

การพิสูจน์เอกลักษณ์แบบออนไลน์ของการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
ในโหมดการนำกระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง

ON-LINE IDENTIFICATION OF DC MOTOR DRIVE
CONSIDERING CONTINUOUS AND DISCONTINUOUS CURRENT MODES

พิสุทธิ์ อภิชายศกุล
PHISUT APICHAYAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

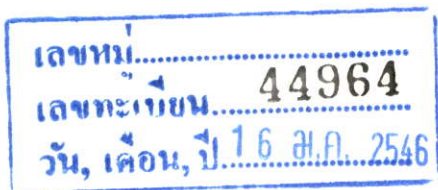
ISBN 974-324-079-0

การพิสูจน์เอกลักษณ์แบบออนไลน์ของการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
ในโหมดการนำกระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง

ON-LINE IDENTIFICATION OF DC MOTOR DRIVE
CONSIDERING CONTINUOUS AND DISCONTINUOUS CURRENT MODES

พิสุทธิ์ อภิขยกุล

PHISUT APICHAYAKUL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-079-9

**ON-LINE IDENTIFICATION OF DC MOTOR DRIVE
CONSIDERING CONTINUOUS AND DISCONTINUOUS CURRENT MODES**

PHISUT APICHAYAKUL

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2002

ISBN 974-324-079-9

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพิสูจน์เอกลักษณ์แบบออนไลน์ของการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในโหมดการนำกระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง

นักศึกษา

นายพิสุทธิ อภิษยกุล

รหัสประจำตัว

41061117

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2545

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ. ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

บทคัดย่อ

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ นำเสนอถึงการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง โดยทำการหารูปแบบจำลองอย่างง่าย สำหรับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในการทำงานทั้ง 2 โหมดคือโหมดการนำกระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่องและโหมดการนำกระแสไฟฟ้าแบบไม่ต่อเนื่อง พร้อมเปรียบเทียบกับรูปแบบจำลองทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ทราบถึงความแตกต่าง ทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมโดยใช้เทคนิคไอเดนติฟิเคชันให้สามารถควบคุมมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงขนาดหนึ่งกิโลวัตต์ หมุนได้สองทิศทางในการทำงานทั้งสองโหมดการทำงาน

Thesis Title	On-line Identification of DC Motor Drive Considering Continuous and Discontinuous Current Modes
Student	Mr. Phisut Apichayakul
Student ID.	41061117
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Dr. Nontawat Chuladaycha
Thesis Co-advisor	Assoc. Prof. Dr. Yothin Prempraneerash

ABSTRACT

This thesis proposes a control method for a DC Motor fed by a power electronic drive in 2 modes of operation; continuous current conduction mode and discontinuous current conduction mode. An online identification technique is employed to get parameters of the system, and a mathematical model in 2 modes of the operation is compared. The DC motor with a rate of 1 kW is used in the implementation of the control method. It is found that the motor can be controlled to function in both forward and backward directions, and the controller is able to work in two modes of the operation.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อ. นนทวัฒน์ จุลเดชะ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีตลอดมา ผู้วิจัย
รู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวของผู้วิจัยที่ได้ให้กำลังใจในการทำงานตลอดมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภายในภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมที่ได้ สั่งสอน แนะนำ
ตักเตือนด้วยความหวังดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ เพื่อน พี่ น้อง ภายในห้องวิจัยที่ช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา พร้อมทั้ง
กำลังใจที่มีให้

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพลังงานแห่งชาติ ที่ช่วยเหลือในเรื่องทุนสนับสนุนงานวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา	3
บทที่ 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.2 ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	5
2.3 ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น	5
2.3.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น	5
2.3.2 ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น	7
2.4 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมระบบขับ	10
2.4.1 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง	10
2.4.2 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง	11
2.4.3 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในทั้งสองโหมดการทำงาน	11
บทที่ 3 เทคนิคไอเดนติฟิเคชัน	13
3.1 หลักการไอเดนติฟิเคชัน	13
3.2 การไอเดนติฟิเคชันโดยใช้เทคนิครีเคอร์ซีฟลีสสแคว	14

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การเลือกสัญญาณอินพุตสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์.....	15
บทที่ 4 ระบบควบคุมแบบดิจิทัลและแบบปรับตัว	18
4.1 ระบบควบคุมแบบดิจิทัล.....	18
4.2 ระบบควบคุมแบบปรับตัว.....	20
4.3 การออกแบบตัวควบคุม.....	21
บทที่ 5 การออกแบบระบบควบคุมและโปรแกรม	23
5.1 การออกแบบการควบคุมแบบปรับตัว.....	23
5.2 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	23
5.2.1 ลักษณะทั่วไปของการ์ดอินเทอร์เฟซ ET-DIO.....	24
5.2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา.....	26
5.2.3 วงจรเลือกสัญญาณป้อนกลับ.....	27
5.3 ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	29
5.3.1 วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	29
5.3.2 วงจรป้องกันการลัดวงจร.....	29
5.3.3 วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัป.....	30
5.3.4 วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น.....	31
5.4 ระบบวัดค่าเพื่อป้อนกลับ.....	31
5.4.1 ระบบวัดค่าแรงดัน.....	31
5.4.2 ระบบวัดค่ากระแส.....	32
5.4.3 ระบบวัดค่าความเร็ว.....	32
5.5 โครงสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม.....	32
5.5.1 โปรแกรมที่ใช้ในการไอน์ติเฟคชั่น.....	33
5.5.2 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบ.....	34
บทที่ 6 ผลการทดลองและการจำลองระบบ	35
6.1 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากการทดสอบ.....	35
6.1.1 การทดลองหาค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์.....	36
6.1.2 การทดลองหาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์.....	36

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.1.3 การทดลองหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย.....	37
6.2 ผลการทดลองและผลการทดลองป้อนกระแสไฟฟ้าให้วงจรสร้างสนามแม่เหล็ก.....	38
6.3 ผลการทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	38
6.4 ผลการทดลองวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น.....	39
6.5 ผลการทดลองวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์.....	40
6.6 ผลการทดลองวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา.....	40
6.7 ผลการทดลองวงจรวัดกระแส.....	41
6.8 ผลการทดลองวงจรวัดแรงดัน.....	42
6.9 ผลการทดลองวงจรวัดความเร็ว.....	43
6.10 ผลการทดลองการไอเดนติฟิเคชั่นระบบ.....	44
6.11 ผลการจำลองระบบ.....	45
บทที่ 7 วิจัยผลการทดลอง	50
7.1 ส่วนการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากการทดสอบ.....	50
7.2 ส่วนวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก.....	50
7.3 ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	50
7.4 ส่วนวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น.....	50
7.5 ส่วนวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์.....	51
7.6 ส่วนวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา.....	51
7.7 ส่วนวงจรวัดสัญญาณป้อนกลับ.....	51
7.8 ส่วนการไอเดนติฟิเคชั่นระบบ.....	51
7.9 ส่วนการจำลองระบบ.....	52
7.10 ความถี่การสุ่มที่ใช้ในการทดลอง.....	52
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
8.1 สรุปผลการวิจัย.....	53
8.2 ข้อเสนอแนะ.....	53

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการทดลอง.....	57
ภาคผนวก ข โครงสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง.....	78
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ค่าสัญญาณที่ใช้ในการเลือกสัญญาณป้อนกลับ.....	28
6.1 ผลการทดลองหาค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์.....	36

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น.....	4
2.2 วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเฟสเดียว.....	5
2.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น.....	6
2.4 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น โดยควบคุมแบบควบคุม ขดลวดอาร์เมเจอร์.....	8
2.5 บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมแบบควบคุมขดลวด อาร์เมเจอร์.....	9
2.6 บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมแบบควบคุมขดลวด อาร์เมเจอร์(ประมาณ).....	9
2.7 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน โมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง.....	10
2.8 รูปแบบสัญญาณใน โมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง.....	10
2.9 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน โมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง.....	11
2.10 รูปแบบสัญญาณใน โมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง.....	11
2.11 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในทั้งสอง โมดการทำงาน.....	12
4.1 ระบบที่ต้องการควบคุม.....	18
4.2 ระบบที่ต้องการควบคุมในรูปแบบของดิสครีต.....	18
4.3 โครงสร้างการควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดแอนะล็อก.....	19
4.4 โครงสร้างการควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดดิจิทัล.....	19
4.5 การควบคุมแบบปรับตัวชนิด STR.....	20
4.6 ระบบที่ต้องการและตัวควบคุมแบบบัญญัติ.....	21
4.7 ระบบที่ต้องการและตัวควบคุมแบบบัญญัติในรูปแบบอย่างง่าย.....	21
5.1 ระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบทั่วไป.....	23
5.2 ระบบโดยรวมที่ใช้ในงานวิจัย.....	24
5.3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา.....	26
5.4 วงจรเลือกสัญญาณป้อนกลับ.....	28
5.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
5.6 วงจรป้องกันการลัดวงจร.....	30
5.7 วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัป.....	30
5.8 วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น.....	31

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์.....	31
5.10 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์.....	32
5.11 การวัดค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	32
5.12 วิธีการของการไอเดนติฟิเคชั่นระบบ.....	33
6.1 ระบบโดยรวม.....	35
6.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์กับเวลา.....	37
6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาซึ่งแสดงถึงความเร็วรอบของมอเตอร์.....	37
6.4 แรงดันตกคร่อมขดลวดฟิลล์.....	38
6.5 สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	39
6.6 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเมื่อกำหนดมุมกระตุ้นที่ 4×10^{-3} วินาที.....	39
6.7 สัญญาณอินเทอร์รัป.....	40
6.8 สัญญาณนาฬิกาที่ออกจากไอซีเบอร์ 555.....	40
6.9 ค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้า (มอเตอร์หมุนในทิศทางไปข้างหน้า(Forward Direction)).....	41
6.10 ค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้า (มอเตอร์หมุนในทิศทางกลับหลัง(Reverse Direction)).....	41
6.11 ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (มอเตอร์หมุนในทิศทางไปข้างหน้า(Forward Direction)).....	42
6.12 ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (มอเตอร์หมุนในทิศทางกลับหลัง(Reverse Direction)).....	42
6.13 ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากทาโคเจนมิเตอร์(มอเตอร์หมุนในทิศทางไปข้างหน้า(Forward Direction)).....	43
6.14 ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากทาโคเจนมิเตอร์ (มอเตอร์หมุนในทิศทางกลับหลัง(Reverse Direction)).....	43
6.15 เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากระบบจริงกับจากการ ไอเดนติฟิเคชั่น เมื่ออินพุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์และ ค่าเอาต์พุตเป็นค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์.....	44
6.16 เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากระบบจริงกับจากการ ไอเดนติฟิเคชั่น เมื่ออินพุตเป็นค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์และ ค่าเอาต์พุตเป็นค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	44
6.17 สัญญาณค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์(อินพุตสำหรับการ ไอเดนติฟิเคชั่น).....	45
6.18 สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์(เอาต์พุตสำหรับการ ไอเดนติฟิเคชั่น).....	45
6.19 รูปแบบจำลองที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ในการจำลองระบบ.....	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.20	สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการไอเคนดิฟิเคชั่นระบบ.....46
6.21	เปรียบเทียบสัญญาณค่ากระแสไฟฟ้า (เอาต์พุตของส่วนแรก).....47
6.22	สัญญาณค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(เอาต์พุตสำหรับการไอเคนดิฟิเคชั่น).....47
6.23	สัญญาณค่าความเร็วที่เกิดจากการไอเคนดิฟิเคชั่นระบบ.....48
6.24	สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์มเจอร์(เอาต์พุตสำหรับการไอเคนดิฟิเคชั่น).....48
6.25	สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการไอเคนดิฟิเคชั่นระบบ.....49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถควบคุมได้หลายแบบ แบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือการควบคุมโดยใช้วงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เมื่อทำการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจะทำให้การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้เป็นสองโมดการทำงานคือ โมดการนำกระแสแบบต่อเนื่องและโมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง (แสดงรายละเอียดในหัวข้อ 2.4) โดยทั่วไปมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานในโมดการนำกระแสแบบต่อเนื่องเมื่อมีโหลดต่ออยู่กับมอเตอร์และจะทำงานในโมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องเมื่อไม่มีโหลดต่ออยู่กับมอเตอร์ ดังนั้นในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงมีความยุ่งยากพอสมควรเนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับและตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่เหมือนกันในสองโมดการทำงาน [1] วิธีการแก้ไขปัญหาในการควบคุมแบบเดิมจะกระทำกันอยู่ 3 แบบ คือ แบบแรก เพิ่มค่าอินดักแตนซ์เข้าสู่ระบบเพื่อให้ระบบเสมือนทำงานอยู่แต่ในโมดการนำกระแสแบบต่อเนื่องแล้วออกแบบระบบควบคุมโดยอาศัยรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เฉพาะในโมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง แบบที่สองเพิ่มตัวคัมมีโหลดเข้าไปในระบบเพื่อให้ระบบเสมือนทำงานอยู่แต่ในโมดการนำกระแสแบบต่อเนื่องแล้วทำการออกแบบระบบควบคุมเช่นเดียวกับแบบแรก แบบที่สามใช้ระบบขับแบบ 3 เฟสในการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากปัญหาทางโมดการทำงานแล้วการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงยังมีปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบเมื่อสถานะการทำงานของระบบเปลี่ยนไป (Time variable parameters) เช่น เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานไปสักระยะหนึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำให้ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้ค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมที่ออกแบบไว้แต่เดิมทำงานได้ไม่ถูกต้องในทุกช่วงการทำงาน

จากปัญหาข้างต้นจึงได้ทำการวิจัยเพื่อให้สามารถทำการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงานทั้งสองโมดการทำงาน โดยใช้ระบบขับแบบเฟสเดียวและทำการสร้างระบบควบคุมที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสมกับการควบคุมระบบในแต่ละช่วงการทำงาน โดยใช้หลักการของการควบคุมแบบปรับตัว (Adaptive Control) และใช้หลักการไอเดนติฟิเคชันระบบในการหาค่าพารามิเตอร์ในขณะนั้นๆ (Online Identification)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาถึงรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับและตัวมอเตอร์ไฟฟ้าในทั้งสองโมดการทำงาน ทำการออกแบบระบบการควบคุมแบบปรับตัวโดยอาศัยหลักการไอเดนติฟิเคชันระบบในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบในขณะเวลาใด ๆ เพื่อนำมาใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้สามารถควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในทั้งสองโมดการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้การควบคุมแบบปรับตัวจะสามารถควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ในทุกช่วงการทำงาน ทั้งสองโมดการนำกระแสคือ การนำกระแสแบบต่อเนื่องและการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง โดยอาศัยหลักการไอเดนติฟิเคชันแบบรีเคอร์ซีฟลีสแควในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบในขณะเวลาใดๆ ซึ่งจากค่าพารามิเตอร์ที่หาได้นี้จะนำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุมแบบปรับตัว ทำให้ตัวควบคุมสามารถปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงของระบบที่ต้องการควบคุมทำให้สามารถควบคุมได้ในทุกช่วงการทำงาน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในงานวิจัยนี้ ได้มีแนวคิดในการนำคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้มีคุณสมบัติที่ไม่สูงมากนัก อาจเป็นรุ่นที่ไม่นิยมใช้งานแล้ว มีราคาถูก ควบคุมผ่านทางการ์ดอินเตอร์เฟส ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีทรานซิสเตอร์ในการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบปรับตัวในการออกแบบระบบควบคุม โดยใช้ทฤษฎีไอเดนติฟิเคชันระบบในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบในขณะเวลาใดๆ เพื่อใช้ในการออกแบบพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

1.5 ขอบเขตการวิจัย

สร้างระบบขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยควบคุมผ่านทาง โปรแกรมที่เขียนขึ้นจากภาษาซีให้สามารถควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้สามารถหมุนได้ทั้งสองทิศทาง สามารถเลือกทิศทางการหมุนได้จากโปรแกรม แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ และค่าความเร็วทางหน้าจอหลักในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงยังทำงานอยู่ พร้อมทั้งทำการไอเดนติฟิเคชันระบบโดยทำการแบ่งระบบออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกค่าอินพุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าเอาต์พุตเป็นค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนที่สองค่าอินพุตเป็นค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าเอาต์พุตเป็นค่าความเร็ว

ของมอเตอร์ ทำการจำลองระบบเพื่อศึกษาถึงฟังก์ชันของการไอเดนติฟิเคชั่นระบบ และออกแบบระบบการควบคุมโดยใช้ทฤษฎีของการควบคุมแบบปรับตัว

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ทำการสร้างระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยรับสัญญาณที่ใช้กระตุ้นไทรสเตอร์จากการ์ดอินเตอร์เฟซในคอมพิวเตอร์ซึ่งควบคุมผ่านทางโปรแกรมภาษาซี สามารถเพิ่มหรือลดความเร็วของมอเตอร์ผ่านทางโปรแกรมได้ ทำการสร้างวงจรรับสัญญาณป้อนกลับซึ่งมี 3 ค่าแต่เนื่องจากพอร์ตแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลมีเพียง 1 พอร์ตจึงต้องมีวงจรเลือกรับสัญญาณเข้ามาช่วยในการอ่านค่า ค่าสัญญาณป้อนกลับที่ได้จะนำเข้าไปใช้ในการคำนวณในฟังก์ชันการไอเดนติฟิเคชั่น ทำการจำลองระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้ทดสอบฟังก์ชันการไอเดนติฟิเคชั่น ทำการเขียนฟังก์ชันไอเดนติฟิเคชั่นขึ้นมาเพื่อใช้ในการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรมแมทแลบ (Power system blockset) ในการจำลองระบบ จากนั้นจึงทำการประยุกต์ฟังก์ชันในการไอเดนติฟิเคชั่นให้สามารถใช้ได้กับระบบจริงโดยใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม และทำการออกแบบระบบควบคุมแบบปรับตัวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากการไอเดนติฟิเคชั่นระบบ ทำการทดลองโดยแยกทดสอบในแต่ละส่วนเพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบ วิเคราะห์ผลการทดลอง และทำการสรุปผลการทดลอง

บทที่ 2

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

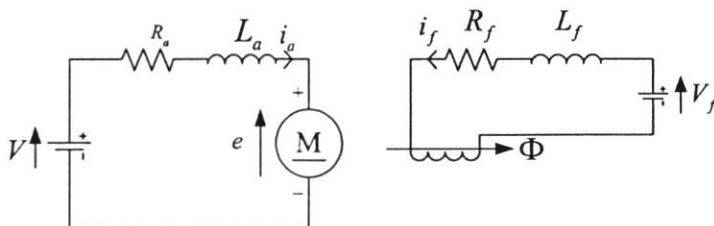
ในการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถควบคุมได้หลายแบบ แบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือการควบคุมโดยใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์กำลัง เมื่อทำการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์กำลังจะทำให้การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็นสองโหมดการทำงาน การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงมีความยุ่งยากพอสมควรเนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนและตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่เหมือนกันในสองโหมดการทำงาน [1] ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงชนิดและรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมระบบขับเคลื่อนซึ่งเป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์กำลังในทั้งสองโหมดการทำงาน

2.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอุปกรณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถูกใช้อย่างกว้างขวางในงานที่มีความต้องการต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว มีการรักษาระดับความเร็วให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง หรืองานที่มีการเริ่มหมุนและหยุดหมุนบ่อยครั้ง จากการจัดวางขดลวดภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะแบ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น (Separately Excited)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt)
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series)
4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Cumulative Compound)

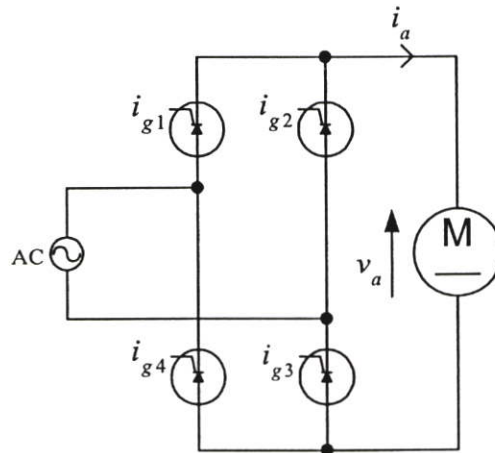
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นดังแสดงในรูปที่ 2.1 เนื่องจากขดลวดอาร์เมเจอร์กับขดลวดฟิลด์แยกกันอย่างอิสระทำให้ง่ายต่อการควบคุม



รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

2.2 ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำเป็นต้องมีระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งต้องอยู่ระหว่างตัวควบคุมกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีหน้าที่ในการปรับรูปและขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไปจะแบ่งระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (โดยแบ่งตามชนิดของตัวป้อนกำลังงาน) ออกเป็นแบบเฟสเดียว (single phase) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 และแบบ 3 เฟส (three phase) [2] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วงจรขับเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังแบบซิงเกิลเฟสฟูลลีคอนโทรล (single phase fully-controlled) สองชุดต่อสลับขั้วกันเพื่อใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นให้หมุนได้สองทิศทางหรือที่เรียกว่า คู่อัลคอนเวอร์เตอร์ (dual converter) (ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 5.3.1)

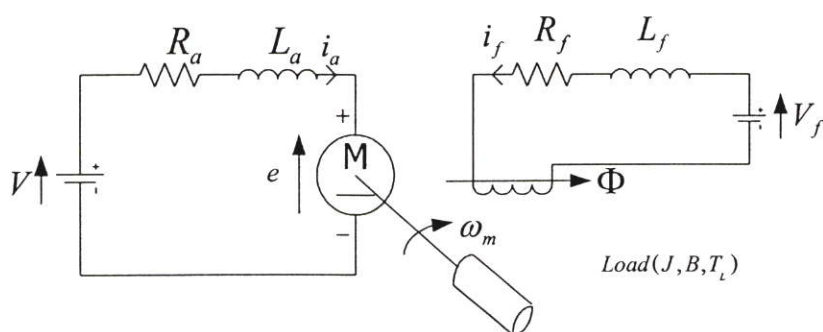


รูปที่ 2.2 วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเฟสเดียว

2.3 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

2.3.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นในการทดลอง เพื่อให้สามารถทำการออกแบบระบบควบคุมได้จำเป็นต้องทราบถึงทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น โดยทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถวิเคราะห์ได้จากวงจรมูลและสมการพื้นฐานที่ได้จากกฎทางกายภาพ วงจรมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

จากวงจรสมมูลข้างต้นสามารถเขียนสมการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น ซึ่งมีการควบคุมแบบควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์ได้ดังนี้

$$V = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e \quad (2.1)$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T - T_L - B\omega_m \quad (2.2)$$

$$T = K_e \phi i_a \quad (2.3)$$

$$e = K_e \phi \omega_m \quad (2.4)$$

โดยกำหนดให้

ϕ = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก (Webers)

i_a = กระแสไฟฟ้าขดลวดอาร์เมเจอร์ (Ampere)

v = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ (Voltage)

R_a = ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Ohm)

L_a = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Henry)

ω_m = ค่าความเร็วของมอเตอร์ (rad/sec)

e = ค่าแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Voltage)

T = แรงบิดที่เกิดจากมอเตอร์ (N·m)

T_L = แรงบิดที่เกิดจากโหลด (N·m)

K_e = ค่าคงที่ทางไฟฟ้า

J = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (Kg·m²)

B = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากความหนืด (N·m/(rad/sec))

2.3.2 ทราสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

จากสมการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นโดยควบคุมแบบควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำการแปลงสมการที่ 2.1, 2.2, 2.3 และ 2.4 โดยวิธีการแปลงแบบลาปลาซ กำหนดให้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์จะได้สมการดังนี้

$$I_a(s) = \frac{V(s) - K\omega_m(s)}{R_a(1 + s\tau_a)} \quad (2.5)$$

$$\omega_m(s) = \frac{1}{B} \cdot \frac{T(s) - T_L(s)}{(1 + s\tau_m)} \quad (2.6)$$

$$T(s) = KI_a(s) \quad (2.7)$$

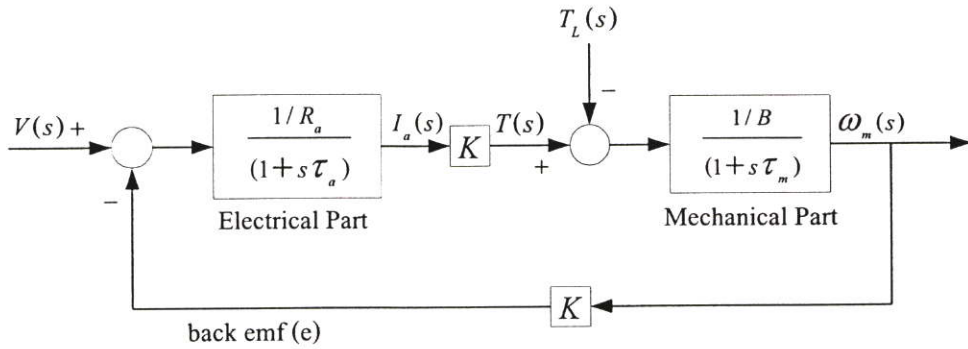
โดยกำหนดให้

$$\tau_a = \frac{L_a}{R_a}, \quad \tau_m = \frac{J}{B}$$

เนื่องจากการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในงานวิจัยนี้เป็นแบบควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์มีค่าคงที่ซึ่งมีผลให้ค่าฟลักซ์คงที่

$$K = K_e \phi \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.5 2.6 2.7 และ 2.8 สามารถนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นที่มีการควบคุมแบบควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น โดยควบคุมแบบควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์

จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นจะเห็นได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประพฤติตัวในลักษณะวงปิด โดยมีการป้อนกลับของค่าแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้วงจรขับแบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์กับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และความสัมพันธ์ของความเร็วมอเตอร์กับกระแสขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำการแทนค่าสมการที่ 2.7 ลงในสมการที่ 2.6 โดยกำหนดให้ $T_L=0$ จะได้

$$\omega_m(s) = \frac{K_m I_a(s)}{(1 + s\tau_m)} \quad (2.9)$$

โดยกำหนดให้

$$K_m = \frac{K}{B} \quad (2.10)$$

จากสมการที่ 2.9 จะเห็นได้ถึงถึงความสัมพันธ์ของความเร็วมอเตอร์กับกระแสขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำการแทนค่าสมการที่ 2.9 ลงในสมการที่ 2.5 แล้วทำการจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$I_a(s) = \frac{K_{m1}(1 + s\tau_m)V(s)}{(1 + s\tau_1)(1 + s\tau_2)} \quad (2.11)$$

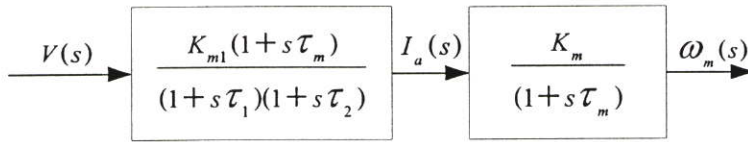
โดยกำหนดให้

$$K_{m1} = \frac{B}{(BR_a + K^2)} \quad (2.12)$$

$$-\frac{1}{\tau_1}, -\frac{1}{\tau_2} = \frac{1}{2} \left[-\left(\frac{1}{\tau_a} + \frac{1}{\tau_m} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{1}{\tau_a} + \frac{1}{\tau_m} \right)^2 - \frac{4}{\tau_{m1}\tau_a}} \right] \quad (2.13)$$

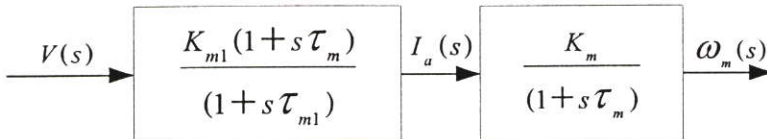
$$\tau_{m1} = \frac{JR_a}{(BR_a + K^2)} \quad (2.14)$$

จากสมการข้างต้นสามารถที่จะเขียนบล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมแบบควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมแบบควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์

เนื่องจาก $\tau_a \ll \tau_m$ ทำให้สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



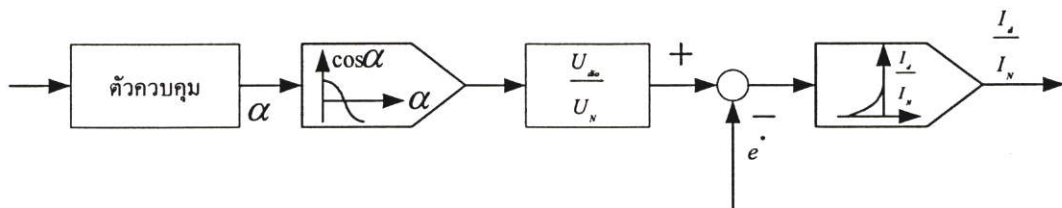
รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ควบคุมแบบควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์(ประมาณ)

2.4 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมระบบขับ

รูปแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถหาได้จากสมการพื้นฐานทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 2.3) ซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [3]-[4] แต่เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถูกขับด้วย เอชซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ ทำให้กระแสและค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์มีค่าไม่คงที่ ซึ่งทั้งสองค่าจะประกอบขึ้นจาก ส่วนประกอบในเทอมของค่าเฉลี่ย (mean value) และเทอมฮาร์โมนิกของสัญญาณไซน์ (sinusoidal harmonic) ซึ่งการสัญญาณนี้มีผลต่อโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [5] ดังนั้นรูปแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อขับด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในแต่ละโมดการทำงานจะมีรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ต่างกันไป โดยเมื่อวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าต่อค่ากระแสไฟฟ้า กราฟที่ได้จะไม่เป็นเชิงเส้นในโมดการทำงานการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง

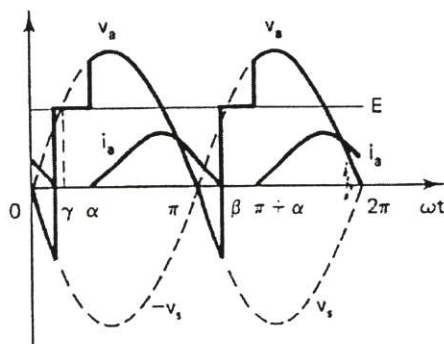
2.4.1 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง

จากความสัมพันธ์ของมุมที่ใช้ทริกทริสเตอร์กับกระแสเฉลี่ย, ค่าแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับและสมการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [1] จะได้รูปแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมระบบขับที่ใช้ทริสเตอร์ ในโมดการทำงานการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องดังนี้



รูปที่ 2.7 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง

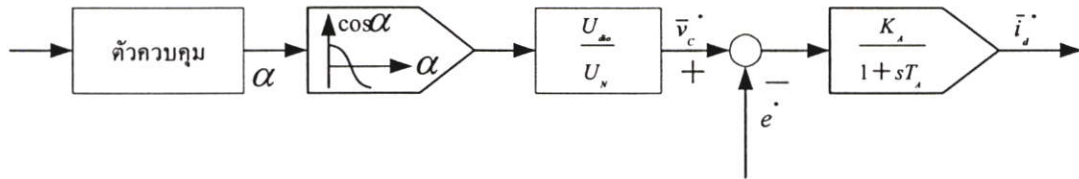
รูปแบบสัญญาณของกระแสของขดลวดอาร์เมเจอร์และแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ในโมดการทำงานของกระแสไม่ต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 [2]



รูปที่ 2.8 รูปแบบสัญญาณในโมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง

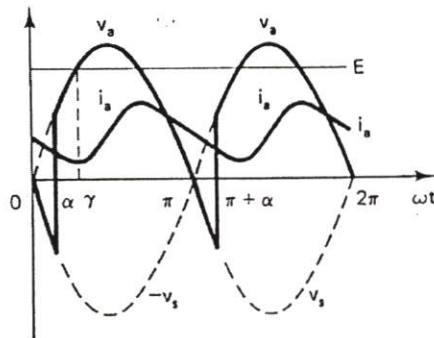
2.4.2 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโมเดลนำกระแสแบบต่อเนื่อง

รูปแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมระบบขับที่ใช้ทรินสเตอร์ ในโมเดลการทำงานการนำกระแสแบบต่อเนื่องแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโมเดลนำกระแสแบบต่อเนื่อง

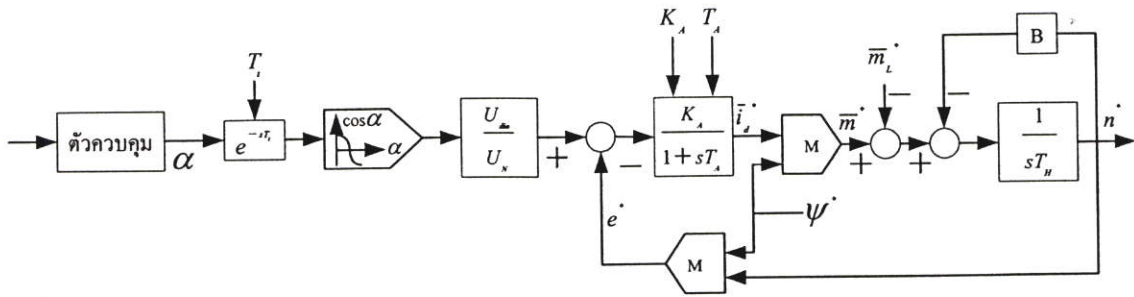
รูปแบบสัญญาณของกระแสของขดลวดอาร์เมเจอร์และแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ในโมเดลการทำงานของกระแสต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 [2]



รูปที่ 2.10 รูปแบบสัญญาณในโมเดลนำกระแสแบบต่อเนื่อง

2.4.3 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในทั้งสองโมเดลการทำงาน

จากข้างต้นจะเห็นได้ถึงแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมระบบขับในทั้งสองโมเดลการทำงาน ทำการประยุกต์รวมกันเพื่อให้ได้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ครอบคลุมการทำงานในทั้งสองโมเดลการทำงาน โดยมีการเพิ่มค่าตัวแปรเดดไทม์ (variable deadtime, T_d) เข้าไปในระบบเพื่อให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น [6]-[7] ความแตกต่างของรูปแบบจำลองจะอยู่ที่ค่า K_A และ T_A โดย K_A และ T_A จะมีค่าคงที่ในโมเดลนำกระแสแบบต่อเนื่อง ส่วนในโมเดลนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องค่า K_A จะไม่เป็นเชิงเส้น และค่า $T_A = 0$ รูปแบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมระบบขับในทั้งสองโมเดลการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในทั้งสองโหมดการทำงาน

บทที่ 3

เทคนิคไอเดนติฟิเคชัน

3.1 หลักการไอเดนติฟิเคชัน

ไอเดนติฟิเคชันหมายถึง การหาแบบจำลองของระบบทางไดนามิกจากข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของระบบ การทราบถึงรายละเอียดของแบบจำลองจะช่วยให้สามารถออกแบบและสร้างระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงได้ การไอเดนติฟิเคชันระบบเป็นวิธีการทางการทดลองเพื่อให้ทราบถึงแบบจำลองของระบบ โดยมีขั้นตอนหลักอยู่ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. รับสัญญาณจากระบบทั้งสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต
2. เลือกโครงสร้างรูปแบบจำลองของระบบ
3. ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของระบบจากข้อมูลที่ได้รับมา
4. ทำการตรวจสอบรูปแบบจำลองว่าสามารถนำมาใช้ได้จริงไหม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์(Mathematical Model) เป็นการอธิบายคุณสมบัติทางกายภาพของระบบ โดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้ได้จากกฎพื้นฐานต่างๆ ทางฟิสิกส์ เคมี หรืออื่นๆ ที่ใช้ในการอธิบายระบบนั้นๆ ในการอธิบายรูปแบบจำลองของระบบสามารถแสดงได้ 2 แนวทางคือ อธิบายแบบจำลองโดยใช้ฟังก์ชัน ตาราง หรือกราฟของผลตอบสนองความถี่ ซึ่งจะมีข้อมูลเกี่ยวกับระบบแฝงอยู่ในนั้น เรียกการแสดงผลแบบนี้ว่า nonparametric model อีกแบบหนึ่งคือแสดงโดยสมการอนุพันธ์ หรือ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน เป็นต้น ซึ่งเรียกการแสดงผลแบบนี้ว่า parametric model โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองแบบที่สอง โดยเป็นการแสดงผลแบบดิสครีตซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$y(t) = \frac{q^{-d} B(q^{-1})}{A(q^{-1})} \quad (3.1)$$

โดยกำหนดให้

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_n q^{-n} \quad (3.2)$$

$$B(q^{-1}) = b_1 q^{-1} + \dots + b_m q^{-m} \quad (3.3)$$

ในการหาแบบจำลองของระบบวิธีการที่ใช้เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบจำลองให้มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับระบบจริงจากข้อมูลที่มีอยู่คือ PAA(Parameter Adaptation Algorithm) ซึ่งวิธีการนี้มีลักษณะเป็นแบบวนซ้ำ(recursive) โดยมีโครงสร้างดังนี้

$$\begin{bmatrix} \text{พารามิเตอร์ที่} \\ \text{ประมาณใหม่} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{พารามิเตอร์ที่} \\ \text{ประมาณเดิม} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{ค่าอัตราขยาย} \\ \text{การปรับ} \\ \text{(เมตริกซ์)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ฟังก์ชัน} \\ \text{การวัด} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ฟังก์ชันค่าการทำนาย} \\ \text{ความผิดพลาด} \\ \text{(สเกลาร์)} \end{bmatrix}$$

เหตุผลที่เลือกวิธีการที่มีลักษณะวนซ้ำ เนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กได้ โดยใช้ทรัพยากรน้อย เช่น หน่วยความจำ เป็นต้น และสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมที่มีลักษณะเป็นการควบคุมแบบเวลาจริง(real-time control) ซึ่งจะมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบจำลองไปตามพารามิเตอร์ของระบบจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อเวลา(time-variable systems) ได้

จากหลักการปรับค่าพารามิเตอร์ข้างต้น สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายวิธี เช่น Heuristic Approach, Gradient Algorithm เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การหาค่าพารามิเตอร์โดยวิธี แบบรีเคอร์ซีฟลีสสแคว เนื่องจากวิธีนี้ค่าเกณฑ์การปรับสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ ทำให้การประมาณค่าพารามิเตอร์สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

3.2 การไอเดนติฟิเคชันโดยใช้เทคนิครีเคอร์ซีฟลีสสแคว

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบรีเคอร์ซีฟลีสสแคว เนื่องจากมีการปรับค่าเกณฑ์ของขบวนการปรับค่าพารามิเตอร์ ทำให้พารามิเตอร์ที่ได้มีความถูกต้องและสามารถหาค่าพารามิเตอร์ได้ในเวลาอันรวดเร็ว โดยสมการที่ใช้ในกระบวนการปรับค่าพารามิเตอร์จะเหมือนกับวิธีการเกรเดียน ยกเว้นค่าเกณฑ์การปรับจะเปลี่ยนไปตามเวลา[8] แสดงได้ดังนี้ กำหนดให้พารามิเตอร์เวกเตอร์คือ

$$\theta^T = [a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_m] \quad (3.4)$$

โดย a_1 - a_n และ b_1 - b_m เป็นพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องการประมาณค่าพารามิเตอร์เวกเตอร์การวัด(Measurement Vector) แสดงได้ดังนี้

$$\phi(t)^T = [-y(t), \dots, -y(t-n+1), u(t-d), \dots, u(t-d-m+1)] \quad (3.5)$$

เวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่ทำการประมาณค่า(Estimated Parameter Vector) แสดงได้ดังนี้

$$\hat{\theta}(t)^T = [\hat{a}_1(t), \dots, \hat{a}_n(t), \hat{b}_1(t), \dots, \hat{b}_m(t)] \quad (3.6)$$

สมการที่ใช้ในการปรับค่าเกินคือ

$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t)\phi(t)\phi(t)^T F(t)}{1 + \phi(t)^T F(t)\phi(t)} \quad (3.7)$$

จากโครงสร้างพื้นฐานของการปรับค่าพารามิเตอร์นำมาเขียนสมการการปรับค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + F(t+1)\phi(t)\varepsilon^0(t+1) \quad (3.8)$$

โดยกำหนดให้

$$\varepsilon^0(t+1) = y(t+1) - \hat{\theta}(t)^T \phi(t) \quad (3.9)$$

จากสมการทั้งหมดข้างต้นได้ทำการเขียนโปรแกรมภาษาซีและฟังก์ชันในโปรแกรมเมทแลบ(ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 5.5) เพื่อใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ในระบบจริงและใช้ในการจำลองระบบเพื่อศึกษาคุณลักษณะของระบบ โดยในระบบจริงได้รับค่าอินพุตและเอาต์พุตของระบบผ่านทางการ์ดอินเตอร์เฟส(ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 5.4)

3.3 การเลือกสัญญาณอินพุตสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์

การที่ค่าความผิดพลาดของการทำนาย(prediction error) มีค่าลู่เข้าสู่ค่าศูนย์ไม่ได้หมายความว่า การประมาณค่าพารามิเตอร์ของระบบมีความถูกต้องเสมอไปดังจะแสดงได้ดังต่อไปนี้ [8]

กำหนดให้ระบบมีรูปแบบจำลองดังนี้

$$y(t+1) = -a_1 y(t) + b_1 u(t) \quad (3.10)$$

รูปแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าแสดงได้ดังนี้

$$\hat{y}(t+1) = -\hat{a}_1 y(t) + \hat{b}_1 u(t) \quad (3.11)$$

โดยที่ $\hat{y}(t+1)$ คือ เอาต์พุตที่ได้จากรูปแบบจำลองที่ประมาณขึ้น ค่าความผิดพลาดของการทำนายแสดงได้ดังนี้

$$\mathcal{E}(t+1) = y(t+1) - \hat{y}(t+1) = 0 \quad (3.12)$$

จะได้

$$(\hat{a}_1 - a_1)y(t) + (b_1 - \hat{b}_1)u(t) = 0 \quad (3.13)$$

จาก

$$y(t) = \frac{b_1 q^{-1}}{1 + a_1 q^{-1}} u(t) \quad (3.14)$$

จะได้

$$[(b_1 - \hat{b}_1) + (\hat{a}_1 b_1 - a_1 \hat{b}_1) q^{-1}] u(t) = 0 \quad (3.15)$$

กำหนดให้

$$\alpha_0 = b_1 - \hat{b}_1$$

$$\alpha_1 = \hat{a}_1 b_1 - a_1 \hat{b}_1$$

จะได้

$$(\alpha_0 + \alpha_1 q^{-1}) u(t) = 0 \quad (3.16)$$

เมื่ออินพุตเท่ากับค่าคงที่ จะได้

$$-\alpha_1 = \alpha_0$$

จะเห็นได้ว่า a_1 ไม่จำเป็นที่จะต้องเท่ากับ \hat{a}_1 และ b_1 ไม่จำเป็นที่จะต้องเท่ากับ \hat{b}_1 แสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

กำหนดให้

$$a_1 = 1, b_1 = 1, \hat{a}_1 = 3, \hat{b}_1 = 2$$

จะได้

$$\frac{1}{1+1} = \frac{2}{1+3}$$

จะเห็นได้ว่า a_1 ไม่เท่ากับ \hat{a}_1 และ b_1 ไม่เท่ากับ \hat{b}_1 แต่ค่าความผิดพลาดจากการทำนายมีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะฉะนั้นถ้าอินพุตของระบบมีค่าคงที่ การประมาณค่าพารามิเตอร์ระบบ

อาจจะได้ไม่ตรงกับค่าพารามิเตอร์ของระบบจริงแม้ว่าค่าความผิดพลาดจากการทำนายจะมีค่าลู่สู่ค่าศูนย์ก็ตาม

กำหนดให้ $u(t) = e^{j\omega t}$

จะได้

$$(e^{j\omega t} \alpha_0 + \alpha_1) e^{j\omega t, (t-1)} = 0 \quad (3.17)$$

α_0 และ α_1 เป็นจำนวนจริง ส่วน $e^{j\omega t}$ ไม่สามารถเป็นคำตอบของสมการคุณลักษณะ (Characteristic Equation) ดังนั้นค่าความผิดพลาดของการทำนายจะเท่ากับศูนย์ได้ก็ต่อเมื่อ

$$\alpha_0 = \alpha_1 = 0$$

$$b_1 = \hat{b}_1, a_1 = \hat{a}_1$$

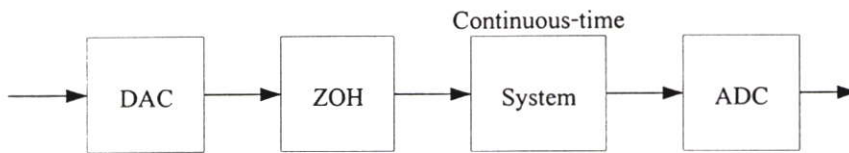
จากที่แสดงข้างต้นการเลือกสัญญาณอินพุตของระบบจะต้องเลือกสัญญาณที่มีค่าความถี่อยู่ในตัวสัญญาณเองมาก (rich frequency) เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้มีค่าตรงกับค่าพารามิเตอร์ของระบบจริง

บทที่ 4

ระบบควบคุมแบบดิจิทัลและแบบปรับตัว

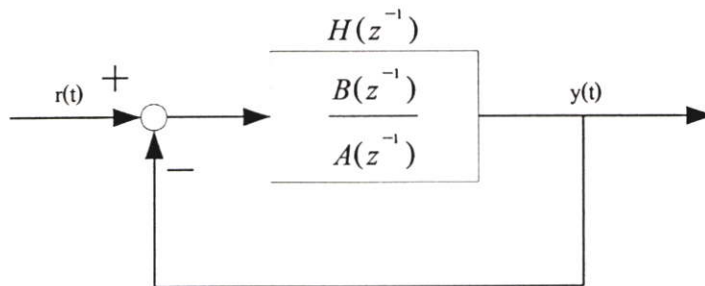
4.1 ระบบควบคุมแบบดิจิทัล

ในการควบคุมระบบที่อยู่ในรูปของแบบจำลองแบบเวลาต่อเนื่องร่วมกับตัวคงค่าอันดับศูนย์ (Zero-order Hold) ตัวแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและตัวแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อกซึ่งแสดงดังรูป



รูปที่ 4.1 ระบบที่ต้องการควบคุม

เมื่อต้องการควบคุมระบบข้างต้นซึ่งมีการป้อนกลับอยู่ในระบบด้วยดังรูป



รูปที่ 4.2 ระบบที่ต้องการควบคุมในรูปแบบของดิสครีต

จากรูปข้างต้นรูปแบบสมการทั่วไปแสดงได้ดังนี้

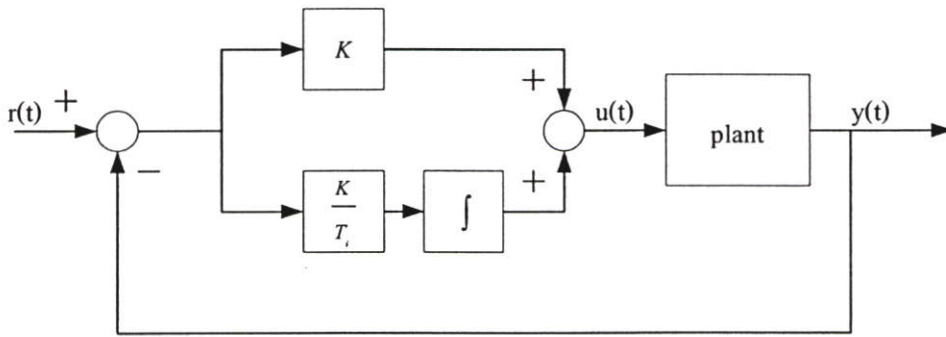
$$H_{cl}(z^{-1}) = \frac{H(z^{-1})}{1 + H(z^{-1})} = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1}) + B(z^{-1})} \quad (4.1)$$

ในการควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตัวควบคุมที่ใช้ส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปแบบของตัวควบคุมแบบ พี-ไอ (PI Controller) เนื่องจากมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โดยตัวควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดแอนะล็อกมีกฎการควบคุมแสดงได้ดังนี้

$$u(t) = K \left[1 + \frac{1}{dT_i} \frac{d}{dt} \right] [r(t) - y(t)] \tag{4.3}$$

และมีโครงสร้างการควบคุมแสดงได้ดังนี้

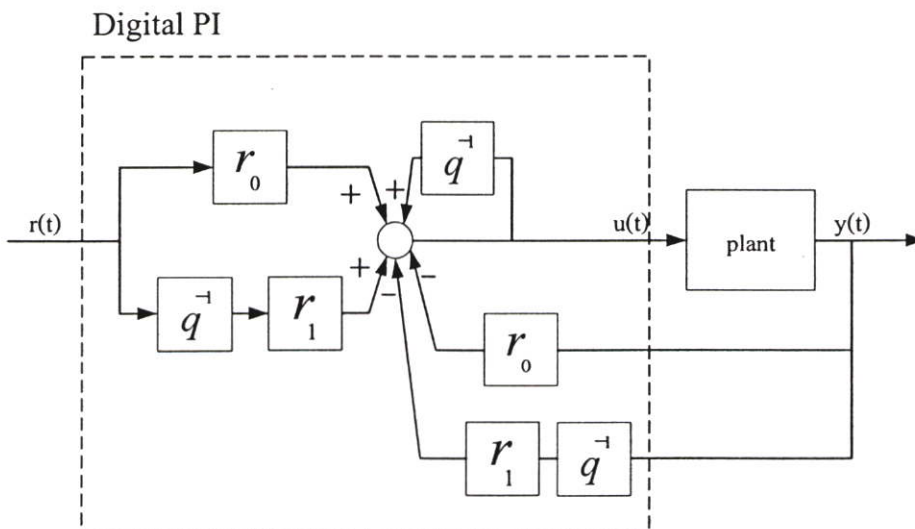


รูปที่ 4.3 โครงสร้างการควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดแอนะล็อก

จากกฎการควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดแอนะล็อกทำการแปลงให้อยู่ในรูปของกฎการควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดดิจิทัล [1] ได้ดังนี้

$$u(t) = u(t-1) + r_0[r(t) - y(t)] + r_1[r(t-1) - y(t-1)] \tag{4.4}$$

โครงสร้างของการควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดดิจิทัลแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.4 โครงสร้างการควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดดิจิทัล

จากกฎการควบคุมข้างต้นทำการจัดรูปของสมการใหม่เพื่อให้อยู่ในรูปของรูปแบบแบบบัญญัติ (Canonical Form or tri-branched structure R-S-T)

$$u(t) = -\frac{R(q^{-1})}{S(q^{-1})}y(t) + \frac{T(q^{-1})}{S(q^{-1})}r(t) \quad (4.5)$$

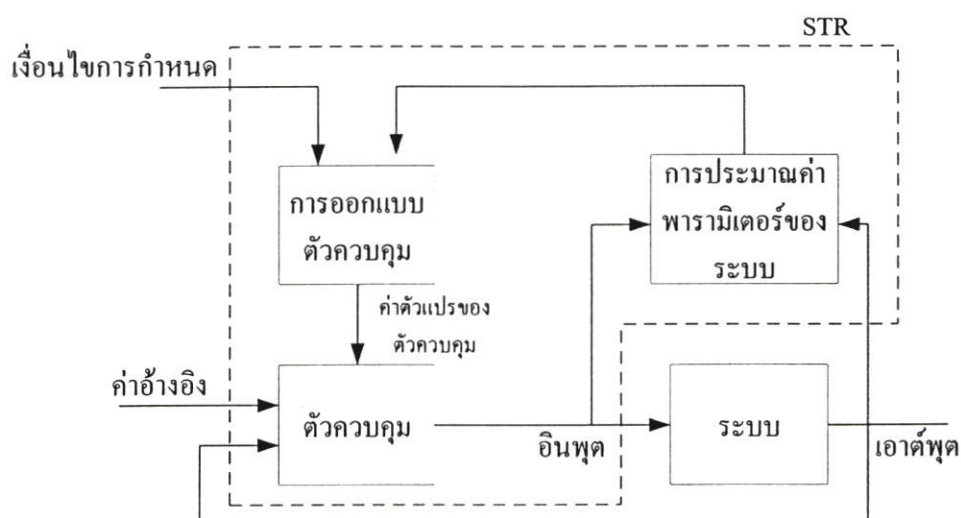
โดยกำหนดให้

$$S(q^{-1}) = 1 - q^{-1}$$

$$R(q^{-1}) = T(q^{-1}) = r_0 + r_1 q^{-1}$$

4.2 ระบบควบคุมแบบปรับตัว

ในการควบคุมแบบปรับตัวสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิดหลักๆ คือ gain scheduling, Model-reference adaptive control(MRAS), self-tuning regulator(STR) และ dual control โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการแบบ STR ซึ่งมีรูปแบบแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.5 การควบคุมแบบปรับตัวชนิด STR

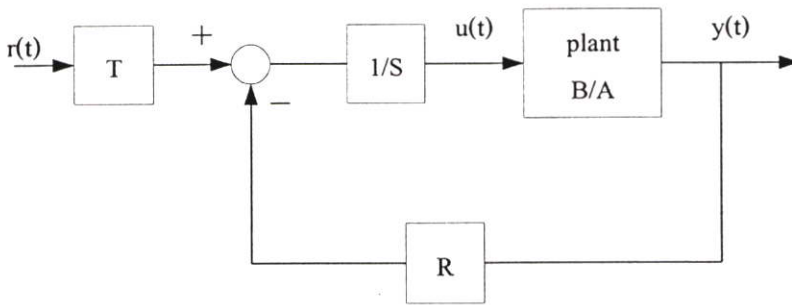
วิธีการ STR เป็นวิธีการควบคุมแบบปรับตัวชนิดโดยตรง เนื่องจากกฎของการปรับตัวจะบอกได้โดยตรงว่าตัวแปรของตัวควบคุมจะต้องปรับเปลี่ยนไปอย่างไร ค่าตัวแปรของตัวควบคุมจะแปรเปลี่ยนไปตามการออกแบบตัวควบคุม ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องการควบคุมจากการประมาณค่า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการไอเดนติฟิเคชันแบบออนไลน์ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ ดังได้แสดงไว้ในบทที่ 3

4.3 การออกแบบตัวควบคุม

จากโครงสร้างของตัวควบคุมแบบดิจิทัลดังที่แสดงมาข้างต้น โดยระบบที่ต้องการควบคุมมีลักษณะดังรูปที่ 4.1 ทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ พี-ไอ ชนิดดิจิทัล สมมติให้ระบบเป็นระบบอันดับหนึ่งแสดงได้ดังนี้

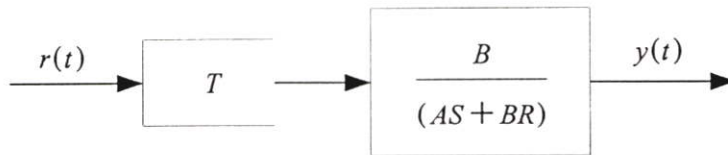
$$H_p(q^{-1}) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} = \frac{b_1 q^{-1}}{1 + a_1 q^{-1}} \quad (4.6)$$

ระบบโดยรวมที่ประกอบด้วยระบบที่ต้องการควบคุมและตัวควบคุมแบบบัญญัติแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 ระบบที่ต้องการและตัวควบคุมแบบบัญญัติ

ทำการยุบบล็อกไดอะแกรมจะได้ระบบดังรูป



รูปที่ 4.7 ระบบที่ต้องการและตัวควบคุมแบบบัญญัติในรูปอย่างง่าย

จากรูปทำการเขียนสมการของระบบได้ดังนี้

$$H_{cl}(q^{-1}) = \frac{B(q^{-1})R(q^{-1})}{A(q^{-1})S(q^{-1}) + B(q^{-1})R(q^{-1})} = \frac{B(q^{-1})R(q^{-1})}{P(q^{-1})} \quad (4.7)$$

พิจารณาถึงสมการคุณลักษณะของระบบในสมการที่ 4.7 จะได้

$$P(q^{-1}) = A(q^{-1})S(q^{-1}) + B(q^{-1})R(q^{-1}) = 1 + p_1 q^{-1} + p_2 q^{-2} + \dots \quad (4.8)$$

ทำการแทนค่าต่างๆลงในสมการที่ 4.8 จะได้

$$P(q^{-1}) = 1 + (a_1 - 1 + b_1 r_0)q^{-1} + (-a_1 + b_1 r_1)q^{-2} \quad (4.9)$$

เปรียบเทียบสมการที่ 4.8 กับ สมการที่ 4.9 จะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมซึ่งสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของระบบดังนี้

$$r_0 = \frac{p_1 - a_1 + 1}{b_1} \quad (4.10)$$

$$r_1 = \frac{p_2 + a_1}{b_1} \quad (4.11)$$

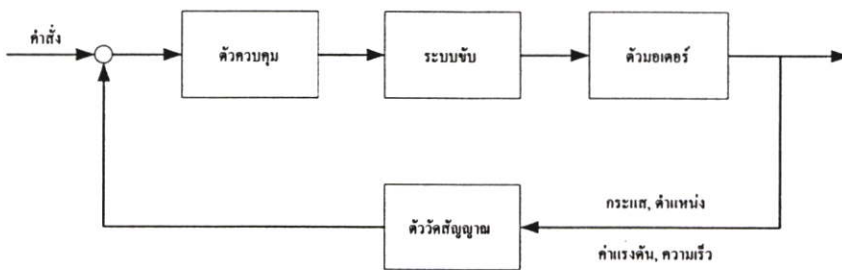
จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถนำมาใช้เป็นกฎการควบคุมระบบแบบปรับตัวกับระบบอันดับหนึ่งดังที่แสดงไว้ข้างต้น

บทที่ 5

การออกแบบระบบควบคุมและโปรแกรม

5.1 การออกแบบการควบคุม

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไป จะมีลักษณะระบบโดยรวมดังแสดงในรูป

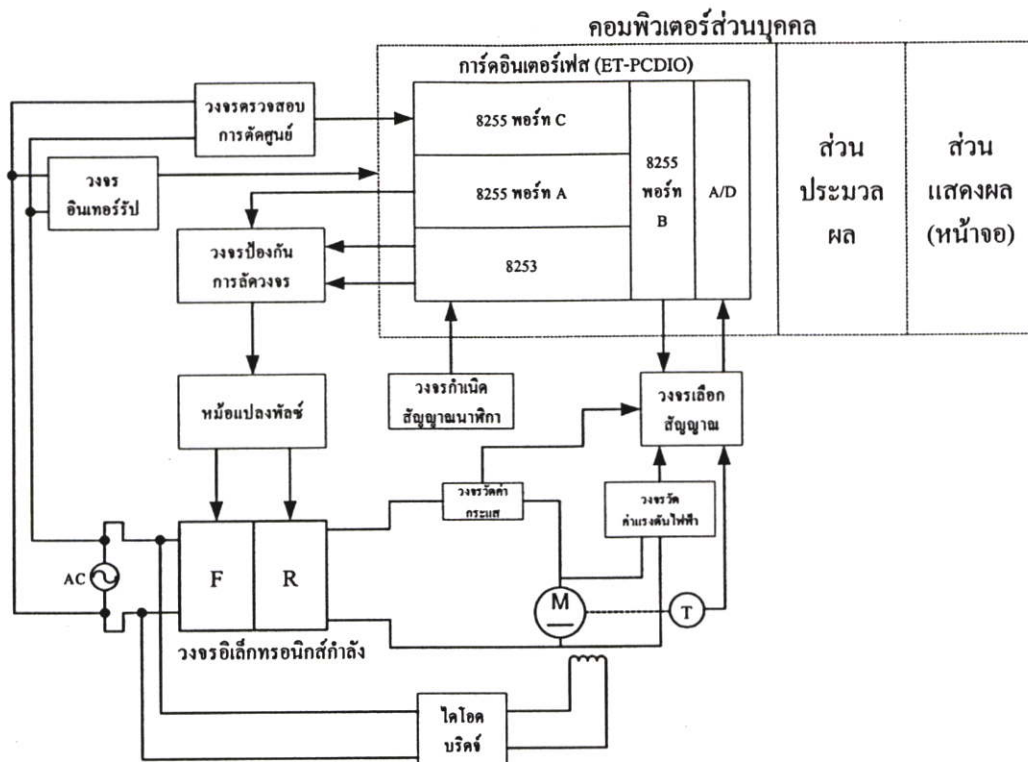


รูปที่ 5.1 ระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบทั่วไป

จากรูปจะเห็นได้ว่าการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะแบ่งออกเป็นส่วนหลักๆ ได้หลายส่วนดังนี้ ส่วนตัวควบคุมจะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณไปควบคุมระบบโดยรับสัญญาณที่เป็นผลของการเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณคำสั่งหรือเป้าหมายที่ต้องการกับสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากตัววัดสัญญาณป้อนกลับ โดยสัญญาณป้อนกลับมีอยู่หลายลักษณะขึ้นอยู่กับว่าการควบคุมในขณะนั้นเป็นการควบคุมแบบใด เช่นในรูปของการควบคุมกระแส สัญญาณที่ป้อนกลับก็คือกระแส เป็นต้น ส่วนระบบขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้จากตัวควบคุมเพื่อนำไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากวงจรควบคุมส่วนใหญ่จะเป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์หรือเป็นโปรแกรมที่เขียนบนคอมพิวเตอร์ จึงจำเป็นที่จะต้องขยายสัญญาณก่อนที่จะนำไปขับตัวมอเตอร์ ส่วนของตัววัดสัญญาณป้อนกลับ ทำหน้าที่ในการวัดสัญญาณเพื่อป้อนกลับไปใช้ในการควบคุมระบบ จากพื้นฐานการควบคุมมอเตอร์ข้างต้นนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้จะได้ระบบโดยรวมที่แสดงดังรูปที่ 5.2

5.2 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะติดต่อผ่านทางการ์ดอินเตอร์เฟส ET-DIO ของบริษัท อีทีที จำกัด



รูปที่ 5.2 ระบบโดยรวมที่ใช้ในงานวิจัย

5.2.1 ลักษณะทั่วไปของการ์ดอินเตอร์เฟส ET-DIO

ET-DIO การ์ดมีลักษณะเป็นการ์ดที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลกับระบบที่ต้องการควบคุมหรือต้องการวัด โดยทำการติดตั้งการ์ดเข้ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทาง ช่อง ISA ET-DIO การ์ดสามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตและให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาได้ทั้งในรูปแบบของสัญญาณแอนะล็อกและดิจิตอล ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานด้านต่างๆอย่างมาก ในการใช้งานการ์ด ET-DIO จำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าตำแหน่งของการ์ดเพื่อให้คอมพิวเตอร์ทราบว่าการ์ดอยู่ที่ตำแหน่งใด โดยกำหนดได้จากการตั้งค่าดิปสวิทช์(Dip switch) sw1 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ตั้งค่าตำแหน่งของการ์ดให้ทำงานที่ตำแหน่ง 300H ทำให้ค่าตำแหน่งของพอร์ตต่างเป็นดังนี้

300H	ค่าตำแหน่งของพอร์ต PA 8255
301H	ค่าตำแหน่งของพอร์ต PB 8255
302H	ค่าตำแหน่งของพอร์ต PC 8255
303H	ค่าตำแหน่งพอร์ตควบคุมของ 8255
304H	ค่าตำแหน่งของพอร์ตเคเตอร์ 0 ของ 8253
305H	ค่าตำแหน่งของพอร์ตเคเตอร์ 1 ของ 8253

306H	ค่าตำแหน่งของพอร์ตเคาเตอร์ 2 ของ 8253
307H	ค่าตำแหน่งพอร์ตควบคุมของ 8253
308H	ค่าตำแหน่งพอร์ตควบคุมของ DAC
309H	ค่าตำแหน่งพอร์ตควบคุมของ DAC
30AH	ค่าตำแหน่งพอร์ตควบคุมของ ADC
30BH	ค่าตำแหน่งพอร์ตควบคุมของ ADC

อุปกรณ์หลักที่ประกอบอยู่บน ET-DIO ได้แก่ ไอซีเบอร์ 8255 ไอซีเบอร์ 8253 ไอซี ADC0804 และไอซี DAC0832 ซึ่งแต่ละตัวมีหน้าที่และความสำคัญดังนี้

ไอซีเบอร์ 8255 (Programmable Peripheral Interface)

ไอซี 8255 มีพอร์ตทั้งหมด 4 พอร์ต โดยเป็นพอร์ตควบคุม 1 พอร์ตและพอร์ตที่สามารถใช้งานได้ 3 พอร์ตหรือ 24 บิตในรูปของสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสามารถทำการตั้งค่าให้เป็นได้ทั้งอินพุต พอร์ตและเอาต์พุตพอร์ตตามต้องการ โดยทำการส่งค่าไปยังพอร์ตควบคุม ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตั้งค่าให้พอร์ตควบคุมคือ 0x89 ทำให้พอร์ตต่างๆมีคุณลักษณะดังนี้

พอร์ต PA ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตพอร์ต ทำการส่งสัญญาณให้วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเพื่อสร้างสัญญาณไปควบคุมไทรสเตอร์ให้ทำงานอย่างถูกต้อง

พอร์ต PB ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตพอร์ต ทำการส่งสัญญาณไปยังไอซี mx 808(Analog Multiplxer) เพื่อทำการเลือกสัญญาณอินพุตที่จะส่งไปยังไอซี ADC0804 ซึ่งใช้ในการวัดค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดอาร์มาเจอร์และค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์มาเจอร์

พอร์ต PC ทำหน้าที่เป็นอินพุตพอร์ต ทำการตรวจสอบค่าสัญญาณไซน์ที่เข้ามาในระบบว่าเป็นช่วงบวกหรือช่วงลบ ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานร่วมกับระบบภายนอกได้อย่างถูกต้อง

ไอซีเบอร์ 8253 (Programmable Interval Timer)

ไอซี 8253 มีโครงสร้างภายในให้ใช้งานถึง 3 ช่องโดยแต่ละช่องทำงานแยกจากกันอย่างอิสระ ทำให้ ET-DIO การ์ดสามารถประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับระบบฐานเวลาต่างๆได้ ในการใช้งานไอซีเบอร์ 8253 จำเป็นที่จะต้องมีการสัญญาณนาฬิกาป้อนให้กับตัวไอซี ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ไอซีเบอร์ LM555 ในการสร้างสัญญาณนาฬิกา(ดูรายละเอียดในหัวข้อ วงจร

กำเนิดสัญญาณนาฬิกา) และในงานวิจัยนี้ได้ใช้งานไอซี 8253 จำนวน 2 ช่องซึ่งใช้งานร่วมกับวงจรป้องกันการลัดวงจร(ดูรายละเอียดในหัวข้อ วงจรป้องกันการลัดวงจร)

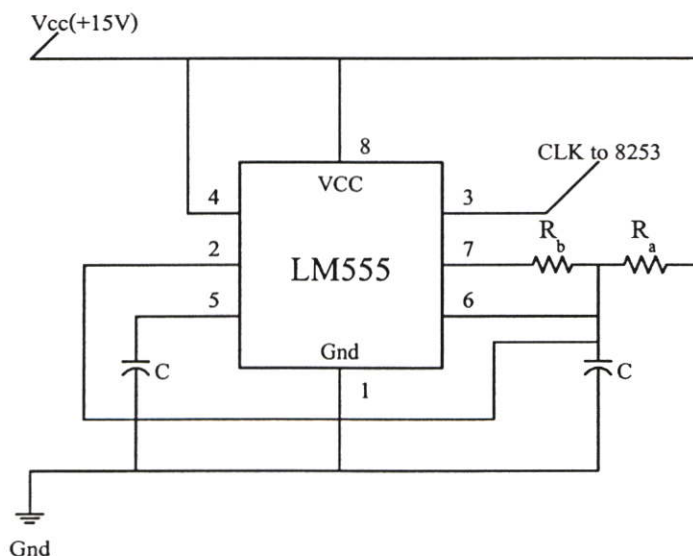
ไอซี ADC0804

ไอซี ADC0804 ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตในของสัญญาณแอนาลอกแล้วทำการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับสัญญาณ หรือการวัดสัญญาณได้ 1 ช่อง ขนาดของสัญญาณแอนาลอกที่รับเข้ามานั้นสามารถกำหนดแถบความกว้าง(Range)ของสัญญาณได้โดยการควบคุมขนาดของ V_I ซึ่งเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นหรือค่าต่ำสุดของสัญญาณที่รับเข้ามาและ $V_{ref}/2$ ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดสูงสุดของสัญญาณที่รับเข้ามา

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้งานไอซี ADC0804 ในการรับสัญญาณจำนวน 3 สัญญาณได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์มาเจอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดอาร์มาเจอร์และค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากไอซี ADC0804 สามารถรับสัญญาณได้เพียง 1 ช่องจึงได้ใช้ไอซี mx 808 และค่าสัญญาณจากพอร์ต PB ในการเลือกสัญญาณที่จะรับเข้ามาในแต่ละช่วงเวลาและกำหนดแถบความกว้างของสัญญาณที่รับเข้ามาเท่ากับ 0 ถึง 5 โวลต์

5.2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสร้างขึ้นมาเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับไอซีเบอร์ 8253 ในการ์ดอินเตอร์เฟส ซึ่งมีหน้าที่ในการส่งสัญญาณไปใช้ในวงจรป้องกันการลัดวงจร โดยสัญญาณนาฬิกาที่ต้องการมีค่าความถี่เท่ากับ 20 กิโลเฮิรท์ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 5.3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

จากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเมื่อต้องการค่าความถี่ที่ออกมาเท่ากับ 20 กิโลเฮิรท์ จะต้องมีการคำนวณหาค่า R_a , R_b และค่า C เพื่อให้ได้ค่าความถี่ตามที่ต้องการดังนี้ จากข้อมูลที่ได้จากคู่มือไอซีแสดงสมการต่างๆ ได้ดังนี้

$$t_1 = 0.693 R_a C \quad (5.1)$$

$$t_2 = \left[\frac{R_a R_b}{R_a + R_b} \right] C \ln \left[\frac{R_b - 2R_a}{2R_b - R_a} \right] \quad (5.2)$$

$$freq = \frac{1}{t_1 + t_2} \quad (5.3)$$

ความถี่ที่ต้องการเท่ากับ 20 กิโลเฮิรท์ จากสมการที่ 5.3 จะได้

$$t_1 + t_2 = 0.05 \text{ ms} \quad (5.4)$$

จากสมการที่ 5.4 กำหนดให้ t_1 เท่ากับ 0.025 ms และ t_2 เท่ากับ 0.025 ms จากนั้นทำการคำนวณหาค่า R_a และ R_b โดยกำหนดค่า C เท่ากับ 0.01 ไมโครฟารัดได้ดังนี้

$$R_a = \frac{25 * 10^{-6}}{0.693 * 0.01 * 10^{-6}} = 3.6 \text{ k}\Omega \quad (5.5)$$

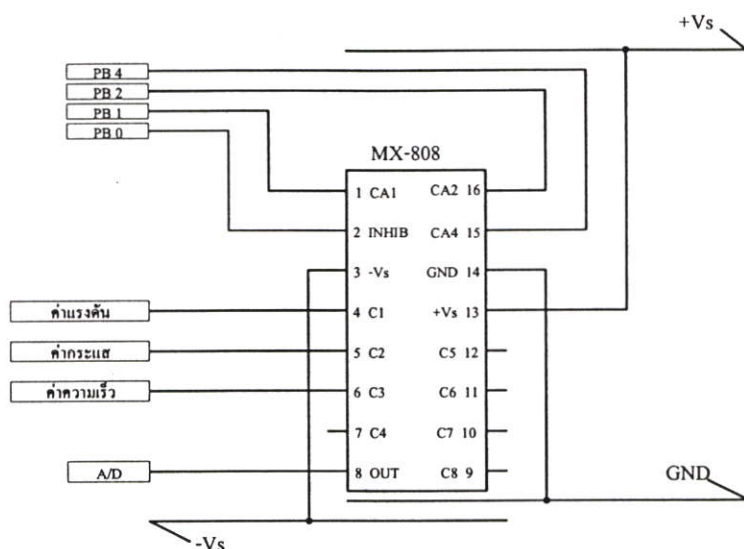
$$R_b = 1.47 \text{ k}\Omega \quad (5.6)$$

ในทางปฏิบัติได้ใช้ค่าความต้านทานแบบปรับค่าได้ นำมาใส่ในวงจรเพื่อให้ได้ค่าความถี่ที่ถูกต้องมากที่สุด

5.2.3 วงจรเลือกสัญญาณป้อนกลับ

ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี จำเป็นที่จะต้องทำการควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งจะมีวงปิดที่ใช้ในการควบคุมหลายวงคือ จะมีการป้อนกลับค่าต่างๆ หลายค่าเพื่อใช้ในการควบคุม ในการวิจัยนี้ได้ทำการป้อนกลับค่าต่างๆ 3 ค่าคือ ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ และค่าความเร็วของมอเตอร์ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของการ์ดอินเตอร์เฟสคือมีช่องแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล

เพียง 1 ช่อง จึงต้องทำการสร้างวงจรเพื่อรับสัญญาณทั้ง 3 ค่าโดยทำการรับทีละค่าสลับกันไป โดยใช้สัญญาณจากไอซีเบอร์ 8255 พอร์ต B เป็นตัวเลือกสัญญาณที่จะรับเข้ามา วงจรเลือกสัญญาณป้อนกลับแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 5.4 วงจรเลือกสัญญาณป้อนกลับ

จากวงจรเลือกสัญญาณป้อนกลับจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ใช้ในการเลือกเป็นสัญญาณที่ได้จากไอซีเบอร์ 8255 พอร์ต B โดยมีลักษณะการเลือกดังตารางนี้

ตารางที่ 5.1 ค่าสัญญาณที่ใช้ในการเลือกสัญญาณป้อนกลับ

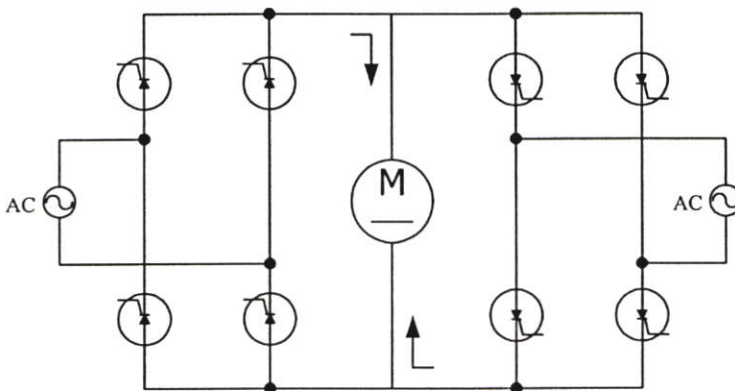
CA1	CA2	CA4	INHIB	ON CHANNEL
x	x	X	1	NONE
0	0	0	0	1
0	0	1	0	2
0	1	0	0	3
0	1	1	0	4
1	0	0	0	5
1	0	1	0	6
1	1	0	0	7
1	1	1	0	8

จากรูปและตารางข้างต้นสัญญาณที่ป้อนกลับจะมีอยู่ 3 ค่า โดยต่อสัญญาณเข้าที่ช่องที่ 1 ถึง 3 ของ ไอซีเบอร์ mx-808 และจะมีสัญญาณที่ใช้เลือกช่องสัญญาณจากพอร์ต B ของ 8255 ดังนั้นจึงสามารถเลือกสัญญาณที่จะป้อนกลับจากโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากภาษาซี สัญญาณป้อนกลับที่เลือกมาแล้วนั้นจะถูกต่อเข้ากับช่อง A/D ของการ์ดอินเตอร์เฟส เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป

5.3 ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3.1 วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

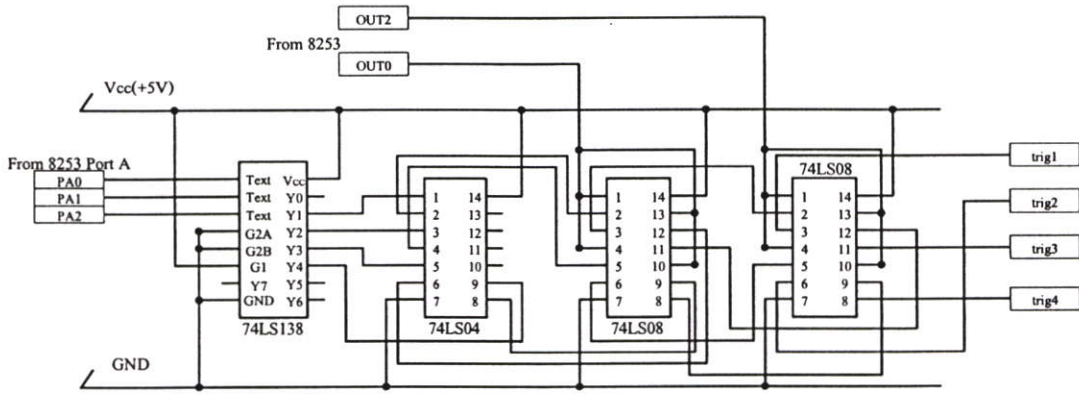
วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้เป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นหนึ่งเฟส (Single-Phase Full Wave rectifier) ซึ่งใช้ไทรสเตอร์จำนวนสองชุดเพื่อให้สามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ทั้งสองทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 5.5 ทำให้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าได้โดยการปรับค่ามุมสัญญาณกระตุ้นที่ขาเกตของไทรสเตอร์ โดยสัญญาณกระตุ้นได้จากโปรแกรมที่เขียนขึ้นส่งผ่านไปยังวงจรป้องกันการลัดวงจรและวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ก่อนที่จะมาทริกที่ขาเกตของไทรสเตอร์



รูปที่ 5.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในงานวิจัย

5.3.2 วงจรป้องกันการลัดวงจร

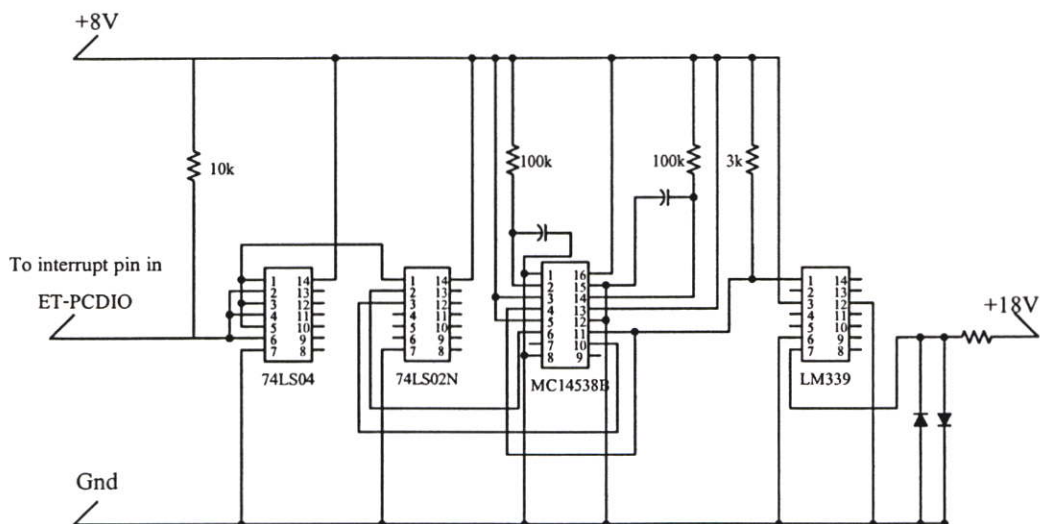
วงจรป้องกันการลัดวงจรมีหน้าที่ในการบังคับไม่ให้สัญญาณที่ส่งไปยังวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นทำงานพร้อมกันทั้ง 4 ชุด โดยสัญญาณที่รับเข้ามาในวงจรจะมาจากโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากภาษาซีส่งผ่านค่าออกมาที่ พอร์ต A ของ 8253 แล้วเข้าสู่วงจรป้องกันการลัดวงจรดังแสดงในรูป โดยสัญญาณที่ใช้ร่วมในการป้องกันการลัดวงจรจะได้จากขา out 0 และ out 2 ของไอซีเบอร์ 8253 ซึ่งควบคุมโดยโปรแกรมภาษาซีที่เขียนขึ้น



รูปที่ 5.6 วงจรป้องกันการลัดวงจร

5.3.3 วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์

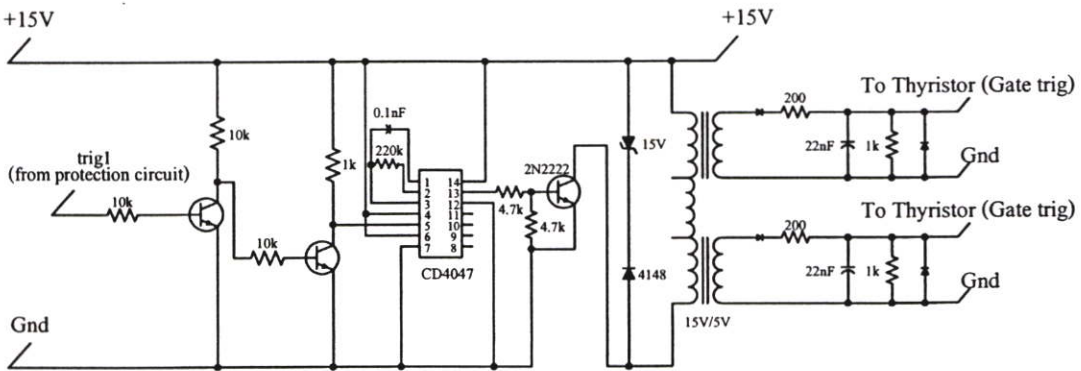
ในการควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องมีสัญญาณที่ส่งไปทริกขาเกตของตัวไทรสเตอร์ ในแต่ละลูกคลื่นเพื่อใช้ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการส่งสัญญาณไปกระตุ้นไทรสเตอร์จำเป็นที่จะต้องทำให้คอมพิวเตอร์ทราบว่าช่วงไหนที่มีการเริ่มลูกคลื่น ช่วงไหนที่ลูกคลื่นตัดกับแกนเวลา (Zero Crossing) เพื่อนำไปเป็นสัญญาณอินเทอร์รัปต์ให้แก่คอมพิวเตอรืและนำไปใช้คำนวณสร้างมุมทริกของไทรสเตอร์ต่อไป ค่าความถี่ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นจึงต้องออกแบบและสร้างวงจรที่สร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์ทุกๆ 10×10^{-3} วินาที โดยมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์

5.3.4 วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณทริกให้กับขาเกตของ ไทริสเตอร์ โดยรับสัญญาณจากค่าที่คำนวณจากโปรแกรมภาษาซีส่งผ่านมาทางพอร์ต A ของ 8253 ผ่านวงจรป้องกันการลัดวงจรจากนั้นจึงส่งมาที่วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเพื่อสร้างสัญญาณให้มีค่าความถี่ สามารถผ่านหม้อแปลงพัลส์ จากนั้นจึงส่งสัญญาณไปทริกขาเกตของไทริสเตอร์ วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 5.8 วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

5.4 ระบบวัดค่าเพื่อป้อนกลับ

5.4.1 ระบบวัดค่าแรงดัน

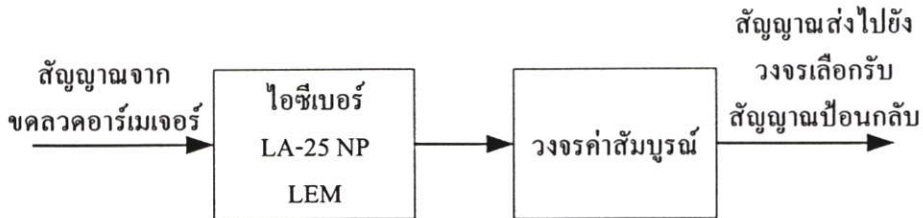
การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ เพื่อนำไปใช้เป็นสัญญาณอินพุตของการโอเพนลูปเฟสระบบจะกระทำโดยใช้วงจรแบ่งแรงดันในการแบ่งแรงดันที่ตกคร่อมขั้วขดลวดอาร์เมเจอร์ให้มีค่าเหมาะสมสำหรับที่จะใช้เป็นอินพุตของไอซีเบอร์ AD102 ($\pm 5 V_{cc}$) ไอซีเบอร์ AD102 จะทำหน้าที่ในการแบ่งระหว่างภาคไฟฟ้ากำลังกับภาคคอมพิวเตอร์เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากการลัดวงจรหรือความผิดพลาดอื่นๆ จากนั้นสัญญาณที่ออกจากไอซีเบอร์ AD102 จะถูกส่งไปยังวงจรยกระดับแรงดันเพื่อให้สัญญาณที่ได้สอดคล้องกับอินพุตของการ์ดอินเทอร์เฟส



รูปที่ 5.9 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์

5.4.2 ระบบวัดค่ากระแส

การวัดค่ากระแสทำได้โดยใช้ไอซี LA 25-NP ที่อาศัยหลักการของ ฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect) ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าทำการออกแบบวงจรโดยอาศัยคุณสมบัติของไอซีเบอร์ LA 25-NP จะได้ค่าเอาต์พุตที่ออกจากวงจรโดยค่า 1 โวลต์เท่ากับกระแส 10 แอมป์ จากนั้นส่งสัญญาณไปยังวงจรค่าสัมบูรณ์ (Absolute-value output circuit) เพื่อให้สัญญาณที่ได้มีแต่ค่าบวกเนื่องจากข้อจำกัดของช่องสัญญาณอินพุตของการ์ดคอนโทรลเลอร์เฟสต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ ระบบโดยรวมแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 5.10 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์

5.4.3 ระบบวัดค่าความเร็ว

การวัดค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถทำได้โดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำเนิดจากตัวททาโคเจนมิเตอร์ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้านี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่กำลังหมุน สัญญาณจากททาโคเจนมิเตอร์จะถูกส่งไปยังวงจรค่าสัมบูรณ์เพื่อปรับค่าให้มีแต่ค่าบวกตามเงื่อนไขของค่าอินพุตของการ์ดคอนโทรลเลอร์เฟส ระบบโดยรวมแสดงได้ดังรูป



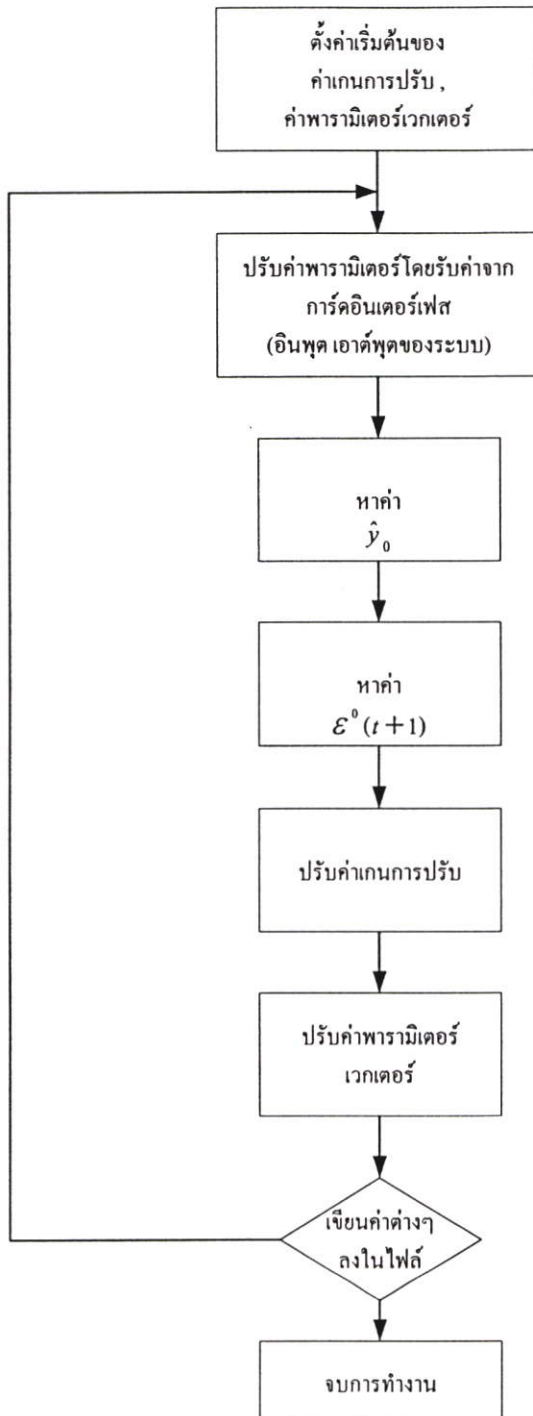
รูปที่ 5.11 การวัดค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.5 โครงสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

ในการควบคุมระบบทั้งหมดสามารถควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งติดตั้งการ์ดอินเตอร์เฟสไว้และทำการเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อใช้ในการควบคุมโดยตัวโปรแกรมสามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ได้ดังนี้

5.5.1 โปรแกรมที่ใช้ในการไอเดนติฟิเคชัน

จากหลักการหาค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีการของการไอเดนติฟิเคชันระบบ เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้กับระบบจริงจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการรับค่าและทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบจากข้อมูลที่รับเข้ามา โดยอัลกอริทึมของโปรแกรมแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 5.12 วิธีการของการไอเดนติฟิเคชันระบบ

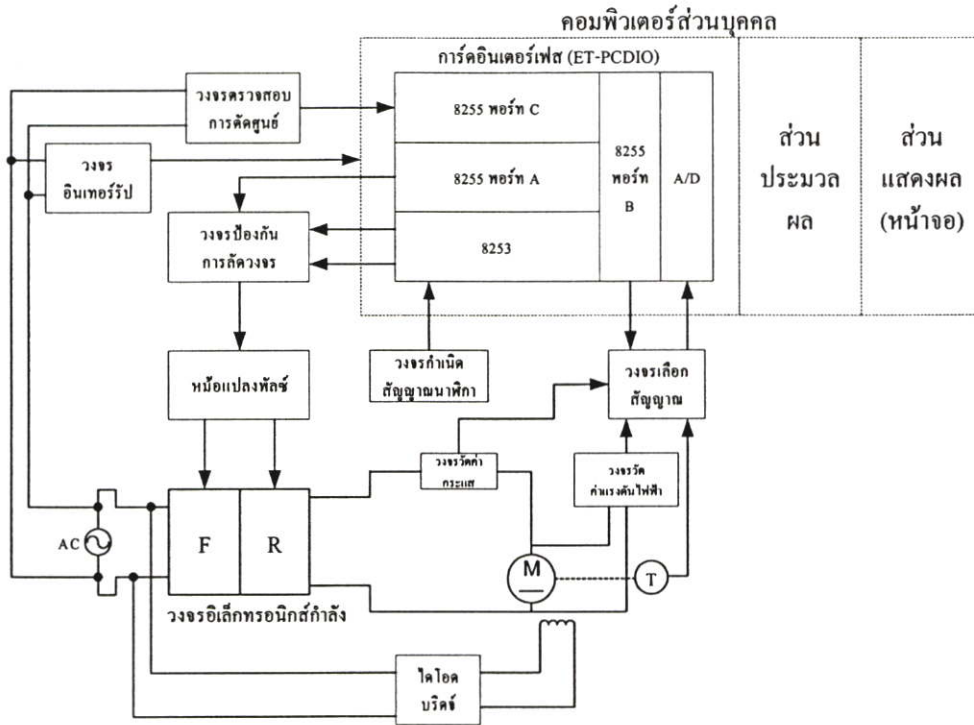
5.5.2 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบ

ในงานวิจัยนี้ได้เขียนโปรแกรมภาษาซีขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมระบบ โดยสามารถเลือกทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้จากเมนูหลัก สามารถลดหรือเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ได้จากโปรแกรม สามารถเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้จากโปรแกรม และในหน้าจอหลักสามารถแสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ และค่าความเร็วของมอเตอร์ รวมถึงการบอกทิศทางการหมุนในขณะนั้นๆ (รายละเอียดของโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก.)

บทที่ 6

ผลการทดลองและการจำลองระบบ

จากการสร้างระบบเพื่อใช้ในการทดลองสามารถแสดงระบบโดยรวมได้ดังนี้



รูปที่ 6.1 ระบบโดยรวม

จากระบบโดยรวมข้างต้นทำการทดลองโดยแบ่งระบบออกเป็นส่วนๆ ทำการทดลองโดยสังเกตผลการทดลองจากรูปกราฟว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

6.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากการทดสอบ

ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของระบบ เพื่อให้ได้ผลการควบคุมที่ดี ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเดิมใช้วิธีการทดสอบทางกายภาพต่างๆ [10] เช่น ทำการลือกโรเตอร์ เป็นต้น จากการทดสอบโดยวิธีการดังกล่าวสามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในงานวิจัยดังนี้

ความเร็วรอบสูงสุด	1200	รอบต่อนาที
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุดที่เข้าขดลวดอาร์เมเจอร์	220	โวลต์
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เข้าขดลวดฟิลด์	100	โวลต์
ขนาดกำลังของมอเตอร์	1	กิโลวัตต์

กระแสไฟฟ้าตรงที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์สูงสุด	10	แอมแปร์
ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์(R_a)	1.4126	โอห์ม
ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์(L_a)	29.24	มิลลิเฮนรี่
ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย(J)	0.051	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากความหนืด(B)	0.347	นิวตัน-เมตรต่อเรเดียน/วินาที

6.1.1 การทดลองหาค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

ทำได้โดยการล๊อคโรเตอร์ด้วยการใส่ก้านล๊อคโรเตอร์ เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปจะทำให้ค่า $e = 0$, ค่า $V = 0$ และจากสมการที่ 2.1 จะทำให้ทราบค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ได้

จากการทดลองโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มอเตอร์ได้ผลดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลทดลองหาค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

ครั้งที่	V_a (โวลต์)	I_a (แอมแปร์)	R_a (โอห์ม)
1	1.4	0.845	1.6568
2	1.9	1.135	1.6740
3	2.4	1.536	1.5625
4	3.4	2.346	1.4493
5	4.4	2.901	1.5167
6	5.4	3.435	1.5720
7	6.4	4.946	1.2940
8	7.4	6.266	1.1810
9	8.4	7.516	1.1176
10	9.4	8.526	1.1025

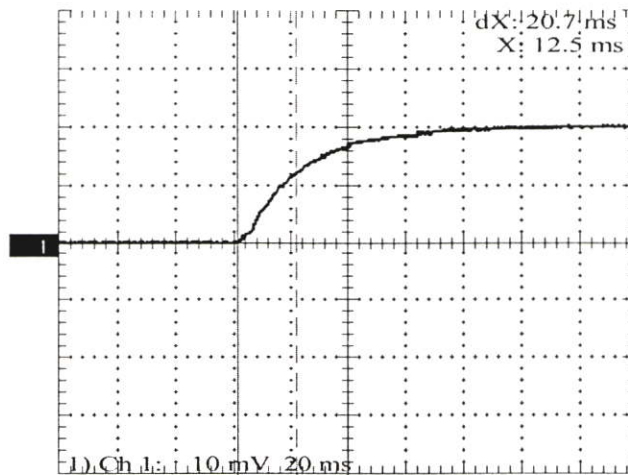
จากตารางข้างต้นทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ได้เท่ากับ 1.4126 โอห์ม

6.1.2 การทดลองหาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์สามารถหาได้โดยการป้อนอินพุตเข้าเป็นสัญญาณสเต็ป (Step Input) และล๊อคโรเตอร์ด้วยก้านล๊อคโรเตอร์เช่นเดิม หลังจากนั้นใช้ออสซิลอสโคป

(Oscilloscope) วัดรูปสัญญาณค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ (I_a) ทำการหาค่าเวลาที่เชิงไฟฟ้า (τ_c) จากกราฟ แล้วคำนวณหาค่า L_a จาก $L_a = \tau_c * R_a$

จากการทดลองจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์กับเวลาดังรูป

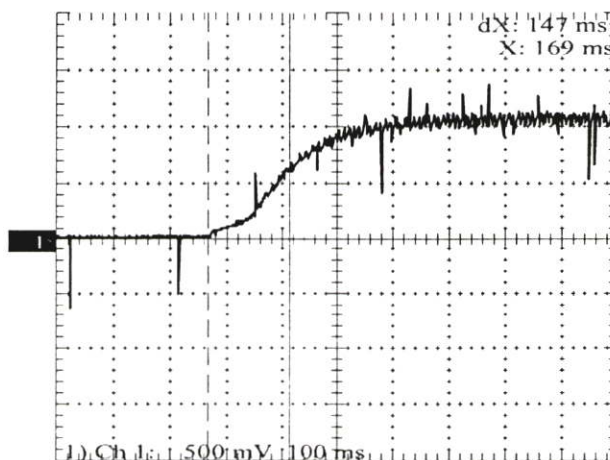


รูปที่ 6.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์กับเวลา

จากกราฟสามารถหาค่า τ_c ได้เท่ากับ 20.7 ms เพราะฉะนั้นจะได้ค่า L_a เท่ากับ 29.24 มิลลิเฮนรี่

6.1.3 การทดลองหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

ทำได้โดยการป้อนสัญญาณสตีปแล้ววัดสัญญาณ โวลเตจที่เกิดจากทาโคเจนเนอเรเตอร์กับเวลาจะได้ค่า τ_m จากกราฟ แล้วคำนวณหาค่า J จาก $J = \tau_m (k\phi)^2 / R_a$ โดยไม่ต้องถือโรเตอร์จากการทดลองได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเวลาซึ่งแสดงถึงความเร็วรอบของมอเตอร์ดังรูป

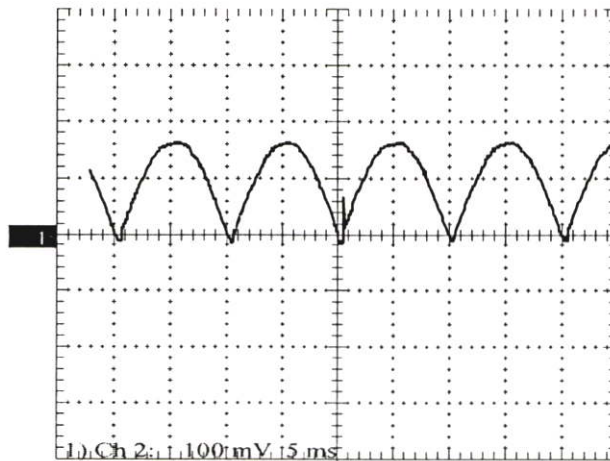


รูปที่ 6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาซึ่งแสดงถึงความเร็วรอบของมอเตอร์

จากรูปสามารถหาค่า τ_m ได้เท่ากับ 147 ms จากการทดลองป้อนอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ค่า พิกัด 99.8 V_{dc} ทำการบันทึก ค่ากระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าความต้านทานของขดลวด อาร์เมเจอร์ และค่าความเร็ว ทำการคำนวณหาค่า $k\phi$ จะได้เท่ากับ 0.6995 เพราะฉะนั้นจะได้ค่า $J = 0.147 \cdot (0.6995)^2 / 1.4126 = 0.051 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

6.2 การทดลองป้อนกระแสไฟฟ้าให้วงจรสร้างสนามแม่เหล็ก

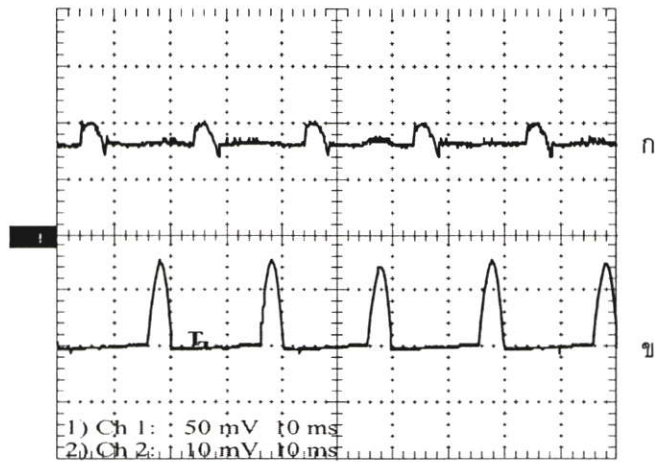
จากรายละเอียดของมอเตอร์ วงจรสร้างสนามแม่เหล็กต้องการไฟฟ้ากระแสตรง 100 V_{dc} และค่า ความต้านทาน 70 โอห์ม จากการออกแบบวงจร วงจรบริดจ์ทำหน้าที่เป็นตัวเรียงกระแสทำการ คำนวณหาขนาดหม้อแปลงที่เหมาะสม คือ หม้อแปลงขนาด 200 วัตต์ จากการทดลองป้อนกระแส ไฟฟ้าเข้าวงจรบริดจ์และทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวดฟิลต์จะได้ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 6.4 แรงดันตกคร่อมขดลวดฟิลต์

6.3 ผลการทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแบบซิงเกิลเฟสฟูลคอน-เวอร์เตอร์สองขั้วต่อสลับขั้วกัน (ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.3.1) ทำการทดลองโดยป้อนมุม กระตุ้นเท่ากับ 4×10^{-3} วินาทีหรือมีค่าเท่ากับ 36 องศา ซึ่งสามารถกำหนดได้จากโปรแกรมภาษาซี และโพลของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังคือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ได้ผลการทดลองดังแสดงใน รูป



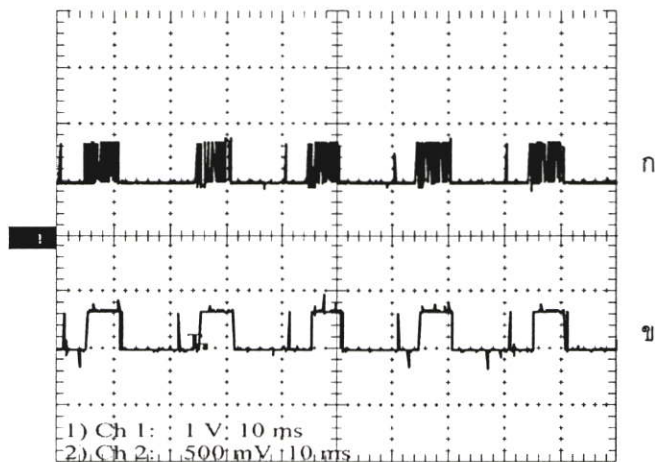
รูปที่ 6.5 สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

(ก) สัญญาณแรงดันที่ออกจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

(ข) สัญญาณกระแสที่ออกจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

6.4 ผลการทดลองวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นรับอินพุตเป็นสัญญาณพัลส์จากคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการแปลงสัญญาณอินพุตที่เข้ามาให้มีค่าเหมาะสมกับการนำไปทรานส์ไมเตอร์ เพื่อให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยกำหนดให้วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นที่ 4×10^{-3} วินาที ผลการทดลองแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 6.6 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

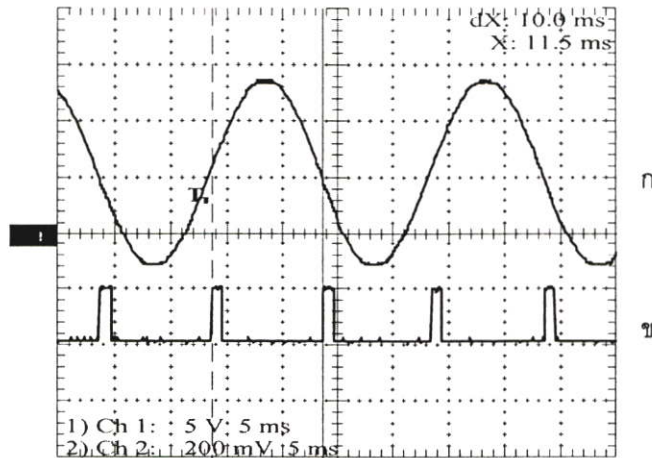
เมื่อกำหนดมุมกระตุ้นที่ 4×10^{-3} วินาที

(ก) สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

(ข) สัญญาณอินพุตที่รับมาจากคอมพิวเตอร์

6.5 ผลการทดลองวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์

จากแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบมีความถี่เท่ากับ 50 เฮิรตซ์ จะได้คาบของสัญญาณเท่ากับ 20×10^{-3} วินาที ฉะนั้นสัญญาณจะตัดแกน x (Zero Crossing) ทุกๆ 10×10^{-3} วินาที ดังนั้นวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์ต้องสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์ให้กับคอมพิวเตอร์ทุกๆ 10×10^{-3} วินาที ผลการทดลองแสดงได้ดังรูป

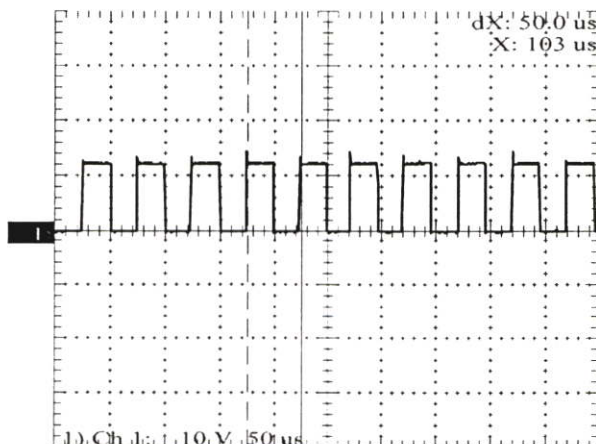


รูปที่ 6.7 สัญญาณอินเทอร์รัปต์

- (ก) สัญญาณไซน์ที่เข้าวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์
- (ข) สัญญาณที่ออกจากวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์ไปเข้าขา IRQ ของคอมพิวเตอร์

6.6 ผลการทดลองวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

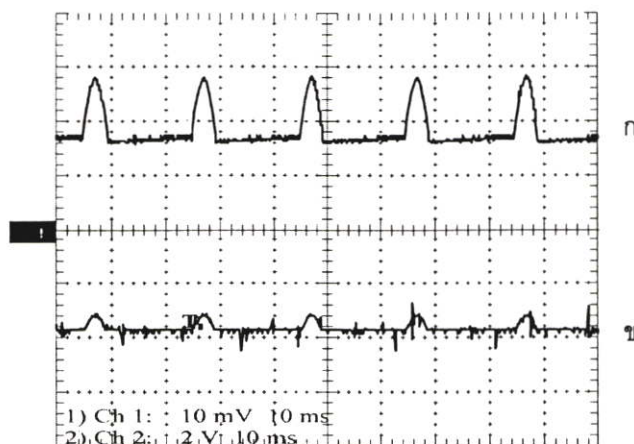
วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับไอซีเบอร์ 8253 ซึ่งต้องการความถี่ที่ 20×10^3 เฮิรตซ์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 555 ในการสร้างสัญญาณนาฬิกา ผลการทดลองแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 6.8 สัญญาณนาฬิกาที่ออกจากไอซีเบอร์ 555

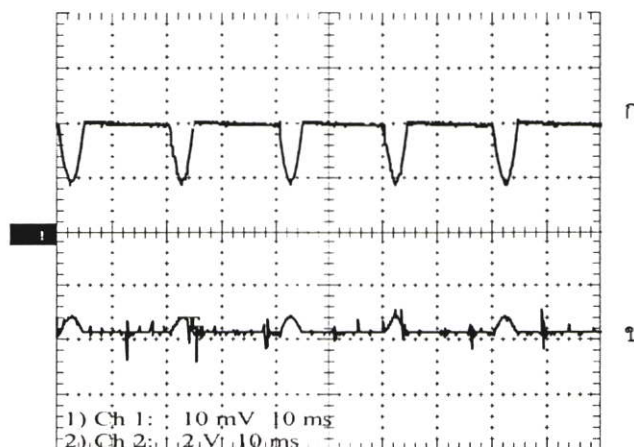
6.7 ผลการทดลองวงจรวัดกระแส

วงจรวัดกระแสเป็นวงจรที่ใช้วัดค่าสัญญาณกระแสที่เข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ในการหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองทิศทาง โดยใช้ไอซีเบอร์ LA 25-NP ในการวัด ทำการทดลองหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและวัดค่าสัญญาณกระแสจะได้ผลการทดลองแสดงดังรูป



รูปที่ 6.9 ค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้า (มอเตอร์หมุนในทิศทางไปข้างหน้า(Forward Direction))

- (ก) สัญญาณจริงที่ขั้วของขดลวดอาร์เมเจอร์
- (ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดค่ากระแส

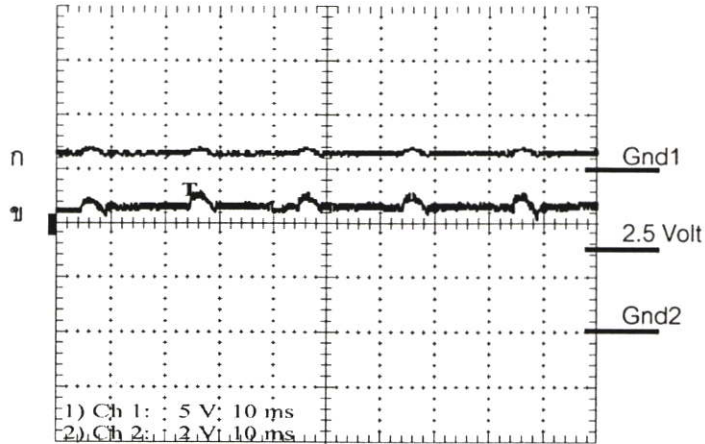


รูปที่ 6.10 ค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้า (มอเตอร์หมุนในทิศทางกลับหลัง(Rverse Direction))

- (ก) สัญญาณจริงที่ขั้วของขดลวดอาร์เมเจอร์
- (ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดค่ากระแส

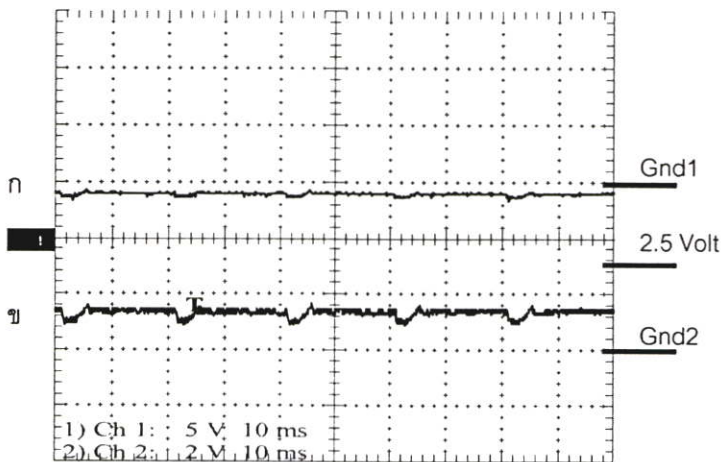
6.8 ผลการทดลองวงจรวัดแรงดัน

วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าเป็นวงจรที่ใช้วัดค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ในการหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองทิศทาง โดยใช้ไอซีเบอร์ AD102 ในการวัด ทำการทดลองหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและวัดค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะได้ผลการทดลองแสดงดังรูป



รูปที่ 6.11 ค่าสัญญาณแรงดัน (มอเตอร์หมุนในทิศทางไปข้างหน้า(Forward Direction))

- (ก) สัญญาณจริงที่ขั้วของขดลวดอาร์เมเจอร์
- (ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดค่าแรงดัน

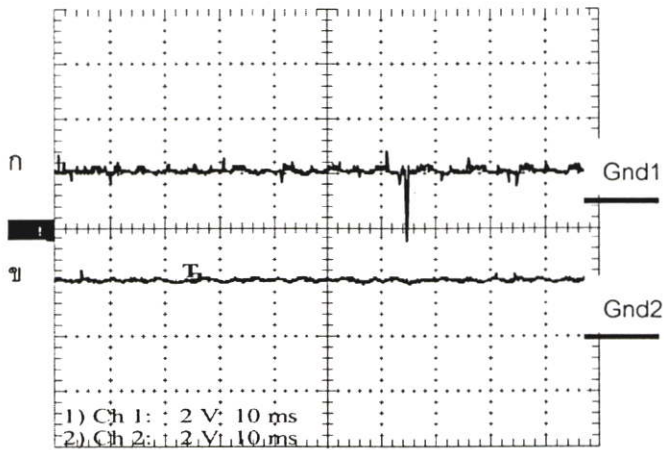


รูปที่ 6.12 ค่าสัญญาณแรงดัน (มอเตอร์หมุนในทิศทางกลับหลัง(Rreverse Direction))

- (ก) สัญญาณจริงที่ขั้วของขดลวดอาร์เมเจอร์
- (ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดค่าแรงดัน

6.9 ผลการทดลองวงจรวัดความเร็ว

วงจรวัดความเร็วเป็นวงจรที่ใช้วัดค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากทาโคเจนมิเตอร์ในการหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองทิศทาง ทำการทดลองหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและวัดค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเร็วจะได้ผลการทดลองแสดงดังรูป

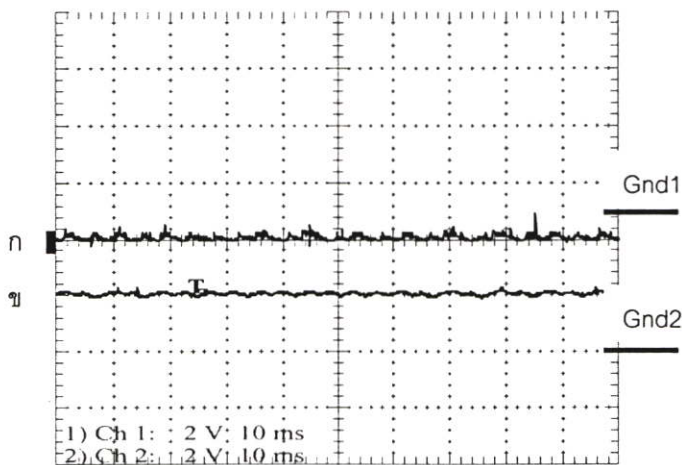


รูปที่ 6.13 ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากทาโคเจนมิเตอร์

(มอเตอร์หมุนในทิศทางไปข้างหน้า(Forward Direction))

(ก) สัญญาณจริง

(ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 6.14 ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากทาโคเจนมิเตอร์

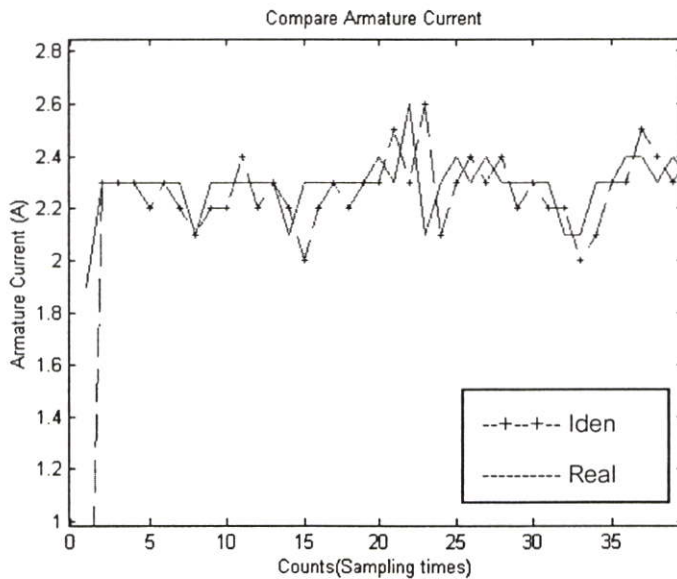
(มอเตอร์หมุนในทิศทางกลับหลัง(RReverse Direction))

(ก) สัญญาณจริง

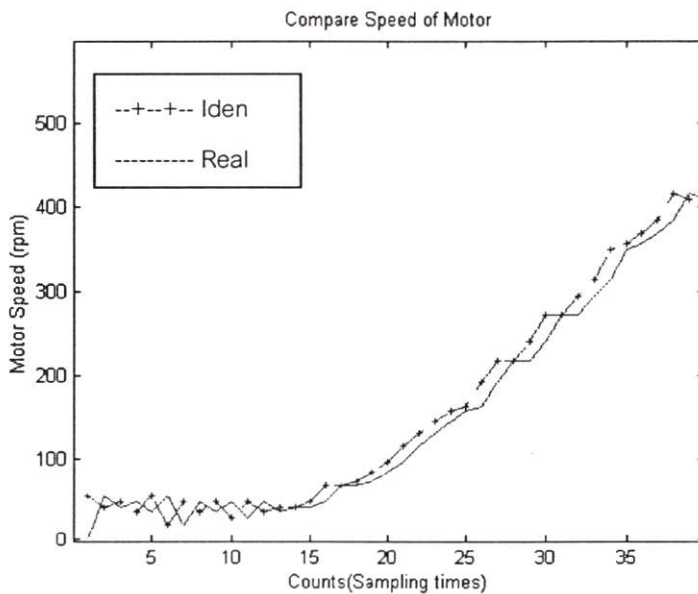
(ข) สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

6.10 ผลการทดลองการไอเดนติฟิเคชั่นระบบ

ทำการทดลองหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำการไอเดนติฟิเคชั่นระบบและเขียนข้อมูลลงในไฟล์ จากนั้นนำเอามาสร้างกราฟด้วยโปรแกรมMATLAB ได้รูปสัญญาณดังรูป



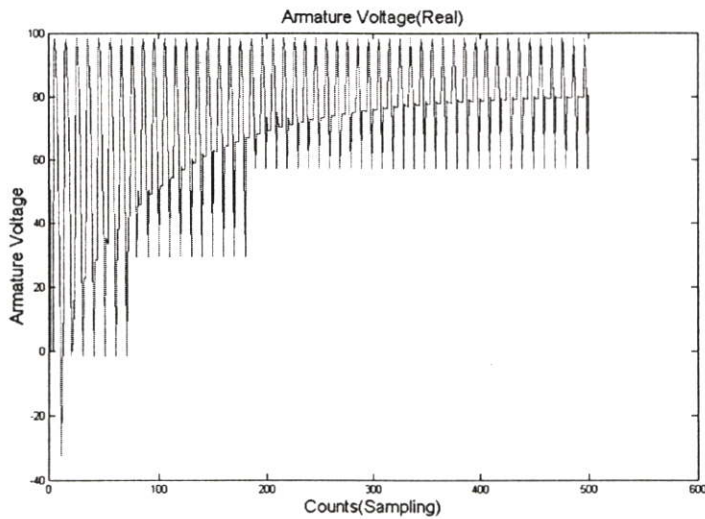
รูปที่ 6.15 เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากระบบจริงกับจากการไอเดนติฟิเคชั่นเมื่ออินพุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์และค่าเอาต์พุตเป็นค่ากระแสของขดลวดอาร์เมเจอร์



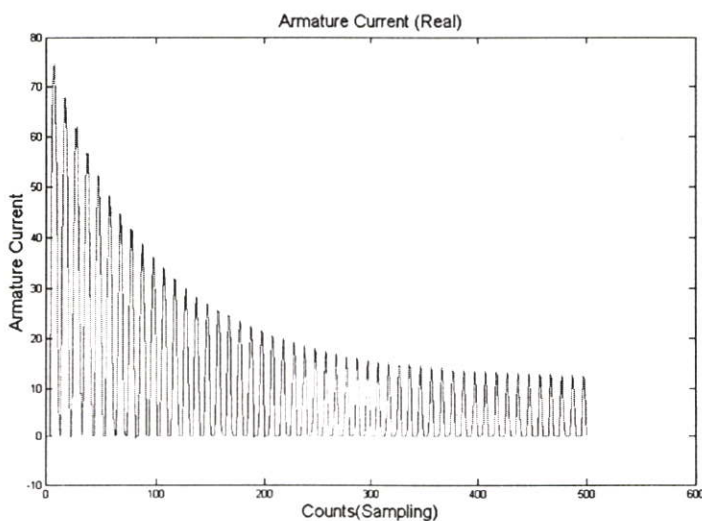
รูปที่ 6.16 เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากระบบจริงกับจากการไอเดนติฟิเคชั่นเมื่ออินพุตเป็นค่ากระแสของขดลวดอาร์เมเจอร์และค่าเอาต์พุตเป็นค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

6.11 ผลการจำลองระบบ

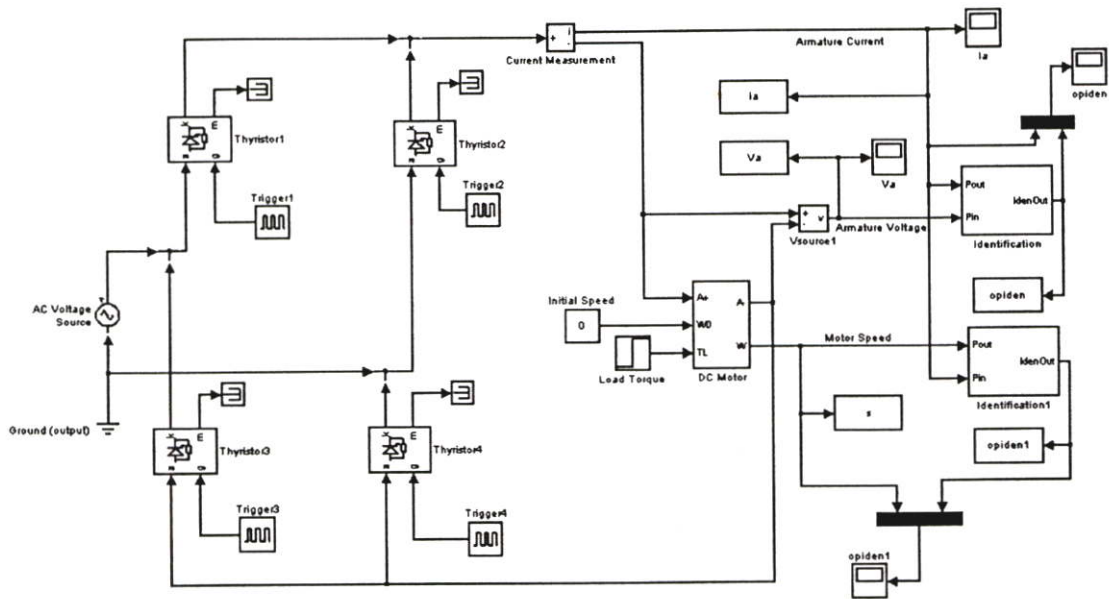
ในงานวิจัยได้ทดสอบอัลกอริทึมของการไอเดนติฟิเคชั่นระบบซึ่งใช้เทคนิครีเคอร์ซีฟลีสมแคว โดยทำการจำลองระบบขับเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังพร้อมทั้งตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากการใช้โปรแกรมMATLAB (Power system blockset) [11] ดังแสดงดังรูปที่ 6.19 ทำการจำลองระบบจากบล็อกที่เขียนขึ้นมาโดยแบ่งการไอเดนติฟิเคชั่นออกเป็นสองส่วนคือส่วนแรกอินพุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ เอาต์พุตเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์จะได้ผลการจำลองระบบดังรูปที่ 6.20 ส่วนที่สองอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ เอาต์พุตเป็นค่าความเร็วจะได้ผลการจำลองระบบดังรูปที่ 6.23



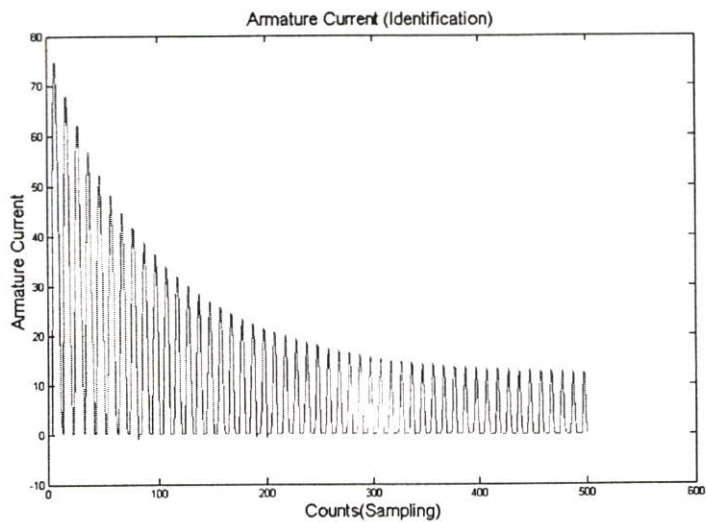
รูปที่ 6.17 สัญญาณค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์(อินพุตสำหรับการ ไอเดนติฟิเคชั่น)



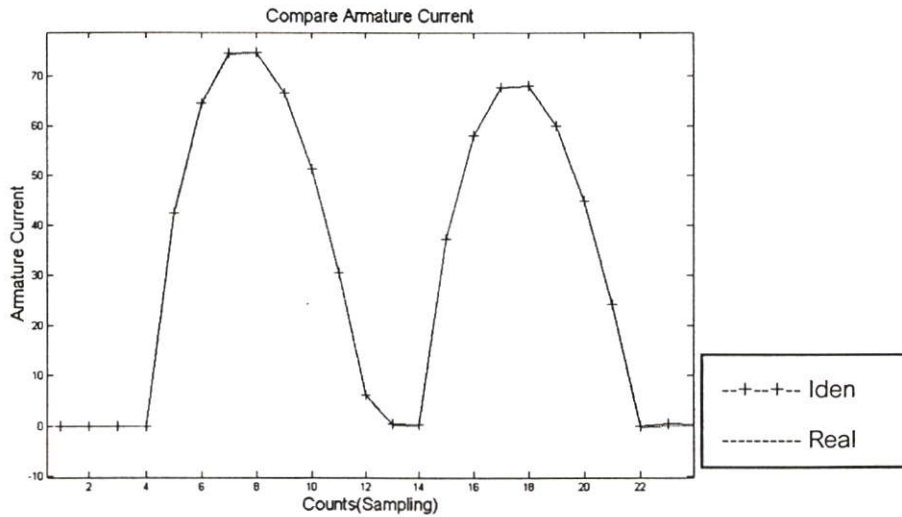
รูปที่ 6.18 สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์(เอาต์พุตสำหรับการ ไอเดนติฟิเคชั่น)



รูปที่ 6.19 รูปแบบจำลองที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ในการจำลองระบบ

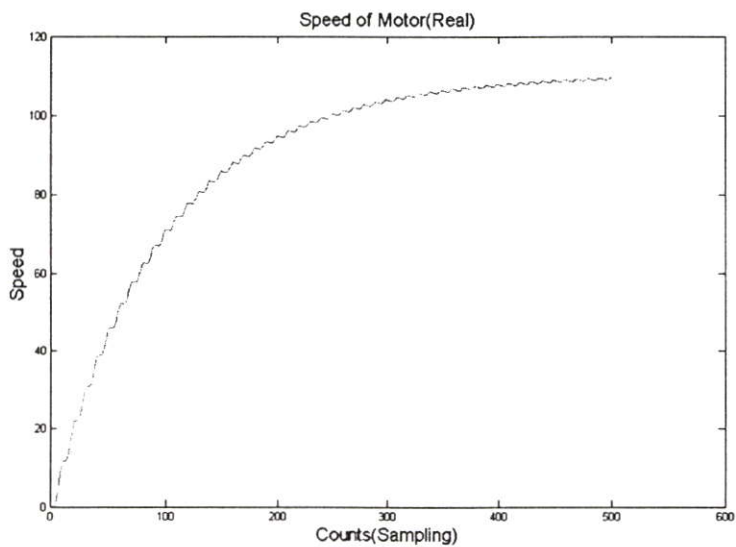


รูปที่ 6.20 สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการไอคอนติพิเคชั่นระบบ

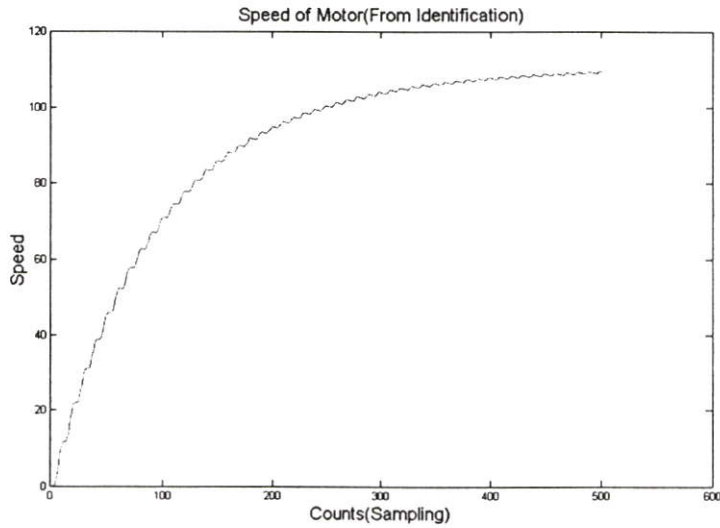


รูปที่ 6.21 เปรียบเทียบสัญญาณค่ากระแสไฟฟ้า(เอาต์พุตของส่วนแรก)

ในส่วนที่สองอินพุตสำหรับการไอเดนติฟิเคชั่นแสดงดังรูปที่ 6.18 ส่วนค่าเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณของค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงได้ดังนี้

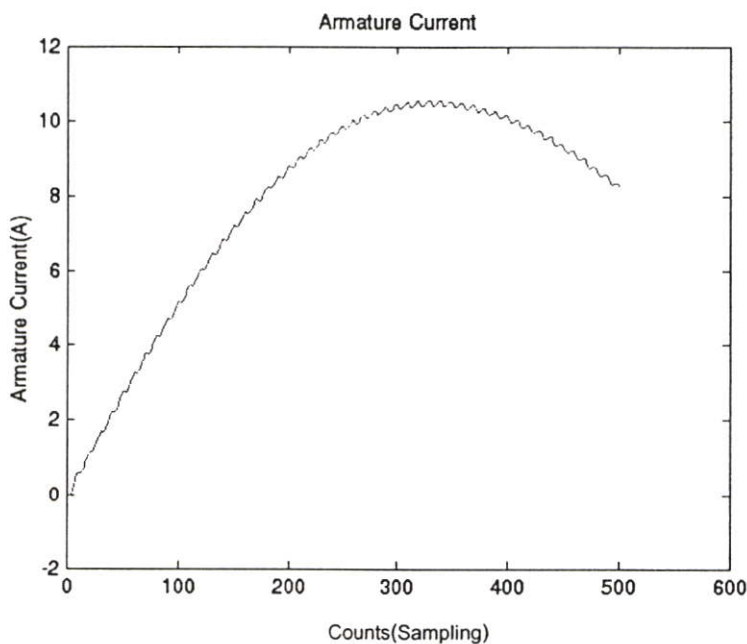


รูปที่ 6.22 สัญญาณค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(เอาต์พุตสำหรับการไอเดนติฟิเคชั่น)

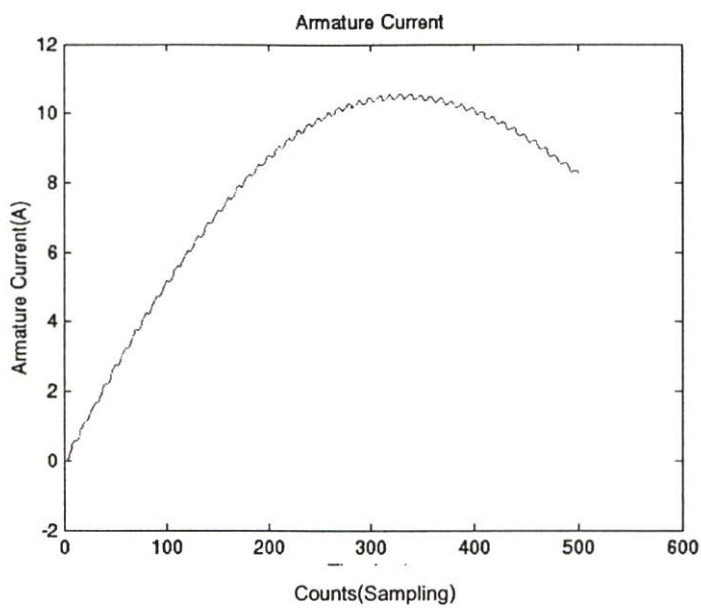


รูปที่ 6.23 สัญญาณค่าความเร็วที่เกิดจากการไอเดนติฟิเคชั่นระบบ

ในการจำลองระบบข้างต้นจะเห็นได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานอยู่ในโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อทดสอบการไอเดนติฟิเคชั่นระบบกับการทำงานในโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่องจึงได้ทำการเพิ่มค่าอินดักแตนซ์เข้าไปในระบบแล้วทำการจำลองระบบจะได้ผลการจำลองระบบแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 6.24 สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์(เอาต์พุตสำหรับการไอเดนติฟิเคชั่น)



รูปที่ 6.25 สัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการไอเดนติฟิเคชั่นระบบ

บทที่ 7

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการออกแบบวงจรที่ใช้ในงานวิจัย ทำการทดลองโดยแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ ดังที่แสดงในบทที่ 6 ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเป็นส่วนๆ ตามที่แบ่งไว้ได้ดังนี้

7.1 ส่วนการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากการทดสอบ

จากการทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของระบบโดยใช้วิธีการแบบเดิมในการทดสอบ จะได้ค่าพารามิเตอร์ของระบบซึ่งในที่นี้คือตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในงานวิจัย (ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 6.1) จากผลที่ได้สังเกตได้ว่าค่าคงที่ทางไฟฟ้า จะมีค่าน้อยกว่าค่าคงที่ทางกล ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

7.2 ส่วนวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก

จากการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขั้วของขดลวดฟิลด์ สังเกตจากรูปสัญญาณในรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่ารูปสัญญาณมีค่าอยู่ในด้านซีกบวกของแกน y เท่านั้นและมีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ $98.4 V_{dc}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ ดังนั้นในส่วนของวงจรสร้างสนามแม่เหล็กจึงทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

7.3 ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

จากการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสที่ออกจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจ่ายให้แก่ขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้รูปสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 6.5 จากรูปสัญญาณจะเห็นได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ขับเคลื่อนด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สร้างขึ้นมา ในขณะที่ไม่มีโหลดต่ออยู่กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะทำงานอยู่ในโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องดังสัญญาณที่แสดงในรูปที่ 6.5 (ข) และการขับเคลื่อนสามารถหมุนได้ในทั้งสองทิศทางซึ่งเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

7.4 ส่วนวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

จากการทดลองทำการเปรียบเทียบรูปสัญญาณของสัญญาณที่ออกจากคาร์ดิโนเตอร์เฟสในคอมพิวเตอรืกับสัญญาณหลังจากที่ผ่านวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นแล้วดังแสดงดังรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อสัญญาณผ่านวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นแล้วจะทำให้สัญญาณมีลักษณะที่เหมาะสมสำหรับ

นำไปทริกไทรสเตอร์ เมื่อทดลองเพิ่มหรือลดความเร็วจากโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาใช้ในการควบคุมรูปสัญญาณก็จะมี การเปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มหรือลดความเร็ว โดยมีการขยายหรือลดขนาดของความกว้างของพัลส์ ดังนั้นวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นจึงทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

7.5 ส่วนวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัป

จากการทดลองวัดสัญญาณที่ออกจากวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปส่งไปยังคอมพิวเตอร์ โดย ออกแบบวงจรให้สร้างสัญญาณอินเทอร์รัป ทุกๆ 10 มิลลิวินาที จากรูปสัญญาณที่วัดได้แสดงในรูปที่ 6.7 สังเกตได้ว่าสัญญาณอินเทอร์รัปจะเกิดขึ้นทุก ๆ 10 มิลลิวินาทีหรือทุกครั้งที่มีสัญญาณไซน์ที่นำเข้ามาใช้ในระบบมีการตัดแกน x (Zero Crossing) ซึ่งเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

7.6 ส่วนวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

จากการทดลองวัดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อส่งไปเป็นสัญญาณนาฬิกาของไอซีเบอร์ 8253 จะได้รูปสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 6.8 ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ 20 กิโลเฮิรต์ซึ่งเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

7.7 ส่วนวงจรวัดสัญญาณป้อนกลับ

จากการทดลองวัดค่าสัญญาณป้อนกลับซึ่งมีอยู่ 3 ค่าคือค่ากระแสของขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ และค่าความเร็ว ได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 6.9, 6.11 และ 6.14 ตามลำดับจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่วัดได้มีลักษณะที่เหมือนกับสัญญาณจริงและสอดคล้องกับเงื่อนไขค่าอินพุตของการ์ดอินเตอร์เฟสคืออยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ในการหมุนทั้งสองทิศทาง

7.8 ส่วนการโอเคนติฟิเคชั่นระบบ

จากการทดลองหมุนมอเตอร์และทำการโอเคนติฟิเคชั่นระบบซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนตามบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.6 ในส่วนแรกค่าอินพุตจะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนค่าเอาต์พุตจะเป็นค่ากระแสของขดลวดอาร์เมเจอร์จะได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 6.15 จะเห็นได้ว่าค่าจากระบบจริงจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดจากการโอเคนติฟิเคชั่น และในส่วนที่สองค่าอินพุตเป็นค่ากระแสที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนค่าเอาต์พุตจะเป็นค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 6.16 จะเห็นได้ว่าค่าจากระบบจริงจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดจากการโอเคนติฟิเคชั่น จากรูปสัญญาณทั้งสองรูปแสดงได้ว่าฟังก์ชันในการโอเคนติฟิเคชั่นระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องตามต้องการ

7.9 ส่วนการจำลองระบบ

ในการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรมเมทแลปในการจำลองระบบจะเห็นได้ว่าค่าของระบบจริงที่จำลองขึ้นกับค่าที่เกิดจากการไอเดนติฟิเคชันมีค่าที่ใกล้เคียงกันในทั้งสองส่วนตามบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.6 ในส่วนแรกค่าอินพุตจะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนค่าเอาต์พุตจะเป็นค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์จะได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 6.21 จะเห็นได้ว่าค่าจากระบบจริงจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดจากการไอเดนติฟิเคชัน และในส่วนที่สองค่าอินพุตเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนค่าเอาต์พุตจะเป็นค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 6.22 และ 6.23 จะเห็นได้ว่าค่าจากระบบจริงจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดจากการไอเดนติฟิเคชัน เมื่อทำการจำลองระบบในโมดการนำกระแสแบบต่อเนื่องจะได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 6.24 และ 6.25 จะเห็นได้ว่าค่าจากระบบจริงจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เกิดจากการไอเดนติฟิเคชันจากรูปสัญญาณทั้งหมดแสดงได้ว่าฟังก์ชันในการไอเดนติฟิเคชันระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องตามต้องการในทั้งสองโมดการทำงาน

7.10 ความถี่การสุ่มที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจรที่สร้างขึ้นมาและควบคุมผ่านทางโปรแกรมภาษาซี ทำการรับค่าต่างๆของระบบเข้ามาเพื่อใช้ในขบวนการไอเดนติฟิเคชันหาค่าพารามิเตอร์ของระบบในระยะเวลาใดๆ ในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ทำการวัดหาค่าความถี่ที่ใช้ในแต่ละรอบของการไอเดนติฟิเคชันระบบ จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเกี่ยวกับความถี่ที่ใช้ในระบบ ดังนั้นเมื่อมีการทำงานวิจัยนี้ต่อและโปรแกรมที่ใช้มีความสมบูรณ์แล้วควรทำการวัดค่าความถี่ที่ใช้ในแต่ละรอบเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมระบบขับ ในทั้งสองโมดการทำงานจะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ครอบคลุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในทั้งสองโมด โดยมีการเพิ่มค่าตัวแปรเคาท์เข้าไปในระบบเพื่อให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น และความแตกต่างของรูปแบบจำลองในทั้งสองโมดการทำงานอยู่ที่ค่าของค่า K_A และ T_A ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น

จากการทดลองและผลจากการทำการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าวงจรที่สร้างขึ้นสามารถขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้สามารถหมุนได้ในทั้งสองทิศทาง ซึ่งการควบคุมกระทำโดยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านทางการ์ดอินเตอร์เฟส โดยเขียนโปรแกรมภาษาซีขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุม พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการไอนเดนติฟิเคชันระบบเพื่อนำผลของการไอนเดนติฟิเคชันไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมต่อไป โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถเลือกทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ สามารถเพิ่มหรือลดความเร็วมอเตอร์ผ่านทางหน้าจอหลักของโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาได้ พร้อมทั้งสามารถแสดงค่าความเร็ว ค่าแรงดัน ไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์และแสดงทิศทางการหมุนในขณะนั้นว่ามีทิศทางไปข้างหน้าหรือกลับหลัง และจากผลการทดลองทำการไอนเดนติฟิเคชันระบบซึ่งเก็บผลจากการเขียนข้อมูลลงในไฟล์จากนั้นทำการเปรียบเทียบรูปสัญญาณระหว่างเอาต์พุตที่ได้จากระบบจริงกับเอาต์พุตที่ได้จากการไอนเดนติฟิเคชัน จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันในทั้งสองส่วนที่ทำการไอนเดนติฟิเคชัน โดยส่วนแรกค่าอินพุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าเอาต์พุตเป็นค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนที่สองค่าอินพุตเป็นค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์ ค่าเอาต์พุตเป็นค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

8.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองเมื่อทำการทดลองโดยไม่มีโหลดค่ออยู่กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเห็นได้จากรูปสัญญาณว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานอยู่ในโมดการทำงานแบบการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถทดสอบฟังก์ชันการไอนเดนติฟิเคชันกับระบบจริงในโมดการทำงานแบบต่อเนื่อง ต้องทดสอบจากการจำลองระบบเท่านั้น

จากการออกแบบตัวควบคุมจะได้ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมกับพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องการควบคุม แต่ยังไม่มีการทดสอบกับระบบจริงเนื่องจากข้อจำกัดของโมดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงดังที่ได้กล่าวข้างต้น เพื่อแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบ

ปรับตัวสามารถประยุกต์ใช้กับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ ควรทำการทดสอบกับระบบจริงในทั้งสองโหมดการทำงาน

ในการทดลองกับระบบจริงยังไม่สามารถทราบความถี่การสั่นที่แน่นอนได้ ซึ่งความถี่ของการสั่นขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่เขียนขึ้นมา เมื่อทำการเขียนโปรแกรมที่สมบูรณ์รวมถึงการควบคุมแบบปรับตัวด้วย ควรทำการวัดความถี่ของการสั่นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Richard M. Stephan. "A Simple Model for a Thyristor Driven dc Motor Considering Continuous and Discontinuous Current Modes" IEEE Trans. on Education., Vol. 34, No. 4, Nov. 1991. pp. 330-335.
- [2] Gopal K. Dubey. **Power Semiconductor Controlled Drives**. International Editions. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1989.
- [3] G. R. Slemon. **Magnetolectric Devices**. New York : Wiley. 1996.
- [4] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, and A. Kusto. **Electric Machinery**. New York : Mc-Graw Hill. 1971.
- [5] R. J. Bland. "Factor affecting the operation of phase-controlled cycloconverter." Proc. IEE, Vol. 114, No. 12, 1967. pp. 1908-1916.
- [6] D. Schroder. "Analysis and synthesis of automatic control systems with controlled converter." Proc. IFAC 5th World Congress on Automat. Contr., Paris, 1972. Paper P22.1.
- [7] J. Lagasse and R. Prajoux. "Behaviour of control systems including controlled converters, especially rectifiers: A review of existing theories." Proc. 1st IFAC Symp. Contr. In Power Electron. Elect. Drives, Dusseldorf, 1974. pp. 1-37
- [8] Ioan Dore Landau. **System Identification and Control Design : using P.I.M. + software**. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1990.
- [9] Karl J. Astrom, Bjorn Wittenmark. **Adaptive Control**. 2nd Edition. Addison-Wesley. 1995.
- [10] Module Experimental System, "Equipment for Research Laboratories and Training Centers E48", Instruction : Power Electronic and Control Techniques, SIEMENS, 1978. pp 119-120.
- [11] James B. Dabney and Thomas L. Harman **Mastering Simulink2**. Prentice Hall. 1998.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการทดลอง

```

#include<stdio.h>
#include<dos.h>
#include<stdlib.h>
#include<conio.h>
#include<graphics.h>
#include<alloc.h>
#include<process.h>
#include<time.h>
#include<math.h>

#define BBB 0x0a          /* SET INTERRUPT VECTOR */
#define PA8255 0x300
#define PB8255 0x301
#define PC8255 0x302
#define PCON8255 0x303
#define PCOUNT0 0x304
#define PCOUNT1 0x305
#define PCOUNT2 0x306
#define PCON8253 0x307
#define PORT_AD1 0x30A
#define KBD 0x09         /* SET INTERRUPT KEYBOARD */
#define KBD_PORT 0x60
#define HWINT_PORT 0x20 /* (NOT USE NOW) */
#define HWINT_EOI 0x20

void clrscr(void);
void interrupt myintfunction(void);
void interrupt (*oldintfunction)(void);
char word(void);

```

```

int checkpulse(void);
unsigned int start(void);
unsigned int stop(void);
unsigned int inverse(void);
float getspeed(void);
float getcurrent(void);
float getvoltage(void);
float idensecond(float ip,float op);
float idenfirst(float ip1,float op1);

float ip,op,yout,yiden;
float eo,yo;
float phi[6],theta[4],fp[4],ptf[4],ptfp,fpptf[4][4],f[4][4],err[4];
float ip1,op1,yout1,yiden1;
float eo1,yo1;
float phi1[4],theta1[2],fp1[2],ptf1[2],ptfp1,fpptf1[2][2],f1[2][2],err1[2];
float ysp,yia;
float feedbacksp,feedbackia,feedbackva;
float sp,ia,va,vaa;
int count_get,flag_get;
int c_disp;
int count,fpulse,value,f_start,n_start,n_stop,num_v,num_i,num_s,key_right;
int loop,direct,choose;
int exit_program;
volatile int c=0;
unsigned int trig1, trig2, value1, value2, oldvalue1, oldvalue2;
unsigned int init_start1, init_start2, init_stop1, init_stop2, sp_value1, sp_value2;
char direction;
char key;
FILE *s,*v,*i,*ipi,*opi;

```



```

case 'f':printf("\n----->FORWARD\n");
    trig1=0x01;
    trig2=0x04;
    direct=1;
    break;
case 'R':printf("\n<-----REVERSE\n");
    trig1=0x02;
    trig2=0x03;
    direct=0;
    break;
case 'r':printf("\n<-----REVERSE\n");
    trig1=0x02;
    trig2=0x03;
    direct=0;
    break;
default: clrscr();
    printf("\n !WRONG! You must press 'F' or 'R'\n");
    key_right=1;
    break;
}

value1=0x42;
value2=0x00;

printf("now set interrupt vector\n");

oldintfunction=getvect(BBB); /* SET INTERRUPT ZERO CROSSING */
setvect(BBB,myintfunction);
start();
word();
c_disp=0;

```

```

                                     /**** LOOP MAIN *****/
while (loop<10000)
{

    sp=getspeed();
    fprintf(s,"%0.2f\n",sp/13658);
    ia=getcurrent();
    fprintf(i,"%0.2f\n",ia/13658);
    va=getvoltage();
    vaa=((va/13658-2.5)*40);
    fprintf(v,"%0.2f\n",vaa);

    ysp=idenfirst((ia/13658),(sp/13658));    /*Identification of second block*/
    fprintf(ipi,"%0.2f\n",ysp);

    yia=idensecond(vaa,(ia/13658));        /*Identification of first block*/
    fprintf(opi,"%0.2f\n",yia);

    while(c_disp>100)
    {
        gotoxy(50,13);
        printf(" Speed = %0.4fr",sp/13658);
        gotoxy(50,15);
        printf("Current = %0.4fr",ia/13658);
        gotoxy(50,17);
        printf("Voltage = %0.4fr",vaa);
        c_disp=0;
    }
    c_disp++;
}

```

```

while(kbhit())          /* WHEN PRESS ANY KEY */
{
    key=getch();
    switch(key)
    {
        case 'q': // press "q" for quit
            loop=10001;
            count=1;
            choose=1;
            break;

        case 'u': //PRESS 'UP'-->UP SPEED
            if ((value1>1)&&(value1<=180))
                { gotoxy(1,24);
                  printf("UP  %.2x\r",value1);
                  value1=value1-1;
                } else {
                    gotoxy(1,24);
                    printf("SPEED MAX\r");
                }
            break;

        case 'd': //PRESS 'DOWN'-->DOWN SPEED
            if ((value1>=1)&&(value1<180))
                { gotoxy(1,24);
                  printf("DOWN %.2x\r",value1);
                  value1=value1+1;
                } else {
                    gotoxy(1,24);
                    printf("SPEED MIN\r");
                }
            break;
    }
}

```

```

case 'b': // press "b" for change rotate direction.
    inverse();
    outp(PCON8253,0xB6);
    outp(PCOUNT2,0x00);
    outp(PCOUNT2,0x00);
    outp(PA8255,0x00);

    setvect(BBB,oldintfunction);

    switch (direct){
case 1: trig1=0x02;
        trig2=0x03;
        direct=0;
        break;
case 0: trig1=0x01;
        trig2=0x04;
        direct=1;
        break;
default: break;
    }

    oldintfunction=getvect(BBB);
    setvect(BBB,myintfunction);
    start();
    word();
    break;

default: break;
    } /* END SWITCH */
while (kbhit()) getch();
} /* END WHILE(KBHIT) */

```

```

    } /* END WHILE(LOOP) */

stop();
outp(PCON8253,0xB6);
outp(PCOUNT2,0x00);
outp(PCOUNT2,0x00);
outp(PA8255,0x00);
setvect(BBB,oldintfunction);
printf(" READY STOP\n");
fclose(v);
fclose(i);
fclose(s);
fclose(ipi);
fclose(opi);
printf("WANT TO EXIT PROGRAM:(y/n)");
quit=getche();
if (quit=='n') {
    printf("\nCONTINUE.....\n");
    delay(3000);
}
else
{
    printf("\nEXIT PROGRAM\n");
    exit_program=101;
}

outp(PCON8253,0xB6);
outp(PCOUNT2,0x00);
outp(PCOUNT2,0x00);
outp(PA8255,0x00);
} /** END WHILE MAIN LOOP **/
} /* END MAIN */

```

```

void interrupt myintfunction(void)

{

    outp(PCON8253,0xB6);          /* CLK 2 (FIX) IN MODE 3(SQUARE WAVE) */
    outp(PCOUNT2,0x88);
    outp(PCOUNT2,0x01);

    checkpulse();                /* CHECK LOW-HIGH */
    switch (f_start) {           /* CLK0 IN MODE 0(INTERRUPT MODE) */
        case 1: outp(PCON8253,0x30); /* FOR STARTING */
                outp(PCOUNT0,init_start1);
                outp(PCOUNT0,init_start2);
                break;
        case 2: outp(PCON8253,0x30); /* CLK 0 */
                outp(PCOUNT0,value1);
                outp(PCOUNT0,value2);
                break;
        case 3: outp(PCON8253,0x30); /* FOR STOP */
                outp(PCOUNT0,sp_value1);
                outp(PCOUNT0,sp_value2);
                break;
        default: break;
    }

    if (count_get<50)
    {
        count_get++;
    }

    flag_get=1;

    count++;

```

```

    oldintfunction();
}

int checkpulse(void)      /* CHECK HIGH OR LOW (ZERO-CRESSING)*/
{
    fpulse=inp(PC8255);
    fpulse=(fpulse&0x01);
    switch (fpulse)
    {
        case 0: outp(PA8255,trig1);
                break;
        case 1: outp(PA8255,trig2);
                break;
        default:break;
    }
    return fpulse;
}

unsigned int start(void) /* FOR START MOTOR */

{
    if (key_right==1) {          /* CHECK key_right */
        value1=0xAF;
        loop=10001;
    }

    init_start1=0xAF;          /* SET INITIAL START */
    init_start2=0x00;
    f_start=1;
    n_start=1;

    //Set F(0) for Identification function
    f1[0][0]=1000;
    f1[0][1]=0;
    f1[1][0]=0;
    f1[1][1]=1000;
}

```

```
f[0][0]=1000;  
f[0][1]=0;  
f[0][2]=0;  
f[0][3]=0;
```

```
f[1][0]=0;  
f[1][1]=1000;  
f[1][2]=0;  
f[1][3]=0;
```

```
f[2][0]=0;  
f[2][1]=0;  
f[2][2]=1000;  
f[2][3]=0;
```

```
f[3][0]=0;  
f[3][1]=0;  
f[3][2]=0;  
f[3][3]=1000;
```

```
theta1[0]=theta1[1]=0;  
phi1[0]=phi1[1]=0;
```

```
theta[0]=theta[1]=theta[2]=theta[3]=0;  
phi[0]=phi[1]=phi[2]=phi[3]=0;
```

```
if (init_start1>value1) {
```

```
    while (init_start1>value1)    /*FOR DELAY 0.7*/
```

```
    {
```

```

//Identification Function
va=getvoltage();
vaa=(((va/13658)-2.5)*40);
fprintf(v, "%.2fn",vaa);
sp=getspeed();
fprintf(s, "%.2fn",sp/13658);
ia=getcurrent();
fprintf(i, "%.2fn",ia/13658);

yia=idensecond(vaa,(ia/13658));
fprintf(opi, "%.2fn",yia);

yisp=idenfirst((ia/13658),(sp/13658));
fprintf(ipi, "%.2fn",yisp);
//End Iden

printf("WAIT! STARTING %d\r",n_start);
while (count<20);
n_start++;
init_start1--;
count=1;

}
}else
{while (init_start1<value1) /*FOR DELAY 8..9*/
{
//Identification Function
sp=getspeed();
ia=getcurrent();
yisp=idenfirst(ia,sp);
//End Iden

```

```

        printf("WAIT! STARTING %d\r",n_start);
        while (count<20);
        n_start++;
        init_start1++;
        count=1;
    }
}

printf("READY.....START.\n");
f_start=2;
return f_start,n_start,count,init_start1;
}

unsigned int stop(void)          /* FOR STOP MOTOR */
{
    sp_value1=value1;
    sp_value2=value2;
    init_stop1=0x90;
    init_stop2=0x00;
    f_start=3;
    n_stop=1;
    if (key_right==1) sp_value1=0x90;
    if (init_stop1>sp_value1) {
        while (init_stop1>sp_value1)
        {
            printf("STOPPING %d\r",n_stop);
            while (count<10);
            n_stop++;
            count=1;
            sp_value1++;
        }
    }else
    {

```

```

        while (init_stop1<sp_value1)
        {
            printf("STOPING %d\r",n_stop);
            while (count<10);
            n_stop++;
            count=1;
            sp_value1--;
        }
    }

    printf("READY.....STOP\n");
    outp(PB8255,0x00); //Clear Multiplexer
    f_start=4;
    return sp_value1,sp_value2,f_start;
}

```

```

unsigned int inverse(void)          /* FOR STOP MOTOR */
{
    sp_value1=value1;
    sp_value2=value2;
    init_stop1=0x90;
    init_stop2=0x00;
    f_start=3;
    n_stop=1;
    if (key_right==1) sp_value1=0x90;
    if (init_stop1>sp_value1) {
        while (init_stop1>sp_value1)
        {
            printf("STOPING %d\r",n_stop);
            while (count<10);
            n_stop++;
            count=1;
            sp_value1++;
        }
    }
}

```

```

        }
    }else
    {
        while (init_stop1<sp_value1)
        {
            printf("STOPING %d\r",n_stop);
            while (count<10);
            n_stop++;
            count=1;
            sp_value1--;
        }
    }

    f_start=4;
    return sp_value1,sp_value2,f_start;
}

char word(void)
{ clrscr();
  gotoxy(10,2);printf("***** KEYWORD *****\n");
  gotoxy(10,4); printf("PRESS (U) :INCREASE VOLTAGE\n");
  gotoxy(10,5); printf("PRESS (D) :DECREASE VOLTAGE\n");
  gotoxy(10,6); printf("PRESS (B) :STOP AND RUN IN INVERSE DIRECTION\n");
  gotoxy(10,7); printf("PRESS (Q) :QUIT PROGRAM\n");
  if (direct==1)
  {
    gotoxy(50,20);
    printf("Forward direction\n");
  }else
  {
    gotoxy(50,20);
    printf("Reverse direction\n");
  }
}

```

```
    if (key_right==1) clrscr();
    return;
}

float getvoltage(void)
{
    outp(PB8255,0x01);
    delay(1);
    feedbackva=inport(PORT_AD1);
    return feedbackva;
}

float getcurrent(void)
{
    outp(PB8255,0x03);
    delay(1);
    feedbackia=inport(PORT_AD1);
    //delay(1);
    return feedbackia;
}

float getspeed(void)
{
    outp(PB8255,0x05);
    delay(1);
    feedbacksp=inport(PORT_AD1);
    //delay(1);
    return feedbacksp;
}
```

```

float idensecond(float ip,float op)
{
    //shift phi vector
    phi[1]=phi[0];
    phi[0]=phi[4];
    phi[4]=-op;
    phi[3]=phi[2];
    phi[2]=phi[5];
    phi[5]=ip;
    //fprintf(s,"%f\n",-phi[4]);
    yo=(theta[0]*phi[0]+theta[1]*phi[1]+theta[2]*phi[2]+theta[3]*phi[3]);
    eo=-phi[4]-yo;

    //F(t)xphi(t)
    fp[0]=(f[0][0]*phi[0]+f[0][1]*phi[1]+f[0][2]*phi[2]+f[0][3]*phi[3]);
    fp[1]=(f[1][0]*phi[0]+f[1][1]*phi[1]+f[1][2]*phi[2]+f[1][3]*phi[3]);
    fp[2]=(f[2][0]*phi[0]+f[2][1]*phi[1]+f[2][2]*phi[2]+f[2][3]*phi[3]);
    fp[3]=(f[3][0]*phi[0]+f[3][1]*phi[1]+f[3][2]*phi[2]+f[3][3]*phi[3]);

    //phiT(t)xF(t)
    ptf[0]=(phi[0]*f[0][0]+phi[1]*f[1][0]+phi[2]*f[2][0]+phi[3]*f[3][0]);
    ptf[1]=(phi[0]*f[0][1]+phi[1]*f[1][1]+phi[2]*f[2][1]+phi[3]*f[3][1]);
    ptf[2]=(phi[0]*f[0][2]+phi[1]*f[1][2]+phi[2]*f[2][2]+phi[3]*f[3][2]);
    ptf[3]=(phi[0]*f[0][3]+phi[1]*f[1][3]+phi[2]*f[2][3]+phi[3]*f[3][3]);
    //phiT(t)xF(t)xphi(t)
    ptfp=(phi[0]*fp[0]+phi[1]*fp[1]+phi[2]*fp[2]+phi[3]*fp[3]);
    //F(t)xphi(t)xphiT(t)xF(t)
    fpptf[0][0]=fp[0]*ptf[0];
    fpptf[0][1]=fp[0]*ptf[1];
    fpptf[0][2]=fp[0]*ptf[2];
    fpptf[0][3]=fp[0]*ptf[3];

```

```

fpptf[1][0]=fp[1]*ptf[0];
fpptf[1][1]=fp[1]*ptf[1];
fpptf[1][2]=fp[1]*ptf[2];
fpptf[1][3]=fp[1]*ptf[3];

```

```

fpptf[2][0]=fp[2]*ptf[0];
fpptf[2][1]=fp[2]*ptf[1];
fpptf[2][2]=fp[2]*ptf[2];
fpptf[2][3]=fp[2]*ptf[3];

```

```

fpptf[3][0]=fp[3]*ptf[0];
fpptf[3][1]=fp[3]*ptf[1];
fpptf[3][2]=fp[3]*ptf[2];
fpptf[3][3]=fp[3]*ptf[3];

```

```
//F(t+1)=F(t)-(F(t)xphi(t)xphiT(t)xF(t)/1+phiT(t)xF(t)xphi(t))
```

```

f[0][0]=(f[0][0]-(fpptf[0][0]/(1+ptfp)));
f[0][1]=(f[0][1]-(fpptf[0][1]/(1+ptfp)));
f[0][2]=(f[0][2]-(fpptf[0][2]/(1+ptfp)));
f[0][3]=(f[0][3]-(fpptf[0][3]/(1+ptfp)));

```

```

f[1][0]=(f[1][0]-(fpptf[1][0]/(1+ptfp)));
f[1][1]=(f[1][1]-(fpptf[1][1]/(1+ptfp)));
f[1][2]=(f[1][2]-(fpptf[1][2]/(1+ptfp)));
f[1][3]=(f[1][3]-(fpptf[1][3]/(1+ptfp)));

```

```

f[2][0]=(f[2][0]-(fpptf[2][0]/(1+ptfp)));
f[2][1]=(f[2][1]-(fpptf[2][1]/(1+ptfp)));
f[2][2]=(f[2][2]-(fpptf[2][2]/(1+ptfp)));
f[2][3]=(f[2][3]-(fpptf[2][3]/(1+ptfp)));

```

```

f[3][0]=(f[3][0]-(fpptf[3][0]/(1+ptfp)));
f[3][1]=(f[3][1]-(fpptf[3][1]/(1+ptfp)));
f[3][2]=(f[3][2]-(fpptf[3][2]/(1+ptfp)));
f[3][3]=(f[3][3]-(fpptf[3][3]/(1+ptfp)));

//F(t+1)xphi(t)xeo
err[0]=(f[0][0]*phi[0]+f[0][1]*phi[1]+f[0][2]*phi[2]+f[0][3]*phi[3])*eo;
err[1]=(f[1][0]*phi[0]+f[1][1]*phi[1]+f[1][2]*phi[2]+f[1][3]*phi[3])*eo;
err[2]=(f[2][0]*phi[0]+f[2][1]*phi[1]+f[2][2]*phi[2]+f[2][3]*phi[3])*eo;
err[3]=(f[3][0]*phi[0]+f[3][1]*phi[1]+f[3][2]*phi[2]+f[3][3]*phi[3])*eo;

theta[0]=(theta[0]+err[0]);
theta[1]=(theta[1]+err[1]);
theta[2]=(theta[2]+err[2]);
theta[3]=(theta[3]+err[3]);

yiden=(theta[0]*phi[0]+theta[1]*phi[1]+theta[2]*phi[2]+theta[3]*phi[3]);
//fprintf(s,"%0.2f\n",eo);
//printf("-----Output-----=%f\n",yiden);
//getch();
return yiden;
}

float idenfirst(float ip1,float op1)
{
//shift phi vector
phi1[0]=phi1[2];
phi1[2]=-op1;
phi1[1]=phi1[3];
phi1[3]=ip1;
//fprintf(ipi,"%0.2f %0.2f\n",theta1[0],theta1[1]);

```

```

yo1=(theta1[0]*phi1[0]+theta1[1]*phi1[1]);
eo1=-phi1[2]-yo1;

//F(t)xphi(t)
fp1[0]=(f1[0][0]*phi1[0]+f1[0][1]*phi1[1]);
fp1[1]=(f1[1][0]*phi1[0]+f1[1][1]*phi1[1]);

//phiT(t)xF(t)
ptf1[0]=(phi1[0]*f1[0][0]+phi1[1]*f1[1][0]);
ptf1[1]=(phi1[0]*f1[0][1]+phi1[1]*f1[1][1]);

//phiT(t)xF(t)xphi(t)
ptfp1=(phi1[0]*fp1[0]+phi1[1]*fp1[1]);

//F(t)xphi(t)xphiT(t)xF(t)
fpptf1[0][0]=fp1[0]*ptf1[0];
fpptf1[0][1]=fp1[0]*ptf1[1];

fpptf1[1][0]=fp1[1]*ptf1[0];
fpptf1[1][1]=fp1[1]*ptf1[1];

//F(t+1)=F(t)-(F(t)xphi(t)xphiT(t)xF(t)/1+phiT(t)xF(t)xphi(t))
f1[0][0]=(f1[0][0]-(fpptf1[0][0]/(1+ptfp1)));
f1[0][1]=(f1[0][1]-(fpptf1[0][1]/(1+ptfp1)));

f1[1][0]=(f1[1][0]-(fpptf1[1][0]/(1+ptfp1)));
f1[1][1]=(f1[1][1]-(fpptf1[1][1]/(1+ptfp1)));

//F(t+1)xphi(t)xeo
err1[0]=(f1[0][0]*phi1[0]+f1[0][1]*phi1[1])*eo1;
err1[1]=(f1[1][0]*phi1[0]+f1[1][1]*phi1[1])*eo1;

```

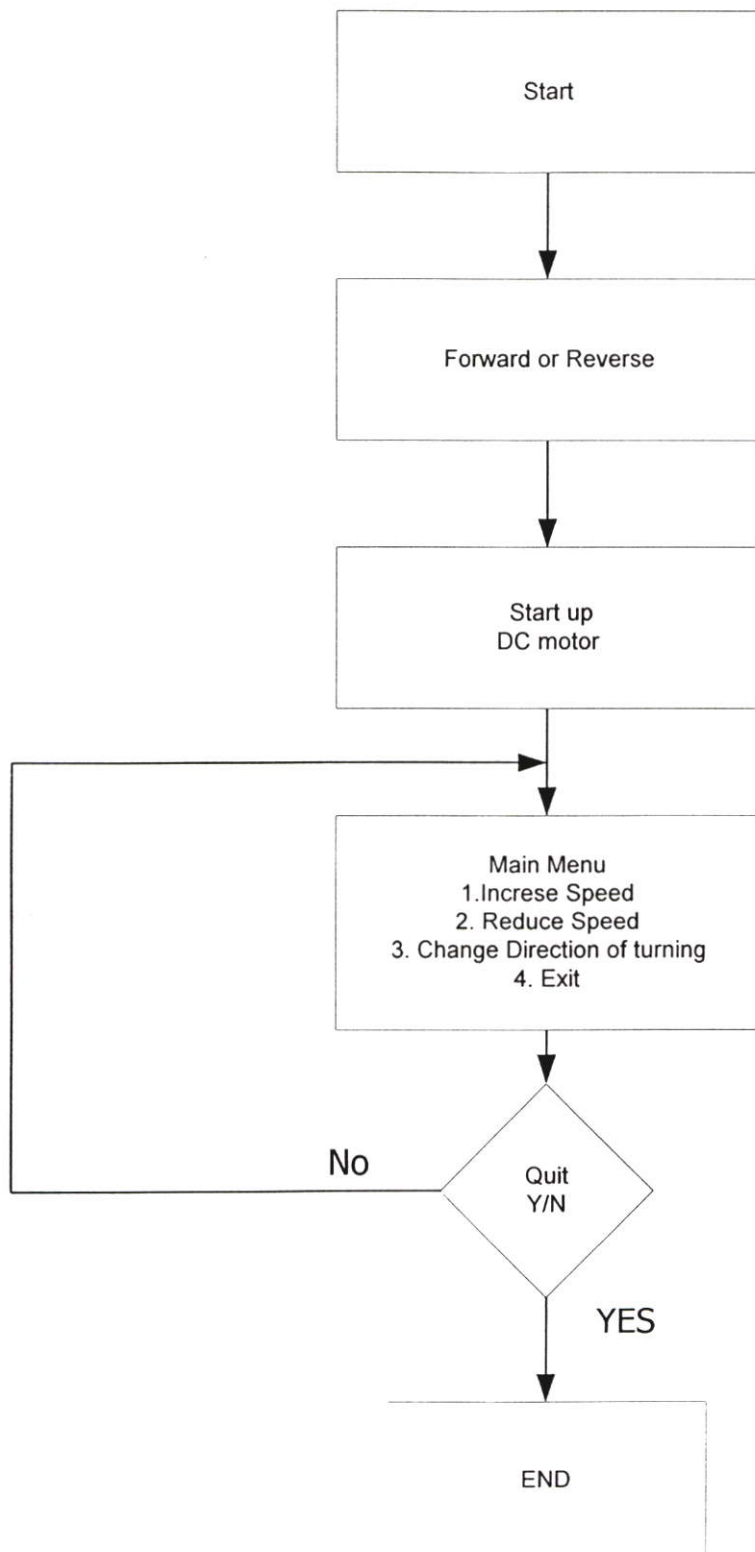
```
theta1[0]=(theta1[0]+err1[0]);
theta1[1]=(theta1[1]+err1[1]);

yiden1=(theta1[0]*phi1[0]+theta1[1]*phi1[1]);
//fprintf(ipiden,"%f\n",yiden1);
//printf("-----Output-----=%f\n",yiden);
//getch();
return yiden1;
}
```

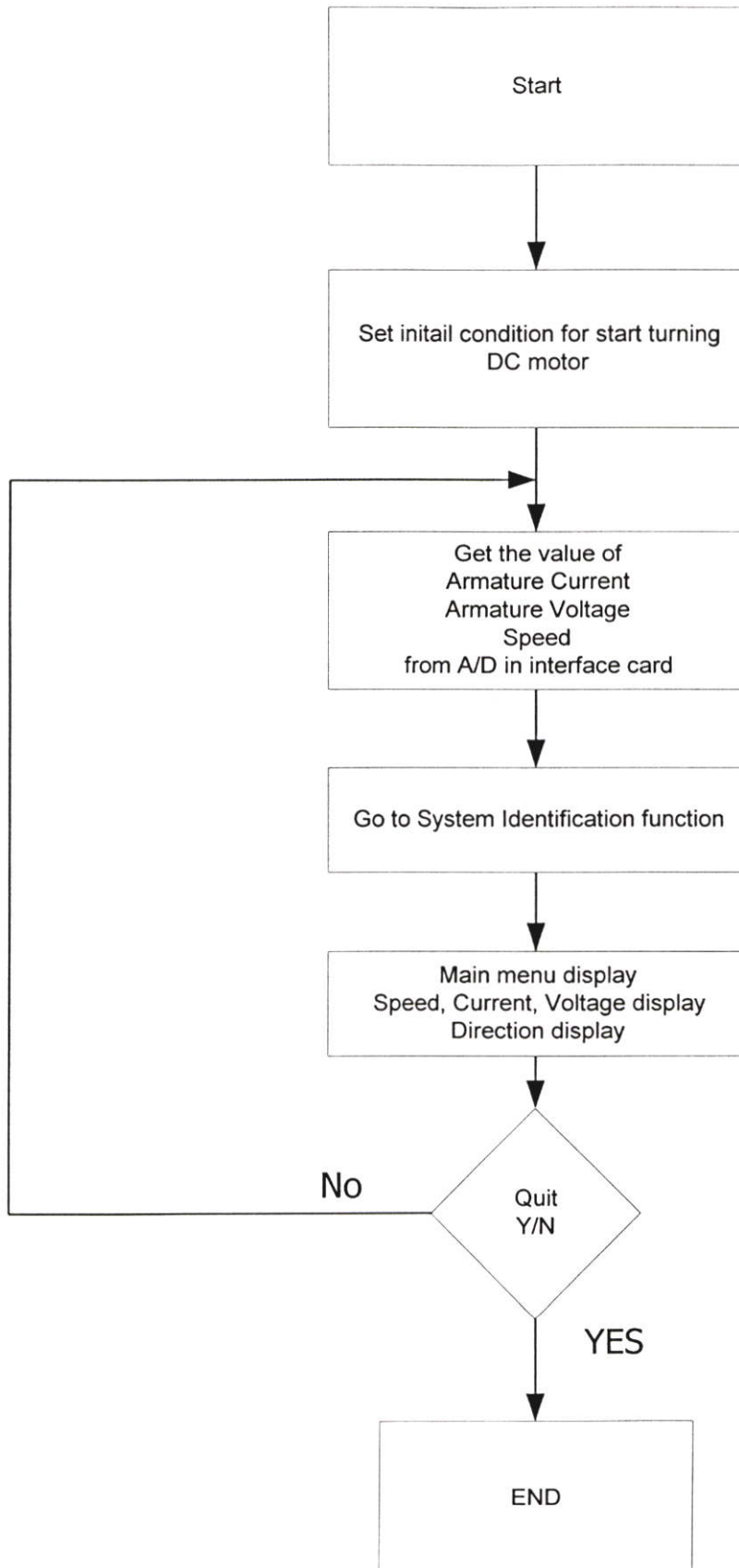
ภาคผนวก ข

โครงสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

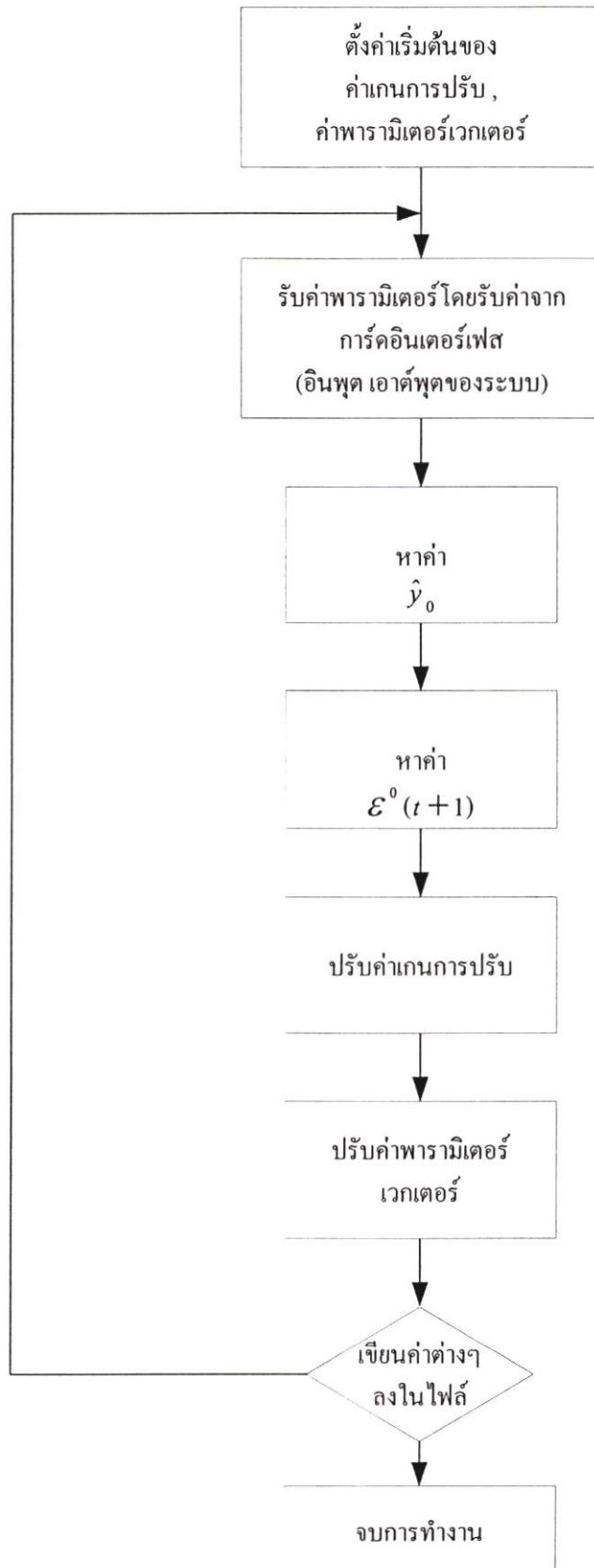
โปรแกรมหลัก(ภาษาซี)



โปรแกรมหลักส่วนการเรียกใช้ฟังก์ชันไอเดนติฟิเคชัน(ภาษาไทย)



โปรแกรมส่วนฟังก์ชัน ไอเดนติฟิเคชัน(ภาษาไทย)



ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24

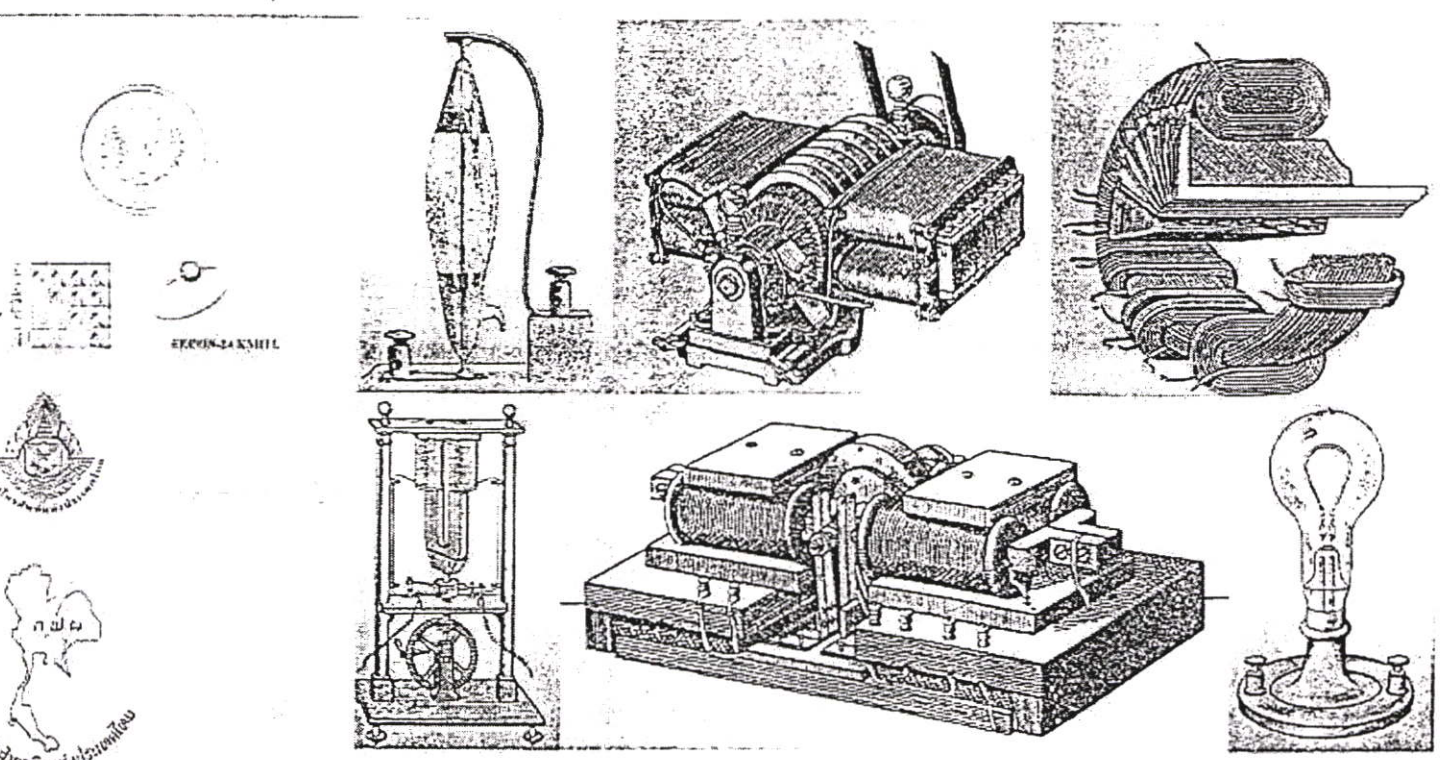
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

22-23 พฤศจิกายน 2544

เล่มที่ 1 หน้าที่ 375-380

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24

24th Electrical Engineering Conference (EECON-24)



Volume 1

- วิศวกรรมไฟฟ้า (EE)
- ไฟฟ้ากำลัง (PE)
- วิศวกรรมเครื่องกล (ME)
- ระบบพลังงานทดแทน (RE)
- วิศวกรรมโยธา (CE)
- วิศวกรรมเคมี (CK)
- วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (EEI)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 33-33 พหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10130
 โทร : 0-2739-2159 โทรสาร : 0-2325-9965
<http://www.ladkrabang.com>

การหาแบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งถูกขับด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยใช้เทคนิคไอเดนติฟิเคชันแบบออนไลน์

Online Identification of DC Motors Fed by Power Electronics Drive

พิศุทธิ์ อภิษกุล บทวิวัฒน์ จุลละชะ

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ สำนักวิจัยการต่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทร/โทรสาร: (02)3269989 E-mail: phisuta@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งขับโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังชนิดซิงเกิลเฟสฟูลคอนเวอร์เตอร์ โดยการไอเดนติฟิเคชันด้วยเทคนิครีเคอร์ซีฟลีทสแควร์เมธอดเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า การคำนวณกระทำในขณะที่มอเตอร์ทำงาน ผลการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์สามารถหาค่าพารามิเตอร์ได้ภายในเวลารวดเร็ว และทำการเปรียบเทียบผลการทดลองจริงกับผลการจำลองระบบได้ผลใกล้เคียงกัน

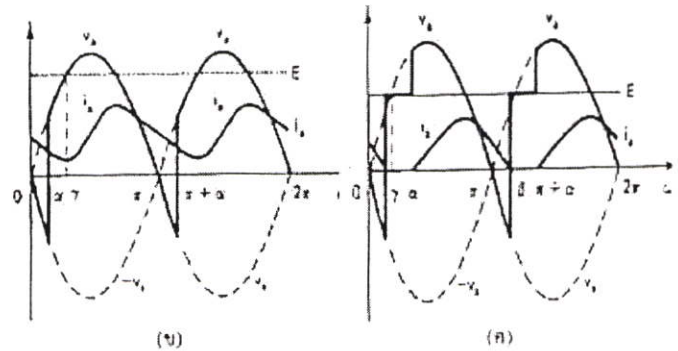
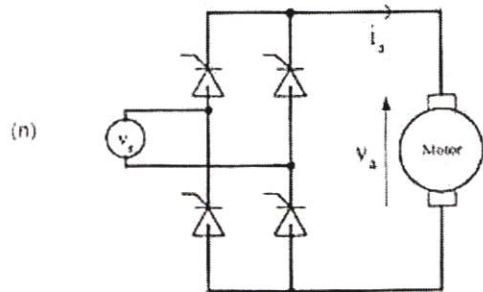
Abstract

This paper proposes the method for finding mathematical model of DC motors fed by a single-phase full converter. Online identification technique employing the recursive least square method is used to find the parameters of DC motors. The proposed technique is able to yield an accurate result in a relatively short time. It is shown that experimental and simulation results are in close agreement.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้งานได้ในงานที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์บ่อยครั้ง มีการเริ่มหมุน/หยุดหมุนตลอดเวลา ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้มีประสิทธิภาพที่ดีจำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้ในการออกแบบระบบควบคุม ซึ่งการหาแบบจำลองมีปัญหาที่ต้องระมัดระวังคือ ประการแรกในการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเดิม ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการทดสอบ มีความยุ่งยากและต้องใช้เครื่องมือพอสมควร เช่น ต้องทำการลัดวงจรโรเตอร์[1] ประการที่สองค่าพารามิเตอร์ที่ได้อาจไม่ถูกต้องกับค่าแท้จริงการทำงานจริงเพราะเป็นพารามิเตอร์ของเฉพาะตำแหน่งที่วัด ซึ่งในขณะที่งานจริงการทำงานอาจไม่ใช้ตำแหน่งนี้ ประการสุดท้าย ขณะที่มีมอเตอร์ทำงานค่าพาร-

ามิเตอร์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่นค่าความต้านทานเนื่องมาจากความร้อน เพื่อให้ได้ลักษณะพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ถูกต้อง, สะดวก และรวดเร็ว จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคไอเดนติฟิเคชันเพื่อใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์[2] แต่ระบบขับเคลื่อนของระบบดังกล่าวเป็นชนิด DC Amplifier ซึ่งเหมาะสมกับมอเตอร์ขนาดเล็ก สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดใหญ่ที่ขับเคลื่อนด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (รูปที่ 1. ก) ซึ่งมีลักษณะการทำงานแบบ Switched - Mode Amplifier ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามอเตอร์ มีได้สองแบบคือ แบบต่อเนื่อง (รูปที่ 1. ข) และ แบบไม่ต่อเนื่อง (รูปที่ 1. ค) การไอเดนติฟิเคชันเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ดังกล่าวจะต้องหาพารามิเตอร์ได้ไม่ว่ากระแสไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแบบใด และต้องทำการหาในขณะระบบทำงานอยู่ (Online Identification)



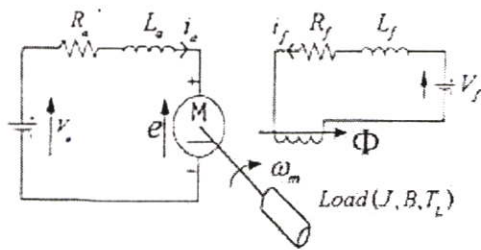
รูปที่ 1 (ก) ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซิงเกิลเฟสฟูลคอนเวอร์เตอร์
(ข) รูปสัญญาณเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลแบบต่อเนื่อง
(ค) รูปสัญญาณเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลแบบไม่ต่อเนื่อง



2. ทฤษฎี

2.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นมีวงจรไฟฟ้าตามรูปแบบไดนามิก(3)แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรไฟฟ้าสมมูลแบบไดนามิกของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น สมการพื้นฐานของมอเตอร์

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e \quad (1)$$

$$e = k\phi\omega_m \quad (2)$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T - T_L - B\omega_m \quad (3)$$

$$T = k\phi i_a \quad (4)$$

กำหนดให้

ϕ = ฟลักซ์ต่อขั้ว (Webers)

i_a = กระแสอาร์เมเจอร์ (Ampere)

v_a = ความดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์ (Volt)

R_a = ความต้านทานอาร์เมเจอร์ (Ohm)

ω_m = ความเร็วมอเตอร์ (rad/sec)

T = แรงบิดที่เกิดจากมอเตอร์ (N·m)

T_L = แรงบิดที่เกิดจากโหลด (N·m)

k = ค่าคงที่ทางไฟฟ้า

J = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (Kg·m²)

B = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากความหนืด (N·m/(rad·sec))

จากสมการที่ (1) (2) (3) และ(4) จัดรูปใหม่ในทอมของ Laplace

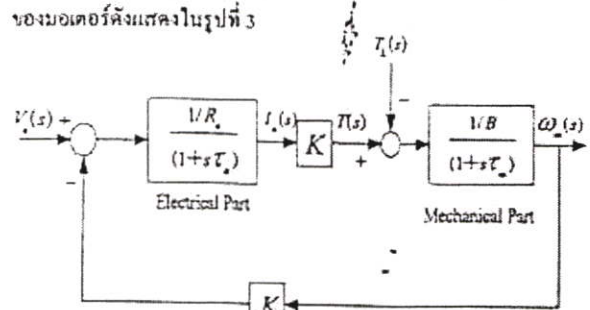
$$I_a(s) = \frac{V_a(s) - K\omega_m(s)}{R_a(1 + s\tau_a)} \quad (5)$$

$$\omega_m(s) = \frac{1}{B} \cdot \frac{T(s) - T_L(s)}{(1 + s\tau_m)} \quad (6)$$

$$\tau_a = \frac{L_a}{R_a}, \tau_m = \frac{J}{B} \quad (7)$$

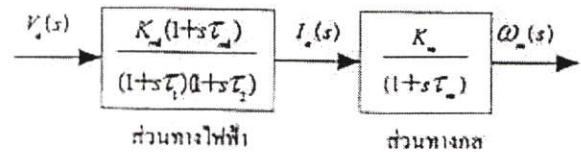
$$K = k\phi \quad (8)$$

จากสมการที่ (5) (6) (7) และ(8) สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นโดยควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์

จากรูปที่ 3 สามารถแยกพิจารณาส่วนทางไฟฟ้า(Electrical Part) และส่วนทางกล(Mechanical Part)เมื่อกำหนดให้ $T_L=0$ [4]



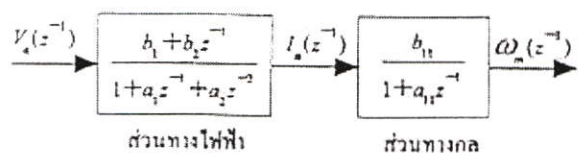
รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อกำหนดให้ $T_L=0$

$$K_{a1} = \frac{B}{(BR_a + K^2)}, K_m = \frac{K}{B} \quad (9)$$

$$-\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2} = \frac{1}{2} \left[-\left(\frac{1}{\tau_a} + \frac{1}{\tau_m}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{1}{\tau_a} + \frac{1}{\tau_m}\right)^2 - \frac{4}{\tau_a\tau_m}} \right] \quad (10)$$

$$\tau_{a1} = \frac{JR}{(BR_a + K^2)} \quad (11)$$

จากรูปที่ 4 ทำการแปลงให้เป็นระบบพีซีทีซีซึ่งจะได้บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยควบคุมขดลวดอาร์เมเจอร์ในรูปแบบพีซีทีซี

2.2 การจำลองระบบด้วยเทคนิคไอเดนติฟิเคชัน

การจำลองระบบด้วยเทคนิคไอเดนติฟิเคชันจำเป็นต้องกระทำทั้งต่องบสิทธิ์โอะแกรมความถี่ 5 เพราะในการควบคุมมอเตอร์ขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีระบบควบคุมหลายวงปิดควบคุมซ้อนกันเพื่อให้ระบบทำงานได้ดีที่สุดและมีความปลอดภัย[3][4] ; ในการไอเดนติฟิเคชันจึงต้องทำพร้อมกันทั้งต่องบสิทธิ์โอะแกรมและทำในขณะมอเตอร์ทำงานอยู่ซึ่งมีข้อดีคือ ประการแรกสามารถนำข้อมูลไปทำการควบคุมแบบขดแปรที่(Adaptive Control) ได้ ประการที่สองไม่จำเป็นต้องทำการเตรียมระบบทดสอบมอเตอร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

ขั้นตอนของการไอเดนติฟิเคชันระบบแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังนี้[5]

1. รวบรวมข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุตที่ได้มาจากการทดลอง
2. เลือกโครงสร้างเบื้องต้นของรูปแบบจำลอง
3. การประมาณค่าของพารามิเตอร์ของรูปแบบจำลองตามข้อ 2 จากข้อมูลที่ได้ออกข้อที่ 1 .
4. การพิสูจน์ว่ารูปแบบจำลองที่ได้จากการไอเดนติฟิเคชันและข้อมูลที่วัดมีความถูกต้องหรือไม่เพียงไร

ในการไอเดนติฟิเคชันระบบจะใช้วิธีการเรกเรซิชัลลิสต์แควใน การหาพารามิเตอร์ของระบบ โดยมีรูปแบบและสมการพื้นฐานดังต่อไปนี้

หลักการการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์แสดงได้ดังนี้

$$\begin{matrix} \left[\begin{array}{c} \text{พารามิเตอร์ที่} \\ \text{ประมาณใหม่} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{พารามิเตอร์ที่} \\ \text{ประมาณเดิม} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{ฟังก์ชัน} \\ \text{ค่าชดเชย} \\ \text{(เมตริก)} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{ฟังก์ชันการวัด} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{ค่าชดเชย} \\ \text{ทิศทาง} \\ \text{(สเกล)} \end{array} \right]$$

รูปแบบคิซคริตราสเฟอรัฟังกชันของระบบทั่วไปสามารถแสดงได้ดังนี้

$$v(t) = \frac{q^{-t} B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) \tag{12}$$

กำหนดให้

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_n q^{-n} \tag{13}$$

$$B(q^{-1}) = b_1 q^{-1} + \dots + b_m q^{-m} \tag{14}$$

กำหนดให้พารามิเตอร์เวกเตอร์คือ

$$\theta^T = [a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_m] \tag{15}$$

สมการที่ใช้ในวิธีการเรกเรซิชัลลิสต์แควแสดงได้ดังนี้

$$\varphi(t)^T = [-y(t), \dots, -y(t-n+1), u(t-d), \dots, u(t-d-m+1)] \tag{16}$$

$$\varepsilon^*(t+1) = y(t+1) - \hat{\theta}(t)^T \varphi(t) \tag{17}$$

$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t)\varphi(t)^T \varphi(t) F(t)}{1 + \varphi(t)^T F(t)\varphi(t)} \tag{18}$$

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + F(t+1)\varphi(t)\varepsilon^*(t+1) \tag{19}$$

กำหนดให้

F(t) = ค่าเกณฑ์การปรับ(Adaptation Gain)

ε^* = priori prediction error

$\hat{\theta}$ = พารามิเตอร์ที่เกิดจากการประมาณค่า

3.ผลการทดสอบ

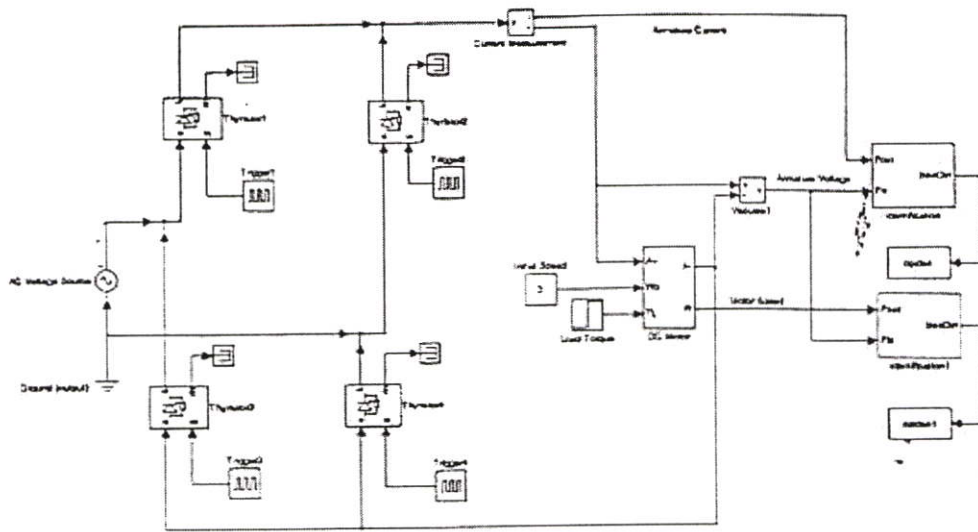
3.1 ผลการทดสอบทางทฤษฎี

การศึกษาเบื้องต้นได้จำลองระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ขับเคลื่อนด้วยจอร์นัลมอเตอร์ถ่วงถ่วง โดยใช้โปรแกรม MATLAB และ Power system blockset[6]แสดงในรูปที่ 6 โดยพารามิเตอร์ของมอเตอร์ได้จากพารามิเตอร์จริงของมอเตอร์ดังนี้ $R_s = 1.2$ โอห์ม, $L_s = 1.2$ มิลลิเฮนรี่, $J = 0.025$ kg.m.m, $k = 0.7351$ V/rad/sec มุมกระตุ้นของ SCR เท่ากับ 33องศา ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยมอเตอร์เท่ากับ 100 โวลต์

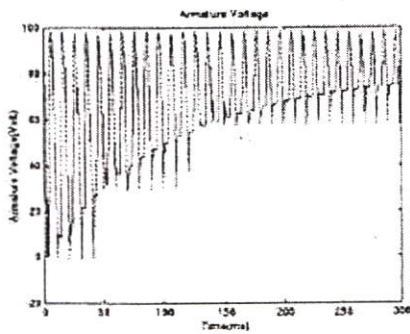
3.1.1 ผลการจำลองระบบของส่วนทางไฟฟ้า

3.1.1.1 กระแสไฟฟ้าไหลแบบไม่ต่อเนื่อง

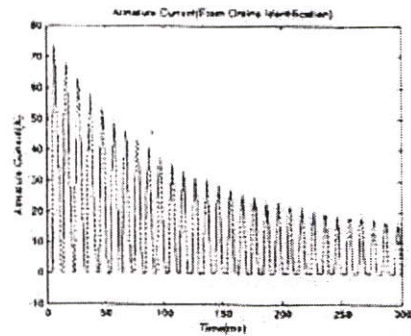
ข้อมูลที่ใช้ในการไอเดนติฟิเคชันส่วนทางไฟฟ้าได้จากการคำนวณข้อมูลจากรูปที่ 6 โดยใช้ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าที่อินพุตของมอเตอร์(รูปที่ 7) และใช้ข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่อินพุตของมอเตอร์(รูปที่ 8) รูปที่ 9 แสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้พารามิเตอร์ของมอเตอร์ซึ่งได้จากการไอเดนติฟิเคชัน และรูปที่ 10 เป็นรูปขยายเปรียบเทียบของผลจากรูปที่ 8 กับ รูปที่ 9 ในรูปที่ 11 แสดงค่าของพารามิเตอร์ของส่วนทางไฟฟ้าขณะทำการไอเดนติฟิเคชัน



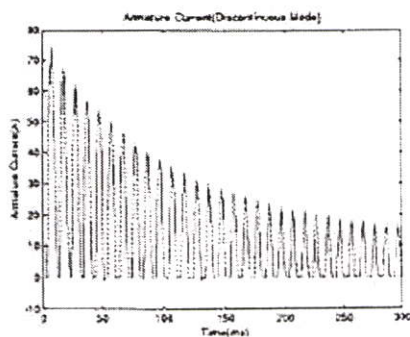
รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบ



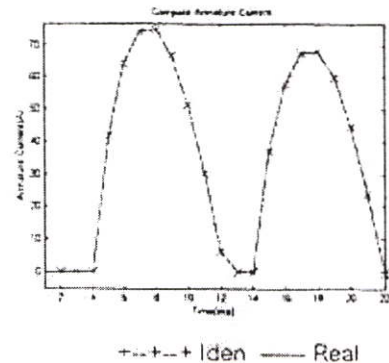
รูปที่ 7 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่อินพุตของมอเตอร์ที่ใช้ในการไฮโดรลิคเซ็น



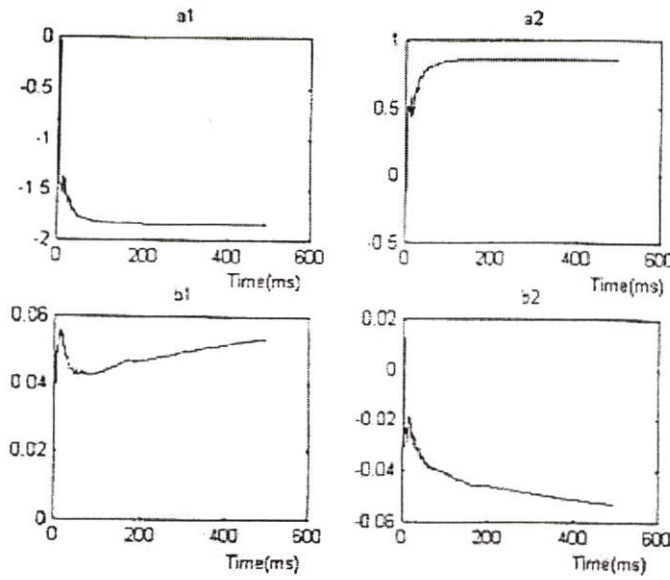
รูปที่ 9 สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่อินพุตของมอเตอร์ที่คำนวณจากผลของการไฮโดรลิคเซ็น



รูปที่ 8 สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่อินพุตของมอเตอร์ที่ใช้ในการไฮโดรลิคเซ็น

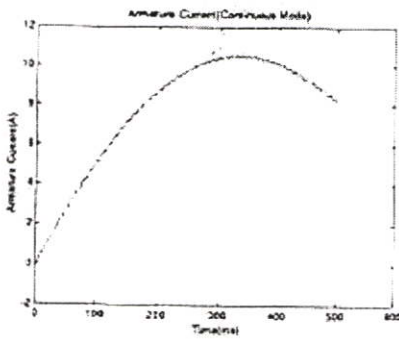


รูปที่ 10 การขยายบริเวณที่ขอบสัญญาณจากรูปที่ 8 กับรูปที่ 9

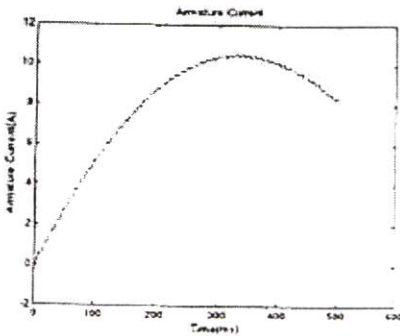


รูปที่ 11 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่เกิดจากการโอเคนติฟิเคชัน

3.1.1.2 กระแสไฟฟ้าไหลแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 12 สัญลักษณ์กระแสไฟฟ้าที่อนุพัทธ์ของกระแสไฟฟ้าไหลแบบต่อเนื่องจากรูปที่ 6



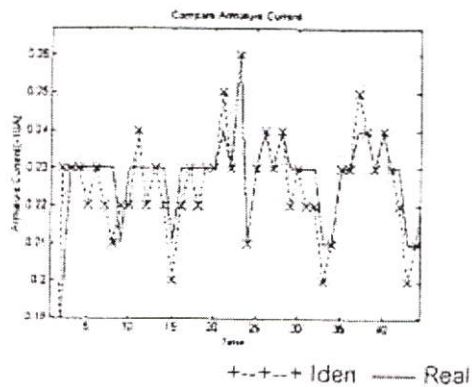
รูปที่ 13 สัญลักษณ์กระแสไฟฟ้าที่อนุพัทธ์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลจากการโอเคนติฟิเคชัน

รูปที่ 12 เป็นกระแสไฟฟ้าที่อนุพัทธ์ของมอเตอร์ที่โหลดแบบต่อเนื่องขณะมอเตอร์เริ่มทำงาน รูปที่ 13 เป็นกระแสไฟฟ้าที่อนุพัทธ์

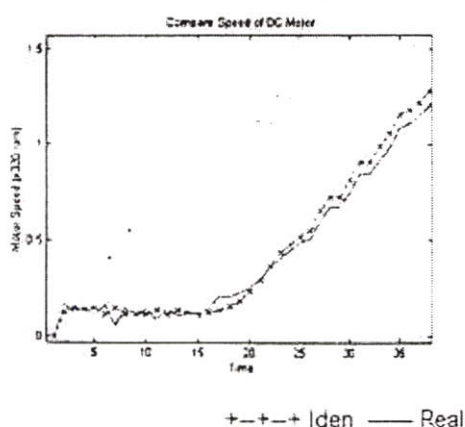
ของมอเตอร์ที่โหลดแบบต่อเนื่องเมื่อคำนวณจากพารามิเตอร์ที่ได้จากการโอเคนติฟิเคชันภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับการทดสอบในรูปที่ 12

3.2 ผลการทดลอง

รูปที่ 14 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์จริง (ได้จาการทดลอง) กับกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการโอเคนติฟิเคชันขณะมอเตอร์เริ่มทำงาน รูปที่ 15 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของมอเตอร์จริง (ได้จาการทดลอง) กับความเร็วของมอเตอร์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการโอเคนติฟิเคชัน ขณะมอเตอร์เริ่มทำงาน



รูปที่ 14 เปรียบเทียบสัญลักษณ์กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์จริงกับกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ได้จากการโอเคนติฟิเคชัน



รูปที่ 15 เปรียบเทียบสัญญาณความเร็วของมอเตอร์จริงกับความเร็วมอเตอร์ที่ได้จากการจำลองโดยเทคนิคเซชัน

4. สรุปผลและข้อเสนอนแนะ

จากการทดลองและจำลองระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและทำการจำลองโดยเทคนิคเซชันโดยใช้เทคนิคซีพีแอลิสต์แล้ว จะเห็นได้ว่าค่าเออร์ทพุทที่ได้จากการจำลองโดยเทคนิคเซชันมีค่าใกล้เคียงกับค่าเออร์ทพุทของระบบจริงโดยใช้เวลาในการปรับค่าเออร์ทพุทให้เท่ากับระบบจริงได้ภายในเวลารวดเร็ว ทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ของระบบในเวลาใดๆ ซึ่งจะได้นำไปใช้ในการออกแบบการควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโมเดลต่อไป เช่น ระบบควบคุมแบบแอดปทีฟ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Module Experimental system, "Equipment for Research Laboratories and Training centres E48", Instruction: Power Electronic and Control techniques, SIEMENS, 1978. pp119-120
- [2] เขษฏร คัมภคณกุลสุข จงกล งามวิวิทย์ สุเชียร เกียรติสุนทร นนทวัฒน์ จุลละ และ Hiroshi Hinata "การที่ศูนย์เอกลักษณ์ของมอเตอร์กระแสตรงขณะกำลังทำงานโดยวิธีการทำกำลังส่งน้อยที่สุด" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 23, 2543 หน้า 217-220
- [3] Gopal K. Dabey "Power Semiconductor Controlled Drives" Prentice-Hall International, Inc. 1989
- [4] P.C. Sen "Thyristor DC Drives" John Wiley & Soa, Inc. 1980
- [5] Ioan Dore Landau "System Identification and Control Design, using P.L.M.-software" Prentice-Hall. 1990
- [6] James B. Dabney, Thomas L. Harman "Mastering Simulink2" Prentice Hall. 1998



นายทีฤทธิ์ อภิษกุล เกิดที่จังหวัดน่านสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขณะนี้กำลังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยด้านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, motion control



นายพนทวัฒน์ จุลละ เกิดที่จังหวัดนราธิวาส สำเร็จการศึกษาปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก ENSA de Lyon ประเทศฝรั่งเศส เมื่อ พ.ศ. 2535 งานวิจัยด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ประวัติผู้เขียน

นายพิสุทธิ อภิขยกุล เกิดเมื่อวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดน่าน สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2539 และในปีการศึกษา 2541 ได้เข้ารับการศึกษาคือในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง