150u	150u	150u
PER	200u	200u	200u	200u

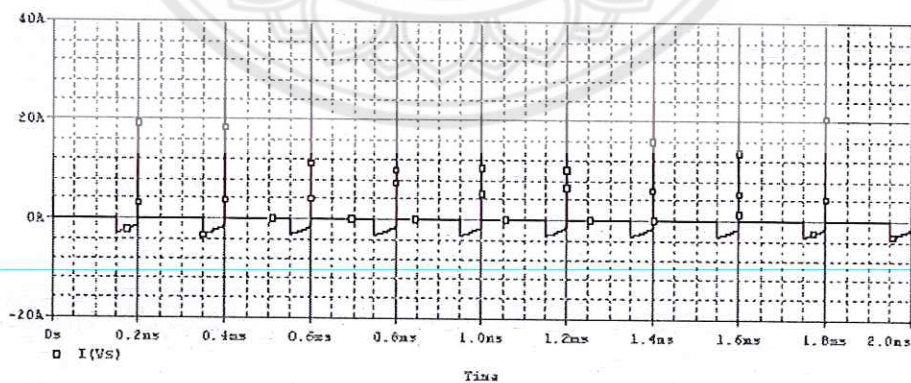
3. ทำการวิเคราะห์ห้วงจร โดยคลิกที่ (simulation) และจะได้ผลดังรูปที่ 3.14 รูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16



รูปที่ 4.14 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.15 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.13



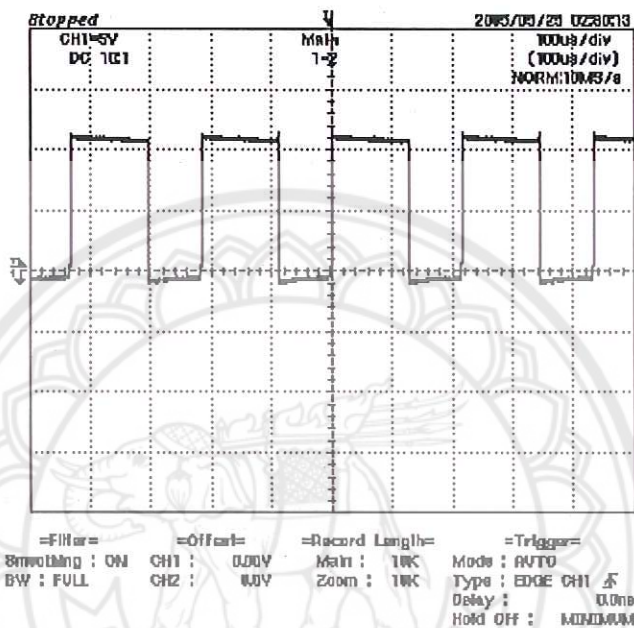
รูปที่ 4.16 สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงจรรูปที่ 4.13

จากผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Pspice แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าเป็นลบ และค่าของกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุต มีค่าเป็นบวก ดังนั้นจึงเหมือนกับการทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 ของมอเตอร์ เป็นการเบรกแบบกลับทิศทางของมอเตอร์นั่นเอง

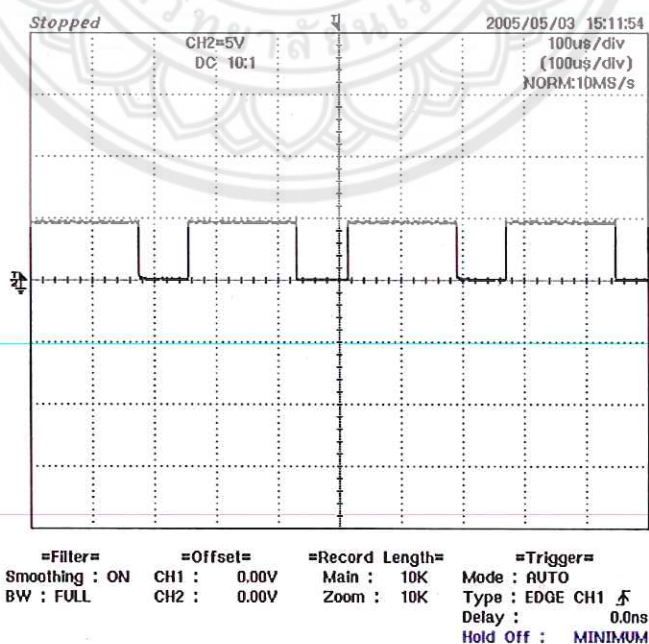
4.2 ผลการทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคไฟร์ควอดแรนต์

4.2.1 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในควอดแรนต์ที่ 1 (มอเตอร์หมุนเดินหน้า)

จากการทดสอบการทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 และวัดแรงดันที่คร่อมระหว่างอาร์เมเจอร์ได้ดังรูปที่ 4.17 ซึ่งค่าที่วัดได้มีส่วนที่ผิดเพี้ยนไปบ้างเนื่องมาจากผลของตัวเหนี่ยวนำในมอเตอร์ แต่เมื่อเปลี่ยนการวัดจากมอเตอร์ให้มาเป็นตัวต้านทานแทนทำค่าแรงดันที่วัดได้ในรูปที่ 4.18 จะมีค่าเหมือนกันกับแรงดันที่แหล่งจ่าย

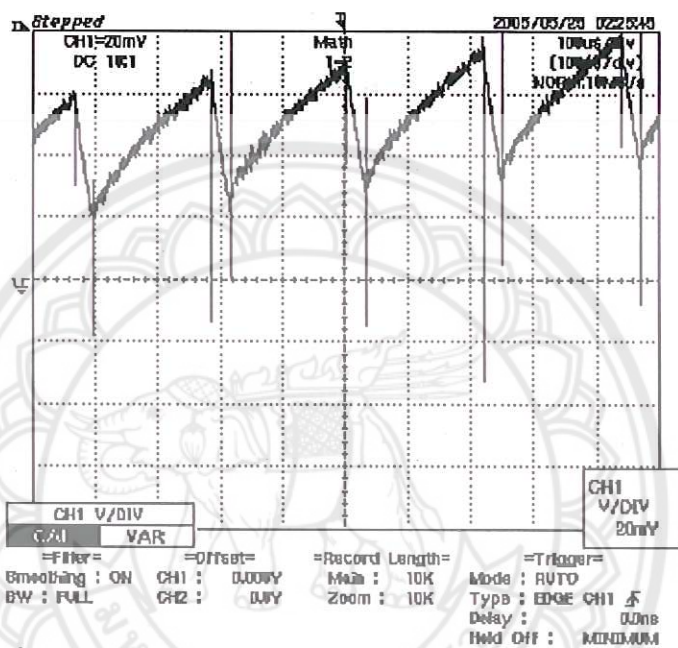


รูปที่ 4.17 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 1)

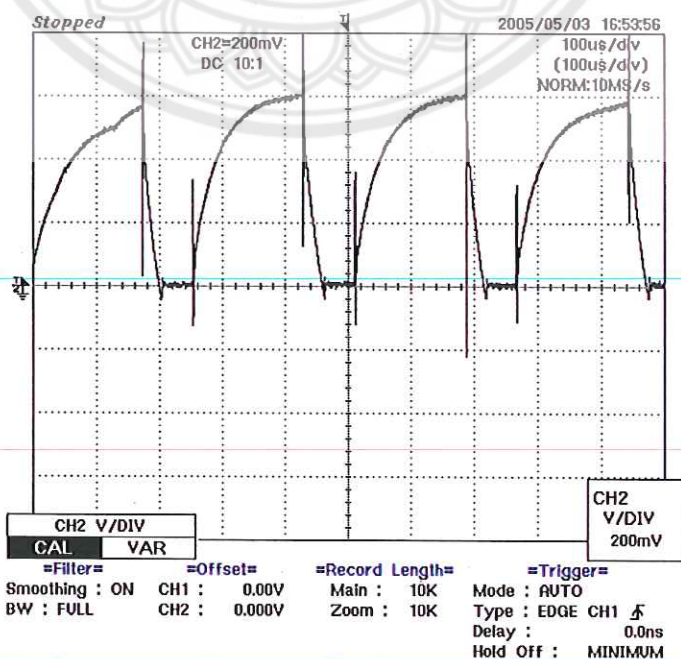


รูปที่ 4.18 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมตัวต้านทาน (ควอดแรนต์ที่ 1)

ในควอดแรนต์ที่ 1 มอเตอร์หมุนเดินหน้า กระแสจากอาร์เมเจอร์ และกระแสจากแหล่งจ่าย ที่วัดได้จะต้องมีค่าเป็นบวก จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 ช่วงที่สวิทช์นำกระแสของสัญญาณพัลส์ จะเห็นว่า ช่วงที่ กระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์จะคล้ายกับกระแสที่ไหลผ่านแหล่งจ่าย แต่ช่วงที่สวิทช์หยุด นำกระแสจะเห็นว่ากระแสที่แหล่งจ่ายจะเป็นศูนย์ทันทีซึ่งแตกต่างกับกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ เพราะกระแสที่ผ่านอาร์เมเจอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากตัวเหนี่ยวนำที่ มอเตอร์



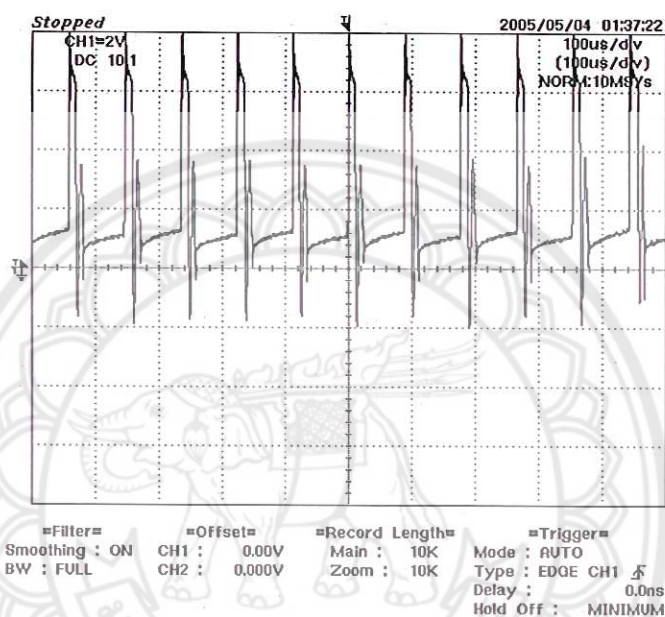
รูปที่ 4.19 กราฟของกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 1)



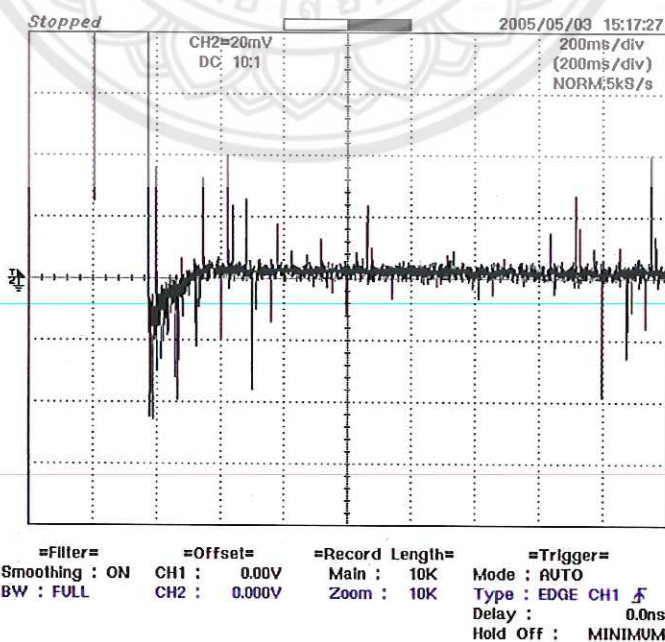
รูปที่ 4.20 กราฟของกระแสที่แหล่งจ่าย (ควอดแรนต์ที่ 1)

4.2.2 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในควอดแรนต์ที่ 2 (เบรกแบบเดินหน้า)

จากการทดลองในควอดแรนต์ที่ 2 รูปที่ 4.21 ในช่วงที่มอเตอร์เบรกแบบเดินหน้า แรงดันที่คร่อมระหว่างอาร์เมเจอร์จะมีค่าลดลง และเมื่อช่วงเวลาที่มอเตอร์หยุดทุกตัวหยุดนำกระแสจะเป็นการเบรกแบบคืนพลังงานแรงดันที่คร่อมระหว่างอาร์เมเจอร์มีค่าสูงขึ้น รูปที่ 4.22 แสดงการวัดกระแสอาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นลบ เพราะกระแสไหลจากมอเตอร์ไปยังแหล่งจ่าย เป็นการเบรกแบบคืนพลังงานกลับไปยังแหล่งจ่าย



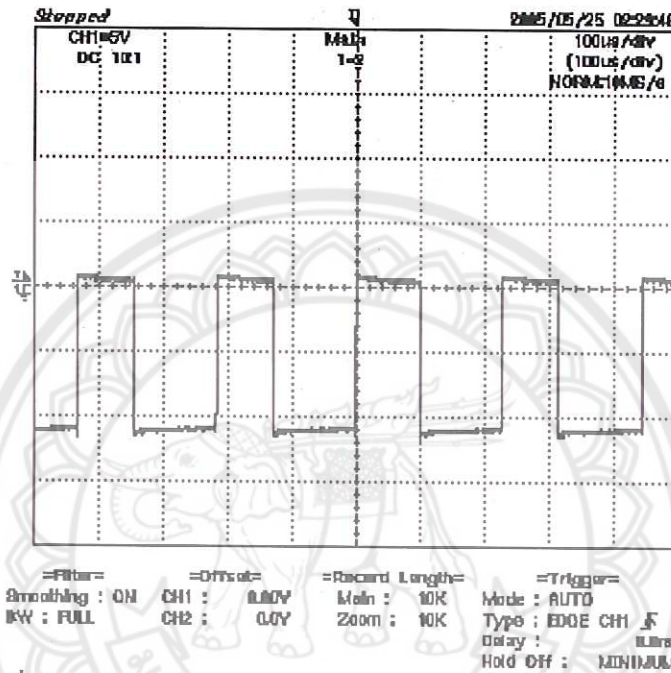
รูปที่ 4.21 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 2)



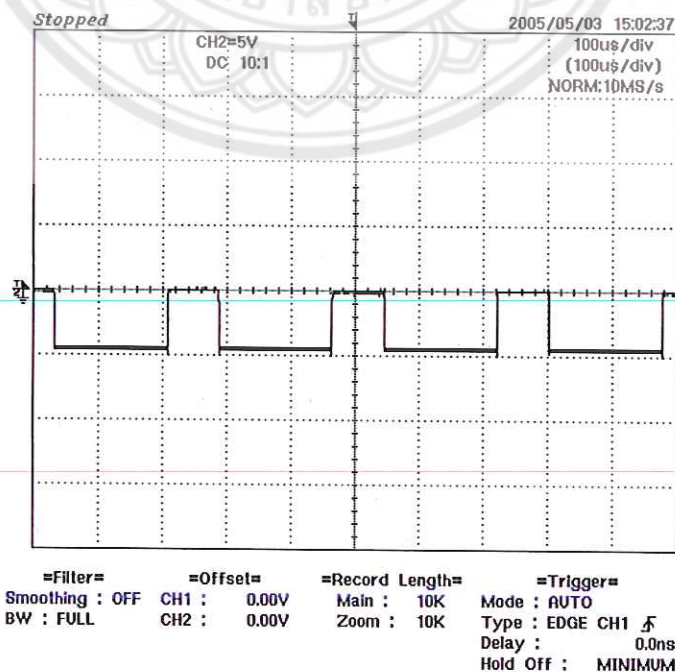
รูปที่ 4.22 กราฟของกระแสจากการเบรกโดยใช้เทคนิคไฟร์ควอร์ดแรนต์(ควอดแรนต์ที่ 2)

4.2.3 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในควอดแรนต์ที่ 3 (มอเตอร์หมุนแบบกลับทิศทาง)

เนื่องจากมอเตอร์หมุนแบบกลับทิศทาง ค่าแรงดันที่วัดได้ระหว่างอาร์เมเจอร์จึงมีค่าออกมาเป็นลบดังรูปที่ 4.23 แต่เนื่องจากความเป็นตัวเหนี่ยวนำของมอเตอร์จึงทำให้รูปคลื่นที่ออกมาไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อนำตัวต้านทานมาแทนมอเตอร์จะได้รูปคลื่นที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 แสดงว่าแรงดันที่วัดได้จากมอเตอร์เป็นไปตามทฤษฎี

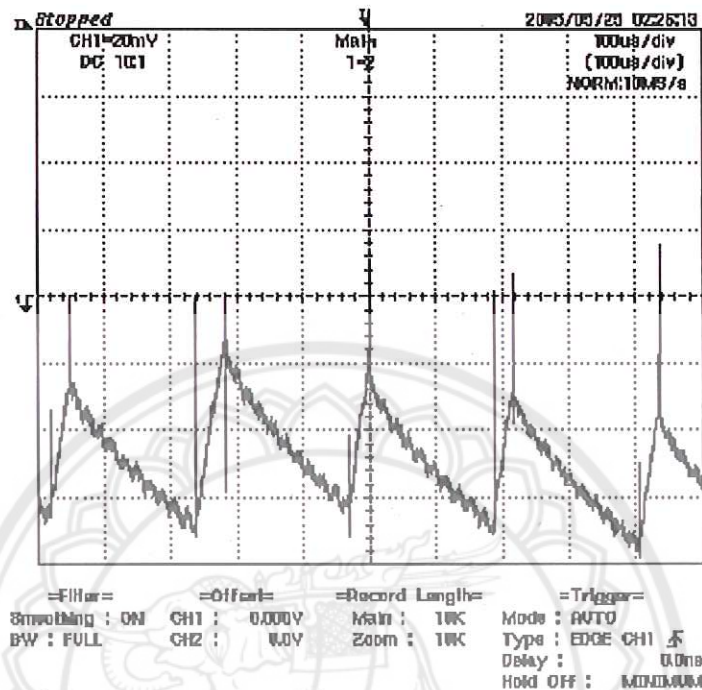


รูปที่ 4.23 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 3)

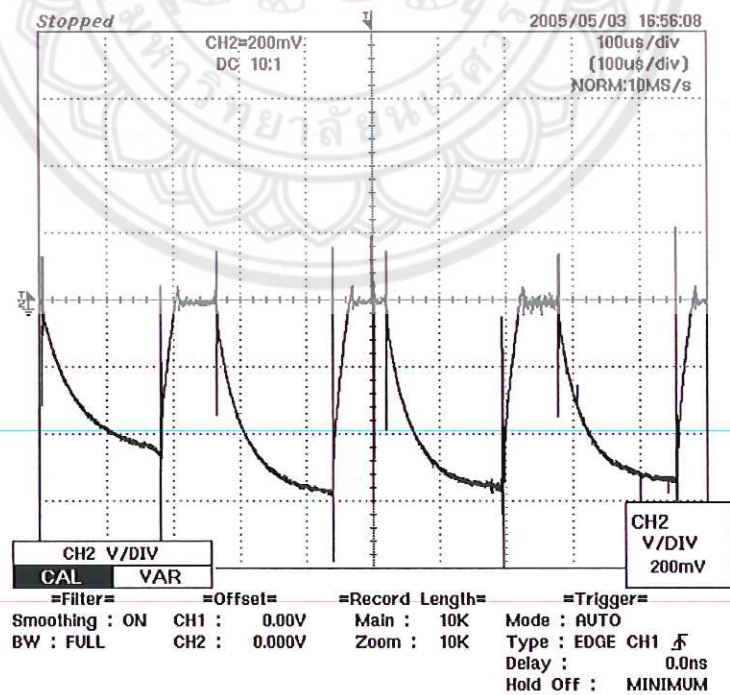


รูปที่ 4.24 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมตัวต้านทาน (ควอดแรนต์ที่ 3)

มอเตอร์หมุนแบบกลับทิศทางกระแสที่วัดได้ทั้งจากแหล่งจ่ายและอาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นลบ เนื่องจากกระแสไหลกลับทิศทางจากการหมุนแบบเดินหน้า แต่กระแสที่อาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 4.25 ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดได้เนื่องจากเป็นตัวเหนี่ยวนำของมอเตอร์



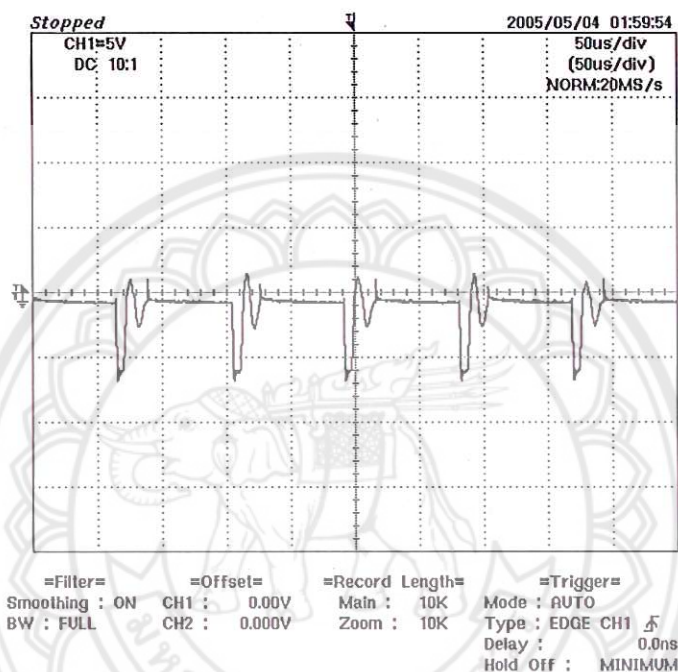
รูปที่ 4.25 กราฟของกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 3)



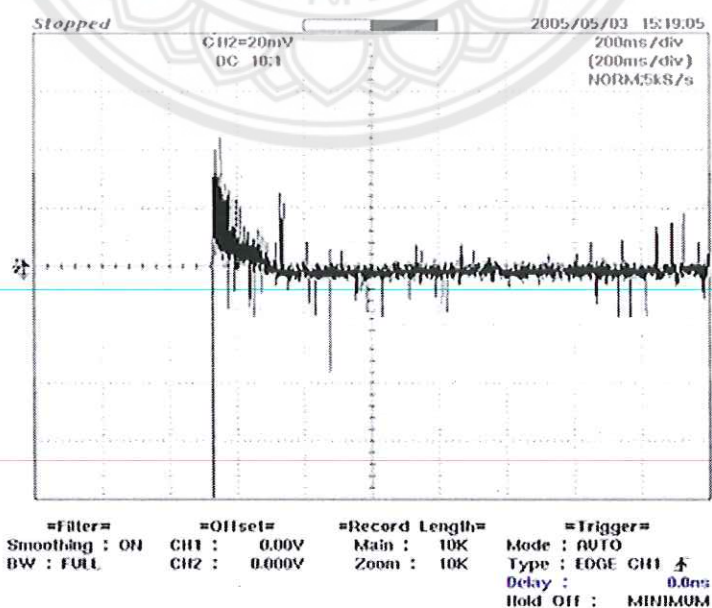
รูปที่ 4.26 กราฟของกระแสที่แหล่งจ่าย (ควอดแรนต์ที่ 3)

4.2.4 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในควอดแรนต์ที่ 4 (เบรกแบบกลับทิศทาง)

การเบรกมอเตอร์แบบกลับทิศทางค่าแรงดันที่วัดได้จะมีค่าเป็นลบ แต่กระแสมีค่าเป็นบวก จากรูปที่ 4.27 เป็นช่วงการเบรกแบบกลับทิศทางของมอเตอร์แรงดันที่วัดระหว่างอาร์เมเจอร์จะมีค่าสูงขึ้น ในช่วงเวลาที่มอสเฟตทุกตัวหยุดนำกระแสจะเป็นการเบรกแบบคืนพลังงานแรงดันที่วัดระหว่างอาร์เมเจอร์จะมีค่าลดลง ในรูปที่ 4.28 เมื่อวัดกระแสที่อาร์เมเจอร์ จะได้กระแสที่มีค่าเป็นบวกเนื่องจากการไหลย้อนกลับของกระแสจากมอเตอร์ไปยังแหล่งจ่าย เป็นการเบรกแบบคืนพลังงานให้กับแหล่งจ่าย



รูปที่ 4.27 กราฟของแรงดันเอาพุตที่วัดระหว่างอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 4)



รูปที่ 4.28 กราฟของกระแสจากการเบรกโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์(ควอดแรนต์ที่ 4)

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาแบบจำลองการทำงานของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม P-Spice และนำผลการทดลองที่ได้จากการโปรแกรม P-Spice มาช่วยในการออกแบบวงจรขับมอเตอร์ที่จะนำมาใช้งานจริง และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่วัดได้จริงจากมอเตอร์ ว่ามีค่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่

การศึกษาการจำลองการทำงานของมอเตอร์ในโปรแกรม P-Spice ได้แบ่งการจำลองทดลองการทำงานของมอเตอร์ออกเป็น 4 ควอดแรนต์ คือ มอเตอร์หมุนเดินหน้า เบรกแบบเดินหน้า มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง และเบรกแบบกลับทาง ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจการออกแบบอย่างเหมาะสม ก่อนที่จะทำการออกแบบวงจรขับมอเตอร์จริง



บทที่ 5

บทสรุป

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการนี้ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผล

ในโครงการนี้ ได้ออกแบบวงจร H-Bridge และควบคุมการทำงานของสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ทำงานโดยการป้อนสัญญาณพัลส์ เพื่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้ทำงานตามที่ต้องการ จากผลการทดลองสามารถควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานได้ 4 โหมดหรือ 4 ควอดแรนต์ ดังต่อไปนี้

5.1.1 การทำงานของควอดแรนต์ที่ 1 (มอเตอร์หมุนเดินหน้า) อัตราเร็วและแรงบิดจะมีค่าเป็นบวก

5.1.2 การทำงานของควอดแรนต์ที่ 2 (เบรกแบบเดินหน้า) อัตราเร็วมีค่าเป็นบวก แต่แรงบิดมีค่าเป็นลบ

5.1.3 การทำงานของควอดแรนต์ที่ 3 (มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง) อัตราเร็วและแรงบิดจะมีค่าเป็นลบ

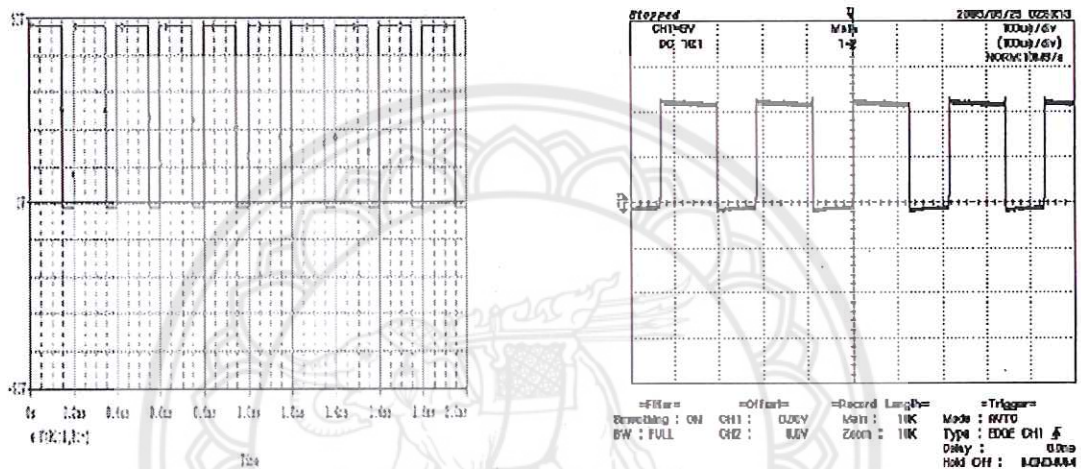
5.1.4 การทำงานของควอดแรนต์ที่ 4 (เบรกแบบกลับทิศทาง) อัตราเร็วมีค่าเป็นลบ แต่แรงบิดจะมีค่าเป็นบวก

โดยที่ในควอดแรนต์ที่ 2 และควอดแรนต์ที่ 4 นั้นจะเป็นการเบรกแบบคืนพลังงาน คือสามารถนำพลังงานในช่วงของการเบรกจ่ายกลับเข้าไปที่แหล่งจ่ายไฟได้ แทนที่จะปล่อยให้พลังงานในช่วงของการเบรกนี้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งจะทำให้สามารถใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายได้นานมากขึ้นกว่าปกติ

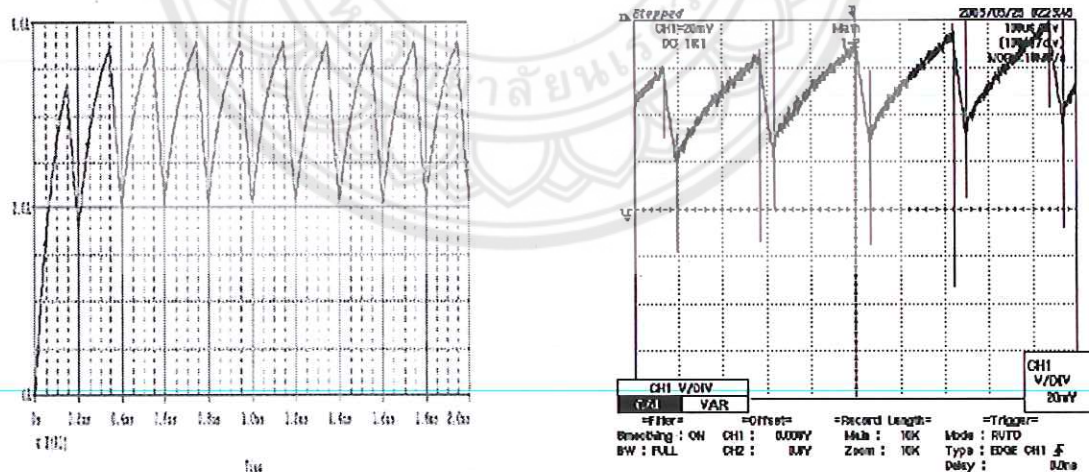
5.2 สรุปกราฟเปรียบเทียบการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และการวัดค่าจริงจากมอเตอร์

ควอดแรนต์ที่ 1

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 จะเป็นการทำงานแบบมอเตอร์หมุนเดินหน้า ซึ่งจะมีค่าแรงดันเอาต์ และกระแสที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ มีค่าที่ได้ตรงตามทฤษฎี



รูปที่ 5.1 แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

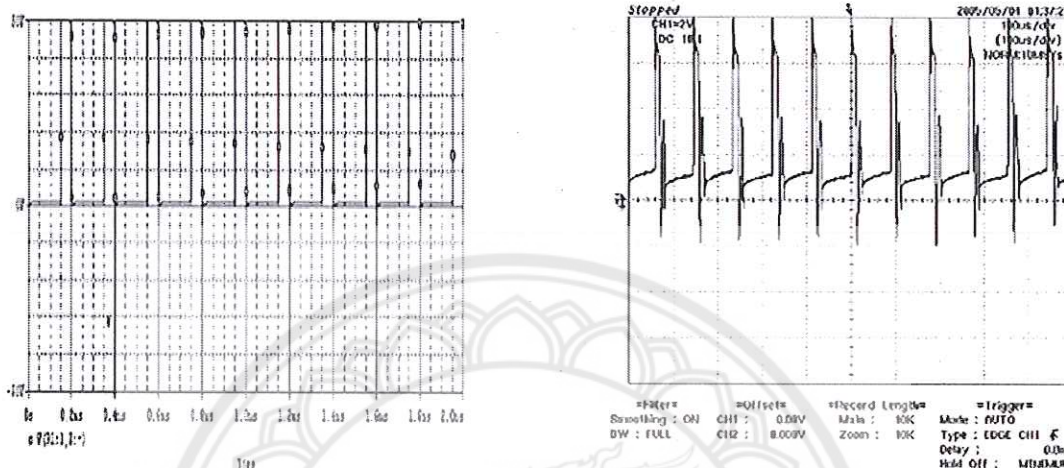


รูปที่ 5.2 แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

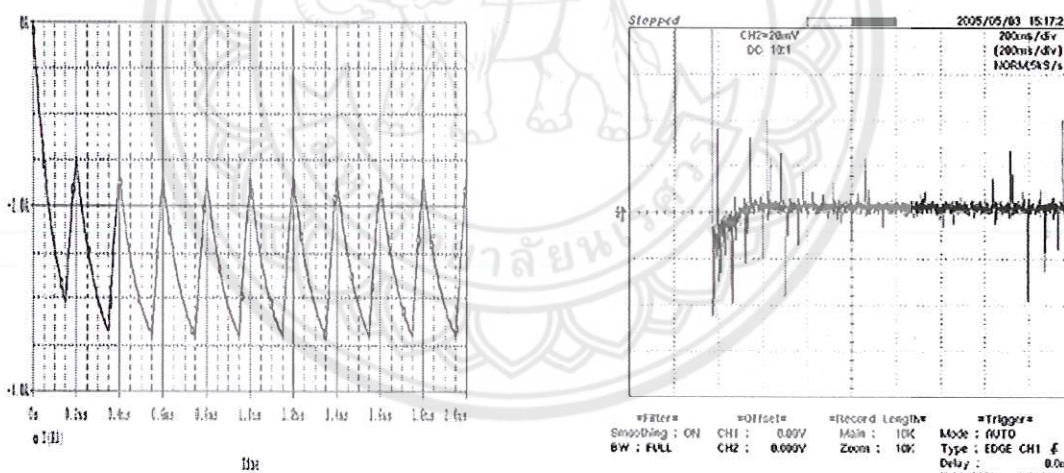
เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน จะพบว่ามึลักษณะที่คล้ายกัน แต่มีค่าระดับแรงดัน ค่าระดับกระแส และค่า Duty Cycle ไม่เท่ากัน เพราะว่าการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice ได้มีการกำหนดค่าแรงดันที่แหล่งจ่าย และค่า Duty Cycle ไม่ตรงกับการวัดจากการทดลองจริง

ควอดแรนต์ที่ 2

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 จะเป็นการทำงานการเบรกแบบเดินหน้า ซึ่งจะมีค่าแรงดันเอาต์ มีค่าเป็นบวก และกระแสที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ มีค่าที่ได้ตรงตามทฤษฎี



รูปที่ 5.3 แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

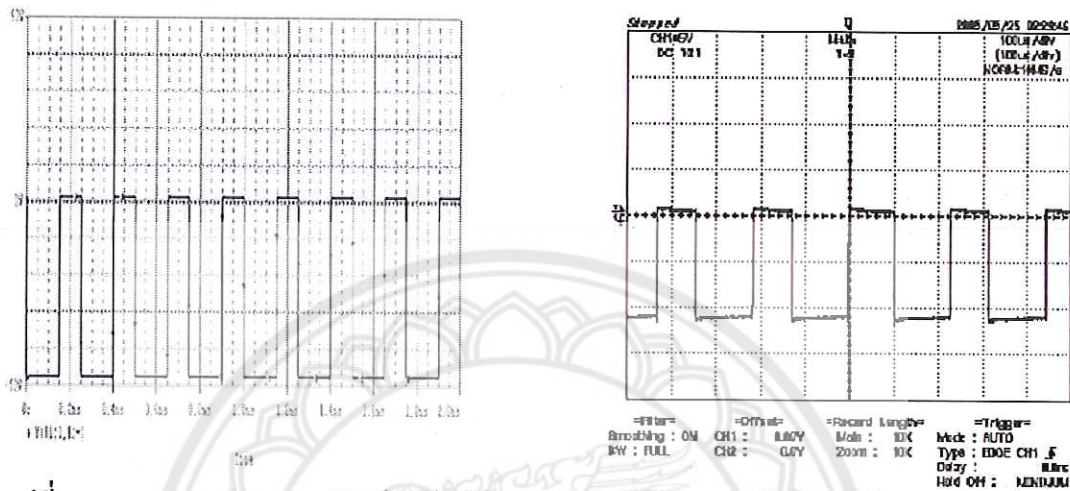


รูปที่ 5.4 แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

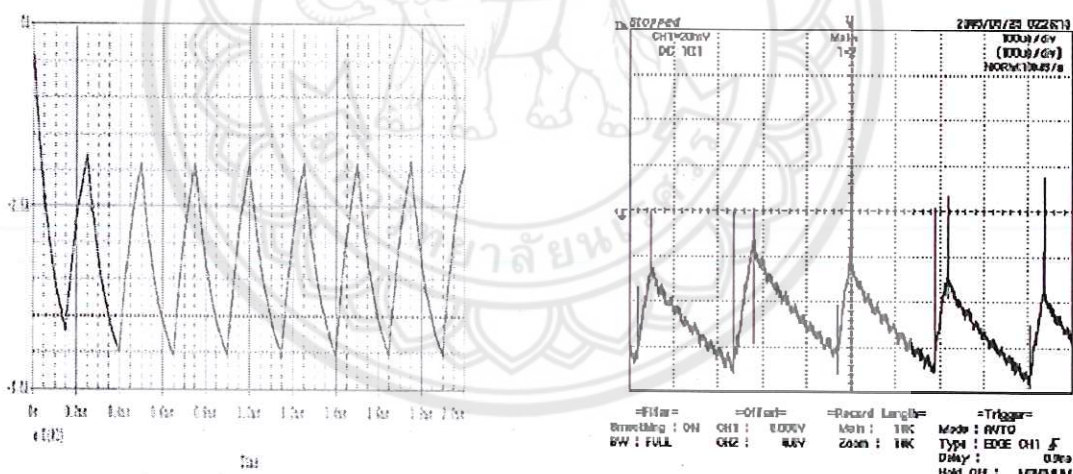
เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน จะพบว่ามิลักษณะที่คล้ายกัน แต่มีค่าระดับแรงดัน ค่าระดับกระแส และค่า Duty Cycle ไม่เท่ากัน เพราะว่าการทดลองที่ใช้โปรแกรม P-Spice ได้มีการกำหนดค่าแรงดันที่แหล่งจ่าย และค่า Duty Cycle ไม่ตรงกับการวัดจากการทดลองจริง และกราฟของกระแสอาร์เมเจอร์ที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ จะมีค่าลดลงในทางลบจนมีค่าเป็นศูนย์ เพราะเมื่อทำการเบรกมอเตอร์ มอเตอร์จะหยุดทำงาน ทำให้กระแสลดลงเป็นศูนย์ แต่ในการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice ได้กำหนดให้มอเตอร์เป็นแหล่งจ่ายที่คงที่ จึงทำให้กระแสไม่ลดลงเป็นศูนย์

ควอดแรนต์ที่ 3

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 จะเป็นการทำงานแบบมอเตอร์หมุนแบบกลับทิศทาง ซึ่งจะมีค่าแรงดันเอาต์ และกระแสที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ มีค่าที่ได้ตรงตามทฤษฎี



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

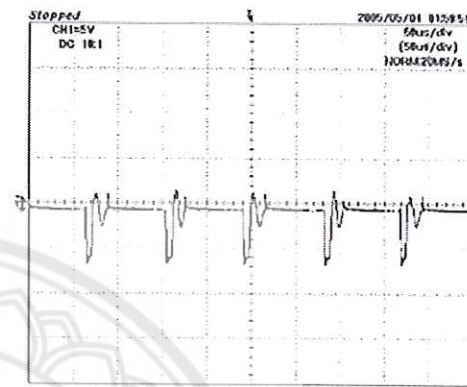
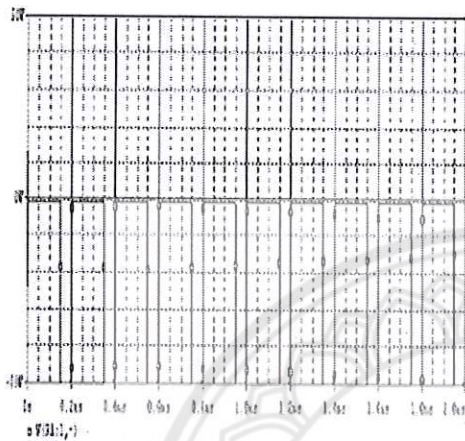


รูปที่ 5.6 แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

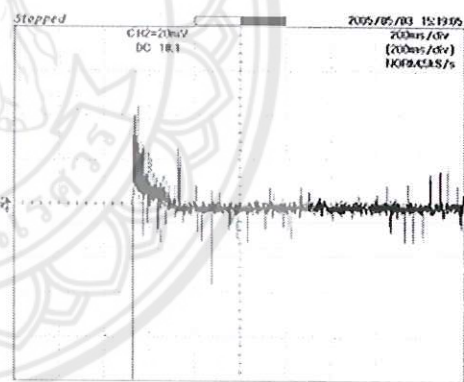
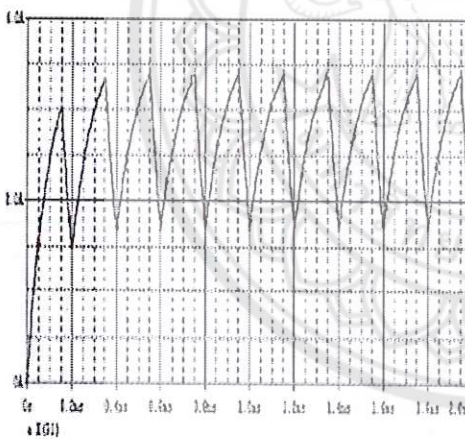
เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน จะพบว่ามัลติเพล็กซ์ที่คล้ายกัน แต่มีค่าระดับแรงดัน ค่าระดับกระแส และค่า Duty Cycle ไม่เท่ากัน เพราะว่าการทดลองที่ใช้โปรแกรม P-Spice ได้มีการกำหนดค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และค่า Duty Cycle ไม่ตรงกับการวัดจากการทดลองจริง

ควอดแรนต์ที่ 4

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 จะเป็นการทำงานการเบรคแบบกลับทิศทาง ซึ่งจะมีค่าแรงดันเอาต์ มีค่าเป็นลบ และกระแสที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ มีค่าที่ได้ตรงตามทฤษฎี



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จาก โปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน จะพบว่ามิลักษณะที่คล้ายกัน แต่มีค่าระดับแรงดัน ค่าระดับกระแส และค่า Duty Cycle ไม่เท่ากัน เพราะว่าการทดลองที่ใช้โปรแกรม P-Spice ได้มีการกำหนดค่าแรงดันที่แหล่งจ่าย และค่า Duty Cycle ไม่ตรงกับการวัดจากการทดลองจริง และกราฟของกระแสอาร์เมเจอร์ที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ จะมีค่าลดลงในทางบวกจนมีค่าเป็นศูนย์ เพราะเมื่อทำการเบรคมอเตอร์ มอเตอร์จะหยุดทำงาน ทำให้กระแสลดลงเป็นศูนย์ แต่ในการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice ได้กำหนดให้มอเตอร์เป็นแหล่งจ่ายที่คงที่ จึงทำให้กระแสไม่ลดลงเป็นศูนย์

5.3 ประเมินผล

จากการดำเนินงานโครงการ เมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ ได้ผลดังนี้

5.3.1 สามารถออกแบบวงจร H-Bridge และควบคุมการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามที่ต้องการได้

5.3.2 สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ในการควบคุมมอเตอร์ ให้ทำงานตามที่ต้องการได้

5.3.3 สามารถใช้โปรแกรมพีเอสไปค์ (PSPICE) ในการจำลองการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ได้

5.4 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

5.4.1 ปัญหาเกิดจากการต่อวงจรผิดพลาด ทำให้อุปกรณ์ได้รับเสียหาย จึงต้องทำการจัดซื้ออุปกรณ์มาใหม่ ทำให้งานที่ออกมาช้ากว่ากำหนด

5.4.2 ปัญหาเกิดจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ถ้าจ่ายแรงดันไม่เหมาะสมสัญญาณต่าง ๆ จะไม่ได้ตามที่ต้องการ จะต้องจ่ายแรงดันที่เหมาะสมให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถึงจะทำงานได้

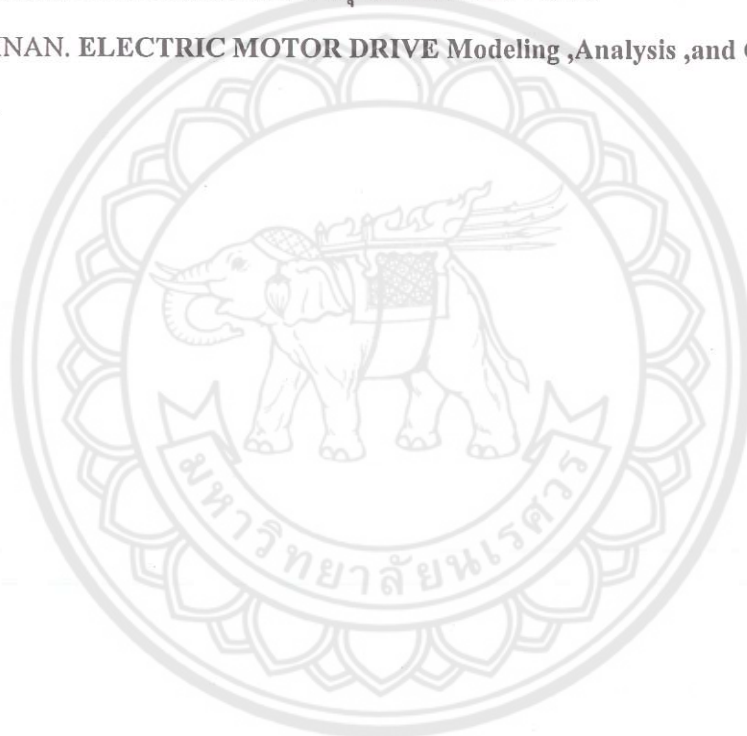
5.4.3 ปัญหาเกิดจากการเลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่เหมาะสมกับขนาดวงจร และค่าของอุปกรณ์

5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ผลที่ได้จากการทดลองในโครงการนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงที่มีลักษณะการทำงานแบบทำๆ หยุดๆ บ่อย และเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อให้สามารถใช้ในยานพาหนะ เช่น รถไฟฟ้าขนาดใหญ่ต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรจิต ประทุมสุวรรณ. พื้นฐานการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.
กรุงเทพมหานคร : เรือนแก้วการพิมพ์. 2547.
- [2] กัมพล ทองเรือง. การใช้งานโปรแกรม PSpice A/D วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.
กรุงเทพมหานคร : สกายบุ๊กส์. 2544.
- [3] รศ. ดร. วีรเชษฐ์ ชันเงิน. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง.
2547.
- [4] นภัทร วัฒนเทพินทร์. เครื่องกลไฟฟ้า 1. กรุงเทพมหานคร : 2544.
- [5] R . KRISHNAN. ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysis ,and Control : Prentice
Hall. 2001.








```

*****
'* Name : PROJECT.BAS *
'* Author : Four Quadrant Control of DC Machine *
'* Date : 21/5/2005 *
'* Notes : Naresuan University *
'* : Pitsanulok Thailand *
*****

DEFINE OSC 4 ' 20 MHz. <HS mode>
*****

IN VAR BYTE 'Used to count and specify the case
i VAR BYTE 'Declared i as byte size
o VAR BYTE 'Declared o as byte size
t VAR BYTE 'Declared t as byte size
dut VAR WORD 'Declared dut as word size
duty VAR WORD 'Declared duty as word size
duty1 VAR WORD 'Declared duty1 as word size
*****
***** MAIN PROGRAM *****
INCLUDE "MODEDEFS.BAS"
TRISC = %00000000 ' All port A are output
PORTC = %00000000 ' All port C are zero

CHECK: SerIn2 PORTC.7,84,[IN] ' Wait for index

```

```

Select Case IN ' Begin Select CASE - use IN
    Case "A" ' Execute if IN = A
        GoTo FORW
    Case "B" ' Execute if IN = B
        GoTo REVE
    Case "C" ' Execute if IN = C
        GoTo BRFO
    Case "D" ' Execute if IN = D

```

```

GoTo BRRE
Case "E"          ' Execute if IN = E
GoTo STP
Case "F"          ' Execute if IN = F
GoTo DU
End Select        ' Resume here after CASE is executed
End

```

```

***** Duty Cycle *****

```

```

DU:                SerIn2 PORTC.7,84,[dut]      ' Wait for index

                duty = dut*2

                GoTo CHECK          ' Receive index again

```

```

***** Quadrant 1 (FORWARD MOTOR) *****

```

```

FORW:             For o = 1 TO 150
                For i = 1 TO 150
                    PORTC = %00010001
                    PauseUs duty
                    PORTC = %00010000
                    PauseUs 200-duty
                    PORTC = %00010001
                    PauseUs duty
                    PORTC = %00000001
                    PauseUs 200-duty
                    PORTC = %00010001
                    PauseUs duty
                    PORTC = %00010000
                    PauseUs 200-duty
                    PORTC = %00010001
                    PauseUs duty

```

PORTC = %00000001

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00010000

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00000001

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00010000

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00000001

PauseUs 200-duty

Next i

Next o

GoTo CHECK ' Receive index again

***** Quadrant 2 (FORWARD GENERATOR) *****

BRFO: For o = 1 TO 150

For i = 1 TO 150

PORTC = %00010000

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00000001

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00010000

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00000001

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00010000

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00000001

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00010000

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

PORTC = %00000001

PauseUs 200-duty

PORTC = %00010001

PauseUs duty

Next i

Next o

PORTC = %00000000

PauseUs 5

For t = 1 TO 200

PORTC = %00000100

```

PauseUs duty
PORTC = %00000000
PauseUs 200-duty
PORTC = %00000010
PauseUs duty
PORTC = %00000000
PauseUs 200-duty
PORTC = %00000100
PauseUs duty
PORTC = %00000000
PauseUs 200-duty
PORTC = %00000010
PauseUs duty
PORTC = %00000000
PauseUs 200-duty
PORTC = %00000100
PauseUs duty
PORTC = %00000000
PauseUs 200-duty
PORTC = %00000010
PauseUs duty
PORTC = %00000000
PauseUs 200-duty

```

Next t

GoTo CHECK ' Receive index again

***** Quadrant 3 (REVERSE MOTOR) *****

```

REVE:      For o = 1 TO 150
           For i = 1 TO 150
               PORTC = %00000110
               PauseUs duty
               PORTC = %00000100

```

PauseUs 200-duty

PORTC = %00000110

PauseUs duty

PORTC = %00000010

PauseUs 200-duty

PORTC = %00000110

PauseUs duty

PORTC = %00000100

PauseUs 200-duty

PORTC = %00000110

PauseUs duty

PORTC = %00000010

PauseUs 200-duty

PORTC = %00000110

PauseUs duty

PORTC = %00000100

PauseUs 200-duty

PORTC = %00000110

PauseUs duty

PORTC = %00000010

PauseUs 200-duty

PORTC = %00000110

PauseUs duty

PORTC = %00000100

PauseUs 200-duty

PORTC = %00000110

PauseUs duty

PORTC = %00000010

PauseUs 200-duty

Next i

Next o

GoTo CHECK ' Receive index again

***** Quadrant 4 (FORWARD GENERATOR) *****

BRRE: For o = 1 TO 150
 For i = 1 TO 150
 PORTC = %00000100
 PauseUs 200-duty
 PORTC = %00000110
 PauseUs duty
 PORTC = %00000010
 PauseUs 200-duty
 PORTC = %00000110
 PauseUs duty
 PORTC = %00000100
 PauseUs 200-duty
 PORTC = %00000110
 PauseUs duty
 PORTC = %00000010
 PauseUs 200-duty
 PORTC = %00000110
 PauseUs duty
 PORTC = %00000100
 PauseUs 200-duty
 PORTC = %00000110
 PauseUs duty
 PORTC = %00000010
 PauseUs 200-duty
 PORTC = %00000110
 PauseUs duty
 PORTC = %00000100
 PauseUs 200-duty
 PORTC = %00000110

PauseUs duty

PORTC = %00000000

PauseUs 200-duty

Next t

GoTo CHECK ' Receive index again

STP: GoTo CHECK ' Receive index again

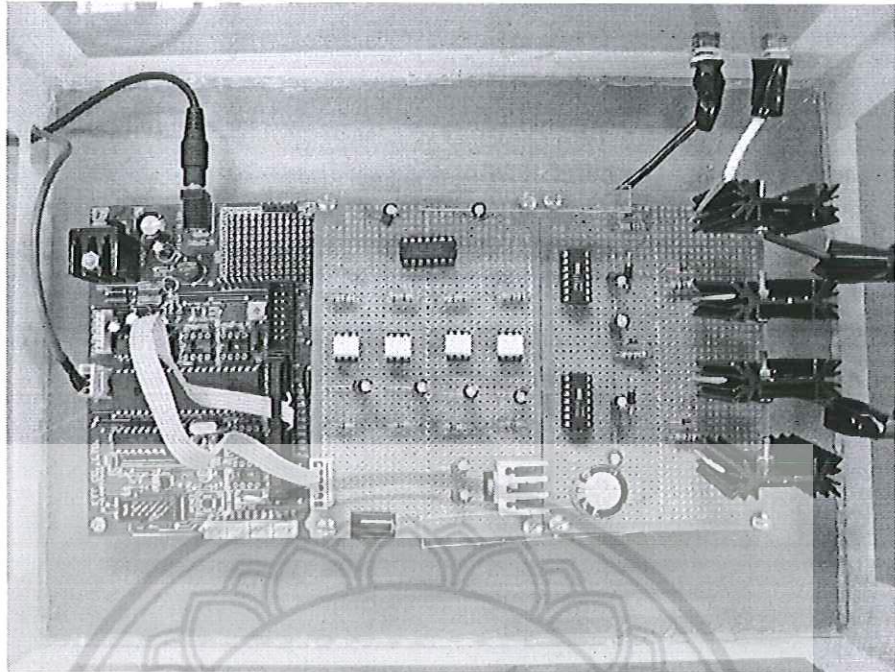
***** END OF PROGRAM *****



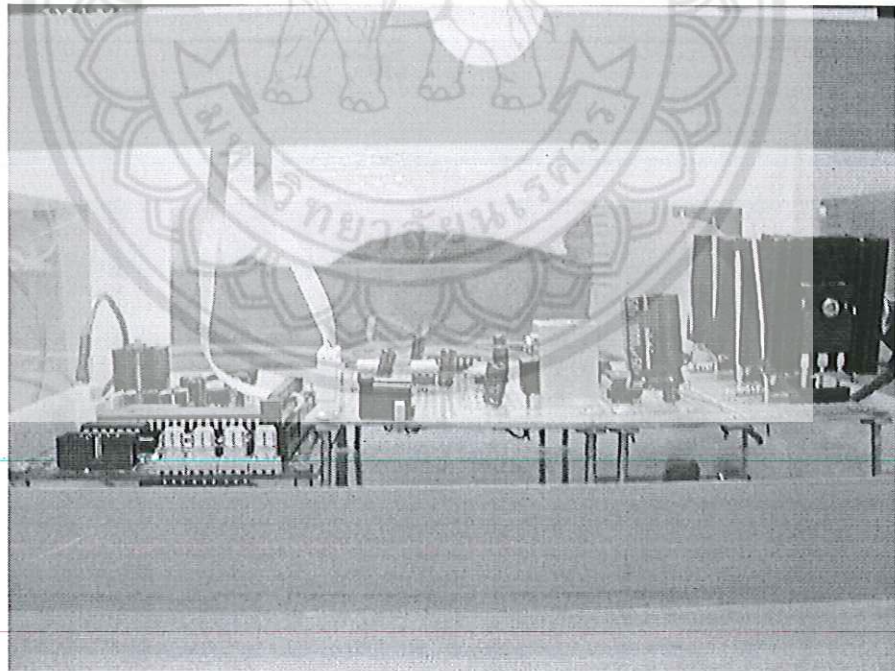


ภาคผนวก ข
วงจรับมอเตอร์ที่ใช้งานจริง

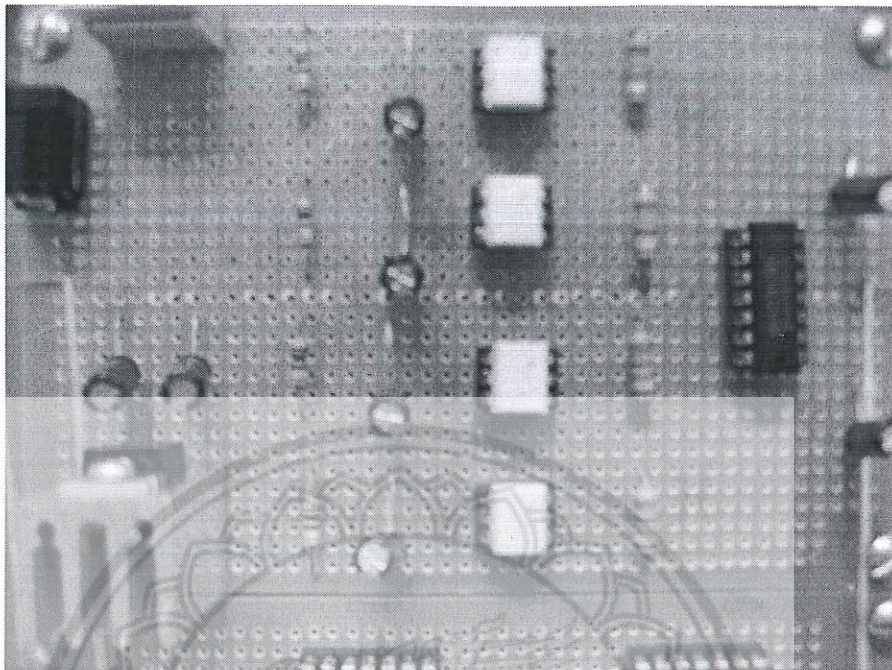
มหาวิทยาลัยนเรศวร



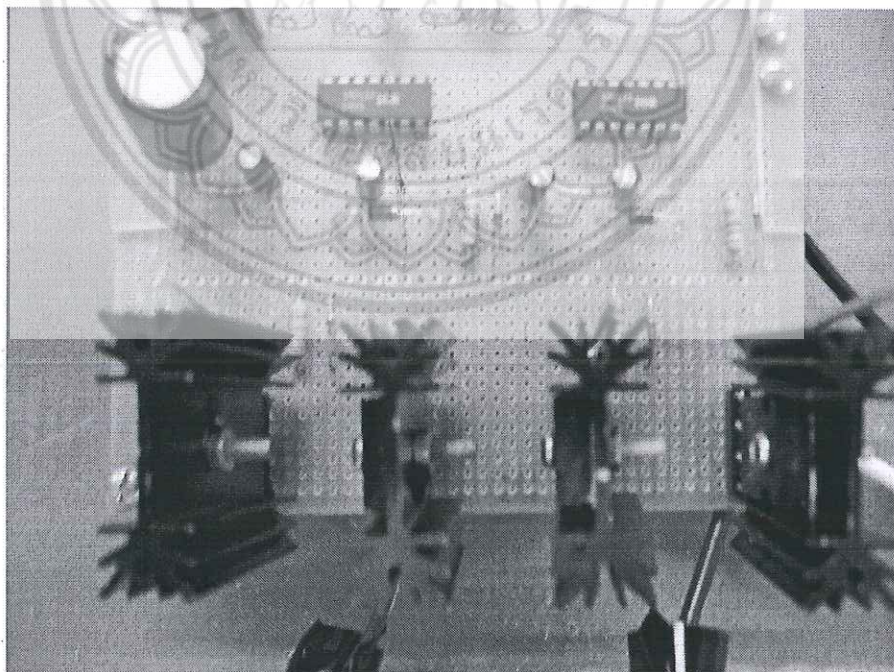
รูปด้านบน



รูปด้านล่าง



รูปการต่อไอซีเบอร์ H11L1 ,Inverting และไอซีเบอร์ 7805



รูปการต่อไอซีเบอร์ IR2110 และมอสเฟต

ประวัติผู้เขียนโครงการ

ชื่อ นายรเทพ ลิ้มพัฒนสำราญ
 ภูมิลำเนา 273 ถ.พระสังข์ ต.ตาคลี อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 E-mail : acerous_cool@hotmail.com

ชื่อ นางสาวนวรรตน์ พฤกษาวาณิชย์
 ภูมิลำเนา 18/13 ถ.แสงราษฎร์ อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนชุมแสงชนูทิศ
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 E-mail : shitske123@hotmail.com

ชื่อ นายนิยม จันดี
 ภูมิลำเนา 2/1 ม.7 ต.นาบัว อ.นครไทย จ.พิษณุโลก
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนนาบัววิทยา
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 E-mail : yom_ee@hotmail.com



E-mail : bad_bad_may@hotmail.com

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวังทองพิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
- สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

ประวัติการศึกษา

ภูมิลำเนา 10 หมู่ 1 ต.วังพิถนถ. อ.วังทอง จ.พิษณุโลก

ชื่อ นางสาวธนา เที่ยโต