การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์

Four Quadrant Control of DC Machine

นายนรเทพ	ลิ้มพัฒนสำราญ	รหัส 45362860
นางสาวนวรัตน์	พฤกษาวาณิชย์	รหัส 45362886
นายนิยม	จันตี	รหัส 45362894
นางสาวมัธนา	เชยโต	รหัส 45363058

I5080794 ค.2

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 17 มิ.ย. 2549
เลขทะเบียน 4930019
เลขเรียกหนังสือ วส. ก443 2548
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2548

ใบรับรองโครงงานวิจัย

หัวข้อโครงงาน	การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายนรเทพ ลิ้มพัฒนสำราญ	รหัส 45362860
	นางสาวนวรัตน์ พฤกษาวาณิชย์	รหัส 45362886
	นายนิยม จันตี	รหัส 45362894
	นางสาวมัธนา เชยโต	รหัส 45363058
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2548	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัย

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

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

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

หัวข้อโครงงาน	การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายนรเทพ	ลิ้มพัฒนสำราญ	รหัส 45362860
	นางสาวนวรัตน์	พฤกษาวาณิชย์	รหัส 45362886
	นายนิยม	จันตี	รหัส 45362894
	นางสาวมัธนา	เชยโต	รหัส 45363058
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์		
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ ซึ่งเป็นวงจรควบคุมการหมุนและการเบรกของมอเตอร์ โดยสามารถควบคุมการทำงานได้ 4 ควอดแรนต์ คือ การหมุนเดินหน้า การหมุนกลับทิศทาง การเบรกแบบเดินหน้า และการเบรกแบบกลับทิศทาง ซึ่งการทำงานจะอาศัยการป้อนสัญญาณควบคุมให้กับอุปกรณ์สวิตช์กำลังในวงจรกำลังอย่างเหมาะสม เพื่อให้ทำงานตามต้องการ

ในโครงงานนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุมที่ป้อนให้กับวงจร 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

ในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลือและให้คำแนะนำ จาก ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล ที่เป็นผู้เสนอหัวข้อและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบคุณชมรมโรบอทที่ให้ความช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรม

ท้ายสุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง ที่คอยดูแล คอยเป็นกำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนในด้านต่างๆมาโดยตลอดในการทำปริญญานิพนธ์นี้ และขอขอบคุณบุคคลต่างๆที่ไม่ได้กล่าวถึงรวมถึงแหล่งข้อมูลที่เอื้อต่อการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 งบประมาณที่ใช้	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน	4
2.1 เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์และวงจรกำลัง	4
2.2 อุปกรณ์กำลังและวงจรเสริม	13
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงาน	15
3.1 ระบบการทำงานของวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์	15
3.2 การออกแบบทางด้านการเขียนโปรแกรม	15
3.3 การออกแบบวงจรควบคุมและวงจรกำลัง	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 สรุปกราฟเปรียบเทียบการทดลองโดยใช้โปรแกรม 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
ประวัติผู้เขียนโครงงาน	58

สารบัญตาราง

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

มหาวิทยาลัยนเรศวร

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 หยุดนำ กระแส T_2 นำกระแส	6
2.6	แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า Vo, Ia, Is ในควอดแรนต์ที่ 1	7
2.7	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 นำกระแส	7
2.8	แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 หยุดนำกระแส	8
2.9	แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า Vo, Ia, Is 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 Vo, Ia, Is 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 Vo, Ia, Is ในควอดแรนต์ที่ 4	12
2.16	วงจร H-Bridge	12
2.17	วงจรสนับเบอร์	14
3.1	บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมมอเตอร์	15
3.2	หน้าจอแสดงผลที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์	15
3.3	โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงาน	16
3.4	วงจรขับมอเตอร์	17
3.5	การต่อไอซีเบอร์ IR2110 กับมอสเฟต	18
3.6	การต่อไอซีเบอร์ H11L1 และรูปคลื่นสัญญาณ	18
3.7	การต่อวงจรเพื่อขับมอสเฟต	19
3.8	วงจรขับมอเตอร์	19
3.9	การทดสอบวงจร	20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	วงจร Four Quadrant แบบการหมุนเดินหน้า (First Quadrant)	21
4.2	สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.1	22
4.3	สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.1	22
4.4	สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.1	23
4.5	วงจร Four Quadrant แบบการเบรกแบบเดินหน้า (Second Quadrant)	24
4.6	สัญญาณแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5	25
4.7	สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5	25
4.8	สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5	25
4.9	วงจร Four Quadrant แบบการเบรกแบบเดินหน้า (Third Quadrant)	26
4.10	สัญญาณแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.9	27
4.11	สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.9	27
4.12	สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.9	27
4.13	วงจร Four Quadrant แบบการเบรกแบบกลับทิศทาง (Fourth Quadrant)	28
4.14	สัญญาณแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.13	29
4.15	สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.13	29
4.16	สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 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	กราฟของกระแสจากการเบรคโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอร์ดแรนต์(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	กราฟของกระแสจากการเบรคโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอร์ดแรนต์(ควอดแรนต์ที่ 4)	35

สารบัญรูป (ต่อ)

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

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันโลกกำลังพัฒนาเข้าสู่ยุคเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า อุตสาหกรรมจึงได้เข้ามามีบทบาทต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ในด้านการผลิตเครื่องจักรกลเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการลดต้นทุนในการจ้างแรงงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

มอเตอร์หรือเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรกลที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม และยังมีการพัฒนาไปใช้ในงานต่างๆ อาทิเช่น พัดลม เครื่องปั่นไฟ รถไฟฟ้า ปั้นจั่น ฯลฯ

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ระบบที่นิยมใช้ในการควบคุมมอเตอร์ คือระบบโฟร์ควอดแรนต์ (Four Quadrant) ในการตัดสินใจเลือกใช้ระบบควบคุมมักมีองค์ประกอบหลายๆด้านที่ต้องคำนึงถึง ทั้งนี้เพื่อสะดวกที่จะนำมาใช้ควบคุม ความทันสมัยตลอดจนเพื่อความเหมาะสมกับงานนั้นๆ มอเตอร์กระแสตรงเป็นมอเตอร์ให้แรงบิดเริ่มต้นสูง สร้างแรงบิดทำงานสูง และควบคุมง่าย อย่างไรก็ตามการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมยังเป็นปัญหาที่ต้องการการพัฒนา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ประยุกต์ใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ในการควบคุมมอเตอร์

1.2.2 จำลองการทำงานของการควบคุมแบบโฟร์ควอดแรนต์ด้วยโปรแกรมพี-สไปค์ (Pspice)

1.2.3 ศึกษาและทดลองการเบรกแบบคืนพลังงานของมอเตอร์

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.3.1 ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงพิกัด 24V 1A

1.3.2 สร้างโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์ให้สามารถหมุนเดินหน้า หมุนกลับทิศทาง เบรกแบบเดินหน้า และเบรกแบบกลับทิศทาง ตามทิศทางที่ต้องการ

1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาวงจรและการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องใช้

1.4.2 ศึกษาและทดสอบการทำงานของวงจรแต่ละควอดแรนต์ โดยใช้โปรแกรมพี-สไปค์

1.4.3 ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับโปรแกรมที่ใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์

1.4.4 เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์และทดสอบโปรแกรม

1.4.5 นำส่วนต่างๆมาประกอบและทดสอบการทำงาน

1.4.6 บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.7 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มโครงงาน

1.5 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี2547			ปี2548								
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาวงจรและการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องใช้	←	→										
2. ศึกษาและทดสอบการทำงานของวงจรแต่ละควอดแรนต์โดยใช้โปรแกรมพี-สไปค์ (Pspice)		←	→									
3. ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับโปรแกรมที่ใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์				←		→						
4. เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์และทดสอบโปรแกรม						←	→					
5. นำส่วนต่างๆมาประกอบและทดสอบการทำงาน								←		→		
6. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง										←	→	
7. สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มโครงงาน												← →

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ ในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

1.6.2 สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

1.7 งบประมาณ

1.7.1 ค่าถ่ายเอกสารและค่าเข้าเล่ม

1.7.2 ค่าหนังสือข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมต่างๆที่ใช้ในการทำโครงงาน

1.7.3 ค่าหมึกพิมพ์

1.7.4 อื่นๆ เช่น มอเตอร์ วงจรขับ ไอซี มอสเฟต

รวมเป็นเงิน 4,000 บาท (สี่พันบาทถ้วน)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการทำงาน

ระบบควบคุมเครื่องจักรกลกลไฟฟ้าที่ใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์เป็นระบบหนึ่งที่มีคุณลักษณะเฉพาะตัว ระบบนี้สามารถควบคุมการทำงานได้หลายโหมด สามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนเดินหน้า หมุนกลับทิศทาง เบรกแบบด้านหน้า และเบรกแบบกลับทิศทาง การควบคุมการทำงานของแต่ละโหมดอาจทำได้โดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ในการควบคุมสัญญาณพัลส์ที่เหมาะสมเพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามต้องการ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีหลายประการ เช่น ให้แรงบิดออกตัว (starting torque)สูง สามารถควบคุมอัตราเร็วในย่านที่กว้างกว่าการควบคุมแบบอื่น และมีต้นทุนต่ำกว่าการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

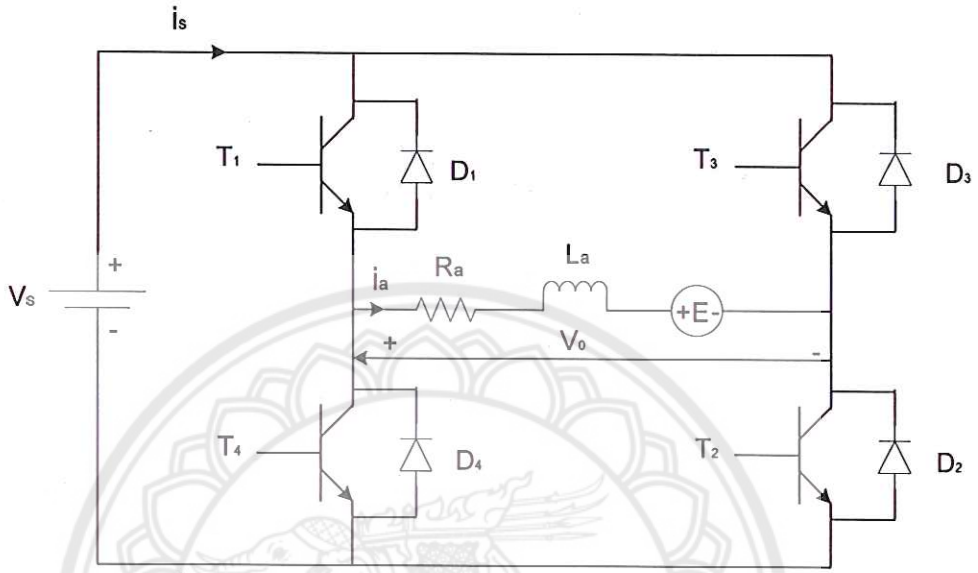
จากคุณสมบัติของการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานได้หลายรูปแบบ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก โครงงานนี้จึงประยุกต์ใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ ในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเพื่อที่สามารถนำมอเตอร์ไปใช้ในงานได้ในอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง

รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงระบบการทำงานโดยรวม

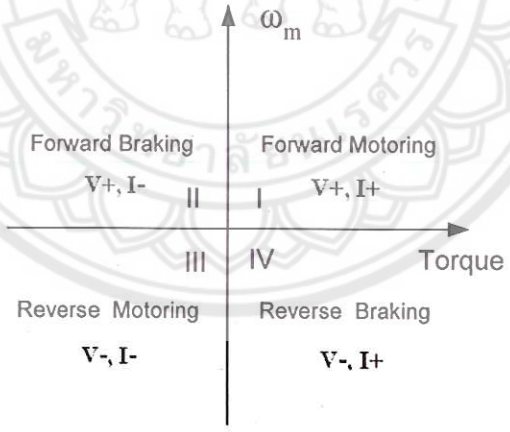
2.1 เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์และวงจรกำลัง

เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ทำให้มอเตอร์ สามารถทำงานได้ 4 โหมด คือ มอเตอร์หมุนเดินหน้า (forward motoring) การเบรกแบบเดินหน้า (forward braking) มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง (reverse motoring) และการเบรกแบบกลับทิศทาง (reverse braking) โดยการควบคุมการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 4 ตัว ดังรูปที่ 2.2 เพื่อให้ทำงานตามที่ต้องการ

การควบคุมการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังให้ทำงานโดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อให้ทำงานตามที่ต้องการ โดยการทำงานแต่ละควอดแรนต์ สัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้แก่สวิตช์แต่ละตัวจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการว่าจะให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานแบบใด



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรการทำงานของมอเตอร์ แบบ Four-Quadrant



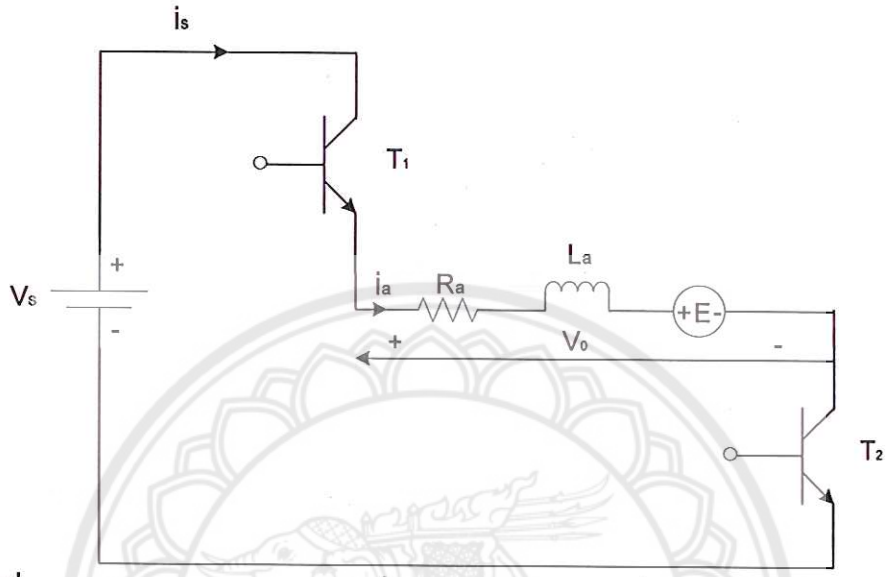
รูปที่ 2.3 ภาคการทำงานแต่ละควอดแรนต์

2.1.1 การทำงานของควอดแรนต์ที่ 1 (มอเตอร์หมุนเดินหน้า)

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 ค่าของแรงดันเอาต์พุต (Vo) และกระแสอาร์เมเจอร์ (Ia) จะมีค่าเป็นบวก สำหรับแรงบิด และอัตราเร็ว ก็จะมีค่าเป็นบวก ดังนั้นมอเตอร์จะทำงานเป็นมอเตอร์จ่ายพลังงานทางกล และการทำงานในควอดแรนต์ นี้เรียกว่า " มอเตอร์หมุนเดินหน้า "

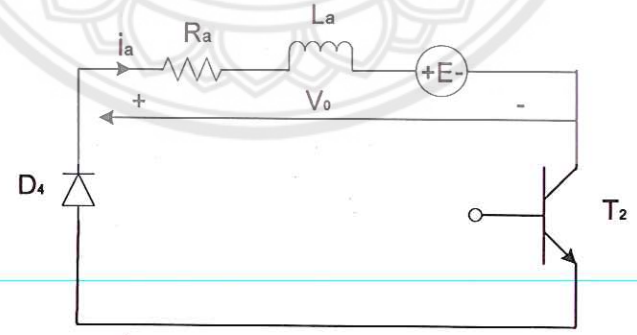
หลักการทำงาน

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



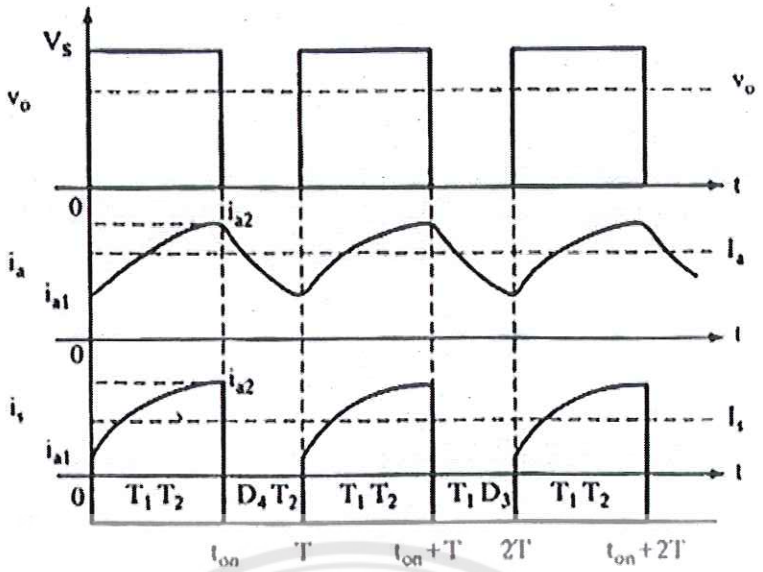
รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_1 และ T_2 นำกระแส

กำหนดให้ T_1 หรือ T_2 หยุดนำกระแส สมมุติให้ T_1 หยุดนำกระแส กระแสจะไหลผ่าน T_2 และไดโอด D_4 เพื่อคายพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทิศทางของกระแสที่ไหลยังคงเป็นทิศทางเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_1 หยุดนำกระแส และ T_2 นำกระแส

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



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า Vo, Ia, Is ในควอดแรนต์ที่ 1 (ที่มา ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysys ,and Control : หน้าที่ 128)

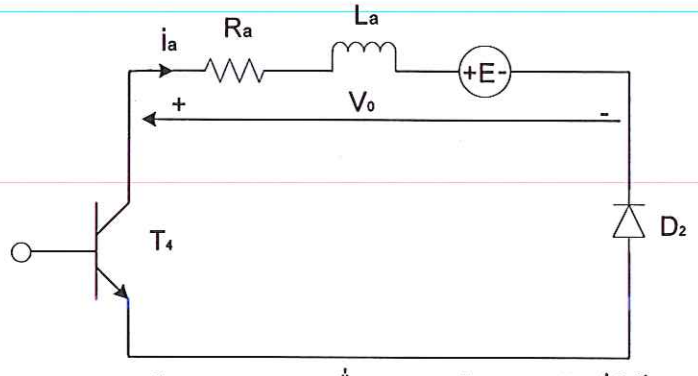
จากรูปที่ 2.6 ค่ากระแสและค่าแรงดันเอาท์พุตที่มีค่าเป็นบวก มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดินหน้า ซึ่งเป็นการทำงานในควอดแรนต์ที่ 1

2.1.2 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 (การเบรกแบบเดินหน้า)

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 ค่าของแรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นบวก กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเป็นลบ สำหรับการหมุนจะหมุนแบบเดินหน้าแต่แรงบิดมีค่าเป็นลบ ดังนั้นการทำงานในควอดแรนต์ นี้เรียกว่า " การเบรกแบบเดินหน้า "

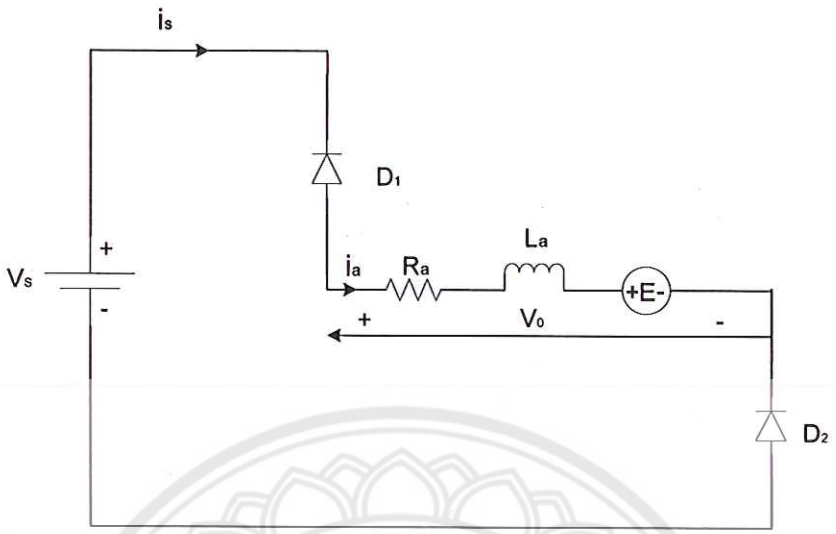
<u>หลักการทำงาน</u>

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 นี้จะทำงานต่อเนื่องจากการทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 กระแสจะไหลออกจากแหล่งจ่ายมายังโหลด จากนั้นกำหนดให้ T_1 และ T_2 หยุดนำกระแส แล้วให้ T_4 หรือ T_3 สมมุติให้ T_4นำกระแส ทิศทางการไหลของกระแสจะมีทิศทางตรงข้าม (เป็นลบ) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.7



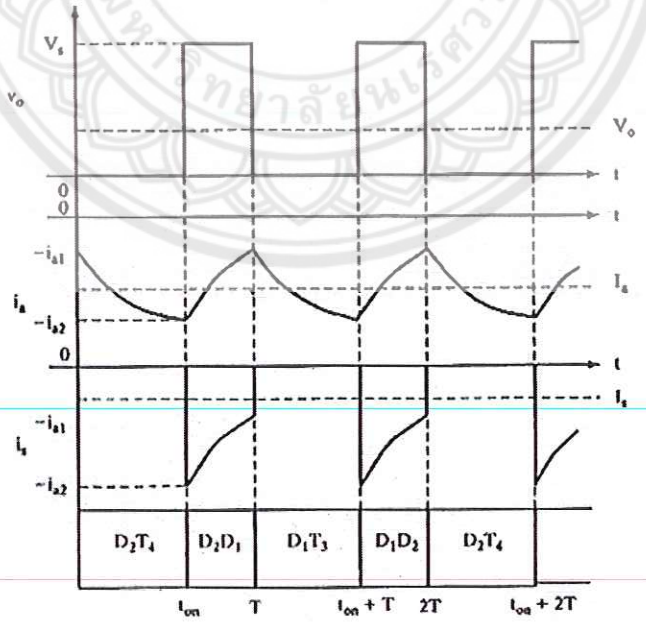
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 นำกระแส

เมื่อกระแสในวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นค่าหนึ่ง T_4 จะหยุดนำกระแสไดโอด D_1 จะได้รับการไบแอสไปข้างหน้า และกระแสจะไหลจากโหลดไปแหล่งจ่าย โดยผ่านทางไดโอด D_2 ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_4 หยุดนำ**กระแส**

และเมื่อ T_4 นำกระแสกระแสจะมีค่าลดลง และเมื่อ T_4 หยุดนำกระแส กระ**แสจะมีค่าเพิ่มขึ้น กระแสจะไหล**จากโหลดไปแหล่งจ่าย จะได้รูปค่าของแรงดันเอาต์พุต กระแสอาร์เมเจอร์ และกระแสที่แหล่งจ่าย เป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า Vo, Ia, Is ในควอดแรนต์ที่ 2 (ที่มา ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysys ,and Control : หน้าที่ 132)

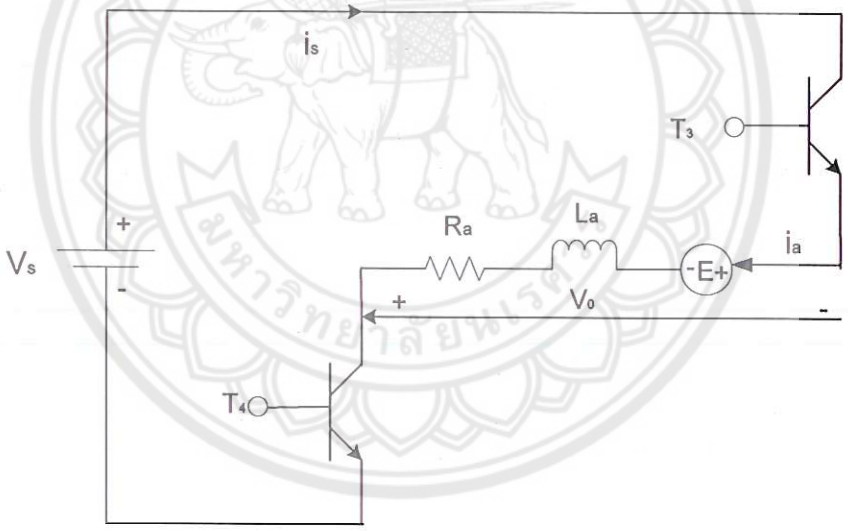
จากรูปที่ 2.9 ค่ากระแสมาเป็นค่าแรงดันเอาท์พุตที่มีค่าเป็นบวก มอเตอร์จะเบรกแบบเดินหน้า ซึ่งเป็นการทำงานในควอดแรนต์ที่ 2

2.1.3 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 (มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง)

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 ค่าของแรงดันเอาต์พุต (Vo) และกระแสอาร์เมเจอร์ (Ia) จะมีค่าเป็นลบ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับจะกลับทิศทาง (-E) สำหรับแรงบิด และอัตราเร็ว จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้น มอเตอร์จะทำงานจ่ายพลังงานทางกล และการทำงานในควอดแรนต์ นี้เรียกว่า " มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง "

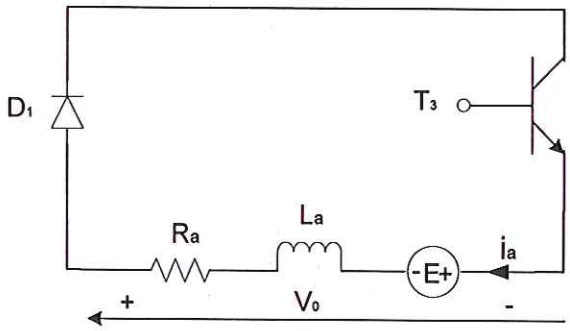
หลักการทำงาน

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



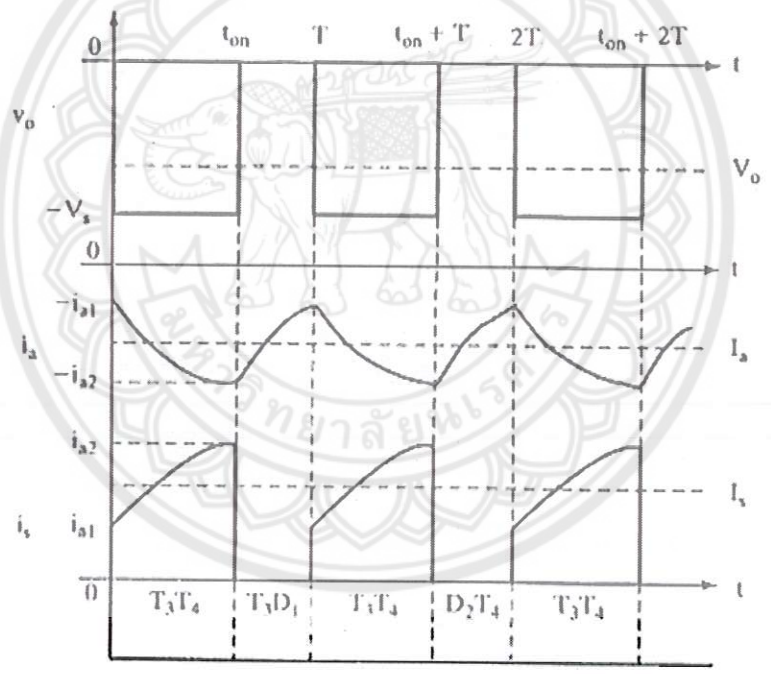
รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_3 และ T_4 นำกระแส

กำหนดให้ T_3 หรือ T_4 หยุดนำกระแส สมมุติให้ T_4 หยุดนำกระแส กระแสจะไหลผ่าน T_3 และไดโอด 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 กระแสอาร์เมเจอร์ และกระแสที่แหล่งจ่าย เป็นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า Vo, Ia, Is ในควอดแรนต์ที่ 3 (ที่มา ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysys ,and Control : หน้าที่ 131)

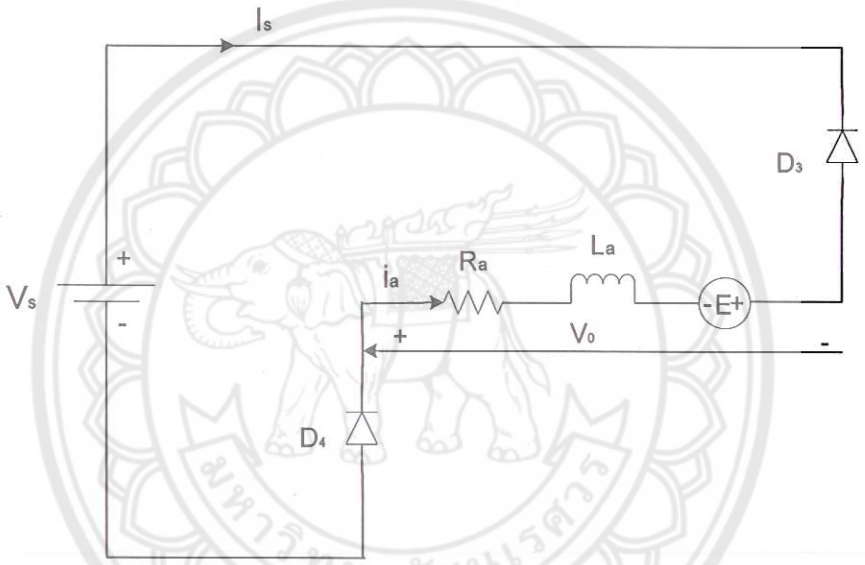
จากรูปที่ 2.12 ค่ากระแสและค่าแรงดันเอาท์พุตที่มีค่าเป็นลบ มอเตอร์จะหมุน กลับทิศทาง ซึ่งเป็นการทำงานในควอดแรนต์ที่ 3

2.1.4 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 (การเบรกแบบกลับทิศทาง)

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็บลบ กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเป็นบวก แรงดันไฟฟ้าต้านกลับจะกลับทิศทาง (-E) สำหรับการหมุนจะหมุนกลับทิศทางแต่แรงบิดมีค่าเป็นบวก ดังนั้นการทำงานในควอดแรนต์นี้เรียกว่า "การเบรกแบบกลับทิศทาง"

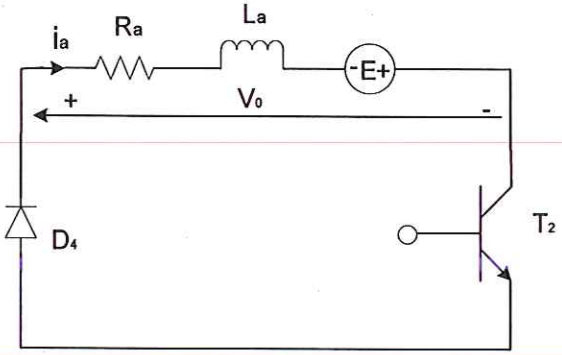
<u>หลักการทำงาน</u>

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

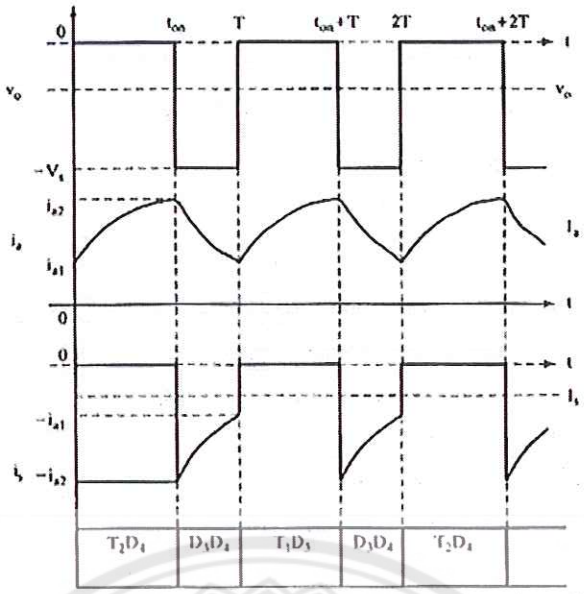


รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_1 และ T_2 หยุดนำกระแส

และเมื่อกระแสในวงจรมีค่าลดลง T_2 จะเริ่มนำกระแสอีกครั้ง กระแสจะไหลผ่าน T_2 และไดโอด D_4 ดังรูปที่ 2.14 เมื่อกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นค่าหนึ่ง T_2 จะหยุดนำกระแส กระแสจะไหลจากโหลดไปแหล่งจ่าย จะได้รูปค่าของแรงดันเอาต์พุต กระแสอาร์เมเจอร์ และกระแสที่แหล่งจ่าย เป็นดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อควบคุมสัญญาณพัลส์ ให้ T_2 นำกระแส



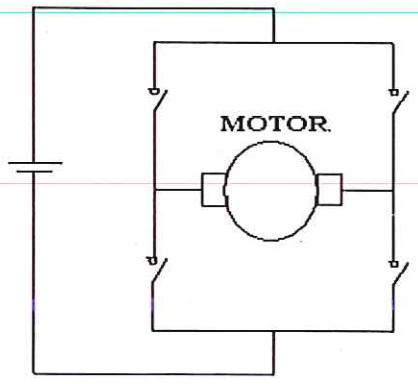
รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานของสวิตช์ และค่า Vo, Ia, Is ในควอดแรนต์ที่ 4 (ที่มา ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysys ,and Control : หน้าที่ 129)

จากรูปที่ 2.15 ค่ากระแสมีค่าเป็นบวกและค่าแรงดันเอาท์พุตที่มีค่าเป็นลบ มอเตอร์จะเบรกแบบกลับทิศทาง ซึ่งเป็นการทำงานในควอดแรนต์ที่ 4

2.1.5 H-Bridge

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

การทำงานของ H-Bridge จะต้องทำงานเป็นคู่ คือสวิตซ์บนซ้ายและล่างขวา หรือสวิตซ์บนขวาและล่างซ้าย แต่สวิตซ์ในสาขาเดียวกันจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ หากนำกระแสพร้อมกันจะเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบในแบตเตอรี่ ถ้าวงจรมีการทำงานที่ถูกต้องมันจะให้กระแสไหลผ่านได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.16 วงจร H-Bridge

จากรูปการทำงานของมอเตอร์ สวิตช์คู่ใดคู่หนึ่งในแนวทแยงมุมทำงานพร้อมกัน อาทิเช่น สวิตช์บนซ้ายและล่างขวานำกระแสจะทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางเดินหน้า แต่ถ้าสวิตซ์บนขวาและล่างซ้ายนำกระแสแทน 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

ในโครงงานนี้ใช้ 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} เป็นศูนย์จะเกิดการลัดวงจรระหว่างขาเกต (G) และซอส (S) จะทำให้ V_{GS} ต่ำกว่าค่าแรงดันเริ่มต้นการทำงานของมอสเฟส และเป็นการหยุดการทำงาน

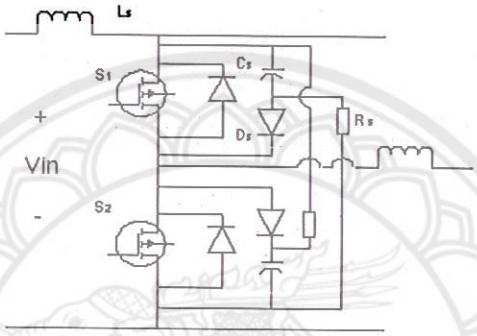
ความแตกต่างประการหนึ่งในการสั่งงานหรือควบคุมระหว่างทรานซิสเตอร์และมอสเฟตกำลัง คือ ทรานซิสเตอร์จะใช้กระแสในการควบคุมการทำงาน ส่วนมอสเฟตจะใช้แรงดัน นอกจากนั้นขาเกตจะถูกแยกออกจากซอสด้วยชั้นของซิลิคอนออกไซด์ จึงทำให้วงจรเกตของมอสเฟตมีค่าความต้านทานที่สูงมาก ส่งผลให้เกนของกำลังมีค่าที่สูงตามไปด้วย ข้อได้เปรียบของมอสเฟตเมื่อเทียบกับทรานซิสเตอร์ได้แก่

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

ส่วนข้อเสียมีเพียงอย่างเดียวคือแรงดันตกคร่อมภายในสูง

2.2.1 วงจรสนับเบอร์ (Snubber Circuit)

เป็นวงจรป้องกันมอสเฟต การออกแบบวงจรสนับเบอร์ต้องดูพิกัดของมอสเฟตที่ต้องการป้องกัน 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 "วงจรสนับเบอร์"



รูปที่ 2.17 วงจรสนับเบอร์

อย่างไรก็ตามการต่อวงจรสนับเบอร์อย่างเดียวอาจ ไม่สามารถป้องกันได้สมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรต่อซีเนอร์ไดโอด หรือวาริสเตอร์ ที่ด้านขาออกของอุปกรณ์สวิตช์กับกราวด์

ในการใช้งานมอเตอร์กระแสตรง กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ในขณะที่หยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์มอเตอร์จะไม่หยุดหมุนทันที และจะหยุดนำกระแสทันทีไม่ได้เนื่องจากโหลดของตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้น จึงต้องมีการต่อไดโอดเพื่อให้มีทางเดินกระแสไฟฟ้าเรียกว่า "freewheeling diode"

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการศึกษา ทฤษฎีและหลักการทำงานของการควบคุมมอเตอร์ในแต่ละควอดแรนต์ และมีการกล่าวถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญบางอย่างที่ใช้ในวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์นี้ ซึ่งจากการศึกษาในบทนี้แล้วก็จะนำทฤษฎีและหลักการทำงานไปทดลองจริง และมีการบันทึกผลการทดลองจริงที่ได้เปรียบเทียบกับทฤษฎี โดยรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้างวงจรควบคุมการทำงาน

จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานที่ผ่านมาในบทที่แล้ว ในบทนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตามทฤษฎี แล้วก็นำไปทดลองขับมอเตอร์จริง

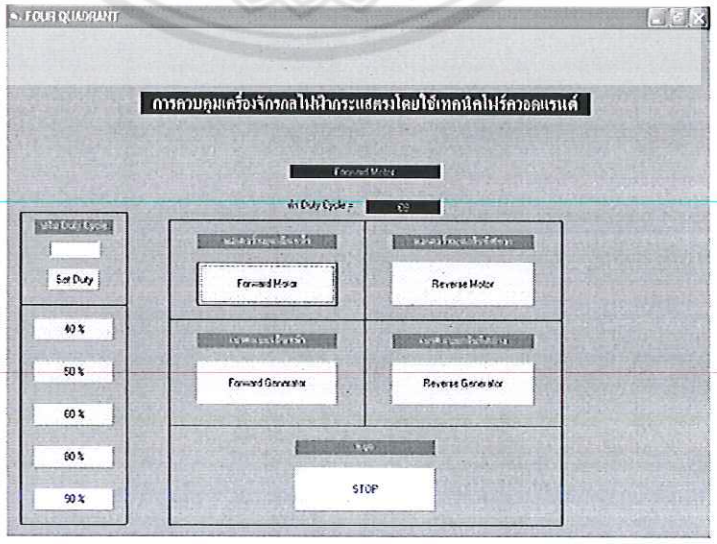
3.1 ระบบการทำงานของวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์

วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นประกอบด้วยส่วนต่างๆ โดยการทำงานนั้นสามารถอธิบายได้อย่างกว้างๆ ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์

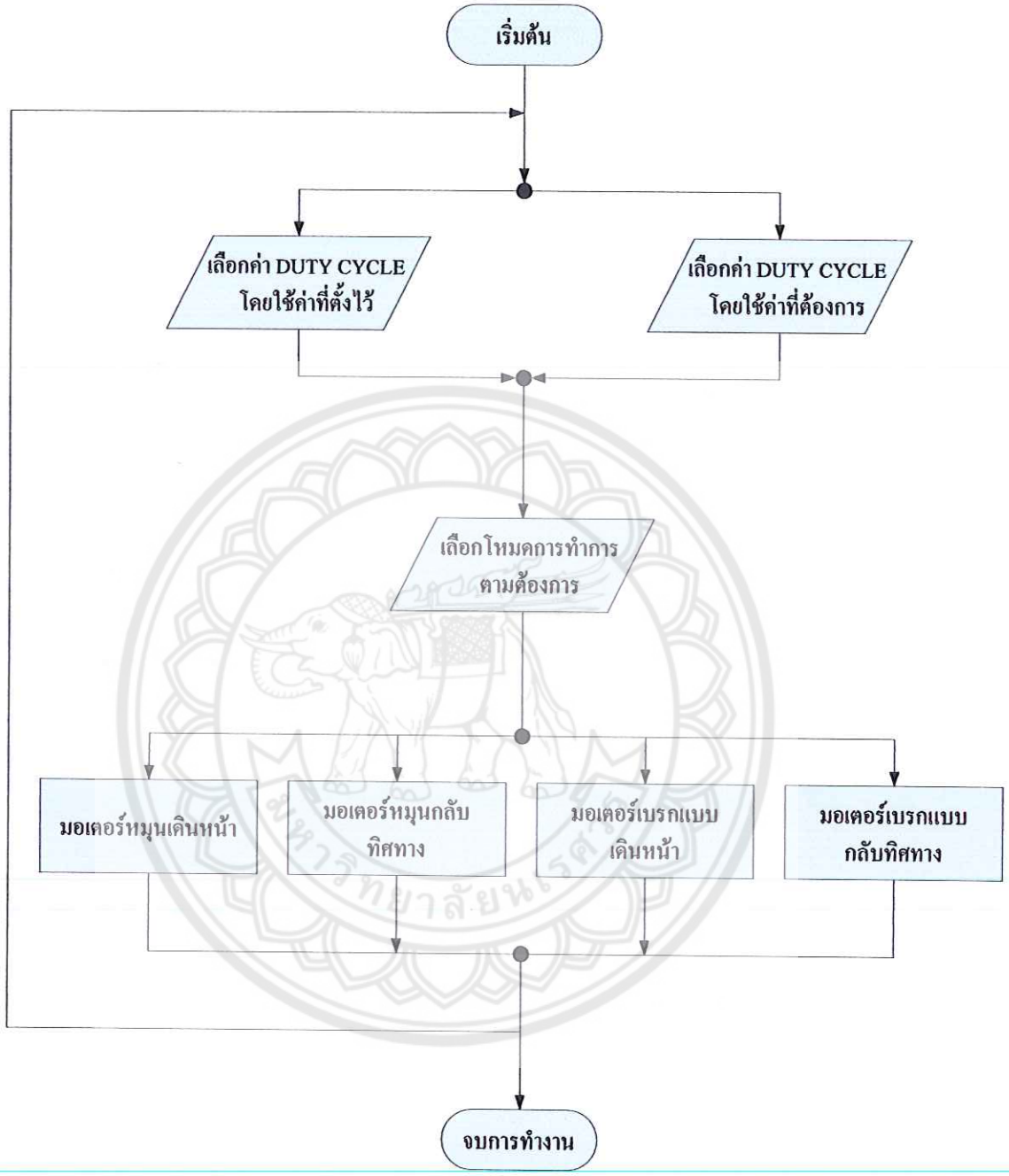
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมมอเตอร์

3.2 การออกแบบทางด้านการเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมโดยทำการรับค่าจากคีย์บอร์ดแล้วเอาต์พุตออกทางพอร์ตขนานเพื่อใช้ในการควบคุมติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถดูโปรแกรมควบคุมการทำงานที่ภาคผนวก ก



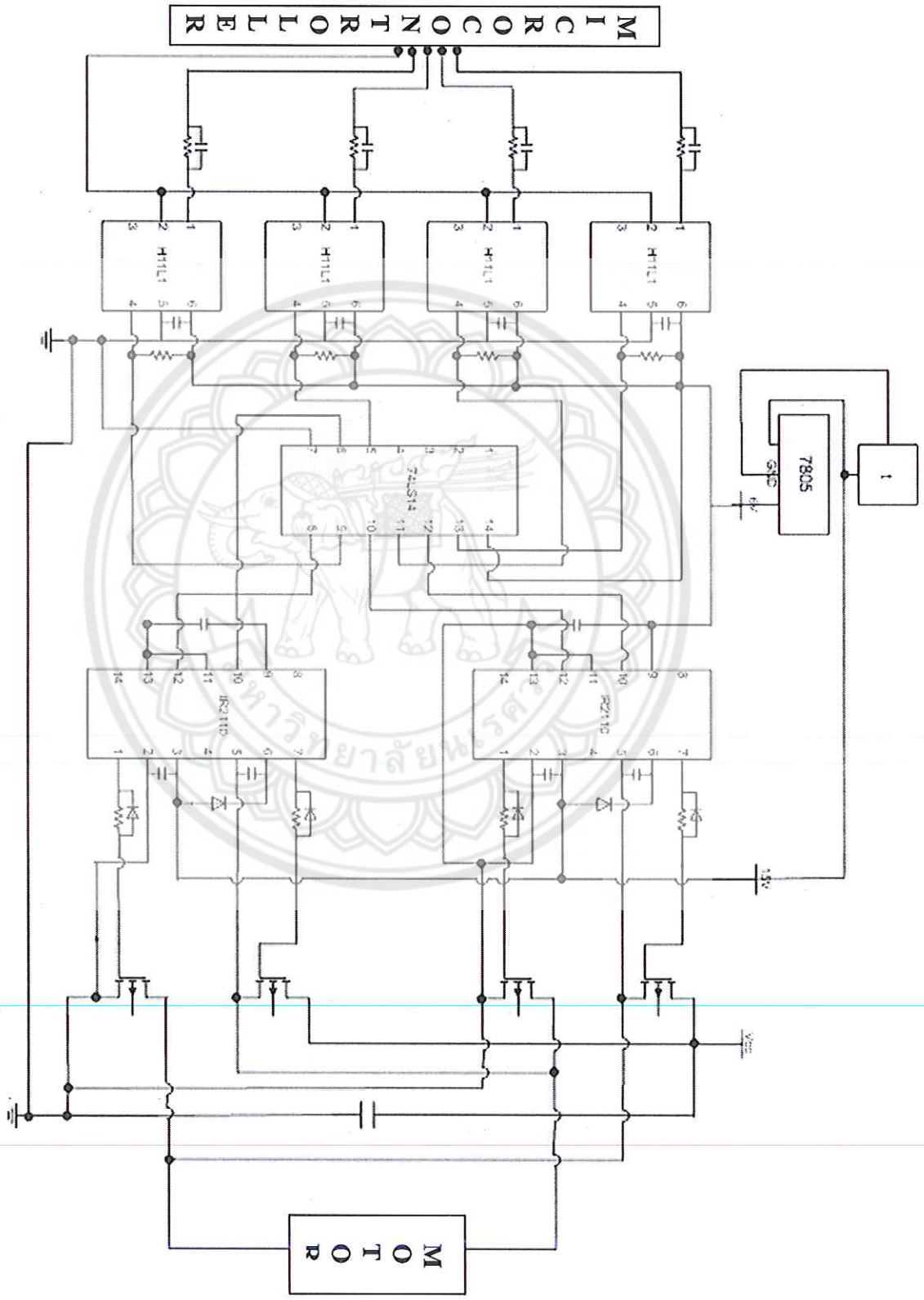
รูปที่ 3.2 หน้าจอแสดงผลที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 3.3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงาน

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมและวงจรกำลัง

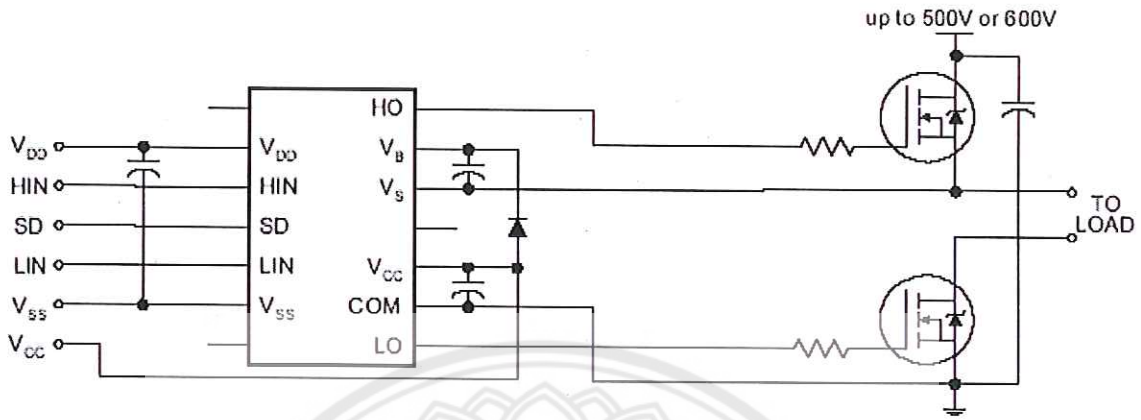
ในวงจรที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นวงจรที่ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์ และใช้ไอซีเบอร์ IR2110 เป็นตัวขับมอสเฟต โดยวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์เป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรขับมอเตอร์

3.3.1 การต่อไอซีเบอร์ IR2110 กับวงจร

IR2110 เป็นไอซีที่ใช้ขับมอสเฟต ซึ่งสามารถใช้ขับมอสเฟตได้สองตัว และจะต้องต่ออุปกรณ์กำลังดังรูปที่ 3.5 จึงจะสามารถขับมอสเฟตได้



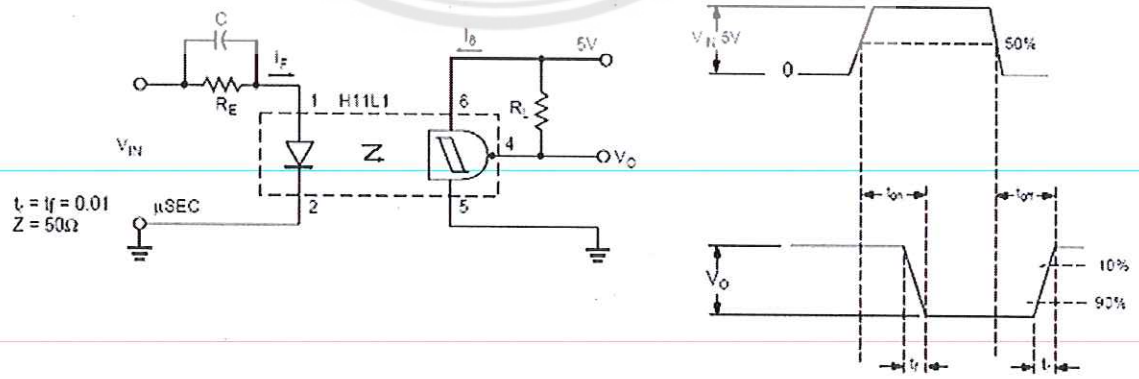
รูปที่ 3.5 การต่อไอซีเบอร์ IR2110 กับมอสเฟต

3.3.2 การต่อมอสเฟตเบอร์ IRFP450 กับวงจร

มอสเฟตเบอร์ IRFP450 เป็นมอสเฟตชนิด N chanal ซึ่งสามารถทนแรงดัน ได้ 500โวลต์ และทนกระแสได้ 14 แอมแปร์

3.3.3 การต่อไอซีเบอร์ H11L1 กับวงจร

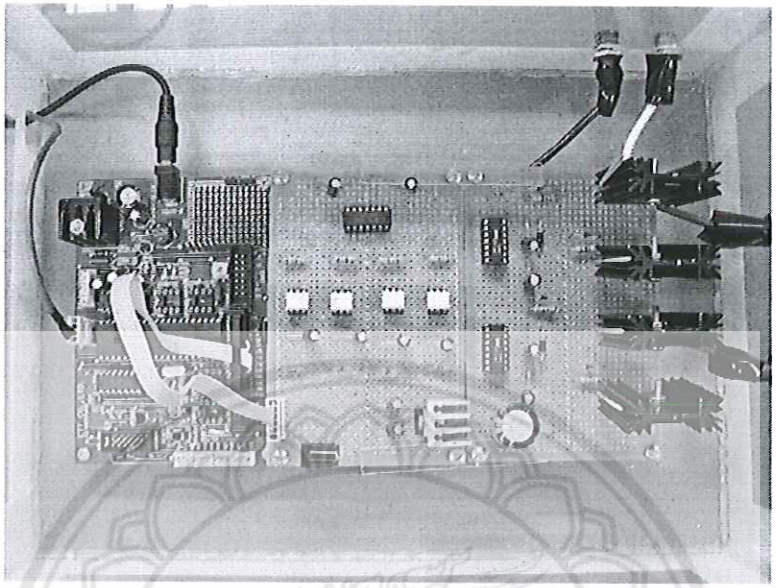
ในโครงงานนี้ใช้ไอซีเบอร์ H11L1 ในการป้องกันการลัดวงจร ซึ่งแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากไอซี H11L1 จะมีการกลับสัญญาณดังรูปที่ 3.6 ดังนั้นจะต้องต่อ Inverting เพื่อกลับสัญญาณ



รูปที่ 3.6 การต่อไอซีเบอร์ H11L1 และรูปคลื่นสัญญาณ

3.4 วิธีการทดลอง

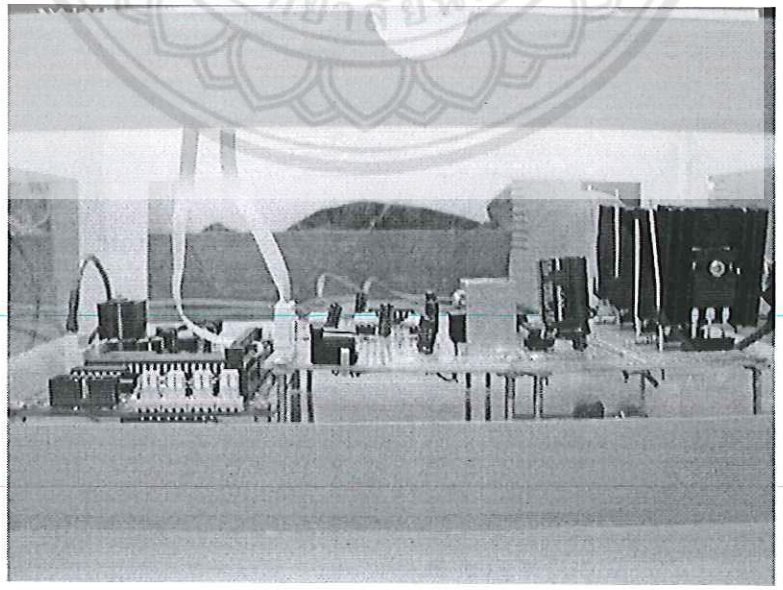
3.4.1 ต่อวงจรเพื่อทำการขับมอสเฟส



รูปที่ 3.7 การต่อวงจรเพื่อขับมอสเฟต

3.4.2 เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ไปควบคุมการทำงานของมอสเฟต

3.4.3 ต่อวงจรเพื่อทำการขับมอเตอร์



รูปที่ 3.8 วงจรขับมอเตอร์

3.4.4 เขียนโปรแกรมในการควบคุมมอเตอร์

3.4.5 ทำการทดสอบโปรแกรมกับวงจรขับมอเตอร์

รูปที่ 3.9 การทดสอบวงจร

3.4.6 บันทึกผลการทดลอง

เมื่อทำตามขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอนแล้ว จึงนำผลการทดลองที่ได้มาบันทึกผลและเปรียบเทียบตามทฤษฎี

3.4.7 ต่อวงจรขับมอเตอร์ที่ใช้งานจริง

การต่อวงจรมอเตอร์ที่ใช้งานจริง ซึ่งสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ข

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยในส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงาน ได้เริ่มจากการเขียนโฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานโดยรวมของมอเตอร์ และเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยแบ่งเป็น 4 ควอดแรนต์ คือ มอเตอร์หมุนเดินหน้า การเบรคแบบเดินหน้า มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง และการเบรกแบบกลับทิศทาง โดยได้ออกแบบให้โปรแกรมรับค่า Duty Cycle ทางคีย์บอร์ด

และในส่วนของวงจรขับมอเตอร์ได้เริ่มทำการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์กำลังต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรขับมอเตอร์ จากนั้นนำอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์กำลังต่างๆ มาประกอบรวมกันเป็นวงจรขับมอเตอร์ แล้วนำวงจรขับมอเตอร์นี้ไปทดลองขับมอเตอร์จริง ซึ่งจะได้ผลการทดลองที่จะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิธีการทดลอง

ในการศึกษาการทำงานของมอเตอร์นั้น ถ้าศึกษากับมอเตอร์จริงโดยตลอดก็จะเกิดความยุ่งยาก จึงได้เริ่มทำการศึกษาการควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม P-Spice ก่อน ซึ่งสามารถจำลองการทำงานของมอเตอร์ได้ ทำให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์ค่าผลลัพธ์ให้เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามา และในบทนี้จะมีการบันทึกผลการทดลองที่วัดค่าได้จริงจากการควบคุมมอเตอร์

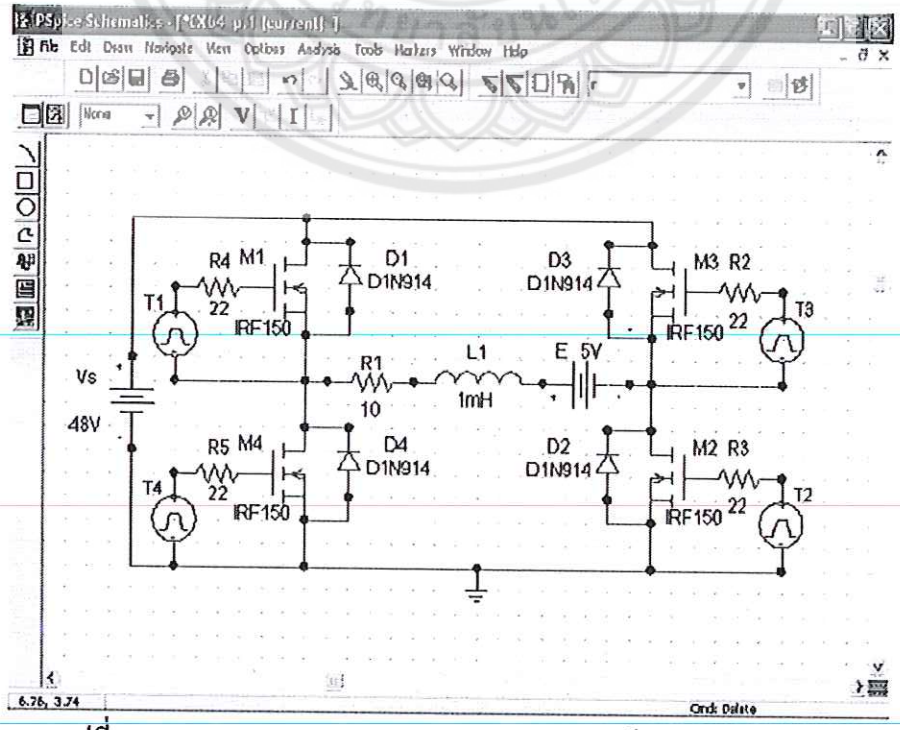
4.1 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice

โปรแกรม PSpice เป็นโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการทดลองผลทางคอมพิวเตอร์ก่อนการทดลองในวงจรจริงเพื่อจะนำผลที่ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับวงจรที่สร้างขึ้นจริงซึ่งจะทำให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

4.1.1 การวิเคราะห์ Four Quadrant ด้วยโปรแกรม PSpice

1) มอเตอร์หมุนเดินหน้า (First Quadrant)

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



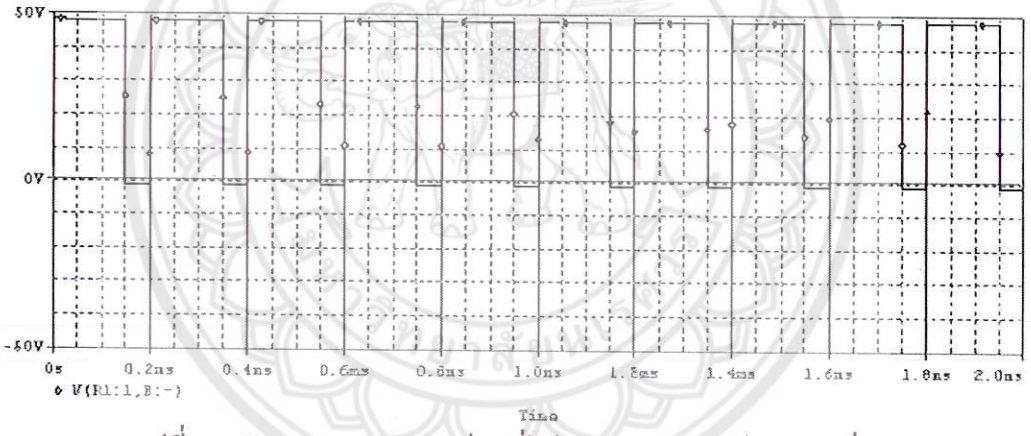
รูปที่ 4.1 วงจร Four Quadrant แบบการหมุนเดินหน้า (First Quadrant)

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

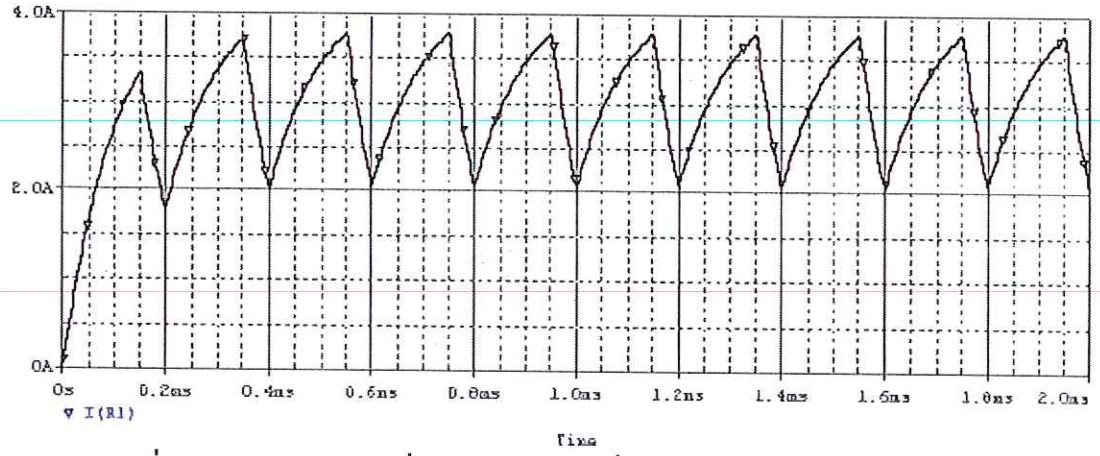
ตารางที่ 4.1 การตั้งค่า T1, T2, T3, T4 สำหรับการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.1 ด้วยโปรแกรม PSpice

	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

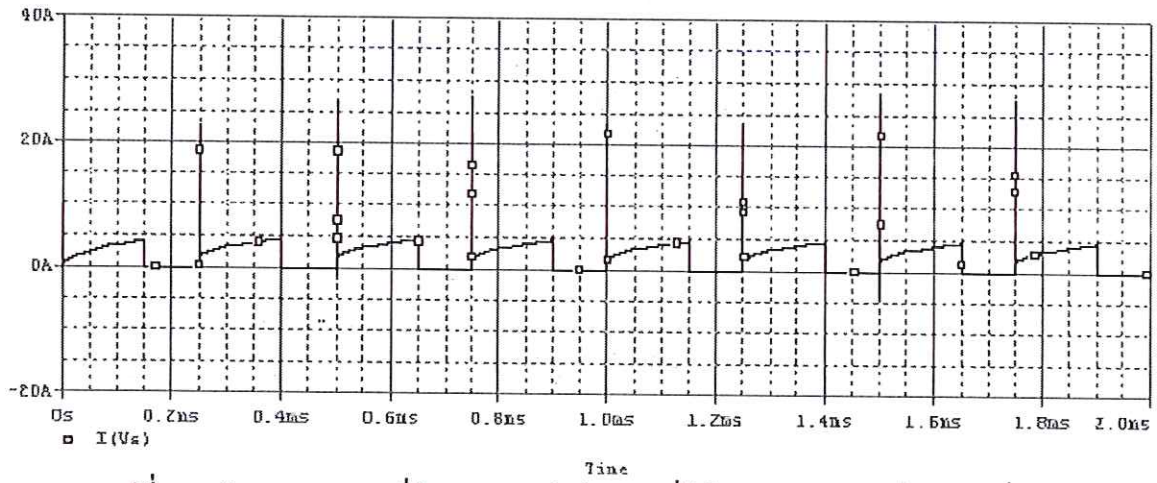
3. ทำการวิเคราะห์วงจรโดยคลิกที่ (simulation) และจะได้ผลดังรูปที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 สัญญาณแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.3 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.1

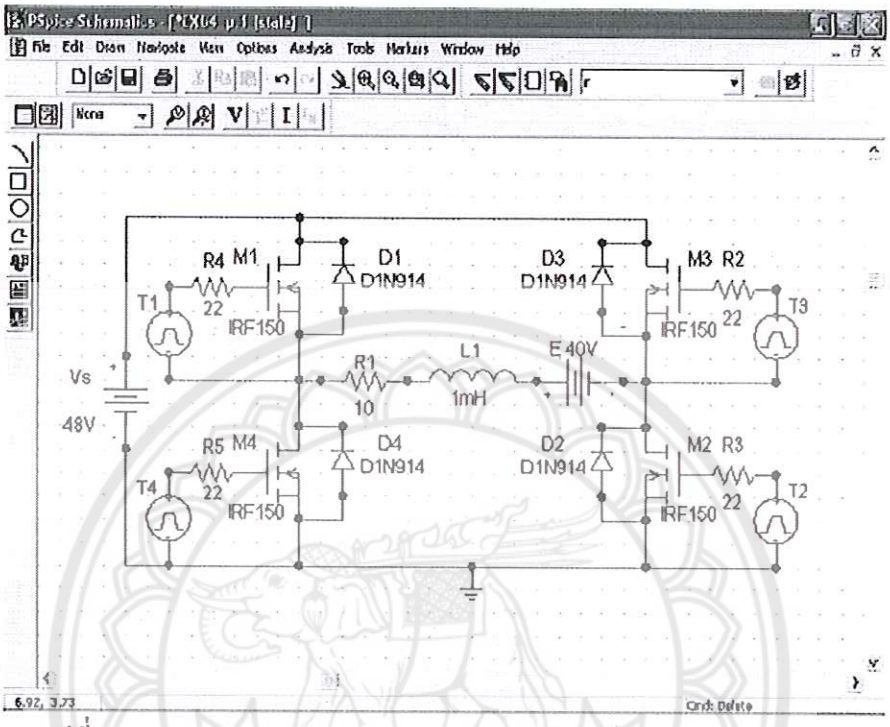


รูปที่ 4.4 สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.1

ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Pspice แรงดันเอาท์พุตที่ได้มีค่าเป็นบวก และค่าของกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุต มีค่าเป็นบวกเหมือนกัน ดังนั้นจึงเหมือนกับการทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 ของมอเตอร์ เป็นการหมุนแบบเดินหน้าของมอเตอร์

2) การเบรกแบบเดินหน้า (Second Quadrant)

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



รูปที่ 4.5 วงจร Four Quadrant แบบการเบรกเดินหน้า (Second Quadrant)

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

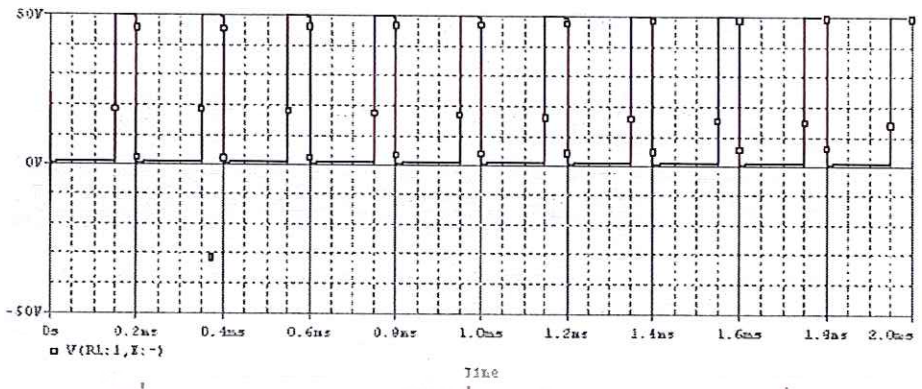
ตารางที่ 4.2 การตั้งค่า T1, T2, T3, T4 สำหรับการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5 ด้วยโปรแกรม PSpice

	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

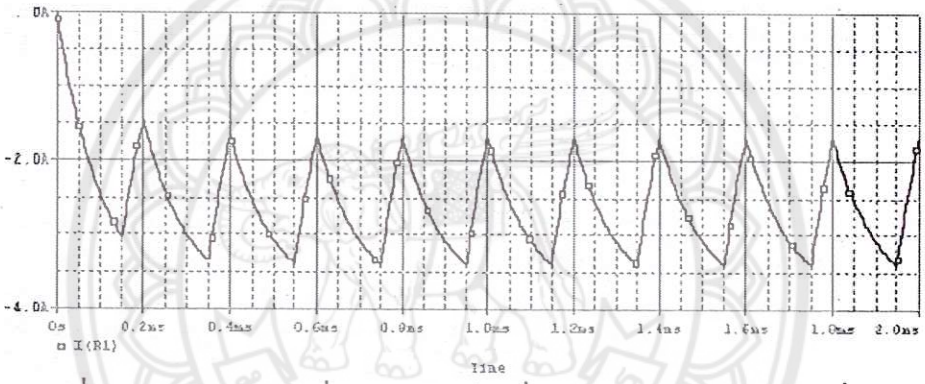
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ 4900019
i5080794 e.2 25

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

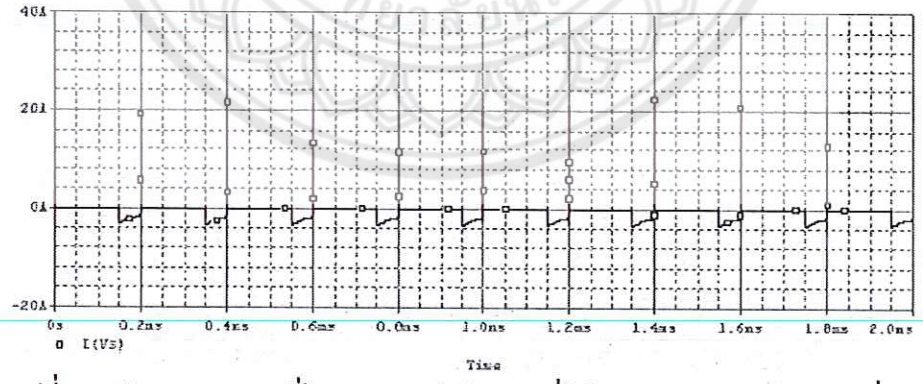
วศ.
ก443
2548.



รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.7 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5

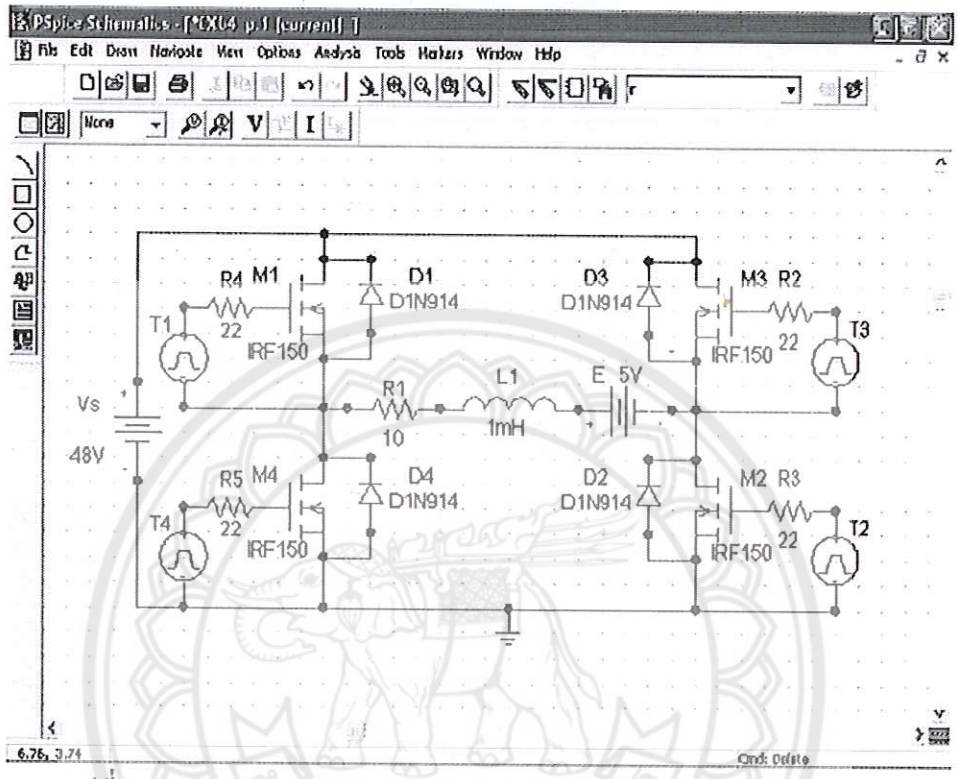


รูปที่ 4.8 สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.5

จากผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Pspice แรงดันเอาท์พุตที่ได้มีค่าเป็นบวก และค่าของกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุต มีค่าเป็นลบ ดังนั้นจึงเหมือนกับการทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 ของมอเตอร์ เป็นการเบรคแบบเดินหน้าของมอเตอร์

3) มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง (Third Quadrant)

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



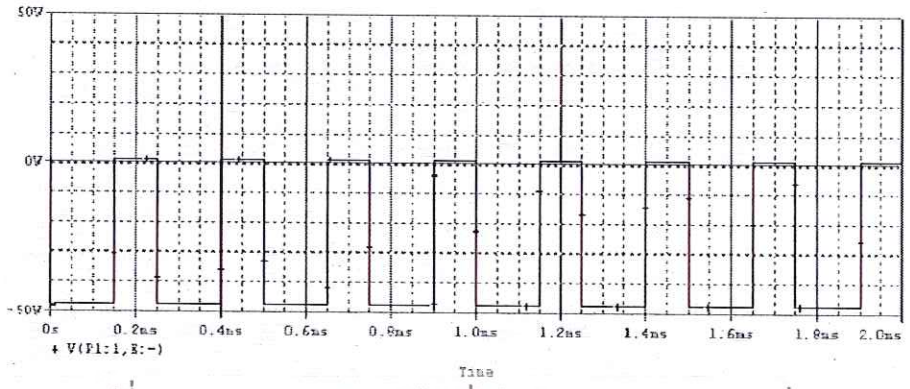
รูปที่ 4.9 วงจร Four Quadrant แบบการหมุนกลับทิศทาง (Third Quadrant)

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

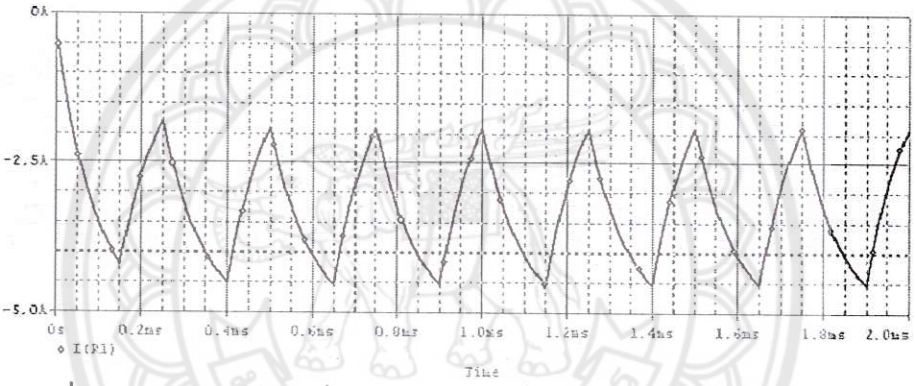
ตารางที่ 4.3 การตั้งค่า T1, T2, T3, T4 สำหรับการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.9 ด้วยโปรแกรม PSpice

	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

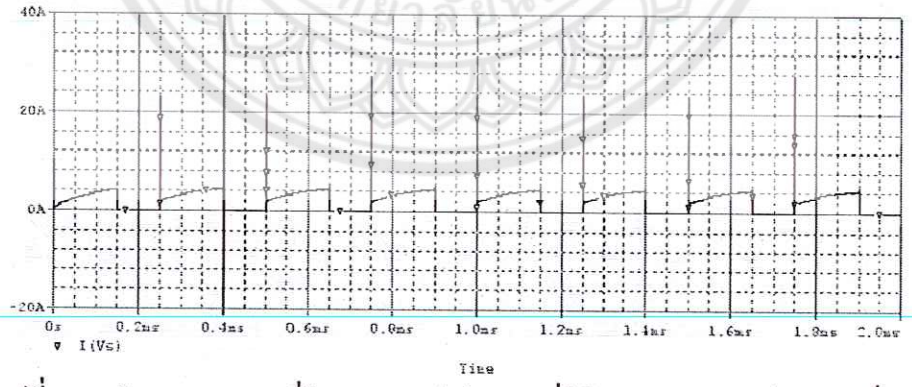
3. ทำการวิเคราะห์วงจรโดยคลิกที่ (simulation) และจะได้ผลดังรูปที่ 4.10 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.11 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.9

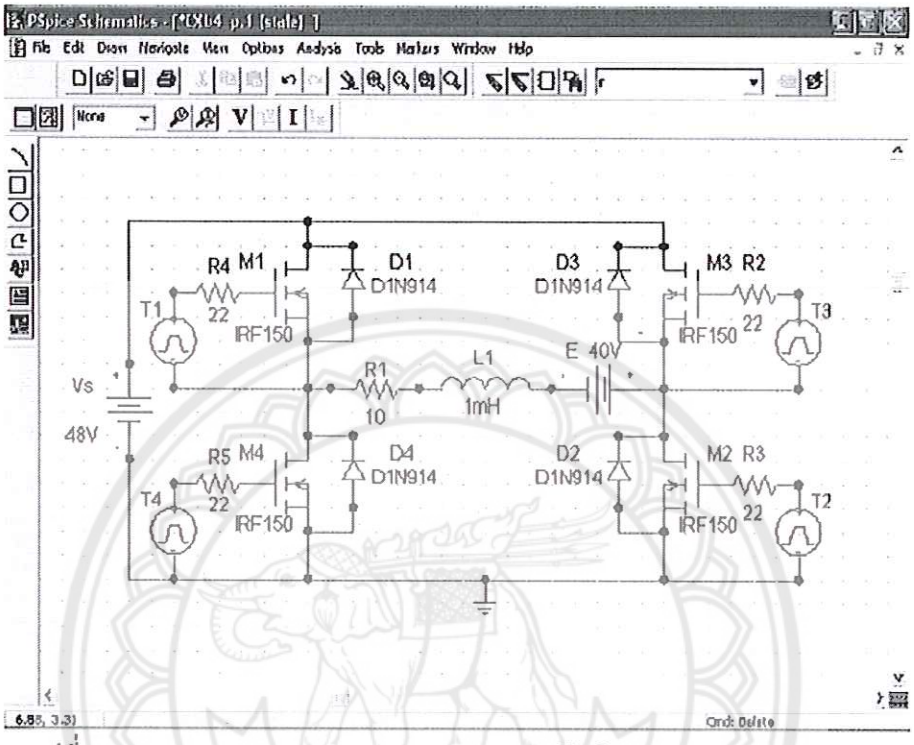


รูปที่ 4.12 สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.9

จากผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Pspice แรงดันเอาท์พุตที่ได้มีค่าเป็นลบ และค่าของกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุต มีค่าเป็นลบเหมือนกัน ดังนั้นจึงเหมือนกับการทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 ของมอเตอร์เป็นการหมุนแบบกลับทิศทางของมอเตอร์

4) การเบรกแบบกลับทิศทาง (Fourth Quadrant)

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



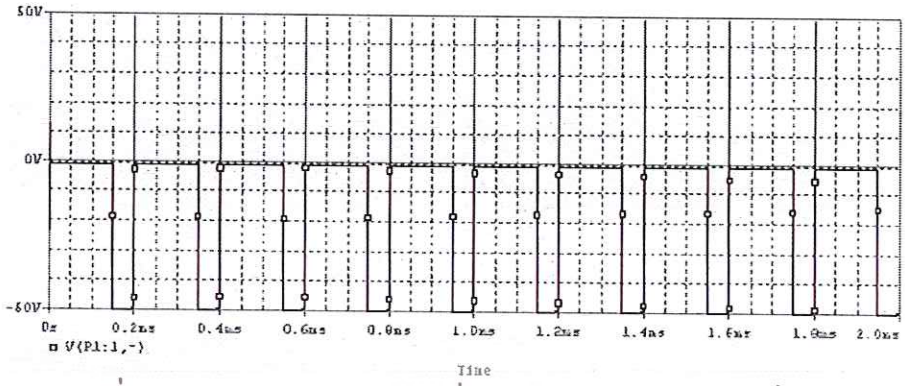
รูปที่ 4.13 วงจร Four Quadrant แบบการเบรกกลับทิศทาง (Fourth-Quadrant)

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

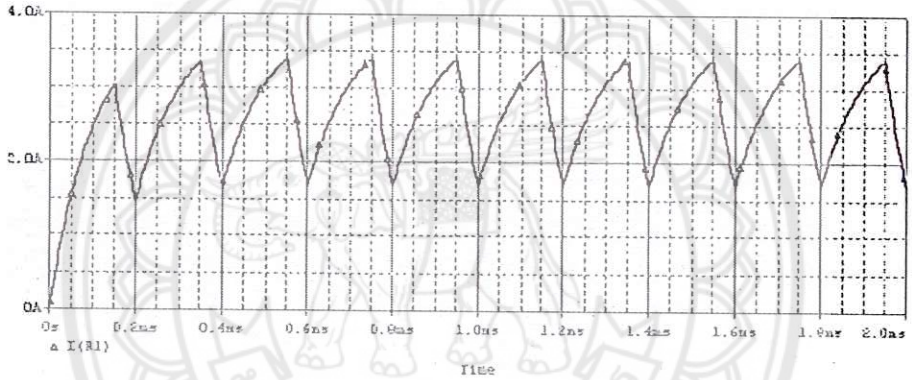
ตารางที่ 4.4 การตั้งค่า T1, T2, T3, T4 สำหรับการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.13 ด้วยโปรแกรม PSpice

	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

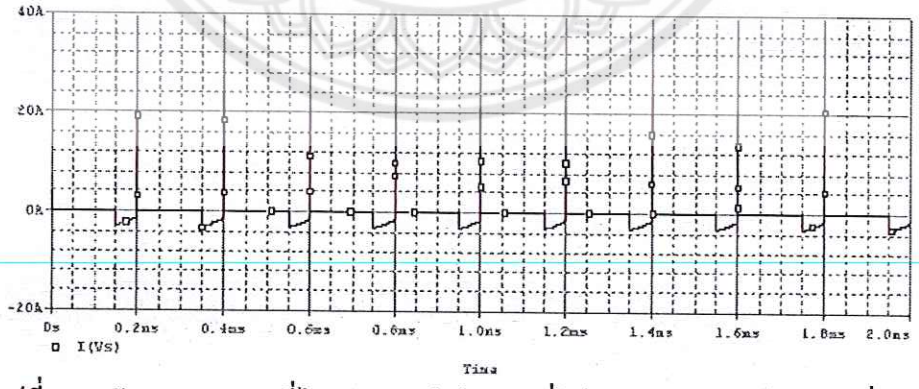
3. ทำการวิเคราะห์วงจรโดยคลิกที่ (simulation) และจะได้ผลดังรูปที่ 3.14 รูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16



รูปที่ 4.14 สัญญาณแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.15 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.13



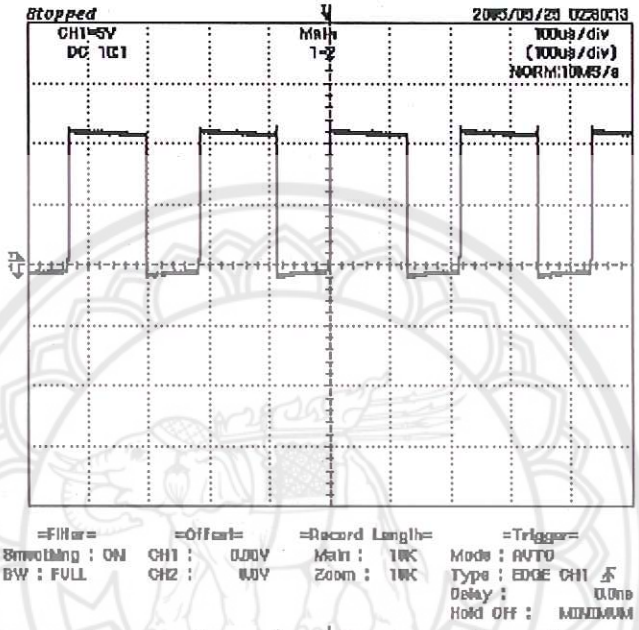
รูปที่ 4.16 สัญญาณกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่าย Vs ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรรูปที่ 4.13

จากผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Pspice แรงดันเอาท์พุตที่ได้มีค่าเป็นลบ และค่าของกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุต มีค่าเป็นบวก ดังนั้นจึงเหมือนกับการทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 ของมอเตอร์ เป็นการเบรกแบบกลับทิศทางของมอเตอร์นั่นเอง

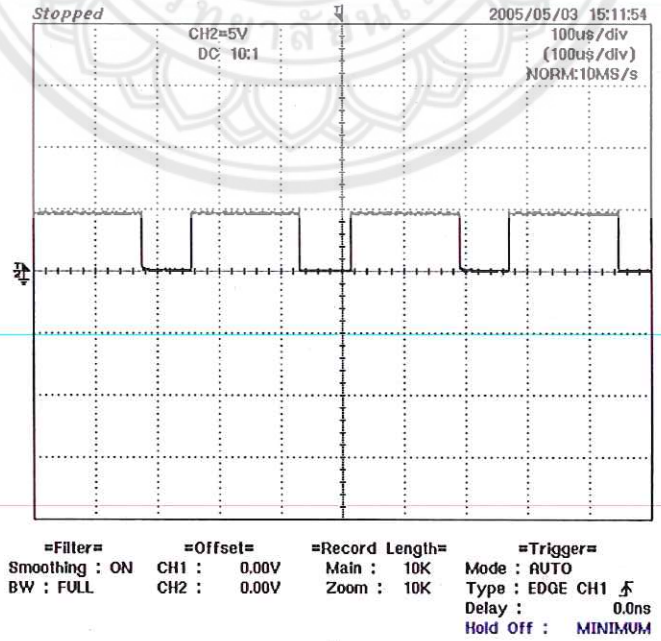
4.2 ผลการทดลองขับมอเตอร์ไฟฟ้าดีซีด้วยเทคนิคโฟร์ควอดแรนต์

4.2.1 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในควอดแรนต์ที่ 1 (มอเตอร์หมุนเดินหน้า)

จากการทดสอบการทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 และวัดแรงดันที่คร่อมระหว่างอาร์เมเจอร์ได้ดังรูปที่ 4.17 ซึ่งค่าที่วัดได้มีส่วนที่ผิดเพี้ยนไปบ้างเนื่องมาจากผลของตัวเหนี่ยวนำในมอเตอร์ แต่เมื่อเปลี่ยนการวัดจากมอเตอร์ให้มาเป็นตัวต้านทานแทนทำค่าแรงดันที่วัดได้ในรูปที่ 4.18 จะมีค่าเหมือนกันกับแรงดันที่แหล่งจ่าย

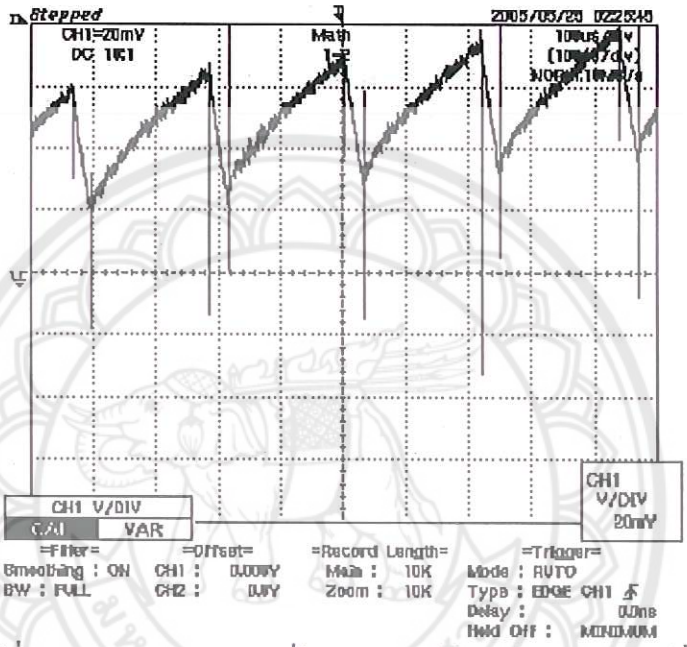


รูปที่ 4.17 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์(ควอดแรนต์ที่ 1)

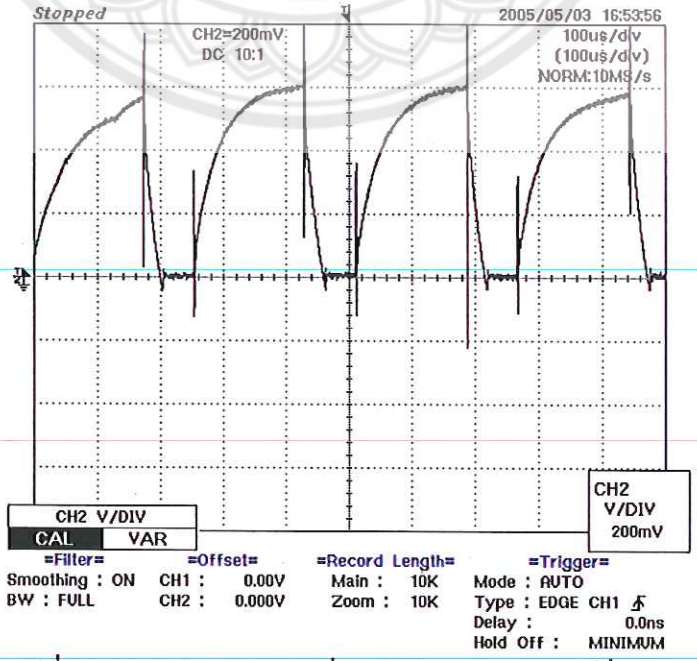


รูปที่ 4.18 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมตัวต้านทาน (ควอดแรนต์ที่ 1)

ในควอดแรนต์ที่ 1 มอเตอร์หมุนเดินหน้า กระแสจากอาร์เมเจอร์ และกระแสจากแหล่งจ่าย ที่วัดได้จะต้องมีค่าเป็นบวก จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 ช่วงที่สวิตซ์นำกระแสของสัญญาณพัลส์ จะเห็นว่าช่วงที่ กระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์จะคล้ายกับกระแสที่ไหลผ่านแหล่งจ่าย แต่ช่วงที่สวิตซ์หยุดนำกระแสจะเห็นว่ากระแสที่แหล่งจ่ายจะเป็นศูนย์ทันทีซึ่งแตกต่างกับกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ เพราะกระแสที่ผ่านอาร์เมเจอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากตัวเหนี่ยวนำที่มอเตอร์



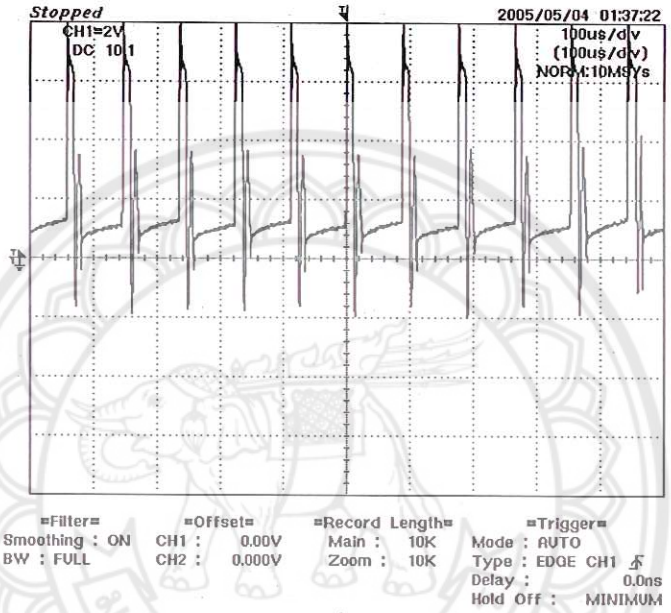
รูปที่ 4.19 กราฟของกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 1)



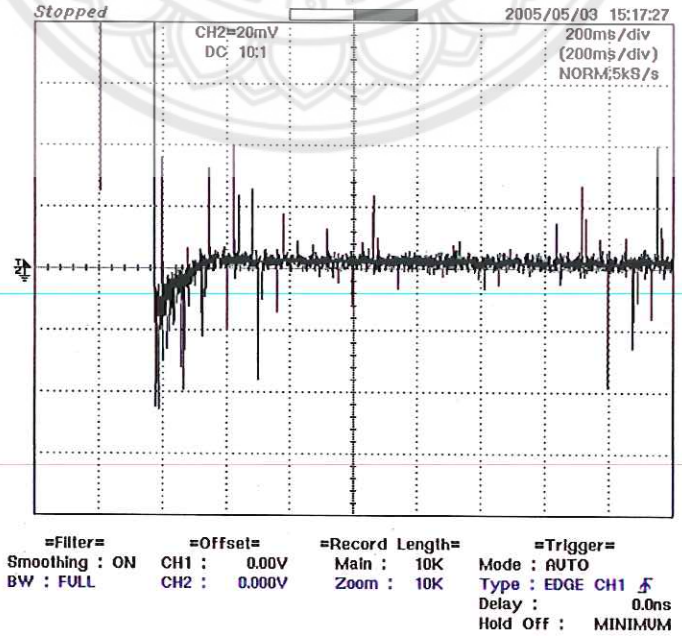
รูปที่ 4.20 กราฟของกระแสที่แหล่งจ่าย (ควอดแรนต์ที่ 1)

4.2.2 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในควอดแรนต์ที่ 2 (เบรกแบบเดินหน้า)

จากการทดลองในควอดแรนต์ที่ 2 รูปที่ 4.21 ในช่วงที่มอเตอร์เบรคแบบเดินหน้า แรงดันที่คร่อมระหว่างอาร์เมเจอร์จะมีค่าลดลง และเมื่อช่วงเวลาที่มอสเฟตทุกตัวหยุดนำกระแสจะเป็นการเบรคแบบคืนพลังงานแรงดันที่คร่อมระหว่างอาร์เมเจอร์มีค่าสูงขึ้น รูปที่ 4.22 แสดงการวัดกระแสอาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นลบ เพราะกระแสไหลจากมอเตอร์ไปยังแหล่งจ่าย เป็นการเบรกแบบคืนพลังงานกลับไปยังแหล่งจ่าย



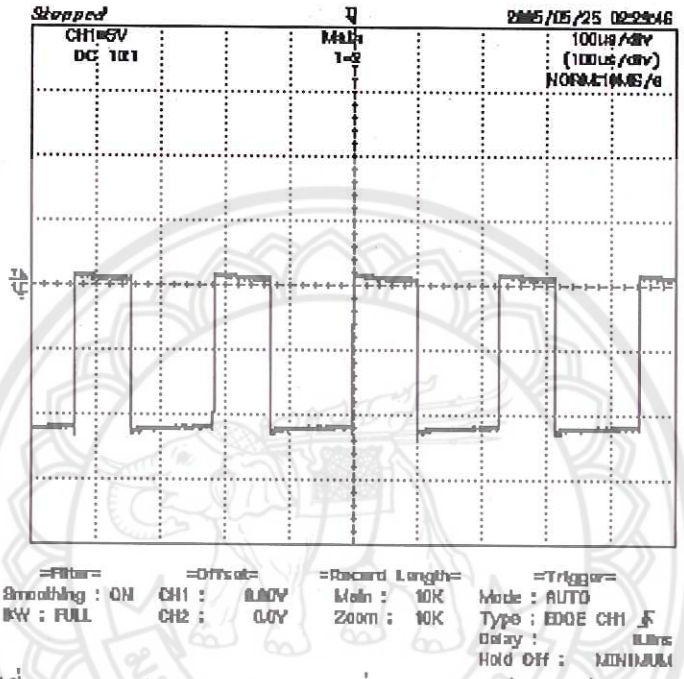
รูปที่ 4.21 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 2)



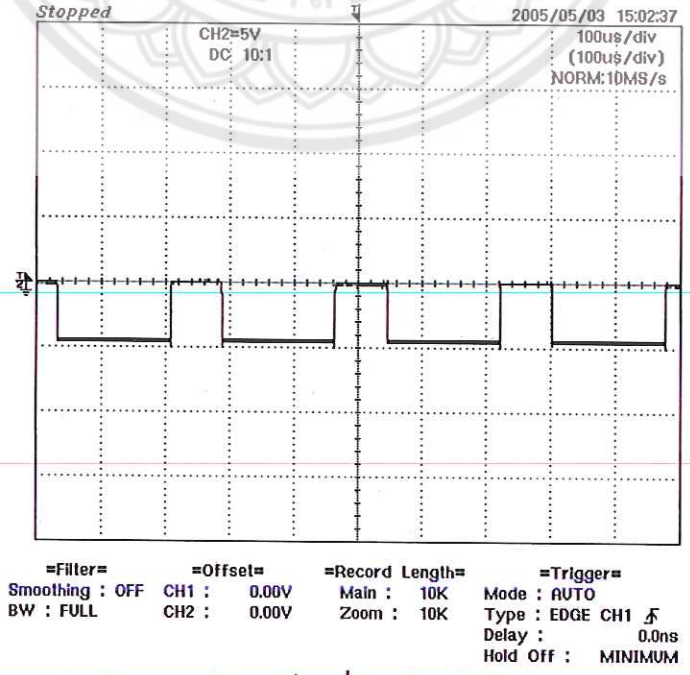
รูปที่ 4.22 กราฟของกระแสจากการเบรคโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอร์ดแรนต์(ควอดแรนต์ที่ 2)

4.2.3 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในควอดแรนต์ที่ 3 (มอเตอร์หมุนแบบกลับทิศทาง)

เนื่องจากมอเตอร์หมุนแบบกลับทิศทาง ค่าแรงดันที่วัดได้ระหว่างอาร์เมเจอร์จึงมีค่าออกมาเป็นลบดังรูปที่ 4.23 แต่เนื่องจากความเป็นตัวเหนี่ยวนำของมอเตอร์จึงทำให้รูปคลื่นที่ออกมาไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อนำตัวต้านทานมาแทนมอเตอร์จะได้รูปคลื่นที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 แสดงว่าแรงดันที่วัดได้จากมอเตอร์เป็นไปตามทฤษฎี

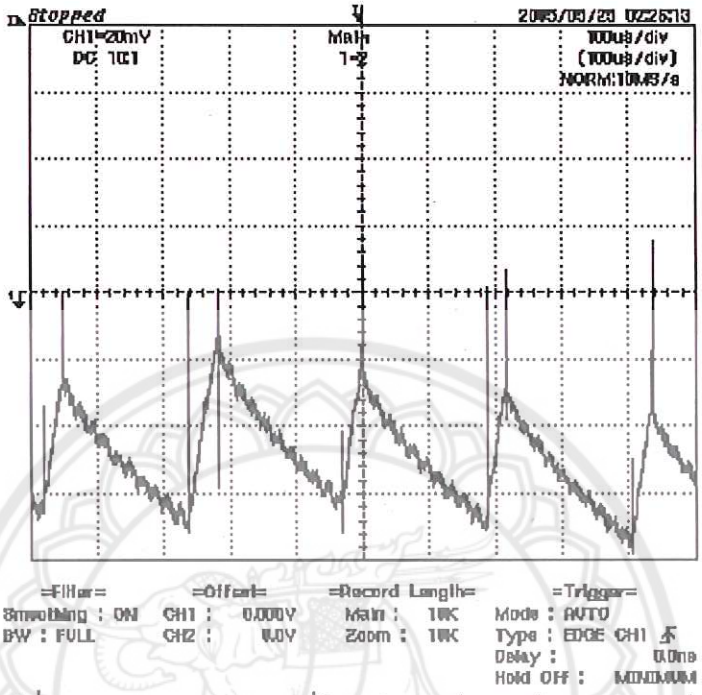


รูปที่ 4.23 กราฟของแรงดันเอาพุตที่วัดคร่อมอาร์เมเจอร์(ควอดแรนต์ที่ 3)

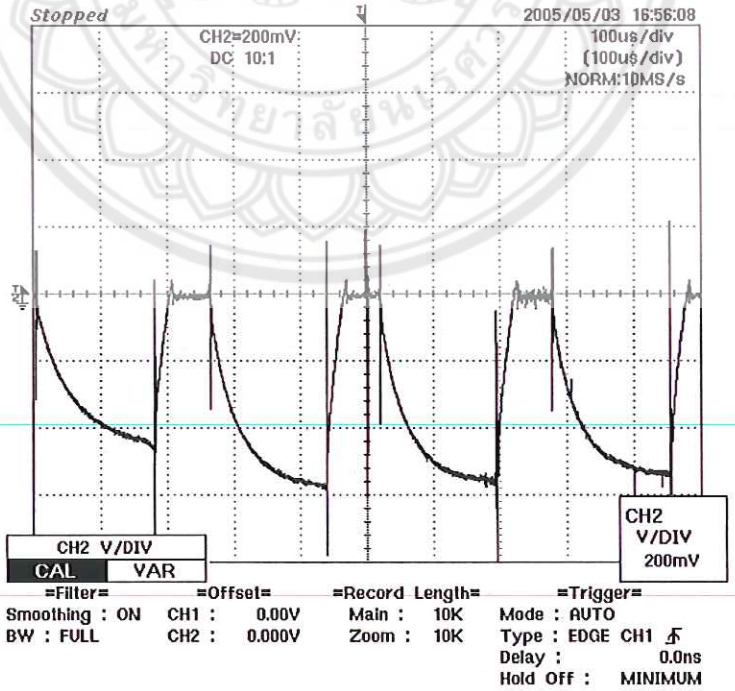


รูปที่ 4.24 กราฟของแรงดันเอาต์พุตที่วัดคร่อมตัวต้านทาน (ควอดแรนต์ที่ 3)

มอเตอร์หมุนแบบกลับทิศทางกระแสที่วัดได้ทั้งจากแหล่งจ่ายและอาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นลบ เนื่องจากกระแสไหลกลับทิศทางจากการหมุนแบบเดินหน้า แต่กระแสที่อาร์เมเจอร์ ดังรูปที่4.25 ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดได้เนื่องจากความเป็นตัวเหนี่ยวนำของมอเตอร์



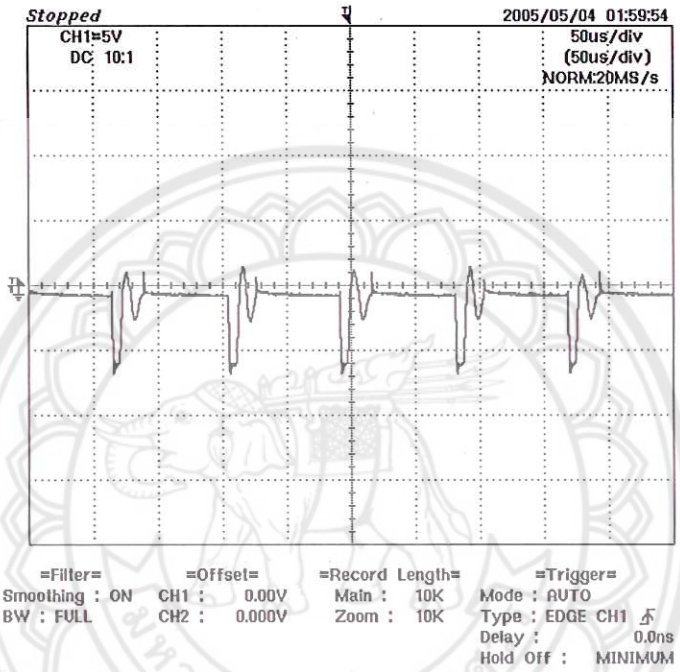
รูปที่ 4.25 กราฟของกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 3)



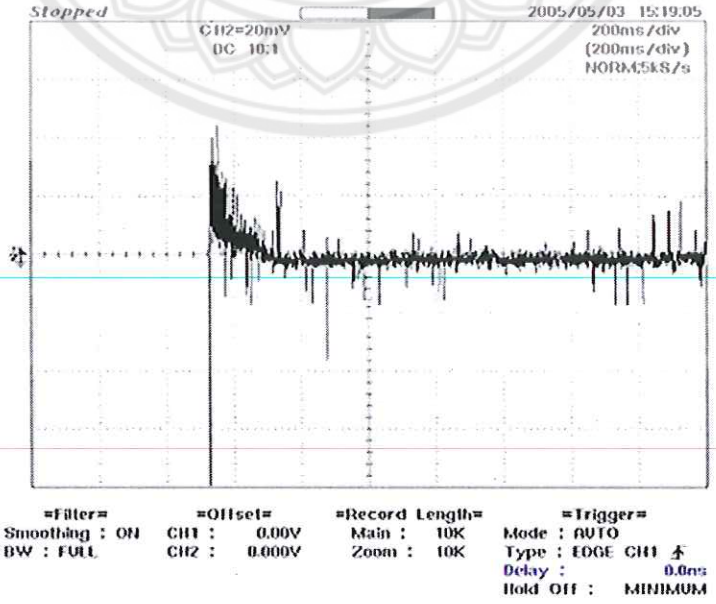
รูปที่ 4.26 กราฟของกระแสที่แหล่งจ่าย (ควอดแรนต์ที่ 3)

4.2.4 การทดสอบวัดค่าแรงดัน และกระแสในควอดแรนต์ที่ 4 (เบรกแบบกลับทิศทาง)

การเบรกมอเตอร์แบบกลับทิศทางค่าแรงดันที่วัดได้จะมีค่าเป็นลบ แต่กระแสมีค่าเป็นบวก จากรูปที่ 4.27 เป็นช่วงการเบรคแบบกลับทิศทางของมอเตอร์แรงดันที่วัดระหว่างอาร์เมเจอร์จะมีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลาที่มอสเฟตทุกตัวหยุดนำกระแสจะเป็นการเบรคแบบคืนพลังงานแรงดันที่วัดระหว่างอาร์เมเจอร์จะมีค่าลดลง ในรูปที่ 4.28 เมื่อวัดกระแสที่อาร์เมเจอร์ จะได้กระแสที่มีค่าเป็นบวกเนื่องจากการไหลย้อนกลับของกระแสจากมอเตอร์ไปยังแหล่งจ่าย เป็นการเบรกแบบคืนพลังงานให้กับแหล่งจ่าย



รูปที่ 4.27 กราฟของแรงดันเอาพุตที่วัดระหว่างอาร์เมเจอร์ (ควอดแรนต์ที่ 4)



รูปที่ 4.28 กราฟของกระแสจากการเบรคโดยใช้เทคนิคโฟร์ควอร์ดแรนต์(ควอดแรนต์ที่ 4)

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาแบบจำลองการทำงานของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม P-Spice และนำผลการทดลองที่ได้จากการโปรแกรม P-Spice มาช่วยในการออกแบบวงจรขับมอเตอร์ที่จะนำมาใช้งานจริง และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่วัดได้จริงจากมอเตอร์ ว่ามีค่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่

การศึกษาการจำลองการทำงานของมอเตอร์ในโปรแกรม P-Spice ได้แบ่งการจำลองทดลองการทำงานของมอเตอร์ออกเป็น 4 ควอดแรนต์ คือ มอเตอร์หมุนเดินหน้า เบรคแบบเดินหน้า มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง และเบรคแบบกลับทาง ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจการออกแบบอย่างเหมาะสม ก่อนที่จะทำการออกแบบวงจรขับมอเตอร์จริง

บทที่ 5
บทสรุป

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงงานนี้ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงงานนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผล

ในโครงงานนี้ ได้ออกแบบวงจร H-Bridge และควบคุมการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ให้ทำงานโดยการป้อนสัญญาณพัลส์ 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

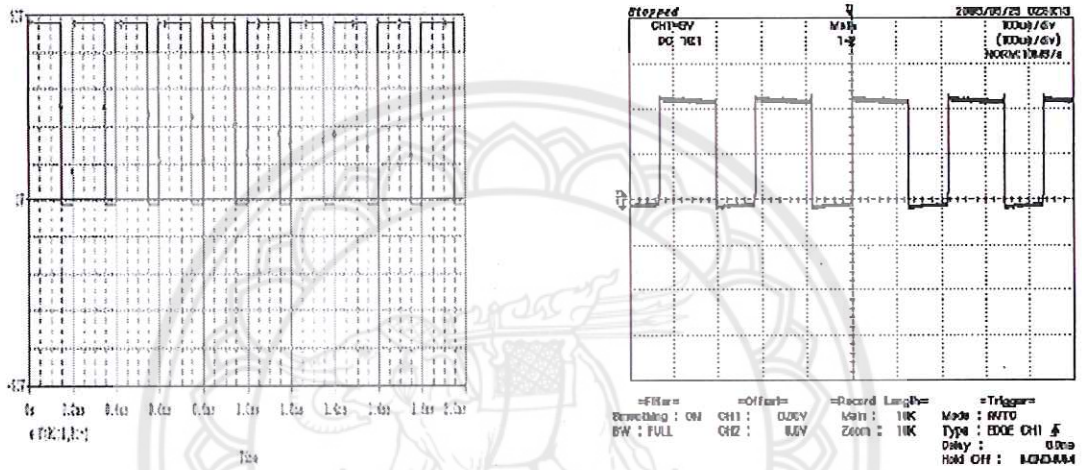
5.1.4 การทำงานของควอดแรนต์ที่ 4 (เบรกแบบกลับทิศทาง) อัตราเร็วมีค่าเป็นลบ แต่แรงบิดจะมีค่าเป็นบวก

โดยที่ในควอดแรนต์ที่ 2 และควอดแรนต์ที่ 4 นั้นจะเป็นการเบรกแบบคืนพลังงาน คือ สามารถนำพลังงานในช่วงของการเบรกจ่ายกลับเข้าไปที่แหล่งจ่ายไฟได้ แทนที่จะปล่อยให้พลังงานในช่วงของการเบรกนี้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งจะทำให้สามารถใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายได้นานมากขึ้นกว่าปกติ

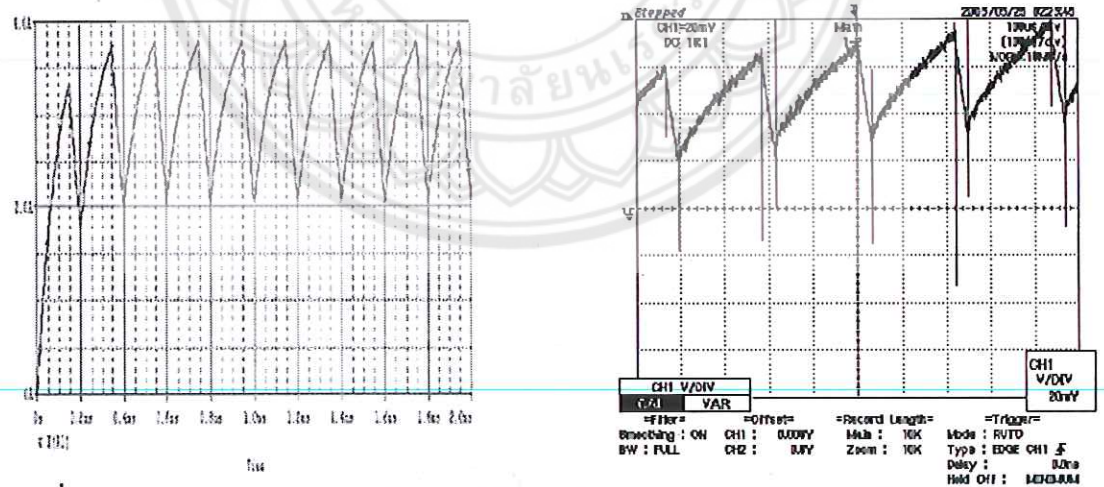
5.2 สรุปกราฟเปรียบเทียบการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และการวัดค่าจริงจากมอเตอร์

ควอดแรนต์ที่ 1

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 จะเป็นการทำงานแบบมอเตอร์หมุนเดินหน้า ซึ่งจะมีค่าแรงดันเอาต์ และกระแสที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งกราฟที่ได้จากทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ มีค่าที่ได้ตรงตามทฤษฎี



รูปที่ 5.1 แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

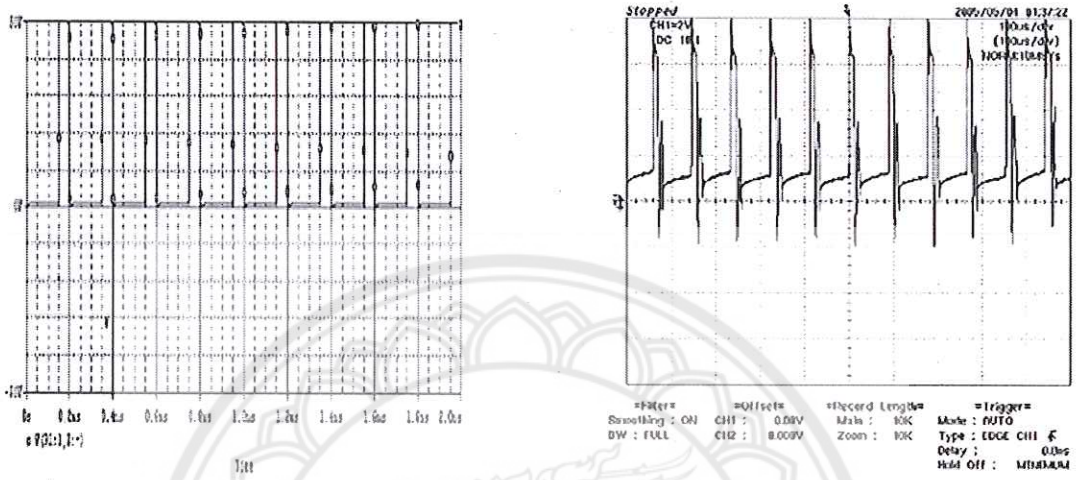


รูปที่ 5.2 แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

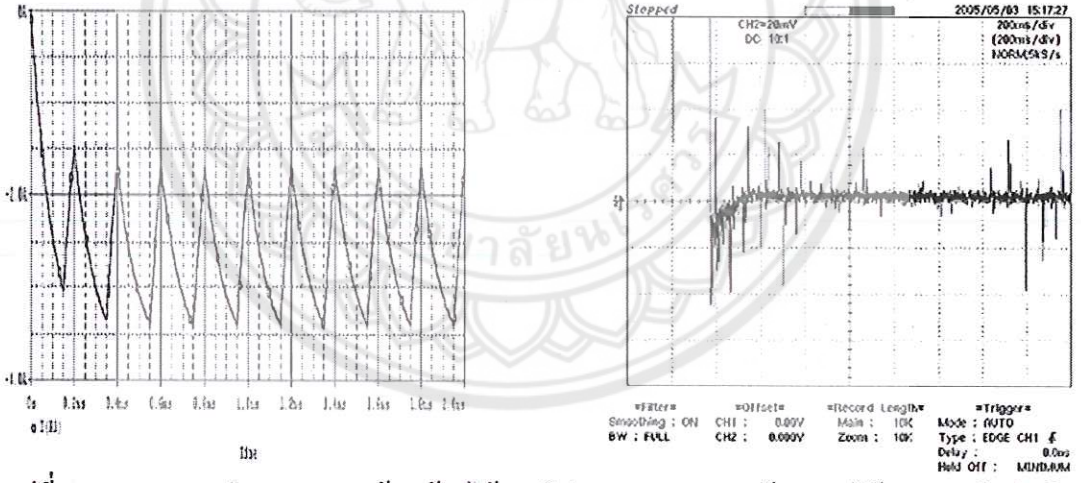
เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน จะพบว่ามีลักษณะที่คล้ายกัน แต่มีค่าระดับแรงดัน ค่าระดับกระแส และค่า Duty Cycle ไม่เท่ากัน เพราะว่าในการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice ได้มีการกำหนดค่าแรงดันที่แหล่งจ่าย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

ควอดแรนต์ที่ 2

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



รูปที่ 5.3 แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

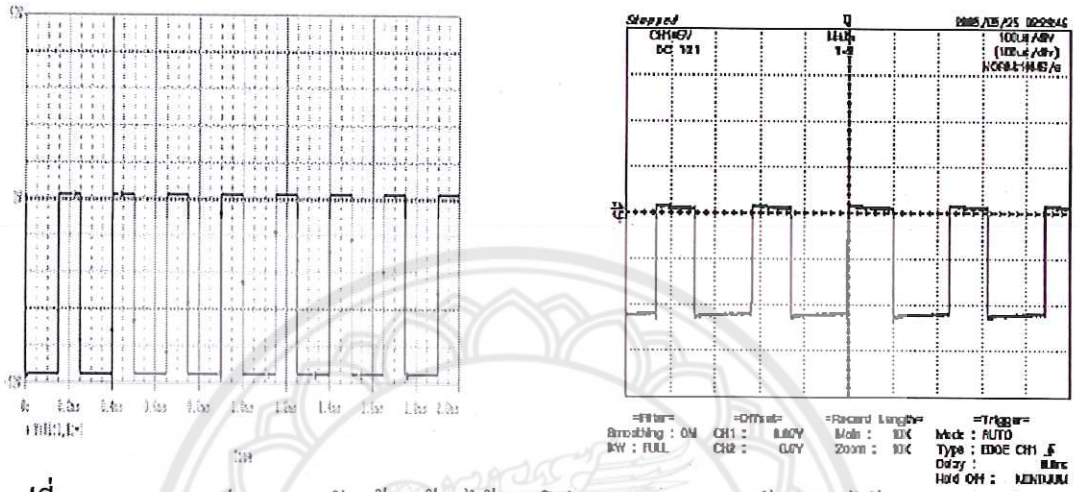


รูปที่ 5.4 แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

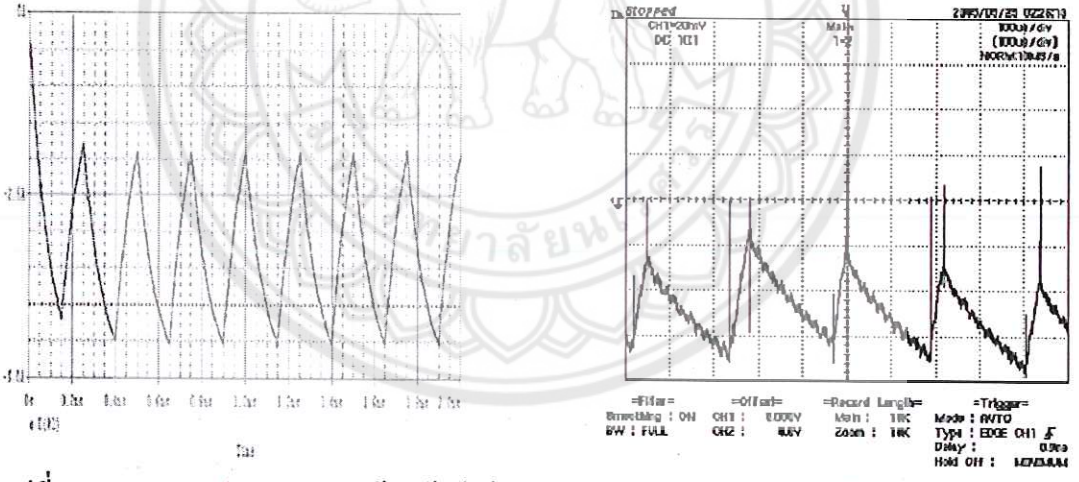
เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน จะพบว่ามีลักษณะที่คล้ายกัน แต่มีค่าระดับแรงดัน ค่าระดับกระแส และค่า Duty Cycle ไม่เท่ากัน เพราะว่าในการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice ได้มีการกำหนดค่าแรงดันที่แหล่งจ่าย และค่า Duty Cycle ไม่ตรงกับการวัดจากการทดลองจริง และกราฟของกระแสอาร์เมเจอร์ที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ จะมีค่าลดลงในทางลบจนมีค่าเป็นศูนย์ เพราะเมื่อทำการเบรคมอเตอร์ มอเตอร์จะหยุดทำงาน ทำให้กระสลดลงเป็นศูนย์ แต่ในการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice ได้กำหนดให้มอเตอร์เป็นแหล่งจ่ายที่คงที่ จึงทำให้กระแสไม่ลดลงเป็นศูนย์

ควอดแรนต์ที่ 3

การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 จะเป็นการทำงานแบบมอเตอร์หมุนแบบกลับทิศทาง ซึ่งจะมีค่าแรงดันเอาต์ และกระแสที่อาร์เมเจอร์จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งกราฟที่ได้จากทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ มีค่าที่ได้ตรงตามทฤษฎี



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

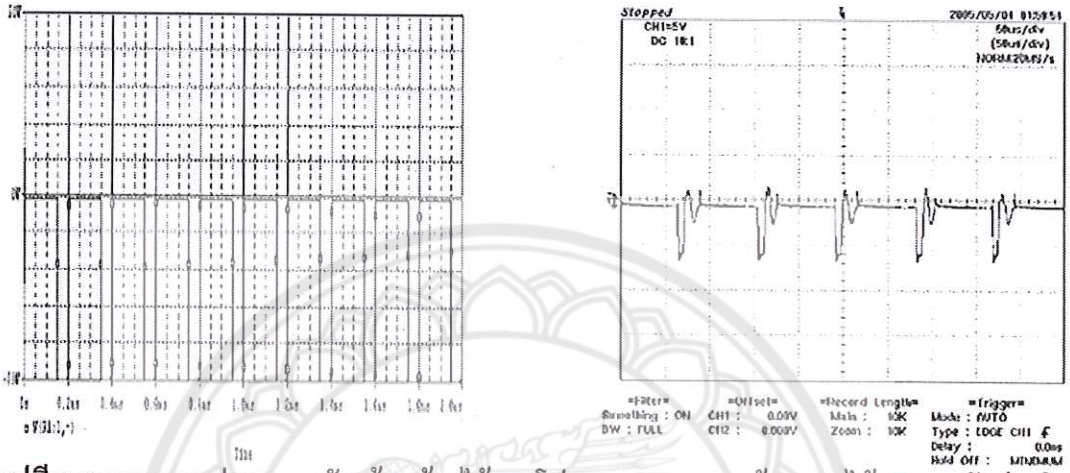


รูปที่ 5.6 แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

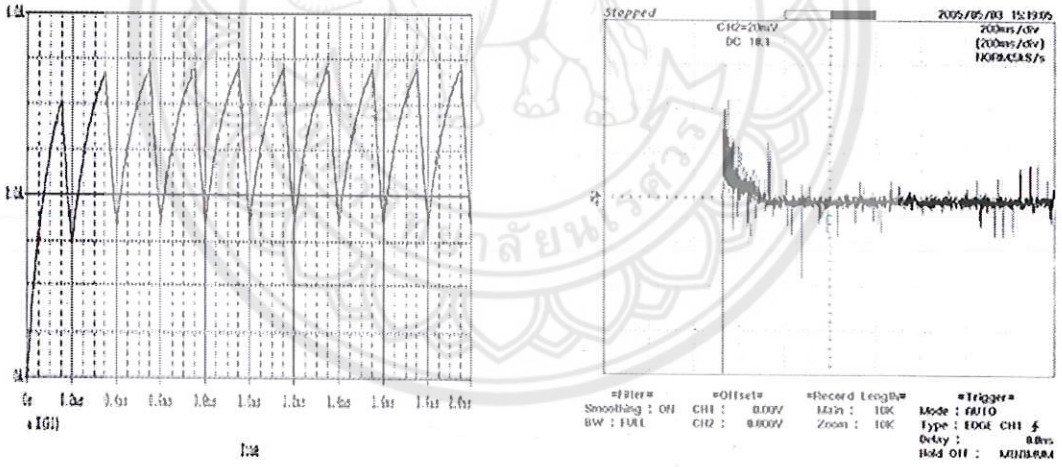
เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice และกราฟที่ได้จากการวัดค่าจริงจากมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน จะพบว่ามีลักษณะที่คล้ายกัน แต่มีค่าระดับแรงดัน ค่าระดับกระแส และค่า Duty Cycle ไม่เท่ากัน เพราะว่าในการทดลองโดยใช้โปรแกรม P-Spice ได้มีการกำหนดค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับมอเตอร์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

ควอดแรนต์ที่ 4

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



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟของแรงดัน ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟของกระแส ด้านซ้ายได้จากโปรแกรม P-Spice ด้านขวาได้จากการวัดค่าจริง

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

5.3 ประเมินผล

จากการดำเนินงานโครงงาน เมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ ได้ผลดังนี้

5.3.1 สามารถออกแบบวงจร H-Bridge และควบคุมการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามที่ต้องการได้

5.3.2 สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคโฟร์ควอดแรนต์ในการควบคุมมอเตอร์ ให้ทำงานตามที่ต้องการได้

5.3.3 สามารถใช้โปรแกรมพีสไปค์ (PSpice) ในการจำลองการทำงานของวงจรขับมอเตอร์ได้

5.4 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

5.4.1 ปัญหาเกิดจากการต่อวงจรผิดพลาด ทำให้อุปกรณ์ได้รับเสียหาย จึงต้องทำการจัดซื้ออุปกรณ์มาใหม่ ทำให้งานที่ออกมาช้ากว่ากำหนด

5.4.2 ปัญหาเกิดจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ถ้าจ่ายแรงดันไม่เหมาะสมสัญญาณต่าง ๆจะไม่ได้ตามที่ต้องการ จะต้องจ่ายแรงดันที่เหมาะสมให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถึงจะทำงานได้

5.4.3 ปัญหาเกิดจากการเลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่เหมาะสมกับขนาดวงจร และค่าของอุปกรณ์

5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ผลที่ได้จากการทดลองในโครงงานนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีลักษณะการทำงานแบบทำๆ 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 ขันเงิน. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.** กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง. 2547.

[4] นภัทร วัจนเทพินทร์. เครื่องกลไฟฟ้า 1. กรุงเทพมหานคร : 2544.

[5] R . KRISHNAN. **ELECTRIC MOTOR DRIVE Modeling ,Analysis ,and Control** : Prentice Hall. 2001.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์

```
'*****************************************************************
'* 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
```

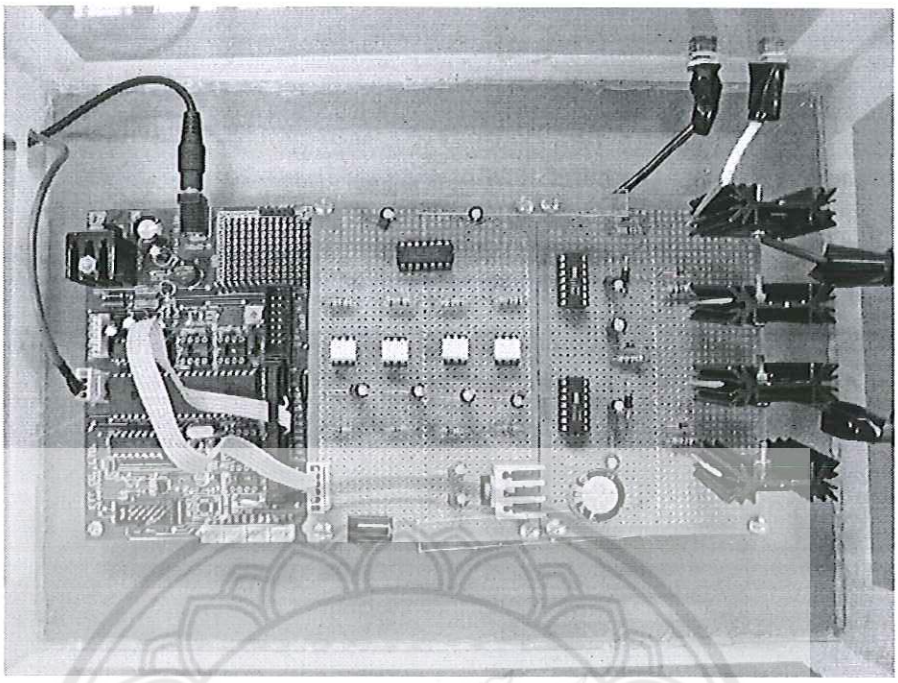
```
        GoTo CHECK          ' Receive index again

'********************** 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 = %00000010
        PauseUs 200-duty
        PORTC = %00000110
        PauseUs duty
Next i
Next o
        PORTC = %00000000
        PauseUs 5

For t = 1 TO 200
        PORTC = %00000001
        PauseUs duty
        PORTC = %00000000
        PauseUs 200-duty
        PORTC = %00010000
        PauseUs duty
        PORTC = %00000000
        PauseUs 200-duty
        PORTC = %00000001
        PauseUs duty
        PORTC = %00000000
        PauseUs 200-duty
        PORTC = %00010000
        PauseUs duty
        PORTC = %00000000
        PauseUs 200-duty
        PORTC = %00000001
        PauseUs duty
        PORTC = %00000000
        PauseUs 200-duty
        PORTC = %00010000
```

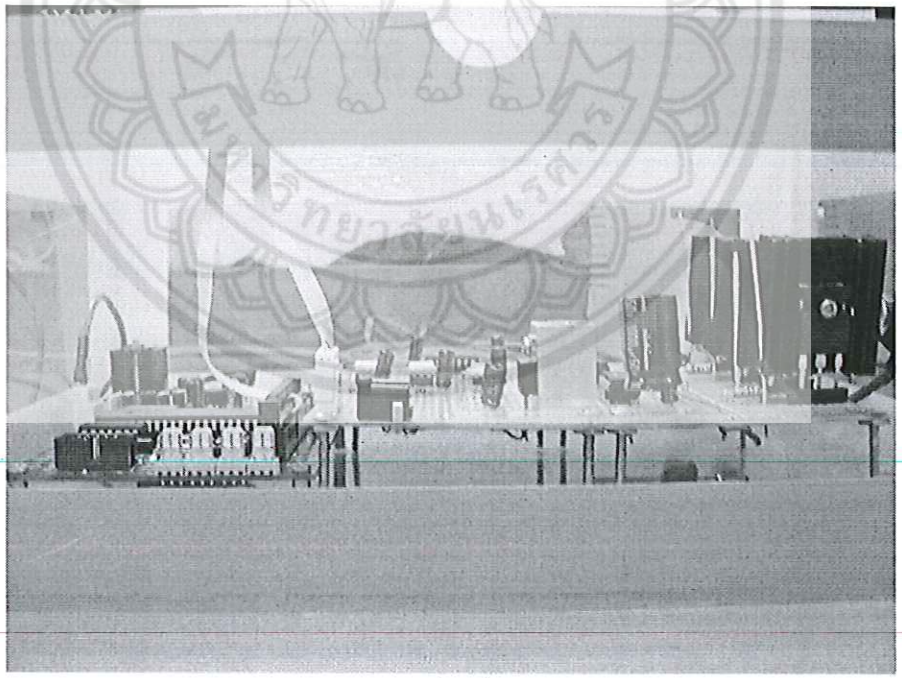
```
                    PauseUs duty
                    PORTC = %00000000
                    PauseUs 200-duty
                Next t

            GoTo CHECK          ' Receive index again

STP:        GoTo CHECK          ' Receive index again

'************************ END OF PROGRAM ******************
```

ภาคผนวก ข
วงจรขับมอเตอร์ที่ใช้งานจริง

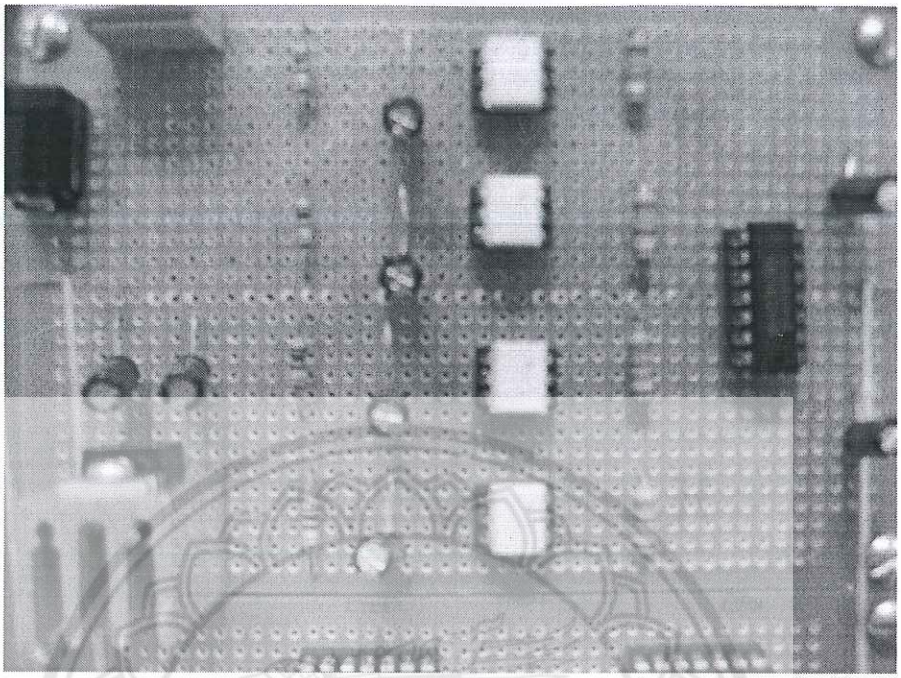
มหาวิทยาลัยนเรศวร



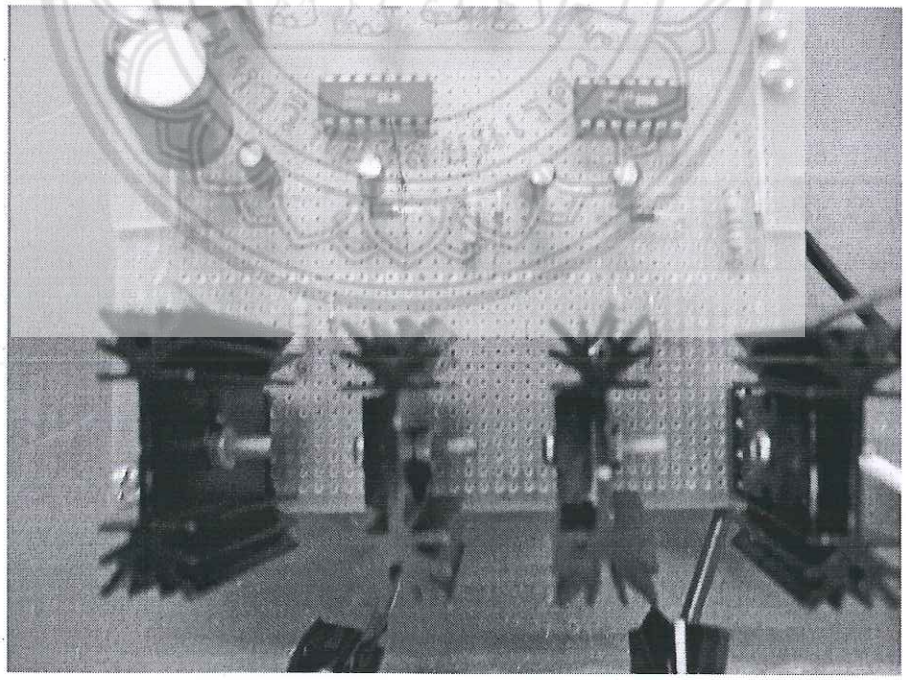
รูปด้านบน



รูปด้านข้าง



รูปการต่อไอซีเบอร์ H11L1 ,Inverting และไอซีเบอร์ 7805



รูปการต่อไอซีเบอร์ IR2110 และมอสเฟต

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นายนรเทพ ลิ้มพัฒนสำราญ

ภูมิลำเนา 273 ถ.พระสังข์ ต.ตาคลี อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : **acerous_cool@hotmail.com**

ชื่อ นางสาวนวรัตน์ พฤกษาวาณิชย์

ภูมิลำเนา 18/13 ถ แสงราษฎร์ อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชุมแสงชนูทิศ
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : **shitske123@hotmail.com**

ชื่อ นายนิยม จันตี

ภูมิลำเนา 2/1 ม.7 ต.นาบัว อ.นครไทย จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนาบัววิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : **yom_ee@hotmail.com**

ชื่อ นางสาวมัธนา เชยโต

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

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวังทองพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : **bad_bad_may@hotmail.com**