



**รายงานการวิจัย**

**การควบคุมแบบอัตโนมัติของระบบปั้มน้ำสำหรับไร่มันสำปะหลัง  
ที่ใช้แหล่งพลังงานโซลาร์เซลล์**

**Automatic Control of Water Pump System for Cassava Field  
using Solar Cell Energy Source**



**ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**

**ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว**



## รายงานวิจัย

การควบคุมแบบอัตโนมัติของระบบปั้มน้ำสำหรับไร่มันลำปะหลัง  
ที่ใช้แหล่งพลังงานโซลาร์เซลล์

**Automatic Control of Water Pump System for Cassava Field  
using Solar Cell Energy Source**

หัวหน้าโครงการวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.กองพล อารีรักษ์

กลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงาน เครื่องจักรกล และการควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

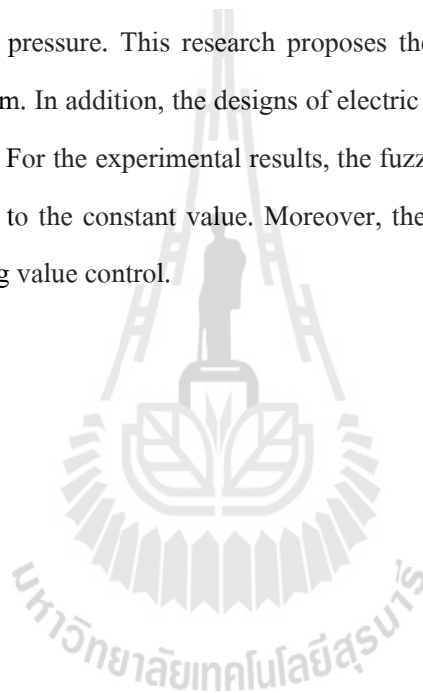
มกราคม 2560

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบการควบคุมอัตโนมัติของปั้มน้ำสำหรับไรมันล่าปะหลัง โดยระบบควบคุมดังกล่าวจะทำการการควบคุมอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ โดยอาศัยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั้มน้ำด้วยตัวควบคุมแบบพีซี ซึ่งโดยทั่วไปการควบคุมอัตราการไหลของน้ำจะอาศัยการปรับวาล์ว ซึ่งการควบคุมอัตราการไหลด้วยวิธีดังกล่าวมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากเกินไปจนเกินไป อีกทั้งในกรณีที่วาล์วน้ำเกิดความเสียหาย อาจส่งผลให้อัตราการไหลมีค่ามากเกินไปจนเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันน้ำเพิ่มสูงขึ้น และทำให้ท่อเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยได้นำเทคโนโลยีทางด้านระบบเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติของปั้มน้ำสำหรับไรมันล่าปะหลัง ดังนั้นจึงทำให้ระบบควบคุมอัตโนมัติดังกล่าวสามารถใช้ได้ในทุกพื้นที่ทางการเกษตรของประเทศไทย โดยงานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอการออกแบบพิกัดปั้มน้ำ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั้มน้ำ รวมถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมสำหรับการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์จากการทดสอบจริง พบว่าระบบควบคุมที่นำเสนอในงานวิจัยสามารถควบคุมอัตราการไหลให้มีค่าตามที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อทำการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่าง กรณีการควบคุมด้วยวาล์ว กับระบบการควบคุมอัตโนมัติที่อัตราการไหลค่าเดียวกัน พบว่าการควบคุมอัตราการไหลด้วยระบบการควบคุมอัตโนมัติมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า

## Abstract

This research presents an automatic control of water pump system for cassava field using solar cell energy source. The water flow rate is controlled by controller base on the control of speed. The fuzzy controller is used in this research. It is well know that the valve adjustment is normally used for flow rate control. This method uses more energy. Moreover, the valve is damage because of high pressure. This research proposes the design approach of water pump rating and solar cell system. In addition, the designs of electric motor drive and controller are also presented in the research. For the experimental results, the fuzzy control proposed in this research can control the flow rate to the constant value. Moreover, the energy using the fuzzy control is less than the method using value control.



## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย การสร้างระบบการควบคุมอัตโนมัติของปั้มน้ำสำหรับไร่มันสำปะหลัง สามารถคล่องไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุน การทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ นายรัชพงศ์ สุวงษา ที่เป็นผู้ช่วยวิจัย ที่มีความทุ่มเท และเอาใจใส่อย่างยิ่งในการทำงานวิจัย สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณพนักงานศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี อาคารเครื่องมือ 3 ทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

กองพล อารีรักษ์

มกราคม 2560



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ .....	ก
Abstract .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ซ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	4
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย (Conceptual Framework) .....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	5
1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย .....	5
1.7 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล .....	5
1.8 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย .....	6
<b>2 การเลือกขนาดป้อนน้ำ และการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์</b> .....	<b>8</b>
2.1 บทนำ .....	8
2.2 การเลือกขนาดพิกัดป้อนน้ำ .....	8
2.3 การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ .....	10
2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ .....	10
2.3.2 เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ .....	11
2.3.3 แบตเตอรี่ .....	12

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ตัวอย่างการออกแบบปั้มน้ำ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยรวม .....	13
2.5 สรุป .....	16
<b>3 โครงสร้างฮาร์ดแวร์สำหรับระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า.....</b>	<b>17</b>
3.1 บทนำ.....	17
3.2 โครงสร้างของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า.....	17
3.3 วงจรซอฟต์แวร์สวิตซิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ .....	20
3.3.1 การออกแบบวงจร.....	20
3.3.2 ผลการทดสอบ .....	24
3.4 วงจรแปลงผันแบบบัคค์.....	25
3.4.1 การออกแบบวงจร.....	26
3.4.2 ผลการทดสอบ .....	28
3.5 วงจรอินเวอร์เตอร์.....	30
3.5.1 การออกแบบวงจร.....	31
3.5.2 ผลการทดสอบ .....	33
3.6 วงจรจุกชนวนเกท .....	33
3.6.1 วงจรแยกโคคัลญูญาน .....	34
3.6.2 วงจรป้องกันเวลาวิกฤต.....	36
3.7 ชุดตรวจวัดความเร็วรอบ .....	39
3.7.1 จานหมุน .....	40
3.7.2 เซนเซอร์ .....	40
3.7.3 ผลการทดสอบ .....	42
3.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	43
3.9 สรุป .....	44
<b>4 การควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่.....</b>	<b>45</b>
4.1 บทนำ.....	45
4.2 หลักการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ .....	46
4.3 ระบบควบคุมแบบฟัซซี่.....	48

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การทดสอบการทำงานของตัวควบคุมแบบพีซีซี .....	54
4.5 การทดสอบการควบคุมอัตราการใช้ไฟ .....	56
4.6 สรุป.....	58
<b>5 สรุปและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>59</b>
5.1 สรุป .....	59
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	62
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก. โปรแกรมภาษาซีของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า ที่มีควบคุมแบบพีซีซี.....	63
ภาคผนวก ข. อุปกรณ์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	74
ภาคผนวก ค. งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	77
ประวัติผู้วิจัย.....	91



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	แผนดำเนินงาน..... 6
2.1	พิกัดขั้วน้ำ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย ..... 16
3.1	พิกัดแรงดัน และพิกัดกระแสของวงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์..... 23
3.2	พิกัดอุปกรณ์ของวงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์..... 24
3.3	พิกัดอุปกรณ์ของวงจรแปลงผันแบบบัคค์..... 28
3.4	ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัคค์..... 28
4.1	ตัวแปรทางภาษา และค่าเชิงภาษา..... 50
4.2	ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต $e_s$ และเอาต์พุต $d$ ..... 52
4.3	ผลการทดสอบการควบคุมอัตราการใช้..... 57

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	รายละเอียดปั้มน้ำหอยโข่งไฟฟ้าของบริษัทมิตซูบิชิ ..... 9
2.2	ส่วนประกอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์..... 10
2.3	ตารางแสดงรายละเอียดของปั้มน้ำหอยโข่งของบริษัทมิตซูบิชิ..... 14
2.4	แผ่นป้ายแสดงรายละเอียดของปั้มน้ำมิตซูบิชิ รุ่น ACH-375S ..... 14
3.1	โครงสร้างฮาร์ดแวร์ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า ..... 18
3.2	ภาพรวมระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำที่ใช้งานจริง ในส่วนวงจรซอฟต์แวร์ชุดชิพไมโครคอนโทรลเลอร์..... 19
3.3	ภาพรวมระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำที่ใช้งานจริงในส่วนวงจรแปลงผันแบบบักก์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ ..... 19
3.4	วงจรซอฟต์แวร์ชุดชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัย ..... 20
3.5	โครงสร้างของไอซี TL494CN ..... 21
3.6	วงจรจุดชนวนเกทความถี่สูง ..... 21
3.7	วงจรจุดชนวนเกทความถี่สูงที่สร้างจริง ..... 22
3.8	สัญญาณพัลส์จากวงจรจุดชนวนเกทความถี่สูง..... 22
3.9	ผลการทดสอบวงจรซอฟต์แวร์ชุดชิพไมโครคอนโทรลเลอร์..... 25
3.10	วงจรแปลงผันแบบบักก์ ..... 25
3.11	ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบักก์ที่ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ..... 29
3.12	ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบักก์ที่ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ..... 29
3.13	ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบักก์ที่ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ ..... 29
3.14	ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบักก์ที่ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ..... 30
3.15	วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน ..... 30
3.16	รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่เท่ากับ 25 Hz ..... 32

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่เท่ากับ 30 Hz.....	32
3.18 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่เท่ากับ 40 Hz.....	32
3.19 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่เท่ากับ 50 Hz.....	33
3.20 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรจุดชนวนเกทในระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า .....	33
3.21 โครงสร้างของไอซี PC923.....	34
3.22 วงจรแยกโคคสัญญาณสำหรับใช้งานจริง .....	34
3.23 วงจรแยกโคคสัญญาณที่สร้างจริง .....	35
3.24 ผลการทดสอบวงจรแยกโคคสัญญาณ .....	36
3.25 วงจรป้องกันเวลาวิกฤต .....	37
3.26 วงจรป้องกันเวลาวิกฤตที่ใช้งานจริง.....	37
3.27 สัญญาณอินพุตขาที่ 1 และอินพุตขาที่ 2 มีสถานะลอจิกไม่เหมือนกัน .....	37
3.28 การทดสอบสัญญาณเอาต์พุตขาที่ 1 และเอาต์พุตขาที่ 2 กรณีสัญญาณอินพุตมีสถานะลอจิกไม่เหมือนกัน .....	38
3.29 สัญญาณอินพุตขาที่ 1 และอินพุตขาที่ 2 มีสถานะลอจิกเหมือนกัน .....	38
3.30 ผลการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตขาที่ 1 และเอาต์พุตขาที่ 2 กรณีสัญญาณอินพุตมีสถานะลอจิก เหมือนกัน .....	38
3.31 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของชุดตรวจวัดความเร็วรอบมอเตอร์ .....	39
3.32 การออกแบบจานหมุน .....	40
3.33 เซ็นเซอร์เบอร์ HC-020K.....	41
3.34 ลักษณะการต่อวงจรเพื่อใช้งาน .....	41
3.35 ลักษณะการติดตั้งจานหมุนกับมอเตอร์ปั้มน้ำไฟฟ้า.....	41
3.36 ลักษณะการติดตั้งจานหมุนกับเซ็นเซอร์ .....	42
3.37 สัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1400 rpm .....	42
3.38 สัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2600 rpm .....	43

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.39 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น MEGA 1280 .....	44
4.1 ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่มีตัวควบคุมแบบพีซี .....	47
4.2 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบพีซี .....	48
4.3 รูปแบบฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต .....	51
4.4 รูปแบบฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต .....	51
4.5 อุปกรณ์ตรวจวัด และฮาร์ดแวร์ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า .....	55
4.6 ผลการทดสอบการลู่เข้าของความเร็วรอบจริงกับความเร็วรอบอ้างอิง .....	55
4.7 ผลการเปรียบเทียบกำลังงาน ไฟฟ้าอินพุต .....	57
5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ .....	59
5.2 รูปสัญญาณแรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของปั้มน้ำในงานวิจัย .....	61
ข.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 250 W จำนวน 2 แผง .....	75
ข.2 เครื่องควบคุมการชาร์จประจุที่พิกัดแรงดันเท่ากับ 48 V และพิกัดกระแสเท่ากับ 20 A .....	75
ข.3 แบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดันเท่ากับ 12 V และมีขนาดการประจุพลังงานที่เท่ากับ 75 Ah ต่ออนุกรมกัน 4 ลูก เพื่อเพิ่มระดับให้เป็น 48 V .....	76
ข.4 การวัดกำลังงาน ไฟฟ้าอินพุต และเอาต์พุตของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ .....	76

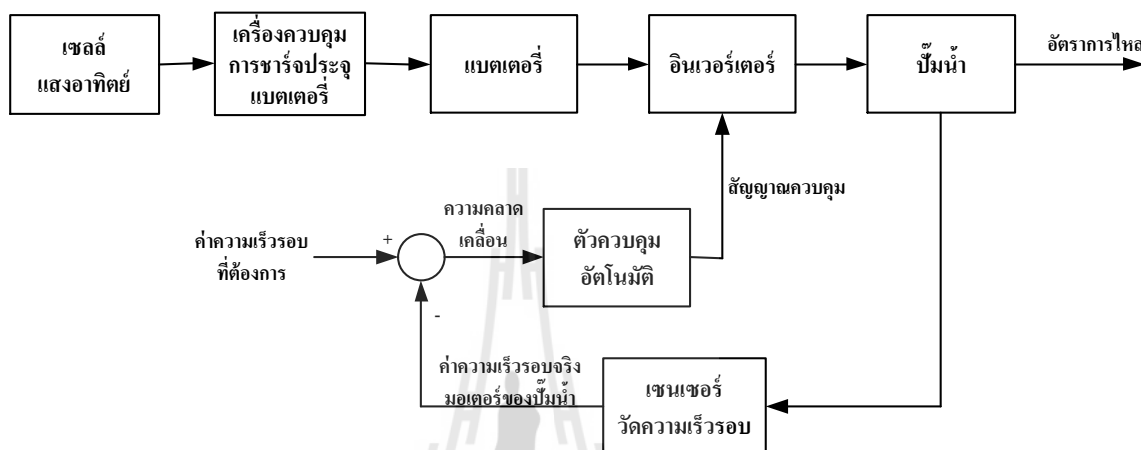
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ส่วนใหญ่เกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ทำไร่มันสำปะหลังกันอย่างแพร่หลาย และถือเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ ระบบการจัดการน้ำของไร่มันสำปะหลัง ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญประการหนึ่งที่เป็นต่อการพัฒนา ปัจจุบันเกษตรกรได้ซื้อปั้มน้ำมาใช้ในไร่มันสำปะหลัง โดยมีการเผื่อพิคักของปั้มน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการออกแบบขนาดปั้มน้ำในทางวิศวกรรมเป็นเรื่องยากสำหรับเกษตรกรเหล่านี้ ด้วยเหตุนี้ในช่วงแรกของงานวิจัยนี้จะดำเนินการศึกษาการออกแบบขนาดปั้มน้ำให้เหมาะกับพื้นที่การเพาะปลูก เพื่อลดต้นทุนการซื้อปั้มน้ำที่มีพิคักใหญ่กว่าความเป็นจริง การใช้ปั้มน้ำให้เหมาะกับลักษณะงานนี้ จะทำให้ต้นทุนการซื้อปั้มน้ำ หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีค่าลดลง นอกจากนี้ในงานวิจัยจะนำเทคโนโลยีทางด้านระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือโซลาเซลล์ มาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับปั้มน้ำแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งที่สามารถใช้ได้ในทุกพื้นที่ทางการเกษตรของประเทศไทย อีกทั้งเป็นพลังงานสะอาดที่ปราศจากมลพิษกับสิ่งแวดล้อม และในบางพื้นที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเกษตรกรได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพึ่งพาพลังงานทดแทนรูปแบบอื่น โดยเฉพาะพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระบบรวมของงานวิจัยสามารถดูได้จากรูปที่ 1.1 จากรูปดังกล่าวพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีการควบคุมการชาร์จด้วยเครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะดำเนินการสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อลดการนำเข้าวงจรดังกล่าวจากต่างประเทศ และรองรับกับระบบที่มีตัวควบคุมอัตโนมัติ สาเหตุที่ใช้อินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเนื่องจากปั้มน้ำไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับประเภทหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์

ดังกล่าวมีความทนทาน ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ และค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และปั้มน้ำที่ทำหน้าที่เป็น โหลดให้กับมอเตอร์สำหรับสูบน้ำ ส่วนใหญ่จะใช้ปั้มหอยโข่ง (centrifugal pump) ทั้งนี้เนื่องจากปั้มดังกล่าวมีโครงสร้างที่ง่าย ไม่ซับซ้อน มีช่วงการทำงานที่กว้าง ความทนทานสูง ดูแลรักษาง่าย และราคาไม่สูงมากนัก



รูปที่ 1.1 ระบบการควบคุมอัตโนมัติของปั้มน้ำสำหรับไร่มันสำปะหลัง

จากการศึกษาระบบปั้มน้ำสำหรับอุตสาหกรรมการเกษตร พบว่าส่วนใหญ่เป็นระบบควบคุมปั้มน้ำแบบวงเปิด (open loop system) คือ ไม่มีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในท่อ ซึ่งในความเป็นจริง เกษตรกรจะให้ปั้มน้ำจ่ายน้ำที่อัตราการไหลมากกว่าความต้องการ และใช้วาล์วในการปรับลดอัตราการไหลของน้ำให้เหมาะสมกับลักษณะการให้น้ำแก่พืชนั้น ๆ ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะส่งผลให้การออกแบบพิกัดของปั้มน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า มีพิกัดมากกว่าความเป็นจริง จึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และสิ้นเปลืองงบประมาณในการซื้อปั้มน้ำที่พิกัดสูงเกินความจำเป็น นอกจากนี้ในกรณีที่ว่าวาล์วที่ใช้สำหรับปรับลดอัตราการไหลของน้ำเกิดการเสียหายเนื่องจากอายุการใช้งาน อาจส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำในท่อมักเกินความเป็นจริง ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันน้ำภายในท่อมักเพิ่มมากขึ้น และทำให้ท่อน้ำแตก เนื่องจากแรงดันเกินพิกัดที่ท่อน้ำรับได้ เหตุการณ์เช่นนี้จะส่งผลให้เกิดความเสียหายในเรื่องงบประมาณในการซื้อท่อน้ำชุดใหม่ หรืออีกมุมมองหนึ่งของเกษตรกรที่ซื้อปั้มน้ำมาใช้ทางการเกษตร เกษตรกรส่วนใหญ่จะเลือกซื้อปั้มน้ำพิกัดมากกว่าความเป็นจริง เนื่องจากเกรงว่าอัตราการไหลของน้ำในท่อมักมีค่าต่ำ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อระบบการให้น้ำกับต้นมันสำปะหลัง โดยในลักษณะเช่นนี้เมื่อปั้มน้ำทำงานเต็มพิกัดที่ค่าอัตราการไหลสูงสุด จะทำให้แรงดันน้ำภายในท่อมักสูง ในขณะที่เดียวกันเกษตรกรจะทำการลดแรงดันน้ำ

ดังกล่าวด้วยการระบายน้ำภายในห้องทิ้งไปบางส่วนเพื่อลดระดับแรงดัน เหตุการณ์เช่นนี้จะส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนปั้มน้ำมีค่าสูง แต่ถ้ามีการควบคุมอัตราการไหลให้มีความเหมาะสมต่อความต้องการ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของปั้มน้ำดังกล่าวจะมีค่าลดลง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานขึ้นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในท่อให้มีค่าคงที่แบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการควบคุมระบบแบบวงปิด (closed loop system) ซึ่งการควบคุมในส่วนนี้จะทำการควบคุมอัตราการไหลโดยจะอาศัยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ จึงมีความจำเป็นต้องพึ่งพาเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ เพื่อให้ทราบค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 โดยค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์จะนำไปหักลบกับค่าความเร็วรอบที่ต้องการ จะได้เป็นค่าความคลาดเคลื่อน โดยค่าความเร็วรอบที่ต้องการนี้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของเกษตรกรว่าต้องการอัตราการไหลของน้ำให้คงที่เท่าใด ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วรอบของมอเตอร์มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำ โดยในงานวิจัยนี้ต้องสามารถออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ในทุกค่าที่ต้องการ ตามสถานะความต้องการของเกษตรกรในแต่ละพื้นที่ และจากรูปที่ 1.1 สังเกตได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะเป็นข้อมูลให้กับตัวควบคุมอัตโนมัติ เพื่อที่ตัวควบคุมดังกล่าวจะดำเนินการสั่งให้อินเวอร์เตอร์ทำงานผ่านสัญญาณควบคุมในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าของปั้มน้ำให้อัตราการไหลของน้ำมีค่าคงที่ตามที่ต้องการ จากที่อธิบายข้างต้นระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติของปั้มน้ำในไร่มันสำปะหลังที่มีแหล่งพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษา และพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงได้ในทางปฏิบัติ ผู้วิจัยจึงได้เสนอของบประมาณเพื่อดำเนินการวิจัยดังกล่าว

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการออกแบบพิกัดของปั้มน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกร ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการซื้อปั้มน้ำที่มีพิกัดมากกว่าการใช้งานจริง
- 1.2.2 เพื่อสร้างระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำในท่อแบบอัตโนมัติของระบบปั้มน้ำสำหรับไร่มันสำปะหลังให้มีค่าอัตราการไหลของน้ำคงที่ตามที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายของท่อน้ำอันเนื่องมาจากค่าแรงดันน้ำเกินพิกัด
- 1.2.3 เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการใช้ปั้มน้ำ เพราะถ้าไม่มีตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำแบบอัตโนมัติ ปั้มน้ำจะทำงานเต็มพิกัดตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น

- 1.2.4 เพื่อศึกษา และนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานทางไฟฟ้าให้กับระบบการขับเคลื่อนปั้มน้ำสำหรับไร้มน้ำสำปะหลัง ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าไฟของเกษตรกร
- 1.2.5 เพื่อสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าของปั้มน้ำที่มีแหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ ทั้งนี้เพื่อลดการนำเข้าอุปกรณ์ดังกล่าวจากต่างประเทศ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ค่าอัตราการไหลของน้ำในท่อที่ต้องการควบคุมให้มีค่าคงที่ จะมาจากการสอบถามข้อมูลของนักวิชาการทางการเกษตร หรือเกษตรกรที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้น้ำของไร้มน้ำสำปะหลัง รวมถึงพิจารณาพิคัดแรงดันน้ำของท่อน้ำที่ใช้
- 1.3.2 การทดสอบระบบต้นแบบเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำแบบอัตโนมัติจะทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการ

### 1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย (Conceptual Framework)

- 1.4.1 การออกแบบพิคัดของปั้มน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงจะช่วยลดค่าใช้จ่ายของเกษตรกรในการซื้อปั้มน้ำที่มีพิคัดสูงกว่าความเป็นจริง
- 1.4.2 การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำให้มีค่าอัตราการไหลของน้ำในท่อคงที่ จะช่วยเกษตรกรให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนปั้มน้ำ รวมถึงป้องกันความเสียหายของท่อน้ำอันเนื่องมาจากแรงดันน้ำเกินพิคัด ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งท่อน้ำชุดใหม่
- 1.4.3 การใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยให้เกษตรกรประหยัดค่าไฟฟ้า รวมถึงช่วยเหลือเกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่สามารถจ่ายไฟให้ใช้ได้
- 1.4.4 การใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยลดมลพิษทางอากาศเมื่อเทียบกับการใช้มอเตอร์เครื่องยนต์เบนซิน หรือดีเซลในการขับเคลื่อนปั้มน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด
- 1.4.5 แนวคิดที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่เพาะปลูกทั่วไปไม่จำกัดเฉพาะไร้มน้ำสำปะหลัง



## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้วิธีการออกแบบพิกัดของปั้มน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกร เพื่อลดต้นทุนการซื้อปั้มน้ำที่มีพิกัดมากเกินไปจนความจำเป็น
- 1.5.2 ได้ระบบต้นแบบในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในท่อแบบอัตโนมัติของระบบปั้มน้ำสำหรับไร่มันสำปะหลังให้มีอัตราการไหลของน้ำคงที่ตามที่ต้องการ
- 1.5.3 ได้องค์ความรู้ในการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานทางไฟฟ้าให้กับระบบการขับเคลื่อนปั้มน้ำสำหรับไร่มันสำปะหลัง ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าไฟของเกษตรกร
- 1.5.4 ได้วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าของปั้มน้ำที่มีแหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ ทั้งนี้เพื่อลดการนำเข้าอุปกรณ์ดังกล่าวจากต่างประเทศ
- 1.5.5 บทความวิจัย เผยแพร่ระดับชาติ และ/หรือ นานาชาติ

หน่วยงานที่ใช้ประโยชน์จากผลงานวิจัย: เกษตรกรที่ปลูกมันสำปะหลัง และเกษตรกรที่สนใจเรื่องพลังงานทดแทน

## 1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ผู้วิจัยจะนำเสนอผลงานวิจัยในประเทศ หรือต่างประเทศ เมื่องานวิจัยแล้วเสร็จอาจขยายผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี ในรูปแบบการจัดแสดงนิทรรศการ หรืออื่น ๆ ตามความเหมาะสม

## 1.7 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล

ศึกษาและค้นคว้าวิธีการออกแบบพิกัดของปั้มน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่การเพาะปลูก หลังจากนั้นจะดำเนินการออกแบบพิกัดปั้มน้ำเพื่อการใช้งานจริง ออกแบบและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าในระบบวงเปิดที่ยังไม่มีตัวควบคุม โดยแหล่งพลังงานที่ใช้เป็นแบตเตอรี่ พิกัดของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบต้องสอดคล้องกับพิกัดของปั้มน้ำ ดำเนินการเลือกซื้อและทดสอบเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ รวมถึงการติดตั้งเซนเซอร์ หลังจากนั้นจะดำเนินการศึกษาการทำงานของบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างชุดควบคุมแบบอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล ออกแบบและสร้างตัวควบคุมแบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำในท่อให้คงที่ ทดสอบการควบคุมอัตราการไหลของน้ำทั้งระบบแบบวงปิด พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้กับไม่ใช่ตัวควบคุมแรงดันน้ำ ในท่อที่สร้างขึ้นโดยใช้พิกัดปั้มน้ำที่เท่ากัน สุดท้ายเป็นการเลือกซื้อ และออกแบบพิกัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน



ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน (ต่อ)

กิจกรรม	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
7. ทดสอบระบบทั้งหมด พร้อมปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง													
8. คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างการใช้และไม่ใช้ตัวควบคุมแรงดันน้ำในกรณีพิกัดปั้มน้ำที่เท่ากัน													
9. จัดทำบทความเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย และจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์													



## บทที่ 2

### การเลือกขนาดปั้มน้ำ และการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

#### 2.1 บทนำ

สำหรับภาคการเกษตร หนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และปริมาณผลผลิต คือ การให้น้ำในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเสนอการออกแบบระบบการให้น้ำหลากหลายประเภท เพื่อตอบสนองต่อลักษณะพฤติกรรมความต้องการน้ำของพืช และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำให้มีความคุ้มค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามนอกจากการเลือกระบบการให้น้ำอย่างเหมาะสมแล้ว ระบบที่ดีควรประหยัดค่าวัสดุอุปกรณ์ และควรรอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยจึงได้นำเสนอการเลือกขนาดพิกัดปั้มน้ำ และการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งจะช่วยลดการสิ้นเปลืองที่มากเกินไปจนความจำเป็น ในบทนี้จะอธิบายถึงปัจจัย และหลักการที่ควรทราบ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกขนาดปั้มน้ำ และการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวัน อีกทั้งได้มีการแสดงตัวอย่างการออกแบบเพื่อเลือกพิกัดปั้มน้ำ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนท้ายด้วยเช่นกัน

#### 2.2 การเลือกขนาดพิกัดปั้มน้ำ

การเลือกขนาดพิกัดของปั้มน้ำให้เหมาะสมกับระบบการให้น้ำถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากการเลือกขนาดพิกัดปั้มน้ำโดยที่ไม่มีการออกแบบให้เหมาะสม อาจทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงเกินความจำเป็น หรือทำให้ระบบเกิดความผิดพลาด เสียหาย เช่น ส่งน้ำไม่ทั่วถึง ไม่สม่ำเสมอ โดยปัจจัยที่มีผลต่อขนาดพิกัดปั้มน้ำ คือ ปริมาณความต้องการน้ำของพืช และวิธีการให้น้ำเนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีปริมาณการใช้น้ำที่แตกต่างกันตามช่วงอายุ และฤดูกาล (สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, ฝ่ายการใช้น้ำชลประทาน, 2554) ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบขอบเขตปริมาณการใช้น้ำในแต่ละช่วงอายุของพืช และปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการให้น้ำแก่พืชที่หลากหลาย ซึ่งการเลือกวิธีการให้น้ำที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำแก่พืช ประหยัดเวลา และแรงงาน (วันชัย คุปวานิชพงษ์,สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, 2555) โดยสามารถจำแนกประเภทการให้น้ำออกเป็น 4 ประเภท คือ การให้น้ำทางผิวดิน การให้น้ำแบบสปริงเกอร์ การให้น้ำแบบใช้น้ำน้อย และการให้น้ำทางใต้ผิวดิน เนื่องจากในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิต

ปั๊มน้ำได้มีตารางแสดงรายละเอียดลักษณะการทำงานของปั๊มน้ำไว้แล้ว จึงทำให้การเลือกขนาดปั๊มน้ำมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยสิ่งที่จะต้องทราบสำหรับใช้เลือกขนาดปั๊มน้ำมี 2 อย่าง คือ ปริมาณน้ำ หรืออัตราการไหล กับระยะส่งสูง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้ในการพิจารณาเลือกในตารางแสดงรายละเอียดของปั๊มน้ำรูปที่ 2.1 จากตารางอัตราการไหล คือ ปริมาณของน้ำที่ไหลออกจากท่อของปั๊มน้ำ มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที (L/min) หรือลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ( $m^3/hr$ ) และระยะส่งสูง คือ ระยะระหว่างความสูงจากปั๊มน้ำกับปลายท่อที่น้ำไหลออกมีหน่วยเป็นเมตร (m) หรือบางกรณีจะบอกมาในรูปแบบของแรงดันน้ำภายในท่อ มีหน่วยเป็น บาร์ (bar) โดยที่ระยะส่งสูงเท่ากับ 10 m จะให้ค่าแรงดันน้ำเท่ากับ 1 bar สำหรับกรณีพื้นที่ที่พิจารณาส่วนใหญ่เป็นที่ราบจะใช้ระยะส่งสูงประมาณ 25 m แทนความยาวท่อประปาที่ไม่เกิน 100 m ส่วนกรณีพื้นที่ที่เป็นเนินจะต้องทำการเพิ่มระยะส่งสูงขึ้นอีกตามระดับความสูงของพื้นที่เทียบกับระดับปั๊มน้ำ เช่น พื้นที่ที่พิจารณามีความยาวของท่อประปาประมาณ 100 m และปลายท่ออยู่บนพื้นที่ที่เป็นเนินสูง 4 m จากระดับปั๊มน้ำ เพราะฉะนั้น ระยะส่งสูง = 25 + 4 = 29 m หรือกรณีท่อประปามีความยาวมากกว่า 100 m จะต้องทำการเพิ่มระยะส่งสูง 4 m ทุก ๆ ระยะ 100 m เช่น พื้นที่ที่พิจารณามีความยาวของท่อประปาประมาณ 300 m ดังนั้นระยะส่งสูงที่เพิ่มขึ้น =  $4 \times (300 / 100) = 12$  m เพราะฉะนั้น ระยะส่งสูงของปั๊มน้ำ = 25+12 = 37 m เมื่อได้ค่าระยะส่งสูงที่ต้องการแล้ว ก่อนทำการเลือกปั๊มน้ำควรเพิ่มค่าระยะส่งสูงอีกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เพื่อชดเชยแรงดันน้ำที่สูญเสียในระบบ (head loss)

### Specifications

รุ่น	แรงม้า	ขนาดท่อเข้า - ออก (นิ้ว)	กระแส (A)			อัตราการไหล ม <sup>3</sup> /ชม. ลิตร/นาที	ระยะส่งสูง										
			ไฟสองสาย 220V	ไฟสามสาย 220V	ไฟสามสาย 380V		0	6	12	15	18	21	27	30	33		
WCM-375S	-	1/2	1 1/2	1 1/2	2.9	-	-	9.8	9.2	7.7	6.5	5.6	4.3	-	-	-	
WCM-755(F)S	-	1	2	2	7.0	-	-	17.2	16.9	15.5	14	13	11.4	7.6	-	-	
WCM-755SH	-	1	1 1/2	1 1/2	7.1	-	-	21	20	17	16	-	-	-	-	-	
WCM-1105(F)S	-	1.5	2	2	9.1	-	-	20.7	20	18.7	16.7	16.3	14.7	11	8.9	-	
WCM-1505(F)S	WCM-1505(F)T	2	2	2	14	8.5	4.9	26.4	26.2	25	24	23	21.5	17.8	15.6	13.2	
WCM-2205FS	WCM-2205FT	3	2	2	16.5	10.0	5.8	32.2	32	31	30	28.3	26.5	21.5	18	15	
WCM-3705FS	WCM-3705FT	5	2	1 1/4	26.5	16.5	9.6	46.2	46	43.3	41.9	39.8	37.9	31.9	-	-	

ระยะตุลึง 7 เมตร

มอเตอร์ความเร็วสูงสุด 3,000 รอบต่อนาที

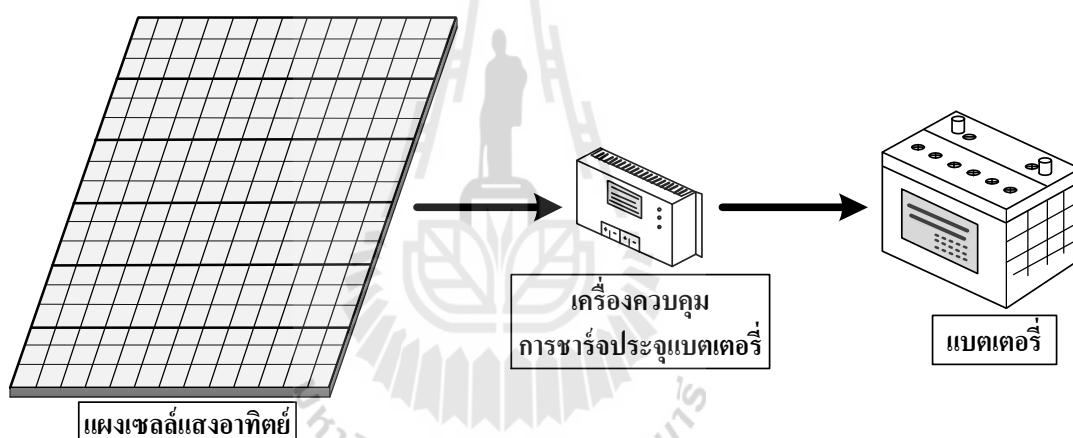
MODEL	HP	PHASE	A	V	Hz	FLOW RATE	ระยะส่งสูง											
							0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
WCM-5505FT	7.5		17			58.0	57.6	57.0	56.6	56.0	55.0	53.8	52.1	50.1	48.0	44.8	42.0	
WCM-7505FT	10	3	19	380-415	50	TOTAL HEAD (m)	66.5	66.1	65.7	65.0	63.9	62.1	59.6	57.8	54.8	52.5	50.3	47.5
WCM-11005FT	15		24.7			82.0	81.7	81.3	80.5	79.4	78.5	77.6	75.8	74.1	72.5	70.8	69.2	

- Motor Insulation Class F IP55
- 220 V, 380 V 50 Hz

รูปที่ 2.1 รายละเอียดปั๊มน้ำหอยโข่งไฟฟ้าของบริษัทมิตซูบิชิ

## 2.3 การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันในภาคการเกษตรมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับปั้มน้ำกันอย่างแพร่หลาย โดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งผู้ใช้งานมีความจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจในอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน และยังช่วยลดโอกาสการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่มากเกินไปจนเกินความจำเป็น อันเนื่องมาจากการเลือกขนาดผิดพลาดที่มากเกินไป สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ เซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ ในหัวข้อนี้จะอธิบายหลักการทำงานเบื้องต้น รวมถึงรายละเอียดที่จำเป็นต้องทราบในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell: PV) หรือ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ โดยทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี และเอ็น (P-N junction) ในขณะที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ และประจุบวก ซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอน และ โฮล โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่แยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วทั้งสอง อย่างไรก็ตามพลังงานที่ได้

จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย จึงมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลล์มาเชื่อมต่อรวมกันเป็นแผง เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งทำให้สามารถกำหนดค่ากำลังทางไฟฟ้าได้ตามความต้องการ และสะดวกต่อการใช้งาน เมื่อต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น ก็สามารถทำได้โดยนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อกันให้มากขึ้น เช่น ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นด้วยการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม หรือเพิ่มขนาดกระแสไฟฟ้าให้มากขึ้นด้วยการต่อแบบขนาน อย่างไรก็ตามค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบุบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ขนาด 1000 W จะพบว่าในสภาวะการใช้งานจริงกำลังไฟฟ้าที่ได้จะไม่ถึง 1000 W เนื่องจากมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เช่น สภาพพื้นที่ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ฤดูกาล อุณหภูมิของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีขนาดมากกว่าความต้องการเล็กน้อย โดยสามารถทำการคำนวณหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากสมการที่ (2-1)

$$P_{cell} = \frac{P_{Load}}{PSH \times k_{sys}} \quad (2-1)$$

เมื่อ  $P_{cell}$  คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W.hr)

$P_{Load}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลด (W)

$PSH$  คือ ระยะเวลาที่ได้รับแสงต่อวัน (สำหรับประเทศไทยประมาณ 4 ชั่วโมงต่อวัน)

$k_{sys}$  คือ ค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ (กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.6) (Falk Antony, 2007)

### 2.3.2 เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่

เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ (charge controller) หรือเรียกว่า โซลาร์ชาร์จเจอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับแบตเตอรี่ โดยเครื่องควบคุมการชาร์จจะทำหน้าที่ควบคุมไม่ให้มีการประจุมากเกินไป และเมื่อแบตเตอรี่มีการประจุที่เต็มแล้ว เครื่องชาร์จจะตัดการชาร์จทันที ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพที่เร็วกว่ากำหนดของแบตเตอรี่ สำหรับขั้นตอนในการเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ ควรเลือกเครื่องที่มีการควบคุมการประจุไฟฟ้าด้วยวงจรควบคุมอัตโนมัติ เนื่องจากมีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพสูง และกำลังงานสูญเสียต่ำ ส่วนการเลือกขนาดพิกัดของเครื่องชาร์จจะต้องมีค่าพิกัดกำลังไม่ต่ำกว่าค่าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในการการระบุขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องชาร์จส่วนมากจะบอกเป็นขนาดพิกัดแรงดัน และพิกัดกระแส ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะบอกเป็นพิกัด

กำลังไฟฟ้า และพิกัดแรงดัน การคำนวณหาขนาดพิกัดของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-2)

$$I_{Batt} = \frac{P_{cell}}{V_{Batt}} \quad (2-2)$$

เมื่อ  $I_{Batt}$  คือ ขนาดกระแสประจุของแบตเตอรี่ (A)  
 $P_{cell}$  คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)  
 $V_{Batt}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V)

### 2.3.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจ่ายพลังงานที่ได้ให้กับโหลด ซึ่งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแบตเตอรี่จะสามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้ต่อเนื่องกว่าระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นแบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (deep discharge battery) เนื่องจากแผ่นตะกั่วที่อยู่ภายในแบตเตอรี่จะมีขนาดใหญ่ และหนากว่าแบตเตอรี่ทั่วไป จึงทำให้มีความเหมาะสมกับการจ่ายพลังงานเป็นระยะเวลานาน ๆ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย และสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แบตเตอรี่ชนิดดังกล่าวมีน้ำหนักมากกว่าแบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้กับรถยนต์ ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้กับรถยนต์เหมาะสำหรับการจ่ายพลังงานที่สูง แต่ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ และสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่ได้ประมาณ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เมื่อมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าช่วงขอบเขตของพลังงานที่เก็บอยู่จะส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง (สำนักพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรม [ITDI], 2558)

สำหรับหน่วยความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้บ่งบอกถึงระดับในการประจุพลังงาน มีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour หรือ Ah) ตัวอย่าง เช่น แบตเตอรี่ขนาด 12V 100Ah หมายความว่า ถ้าแบตเตอรี่มีการจ่ายกระแส 100 A แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือถ้าแบตเตอรี่มีการจ่ายกระแส 1 A แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง สำหรับการคำนวณหาค่าความจุพลังงานแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-3) และควรเลือกค่าความจุของแบตเตอรี่ให้มีความมากกว่าที่คำนวณได้ เนื่องจากการเลือกแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้เก็บประจุพลังงานได้น้อย



$$Ah = \frac{P_{Load}}{V_{Batt} \times DOD} \times T_{Batt} \quad (2-3)$$

- เมื่อ  $Ah$  คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Ah)  
 $V_{Batt}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V)  
 $DOD$  คือ ความลึกของการคายประจุ (Deep of discharge) โดยมีค่าประมาณ 25 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับยี่ห้อ และชนิดของแบตเตอรี่  
 $T_{Batt}$  คือ ระยะเวลาในการจ่ายประจุพลังงานในแต่ละวัน (ชั่วโมง)

## 2.4 ตัวอย่างการออกแบบปั้มน้ำ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยรวม

จากหัวข้อที่ผ่านมา ได้มีการอธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณหาขนาดปั้มน้ำ และการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะช่วยในการตัดสินใจการเลือกชนิด หรือประเภทของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณหาขนาดปั้มน้ำ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับใช้ในงานวิจัย โดยมีตัวอย่างการออกแบบดังนี้

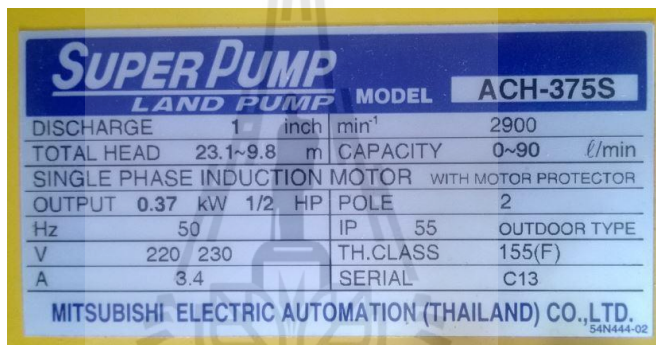
ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสมมติสถานการณ์ว่ามีการปลูกผักสวนครัวในพื้นที่ 1 ไร่ เลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ ที่มีอัตราการให้น้ำโดยรวมอยู่ที่ 4,000 ลิตรต่อชั่วโมง (L/hr) ที่แรงดันน้ำประมาณ 1 บาร์ (bar) และมีการให้น้ำวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง การคำนวณหาขนาดพิกัดของปั้มน้ำหอยโข่ง และระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นดังนี้

จากสถานการณ์ดังกล่าว พบว่าจะต้องเลือกปั้มน้ำที่มีอัตราการไหล เท่ากับ 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ( $m^3/hr$ ) และมีระยะส่งสูงประมาณ 10 m เพื่อทำให้เกิดแรงดันน้ำประมาณ 1 bar เนื่องจากมีการสูญเสียแรงดันภายในท่อจึงต้องทำการเผื่อระยะส่งสูงอีก 30 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นระยะส่งสูงของปั้มน้ำจะเท่ากับ 13 m ด้วยเหตุนี้จะต้องทำการเลือกปั้มน้ำที่มีอัตราการไหลอย่างน้อย  $4 m^3/hr$  ที่ระยะส่งสูงมากกว่า 13 m โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ปั้มน้ำหอยโข่งของบริษัทมิซูบิชิ ซึ่งมีตารางแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.3

MODEL	HP	Current (A)			FLOW RATE	m <sup>3</sup> /Hr	TOTAL HEAD (m.)														
		1Ø, 220V	3Ø, 220V	3Ø, 380V			0	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	6.6	8.4	9.0	10.8	12.0	12.6	12.6		
1Ø, 220V 50Hz	3Ø, 220V/380V 50Hz				l/min.	0	20	40	60	80	90	100	120	140	160	180	200	220			
ACH-375S	-	1/2	3.3	-	-	23.5	21.4	20.0	17.4	13.7	10.2	-	-	-	-	-	-	-			
WCH-755S	-	1	7.2	-	-	37.3	33.7	31.9	29.9	26.5	23.5	20.4	12.0	-	-	-	-	-			
WCH-1105S	-	1 1/2	8.0	-	-	40.2	36.8	35.4	33.3	30.0	27.4	24.8	15.2	-	-	-	-	-			
WCH-1505S	WCH-1505T	2	14.0	8.5	4.9	48.3	47.8	46.6	44.8	42.2	40.5	38.8	30.4	21.9	-	-	-	-			
WCH-2205S	WCH-2205T	3	16.8	9.9	5.7	56.4	52.4	50.7	49.0	46.5	45.0	43.4	38.1	30.4	21.2	-	-	-			
WCH-3705S	WCH-3705T	5	26.8	16.8	9.4	62.5	59.7	56.8	54.9	53.5	52.5	51.6	49.6	47.1	44.0	40.1	34.6	28.4			

รูปที่ 2.3 ตารางแสดงรายละเอียดปั๊มน้ำหอยโข่งของบริษัทมิตซูบิชิ

จากตารางในรูปที่ 2.3 พบว่ารุ่นที่เหมาะสมกับความต้องการ คือ ACH-375S เนื่องจากที่ระยะส่งสูงเท่ากับ 13.7 m มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 4.8 m<sup>3</sup>/hr ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน โดยแผนป้ายแสดงรายละเอียดของปั๊มคู่นี้ได้จากรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนป้ายแสดงรายละเอียดของปั๊มน้ำมิตซูบิชิ รุ่น ACH-375S

ลำดับถัดมาทำการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถเก็บ และจ่ายพลังงานให้เพียงพอต่อการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน อันดับแรกคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของปั๊มน้ำ จากการคูณกันระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่พิกัดซึ่งมีค่าเท่ากับ  $220 \times 3.4 = 748 \text{ W}$  เมื่อทราบพิกัดของโหลดแล้ว ในลำดับถัดมาทำการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ และแบตเตอรี่ โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

– ขั้นตอนที่ 1

คำนวณหาค่าความจุพลังงานของแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับโหลด เนื่องจากแบตเตอรี่จะต้องทำหน้าที่เก็บพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และทยอยจ่ายพลังงานที่เก็บไว้ให้กับโหลด จากสถานการณ์ดังกล่าวพบว่าแบตเตอรี่ที่ใช้จะต้องเก็บพลังงานให้เพียงพอสำหรับจ่ายให้กับมอเตอร์ของปั๊มน้ำที่กำลังไฟฟ้า ( $P_{Load}$ ) เท่ากับ 748 W เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยในงานวิจัยนี้ใช้แบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า ( $V_{Batt}$ ) เท่ากับ 48 V (แบตเตอรี่ 12 V ต่ออนุกรมกัน 4 ลูก) และ

กำหนดให้ค่าความลึกของการคลายประจุ (*DOD*) ของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณหาค่าความจุพลังงานของแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ (2-3) ดังนี้

$$Ah = \frac{748}{48 \times 0.6} \times 2 = 51.91 \text{ Ah}$$

ดังนั้นจะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดันเท่ากับ 48 V และมีค่าความจุพลังงานมากกว่า 51.91 Ah ในงานวิจัยจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีค่าความจุเท่ากับ 75 Ah

– **ขั้นตอนที่ 2**

ทำการคำนวณหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการที่ (2-1) ดังนี้

$$P_{cell} = \frac{748}{4 \times 0.6} = 343.75 \text{ W.hr}$$

จากการคำนวณพบว่าจะต้องเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังไฟฟ้ามากกว่า 343.75 W และมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมแผงมากกว่า 48 V (พิกัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานวิจัย) เพราะฉะนั้นในงานวิจัยจึงเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมแผงเท่ากับ 39 V และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 250 W ต่ออนุกรมกัน 2 แผง ซึ่งทำให้ค่าของแรงดันตกคร่อมแผง และกำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 78V และ 500W ตามลำดับ

– **ขั้นตอนที่ 3**

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบขนาดพิกัดของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่จากการออกแบบในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 พบว่าพิกัดแรงดันของแบตเตอรี่ ( $V_{Batt}$ ) มีค่าเท่ากับ 48 V และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $P_{cell}$ ) มีค่าเท่ากับ 500 W ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้ในการคำนวณหาพิกัดกระแสของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่สามารถคำนวณค่าพิกัดกระแสได้จากสมการที่ (2-2) ดังแสดงต่อไปนี้

$$I_{Batt} = \frac{500}{48} = 10.41 \text{ A}$$

ดังนั้นจะต้องเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดันเท่ากับ 48V และมีพิกัดกระแสมากกว่า 10.41 A โดยในงานวิจัยเลือกใช้เครื่องควบคุมการชาร์จที่พิกัดกระแสเท่ากับ

จากการออกแบบบิ๊มน้ำ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านมาสามารถแสดงค่าพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้และรูปอุปกรณ์สำหรับสถานการณ์สมมติในงานวิจัยได้ดังตารางที่ 2.1 และ ภาคผนวก ข. ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 พิกัดบิ๊มน้ำ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์	พิกัด
1. บิ๊มน้ำหอยโข่งไฟฟ้า 0.5 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง	220V, 3.4 A
2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2 แผง	39V, 250 W
3. เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ จำนวน 1 เครื่อง	48V, 20A
4. แบตเตอรี่ จำนวน 4 ลูก	12V, 75 Ah

## 2.5 สรุป

การอธิบายเนื้อหาในบทนี้แนะนำเสนอหลักการออกแบบบิ๊มน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการน้ำของพืช และยังมีคำแนะนำเสนอหลักการทำงาน และการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน อีกทั้งมีการแสดงตัวอย่างการออกแบบบิ๊มน้ำ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากเหตุการณ์สมมติ และมีการอธิบายถึงรายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งการมีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องดังกล่าว จะช่วยป้องกันการเลือกขนาดพิกัดของอุปกรณ์ที่มากเกินไปจนสิ้นเปลือง ซึ่งส่งผลให้มีค่าจ่ายสูงเกินจริง อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้น้ำของพืชจะไม่คงที่ตลอดเวลา แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงอายุของพืช สภาพอากาศ และฤดูกาล จึงส่งผลให้ในบางครั้งจะต้องมีการควบคุมปริมาณการให้น้ำแก่พืชให้มีความเหมาะสม เนื่องจากให้น้ำที่มากเกินไปจนสิ้นเปลืองจะก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบ เช่น เกิดการชะล้างปุ๋ย และทำลายหน้าดิน อีกทั้งยังทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำ และพลังงาน ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษา และสร้างชุดวงจรขับเคลื่อนบิ๊มน้ำไฟฟ้าที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้ได้ตามต้องการ เพื่อใช้สำหรับกรณีที่ต้องการควบคุมปริมาณการให้น้ำแก่พืช โดยในบทที่ 3 แนะนำเสนอหลักการออกแบบ และสร้างวงจรระบบขับเคลื่อนบิ๊มน้ำไฟฟ้า บทที่ 4 แนะนำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำ และบทที่ 5 เป็นการแสดงผลการทดสอบระบบขับเคลื่อนบิ๊มน้ำ

## บทที่ 3

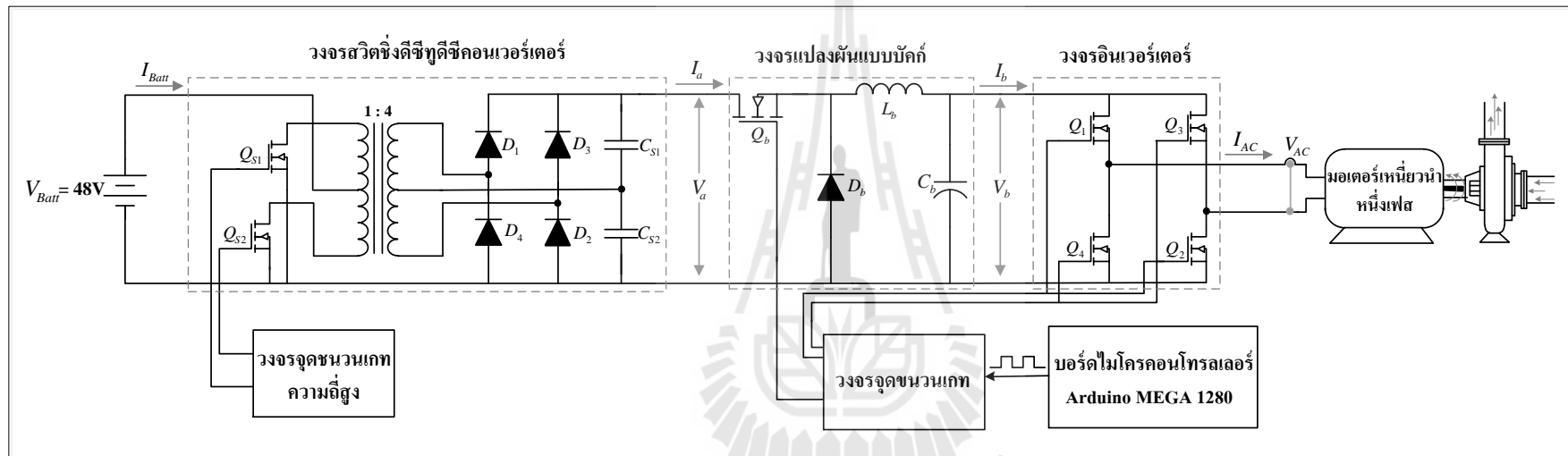
### โครงสร้างฮาร์ดแวร์สำหรับระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า

#### 3.1 บทนำ

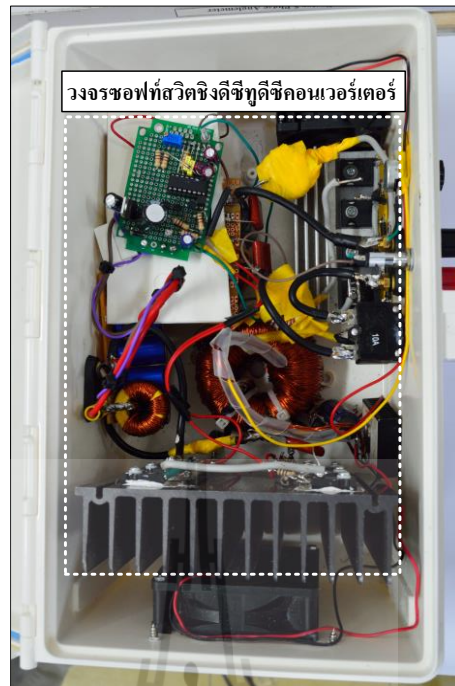
ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าในงานวิจัยนี้จะทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายที่เป็นแบตเตอรี่ และแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั้มน้ำ เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของวงจรขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า รายละเอียดการออกแบบ และการทดสอบวงจรต่าง ๆ ซึ่งการออกแบบพิกัดแรงดัน และพิกัดกระแสให้เหมาะสมกับการใช้งานจะช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจร นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยยังได้นำเสนอ โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของชุดตรวจวัดความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความเร็วรอบของปั้มน้ำในขณะที่ใช้งานไว้ด้วยเช่นกัน

#### 3.2 โครงสร้างของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า

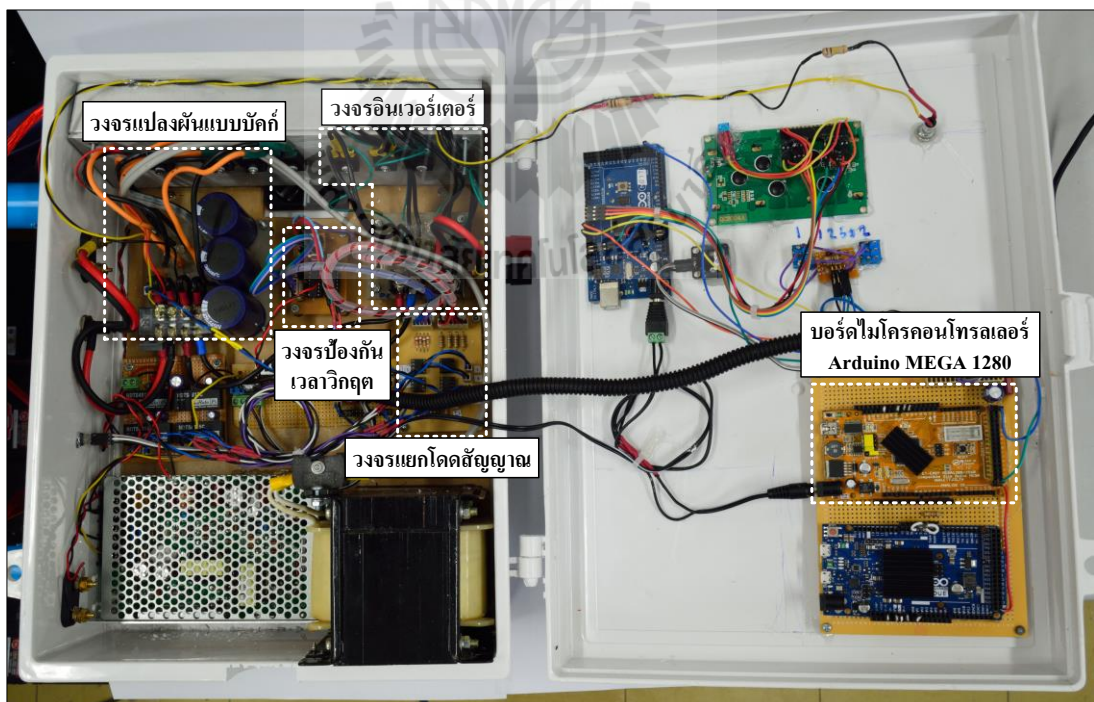
ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าจะทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ อีกทั้งระบบขับเคลื่อนดังกล่าวยังสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้มีค่าตามต้องการ เพื่อรองรับกับระบบที่มีตัวควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งจะอธิบายในบทที่ 4 โดยส่วนประกอบภายในของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำจะประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ วงจรซอฟต์แวร์สวิชชิงดิจิตอลชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรแปลงผันแบบบัคค์ วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรจูดชนวนเกท และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ในงานวิจัยนี้จะทำการควบคุมการสวิชชิงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังของวงจรแปลงผันแบบบัคค์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA 1280 (Arduino MEGA 1280) ผ่านวงจรจูดชนวนเกท โดยภาพรวมของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำที่ใช้งานจริงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 สำหรับหัวข้อถัดไป จะเป็นการอธิบายถึงหลักการทำงาน การออกแบบ และการทดสอบวงจรต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า



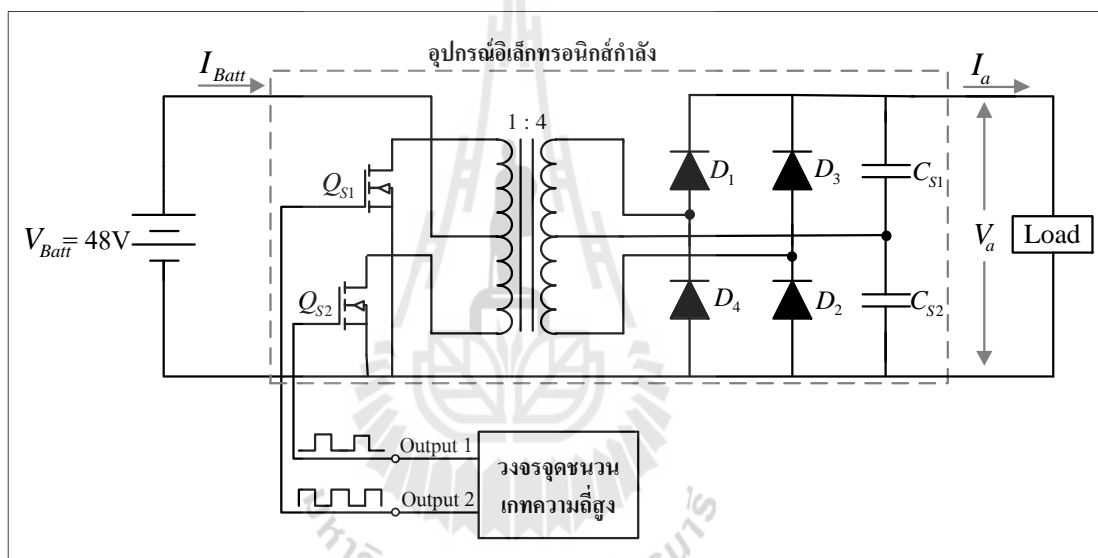
รูปที่ 3.2 ภาพรวมระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำที่ใช้งานจริงในส่วนวงจรซอฟต์แวร์สวิตซิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.3 ภาพรวมระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำที่ใช้งานจริงในส่วนวงจรแปลงผันแบบบัคค์และวงจรอินเวอร์เตอร์

### 3.3 วงจรซอฟต์แวร์สวิตซิ่งดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

วงจรซอฟต์แวร์สวิตซิ่งดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่ใช้สำหรับเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงชนิดคงค่าแรงดัน ซึ่งมีจุดเด่น คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และประสิทธิภาพสูง โดยหลักการทำงานของวงจรมุ่งเน้นที่ การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณรูปพัลส์ ความถี่สูงด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังก่อนจ่ายให้กับหม้อแปลงเพื่อเพิ่มระดับแรงดัน และผ่านวงจรเรียงกระแส (rectifier) อีกครั้ง เพื่อเปลี่ยนสัญญาณรูปพัลส์ความถี่สูงให้เป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสตรง โดยลักษณะโครงสร้างของวงจรซอฟต์แวร์สวิตซิ่งดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 3.4



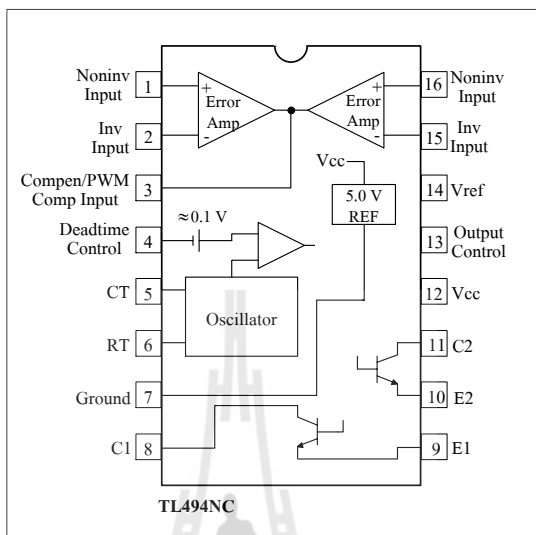
รูปที่ 3.4 วงจรซอฟต์แวร์สวิตซิ่งดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

#### 3.3.1 การออกแบบวงจร

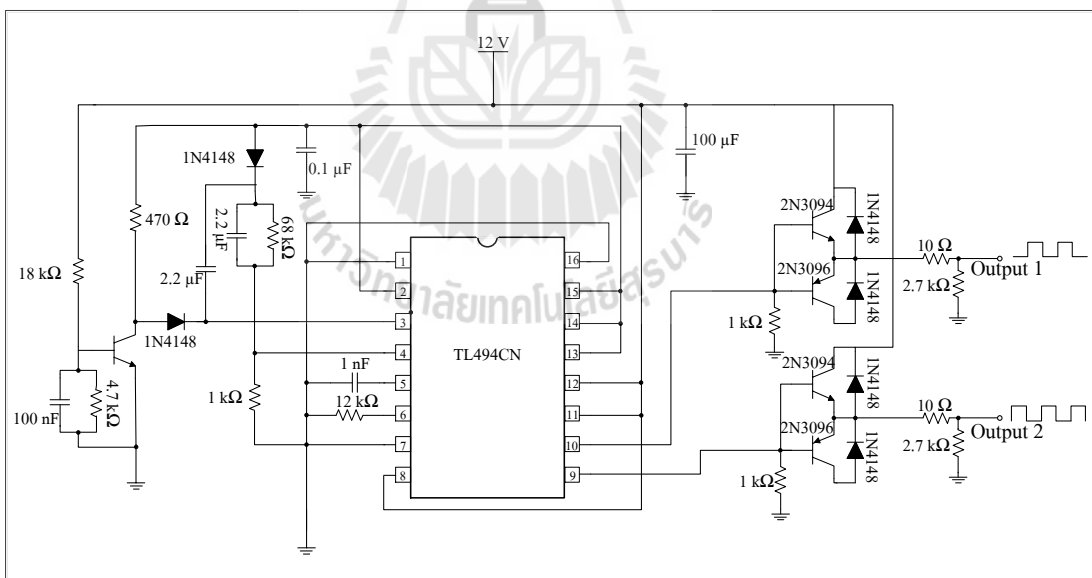
สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรซอฟต์แวร์สวิตซิ่งดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วงจรจุดชนวนเกตความถี่สูง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง สำหรับในส่วนวงจรจุดชนวนเกตความถี่สูงทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง เพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์  $Q_{S1}$  และ  $Q_{S2}$  โดยในงานวิจัยนี้ใช้ไอซี เบอร์ TL494NC สำหรับสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง ซึ่งโครงสร้างของไอซีเบอร์ TL494NC แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยมีลักษณะการต่อวงจรเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งมีการอธิบายไว้ในเอกสารข้อมูล (data sheet) ของตัวอุปกรณ์ และสามารถแสดงวงจรที่สร้างจริงได้ดังรูปที่ 3.7 เมื่อทำการทดสอบวงจรโดยการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรเท่ากับ 12 V จะทำให้ได้สัญญาณพัลส์เอาต์พุตที่มีค่าความถี่



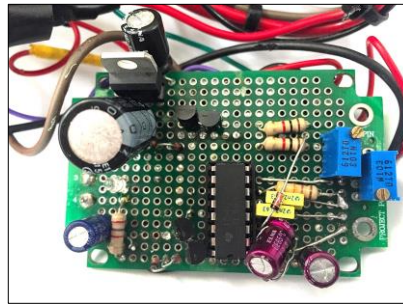
ประมาณ 23 kHz ดังรูปที่ 3.8 โดยสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณพัลส์เอาต์พุต 1 (Output 1) และสัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณพัลส์เอาต์พุต 2 (Output 2) ตามลำดับ



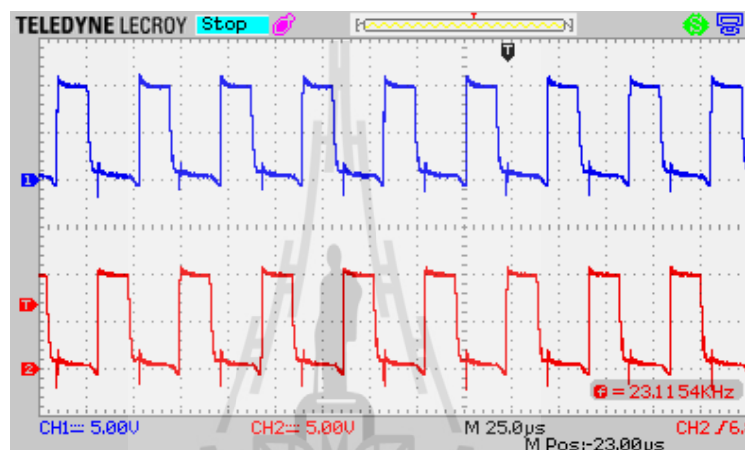
รูปที่ 3.5 โครงสร้างของไอซี TL494CN



รูปที่ 3.6 วงจรจุดชนวนเกทความถี่สูง



รูปที่ 3.7 วงจรจุดชนวนเกทความถี่สูงที่สร้างจริง



รูปที่ 3.8 สัญญาณพัลส์จากวงจรจุดชนวนเกทความถี่สูง

สำหรับในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ประกอบด้วยสวิตช์ ( $Q_{S1}$ ,  $Q_{S2}$ ) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้มอสเฟต (Mofet) หม้อแปลง ไดโอด ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ ) และตัวเก็บประจุ ( $C_{S1}$ ,  $C_{S2}$ ) โดยการออกแบบพิกัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังดังกล่าวจะคำนึงถึงพิกัดของแรงดันและกระแสเป็นสำคัญ โดยในเบื้องต้นจะทำการพิจารณาพิกัดดังกล่าวจากพิกัดของโหลด ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั้มน้ำไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งพิกัดของมอเตอร์สามารถดูได้จากป้ายแสดงรายละเอียดของปั้มน้ำมิตซูบิชิ รุ่น ACH-375S ดังรูปที่ 2.4 ในบทที่ผ่านมา จากแผ่นป้ายดังกล่าวพบว่า มีค่าพิกัดกระแสเท่ากับ 3.4 A และมีค่าพิกัดแรงดันเท่ากับ 220 V ในขณะที่พิกัดดังกล่าวอยู่ในรูปแบบที่เรียกว่า ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) ซึ่งในงานวิจัยจะทำการออกแบบให้ค่าของกระแส และแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรซอฟต์สวิตชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีค่ามากกว่าค่ายอดกระแส (peak) และค่ายอดของแรงดันที่พิกัดของมอเตอร์ เนื่องจากต้องการให้ค่าของกระแส และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตของวงจรมีค่าสูงเพียงพอก่อนที่จะเข้าวงจรแปลงผันแบบบัคค์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการเพิ่มค่าพิกัดดังกล่าวขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้ดำเนินงานวิจัย โดยในงานวิจัยได้ทำการเพิ่มค่าพิกัดของ

ค่ายอดกระแส และแรงดันดังกล่าวอีก 25 เปอร์เซ็นต์ จากพิกัดค่ายอดกระแส และแรงดันของมอเตอร์ เพราะฉะนั้นสามารถแสดงการออกแบบวงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้ดังนี้

จากค่าพิกัดกระแส และแรงดันของมอเตอร์ที่ผ่านมา พบว่ามีค่ายอดของกระแสเท่ากับ 4.8 A และค่ายอดแรงดันเท่ากับ 311.12 V ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3-1) และ (3-2) ตามลำดับ

$$I_{peak} = \sqrt{2}I_{rms} = \sqrt{2} \times 3.4 = 4.8 \text{ A} \quad (3-1)$$

$$V_{peak} = \sqrt{2}V_{rms} = \sqrt{2} \times 220 = 311.12 \text{ V} \quad (3-2)$$

เมื่อทำการเพิ่มค่าพิกัดค่ายอดของกระแส และแรงดันดังกล่าวอีก 25 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นวงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ จะมีค่าพิกัดกระแสเอาต์พุต ( $I_a$ ) เท่ากับ  $4.8 + (0.25 \times 4.8) = 6 \text{ A}$  และมีค่าพิกัดแรงดันเอาต์พุต ( $V_a$ ) เท่ากับ  $311.12 + (0.25 \times 311.12) = 388.9 \text{ V}$  ในงานวิจัยใช้ประมาณ 400 V ในขณะที่ทราบค่าพิกัดแรงดัน และกระแสเอาต์พุตแล้ว สามารถคำนวณหาค่าของแรงดัน และกระแสอินพุตได้จากความสัมพันธ์ของกำลังงานไฟฟ้า โดยในงานวิจัยจะทำการสมมติให้ไม่มีกำลังงานสูญเสียเกิดขึ้นในวงจรดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และการวิเคราะห์วงจร ด้วยเหตุนี้จึงกำหนดให้กำลังงานไฟฟ้าอินพุตมีค่าเท่ากับกำลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต ( $P_{in} = P_{out}$ ) เนื่องจากแหล่งจ่ายอินพุตของวงจรเป็นแบตเตอรี่ที่มีพิกัดแรงดันเท่ากับ 48 V จึงทำให้พิกัดแรงดันอินพุต ( $V_{Batt}$ ) มีค่าเท่ากับ 48 V ดังนั้นกระแสไฟฟ้าอินพุต ( $I_{Batt}$ ) จึงมีค่าเท่ากับ 50 A สามารถแสดงค่าพิกัดแรงดัน และพิกัดกระแสสำหรับวงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พิกัดแรงดัน และพิกัดกระแสของวงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

อินพุตของหม้อแปลง		เอาต์พุตของหม้อแปลง	
แรงดันไฟฟ้า	48 V	แรงดันไฟฟ้า	400 V
กระแสไฟฟ้า	50 A	กระแสไฟฟ้า	6 A

สำหรับการออกแบบขนาดพิกัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังสามารถพิจารณาค่าต่าง ๆ ได้จากตารางที่ 3.1 ซึ่งพบว่ามีความแรงดันอินพุตเท่ากับ 48 V กระแสอินพุตเท่ากับ 50 A แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 400 V และกระแสเอาต์พุตเท่ากับ 6 A เมื่อทำการพิจารณาค่าพิกัดดังกล่าวร่วมกับค่าตัวประกอบนิรภัย (safety factor) 25 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นค่าพิกัดของอุปกรณ์ด้านอินพุตจะต้องมีค่าพิกัดแรงดันมากกว่า 60 V และมีค่าพิกัดกระแสมากกว่า 62.5 A ในขณะที่ด้านเอาต์พุตจะต้องมีค่าพิกัดแรงดันมากกว่า 500 V และค่าพิกัดกระแสมากกว่า 7.5 A ด้วยเหตุนี้ค่าพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

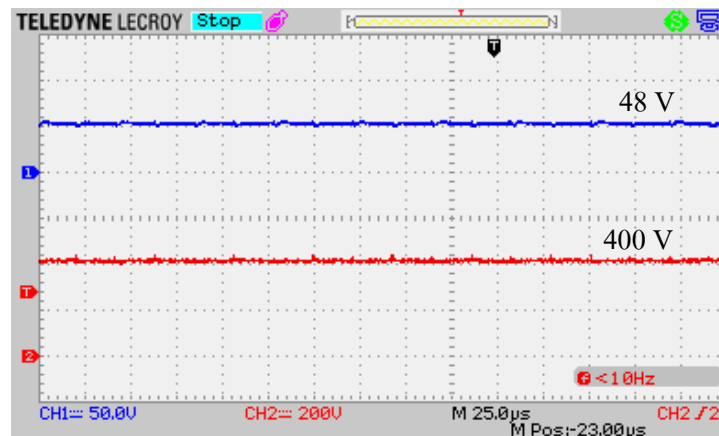
ตารางที่ 3.2 พิกัดอุปกรณ์ของวงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

อุปกรณ์	พิกัด	รายละเอียด
1. มอสเฟต(MOSFET)	200V, 33 A	N-Channel MOSFET เบอร์ IRFP250
2. ไดโอด	600 V, 80 A	เบอร์ RURG8060
3. ตัวเก็บประจุ 1000 $\mu$ F	500 V	Electrolytic Capacitor

หมายเหตุ เนื่องจากมอสเฟตที่พิกัดกระแสสูง ๆ มีราคาแพง ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงนำมอสเฟต 3 ตัว มาต่อขนานกันเพื่อเพิ่มพิกัดกระแสเป็น 99 A นอกจากนี้การออกแบบดังกล่าวพิจารณาเฉพาะการทำงานในสภาวะคงตัว (steady state) เท่านั้น

### 3.3.2 ผลการทดสอบ

การทดสอบวงจรวงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ดำเนินการทดสอบโดยการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรจุดชนวนเกทความถี่สูงเท่ากับ 12 V และทำการเชื่อมต่อด้านอินพุตของวงจรเข้ากับแบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 48 V ลำดับสุดท้ายทำการเชื่อมต่อโหลดกับด้านเอาต์พุตของวงจร ซึ่งเป็นโหลดไฟขนาด 300 W สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 3.9 โดยช่องสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณอินพุตของวงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ และช่องสัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

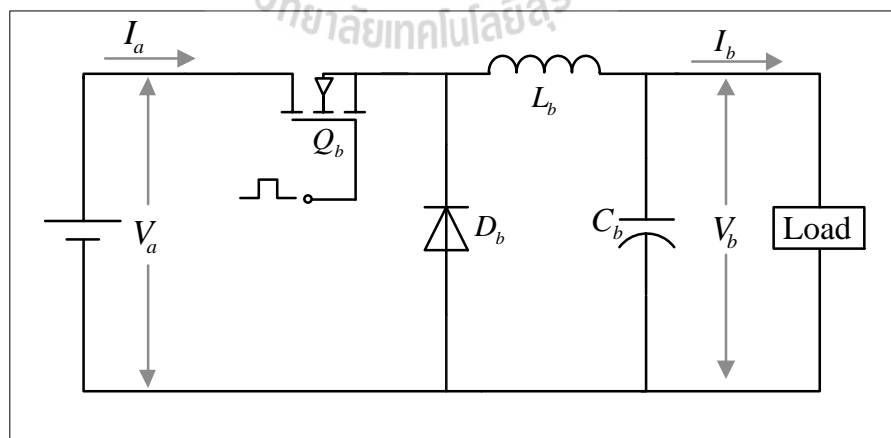


รูปที่ 3.9 ผลการทดสอบวงจรซอฟต์แวร์สวิตซิงค์ซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์

จากผลการทดสอบการทำงานของวงจรซอฟต์แวร์สวิตซิงค์ซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 3.9 พบว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีลักษณะเป็นไปตามที่ได้มีการอธิบายการทำงานไว้ในเบื้องต้น

### 3.4 วงจรแปลงผันแบบบัคค์

วงจรแปลงผันแบบบัคค์ เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้สำหรับปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตให้มีค่าต่ำกว่า หรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต โดยโครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบบัคค์ประกอบด้วย สวิตช์มอสเฟต ไดโอด ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ แสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรแปลงผันแบบบัคค์

ในงานวิจัยจะใช้วงจรแปลงผันแบบบัคค์ในการปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ ( $V_a$ ) ที่มีค่าประมาณ 400 V ให้มีค่าแรงดันเอาต์พุต ( $V_b$ ) อยู่ในช่วง 100 ถึง 300 V ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคค์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle :  $d$ ) ที่ใช้ในการสวิทซ์ สามารถคำนวณค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคค์ ( $V_b$ ) (Mahammad H. Rashid, 2004) ได้จากสมการที่ (3-3)

$$V_b = dV_a \quad (3-3)$$

จากสมการที่ (3-3) พบว่าเมื่อค่าวัฏจักรหน้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าวัฏจักรหน้าที่ลดลง แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวจะส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเป็นการปรับค่ายอดแรงดัน (peak) ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ( $V_{AC}$ ) ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ด้วยเหตุนี้ การควบคุมความเร็วรอบจึงสามารถทำได้โดยการควบคุมค่าวัฏจักรหน้าที่ของสวิทซ์  $Q_b$  ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยวงจรการแปลงผันแบบบัคค์ เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำ โดยอาศัยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ด้วยตัวควบคุมแบบพีซี ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวจะอธิบายในบทที่ 4

### 3.4.1 การออกแบบวงจร

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าวงจรแปลงผันแบบบัคค์ ประกอบด้วย สวิทซ์ในงานวิจัยใช้ MOSFET ไดโอด ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ โดยการออกแบบจะต้องคำนึงถึงพิกัดแรงดันและกระแสเป็นสำคัญ โดยทำการคำนวณหาพิกัดกระแสจากโหลดของระบบ และคำนวณหาพิกัดแรงดันจากแหล่งจ่ายด้านอินพุตของวงจร จากหัวข้อที่ 3.3.1 พบว่าที่การทำงานในสภาวะคงตัว ค่ายอดกระแสของมอเตอร์เท่ากับ 4.8 A ซึ่งในขณะที่เริ่มเดินเครื่องขนาดของกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าของค่ากระแสพิกัด (Veera T, 2013) หรือมีค่ายอดเท่ากับ 9.6 A เมื่อคำนึงถึงค่าตัวประกอบนิรภัย 25 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีค่าพิกัดกระแสเท่ากับ  $9.6 + (0.25 \times 9.6) = 12 \text{ A}$  ในขณะที่แหล่งจ่ายด้านอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบัคค์เป็นวงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีพิกัดแรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 400 V เมื่อคำนึงถึงค่าตัวประกอบนิรภัย 25 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นอุปกรณ์จะต้องมีค่าพิกัดแรงดันเท่ากับ  $400 + (0.25 \times 400) = 500 \text{ V}$

สำหรับในส่วนของการออกแบบขนาดของตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุในวงจรแปลงผันแบบบัคก็จะมีส่วนช่วยทำให้ค่ากระแสพลิว (ripple current:  $\Delta I_L$ ) และค่าแรงดันพลิว (ripple voltage:  $\Delta V_{out}$ ) อยู่ในระดับที่เหมาะสม และยอมรับได้ สามารถคำนวณขนาดของตัวเหนี่ยวนำ ( $L_b$ ) ได้ดังสมการที่ (3-4) และคำนวณขนาดของตัวเก็บประจุ ( $C_b$ ) ได้ดังสมการที่ (3-5) (Muhammad H. Rashid, 2004) ดังนี้

$$L_b = \frac{V_{out}(V_{in} - V_{out})}{f_s V_{in} \Delta I_L} \quad (3-4)$$

$$C_b = \frac{(1-d)V_{out}}{8Lf_s^2 \Delta V_{out}} \quad (3-5)$$

จากที่กล่าวมา สมการที่ (3-4) และสมการที่ (3-5) เป็นสมการที่ใช้สำหรับออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ และค่าตัวเก็บประจุตามลำดับ การออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ และค่าตัวเก็บประจุสำหรับวงจรแปลงผันแบบบัคที่ใช้ในงานวิจัยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

ในงานวิจัยกำหนดให้ค่ากระแสพลิว ( $\Delta I_L$ ) เท่ากับ 0.5 A ที่ความถี่การสวิตช์ ( $f_s$ ) เท่ากับ 10 kHz ที่แรงดันอินพุต ( $V_a$ ) = 400 V และแรงดันเอาต์พุต ( $V_b$ ) = 100 V เพราะฉะนั้นเมื่อแทนค่าดังกล่าวในสมการที่ (3-4) จะได้

$$L_b = \frac{100(400 - 100)}{10 \times 10^3 \times 400 \times 0.5} = 15 \text{ mH}$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 15 mH

จากเงื่อนไขดังกล่าวสามารถคำนวณหาค่าวัฏจักรหน้าที่ได้จากสมการที่ (3-3) จะได้ค่า  $d = 0.25$  และกำหนดให้แรงดันพลิว ( $\Delta V_{out}$ ) เท่ากับ 5 mV เมื่อแทนค่าดังกล่าวในสมการที่ (3-5) จะได้

$$C_b = \frac{(1 - 0.25)100}{8 \times 15 \times 10^{-3} \times (10 \times 10^3)^2 \times 5 \times 10^{-3}} = 1,250 \text{ } \mu\text{F}$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 1,250  $\mu\text{F}$

หมายเหตุ ในงานวิจัยใช้ตัวเก็บประจุขนาด 470  $\mu\text{F}$  ต่อขนานกัน 3 ตัว มีค่าเท่ากับ 1,410  $\mu\text{F}$

จากการคำนวณขนาดพิกัดของอุปกรณ์ที่ผ่านมา สามารถแสดงค่าพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พิกัดอุปกรณ์ของวงจรแปลงผันแบบบักก์

อุปกรณ์	พิกัด	รายละเอียด
1. มอสเฟส จำนวน 1 ชิ้น	600 V, 20 A	N-Channel MOSFET เบอร์ IRFP460
2. ไดโอด จำนวน 1 ชิ้น	600 V, 80 A	เบอร์ RURG8060
3. ตัวเหนี่ยวนำ 15 mH จำนวน 1 ชิ้น	500V, 10A	DC Choke
4. ตัวเก็บประจุ 470 $\mu$ F จำนวน 3 ชิ้น	500 V	Electrolytic Capacitor

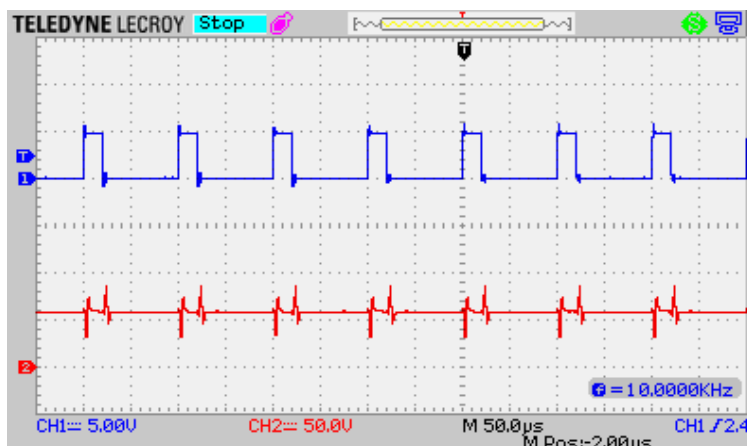
### 3.4.2 ผลการทดสอบ

การทดสอบวงจรแปลงผันแบบบักก์ ดำเนินการทดสอบโดยการเชื่อมต่อด้านอินพุตของวงจรกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าเท่ากับ 300 V ซึ่งเป็นค่าแรงดันสูงสุดที่ใช้งาน แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ของมอสเฟส ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 1280 ผ่านวงจรจุดชนวนเกท โดยการทดสอบดังกล่าวมีโหลดเป็นหลอดไฟขนาด 300 W ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่จะส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบักก์แปรเปลี่ยนไป สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 3.4 และแสดงรูปผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.14 โดยช่องสัญญาณที่ 1 เป็นรูปสัญญาณจุดชนวน จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในขณะที่อีกช่องสัญญาณที่ 2 เป็นรูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบักก์

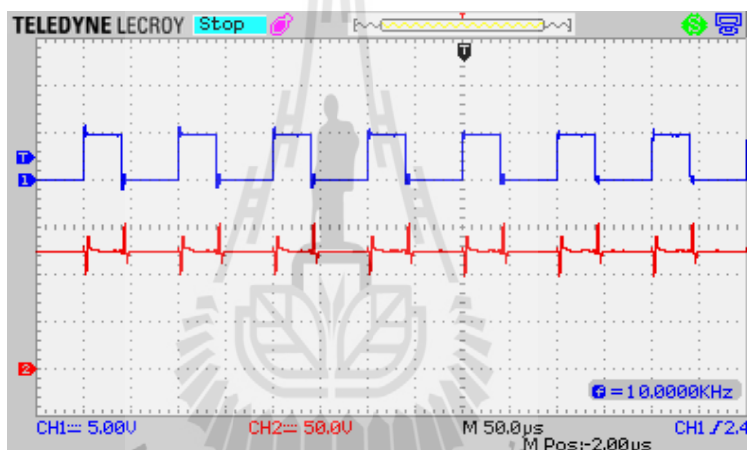
ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบักก์

ค่าวัฏจักรหน้าที่ (เปอร์เซ็นต์)	$V_a$ (V)	$V_b$ (V)
20	300	58
40		119
60		179
80		239

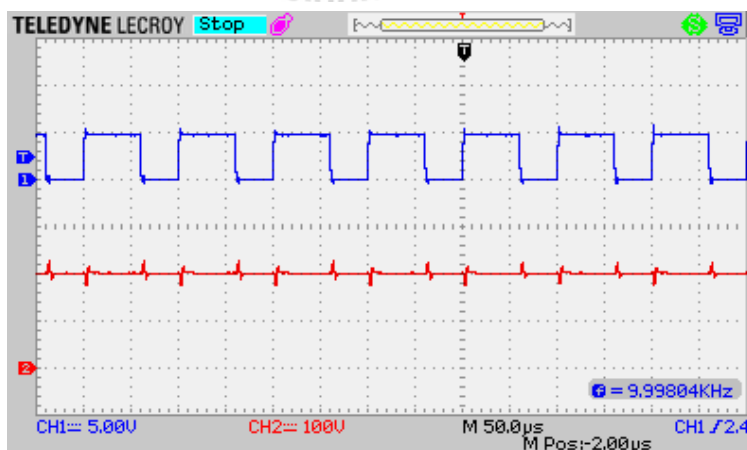




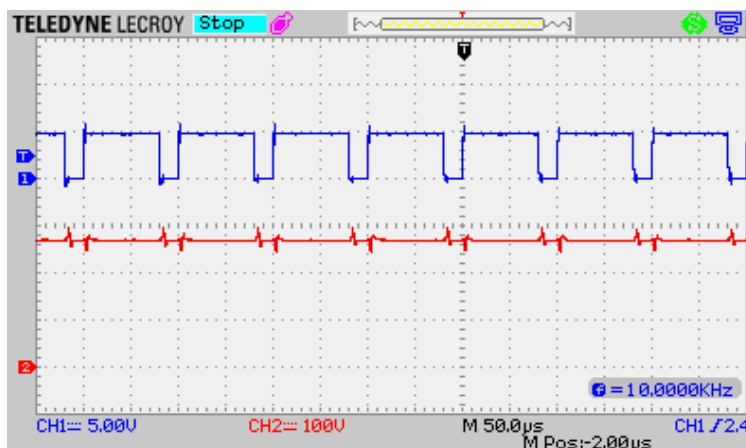
รูปที่ 3.11 ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัลค์ที่ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.12 ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัลค์ที่ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.13 ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัลค์ที่ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์

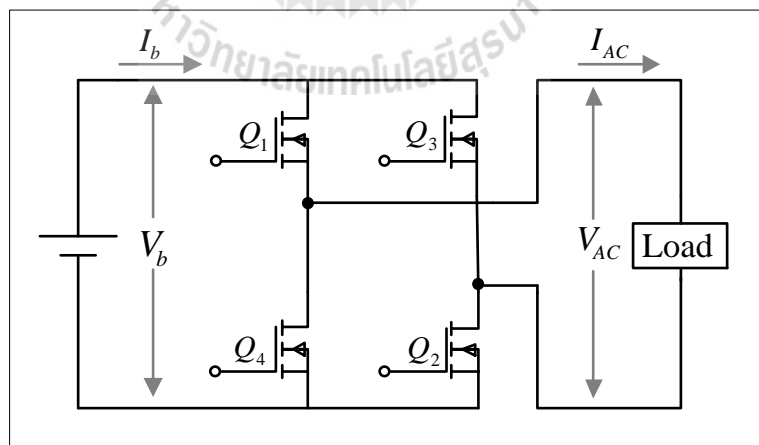


รูปที่ 3.14 ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัคที่ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัคที่ผ่านมา พบว่าระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ ซึ่งมีลักษณะเป็นไปตามที่ได้มีการอธิบายการทำงานไว้ในเบื้องต้น

### 3.5 วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรสำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน

สำหรับหลักการการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 โหมดการทำงาน ซึ่งจะทำงานสลับกันไปเรื่อย ๆ ในช่วงความถี่ 50 Hz (เท่ากับพิกัดความถี่ของมอเตอร์)

โดยแต่ละโหมคการทำงาน สวิตช์จะทำงานครั้งละ 2 ตัว ส่วนสวิตช์ที่เหลืออีก 2 ตัว จะหยุดทำงาน ดังต่อไปนี้

-โหมคการทำงานที่ 1 ในโหมคนี้สวิตช์  $Q_1$  และสวิตช์  $Q_2$  ทำงานในขณะเดียวกันสวิตช์  $Q_3$  และสวิตช์  $Q_4$  จะไม่ทำงาน

-โหมคการทำงานที่ 2 ในโหมคนี้สวิตช์  $Q_3$  และสวิตช์  $Q_4$  ทำงานในขณะเดียวกันสวิตช์  $Q_1$  และสวิตช์  $Q_2$  จะไม่ทำงาน

จากหลักการการทำงานที่ได้อธิบายไว้ในเบื้องต้น จะทำให้รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

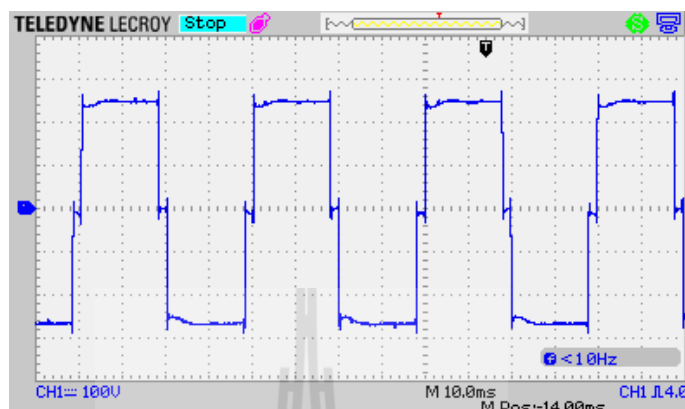
### 3.5.1 การออกแบบ

การออกแบบอุปกรณ์สำหรับสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์จะคำนึงถึงพิกัดแรงดัน และกระแสเป็นสำคัญ จากรูปที่ 3.1 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าโหลดของวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั้มน้ำ เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณหาพิกัดกระแสของอุปกรณ์ได้จากพิกัดกระแสของมอเตอร์ จากหัวข้อที่ 3.4.1 พบว่าที่การทำงานในสถานะคงตัวค่าขดกระแสของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 4.8 A และในขณะที่เริ่มเดินเครื่องจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าของค่ากระแสพิกัด หรือมีค่าขดเท่ากับ 9.6 A เมื่อคำนึงถึงค่าตัวประกอบนิรภัย 25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีค่าพิกัดกระแส เท่ากับ 12 A และสามารถคำนวณหา ค่าพิกัดแรงดันของอุปกรณ์ได้จากแรงดันด้านอินพุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ วงจรแปลงผันแบบบัสค์ โดยวงจรดังกล่าวมีค่าแรงดันเอาต์พุตมากที่สุดเท่ากับ 300 V และเมื่อคำนึง ค่าตัวประกอบนิรภัย 25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ต้องมีค่าพิกัดแรงดัน เท่ากับ  $300 + (0.25 \times 300) = 375$  V โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ออสเฟตที่มีพิกัดแรงดัน เท่ากับ 500 V และพิกัดกระแส 20 A เบอร์ IRFP460

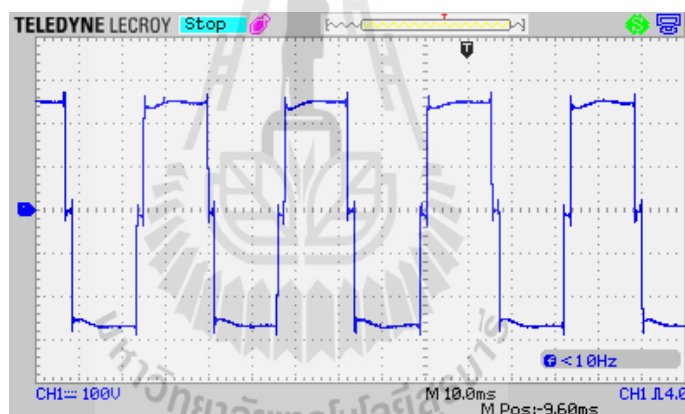
### 3.5.2 ผลการทดสอบ

การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ ทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนคาบเวลาการทำงาน ของโหมคการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัว ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 1280 ผ่านวงจรจุดชนวนเกท โดยทำการเชื่อมต่อด้านอินพุตของวงจรกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าเท่ากับ 235V ซึ่งค่าดังกล่าวจะทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเอาต์พุตมีค่าประมาณ 220 V และทำการเชื่อมต่อด้านเอาต์พุตกับโหลดที่เป็นหลอดไฟขนาด 300 W โดยใน

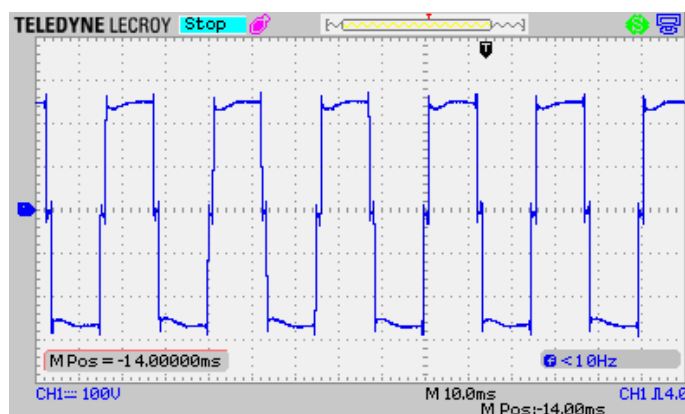
งานวิจัยได้ทำการทดสอบที่ความถี่เท่ากับ 25Hz, 30 Hz, 40 Hz และ 50 Hz แสดงรูปสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ค่าความถี่ต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 3.16 ถึงรูปที่ 3.19



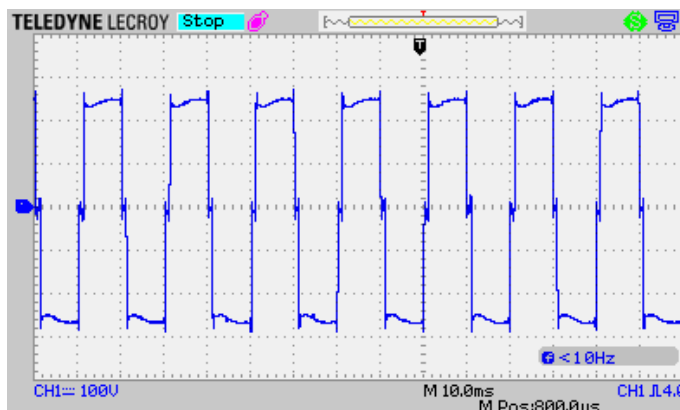
รูปที่ 3.16 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่เท่ากับ 25 Hz



รูปที่ 3.17 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่เท่ากับ 30 Hz



รูปที่ 3.18 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่เท่ากับ 40 Hz

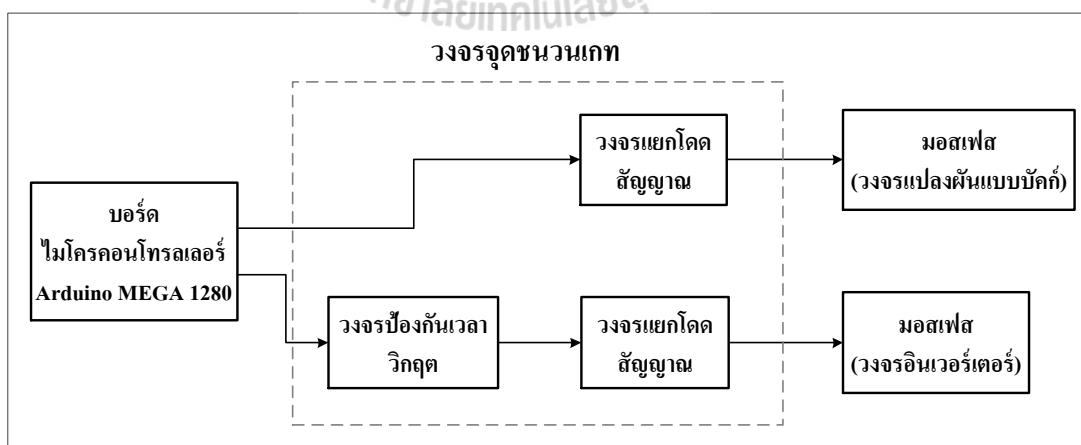


รูปที่ 3.19 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่เท่ากับ 50 Hz

จากผลการทดสอบที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนคาบเวลาดังกล่าว ส่งผลให้ความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีลักษณะเป็นไปตามที่อธิบายไว้ในเบื้องต้น

### 3.6 วงจรจุดชนวนเกท

สำหรับวงจรจุดชนวนเกทของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในวงจรแปลงผันแบบบักค์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ แสดง โครงสร้างแผนภาพบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรจุดชนวนเกทดังรูปที่ 3.20

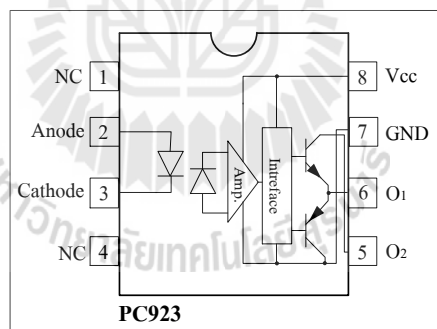


รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรจุดชนวนเกทในระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า

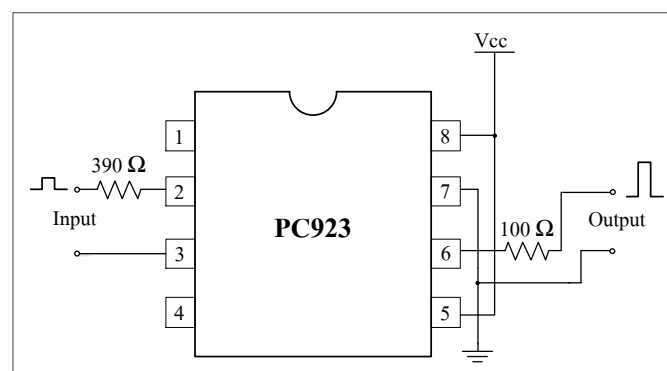
จากบล็อกไดอะแกรมของวงจรจุดชนวนเกทดังรูปที่ 3.20 จะเห็นได้ว่าภายในของวงจรจุดชนวนเกทสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของวงจรแปลงผันแบบบัคค์ที่มีเพียงวงจรแยกโคคัลสัญญาณ และส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่มีวงจรป้องกันเวลาวิกฤติเชื่อมต่อกับวงจรแยกโคคัลสัญญาณ ในหัวข้อถัดไปจะเป็นการอธิบายหลักการทำงาน การออกแบบ และการทดสอบวงจรแยกโคคัลสัญญาณ และวงจรป้องกันเวลาวิกฤติ

### 3.6.1 วงจรแยกโคคัลสัญญาณ

วงจรแยกโคคัลสัญญาณเป็นวงจรที่ใช้สำหรับแยกกราวด์ของสัญญาณใด ๆ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำ โดยวงจรแยกโคคัลสัญญาณจะใช้แยกกราวด์ระหว่างวงจรแปลงผันแบบบัคค์ กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และแยกกราวด์ระหว่างวงจรอินเวอร์เตอร์ กับวงจรป้องกันเวลาวิกฤติ และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.20 โดยในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง หรือเรียกว่า ออปโตคัปปลิง (opto-coupling) ซึ่งอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน คือ ไอซีเบอร์ PC923 ยี่ห้อ SHARP มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.21 และการต่อวงจรไอซีเบอร์ PC923 สำหรับใช้งานจริง ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 โครงสร้างของไอซี PC923



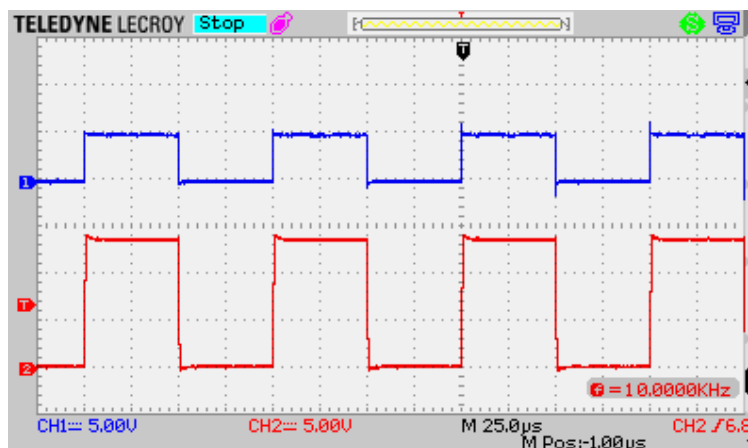
รูปที่ 3.22 วงจรแยกโคคัลสัญญาณสำหรับใช้งานจริง

การออกแบบพารามิเตอร์สำหรับวงจรแยกโคคสัญญาณในรูปที่ 3.22 อาศัยการทดสอบการป้อนสัญญาณอินพุต และพิจารณาลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ เนื่องจากการออกแบบวงจรดังกล่าวไม่ได้มีการอธิบายไว้ในเอกสารข้อมูลของตัวอุปกรณ์ ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจรแยกโคคสัญญาณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ด้วยการพิจารณาจากลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจร ซึ่งการพิจารณาดังกล่าวขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้ดำเนินงานวิจัย เพราะฉะนั้นค่าพารามิเตอร์ของวงจรแยกโคคสัญญาณที่ใช้งานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 3.22 และวงจรที่ใช้งานจริงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วงจรแยกโคคสัญญาณที่สร้างจริง

การทดสอบวงจรแยกโคคสัญญาณ ดำเนินการทดสอบโดยการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรเท่ากับ 15 V และทำการทดสอบโดยจ่ายสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณพัลส์ ในขณะเดียวกันทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร โดยสัญญาณอินพุตรูปพัลส์ที่จ่ายให้กับวงจรมีค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 3.24 โดยช่องสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณอินพุตของวงจรแยกโคคสัญญาณ และช่องสัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแยกโคคสัญญาณ



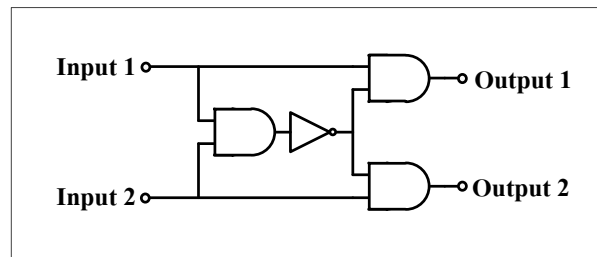
รูปที่ 3.24 ผลการทดสอบวงจรแยกโคตสัญญาณ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 3.24 พบว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีลักษณะเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากมุมเฟสของสัญญาณเอาต์พุตตรงกับสัญญาณอินพุต แต่มีขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณประมาณ 15 V ซึ่งมีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายของไฟเลี้ยงของวงจร

### 3.6.2 วงจรป้องกันเวลาวิกฤต

วงจรป้องกันเวลาวิกฤต เป็นวงจรที่ใช้ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับ วงจรอินเวอร์เตอร์จากการลัดวงจร ซึ่งมีสาเหตุจากการทำงานพร้อมกันของคู่สวิตช์  $Q_1$  กับ  $Q_3$  และสวิตช์  $Q_2$  กับ  $Q_4$  ของวงจรอินเวอร์เตอร์ ถึงแม้ภายในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยการเขียนโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลาไว้แล้วก็ตาม แต่เพื่อให้แน่ใจว่าสวิตช์จะหยุดทำงานทันทีเมื่อมีการส่งสัญญาณที่ผิดพลาดแล้วส่งผลให้สวิตช์  $Q_1$  กับ  $Q_3$  หรือสวิตช์  $Q_2$  กับ  $Q_4$  ของวงจรอินเวอร์เตอร์มีการทำงานพร้อมกัน โดยวงจรป้องกันเวลาวิกฤตประกอบด้วยไอซี AND GATE เบอร์ 7408 และไอซี NOT GATE เบอร์ 7404 เชื่อมต่อกันดังรูปที่ 3.25 ซึ่งหลักการทำงานของวงรดังกล่าว คือ เมื่อสัญญาณอินพุตขาที่ 1 (Input 1) และอินพุตขาที่ 2 (Input 2) มีสถานะเป็นลอจิก HIGH เหมือนกันทั้งคู่ ค่าเอาต์พุตทั้ง 2 ขา (Output 1, Output 2) จะเป็นลอจิก LOW ทันทีเพื่อป้องกันการลัดวงจร แสดงรูปวงจรที่ใช้จริงได้ดังรูปที่ 3.26



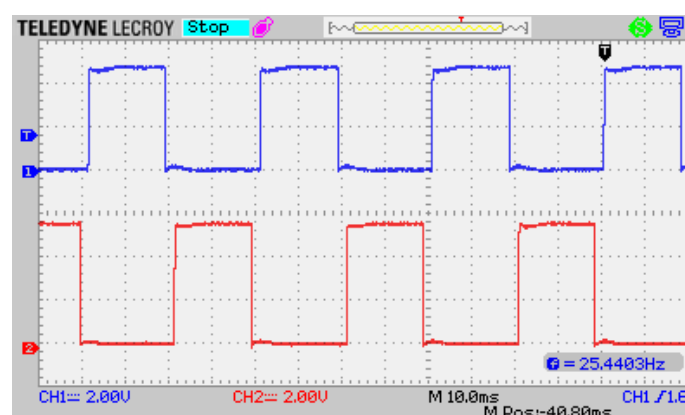


รูปที่ 3.25 วงจรป้องกันเวลาวิกฤต

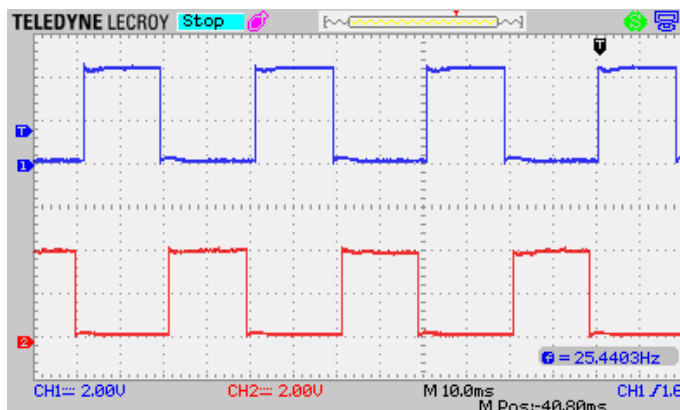


รูปที่ 3.26 วงจรป้องกันเวลาวิกฤตที่ใช้งานจริง

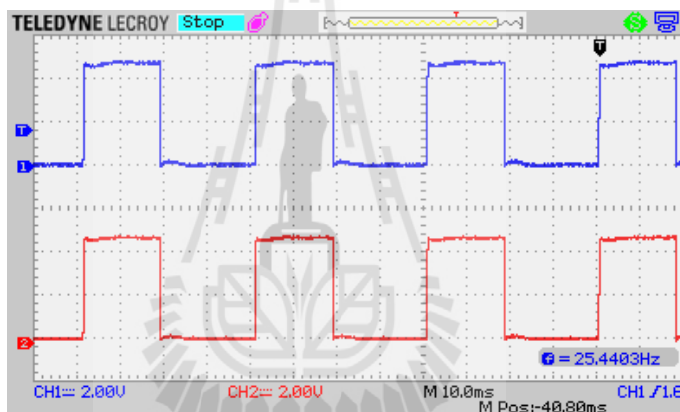
การทดสอบวงจรป้องกันเวลาวิกฤตจะดำเนินการทดสอบโดยการจ่ายไฟเลี้ยงเท่ากับ 5 V และจ่ายสัญญาณพัลส์ให้ด้านอินพุตของวงจร (Input 1, Input 2) แล้วทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร (Output 1, Output 2) โดยทำการทดสอบ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 สัญญาณอินพุตขาที่ 1 และอินพุตขาที่ 2 มีสถานะลอจิกไม่เหมือนกัน (สลับกัน) และกรณีที่ 2 สัญญาณอินพุตขาที่ 1 และอินพุตขาที่ 2 มีสถานะลอจิกเหมือนกัน แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 3.27 ถึงรูปที่ 3.30 ตามลำดับ โดยช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.27 และ 3.28 คือ สัญญาณอินพุตขาที่ 1 (Input 1) และสัญญาณอินพุตขาที่ 2 (Input 2) ตามลำดับ ในขณะที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.28 และ 3.29 คือ สัญญาณเอาต์พุตขาที่ 1 (Output 1) และสัญญาณเอาต์พุตขาที่ 2 (Output 2) ตามลำดับ



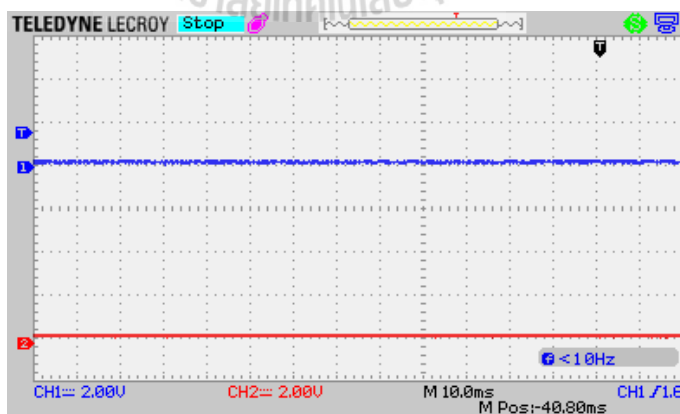
รูปที่ 3.27 สัญญาณอินพุตขาที่ 1 และอินพุตขาที่ 2 มีสถานะลอจิกไม่เหมือนกัน



รูปที่ 3.28 ผลการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตขาที่ 1 และเอาต์พุตขาที่ 2 กรณีสัญญาณอินพุตมีสถานะลอจิกไม่เหมือนกัน



รูปที่ 3.29 สัญญาณอินพุตขาที่ 1 และอินพุตขาที่ 2 มีสถานะลอจิกเหมือนกัน

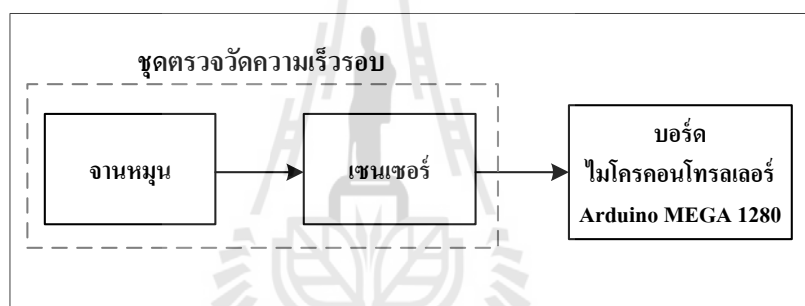


รูปที่ 3.30 ผลการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตขาที่ 1 และเอาต์พุตขาที่ 2 กรณีสัญญาณอินพุตมีสถานะลอจิกเหมือนกัน

จากผลการทดสอบวงจรป้องกันเวลาวิกฤตพบว่าเอาต์พุตจะมีลอจิกเป็น LOW เมื่อสัญญาณอินพุตขาที่ 1 และอินพุตขาที่ 2 มีลอจิกเป็น HIGH ทั้งคู่ ซึ่งมีลักษณะการทำงานเป็นไปตามที่อธิบายไว้ในข้างต้น

### 3.7 ชุดตรวจวัดความเร็วรอบ

ชุดตรวจวัดความเร็วรอบ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดค่าความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำในขณะทำงาน และนำข้อมูลที่ได้อ้อมวลผลด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงผลที่หน้าจอในหน่วยรอบต่อนาที (rpm) และเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับการประมวลผลของตัวควบคุม ซึ่งจะมีการอธิบายไว้ในบทที่ 4 โดยสามารถแสดงแผนภาพบล็อกไดอะแกรมของชุดตรวจวัดความเร็วรอบมอเตอร์ได้ดังรูปที่ 3.31

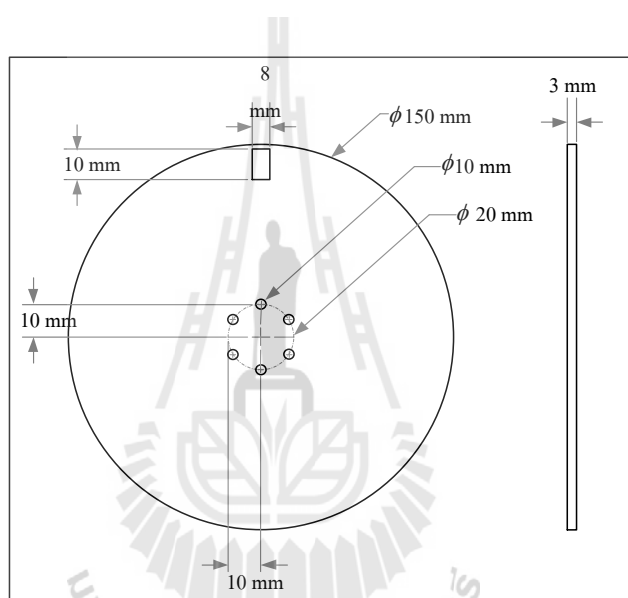


รูปที่ 3.31 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของชุดตรวจวัดความเร็วรอบมอเตอร์

จากแผนภาพบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.31 แสดงให้เห็นว่าชุดตรวจวัดความเร็วรอบประกอบด้วยจานหมุน และเซนเซอร์ ซึ่งชุดตรวจวัดความเร็วรอบจะถูกติดตั้งบริเวณด้านนอกใกล้กับใบพัดระบายอากาศของปั้มน้ำไฟฟ้า โดยจานหมุนจะถูกเจาะช่องเล็ก ๆ สำหรับใช้ในการตรวจจับสัญญาณของเซนเซอร์ ซึ่งเซนเซอร์ที่ใช้จะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่ง และรับสัญญาณในตัวเดียวกัน ในขณะที่มอเตอร์ทำงานจะทำให้ช่องเล็ก ๆ ของจานหมุน หมุนไปตัดลำแสงของเซนเซอร์ โดยเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์จะเป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่มีค่าความถี่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบของจานหมุน ซึ่งเป็นความเร็วรอบของมอเตอร์ และทำการส่งสัญญาณความถี่ดังกล่าวให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการคำนวณหาความเร็วรอบจากความถี่ที่วัดได้ต่อไป โดยการออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานสำหรับชุดตรวจวัดความเร็วรอบอธิบายได้ดังนี้

### 3.7.1 จานหมุน

จานหมุนเป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการบ่งบอกถึงความเร็วของมอเตอร์ปั้มน้ำ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับแกนหมุน หรือ โรเตอร์ของมอเตอร์ โดยค่าความเร็วในการหมุนของจานหมุนจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของ โรเตอร์ และจำนวนช่องที่เจาะเพื่อใช้สำหรับการตรวจจับของเซนเซอร์ โดยการออกแบบจานหมุนจะกำหนดให้จานหมุนมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของมอเตอร์ และทำการเจาะรูที่จานหมุนเพียงหนึ่งรู เนื่องจากต้องการทราบเพียงช่วงระยะเวลาในการหมุนเท่านั้น แสดงลักษณะการออกแบบจานหมุนที่ใช้ในงานวิจัยได้ดังรูปที่ 3.32



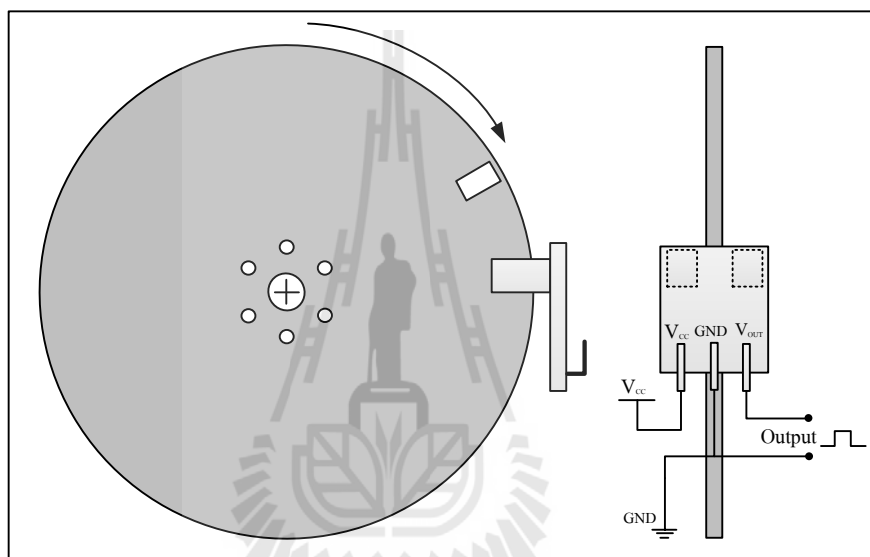
รูปที่ 3.32 การออกแบบจานหมุน

### 3.7.2 เซนเซอร์

เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยเซนเซอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นได้ทั้งตัวส่ง และรับสัญญาณในตัวเดียวกัน โดยเซนเซอร์จะวัดสัญญาณจากช่องของจานหมุน และให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีค่าความถี่ตามความเร็วในการหมุนของจานหมุน โดยเซนเซอร์ที่ใช้คือเบอร์ HC-020K ดังรูปที่ 3.33 โดยมีลักษณะการต่อวงจรเพื่อใช้งานและติดตั้งเพื่อใช้งานจริงร่วมกับจานหมุนดังรูปที่ 3.34 ถึงรูปที่ 3.36 ตามลำดับ



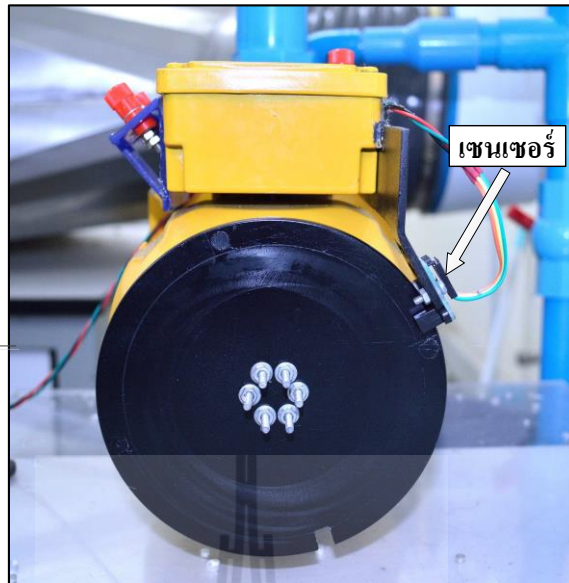
รูปที่ 3.33 เซนเซอร์เบอร์ HC-020K



รูปที่ 3.34 ลักษณะการต่อวงจรเพื่อใช้งาน



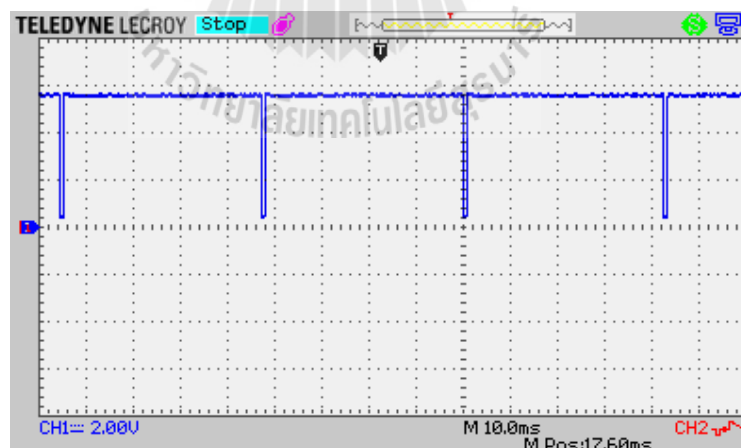
รูปที่ 3.35 ลักษณะการติดตั้งจานหมุนกับมอเตอร์ปั้มน้ำไฟฟ้า



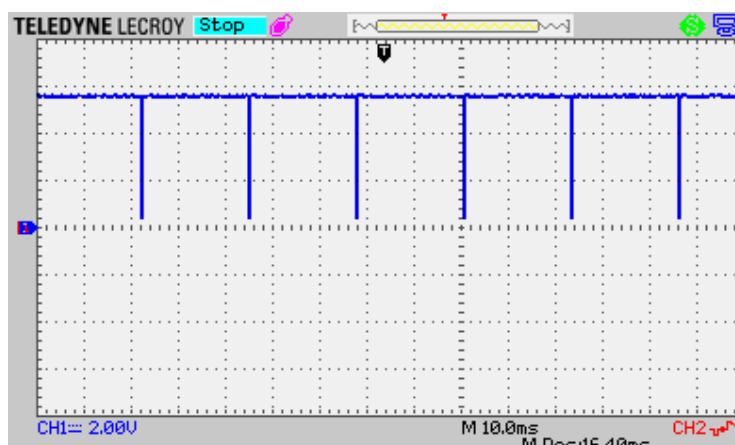
รูปที่ 3.36 ลักษณะการติดตั้งงานหมุนกับเซนเซอร์

### 3.7.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดความเร็วรอบสามารถทำการทดสอบโดยจ่ายไฟเลี้ยงให้กับเซนเซอร์เท่ากับ 5 V และทำการเดินเครื่องมอเตอร์เพื่อหมุนงานหมุน แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์ แสดงผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 3.37 และรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.37 สัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1400 rpm



รูปที่ 3.38 สัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2600 rpm

จากผลการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดความเร็วรอบ พบว่าสัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์จะเป็นสัญญาณรูปพัลส์ โดยค่าความถี่ของสัญญาณดังกล่าวจะแปรผันตามความเร็วในการหมุนของจานหมุน ซึ่งมีลักษณะเป็นไปตามที่อธิบายไว้ข้างต้น

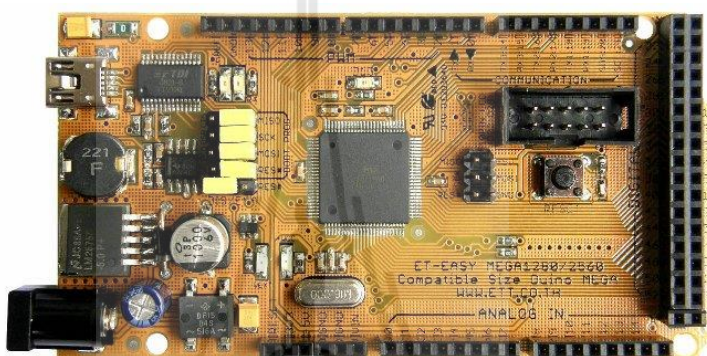
### 3.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 3.1 พบว่าระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าจะอาศัยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการคำนวณ และควบคุมการทำงานวงจรแปลงผันแบบบัสคัท และวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยในงานวิจัยเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET – EASY MEGA 1280 (Arduino MEGA 1280) ของบริษัทอีทีที โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นดังกล่าวได้มีการใช้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA 1280 ที่เป็นชิพตระกูล AVR ของบริษัท Atmel ซึ่งรองรับกับการเขียนโปรแกรมภาษาซีของ Arduino จึงทำให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมสำหรับใช้งาน และมีพอร์ตที่ถูกออกแบบมาให้รองรับกับรูปแบบการใช้งานที่หลากหลาย อาทิเช่น พอร์ตอินพุต พอร์ตเอาต์พุต พอร์ตดิจิทัล พอร์ตแอนะล็อก พอร์ตสร้างสัญญาณ PWM และพอร์ตสื่อสารอนุกรม ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.39

คุณสมบัติที่สำคัญของบอร์ด ET-EASY MEGA 1280 ที่มีความเหมาะสมกับงานวิจัย

- ทำงานสูงสุดที่ 16 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS) เมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 16 MHz
- หน่วยความจำแฟลชสำหรับโปรแกรม 128 กิโลไบต์ เขียน/ลบได้ 10,000 ครั้ง
- เก็บข้อมูลได้กว่า 20 ปี ที่อุณหภูมิ 85°C และกว่า 100 ปีที่ 25°C

- มีตัวตั้งเวลา และตัวนับเวลาขนาด 8 บิต จำนวน 2 ตัว ที่สามารถแยกโหมดการทำงานได้ 2 โหมด
- มีขา PWM จำนวน 12 ช่องสัญญาณที่สามารถกำหนดความละเอียดได้ 16 บิต
- มีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต จำนวน 16 ช่องสัญญาณ
- มีตัวเปรียบเทียบสัญญาณแอนะล็อกอยู่ในตัว
- มีแหล่งการขัดจังหวะทั้งภายใน และภายนอก
- มีขาของอินพุต และเอาต์พุตที่สามารถกำหนดการทำงานได้ 86 ช่อง



รูปที่ 3.39 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น MEGA 1280

### 3.9 สรุป

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอ โครงสร้างของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่ประกอบด้วย วงจรซอฟต์แวร์เชิงดิจิทัลซีคอนเวอเตอร์ วงจรแปลงผันแบบบัทค้ วงจรอินเวอเตอร์ วงจรจุดชนวนเกท และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งได้มีการอธิบายหลักการทำงาน วิธีการออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน และการทดสอบการทำงานของวงจรต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง อีกทั้งยังมีการนำเสนอการออกแบบ และติดตั้งชุดตรวจวัดความเร็วรอบที่ทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ โดยการออกแบบระบบขับเคลื่อนดังกล่าวได้มีการออกแบบให้รองรับกับระบบที่มีตัวควบคุม ซึ่งจะอธิบายในบทถัดไป



## บทที่ 4

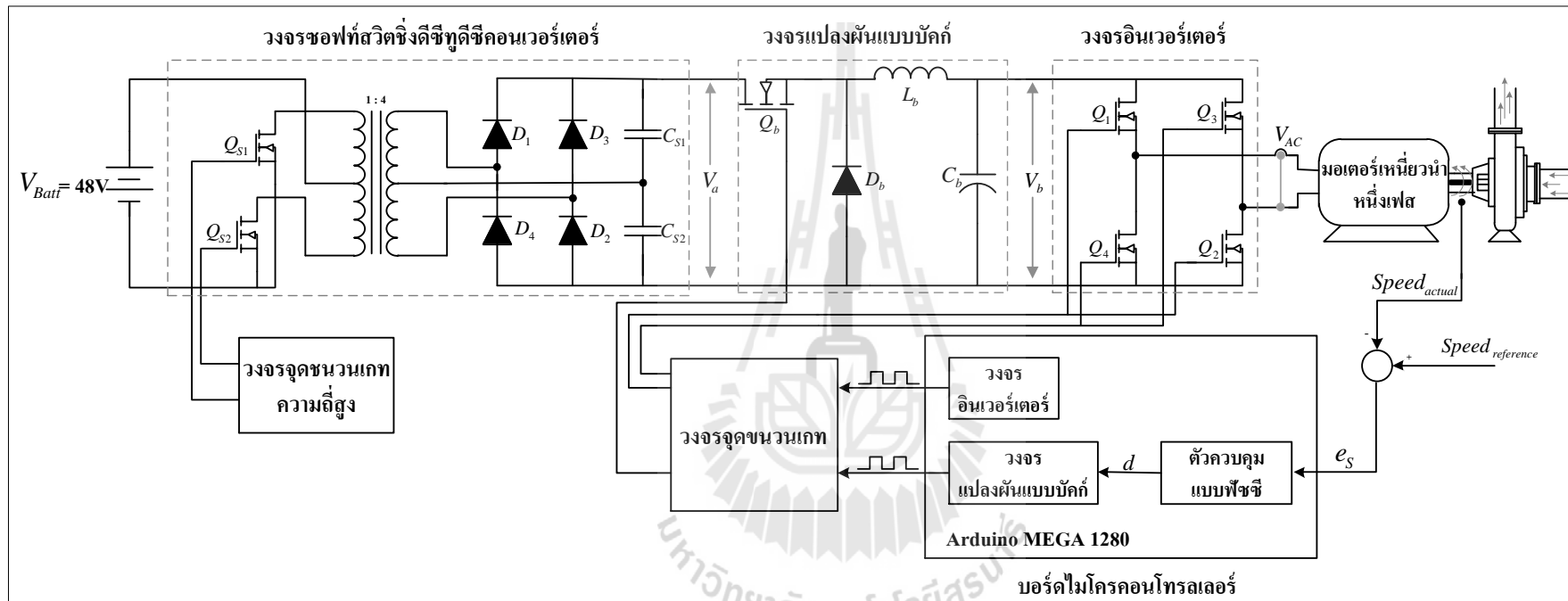
### การควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำด้วยตัวควบคุมแบบพีชซี

#### 4.1 บทนำ

ระบบการให้น้ำแก่พืช และปริมาณความต้องการน้ำของพืชในแต่ละช่วงอายุไม่เท่ากัน จึงมีความจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำให้เหมาะสมกับระบบการให้น้ำแก่พืช และช่วงอายุของพืช ซึ่งการให้น้ำในปริมาณที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อพืช เช่น รากเน่า เกิดการชะล้างปุ๋ย และการพังทลายของหน้าดิน ซึ่งการจะควบคุมปริมาณการให้น้ำให้มีค่าตาม ความต้องการนั้น ในปัจจุบันจะอาศัยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ได้จากปั้มน้ำ แต่การควบคุมอัตราการไหลให้ได้ตามความต้องการนั้นยังคงมีความยุ่งยากมาก เนื่องจากโดยทั่วไป จะอาศัยการปรับที่วาล์วน้ำโดยตรงจากผู้ใช้งาน จึงทำให้การควบคุมอัตราการไหลด้วยวิธีดังกล่าว มีการใช้พลังงานมากเกินความจำเป็น ด้วยเหตุนี้งานวิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการควบคุมอัตราการไหล ของปั้มน้ำด้วยตัวควบคุมแบบพีชซี โดยตัวควบคุมดังกล่าวจะทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบ มอเตอร์ของปั้มน้ำไฟฟ้าด้วยระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า เพื่อให้ได้อัตราการไหลของน้ำ ตามต้องการ ในบทนี้ได้นำเสนอหลักการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบพีชซี วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีชซี และการทดสอบตัวควบคุมแบบพีชซี อีกทั้งได้ทำการ เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างวิธีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำด้วยการปรับโดยตรง จากวาล์วน้ำ และการปรับโดยใช้ระบบขับเคลื่อนที่มีตัวควบคุมแบบพีชซีไว้ด้วยเช่นกัน

## 4.2 หลักการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบพีซีซี

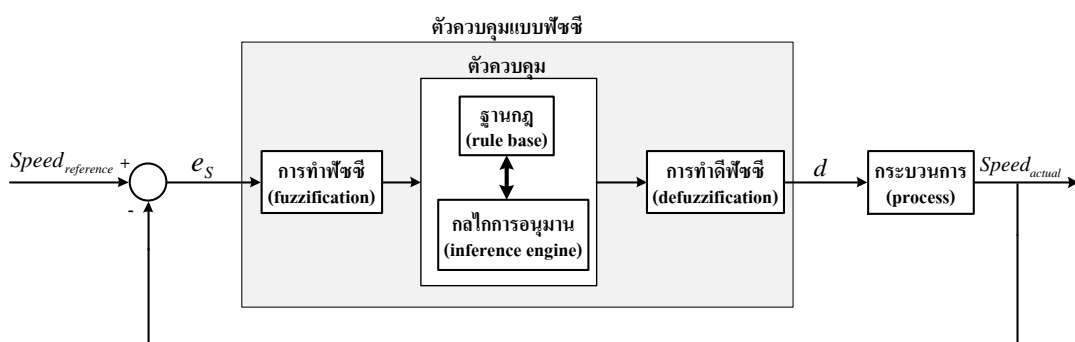
สำหรับการควบคุมอัตราการไหลของของน้ำให้ได้ตามต้องการนั้น ในงานวิจัยนี้จะทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำด้วยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ได้ค่าตามต้องการนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซีซีผ่านระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า สามารถแสดงรูปโครงสร้างของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่มีตัวควบคุมแบบพีซีซีได้ดัง รูปที่ 4.1 จากรูปดังกล่าวตัวควบคุมแบบพีซีซีจะทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบจริง ( $Speed_{actual}$ ) ให้มีค่าคงที่ตามค่าความเร็วรอบอ้างอิง ( $Speed_{reference}$ ) เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความเร็วรอบอ้างอิงกับค่าความเร็วรอบจริง ( $e_s$ ) ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $d$ ) ของสวิตช์  $Q_b$  ของวงจรแปลงผันแบบบักก์ ให้มีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลง เพื่อปรับค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของปั้มน้ำ ขณะเดียวกันในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์จะกำหนดให้คงค่าความถี่ไว้ที่ 50 Hz (ค่าพิกัดของมอเตอร์) ซึ่งการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของค่ายอดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 1280 สำหรับการประมวลผลตัวควบคุมแบบพีซีซี และควบคุมการสวิตช์ของวงจรแปลงผันแบบบักก์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วนการตรวจวัดความเร็วรอบจริงของมอเตอร์จะใช้ชุดตรวจวัดความเร็วรอบดังอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.7 และในหัวข้อถัดไปจะนำเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบพีซีซีที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.1 ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่มีตัวควบคุมแบบพีซี

### 4.3 ระบบควบคุมแบบฟัซซี

ระบบควบคุมแบบฟัซซี (fuzzy control) (อาทิตย์ ศรีแก้ว, 2552) เป็นวิธีที่ชาญฉลาด และให้ประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีลักษณะการตัดสินใจคล้ายกับของมนุษย์ เนื่องจากการออกแบบตัวควบคุมดังกล่าวอาศัยข้อมูลความรู้ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ อีกทั้งการวินิจฉัย และตัดสินใจของตัวควบคุมดังกล่าวอยู่ในรูปแบบของประโยคเงื่อนไข IF-THEN ซึ่งเป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย จึงทำให้ตัวควบคุมแบบฟัซซีไม่จำเป็นต้องพึ่งพาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ และตัวควบคุมดังกล่าวยังมีความเหมาะสมอย่างยิ่งกับระบบที่มีความคลุมเครือ และมีความไม่เป็นเชิงเส้น แสดงรูปลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบฟัซซีได้ดังรูปที่ 4.2 จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าค่าอินพุตของตัวควบคุมแบบฟัซซีเป็นค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความเร็วรอบอ้างอิงกับค่าความเร็วรอบจริง ( $e_s$ ) และค่าเอาต์พุตที่ได้จากตัวควบคุมดังกล่าวเป็นค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $d$ ) ส่วน โครงสร้างภายในสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การทำฟัซซี (fuzzification) ฐานกฎ (rule base) กลไกการอนุมาน (inference engine) และการทำดีฟัซซี (defuzzification) โดยแต่ละส่วนจะมีหน้าที่ที่แตกต่างกันไป สามารถอธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นสำหรับแต่ละส่วนได้ดังต่อไปนี้ การทำฟัซซีในส่วนนี้ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับมาจากด้านอินพุตให้อยู่ในรูปของตัวแปรภาษา ตามเงื่อนไขการออกแบบฟังก์ชันสมาชิกภาพ (membership function) ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในระบบ ส่วนฐานกฎจะเป็นศูนย์รวมกฎการควบคุมแบบตัวแปรทางภาษา โดยฐานกฎในตัวควบคุมแบบฟัซซีจะทำให้ระบบมีการตัดสินใจใกล้เคียงกับมนุษย์ เนื่องจากการออกแบบกฎจะอาศัยความรู้ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ลำดับถัดมาใน ส่วนกลไกการอนุมานในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการอนุมานกฎต่าง ๆ ที่ถูกกำหนดให้เป็นผลลัพธ์ในการตัดสินใจของระบบ แต่ผลลัพธ์ที่ได้จะยังคงอยู่ในเทอมของค่าเชิงภาษา และสุดท้ายการทำดีฟัซซีในส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงผลลัพธ์เชิงภาษาที่ได้จากกลไกการอนุมานให้เป็นค่าที่สอดคล้องกับการทำงานจริง



รูปที่ 4.2 ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบฟัซซี

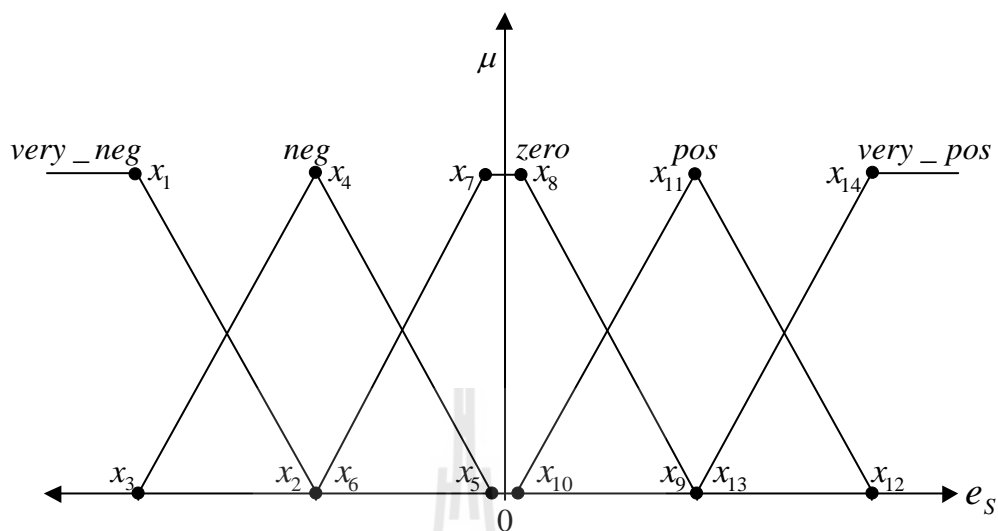
สำหรับการควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำให้มีค่าตามต้องการนั้น ในงานวิจัยนี้จะอาศัยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี โดยตัวควบคุมดังกล่าวจะทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบจริงให้มีค่าคงที่ตามค่าความเร็วรอบอ้างอิง โดยอาศัยการปรับค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ดังที่อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.2 โดยการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบภายใต้วิธีการอนุมานแบบ Takagi-Sugeno (Takagi, T. and Sugeno, M., 1985) เนื่องจากการอนุมานด้วยวิธีดังกล่าวมีรูปแบบของฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตที่เป็นฟังก์ชันเส้นตรงโทน ซึ่งมีลักษณะเป็นค่าคงที่ จึงทำให้การคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของตำแหน่งตัวแปรสมาชิกฟัซซีไม่ซับซ้อน และง่ายเมื่อทำการรวมกฎ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดให้ค่าอินพุตของตัวควบคุมแบบฟัซซี คือ ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความเร็วรอบอ้างอิงกับค่าความเร็วรอบจริง ดังสมการที่ (4-1) ทั้งนี้จะเริ่มพิจารณาเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากกว่า  $\pm 10$  rpm เป็นต้นไป และค่าและเอาต์พุตที่ได้จากตัวควบคุมแบบฟัซซี คือ ค่าวัฏจักรหน้าทีของสวิตซ์  $Q_b$  ของวงจรแปลงผันแบบบักกิ้ง

$$e_s = Speed_{reference} - Speed_{actual} \quad (4-1)$$

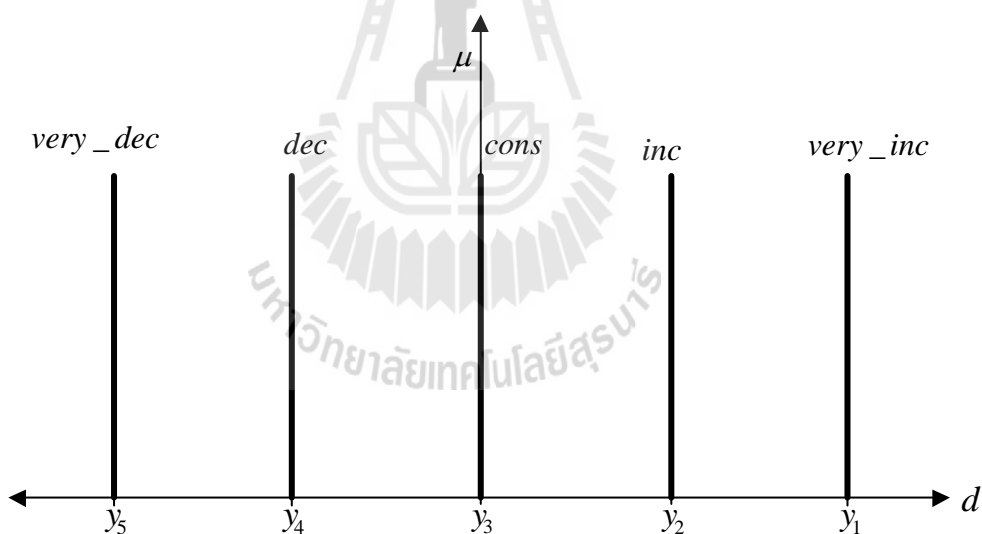
สำหรับในงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนความเร็วรอบ ( $e_s$ ) และค่าวัฏจักรหน้าที ( $d$ ) เป็นตัวแปรทางภาษา (linguistic variables) และกำหนดให้ตัวแปรดังกล่าวมีค่าเชิงภาษา (linguistic value) เท่ากับ 5 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และแสดงลักษณะรูปแบบของฟังก์ชันสมาชิกภาพ (membership functions) อินพุต และเอาต์พุต ได้ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรทางภาษา และค่าเชิงภาษา

ค่าของระบบ	ตัวแปรทางภาษาและความหมาย		ค่าเชิงภาษาและความหมาย	
	ตัวแปรภาษา	ความหมาย	ค่าเชิงภาษา	ความหมาย
อินพุต	$e_s$	ค่าความคลาดเคลื่อนความเร็วรอบ	<i>very_neg</i> (very negative)	$Speed_{reference} \ll Speed_{actual}$
			<i>neg</i> (negative)	$Speed_{reference} < Speed_{actual}$
			<i>zero</i>	$Speed_{reference} = Speed_{actual}$
			<i>pos</i> (positive)	$Speed_{reference} > Speed_{actual}$
			<i>very_pos</i> (very positive)	$Speed_{reference} \gg Speed_{actual}$
เอาต์พุต	$d$	ค่าวัฏจักรหน้าที่	<i>very_dec</i> (very decrease)	ลดลงมาก
			<i>dec</i> (decrease)	ลดลง
			<i>cons</i> (constant)	คงที่
			<i>inc</i> (increase)	เพิ่มขึ้น
			<i>very_inc</i> (very increase)	เพิ่มขึ้นมาก



รูปที่ 4.3 รูปแบบฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต



รูปที่ 4.4 รูปแบบฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต

จากประสบการณ์การของผู้วิจัยที่ได้ทำการทดลองกับฮาร์ดแวร์ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ของปั้มน้ำในห้องปฏิบัติการ พบว่าเมื่อค่าวัฏจักรหน้าที่มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 150 rpm และในทำนองเดียวกัน เมื่อค่าวัฏจักรหน้าที่มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้ค่าความเร็ว

รอบมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 300 rpm จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงกำหนดตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต  $e_s$  และเอาต์พุต  $d$  ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต  $e_s$  และเอาต์พุต  $d$

ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต $e_s$													
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$
-300	-150	-300	-150	-10	-150	-10	10	150	10	150	300	150	300
ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต $d$													
$y_1$		$y_2$			$y_3$			$y_4$			$y_5$		
10		5			0			-5			-10		

จากการกำหนดตัวแปรทางภาษา ค่าเชิงภาษา และตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพของตัวแปรอินพุต และเอาต์พุตที่ผ่านมา พบว่ามีจำนวนกฎที่เป็นไปได้ทั้งหมด 5 กฎ โดยมีรายละเอียดของแต่ละกฎดังนี้

กฎข้อที่ 1 : IF  $e_s$  is *very\_neg* THEN  $d$  is *very\_dec*

กฎข้อที่ 2 : IF  $e_s$  is *neg* THEN  $d$  is *dec*

กฎข้อที่ 3 : IF  $e_s$  is *zero* THEN  $d$  is *cons*

กฎข้อที่ 4 : IF  $e_s$  is *pos* THEN  $d$  is *inc*

กฎข้อที่ 5 : IF  $e_s$  is *very\_pos* THEN  $d$  is *very\_inc*

จากกฎพีชชีทั้งหมด 5 กฎ สามารถอธิบายความหมายของแต่ละกฎได้ดังนี้

ความหมายของกฎข้อที่ 1 ถ้าค่าอินพุต  $e_s$  มีค่าเท่ากับ *very\_neg* แล้วกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $d$  เท่ากับ *very\_dec* หมายความว่า ถ้าค่าความเร็วรอบอ้างอิงมีค่าน้อยกว่าค่าความเร็วรอบจริงมาก ๆ กำหนดให้ทำการปรับลดค่าวัฏจักรหน้าที่มาก ๆ เพื่อลดค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้น้อยลงมาก ๆ เพราะจะทำให้ค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์มีค่าลดลงมาก ๆ

ความหมายของกฎข้อที่ 2 ถ้าค่าอินพุต  $e_s$  มีค่าเท่ากับ *neg* แล้วกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $d$  เท่ากับ *dec* หมายความว่า ถ้าค่าความเร็วรอบอ้างอิงมีค่าน้อยกว่าค่าความเร็วรอบจริง กำหนดให้ทำ



การปรับลดค่าวัฏจักรหน้าทีลง เพื่อลดค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้น้อยลง เพราะจะทำให้ค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์มีค่าลดลง

ความหมายของกฎข้อที่ 3 ถ้าค่าอินพุต  $e_s$  มีค่าเท่ากับ zero แล้วกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $d$  เท่ากับ  $cons$  หมายความว่า ถ้าความเร็วรอบอ้างอิงมีค่าเท่ากับความเร็วรอบจริง กำหนดให้หยุดการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที เพื่อทำการคงค่ายอดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้มีค่าคงที่ เพราะจะทำให้ค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์มีค่าคงที่

ความหมายของกฎข้อที่ 4 ถ้าค่าอินพุต  $e_s$  มีค่าเท่ากับ  $pos$  แล้วกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $d$  เท่ากับ  $inc$  หมายความว่า ถ้าค่าความเร็วรอบอ้างอิงมีค่ามากกว่าความเร็วรอบจริง กำหนดให้ทำการปรับเพิ่มค่าวัฏจักรหน้าที เพื่อเพิ่มค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้มากขึ้น เพราะจะทำให้ค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น

ความหมายของกฎข้อที่ 5 ถ้าค่าอินพุต  $e_s$  มีค่าเท่ากับ  $very\_pos$  แล้วกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $d$  เท่ากับ  $very\_inc$  หมายความว่า ถ้าค่าความเร็วรอบอ้างอิงมีค่ามากกว่าความเร็วรอบจริงมาก ๆ กำหนดให้ทำการปรับเพิ่มค่าวัฏจักรหน้าทีมาก ๆ เพื่อเพิ่มค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้มากขึ้นมาก ๆ เพราะจะทำให้ค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้นมาก ๆ

สำหรับการทำดีฟัซซีเพื่อหาค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมด้วยวิธีการอนุมานแบบ Takagi-Sugeno เรียกว่า คำน้หนักเฉลี่ย (Weighted Average: WA (John, H. and Lilly, 2010) ซึ่งทำการคำนวณผลลัพธ์ได้จากสมการที่ (4-2)

$$x_{WA} = \frac{\sum_{m=1}^m \mu(k_m) \times k_m}{\sum_{m=1}^m \mu(k_m)} \quad (4-2)$$

โดยที่  $\mu(k_m)$  คือ ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต

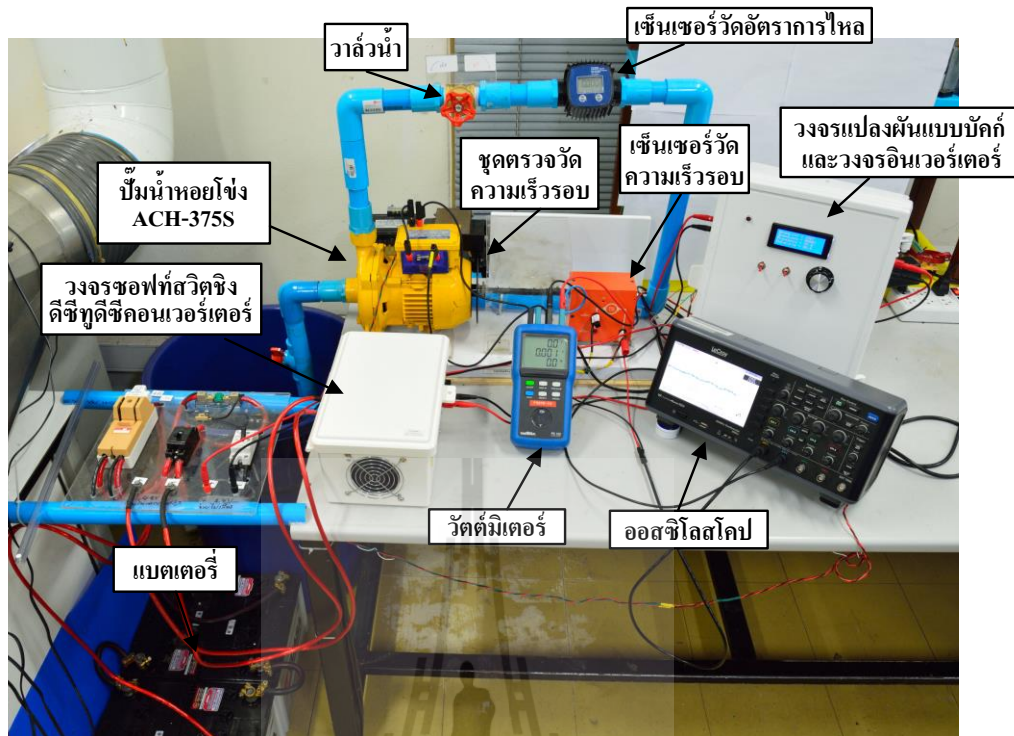
$k_m$  คือ ค่าคงที่ของเอาต์พุตที่เป็นเส้นตรง

จากสมการที่ (4-2) ค่าเอาต์พุตที่ได้ค่าวัฏจักรหน้าทีของสวิตซ์  $Q_b$  ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกนำไปรวมกับค่าวัฏจักรหน้าทีชุดเดิมของสวิตซ์  $Q_b$  ที่อยู่ในส่วนของการควบคุมวงจรแปลงผันแบบบัคค์ เพื่อทำการปรับเปลี่ยนค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม จนทำให้ค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์เข้าใกล้ค่าอ้างอิงมากที่สุด ซึ่งจากการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ผ่านมาจะสร้าง

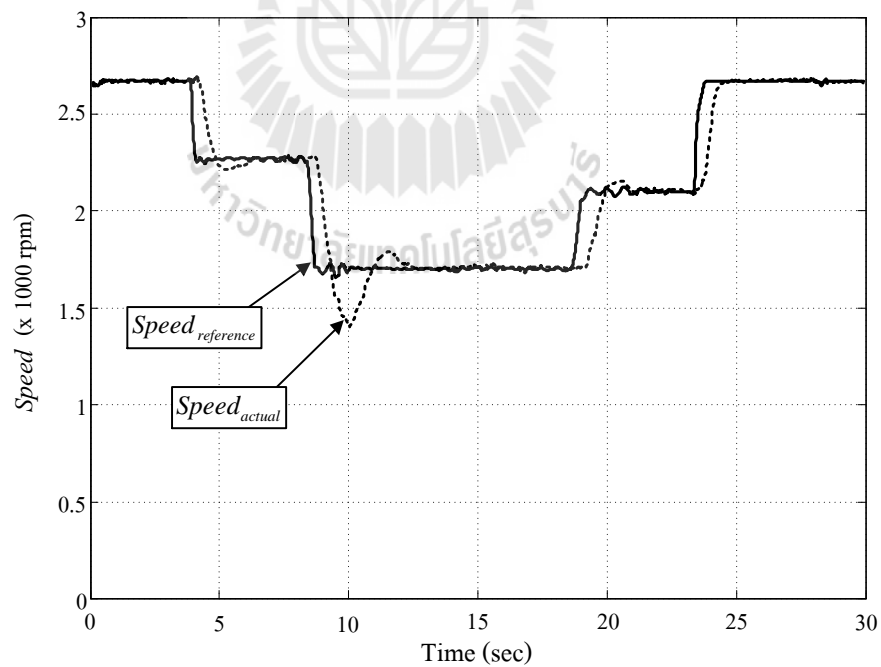
ตัวควบคุมดังกล่าวด้วยการโปรแกรมให้อยู่ในรูปแบบภาษาซี และประมวลผลด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 1280 (แสดงในภาคผนวก ก.)

#### 4.4 การทดสอบการทำงานของตัวควบคุมแบบพีซี

สำหรับการทดสอบการทำงานของตัวควบคุมแบบพีซี ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั้มน้ำไฟฟ้าชนิดหอยโข่ง รุ่น ACH-375S โดยตัวควบคุมดังกล่าวจะทำการควบคุมความเร็วรอบจริงของมอเตอร์ ให้อัตราส่วนที่ตามความเร็วรอบอ้างอิง ซึ่งการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีปรับลดค่าความเร็วรอบอ้างอิง และกรณีปรับเพิ่มค่าความเร็วรอบอ้างอิง โดยการกำหนดค่าความเร็วรอบอ้างอิงให้กับตัวควบคุมที่ประมวลผลด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะอยู่ในรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อความเร็วรอบเท่ากับ 1 V ต่อ 1,000 rpm (อธิบายหลักการดังกล่าวในภาคผนวก ก.) สำหรับการวัดค่าความเร็วรอบจริงของมอเตอร์ ในงานวิจัยจะทำการวัดด้วยเซนเซอร์วัดความเร็ว ซึ่งค่าเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร็วจะอยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีอัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อความเร็วรอบเท่ากับ 1 V ต่อ 1,000 rpm ด้วยเช่นกัน โดยทำการวัดรูปสัญญาณของความเร็วรอบอ้างอิง และรูปสัญญาณของความเร็วรอบจริงจากเซนเซอร์วัดความเร็วด้วยออสซิลอสโคป แสดงรูปของชุดอุปกรณ์ตรวจวัด และฮาร์ดแวร์ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.5 และแสดงผลการทดสอบการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำไฟฟ้าด้วยตัวควบคุมแบบพีซีจากทั้งสองกรณีได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์ตรวจวัด และฮาร์ดแวร์ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบการลู่เข้าของความเร็วรอบจริงกับความเร็วยังอ้างอิง

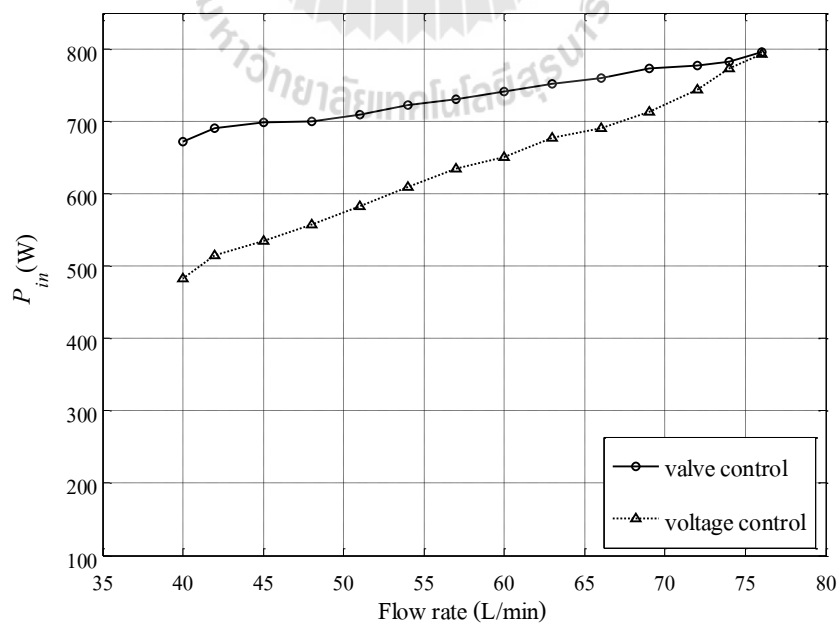
จากรูปผลการทดสอบการลู่เข้าของความเร็วรอบจริงกับความเร็วรอบอ้างอิงดังรูปที่ 4.6 พบว่าที่เวลาเท่ากับ 4 วินาที เมื่อทำการปรับลดความเร็วรอบอ้างอิงจาก 2666 rpm เป็น 2260 rpm จะเห็นได้ว่ารูปสัญญาณของความเร็วรอบจริงของมอเตอร์มีค่าลู่เข้าสู่ค่าความเร็วรอบอ้างอิง โดยใช้เวลาในการลู่เข้าประมาณ 2 วินาที และเมื่อทำการปรับลดความเร็วรอบอ้างอิงลดลงอีกครั้งจาก 2260 rpm เป็น 1700 rpm พบว่ารูปสัญญาณของความเร็วรอบจริงใช้เวลาในการลู่เข้าประมาณ 4 วินาที ต่อมาได้ทำการปรับเพิ่มค่าความเร็วรอบอ้างอิงจาก 1700 rpm เป็น 2100 rpm พบว่ารูปสัญญาณของความเร็วรอบจริงใช้เวลาในการลู่เข้าประมาณ 4 วินาที และสุดท้ายทำการปรับเพิ่มค่าความเร็วรอบอ้างอิงจาก 2100 rpm เป็น 2650 rpm พบว่ารูปสัญญาณของความเร็วรอบจริงสามารถลู่เข้าตามค่าความเร็วรอบอ้างอิงได้เช่นเดิม โดยใช้เวลาลู่เข้าประมาณ 1.5 วินาที จากผลการทดสอบดังกล่าว จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ได้จากการออกแบบมีสมรรถนะการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถควบคุมความเร็วรอบจริงของมอเตอร์ให้มีค่าลู่เข้าได้ตามค่าอ้างอิงที่กำหนด ซึ่งจากการทดสอบทั้งสองกรณีที่ผ่านมาจะสังเกตได้ว่าเวลาในการลู่เข้าบางช่วงยังคงมีค่ามาก ทั้งนี้อาจปรับค่าเวลาดังกล่าวได้จากการออกแบบกฎการควบคุมใหม่ แต่ในงานวิจัยนี้เวลาในการลู่เข้าดังกล่าวเป็นไปตามความต้องการของผู้วิจัยดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้กำหนดให้ไม่เกิน 10 วินาที ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะการใช้งานจริงค่าความเร็วรอบอ้างอิงจะไม่เปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป ซึ่งส่วนใหญ่จะให้มีความถี่ที่ค่าค่าหนึ่ง

#### 4.5 การทดสอบการควบคุมอัตราการไหล

สำหรับการทดสอบการควบคุมอัตราการไหล ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบอยู่ 2 วิธี ได้แก่ การปรับวาล์วน้ำโดยตรงจากผู้ใช้งาน และการปรับจากระบบขับเคลื่อนที่มีตัวควบคุมแบบฟัซซี สำหรับกรณีการควบคุมอัตราการไหลด้วยการปรับวาล์วน้ำโดยตรงจากผู้ใช้งาน จะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำที่ค่าพิกัด (220 V, 50 Hz) และกรณีการควบคุมอัตราการไหลด้วยระบบขับเคลื่อนที่มีตัวควบคุมแบบฟัซซี จะทำการคงค่าความถี่ไว้ที่ 50Hz (ค่าพิกัดของมอเตอร์) โดยงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลในช่วงระหว่าง 40 ลิตรต่อนาที ถึง 76 ลิตรต่อนาที และทำการบันทึกค่าแรงดัน ( $V_{AC}$ ) กระแส ( $I_{AC}$ ) กำลังงานไฟฟ้าอินพุต ( $P_{in}$ ) และค่าตัวประกอบกำลัง (power factor:  $pf$ ) ของมอเตอร์ ซึ่งในการทดสอบจะทำการตรวจวัดค่าอัตราการไหลจากเซนเซอร์วัดอัตราการไหล ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และแสดงผลการทดสอบที่ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการควบคุมอัตราการไหล

อัตราการไหล (L/min)	ปรับวาล์วน้ำ					ตัวควบคุมแบบพีซี				
	$V_{AC}$ (V)	$f$ (Hz)	$I_{AC}$ (A)	$P_{in}$ (W)	$pf$	$V_{AC}$ (V)	$f$ (Hz)	$I_{AC}$ (A)	$P_{in}$ (W)	$pf$
76	220	50	3.90	796.2	0.93	220	50	3.90	793.2	0.93
74			3.85	782.9	0.93	211		3.89	772.8	0.94
72			3.78	777.4	0.93	202		3.87	743.7	0.95
69			3.75	772.8	0.93	192		3.86	713.3	0.96
66			3.73	760.1	0.92	185		3.88	691.4	0.96
63			3.71	751.8	0.92	180		3.90	677.5	0.96
60			3.65	740.8	0.91	174		3.86	651.0	0.96
57			3.61	730.8	0.91	170		3.88	635.5	0.96
54			3.59	722.5	0.91	165		3.82	609.3	0.96
51			3.53	710.0	0.91	161		3.74	582.8	0.97
48			3.52	700.4	0.90	156		3.69	558.0	0.97
45			3.50	699.1	0.90	152		3.65	534.8	0.96
42			3.48	690.7	0.89	148		3.60	514.8	0.96
40			3.39	672.0	0.89	143		3.51	482.8	0.96



รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบกำลังงานไฟฟ้าอินพุต

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ณ จุดที่อัตราการไหลค่าเดียวกัน การควบคุมอัตราการไหลด้วยระบบขับเคลื่อนที่มีตัวควบคุมแบบพีชซีจะมีค่าของกำลังงานไฟฟ้าอินพุตน้อยกว่าการควบคุมด้วยการปรับวาล์ว และมีค่าของตัวประกอบกำลังที่มากกว่า เมื่อทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่ากำลังงานไฟฟ้าอินพุตจากวิธีการควบคุมอัตราการไหลทั้งสองวิธี ดังแสดงในรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลเท่ากับ 40 ลิตรต่อนาที การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบพีชซีมีค่าของกำลังงานไฟฟ้าอินพุตน้อยกว่าการควบคุมอัตราการไหลด้วยการปรับวาล์วมากที่สุดถึง 189.2 W หรือ 28.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการประหยัดพลังงานดังกล่าวจะช่วยลดขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบขับเคลื่อน หรือเพิ่มระยะเวลาในการสูบน้ำให้ยาวนานยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยลง

#### 4.6 สรุป

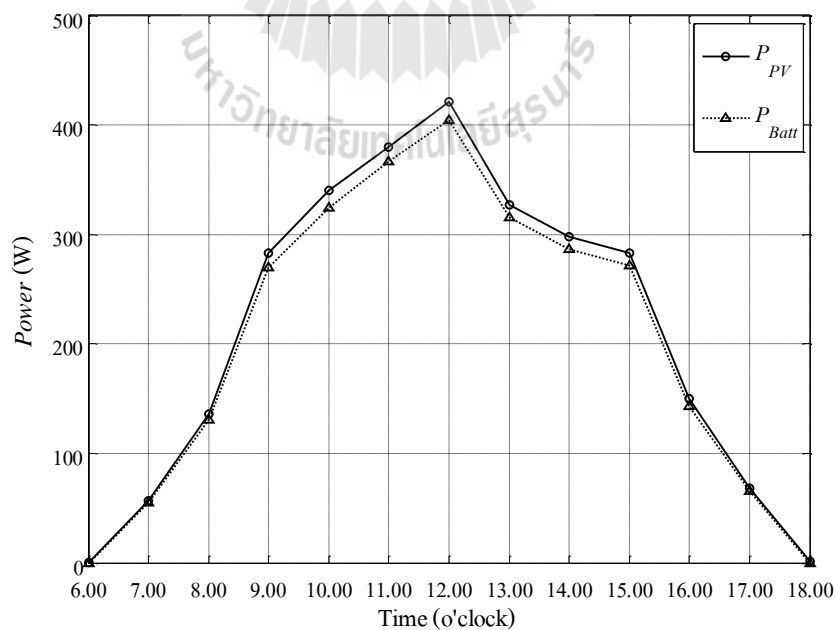
จากความสำคัญของการควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำที่มีผลต่อพืช และระบบการให้น้ำในบ่อนี้จึงได้นำเสนอการควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำด้วยตัวควบคุมแบบพีชซี ซึ่งการควบคุมอัตราการไหลดังกล่าวเกิดจากการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยอาศัยวิธีการปรับเปลี่ยนค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ส่วนการออกแบบตัวควบคุมแบบพีชซีที่ใช้ในงานวิจัยได้กำหนดให้อินพุตเป็นค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความเร็วรอบระหว่างความเร็วรอบอ้างอิงกับความเร็วรอบจริง และเอาต์พุตเป็นค่าวัฏจักรหน้าที่ ซึ่งค่าเชิงภาษาของอินพุตและเอาต์พุตมี 5 ค่าเชิงภาษาเท่ากัน จึงทำให้มีกฎที่เป็นไปได้ 5 กฎ อีกทั้งในงานวิจัยได้ทำการอนุมานแบบ Takagi-Sugino และทำดีพีชซีด้วยวิธีค่าน้ำหนักเฉลี่ย โดยในลำดับถัดมาได้นำเสนอการทดสอบการทำงานของตัวควบคุมแบบพีชซี และการทดสอบการควบคุมอัตราการไหล จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบพีชซีสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และยังคงแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพ สังเกตได้จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบจริงที่มีการลู่เข้าหาความเร็วรอบอ้างอิง นอกจากนี้ยังพบว่าการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบพีชซีมีการใช้กำลังงานไฟฟ้าอินพุตน้อยกว่าการควบคุมอัตราการไหลด้วยการปรับวาล์วมากที่สุดถึง 28.1 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลเท่ากับ 40 ลิตรต่อนาที จากการทดสอบที่ผ่านมาในข้างต้นเป็นการแสดงให้เห็นว่าระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่ควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบพีชซีที่ได้ดำเนินการออกแบบ และสร้างจริงนั้น สามารถใช้งานได้อย่างจริงในทางปฏิบัติ

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษา ออกแบบ และสร้างระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่มีตัวควบคุมแบบพีซี เพื่อใช้สำหรับควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำให้มีค่าตามต้องการ นอกจากนี้ระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้างดกล่าวได้ใช้กำลังไฟฟ้าอินพุตจากแบตเตอรี่ สามารถทำการติดตั้งได้ในบริเวณพื้นที่ห่างไกลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าตามบ้าน และรองรับกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเนื้อหาในบทที่ 2 ได้นำเสนอวิธีการเลือกขนาดพิกัดปั้มน้ำ และการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ให้มีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน อีกทั้งมีการแสดงตัวอย่างการคำนวณหาขนาดพิกัดปั้มน้ำไฟฟ้า และระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการเพาะปลูกบนพื้นที่ขนาด 1 ไร่ โดยที่ระบบดังกล่าวจะต้องสามารถประจุกำลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งานปั้มน้ำไฟฟ้าเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 2 ชั่วโมงต่อวัน ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.4 แสดงรูปผลการทดสอบการประจุกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ทำการออกแบบ ดังรูปที่ 5.1 โดยที่  $P_{PV}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ  $P_{Batt}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ถูกประจุลงแบตเตอรี่



รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่

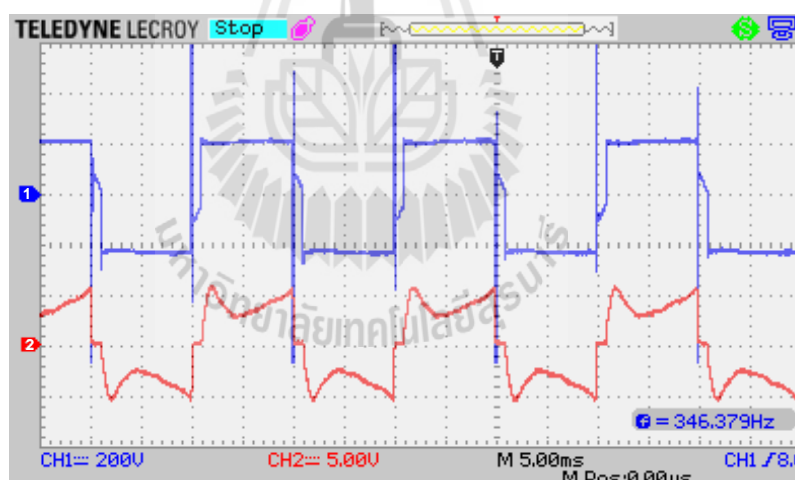
จากรูปที่ 5.1 พบว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ทำการออกแบบสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ ต่อวัน ได้เท่ากับ 2,633.8 W.hr ซึ่งพบว่าค่าพลังงานที่ได้มีค่าเพียงพอสำหรับใช้ในการขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่มีขนาดพิกัดเท่ากับครึ่งแอมป์เป็นเวลาต่อเนื่อง 2 ชั่วโมงต่อวัน จากตัวอย่างการคำนวณ และผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่าการมีความรู้ ความเข้าใจ ในเรื่องการเลือกขนาดพิกัดปั้มน้ำไฟฟ้า และการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานจะช่วยป้องกันการเลือกขนาดพิกัดของอุปกรณ์ที่มากเกินไปจนความจำเป็น ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงเกินจริง สำหรับเนื้อหาในบทที่ 3 ได้อธิบายถึงรายละเอียดการออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของวงจรขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า และการทดสอบวงจรต่าง ๆ ของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ วงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ วงจรแปลงผันแบบบักก์ วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรจุดชนวนเกท และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ในบทดังกล่าวยังได้มีการนำเสนอ โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของชุดตรวจวัดความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำไฟฟ้าอีกด้วย ส่วนบทที่ 4 ได้นำเสนอหลักการออกแบบตัวควบคุมสำหรับควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำ และผลการทดสอบ โดยตัวควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ตัวควบคุมแบบพีซี เนื่องจากตัวควบคุมดังกล่าวมีลักษณะการวินิจฉัย และการตัดสินใจคล้ายมนุษย์ อีกทั้งไม่จำเป็นต้องพึ่งพาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีความเหมาะสมกับระบบที่มีความคลุมเครือ และไม่เป็นเชิงเส้น โดยการควบคุมอัตราการไหลของปั้มน้ำจะอาศัยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ ซึ่งตัวควบคุมแบบพีซีจะทำการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ในการสวิทซ์ของวงจรแปลงผันแบบบักก์ เพื่อควบคุมค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของปั้มน้ำให้มีความเหมาะสม จนทำให้ความเร็วรอบจริงมีค่าที่ตามความเร็วรอบอ้างอิง จากผลการทดสอบพบว่าตัวควบคุมแบบพีซีที่ได้ทำการออกแบบมีสมรรถนะการควบคุมความเร็วรอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ สังเกตได้จากลักษณะของความเร็วรอบจริงของมอเตอร์ที่มีการลู่เข้าหาความเร็วรอบอ้างอิง และเมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กำลังงานไฟฟ้าอินพุตที่อัตราการไหลค่าต่าง ๆ ระหว่างการควบคุมอัตราการไหลด้วยการปรับวาล์วน้ำโดยตรงจากผู้ใช้งาน และการใช้ระบบขับเคลื่อนที่มีตัวควบคุมแบบพีซี พบว่าการควบคุมอัตราการไหลด้วยระบบขับเคลื่อนที่มีตัวควบคุมแบบพีซีมีการใช้กำลังงานไฟฟ้าอินพุตน้อยกว่าการปรับด้วยวาล์วมากที่สุดถึง 28.1 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลเท่ากับ 40 ลิตรต่ออนาที ซึ่งการประหยัดพลังงานดังกล่าวจะช่วยลด



ขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบขับเคลื่อน หรือเพิ่มระยะเวลาในการสูบน้ำให้ยาวนานยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยลง จากผลการทดสอบที่ผ่านมาในข้างต้น แสดงให้เห็นว่าระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่ควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบพีซีซีที่ได้ทำการออกแบบ และพัฒนาขึ้น เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยทุกประการ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงรูปสัญญาณแรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของปั้มน้ำ ให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปสัญญาณไซน์ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงการปรับปรุงสัญญาณดังกล่าว ซึ่งแสดงรูปสัญญาณแรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของปั้มน้ำได้ดังรูปที่ 5.2 โดยที่ช่องสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ และช่องสัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์



รูปที่ 5.2 รูปสัญญาณแรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของปั้มน้ำในงานวิจัย

2. ควรศึกษา และวิเคราะห์ วิธีการกำจัดฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบขับเคลื่อน ทั้งนี้เนื่องจากการกำจัดฮาร์มอนิกส์ในระบบจะช่วยลดค่ากำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นจากฮาร์มอนิกส์ และช่วยยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์อีกด้วย

3. สำหรับผู้ที่สนใจสามารถที่จะนำหลักการดังกล่าวไปใช้งานได้ ทั้งนี้ผู้นำไปใช้งานต้องมีความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าในระดับหนึ่ง

## รายการอ้างอิง

- วันชัย คุปวานิชพงษ์. (2555). เอกสารประกอบคำบรรยายการออกแบบระบบให้น้ำผ่านท่อในงานวิจัยเกษตรวิศวกรรม. กลุ่มพัฒนาพื้นที่เกษตรสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
- สำนักพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรม(ITDI). (2558). เอกสารประกอบการฝึกอบรม การออกแบบติดตั้ง และประยุกต์ใช้งานโซลาร์เซลล์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. (2550). คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช. ส่วนการใช้น้ำชลประทาน.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2552).(1). ปัญญาเชิงคำนวณ. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. กรุงเทพฯ: จริยสุนันทวงศ์การพิมพ์
- Falk A., Christian. D., and Karl, H. R. (2007), **Photovoltaics for Professionals.** Germany : Solarpraxis AG.
- John H., and Lilly (2010), **Fuzzy control and identification.** New Jersey: John Wiley & Sons.
- Rashid, M. H. (2004). **Power electronics circuit, devices, and applications.** USA: Pearson.
- Takagi T., and Sugeno M. **Fuzzy Identification of System and its Applications to modeling and control.** IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetic, 15:166-132.
- Veera T., Vijit K., and Anantawat, K. **Soft starting control of single-phase induction motor using PWM AC Chopper control technique.** IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Oct. 2013 , pp. 26-29.

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมภาษาซีของระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่มีควบคุมแบบพีซี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

\*\*\*\*\*

รายละเอียดในภาคผนวก ก. เป็นการอธิบายโปรแกรมภาษาซีที่ถูกประมวลผลด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET – EASY MEGA 1280 (Arduino MEGA 1280) เพื่อใช้ควบคุมการทำงาน วงจรแปลงผันแบบบักก์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ที่อยู่ภายในระบบขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า

\*\*\*\*\*

//กำหนดตัวแปร

// กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแบบบักก์

int buck=11, Duty\_Buck=0, f\_pwm=0;

double DutyCycle=0,Duty\_control=0,Duty\_cycle\_new=0;

// กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวงจรอินเวอร์เตอร์

double sampling=0,teta=0, frequency=0;

int inverter\_01=5,inverter\_02=6;

int state\_01=LOW;

int state\_02=LOW;

// ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าความเร็วรอบ

double volume=0;

double high\_speed=0,low\_speed=0,speed\_sensor=0,time\_speed=0;

double error=0,Speed\_ref=0,Speed\_mea=0;

int pin\_speed=7;

// ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมแบบพีซีซี

//ค่าฟังก์ชันสมาชิกภาพสำหรับตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุต

double x1=-300,x2=-150;

double x3=-300,x4=-150,x5=-10;

double x6=-150,x7=-10.0,x8=10;

double x9=150,x10=10,x11=150;

double x12=300,x13=150,x14=300;

```

double y1=10,y2=2.0,y3=0.0,y4=-5.0,y5=-10.0;
double mfe1=0.0,mfe2=0.0,mfe3=0.0,mfe4=0.0,mfe5=0.0;
double k1=0.0,k2=0.0,k3=0.0,k4=0.0,k5=0.0;
double v1=0.0,v2=0.0,v3=0.0,v4=0.0,v5=0.0;
double volout = 0.0;
double den = 0.0;
double num = 0.0;
int time_f=0;

//*****
//ฟังก์ชันตั้งค่าบอร์ด Arduino [void setup()]
void setup()
{
//กำหนดช่องสัญญาณอินพุต และเอาต์พุต
pinMode(pin_speed,INPUT);
pinMode(inverter_01,OUTPUT);
pinMode(inverter_02,OUTPUT);

// โปรแกรมสำหรับกำหนดการทำงานนับเวลาของทามเมอร์ 1 (Interrupt timer1) ที่ค่าความถี่
เท่ากับ 10 kHz

noInterrupts();
TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0;
TCNT1 = 10000;
TCCR1B |= (1 << CS12);
TIMSK1 |= (1 << TOIE1);
interrupts();

//โปรแกรมสำหรับกำหนดโหมดสร้างสัญญาณ PWM ที่ค่าความถี่เท่ากับ 10 kHz

```

```

f_pwm=10;           //ค่าความถี่ของสัญญาณ PWM (kHz)
pinMode(buck,OUTPUT); //กำหนดช่องสัญญาณเอาต์พุต (ช่อง PWM 11)
TCCR1A=(1<<COM1A1)|(0<<COM1A0)|(1<<COM1B1)|(0<<COM1B0);
TCCR1B=(1<<WGM13)|(0<<WGM12);
TCCR1A|=(0<<WGM11)|(0<<WGM10);
TCCR1B|=(0<<CS12)|(0<<CS11)|(1<<CS10);
TCNT1=0;
OCR1A=0;
OCR1B=0;
ICR1=(16e6)/(2*1*f_pwm*1000);
}
ISR(TIMER1_OVF_vect) //ฟังก์ชันอินเตอร์รัพท์ของทามเมอร์ 1
{
  teta++;
  time_f++;
}

//*****
//ฟังก์ชันวนรอบของบอร์ด Arduino [void loop()]
void loop()
{
  //สำหรับการกำหนดค่าความเร็วรอบอ้างอิง ในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดค่าอ้างอิงดังกล่าวด้วย
  แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยทำการจ่ายแรงดันดังกล่าวให้กับพอร์ต A0 ของบอร์ด
  ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งพอร์ตดังกล่าวมีโหมดการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล
  และทำการแปลงค่าที่อ่านได้จากพอร์ต A0 ให้เป็นความเร็วรอบอ้างอิงดังแสดงต่อไปนี้
  เนื่องจากพอร์ตแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Arduino
  MEGA 1280 มีความละเอียด 10 บิต (10 bit resolution) ที่แรงดันเท่ากับ +5 V ซึ่งหมายความว่า
  เมื่อแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแล้วจะได้ค่าตัวเลขอยู่ระหว่าง 0- 1024 เพราะฉะนั้นจึง

```

จำเป็นจะต้องทำการคูณค่าคงที่กับค่าดังกล่าว เพื่อปรับอัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันต่อความเร็วรอบให้เท่ากับ 1V : 1000 rpm ดังต่อไปนี้

```
volume = analogRead(A0); //รับสัญญาณแอนาล็อกจาก (A0) และแปลงเป็นดิจิทัล (volume)
Speed_ref =volume*4.88; //ทำการคูณค่าคงที่เท่ากับ 4.88 เพื่อปรับอัตราส่วนของระหว่าง
แรงดันต่อความเร็วรอบให้ได้ 1 V : 1000 rpm
```

//สำหรับการตรวจวัดค่าความเร็วรอบจริง ทำได้โดยการวัดช่วงระยะเวลาของสัญญาณลอจิกที่ได้จากชุดตรวจวัดความเร็วรอบ โดยจะทำการวัดระยะเวลาหนึ่งรอบการทำงานของของสถานะ HIGH และ LOW ที่ได้จากชุดตรวจวัดความเร็วรอบ แล้วทำการแปลงค่าระยะเวลาดังกล่าวเป็นค่าเป็นความเร็วรอบจริง

```
high_speed=pulseIn(pin_speed,HIGH);
low_speed=pulseIn(pin_speed,LOW);
time_speed=high_speed+low_speed;
time_speed=time_speed/1000;
speed_sensor=1000/time_speed;
speed_mea=speed_sensor*59.6149;

error=Speed_ref-Speed_mea; //คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนความเร็วรอบ
```

\*\*\*\*\*

```
//โปรแกรมการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซี
if(time_f>=10000) //โดยกำหนดให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลในส่วน
ของตัวควบคุมแบบพีซีทุก ๆ 1 วินาที
{
time_f=0;
//เริ่มกระบวนการตรวจสอบ และกำหนดสถานะของค่าความคลาดเคลื่อนความเร็วรอบ
if (error<=x2)
{
```

```
        if (error<=x1)
        {
            mfe1=1.0;
        }
    else if (error>x1 && error<=x2)
    {
        mfe1=((x2-error)*1)/(x2-x1);
    }
}
else
{
    mfe1=0.0;
}
//-----
if (error<=x5 && error>x3)
{
    if (error==x4)
    {
        mfe2=1.0;
    }
    else if (error>=x3 && error<x4)
    {
        mfe2=((error-x3)*1)/(x4-x3);
    }
    else if (error>x4 && error<=x5)
    {
        mfe2=((x5-error)*1)/(x5-x4);
    }
}
```



```
else
{
    mfe2=0.0;
}

//-----
if (error<=x9 && error>x6)
{
    if (error>=x7 && error<=x8){
        mfe3=1.0;
    }
    else if (error>=x6 && error<x7){
        mfe3=((error-x6)*1)/(x7-x6);
    }
    else if (error>x8 && error<=x9){
        mfe3=((x9-error)*1)/(x9-x8);
    }
}
else
{
    mfe3=0.0;
}

//-----

if (error<=x12 && error>=x10){
    if (error==x11){
        mfe4=1.0;
    }
    else if (error>=x10 && error<x11){
        mfe4=((error-x10)*1)/(x11-x10);
    }
}
```

```
else if (error>x11 && error<=x12){
    mfe4=((x12-error)*1)/(x12-x11);
}
}
else{
    mfe4=0.0;
}

//-----

if (error >=x13){
    if (error>=x14){
        mfe5=1.0;
    }
    else if (error>=x13 && error<x14){
        mfe5=((error-x13)*1)/(x14-x13);
    }
}
else{
    mfe5=0.0;
}

//-----

//เริ่มกระบวนการกำหนดสถานะของตัวแปรเอาต์พุต
if (mfe1>0){
    v1=mfe1;
    k1=y1*v1;
}
else{
    v1=0.0;
    k1=0.0;
}
```

```
if (mfe2>0){
    v2=mfe2;
    k2=y2*v2;
}
else{
    v2=0.0;
    k2=0.0;
}
if (mfe3>0){
    v3=mfe3;
    k3=y3*v3;
}
else{
    v3=0.0;
    k3=0.0;
}
if (mfe4>0){
    v4=mfe4;
    k4=y4*v4;
}
else{
    v4=0.0;
    k4=0.0;
}
if (mfe5>0){
    v5=mfe5;
    k5=y5*v5;
}
```

```

else{
    v5=0.0;
    k5=0.0;
}
//การคำนวณดีฟิซิตด้วยวิธีนำหนักเฉลี่ยเพื่อหาค่าเอาต์พุต
num=k1+k2+k3+k4+k5;
den=v1+v2+v3+v4+v5;
Duty_control=num/den;

//ทำการคำนวณเพื่อปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่
Duty_cycle_new= DutyCycle+Duty_control;
DutyCycle=Duty_cycle_new;
}


//ตรวจสอบค่าวัฏจักรหน้าที่ให้อยู่ในช่วง 10 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์
if(DutyCycle<10)
{
    DutyCycle=10;
}
else if(DutyCycle>82)
{
    DutyCycle=82;
}
OCR1A=ICR1*(DutyCycle/100); //ทำการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่

//เนื่องงานวิจัยนี้ทำการออกแบบให้ทามเมอร์ 1 ทำการอินเตอร์รัพท์ทุก ๆ 100 μs และการทุกครั้ง
ที่มีการอินเตอร์รัพท์ค่า teta จะเพิ่มขึ้นหนึ่งค่า ซึ่งในงานวิจัยจะใช้จำนวนครั้งในการอินเตอร์รัพท์
ของทามเมอร์ 1 เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการสวิตช์ และควบคุมสถานะลอจิกที่ใช้สำหรับการ
ควบคุมสวิตช์ของวงจรถอนอินเวอร์เตอร์

```

```
frequency=50; //ค่าความถี่ของวงจรอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 50 Hz
sampling = 10000/frequency; //กำหนดจำนวนครั้งของการอินเตอร์รัพท์ของทามเมอร์ (teta)

if(teta>=sampling*5/100 && teta<=sampling*45/100)
{
state_01=LOW;
state_02=HIGH;
}
else if(teta>=sampling*55/100 && teta<=sampling*95/100)
{
state_01=HIGH;
state_02=LOW;
}
else
{
state_01=LOW;
state_02=LOW;
}
if(teta>=sampling)
{
teta=0;
}
digitalWrite(inverter_02,state_01);
digitalWrite(inverter_01,state_02);
}
```





ภาคผนวก ข.

อุปกรณ์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากการตัวอย่างการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ดังที่นำเสนอในหัวข้อที่ 2.4 สามารถแสดงรูปแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ และแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ ข.1, ข.2 และ ข.3 ตามลำดับ



รูปที่ ข.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ฟิสิกส์ 250 W จำนวน 2 แผง



รูปที่ ข.2 เครื่องควบคุมการชาร์จประจุที่ฟิสิกส์แรงดันเท่ากับ 48 V และฟิสิกส์กระแสเท่ากับ 20 A



รูปที่ ข.3 แบตเตอรี่ที่พิกัดแรงดันเท่ากับ 12 V และมีขนาดการประจุพลังงานที่เท่ากับ 75 Ah ต่ออนุกรมกัน 4 ลูก เพื่อเพิ่มระดับให้เป็น 48 V

สำหรับสถานที่ที่ทำการทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ บริเวณศาลาฟ้าศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี 3 แสดงรูปการตรวจวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $P_{PV}$ ) และกำลังงานไฟฟ้าที่ถูกประจุลงแบตเตอรี่ ( $P_{Batt}$ ) ดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 การวัดกำลังงานไฟฟ้าอินพุต และเอาต์พุตของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ





ภาคผนวก ค.

งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙  
The 39<sup>th</sup> Electrical Engineering



วันที่ ๒ - ๔ พฤศจิกายน ๒๕๕๙  
โรงแรมเดอะ รีเจนท์ ชะอำบีช รีสอร์ท  
จังหวัดเพชรบุรี



รวมบทความย่อในการประชุม

## Program Book

ไฟฟ้ากำลัง (PW)  
การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)  
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)  
โฟโตนิกส์ (PH)  
ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)  
วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)  
ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)  
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)  
อิเล็กทรอนิกส์ (EL)  
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)  
สนับสนุนโดย

**ABB**



**กฟผ.**  
ผลิตไฟฟ้าเพื่อความสุขของคนไทย



การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค  
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

จัดการประชุมโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**CHULA ENGINEERING**  
Foundation toward Innovation

# EECON 39



## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประจำสาขาของบทความ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PW	ผศ. ดร.สมบุรณ์ แสงวงศ์วานิชย์
PE	ผศ.เจตกุล ไสภวานิตย์
CM	รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล
CT	ผศ. ดร.สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์
EL	รศ. ดร.สมชัย รัตนธรรมพันธ์
DS	รศ. ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์
PH	รศ. ดร.ดวงฤดี วรสุชีพ
BE	ผศ. ดร.อาภรณ์ อีรมงคลรัมย์
CP	ผศ. ดร.วันเฉลิม โปธา
GN	รศ. ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์

### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PW	รศ. ดร.ตฤณ แสงสุวรรณ
PE	ผศ. ดร.ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ
CM	รศ. ดร.ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์
CT	อ. ดร.เขวาลิต มิตรสันดีสุข
EL	ผศ. ดร.ชูเกียรติ การะเกตุ
DS	รศ. ดร.วุฒิพงศ์ อารีกุล
PH	อ. ดร.พิสุทธิ์ รัชศักดิ์
BE	ผศ. ดร.ดุสิต ธนแพทย
CP	รศ. ดร.มงคล รักษาพัชรวงศ์
GN	ผศ. ดร.วชิระ จงบุรี

### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PW	ผศ. ดร.วิญญู แสงวงสินกสิกิจ
PE	ผศ.อนุชิต เจริญ
CT	อ.ณธรรม เกิดสำอางค์
DS	อ.ธีรยุทธ จันทร์แจ่ม
GN	อ.สุธี รุกขพันธ์

### มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

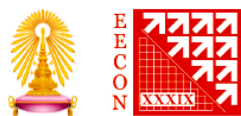
PW	ผศ. ดร.สมบุรณ์ นุชประยูร
PE	ผศ. ดร.สมบุรณ์ นุชประยูร
CM	ผศ. ดร.นิภาภรณ์ ศิริพล
CT	ผศ. ดร.บุญศรี แก้วคำอ้าย
EL	รศ. ดร.เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์
DS	รศ. ดร.นิพนธ์ อีร์อำพัน
PH	ผศ. ดร.อุกฤษฏ์ มั่นคง
CP	รศ. ดร.คันสนีย์ เอื้อพันธ์วิริยะกุล
GN	รศ. ดร.ยุธนา ขำสุวรรณ

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

PW	อ. ดร.เชิดชัย ประภาณวรัตน์
PE	ผศ. ดร.สาคร โพธิ์งาม
CM	ผศ. ดร.พินิจ กำหอม
CT	ผศ. ดร.วันจักร์ เล่นวารี
EL	ผศ. ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล
DS	รศ. ดร.บัณฑิต ทิพาการ
CP	รศ. ดร.ธำรงรัตน์ อมรรักษ์ษา
GN	ศ. ดร.โกสินทร์ จันทไทย

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

PW	รศ. ดร.สมพร สิริสำราญนุกุล
PE	รศ. ดร.วิบูลย์ ชื่นแขก
CM	ศ. ดร.ประยูทธ อัครเอกผาลิน
CT	รศ. ดร.บัลลังก์ เนียมมณี
EL	รศ. ดร.พิสิษฐ์ ลีวธนกุล
DS	รศ. ดร.วิไลพร แซ่ลี้
BE	ผศ. ดร.ไกรสร ไชยขาววงศ์
CP	รศ. ดร.วรา วราวิทย์
GN	ผศ. ดร.นภดล วิวัชรโกเศศ



## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประจำสาขาของบทความ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

PW	ดร.ไชยพร หล่อทองคำ
PE	อ.นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร
CM	ผศ. ดร.สาวีสดี บุญยเวช
CT	ผศ. ดร.วีระชัย มลายเวช
EL	ผศ. ดร.ธีรยศ เวียงทอง
DS	รศ. ดร.พีระพล ยุวภูษิตานนท์
PH	อ. ดร.สมมาตร แสงเงิน
CP	ผศ. ดร.ฉันทา ศรีประโม่ง
GN	รศ. ดร.อริคม ฤกษ์บุตร

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

PW	ผศ. ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
PE	ผศ. ดร.สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์
CT	ผศ. ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ
EL	ผศ. โกศล นิธิโสภา
GN	ผศ. ดร.มนัส บุญเที่ยงทอง

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

PW	รศ.ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย
PE	อ. ดร.สายชล ชูดเจือจิน
PE	ผศ. วิโรจน์ เพชรพันธุ์ศรี
CM	ผศ. นิพนธ์ ทางทอง
EL	ผศ. สุภณ พลสิงห์
CP	ผศ. ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์
GN	ผศ. ดร. วุฒิวัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

PW	รศ. ศุภี บรรจงจิต
PE	ผศ. ดร. ประสพโชค ใ้ทองคำ
CM	ผศ. ดร. กนต์พงษ์ ศรีสถิตย์
CT	ดร. ปรัชญา มงคลไวย์
EL	ผศ. ดร. มนต์รี สมดุลยกนก
DS	รศ. ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์
PH	อ. ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล
CP	ผศ. ดร. ไกรฤกษ์ เขยขึ้น
GN	อ. สุธี รัชพันธุ์

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

PW	ผศ. ดร. บุญยง ปลั่งกลาง
PE	ผศ. ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์
CM	ผศ. ดร. ไพฑูรย์ รักเหลือ
CT	อ. ดร. ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
EL	ผศ. ดร. อำนวย เรืองวารี
DS	ผศ. ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร
PH	อ. ดร. วิเชียร อุปแก้ว
BE	อ. ดร. กิตติวัฒน์ นิมเกิดผล
CP	อ. ดร. ศิริชัย เตரியมล้ำเลิศ
GN	ผศ. ดร. สมชัย หิรัญวโรดม

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

PW	อ. ดร. วิวัฒน์ ทิพจร
PE	ผศ. ดร. อุเทน คำน่าน
CM	อ. ดร. ศุภกิต แก้วดวงดา
CT	รศ. ดร. โกศล โอฬารไพโรจน์
EL	ผศ. ดร. ฤชดา ยิ่งขยัน
DS	อ. ดร. นพดล มณีเที่ยง
CP	อ. ดร. ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล
GN	อ. ดร. ยุพดี ทัตถสิน



## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประจำสาขาของบทความ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

PW	ผศ. ดร.ประมุข อุดมทะเลเกษ
PE	ผศ. ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา
CM	ผศ. ดร.ภักดิ์วัฒน์ จันทร์ตรี
CT	รศ. ดร.ปรีชา สาคะรังค์
EL	ผศ. ดร.ไพบุลย์ เกียรติสุขคนธาธร
DS	รศ. ดร.สมเกียรติ อุดมทรราชกุล

### มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

PW	รศ.บุญเลิศ สือเฉย
PE	ผศ.ชูเกียรติ พงษ์พานิช
CM	รศ. ดร.อดิศักดิ์ มนต์ประภัสสร
CT	รศ. ดร.เดชา พวงดาวเรือง
EL	รศ. ดร.อิทธิพงษ์ ชัยสายัณห์
DS	ผศ.สมศักดิ์ สิริโบราณานนท์
PH	รศ.เสน่ห์ ไมตรีจิตร
BE	ผศ. ดร.สมเกียรติ เพียงพรานทอง
CP	ผศ. น.อ.ไชโย ธรรมรัตน์ ร.น.
GN	ผศ.วิชัย แซ่ลี

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

PW	รศ. ดร.กานท์ เกิดชื่น
PE	อ. ดร.พินิจ ศรีธ
CM	ผศ. ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์
CT	ผศ. ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล
EL	ผศ. ดร.สมชาย ศรีสกุลเดียว
DS	อ. ดร.ประจวบ อินระวงศ์
PH	อ. ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ
CP	อ. ดร.ถนอมศักดิ์ โสภณ
GN	ผศ. ดร.กฤติเดช บัวใหญ่

### มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

PW	ผศ. ดร.นันทิยา ชัยบุตร
CM	อ. ดร.ปกรณ์ ยุบลโกศล
DS	ผศ. ดร.วิศาล พัฒนชู
PH	รศ. ดร.ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ
BE	ผศ. ดร.สุพจน์ สุขไพธารมณ
CP	อ. ดร.จักรพงษ์ สุธามุขกุล

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

PW	ผศ. ดร.บุญเรือง มะรังศรี
PE	รศ. ดร.ทองพล อารีรักษ์
CM	รศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล
CT	รศ. ดร.ทองพัน อารีรักษ์
EL	รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว
DS	รศ. ดร.กิตติ อัดถกิจมงคล
PH	ผศ. ดร.ทิพย์วรรณ พึ่งสุวรรณรักษ์
BE	ผศ. ดร.ปรเมศวร์ ห่อแก้ว
CP	รศ. ดร.นิตยา เกิดประสพ
GN	ผศ. ดร.อนันท์ อุ้นศิริไธย์

### มหาวิทยาลัยขอนแก่น

PW	รศ.อำนาจ สุขศรี
PE	ผศ. ดร.ปานททัย บัวศรี
CM	ผศ. ดร.อาคม แก้วระวัง
CT	ผศ. ดร.อานูภาพ มีสมบูรณ์
EL	อ. ดร.สถาพร พรพรมลิขิต
DS	รศ. ดร.วิระสิทธิ์ อัมฉวิ
BE	ผศ. ดร.บุญยิ่ง เจริญ
GN	รศ.กิตติพงษ์ ต้นมิตร



## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประจำสาขาของบทความ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

### มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

PW	รศ. ดร.พิชัย อารีชัย
PE	รศ. ดร.ไพบูลย์ นาคมหาลาสินธุ์
CM	รศ. ดร.สมชาติ โชคชัยธรรม
CT	ผศ. ดร.ศุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์
DS	รศ. ดร.สัญญา มิตรเอม
PH	รศ. ดร.วันชัย ไพจิตรโรจนา
BE	รศ. ดร.นภดล อุขายภิกขาทิ
CP	ดร.พิศาล แก้วประภา
GN	รศ.ณรงค์ บวบทอง

### มหาวิทยาลัยพะเยา

GN	ผศ. ดร.วุฒิววัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ
PW	ผศ. ดร.จงลักษณ์ พาหะชา
PE	อ. ดร.ดำรงค์ อมรเดชาพล
CT	ผศ. ดร.สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล
DS	อ. ดร.ธนาทิพย์ จันทร์คง
GN	รศ. ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย

### มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

PW	รศ. ดร.นิศย์ เพ็ชรรักษ์
PE	อ.ยุทธนา จงเจริญ
CM	อ. ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์
CT	อ. ดร.มนทล นาวงษ์
BE	ผศ. ดร.วรพล พงษ์เพ็ชร
CP	ผศ. ดร.ณรงค์เดช กิรติพรานนท์
GN	ผศ. ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์

### มหาวิทยาลัยมหิดล

PW	อ. ดร.ธรรมวฤทธิ์ สิงห์วิลัย
PE	ผศ. ดร.ชัชวาลย์ เยาวบุตร
CM	รศ. ดร.พงศธร เศรษฐีธรรม
CT	อ. ดร.พัฒนาช พัทฒนะศรี
EL	อ. ดร.สุรโชค ธนพิทักษ์
DS	อ. ดร.พรชัย ชันยการ
PH	รศ. ดร.ภูมินท์ กิระวานิช
BE	ผศ. ดร.เชิง เลิศมโนรัตน์
CP	อ. ดร.ก่อพร พันธุ์ยิ้ม
GN	ผศ. ดร.อารณีย์ พันกะหวัด

### มหาวิทยาลัยนเรศวร

PW	ผศ. ดร.นิพัทธ์ จันทร์มินทร์
CT	ผศ. ดร.มุติดา สงฆ์จันทร์
EL	ผศ. ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา
DS	ผศ. ดร.อัศวพันธ์ วงศ์กิ่งแห
PH	ผศ. ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
CP	อ. ดร.สุรเดช จิตประไพกุลศาล
GN	ผศ. ดร.พนัส นัถฤทธิ

### มหาวิทยาลัยรังสิต

PW	ดร.สุพัฒนา นิรัคฆนาภรณ์
PE	ดร.สมบูรณ์ สุขสาตร
CM	ดร.ไพศาล งามจรรยาภรณ์
EL	รศ.มณูญ พ่วงพูล
DS	รศ.มณูญ พ่วงพูล
BE	รศ. ดร.โอภาส จุฑาทเทพ



## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประจำสาขาของบทความ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

### มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

PW	อ. ดร.คณิตร์ มาตรา
PE	รศ. ดร.เวศิน ปิยรัตน์
CM	ผศ. ดร.ก้าพล วรดิษฐ์
CT	อ. ดร.กฤษชัย วิถีพานิช
EL	ผศ.ศิริพงษ์ ฉายสินธ์
BE	ผศ. ดร.ทิมพันธุ์ เจริญพงษ์
CP	ผศ. ดร.สมภาพ รอดอัมพร
GN	ผศ.พินิจ เทพสาธิต

### มหาวิทยาลัยสยาม

PW	ผศ. ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม
PE	ผศ. ดร.ยงยุทธ นาราษฎร์
CM	อ. พล.ท.ดร.สมพงษ์ คู่มสวัสดิ์
EL	ผศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์
DS	อ. ดร.ทัศนัย พลอยสุวรรณ
GN	ผศ.ไวพจน์ ศุภบวรเสถียร

### มหาวิทยาลัยศรีปทุม

PW	ผศ. ดร.สำเร็จ อินท่าไม้
PE	ผศ. ดร.นิมิต บุญภิรมย์
CM	รศ. ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม
CT	อ.ปราภุต เหลืองประดิษฐ์
EL	ผศ. ดร.สัญญา คุณขาว
DS	รศ. ดร.ปรีชา กอเจริญ
PH	อ.เอกชัย ศิริ
BE	ผศ.เพชร นันทวิวัฒนา
CP	อ. ดร.วนายุทธ์ แสนเงิน
GN	ผศ.พศวีร์ ศรีโหมด

### มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

PW	ผศ. ดร.วันชัย ฉิมฉวี
PE	ผศ. ดร.เกษม อุทัยไขฟ้า
CM	ผศ. ดร.สันต์ชัย รัตนนันท
CT	ผศ. ดร.ศุภเชษฐ์ อินทร์เนตร
EL	ผศ.สุภานันท์ ตันวรรณรักษ์
DS	ผศ. ดร.วรินทร์ วงษ์ฉิมฉวี
PH	ผศ. ดร.ธำมภ์ รุ่งศิริธนะ
BE	ผศ. ดร.ศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธิ์
CP	ผศ.ณัฐชา พฤกษ์กานนท์
GN	ผศ.ณัฐพร ฤทธิ์นุ่ม

### มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

PW	ผศ. ดร.กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์
CM	ผศ. ดร.วิกรม ชีรภาพจรเดช
EL	รศ. ดร.ภาณุมาศ คำสัตย์
DS	รศ. ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์
BE	รศ.บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา
CP	รศ. ดร.ณัฐภา จินดาเพชร
GN	อ. ดร.เกียรติศักดิ์ วงษ์โสพนากุล

### มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

PW	ผศ.ธนากร น้ำหอมจันทร์
PE	อ.ณัฐพงศ์ เมืองจันทร์
CM	อ.กิตติเชษฐ์ นนทะสุด
CP	อ.ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ
GN	ผศ.ปฏิภาณ เกิดลาภ



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประจำสาขาของบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

PW	ผศ. ดร.คมสันต์ ตาโรจน์
PE	อ. ดร.ประชา คำภักดิ์
CM	อ. ดร.ประสิทธิ์ นครราช
CT	ผศ. ดร.มงคล ปุษยตานนท์
EL	ผศ. ดร.ชนิษฐา แก้วแดง
DS	ผศ. ดร.วรการ วงศ์สายเชื้อ
BE	ผศ. ดร.ศุภฤกษ์ จันทร์จรสจิตต์
GN	ผศ. ดร.สุชิน ไตรรงค์จิตเหมาะ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

PW	ศ. ดร.อิสระชัย งามหุ
PE	รศ. ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน
CM	ศ. ดร.พรชัย ทรัพย์นิตี
CT	ศ. ดร.วันชัย ธีร์จุจา
EL	รศ. ดร.วิสุทธิ ฐิตีรุ่งเรือง
DS	รศ. ดร.สุรพันธ์ เอื้อไพฑูลย์
PH	รศ. ดร.สุรภณ สมควรพาณิชย์
BE	รศ. ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์
CP	ผศ. ดร.สุรินทร์ กิตติธรรกุล
GN	ผศ. ดร.เขาว์ ชมภูอินไหว

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

PW	ดร.เจษฎา ชัดทองงาม
PE	คุณสุทัศน์ ปฐมนุพงษ์
CM	ดร.กิตติ วงศ์ถาวรวัฒน์
CT	ดร.สุธี ผู้เจริญชนะชัย
EL	ดร.ราชพร เขียนประสิทธิ์
DS	ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์
PH	ดร.ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร
BE	ดร.พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา
CP	ดร.ชาลี วรกุลพัฒน์
GN	ดร.วุฒิกัทร คอวนิช





## สาขาทศวรรษ

### การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

ไฟฟ้ากำลัง (PW) Electrical Power System (PW)	56 บทความ
การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS) Digital Signal Processing (DS)	12 บทความ
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE) Power Electronics (PE)	34 บทความ
โฟโตนิกส์ (PH) Photonics (PH)	6 บทความ
ไฟฟ้าสื่อสาร (CM) Communication (CM)	20 บทความ
วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE) Bio-Electronics	9 บทความ
ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT) Control system and Instrument Technology (CT)	21 บทความ
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP) Computer and Information Technology (CP)	13 บทความ
อิเล็กทรอนิกส์ (EL) Electronics (EL)	14 บทความ
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN) General Research Related to Electrical Engineering (GN)	12 บทความ
รวม	197 บทความ

กำหนดการการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39

วันพุธที่ 2 พฤศจิกายน 2559

Register in front of Phetchaburi 3 Room

08:00 – 13:00									
Register in front of Phetchaburi 3 Room									
Presentation									
Room	Phetchaburi 2	Phetchaburi 3	Cha Um 1	Cha Um 2	Cha Um 3	Cha Um 4	Pribrree 1	Pribrree 2	
Session	PW1	PW2	CT1	PE1	DS1	CM1			
Paper IDs	PW001-PW005	PW006-PW010	CT001-CT005	PE001-PE005	DS001-DS004	CM001-CM005			
Session Chair	ผศ.ศิริชัย แดงเอม	ผศ. ดร.ณัฐพงษ์ ตันตนาช	รศ. ดร.เสนา พงศดาเรือง	รศ. ดร.ภฤชชนม์ ภูมิศักดิ์พิชญ์	รศ. ดร.นิศาล ตั้งเสียมวิสัย	รศ. ดร.กันตพงษ์ ศรีสัตย์			
Session Co-Chair				ผศ. ดร.อนวัช แสงสว่าง					
14:40 – 15:00									
Coffee Break									
15:00 – 16:40									
Presentation									
Room	Phetchaburi 2	Phetchaburi 3	Cha Um 1	Cha Um 2	Cha Um 3	Cha Um 4	Pribrree 1	Pribrree 2	
Session	PW3	PW4	EL1	PH1	PE2	DS2	CM2	BE1	
Paper IDs	PW011-PW015	PW016-PW020	EL001-EL005	PH001-PH006	PE006-PE009	DS005-DS008	CM006-CM0010	BE001-BE004	
Session Chair	รศ. ดร.ภฤชชนม์ ภูมิศักดิ์พิชญ์	อง.นเรศวร วัฒนเดช	ผศ. ดร.สุโรจ งามพิทักษ์	รศ. ดร.ดวงฤดี วรสุชีพ อารีรักษ์	รศ. ดร.กองพัน ตั้งเสียมวิสัย	รศ. ดร.นิศาล ตั้งเสียมวิสัย	รศ. ดร.สิญจกร วุฒิมณีอุฎกกิจ	รศ. ดร.เอกกร ชื่นมงคลศรีมี	
Session Co-Chair		ผศ.ณัฐวุฒิ ชยกวโนช			ผศ. ดร.สาทร โพธิ์งาม				
18:30 – 20:00									
Welcome Reception at Le Vendome									

## การควบคุมอัตราการไหลของบิมน้ำไฟฟ้าด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่

### Flow Rate Control of Electric Pump using Fuzzy Controller

รัชพงศ์ สุวงษา กองพล อารีรักษ์<sup>1</sup> และกองพัน อารีรักษ์

กลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล และการควบคุม  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>1</sup>Corresponding Author: kongpol@sut.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมอัตราการไหลของบิมน้ำไฟฟ้าด้วยการควบคุมความเร็ว มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ วงจรขับเคลื่อนบิมน้ำไฟฟ้าใช้วงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส วงจรแปลงผันแบบบัก และ วงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงคิซึทซึคอนเวอร์เตอร์ที่มีแบคเตอร์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ชุดควบคุมความเร็วรอบให้มีความถี่ที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่สร้างโดยใช้บอร์ด Arduino รุ่น MEGA 1280 ในบทความได้มีการนำเสนอผลการทดสอบจริง เพื่อยืนยันสมรรถนะของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ในการควบคุมความเร็วรอบ จากผลการทดสอบ พบว่าชุดควบคุมที่นำเสนอในบทความสามารถควบคุมให้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์มีความถี่ตามค่าความเร็วรอบอ้างอิงตามที่ต้องการ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** การควบคุมความเร็วรอบ บิมน้ำไฟฟ้า ตัวควบคุมแบบฟัซซี่

#### Abstract

The paper proposes the flow rate control with the speed control of electric pump using the fuzzy controller. The single phase inverter the buck converter and the soft-switching dc-dc converter are the drive circuit of the system. In the paper, the battery is used for the energy source. The fuzzy controller is applied to control the speed of electric pump to constant value. The Arduino MEGA 1280 board is used for the controller. Moreover, the experimental results are shown in the paper to confirm the performance of the fuzzy controller. From the experimental results, the fuzzy controller proposed in the paper can control the speed to track the reference value.

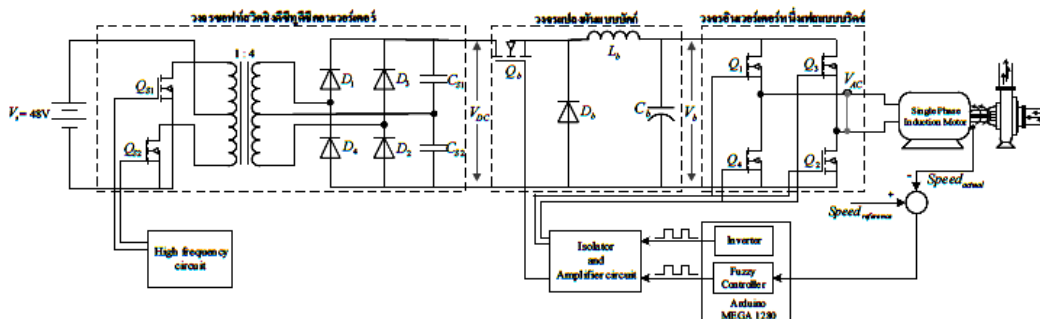
**Keywords:** speed control, electric pump, fuzzy controller

#### 1. บทนำ

ปัจจุบันในภาคเกษตรกรรมได้มีการใช้บิมน้ำไฟฟ้าชนิดหอยโข่งกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากบิมน้ำไฟฟ้าชนิดดังกล่าวมีสมรรถนะในการทำงานที่ดี ทนทาน และบำรุงรักษาง่าย อย่างไรก็ตาม

การติดตั้งบิมน้ำไฟฟ้าชนิดดังกล่าวจะทำให้เฉพาะในบริเวณพื้นที่ที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าถึงเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถติดตั้งในพื้นที่ที่ห่างไกลได้นอกจากนี้ การควบคุมอัตราการไหลของบิมน้ำไฟฟ้าจะมีความยุ่งยากมากในกรณีที่ต้องการปรับให้บิมน้ำอัตราการไหลตามที่ต้องการเนื่องจากโดยทั่วไปการปรับอัตราการไหลของบิมน้ำจะอาศัยการปรับที่สวิทช์วาล์วโดยตรงจากผู้ใช้ ด้วยเหตุนี้ ในบทความนี้ จึงได้นำเสนอการขับเคลื่อนบิมน้ำไฟฟ้าด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Single Phase - Inverter) วงจรแปลงผันแบบบัก (Buck Converter) และวงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงคิซึทซึคอนเวอร์เตอร์ (Soft-Switching DC-DC Converter) เป็นวงจรขับเคลื่อนบิมน้ำ แสดงดังรูปที่ 1 โดยวงจรขับเคลื่อนบิมน้ำไฟฟ้าดังกล่าว สามารถติดตั้งได้ในบริเวณพื้นที่ที่ห่างไกลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าตามบ้าน เนื่องจากวงจรขับเคลื่อนได้ใช้พลังงานไฟฟ้าอันเกิดจากแบคเตอร์ ซึ่งรองรับกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งยังสามารถควบคุมความเร็วรอบเพื่อให้ได้อัตราการไหลของบิมน้ำตามที่ต้องการ ปัจจุบันการควบคุมอัตราการไหลของบิมน้ำผ่านทางวงจรขับเคลื่อนบิมน้ำนิยมใช้ตัวควบคุมค่าต่าง ๆ เช่น ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) [1] แต่ในบทความนี้ได้นำเสนอการควบคุมอัตราการไหลของบิมน้ำโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ [2] ซึ่งตัวควบคุมดังกล่าวไม่จำเป็นต้องพึ่งพาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และให้ประสิทธิภาพที่ดีในการควบคุมความเร็วรอบ

การนำเสนอของบทความนี้ ได้แบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ คือ หัวข้อที่ 2 ได้อธิบายเกี่ยวกับวงจรขับเคลื่อนบิมน้ำไฟฟ้า ประกอบด้วย วงจรซอฟต์แวร์สวิทชิงคิซึทซึคอนเวอร์เตอร์ วงจรแปลงผันแบบบัก และวงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบบริดจ์ ในหัวข้อที่ 3 ได้อธิบายรายละเอียดการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่ ส่วนหัวข้อที่ 4 ได้นำเสนอการสร้างฮาร์ดแวร์ของวงจรขับเคลื่อนบิมน้ำไฟฟ้า และผลการทดสอบการควบคุมความเร็วรอบในทางปฏิบัติ และในหัวข้อสุดท้าย ซึ่งเป็นหัวข้อที่ 5 เป็นการสรุปผลการควบคุมอัตราการไหลของบิมน้ำผ่านการควบคุมความเร็วรอบที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ตามวิธีการออกแบบที่นำเสนอในบทความ



รูปที่ 1 วงจรขับเคลื่อนบีบไฟฟ้าใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

**2. วงจรขับเคลื่อนบีบไฟฟ้า**

วงจรขับเคลื่อนบีบไฟฟ้าดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ วงจรขอฟท์สวิตชิงคิซึทซึคองเวอร์เตอร์ วงจรแปลงผันแบบบัก และ วงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบบริดจ์โดยแต่ละวงจรมีหน้าที่และ หลักการทำงานอธิบายได้ดังนี้

**2.1 วงจรขอฟท์สวิตชิงคิซึทซึคองเวอร์เตอร์**

วงจรขอฟท์สวิตชิงคิซึทซึคองเวอร์เตอร์ คือ วงจรเพิ่มระดับ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากอินพุตเบคเคอรี ( $V_s$ ) ที่มีค่าแรงดันพิกัด เท่ากับ 48 V ให้มีค่าแรงดันเอาต์พุต ( $V_{DC}$ ) ประมาณ 300V โดยวงจร ค้างกล่าวทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรแปลง ผันแบบบัก โครงสร้างของวงจรขอฟท์สวิตชิงคิซึทซึคองเวอร์เตอร์ ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมอสเฟต ( $Q_{sp}, Q_{sq}$ ) หม้อแปลง ไฟฟ้ากระแสสลับ และไดโอด ( $D_p, D_r, D_s, D_t$ ) ดังรูปที่ 1 หลักการทำงาน จะกำหนดให้สวิตช์  $Q_{sp}$  เปิดวงจร และสวิตช์  $Q_{sq}$  ปิดวงจร พร้อมกัน หลังจากนั้น จะกำหนดให้สวิตช์  $Q_{sq}$  ปิดวงจร และสวิตช์  $Q_{sp}$  เปิดวงจร โดยการทำงานของสวิตช์ทั้งสองตัว จะทำงานสลับกันเป็นเช่นนี้ ไปเรื่อย ๆ ในช่วงความถี่ 20 kHz เพื่อสร้างสัญญาณให้กับหม้อแปลง ไฟฟ้ากระแสสลับ และวงจร ไดโอด ( $D_p, D_r, D_s, D_t$ ) ซึ่งสุดท้ายจะทำให้ ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรแปลงผันแบบบักต่อไป

**2.2 วงจรแปลงผันแบบบัก**

วงจรแปลงผันแบบบัก คือ วงจรลดระดับแรงดัน ไฟฟ้า กระแสตรงที่ได้จากวงจรขอฟท์สวิตชิงคิซึทซึคองเวอร์เตอร์ ที่มีค่า แรงดันพิกัดเท่ากับ 300 V ให้มีค่าแรงดันเอาต์พุต ( $V_b$ ) ตามที่ต้องการ โดย วงจรดังกล่าวทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจร อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส โครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบบัก ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมอสเฟต ( $Q_b$ ) ไดโอด ( $D_b$ ) ตัว เหนี่ยวนำ ( $L_b$ ) และตัวเก็บประจุ ( $C_b$ ) ดังปรากฏในรูปที่ 1 ซึ่งในการ ออกแบบกำหนดให้ค่าแรงดันเอาต์พุตอยู่ในย่านการทำงานจริง โดย แรงดันไฟฟ้าสามารถปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 100 V ถึง 250 V ตามการ

สวิตช์  $Q_b$  กำหนดค่าความถี่ในการ สวิตช์ ( $f$ ) เท่ากับ 10 kHz การควบคุม ขนาดแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบักสามารถทำได้โดยการ ควบคุมรอบการทำงาน (duty cycle :  $k$ ) ของการเปิดปิดสวิตช์อุปกรณ์ มอสเฟต ( $Q_b$ ) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (1) จากสมการดังกล่าว เมื่อ  $k$  มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าแรงดัน ไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจร บักจะมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นกัน ในทางตรงกันข้าม ถ้า  $k$  มีค่าลดลงแรงดัน ไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีค่า ลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นและลดลงของแรงดัน ไฟฟ้าดังกล่าว จะส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเป็น การปรับค่ายอดแรงดัน (peak) ของสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับ ( $V_{ac}$ ) ที่มอเตอร์ ด้วยเหตุนี้ การควบคุมความเร็วรอบจึงสามารถทำได้โดย การควบคุมรอบการทำงาน ( $k$ ) ของสวิตช์  $Q_b$  ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนอ การควบคุมอัตราการไหลของน้ำด้วยการควบคุมความเร็วรอบของ มอเตอร์โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี โดยรายละเอียดการออกแบบตัว ควบคุมดังกล่าว สามารถดูได้จากหัวข้อที่ 3

$$V_b = kV_{DC} ; 0.4 \leq k \leq 0.9 \tag{1}$$

จากสมการที่ (1) ค่าต่ำสุดของ  $k$  คือ 0.4 สำหรับค่าแรงดันเอาต์พุต ( $V_b$ ) ประมาณเท่ากับ 100 V และค่าสูงสุดของ  $k$  มีค่าเข้าใกล้ 0.9 สำหรับ ค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดประมาณเท่ากับ 225 V (แรงดันอินพุตของวงจร แปลงผันแบบบัก ( $V_{DC}$ ) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 250 -300 V)

**2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบบริดจ์**

วงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส คือ วงจรแปลงผันกำลัง ไฟฟ้า กระแสตรงเป็นกระแสสลับ ทำหน้าที่จ่ายแหล่งผัน ไฟฟ้ากระแสสลับ ( $V_{ac}$ ) สำหรับใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ของบีบไฟฟ้า โดย โครงสร้างของวงจร อินเวอร์เตอร์ดังกล่าว ประกอบด้วยสวิตช์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง มอสเฟต 4 ตัว ( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ ) คู่เรียงกันเป็นวงจรบริดจ์ดังรูปที่ 1 หลักการขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์จะกำหนดให้การ ทำงานของสวิตช์ ( $Q_1, Q_2$ ) เปิดวงจร และสวิตช์ ( $Q_3, Q_4$ ) ปิดวงจร พร้อมกัน และหลังจากนั้น จะกำหนดให้สวิตช์ ( $Q_3, Q_4$ ) ปิดวงจร

และสวิตช์ ( $Q_1, Q_2$ ) เป็นวงจรแทน โดยการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัว จะทำงานสลับกันเป็นขั้นนี้ไปเรื่อย ๆ ในช่วงความถี่ 50 Hz (เท่ากับพิคความถี่ของมอเตอร์)

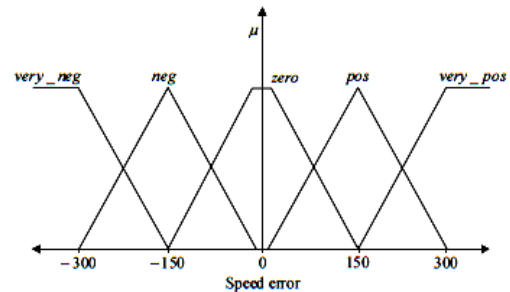
**3. การควบคุมความเร็วรอบด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี**

การควบคุมอัตราการไหลของน้ำจากบิ่มน้ำไฟฟ้า จำเป็นต้องอาศัยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยในบทความนี้ได้ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ (Encoder) ซึ่งค่าเอาต์พุตของการตรวจวัดจะอยู่ในรูปของค่าความถี่ ส่งเข้าประมวลผลควบคุมแบบฟัซซีภายในบอร์ด Arduino MEGA 1280 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 การควบคุมความเร็วรอบจริง ( $Speed_{actual}$ ) ให้มีค่าคงที่ตามค่าความเร็วรอบอ้างอิง ( $Speed_{reference}$ ) โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีจะทำการปรับเปลี่ยนค่ารอบการทำงาน ( $k$ ) ของสวิตช์  $Q_1$  ของวงจรแปลงผันแบบบักกิ้งที่มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ผ่านมา การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีอาศัยข้อมูล ความรู้ จากประสบการณ์ที่ได้จากการทดสอบการทำงานในห้องปฏิบัติการของผู้วิจัย โดยกำหนดค่าอินพุต (Speed error:  $e_s$ ) คือ ค่าผลต่างระหว่างความเร็วรอบอ้างอิงกับความเร็วรอบจริงของมอเตอร์ ดังสมการที่ (2) ทั้งนี้จะเริ่มพิจารณาที่ค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า  $\pm 10$  rpm เป็นต้นไป และเอาต์พุต (Output duty cycle:  $k_o$ ) ที่ได้จากตัวควบคุมฟัซซีจะถูกกำหนดให้เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของค่ารอบการทำงาน ( $k$ ) ของสวิตช์  $Q_1$  ต่อไป

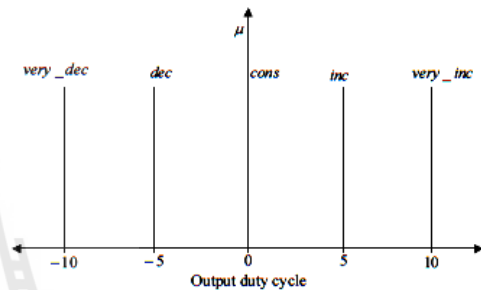
$$e_s = Speed_{reference} - Speed_{actual} \tag{2}$$

สำหรับบทความนี้กำหนดให้ค่าเชิงภาษาของความคลาดเคลื่อนความเร็วรอบ หรือตัวแปรอินพุต ( $e_s$ ) มีด้วยกัน 5 ค่า และมีฟัซซีเซตคังรูปที่ 2 ส่วนค่าเชิงภาษาของตัวแปรเอาต์พุต ( $k_o$ ) มี 5 ค่าเช่นกัน และสามารถแสดงฟัซซีเซตได้ดังรูปที่ 3 จากการกำหนดค่าเชิงภาษาของอินพุต และเอาต์พุตที่ผ่านมาจึงทำให้มีจำนวนกฎที่เป็นไปได้ทั้งหมด 5 กฎ ดังนี้

- rule 1 : IF  $e_s$  is *very\_neg* THEN  $k_o$  is *very\_dec*
- rule 2 : IF  $e_s$  is *neg* THEN  $k_o$  is *dec*
- rule 3 : IF  $e_s$  is *zero* THEN  $k_o$  is *cons*
- rule 4 : IF  $e_s$  is *pos* THEN  $k_o$  is *inc*
- rule 5 : IF  $e_s$  is *very\_pos* THEN  $k_o$  is *very\_inc*



รูปที่ 2 ค่าเชิงภาษาของตัวแปรอินพุต



รูปที่ 3 ค่าเชิงภาษาของตัวแปรเอาต์พุต

สำหรับขั้นตอนการทำฟัซซีเพื่อหาค่าเอาต์พุตจะใช้วิธีการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno [3] ด้วยวิธีที่เรียกว่า คำนำน้าหนักเฉลี่ย (weighted average : WA) ซึ่งมีกรคำนวณดังสมการที่ 3

$$x_{WA} = \frac{\sum_{m=1}^m \mu(k_m) \times k_m}{\sum_{m=1}^m \mu(k_m)} \tag{3}$$

โดยที่  $\mu(k_m)$  คือ ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต

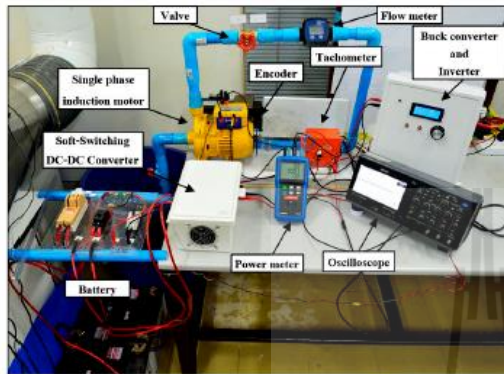
$k_m$  คือ ค่าคงที่ของเอาต์พุตที่เป็นเส้นตรง

จากสมการที่ 3 ค่าเอาต์พุตที่ได้จะถูกนำไปรวมกับค่ารอบการทำงาน ( $k$ ) ของสวิตช์  $Q_1$  เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจนทำให้ทำให้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์เข้าใกล้ค่าอ้างอิงมากที่สุด

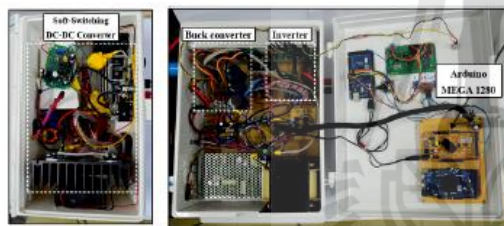
**4. ผลการทดสอบและการอภิปราย**

วงจรขับเคลื่อนบิ่มน้ำไฟฟ้าดังรูปที่ 1 เมื่อดำเนินการสร้างฮาร์ดแวร์ในการทดสอบจริง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 และแสดงส่วนประกอบภายในชุดขับเคลื่อนดังรูปที่ 5 ซึ่งบิ่มน้ำไฟฟ้าที่ใช้ คือ บิ่มน้ำไฟฟ้าชนิดหอยโข่ง(รุ่น ACH-375S, 0.37 kW, 220 V<sub>rms</sub>, 50 Hz ) สำหรับการทดสอบการควบคุมความเร็วรอบจริงที่ได้จากมอเตอร์ ให้มีค่าคงที่ตามความเร็วรอบอ้างอิง ได้แบ่งทำการทดลองออกเป็นสองกรณี คือ กรณี

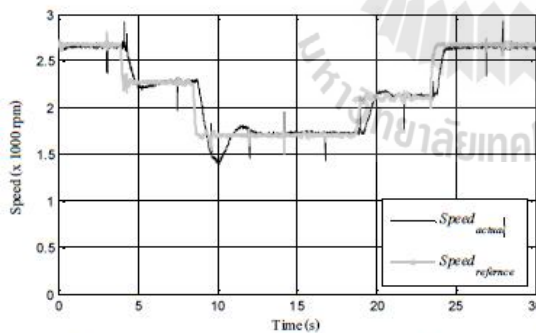
ปรับลดค่าความเร็วรอบอ้างอิง และกรณีปรับเพิ่มค่าความเร็วรอบอ้างอิง ซึ่งผลการทดสอบการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำไฟฟ้าทั้งสองกรณี สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 อุปกรณ์ตรวจวัดและฮาร์ดแวร์ชุดขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า



รูปที่ 5 ส่วนประกอบภายในชุดขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้า



รูปที่ 6 ผลการทดสอบการกู่เข้าของความเร็วรอบจริงกับความเร็วรอบอ้างอิง

จากรูปที่ 6 ที่เวลาเท่ากับ 4 วินาที ได้ทำการปรับลดความเร็วรอบอ้างอิงจาก 2666 rpm เป็น 2260 rpm จะเห็นได้ว่า รูปสัญญาณของความเร็วรอบจริงของมอเตอร์มีค่ากู่เข้ากู่ค่าความเร็วรอบอ้างอิง โดยใช้เวลาในการกู่เข้าประมาณ 2 วินาที และเมื่อทำการปรับลดความเร็วรอบอ้างอิงลดลงอีกครั้งจาก 2260 rpm เป็น 1700 rpm พบว่ารูปสัญญาณใช้เวลาในการกู่เข้าประมาณ 4 วินาที ต่อมาได้ทำการปรับเพิ่มค่าความเร็วรอบอ้างอิงจาก 1700 rpm เป็น 2100 rpm พบว่ารูปสัญญาณความเร็ว

รอบจริงใช้เวลาในการกู่เข้าประมาณ 4 วินาที และสุดท้ายทำการปรับเพิ่มค่าความเร็วรอบอ้างอิงจาก 2100 rpm เป็น 2650 rpm พบว่าสามารถกู่เข้าตามค่าความเร็วรอบอ้างอิงได้เช่นเดิม โดยใช้เวลากู่เข้าประมาณ 1.5 วินาที จากผลการทดสอบดังกล่าว จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้จากการออกแบบ มีสมรรถนะการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถควบคุมความเร็วรอบจริงของมอเตอร์ให้มีค่ากู่เข้าได้ตามค่าอ้างอิงที่กำหนด ซึ่งจากการทดสอบทั้งสองกรณี จะสังเกตได้ว่าเวลาในการกู่เข้าบางช่วงยังคงมีค่ามาก ทั้งนี้อาจปรับค่าเวลาดังกล่าวได้จากการออกแบบกฎการควบคุมใหม่ แต่ในบทความนี้ เวลาในการกู่เข้าดังกล่าวเป็นไปตามความต้องการของผู้วิจัย ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 10 วินาที ทั้งนี้เนื่องจากการใช้งานจริงค่าความเร็วรอบอ้างอิงจะไม่เปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป ซึ่งส่วนใหญ่จะให้มีค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง

## 5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการควบคุมอัตราการไหลด้วยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั้มน้ำไฟฟ้าที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ การทดสอบการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในบทความนี้ได้ใช้วงจรขับเคลื่อนปั้มน้ำไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจริง โดยวงจรขับเคลื่อนดังกล่าวใช้วงจรถูกคิดค้นขึ้นเฟสวงจรแปลงผันแบบบัก์ และวงจรถอพอต์สวิตซิงคิซึทาคิชิคอนเวอร์เตอร์ จากผลการทดสอบ พบว่า ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้นำเสนอ สามารถควบคุมให้ค่าความเร็วรอบมีค่าคงที่ตามค่าอ้างอิงที่เพื่อให้ได้อัตราการไหลของน้ำตามต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] I. Bakman and V. Valery, "Sensorless pressure control of centrifugal pumps," *Compatibility and Power Electronics*, 8<sup>th</sup>, 2013, pp. 304 – 309
- [2] Information and Control, Fuzzy sets, L. A. Zadeh, 1965, pp. 338-353
- [3] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of System and its Applications to modeling and control," *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetic*, 1985, SMC-15, pp. 116-132

## ประวัติผู้วิจัย

รศ.ดร.กองพล อารีรักษ์ สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี โท และเอก ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2543 2546 และ 2550 ตามลำดับ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ และหัวหน้าหน่วยวิจัยคุณภาพกำลังไฟฟ้า ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีความชำนาญทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง วงจรกรองกำลังแอกทีฟ การขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า คุณภาพกำลังไฟฟ้า ระบบควบคุม และการประยุกต์ทางด้านปัญญาประดิษฐ์

