

อกินันทนาการ



สำนักหอสมุด



ระบบผลิตไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
3 PHASE ELECTRIC GENERATING SYSTEM USING
INDUCTION MOTOR

นายชिरารุช ไชยเมือง รหัส 50383837

นายไพรัช วงศเหมอะ รหัส 52362090

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

วันลงทะเบียน..... 10 ต.ค. 2560

เลขทะเบียน..... 1 919 527

เลขเรียกหนังสือ.....

✓
55765
2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2557





ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อโครงการ ระบบผลิตไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
ผู้ดำเนินโครงการ นายชिरารุช ไชยเมือง รหัส 50383837
นายไพรัช วงศเหมอะ รหัส 52362090
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มมน
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มมน)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนัส นัถฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ระบบผลิตไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจิราวุธ	ไชยเมือง	รหัส 50383837
	นายไพรัช	วงศเหมอะ	รหัส 52362090
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มมนั		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้พัฒนามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Motor) ขนาด 3 เฟส แรงดัน 220 V พิกัด 100 W เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Generator) และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino UNO R3) ควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ด้านขาออกของมอเตอร์ไฟฟ้าให้คงที่ด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นและส่งค่าผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก และผ่านเข้าสู่วงจรออปแอมป์ที่มีอัตราขยาย 2 เท่า เพื่อส่งงานให้แหล่งกำเนิดกำลัง (Primary Mover) ที่ประกอบไปด้วยอินเวอร์เตอร์พิกัด 200W และมอเตอร์ไฟฟ้าพิกัด 200W เชื่อมแกนโรเตอร์เข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าพิกัด 100W ต่อตัวเก็บประจุขนาด 6.5 μF ขนาดที่ขั้วของมอเตอร์ไฟฟ้าพิกัด 100W เพื่อเปลี่ยนสถานะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากการทดลองพบว่า เมื่อปรับตั้งความถี่ให้คงที่ ที่ค่าแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 220V ในขณะที่ไม่ต่อภาระไฟฟ้า เมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าเข้าไปในระบบครั้งละ 15 W 2 ครั้ง คือ 15 W และ 30 W จะทำให้แรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง 12.45% และ 31.14% ตามลำดับ แต่ถ้าเพิ่มภาระไฟฟ้าเป็น 45 W จะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าหลุดพ้นจากสถานะการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และในการทดลองปรับตั้งแรงดันให้คงที่ 220 V โดยการเพิ่มความเร็วยรอบการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตแรงดันให้กับภาระไฟฟ้าที่ 90 W ได้เต็มพิกัด แต่ถ้าเพิ่มภาระไฟฟ้าเป็น 105 W เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไฟฟ้าสามารถผลิตแรงดันได้เพียงแค่ 95% เนื่องจาก พิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าที่นำมาพัฒนาสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพียง 100 W

Project title 3 Phase Electric Generating Systems using Induction Motor

Name Mr.Chirawoot Chaimuang ID. 50383837

 Mr.Pairat Wongmoe ID. 52362090

Project advisor Assistant Professor SuchartYammen, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2014

Abstract

This project is developed for 3-phase 100W-induction motor 220V which is considered to be an induction generator using micro controller Arduino UNO R3 to control the output voltage of its motor to make it stable. This can be done by setting up an initial value, then transfer this value to go through Digital to Analog Converter. After that, the signal will go through the Op-Amp with double gain to order the primary mover to transfer its working status to be an induction generator. The primary mover consists of 200W-inverter and 200W-induction motor, and it connects the rotor of 100W-induction motor connected parallel with 6.5 μ F capacitor at the terminal.

The experimental results show that when frequency is set to be stable, a voltage of induction generator will be equal to 220V at the time of having no load. If the load has been added to the system by 15W each time, it could be from 2 cases: 15W and 30W. This case will make the voltage of induction generator decrease for 12.45% and 31.14%, respectively. However, if the load is increased to 45W, it will result in making induction motor out of its status. For the experiment in adjusting voltage to be stable as 220V, this can be done by adding more speed around the induction generator and it can generate voltage to be 90W which is the max. However, if we add the load to be 105W, the induction generator will produce the only 95% because the induction motor has been taken to developed and it can generate 100W of electricity power.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ
แย้มเม่น ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและให้ความกรุณาในการตรวจทาน ปรินูญานิพนธ์ คณะ
ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนัส นัตถฤทธิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์กัระ
วิทยา ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบ โครงการที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็น
ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบ
รายวิชาโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการพิมพ์รูปเล่มปรินูญานิพนธ์
รวมถึงแก้ไขปรับปรุงให้รูปเล่มปรินูญานิพนธ์ให้ถูกต้องตามหลักการพิมพ์และอื่นๆ ที่ทำให้
ปรินูญานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณประทีป ตั้งษ์เป็น ที่กรุณาช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบวงจร
อิเล็กทรอนิกส์และการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้รวมถึง
ความรู้ใหม่ๆ

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และ
ใช้ห้องปฏิบัติการ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้จัดทำโครงการ
ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา เป็นที่ปรึกษาปัญหาใน
ทุกๆ เรื่อง รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับ
ความสำเร็จอย่างทุกวันนี้และขอขอบคุณทุกๆ คนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้
กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายชิราวุธ ไชยเมือง

นายไพรัช วงศเหมอะ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	4
1.6 งบประมาณ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	5
2.1.1 การทำงานในสภาวะมอเตอร์ (Motor).....	6
2.1.2 การทำงานในสภาวะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator).....	6
2.2 การกระตุ้นกำลังไฟฟ้าในมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยตัวเก็บประจุต่อขนาน.....	6
2.3 การแบ่งแรงดันโดยวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider).....	8
2.4 การแปลงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้วยวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์.....	9
2.5 การขยายสัญญาณแรงดันโดยวงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับขั้ว.....	9
2.5.1 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ (Non-Inverting Amplifier).....	10
2.5.2 วงจรจำกัดสัญญาณแรงดัน (Limiters).....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 วงจรกรองความถี่	12
2.7 การแปลงผันดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital to Analog Conversion: DAC).....	13
2.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller).....	13
2.9 โครงสร้างของโปรแกรมภาษาซี	14
2.10 อินเวอร์เตอร์	15
2.11 การควบคุมแบบรบบเปิด (Open Loop Control)	16
2.12 การปรับเพิ่มความเร็วรอบ	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ	18
3.1 ออกแบบชุดควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	18
3.1.1 ออกแบบแผ่นสแตนด์เลสที่ใช้ทำเป็นแท่นวางและเขวนอุปกรณ์	19
3.1.2 ติดตั้งอุปกรณ์ชุดแรงขับต้นกำลัง	20
3.2 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	20
3.3 การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ.....	21
3.4 การสร้างวงจรกระแสไฟฟ้า	23
3.5 การสร้างชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.5.1 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดัน	27
3.5.2 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรแปลงผันดิจิทัลเป็นแอนะล็อก และวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ	29
3.5.3 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์.....	31
3.5.4 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม	33
3.5.5 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรแหล่งจ่ายไฟ	35
3.5.6 บอร์ด Arduino UNO R3	36
3.5.7 ออกแบบและสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	40
4.1 การทดลองหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	40
4.2 การทดลองหาภาระไฟฟ้าสูงสุด โดยกำหนดความถี่.....	42
4.3 การทดลองการปรับตั้งแรงดัน.....	44
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการดำเนิน โครงการ	48
5.2 ปัญหาและการแก้ไข.....	49
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก การติดตั้งโปรแกรม Arduino UNO R3	51
ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	55
ภาคผนวก ค รายละเอียด IC Atmega328P	58
ภาคผนวก ง รายละเอียด IC LM78xx	66
ประวัติผู้ดำเนิน โครงการ.....	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน่วยความจำและขอบเขตของข้อมูลแต่ละประเภท	15
2.2 การเซตค่าอินเวอร์เตอร์	16
3.1 ตำแหน่งการเชื่อมต่อสายไฟของอุปกรณ์ต่างๆ ระหว่างเทอร์มินอล	39
4.1 ผลการหาค่าตัวเก็บประจุที่ค่าต่างๆระหว่าง $1 \mu F - 7 \mu F$ ที่ความเร็วรอบ 0 – 2500 รอบ	41
4.2 ปริมาณแรงดันที่ลดลงเมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าขึ้น	43
4.3 การปรับตั้งแรงดันคงที่ โดยเพิ่มความเร็วรอบตามการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้า	46



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะพฤติกรรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความเร็วสลิปต่างๆ	6
2.2 ทิศทางการส่งจ่ายกำลัง ไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟของระบบ	7
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อตัวเก็บประจุส่งกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟกลับเข้ามาในระบบ	7
2.4 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีภาระงานด้านเอาต์พุต	9
2.5 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของออปโตแอมป์	9
2.6 ลักษณะของวงจรขยายสัญญาณแบบ ไม่กลับขั้ว	10
2.7 ลักษณะของวงจรจำกัดสัญญาณแรงดัน	11
2.8 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟลำดับที่ 2	12
2.9 องค์ประกอบต่างๆ บนบอร์ด Arduino UNO R3	13
2.10 การต่อตัวต้านทานปรับค่าได้	17
3.1 วงจรระบบไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	18
3.2 ภาพรวมของชุดควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	19
3.3 ภาพร่างแผ่นสแตนด์เลสที่ใช้ทำเป็นฐานสำหรับยัดอุปกรณ์	19
3.4 ตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำแรงดันกำลังและอินเวอร์เตอร์	20
3.5 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	21
3.6 การเชื่อมแกน โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยคอนเนคเตอร์	21
3.7 การต่อตัวเก็บประจุขนานเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	23
3.8ก ลักษณะกล่องชุดตัวเก็บประจุ	23
3.8ข ตำแหน่งการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ	23
3.9 ลักษณะการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าเข้าระบบ	24
3.10 ลักษณะการต่อวงจรภาระไฟฟ้า	24
3.11 วงจรภาระไฟฟ้า	24
3.12 ไลอะแกรมวงจรชุดควบคุมแรงดันด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	25
3.13 แผนผังการวางตำแหน่งของบอร์ดวงจร	26
3.14 แผนภาพแสดงบอร์ดวงจรอ่านค่าแรงดัน	27
3.15 บอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดัน	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 แผนภาพแสดงบอร์ดวงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะล็อก และวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ R3	30
3.17 วงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะล็อกและวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ	31
3.18 แผนภาพแสดงบอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์.....	32
3.19 บอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์	33
3.20 แผนภาพบอร์ดวงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม	34
3.21 บอร์ดวงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม	34
3.22 แผนภาพบอร์ดวงจรแหล่งจ่ายไฟ.....	35
3.23 บอร์ดวงจรแหล่งจ่ายไฟ	36
3.24 บอร์ด Arduino UNO R3	36
3.25 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง.....	38
3.26 กกล่องชุดควบคุม.....	38
3.26x ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆภายในชุดควบคุม.....	38
3.27 ลักษณะการเชื่อมสายไฟของอุปกรณ์ต่างๆระหว่างเทอร์มินอลพอร์ต	39
4.1 กราฟแสดงผลแรงดันที่ลดลงเมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้า.....	44
4.2 กราฟแสดงความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้า	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ประเภทหนึ่งที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยทั่วไปแล้วจะพบมากในรูปแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส(Synchronous Generator)เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการผลิตพลังงานไฟฟ้า แต่มีข้อเสียในเรื่องของการทำงานที่ต้องใช้ความเร็วรอบหมุนของโรเตอร์ที่เท่ากับความเร็วหมุนซิงโครนัส อีกทั้งต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าที่โรเตอร์เพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โครงสร้างของโรเตอร์มีความยุ่งยากเพราะจำเป็นต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก และขดลวดของโรเตอร์มีโอกาสชำรุดจากการทำงาน เป็นผลทำให้มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

อุปกรณ์ที่สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อีกประเภท คือมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Motor) ที่มีการทำงานได้ทั้งสถานะมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การสร้างสนามแม่เหล็กทำได้โดยการรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากชุดตัวเก็บประจุ โดยไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายภายนอก โครงสร้างของโรเตอร์มีความแข็งแรงเนื่องจากใช้แท่งตัวนำแทนการใช้ขลวด ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงมากกว่า

ทางผู้จัดทำโครงการจึงมีความคิดที่จะนำมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มาสร้างเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในสถานะที่มีภาระงานต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์

1.2.2 เพื่อสร้างเครื่องจำลองแหล่งต้นกำลังที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขนาด 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์

1.2.3 เพื่อสร้างชุดควบคุมสัญญาณแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2.4 เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.2.5 เพื่อหากระแสไฟฟ้าสูงสุดโดยกำหนดความถี่คงที่

1.2.6 เพื่อควบคุมสัญญาณแรงดันให้คงที่

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ กระแส 0.73 แอมป์เปร์ กำลังงาน 100 วัตต์

1.3.2 ชุดควบคุมสัญญาณแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินูโน อาร์สาม (Arduino UNO R3)

1.3.3 แหล่งต้นกำลัง (Pri-Mover) ใช้อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ขนาด 3 เฟส แรงดัน 240 โวลต์ กำลังงาน 200 วัตต์ ร่วมกับ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขนาด 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ กำลังงาน 200 วัตต์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินงาน (เดือน)					
	1	2	3	4	5	6
1.ศึกษาทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ - หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส - การกระตุ้นกำลังไฟฟ้าในมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยตัวเก็บประจุต่อขนาน						
2.ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของชุดควบคุมสัญญาณแรงดันด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ - การแบ่งแรงดันโดยวงจรแบ่งแรงดัน - การแปลงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้วยวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ - การแปลงรูปคลื่นสัญญาณโดยวงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับขั้ว - วงจรกรองความถี่ - การแปลงพินิจิตอลเป็นแอนะล็อก - ไมโครคอนโทรลเลอร์						
3. สร้างแบบจำลองชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ						
4. สร้างชุดควบคุมสัญญาณแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์						
5. ทดลองหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า						
6. ทดลองหาภาระงานสูงสุดโดยกำหนดความถี่คงที่						
7. ทดลองการปรับตั้งแรงดันคงที่						
8. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง						
9. จัดทำรูปเล่มรายงาน						

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ จากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- 1.5.2 ได้ชุดควบคุมแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.5.3 พัฒนาทักษะความรู้ในด้านการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ และการออกแบบวงจร
- 1.5.4 ได้ทักษะความรู้ในด้านการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส จากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1.6.1 ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1,500 บาท
1.6.2 ค่าถ่ายเอกสารและค่าจัดทำรูปเล่มโครงการ	500 บาท
รวมเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น	2,000 บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) เกิดขึ้นจากการหมุนของสนามแม่เหล็กที่ เกิดขึ้นจากขดลวดสเตเตอร์ 3 ชุด วางทำมุมห่างกัน 120 องศาภายในสเตเตอร์ ซึ่งความเร็วของ สนามแม่เหล็กหมุนจะเกิดขึ้น โดยกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสเตเตอร์ทั้งสามเฟสสร้างสนามแม่เหล็ก ขึ้นกระจายไปในช่องว่างอากาศ (Air Gap) และเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในแท่งตัวนำของโร เตอร์ เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสเตเตอร์ตัดผ่านแท่งตัวนำโรเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กชั่วครู่ ข้ามกับสเตเตอร์ ทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน ดังนั้นทิศทางการหมุนของ โรเตอร์จะเคลื่อนไป ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กหมุนดังกล่าวจะหมุนด้วย ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) ที่แปรผันไปตามภาระงานที่มอเตอร์หมุนขับ แต่โรเตอร์ จะหมุนช้ากว่าเล็กน้อยซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนจากขดลวดส เตเตอร์และความเร็วของ โรเตอร์ ซึ่งค่าความต่างระหว่างความเร็วนี้เรียกว่า “ความเร็วสลลิป” (Slip Speed)^[1]

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

$$S = \frac{N_s - N_R}{N_s} \quad (2.2)$$

$$N_R = (1 - S) \cdot N_s \quad (2.3)$$

โดยที่	N_s	คือความเร็วซิงโครนัสของสนามแม่เหล็กหมุน (rpm)
	N_R	คือความเร็วของโรเตอร์ (rpm)
	f	คือความถี่ทางไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (Hz)
	P	คือจำนวนขดลวดแม่เหล็กของขั้วสเตเตอร์ (Pole)
	S	คือเปอร์เซ็นต์สลลิป

การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วสลลิป โดยสามารถแบ่งลักษณะการ ทำงานได้เป็น 2 ลักษณะ ดังต่อไปนี้

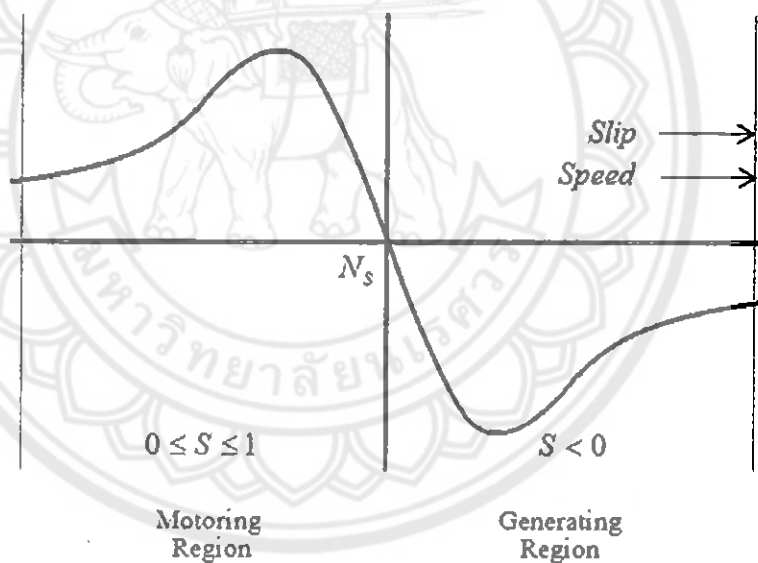
2.1.1 การทำงานในสภาวะมอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีพฤติกรรมเป็นมอเตอร์จะทำงานในช่วงค่าความเร็วสลลิปที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 รับแรงขับเคลื่อนจากแหล่งจ่ายภายนอกแปลงเป็นพลังงานทางกลหมุนด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเพื่อนำไปใช้เป็นแรงขับเคลื่อนในงานอื่นๆ

2.1.2 การทำงานในสภาวะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

กรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำจะสามารถทำงานในสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้นั้นจะต้องมีตัวขับเคลื่อนที่แหล่งต้นกำลัง ให้แกนของโรเตอร์หมุนที่ความเร็วสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส ซึ่งจะทำให้ค่าความเร็วสลลิปน้อยกว่าศูนย์หรือติดลบ โดยจะต้องรับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากระบบไฟฟ้าตลอดเวลาเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าแอกทีฟออกมา ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

พฤติกรรมทั้งสองลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว



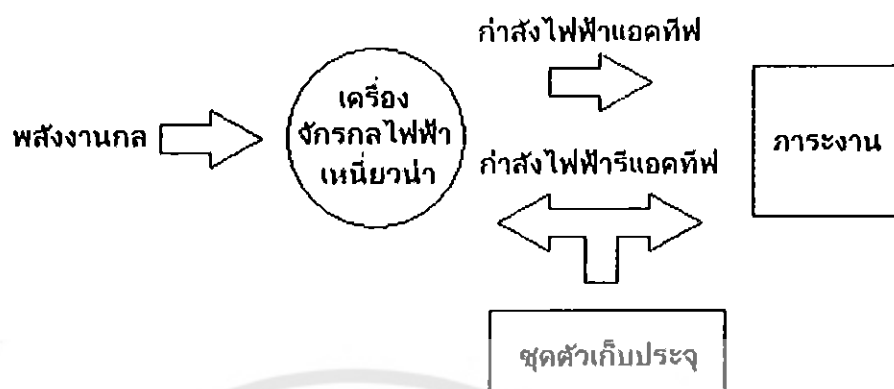
รูปที่ 2.1 ลักษณะพฤติกรรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความเร็วสลลิปต่างๆ

2.2 การกระตุ้นกำลังไฟฟ้าในมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยตัวเก็บประจุต่อขนาน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Generator) สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาได้ก็ต่อเมื่อคิ่งกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากระบบไฟฟ้าเข้ามาในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อนำไปสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าแอกทีฟเพิ่มมากขึ้น

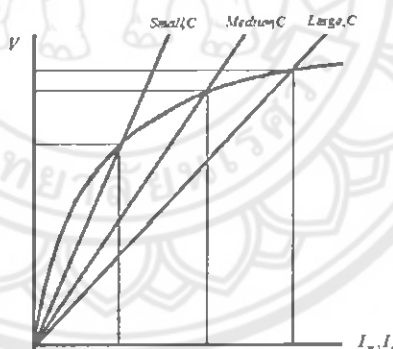
เพื่อที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำเป็นต้องต่อตัวเก็บประจุ (Capacitor) ขนานเข้ากับเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งตัวเก็บประจุสามารถจ่ายกำลังรีแอกทีฟ

ให้กับระบบแทนการรับกำลังรีแอกทีฟจากระบบไฟฟ้าโดยตรง จะเรียกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดนี้ว่า “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นตัวเอง”^[2]



รูปที่ 2.2 ทิศทางการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอกทีฟของระบบ

ในขณะที่ถูกขับเคลื่อนด้วยแรงดันกำลังที่มีความเร็วมากกว่าความเร็วซิงโครนัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะผลิตแรงดันไฟฟ้าปริมาณเพียง 1-2 % ของแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดมอเตอร์ ซึ่งเกิดจากสนามแม่เหล็กตกค้างภายในขดลวดของสเตเตอร์ขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีสถานะการทำงานเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อตัวเก็บประจุส่งกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟกลับเข้ามาในระบบ

เมื่อตัวเก็บประจุสร้างกำลังไฟฟารีแอกทีฟเข้าระบบทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดของสเตเตอร์เหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าทางค้ำสเตเตอร์สูงขึ้น เรียกสภาวะนี้ว่าการเริ่มต้นสร้างแรงดันไฟฟ้า (Build-Up) เมื่อแรงดันเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้กระแสทางค้ำสเตเตอร์เพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนถึงจุดสมดุล^[3] ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมามีค่าคงที่

ในสถานะที่ไม่มีภาระงานกระแสที่ตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับกระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กและกระแสตัวเก็บประจุของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า^[4] ได้ดังนี้

$$S = \sqrt{3} \cdot IV \quad (2.4)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot IV \cdot \cos\theta \quad (2.5)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.6)$$

$$Q_\phi = \frac{Q}{3} \quad (2.7)$$

$$I_c = \frac{Q_\phi}{V_c} \quad (2.8)$$

$$X_c = \frac{V_c}{I_c} \quad (2.9)$$

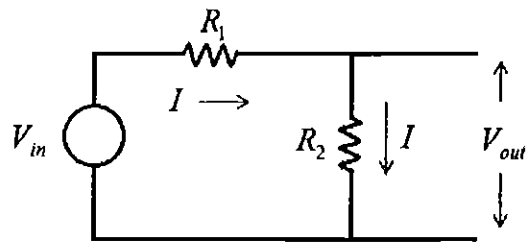
$$C_{\max} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_c} \quad (2.10)$$

โดยที่	S	คือกำลังปรากฏ (VA)
	P	คือกำลังปรากฏไฟฟ้า (W)
	X_c	คือความจุจินตภาพของอิมพีแดนซ์
	Q	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (VAR)
	C_{\max}	คือค่าความจุตัวเก็บประจุ
	V	คือแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)
	f	คือความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า (Hz)

2.3 การแบ่งแรงดันโดยวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดัน^[5] เป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานสองตัวต่ออนุกรมกัน ทำหน้าที่ในการแบ่งแรงดันของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source) ให้มีปริมาณลดลง โดยผลลัพธ์ของแรงดันที่ถูกลดทอนลงจากแหล่งจ่ายคือปริมาณแรงดันที่ตกคร่อมบนตัวต้านทาน R_2

การแบ่งแรงดันในกรณีที่ด้านเอาต์พุตของวงจรไม่มีภาระงานเชื่อมต่อ จะสามารถคำนวณโดยการกำหนดให้กระแสที่ไหลอยู่ภายในวงจรเป็นกระแสที่ไหลผ่านทุกองค์ประกอบในวงจรได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีภาระงานด้านเอาต์พุต

$$I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \tag{2.11}$$

$$V_{out} = IR_2 \tag{2.12}$$

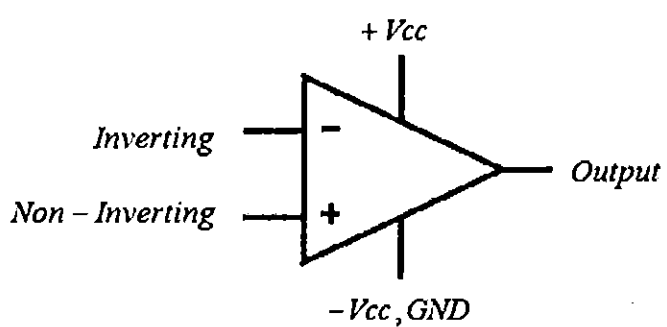
$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \tag{2.13}$$

2.4 การแปลงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้วยวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

การแปลงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นการทำงานในส่วนหนึ่งของไอซี DBL106G ที่มีลักษณะการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge full-wave rectifier) โดยลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณจะที่ได้จะถูกจัดเรียงให้เป็นสัญญาณด้านบวกทั้งหมดและมีค่าเฉลี่ยแรงดันทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 63.6% ของค่าสูงสุด

2.5 การขยายสัญญาณแรงดันโดยวงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับขั้ว

ออปแอมป์ (Operation Amplifier, Op-Amp) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง โครงสร้างภายในประกอบด้วยสารกึ่งตัวหลายชนิด เช่น ทรานซิสเตอร์ (BJT) มอสเฟต (MOSFET) ไดโอด (Diode) และตัวต้านทาน(R) โดยอุปกรณ์ทั้งหมดนี้จะถูกประกอบและต่อรวมกันอยู่ในรูปของวงจรรวมที่มีคุณสมบัติในการขยายแรงดัน (Voltage Gain)



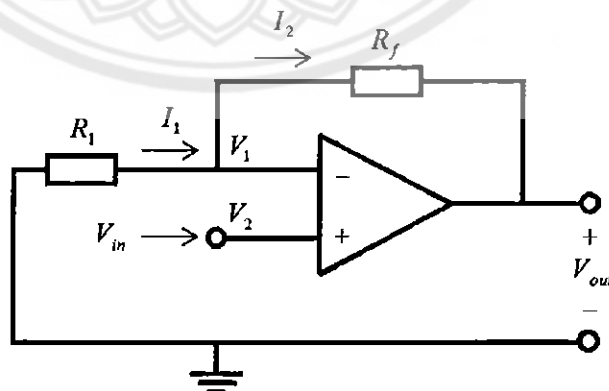
รูปที่ 2.5 ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของออปแอมป์

- โดยที่
- *Inverting* เป็นขาอินพุตของออปแอมป์ สามารถรับสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นได้ทั้ง กระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าที่ถูกป้อนเข้าไปจะ ได้สัญญาณที่ ตรงกันข้ามหรือกลับหัวออกมาทางขา *Output*
 - *Non – Inverting* เป็นขาอินพุตของออปแอมป์ สามารถรับสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น ได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าที่ถูกป้อนเข้าไปจะ ได้ สัญญาณที่ตรงกันข้ามหรือกลับหัวออกมาทางขา *Output*
 - $+V_{cc}$ เป็นขาอินพุตไฟบวก โดยทั่วไปจะใช้แรงดันประมาณ 15 โวลต์
 - $-V_{cc}$ เป็นขาอินพุตไฟลบ โดยทั่วไปแล้วจะใช้แรงดันประมาณ -15 โวลต์ หรือ *GND* ในออปแอมป์ที่มีแหล่งจ่ายเดียว
 - *Output* เป็นขาเอาต์พุตของออปแอมป์ เพื่อใช้บอกสถานะการณทำงาน ซึ่งเป็น ผลลัพธ์จากการป้อนสัญญาณเข้าที่ขาอินพุตทั้งสองของออปแอมป์ (*Inverting* และ *Non – Inverting*)

ในโครงการนี้ ผู้ดำเนินโครงการเลือกใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM324N ซึ่งเป็นออปแอมป์ ประเภทแหล่งจ่ายเดียวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างวงจรขยายไม่กลับหัวสัญญาณ และ วงจรจำกัด สัญญาณแรงดันซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 วงจรขยายไม่กลับหัวสัญญาณ (Non-Inverting Amplifier)

เป็นการประยุกต์ใช้งานที่มีการต่อหัวสัญญาณอินพุตเข้าขาไม่กลับหัวของออปแอมป์ ความต้านทาน R_1 ต่อเข้ากับขากลับหัวเทียบกับกราวด์ และความต้านทานป้อนกลับ R_f ต่อ ระหว่างหัวเอาต์พุตและขากลับหัวดังรูป



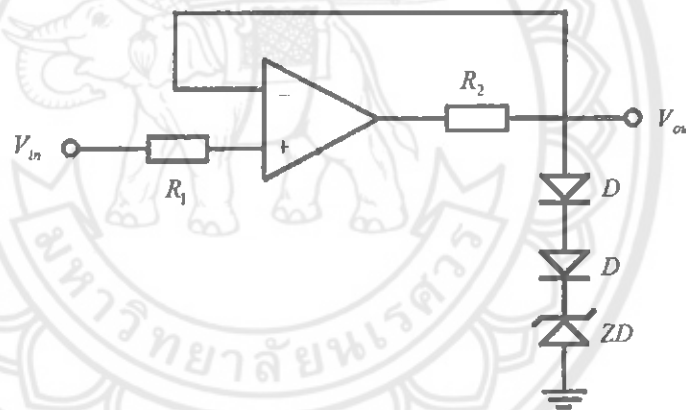
รูปที่ 2.6 ลักษณะของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับหัว⁽⁶⁾

$$\text{อัตราขยายแรงดันมีค่าเท่ากับ } A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \quad (2.14)$$

ดังนั้นวงจรนี้จะมีอัตราขยายเป็น $1 + (R_f / R_1)$ ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายได้ตามค่าของ R_1 และ R_f นั้นเอง โดยอัตราขยายที่เป็นบวกแสดงถึงการไม่กลับขั้วของสัญญาณ ถ้าแรงดันอินพุตเป็นบวกแรงดันเอาต์พุตก็จะมีค่าเป็นบวก ในทำนองเดียวกันถ้าแรงดันอินพุตเป็นลบแรงดันเอาต์พุตก็จะมีค่าลบ

2.5.2 วงจรจำกัดสัญญาณแรงดัน (Limiters)

วงจรจำกัดสัญญาณจะทำหน้าที่จำกัดสัญญาณให้อยู่ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด (Breakpoint) โดยสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณอินพุตที่มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่กำหนด สัญญาณเอาต์พุตจะถูกบังคับให้มีระดับคงที่เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด



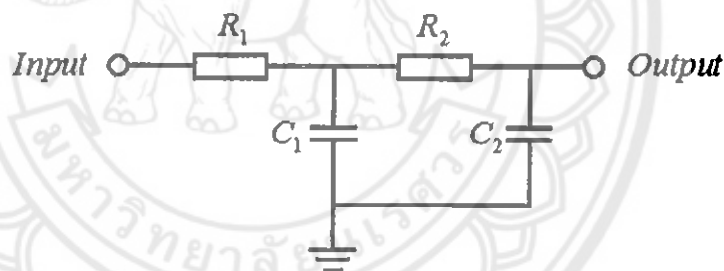
รูปที่ 2.7 ลักษณะของวงจรจำกัดสัญญาณแรงดัน

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นในวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงต้องมีวงจรจำกัดสัญญาณแรงดันเพิ่มเข้าไปในระบบ ซึ่งประกอบด้วยไดโอดและซีเนอร์ไดโอดที่ใช้กำหนดค่าในการจำกัดสัญญาณแรงดันต่ออยู่ในส่วนป้อนกลับของออปแอมป์

2.6 วงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ (Filter) ทำหน้าที่เลือกความถี่ที่ต้องการหรือตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออก สามารถแบ่งวงจรกรองความถี่ออกเป็น 2 แบบ คือ แบบพาสซีฟ (Passive Filter) และแบบแอคทีฟ (Active Filter) วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ ใช้ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ส่วนในวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ จะใช้ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถทำการขยายสัญญาณได้ เช่น ออปแอมป์

ในทางอุดมคติ กรณีสที่ความถี่ของอินพุตมีค่ามากกว่าความถี่ตัดที่ต้องการ (Cut off frequency, f_c) วงจรจะตัดสัญญาณความถี่นั้นไม่ให้ออกเอาต์พุต แต่ในทางปฏิบัติวงจรจะไม่สามารถตัดความถี่ลักษณะนี้ได้ทันที แต่วงจรจะค่อยๆ ลดการตอบสนองความถี่ของช่วงที่ไม่ต้องการ^[7] โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับลำดับ (Order) ของวงจรกรองความถี่ ซึ่งโดยทั่วไปวงจรกรองความถี่มีลำดับตั้งแต่ 1 , 2 , 3 , 4 ไปเรื่อยๆ จนถึงลำดับที่ n โดยในโครงงานนี้จะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟลำดับที่ 2 ในการดำเนินงาน



รูปที่ 2.8 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟลำดับที่ 2

จากรูปสามารถกำหนดความถี่ตัดได้ตามสมการดังนี้

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.15)$$

ถ้ากำหนดให้ $R_1 = R_2 = R$ และ $C_1 = C_2 = C$ จะเขียนสมการ 2.15 ใหม่ได้เป็น

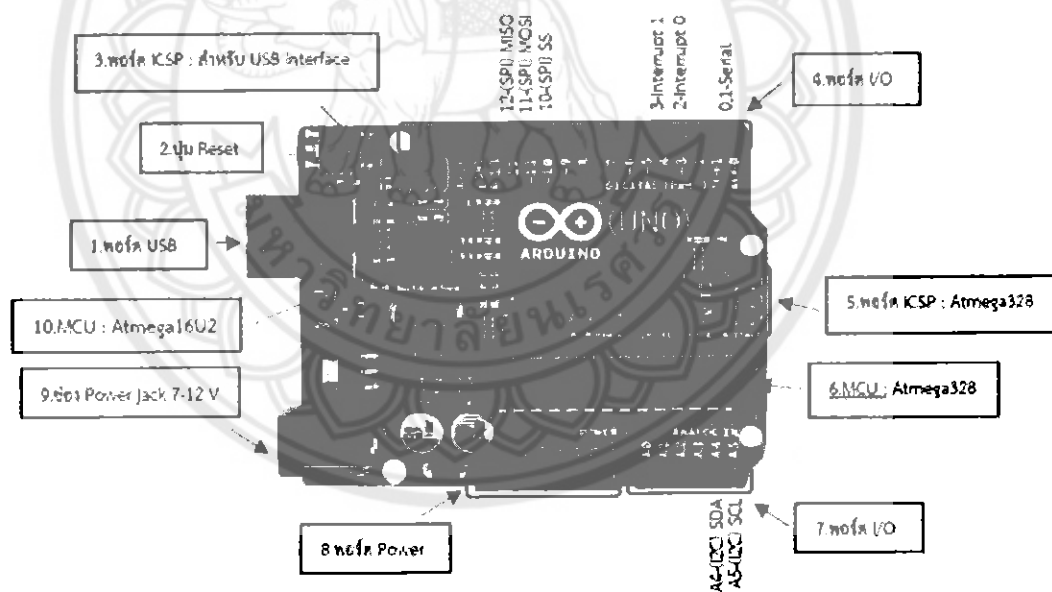
$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot RC} \quad (2.16)$$

2.7 การแปลงผันดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital to Analog Conversion: DAC)

การแปลงผันดิจิทัลเป็นแอนะล็อกเป็นการทำงานในส่วนของไอซี MCP4922 เพื่อแปลงข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งสัญญาณดิจิทัลขนาด 0 – 12 บิต โดยจะใช้การสื่อสารแบบเอสพีไอ (SPI) ซึ่งการสื่อสารแบบเอสพีไอเป็นการส่งข้อมูลโดยจะมีการส่งคำสั่งและข้อมูลไปพร้อมกัน ครั้งละ 16 บิตแบ่งเป็นส่วนคำสั่ง 4 บิต และส่วนข้อมูล 12 บิต ต่อการแปลงสัญญาณดิจิทัล 1 ค่า

2.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller)

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง สามารถรองรับโปรเจกต์และไลบรารีใหม่ๆ ได้เป็นอย่างดี ที่เหมาะสำหรับผู้ใช้ที่เพิ่งเริ่มต้นเรียนรู้การใช้งาน และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบต่างๆ บนบอร์ด Arduino UNO R3⁽⁸⁾

1. พอร์ต USB ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. ปุ่ม Reset เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. พอร์ต ICSP ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

4. พอร์ต I/O Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin 0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. พอร์ต ICSP Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. พอร์ต I/O นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. พอร์ต Power ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}
9. Power Jack รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

2.9 โครงสร้างของโปรแกรมภาษาซี

โปรแกรมในภาษาซีทุกโปรแกรมจะประกอบด้วยฟังก์ชันอย่างน้อยหนึ่งฟังก์ชันคือฟังก์ชันหลัก โดยโปรแกรมภาษาซีจะเริ่มทำงานที่ฟังก์ชันหลักก่อน ในแต่ละฟังก์ชันจะประกอบด้วย

1. Function Heading ประกอบด้วยชื่อฟังก์ชัน และอาจมีรายการของ argument (บางคนเรียก parameter) อยู่ในวงเล็บ
2. Variable Declaration ส่วนประกาศตัวแปร สำหรับภาษาซี ตัวแปรหรือค่าคงที่ทุกตัว ที่ใช้ในโปรแกรมจะต้องมีการประกาศก่อนว่าจะใช้งานอย่างไร จะเก็บค่าในรูปแบบใดเช่น integer หรือ real number
3. Compound Statements ส่วนของประโยคคำสั่งต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็นประโยคเชิงซ้อน (compound statement) กับ ประโยคนิพจน์ (expression statement) โดยประโยคเชิงซ้อนจะอยู่ในวงเล็บปีกกาทั้งคู่หนึ่ง { และ } โดยในหนึ่งประโยคเชิงซ้อน จะมีประโยคนิพจน์ที่แยกจากกันด้วยเครื่องหมาย semicolon (;) หลายๆ ประโยครวมกัน และ อาจมีวงเล็บปีกกาใส่ประโยคเชิงซ้อนย่อยเข้าไปอีกได้

Reversed Keywords หรือคำสงวน คำสงวนพวกนี้ เป็นคำสั่งพิเศษ ที่โปรแกรมต้องการใช้ห้ามให้นำคำเหล่านี้ ไปตั้งเป็นชื่อตัวแปร

Identifiers ในการตั้งชื่อตัวแปร ตัวใหญ่ กับตัวเล็ก ให้ความหมายที่ต่างกันเราสามารถที่จะตั้งชื่อตัวแปรขึ้นต้นด้วย ตัวอักษรA...Z หรือ a.....z หรือใช้ตัว _ เครื่องหมาย underscore ในการนำหน้าชื่อตัวแปร ก็ได้

Data Types ชนิดของข้อมูลแต่ละประเภท ใช้จำนวนหน่วยความจำที่แตกต่างกัน และให้ขอบเขตของค่าข้อมูลที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หน่วยความจำและขอบเขตของข้อมูลแต่ละประเภท

Type	Size (Bits)	Range
bit	1	0, 1
bool, _Bool	8	0, 1
char	8	-128 to 127
unsigned char	8	0 to 255
signed char	8	-128 to 127
int	16	-32768 to 32767
unsigned int	16	0 to 65535
signed int	16	-32768 to 32767
long int	32	-2147483648 to 2147483647
unsigned long int	32	0 to 4294967295
signed long int	32	-2147483648 to 2147483647
float	32	+/- 1.175e-38 to +/-3.402e38
double	32	+/- 1.175e-38 to +/-3.402e38

2.10 อินเวอร์เตอร์

หลักการการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้ โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และส่งผ่าน

พลังงานของอินเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นไซน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปไซน์ นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่นำมาใช้งาน ในโครงการนี้ได้มีการนำอินเวอร์เตอร์ OMRON 3G3JX มาใช้งาน โดยมีการเซตค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำงานดังนี้

ตารางที่ 2.2 การเซตค่าอินเวอร์เตอร์

ฟังก์ชัน	หน้าที่	เลือกตำแหน่ง
A001	รับค่าความเร็ว	01: Terminal
A002	รับคำสั่งใช้งาน	01: Terminal
C005	เลือกสัญญาณเข้า	16
	* เริ่มต้นการทำงาน	เชื่อมต่อ SC กับ S1
	** เลือกสถานะการทำงาน	เชื่อมต่อ SC กับ S5
F002	เวลาในการเพิ่มรอบ(เพิ่มความเร็ว)	7 sec.
F003	เวลาในการลดรอบ(ลดความเร็ว)	3 sec.

* เชื่อมต่อ SC กับ S1 จะเป็นการเริ่มต้นการทำงาน ไม่เชื่อมต่อจะหยุดการทำงาน

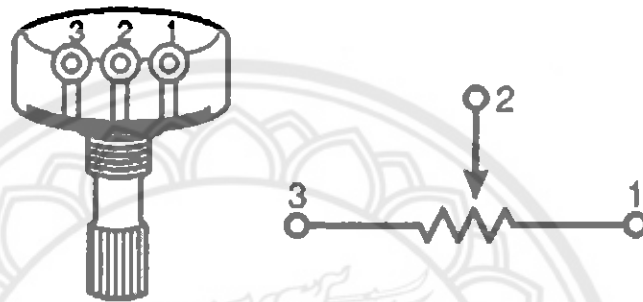
** เชื่อมต่อ SC กับ S5 จะเป็นการเลือกการควบคุมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่เชื่อมต่อจะเป็นการเลือกการควบคุมผ่านอินเวอร์เตอร์

2.11 การควบคุมแบบรบบเปิด (Open Loop Control)

ระบบควบคุมแบบเปิด คือระบบควบคุมที่มีการควบคุมในลักษณะที่สั่งงานไปยังเครื่องควบคุมอย่างเดียวไม่มีการอ่านค่าผลลัพธ์ของระบบป้อนกลับ ค่าเอาต์พุตที่ได้จะไม่มีผลต่อการควบคุมกระบวนการของระบบ คือจะ ไม่มีการนำเอาต์พุตที่ได้กลับมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ

2.12 การปรับเพิ่มความเร็วรอบ

ในการปรับเพิ่มความเร็วรอบ จะมีการนำตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) มาต่อเพิ่มโดยการจ่ายไฟ 5 โวลต์กับกราวด์ให้กับตัวต้านทานปรับค่าได้ และนำสัญญาณที่ได้ไปเข้าที่ขา A4 ของบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูป 2.10 เมื่อทำการเพิ่มค่าจะรับไฟ 0 - 5 โวลต์เข้าไปในบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านพอร์ต ADC แปลงสัญญาณเป็นดิจิตอล 10 บิต เพิ่มเข้ามาใน โปรแกรม เพื่อสั่งการบอร์ดแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะล็อกให้จ่ายสัญญาณไปที่แหล่งต้นกำลังให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น



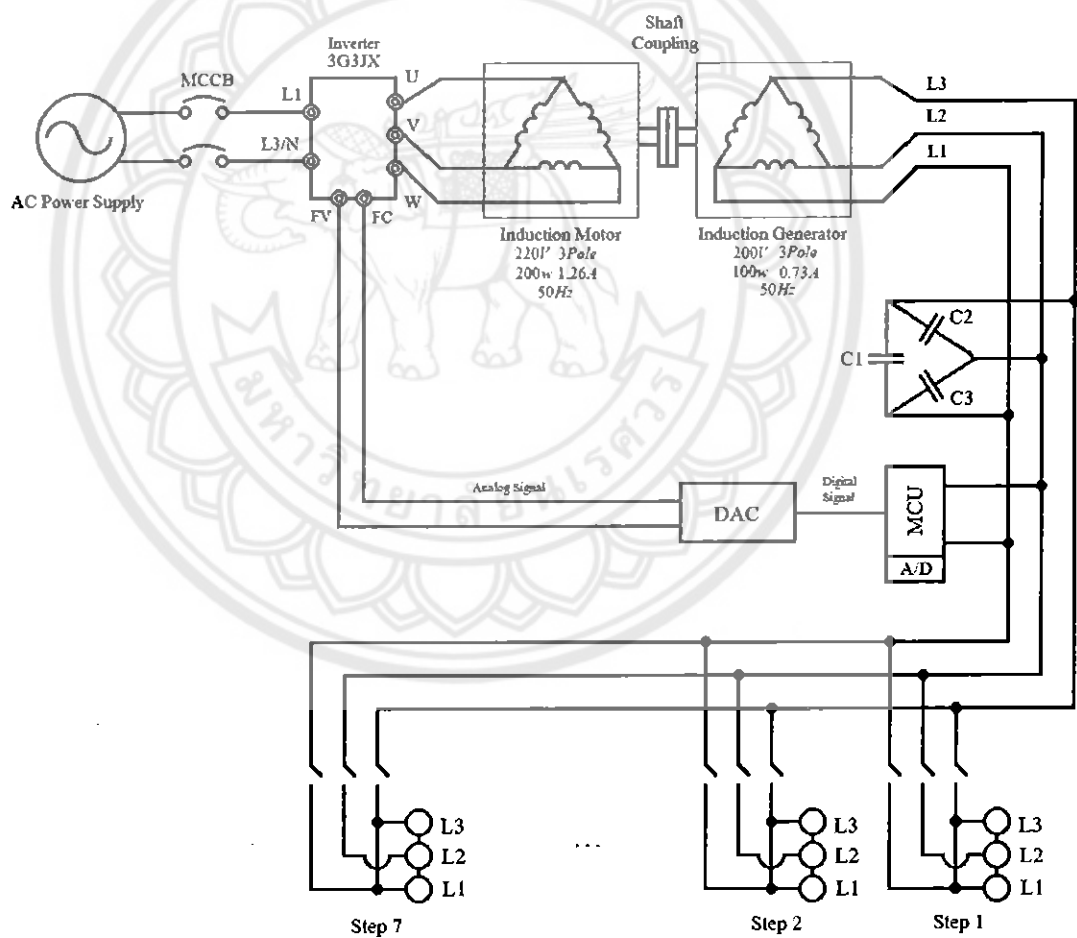
รูปที่ 2.10 การต่อตัวต้านทานปรับค่าได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

จากการที่ได้ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องมาแล้วในบทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการสร้างชุดควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำและการสร้างชุดควบคุมสัญญาณแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีการดำเนินงานโครงการดังนี้

3.1 ออกแบบชุดควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.1 วงจรระบบไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากภาพ ชุดควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ แบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักๆ มีรายละเอียดดังนี้

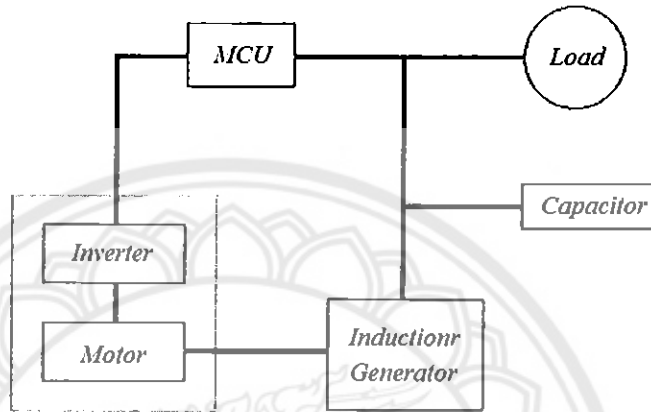
ส่วนที่ 1 แรงขับเคลื่อนกำลัง (Inverter + Motor)

ส่วนที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Generator)

ส่วนที่ 3 ชุดตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ส่วนที่ 4 ภาระงาน (Load)

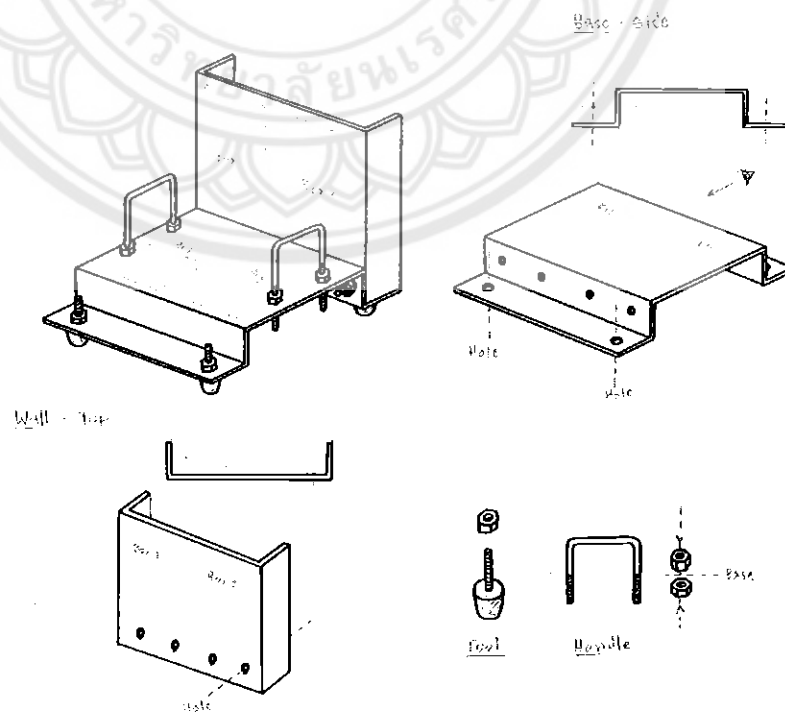
ส่วนที่ 5 ชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller Unit: MCU)



รูปที่ 3.2 ภาพรวมของชุดควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

3.1.1 ออกแบบแผ่นสแตนเลสที่ใช้ทำเป็นแท่นวางและแขวนอุปกรณ์

แผ่นสแตนเลสมีความหนา 2 mm. ด้านหน้ากว้าง 52 cm. สูง 43 cm. ซึ่งานลึก 33 cm.

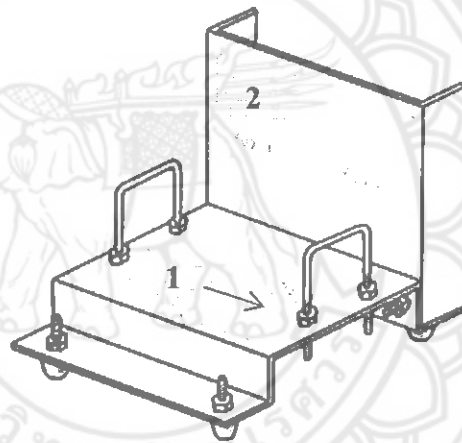


รูปที่ 3.3 ภาพร่างแผ่นสแตนเลสที่ใช้ทำเป็นฐานสำหรับยึดอุปกรณ์

3.1.2 ติดตั้งอุปกรณ์ชุดแรงขับเคลื่อนกำลัง

ชุดแรงขับเคลื่อนกำลังประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ชิ้นคือ

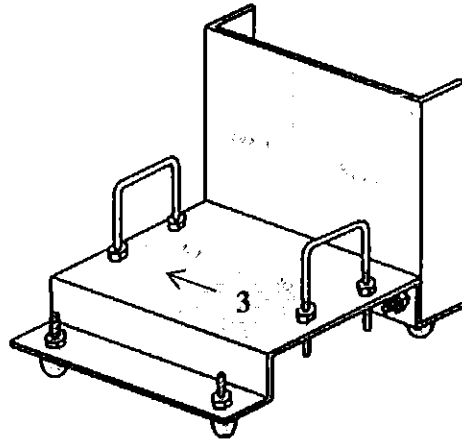
- มอเตอร์เหนี่ยวนำ (สี่ขั้ว) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังทางกล มีพิกัดขนาด 200 วัตต์ 3 ขั้ว แรงดัน 220 โวลต์ กระแส 1.26 แอมป์ และความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต วางไว้บนแผ่นสแตนเลสในตำแหน่งที่ 1 หันขั้วโรเตอร์ไปทางด้านขวา
- อินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า มีขนาดพิกัด 200 วัตต์ ป้อนแรงดันขาเข้า 200-240 โวลต์ 1 เฟส กระแส 3.1 แอมป์ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต และแปลงแรงดันขาออกเป็น 200-240 โวลต์ 3 เฟส กระแส 1.4 แอมป์ ที่ความถี่ 0.5-400 เฮิร์ต วางไว้ด้านข้างแผ่นสแตนเลสในตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำแรงดันกำลังและอินเวอร์เตอร์

3.2 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในที่นี้คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (สี่ขั้ว) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังทางไฟฟ้า มีพิกัดขนาด 100 วัตต์ 3 ขั้ว แรงดัน 200 โวลต์ กระแส 0.73 แอมป์ และความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต วางไว้บนแผ่นสแตนเลสในตำแหน่งที่ 3 หันขั้วโรเตอร์ไปทางด้านซ้าย เชื่อมแกนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำและมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยคอนเนกเตอร์ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.6 การเชื่อมแกนโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยคอนเนคเตอร์

3.3 การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ

การหาค่า C_{max} ที่เหมาะสมมากที่สุดในการกระตุ้นกำลังไฟฟ้าในมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถศึกษาได้จากทฤษฎีในบทที่ (สมการที่ (2.4) โดยกำหนดให้ $I = 0.73$, $V = 200$ และ $P = 100$ ตามพิกัดมอเตอร์เหนี่ยวนำสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I &= 0.73 \\
 V &= 200 \\
 P &= 100 \\
 S &= \sqrt{3} \cdot IV \\
 &= \sqrt{3}(0.73)(200) \\
 &= 252.879 \\
 Q &= \sqrt{3} \cdot IV \\
 &= (1.1) \cdot \sqrt{3} (200) \\
 &= 393.572376 \\
 &= 461.8094933
 \end{aligned}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{(252.879)^2 - (100)^2}$$

$$= 232.367 \quad 699.311919 / 417.5739453 \quad [\text{VAR}]$$

695.4946906

$$Q_\phi = \frac{Q}{3}$$

$$= \frac{232.367}{3} \quad 207.437973 / 135.191332$$

231.94115635

$$= 77.422 \quad [\text{VAR}]$$

$$I_C = \frac{Q_\phi}{V_C}$$

$$= \frac{77.422}{200}$$

0.6103725356

$$= 0.387$$

$$0.5458975605 / 0.347578289 \quad [A]$$

$$X_C = \frac{V_C}{I_C}$$

$$= \frac{200}{0.387}$$

$$= 516.796$$

$$696.1140489 / 1149.497066 \quad [\Omega]$$

$$C_{\max} = \frac{1}{2\pi \cdot f X_C}$$

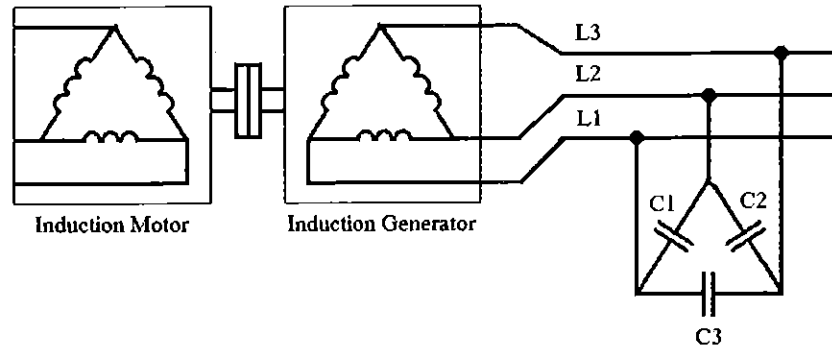
(92.570607

$$= \frac{1}{2\pi \times 50 \times 516.796}$$

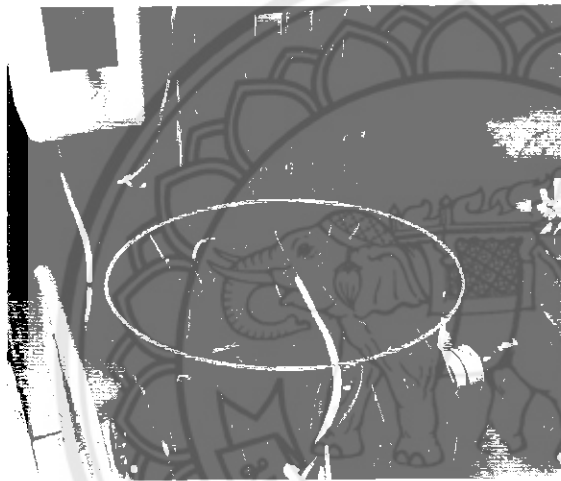
$$2.76912393 \mu\text{F}$$

$$= 6.159 \quad 4.579668612 \mu\text{F} \quad [\mu\text{F}]$$

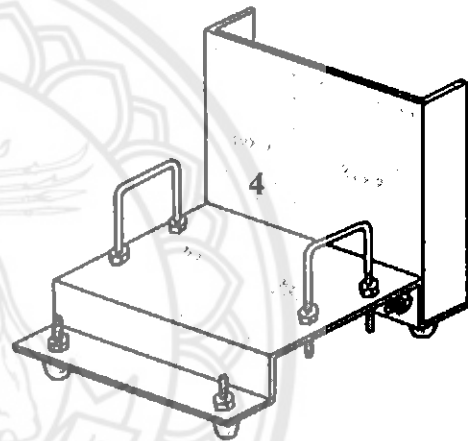
ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ $6.5 \mu\text{F}$ ต่อเฟสต่อขานานเข้ากับทางด้านเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในลักษณะคร่อมเฟสต่อตัวเก็บประจุ 1 ชุด ประกอบรวมกันเป็นกล่องตัวเก็บประจุขนาดพอดีเพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งเหยิงบนชิ้นงานคังรูปที่ 3.8ก แขนงไว้ที่แผ่นสแตนเลสบริเวณด้านล่างของอินเวอร์เตอร์ในตำแหน่งที่ 4 ดังรูปที่ 3.8ข



รูปที่ 3.7 การต่อตัวเก็บประจุขานานเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



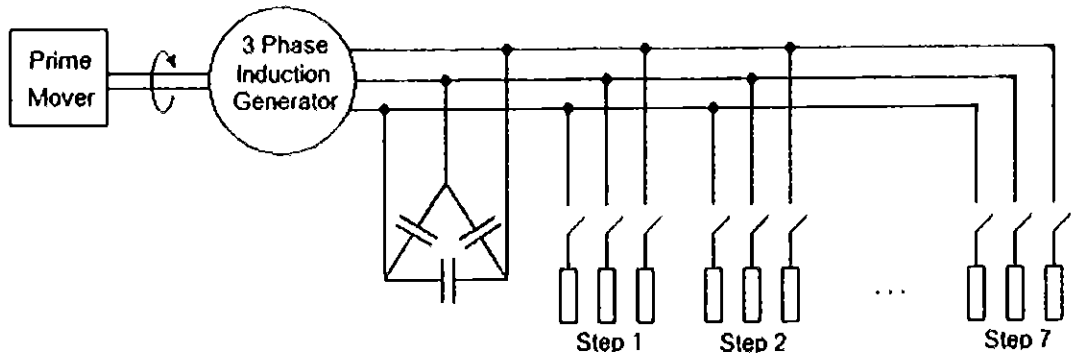
รูปที่ 3.8 ลักษณะกล่องชุดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.8ข ตำแหน่งการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ

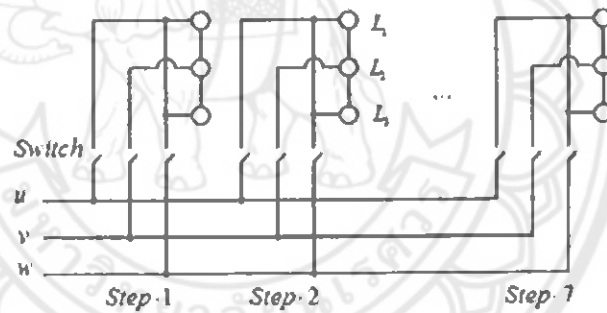
3.4 การสร้างวงจรภาระไฟฟ้า

ภาระไฟฟ้า (Load) คืออุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาต่อวงจรแล้วเกิดการใช้พลังงาน ซึ่งจะเป็นผลทำให้กำลังทางไฟฟ้าในระบบมีค่าลดลงตามปริมาณของภาระงานที่เพิ่มขึ้น ในโครงการนี้ได้จำลองเหตุการณ์การใช้พลังงานด้วยการให้ หลอดไฟขนาด 5 วัตต์เป็นภาระไฟฟ้า ในปริมาณ 7 หลอดต่อการเชื่อมต่อ 1 เฟส รวม 3 เฟสเป็น 21 หลอด แบ่งเป็น 7 ชุด ชุดละ 3 หลอด ดังแสดงในรูปที่ 3.9

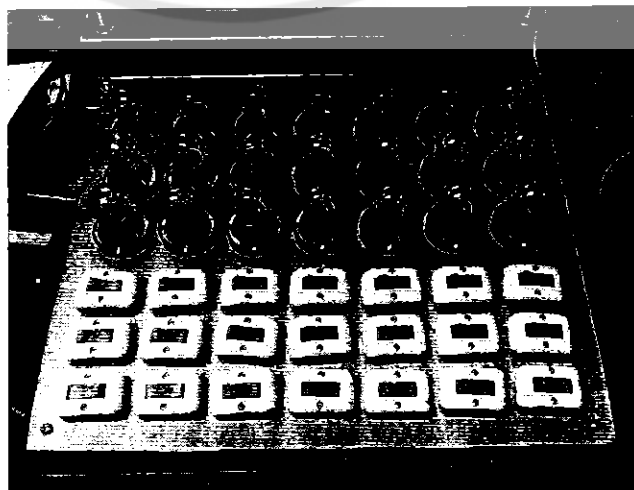


รูปที่ 3.9 ลักษณะการเชื่อมต่อภาระไฟฟ้าเข้าระบบ

การต่อสายไฟระหว่างเฟสของชุดภาระไฟฟ้าเป็นแบบขนานกัน หลอดไฟแต่ละดวงจะเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยตรงผ่านสวิตช์ของแต่ละเฟส และเชื่อมต่อกันในลักษณะเป็นสามเหลี่ยม หรือเคลด้า คือ L_1 ได้รับกำลังไฟฟ้าจาก u แล้ว L_2 ได้รับกำลังไฟฟ้าจาก v และ L_3 ได้รับกำลังไฟฟ้าจาก w จากนั้นก็ต่อ L_1 เข้ากับ L_2 ต่อ L_2 เข้ากับ L_3 และต่อ L_3 เข้ากับ L_1



รูปที่ 3.10 ลักษณะการต่อวงจรภาระไฟฟ้า



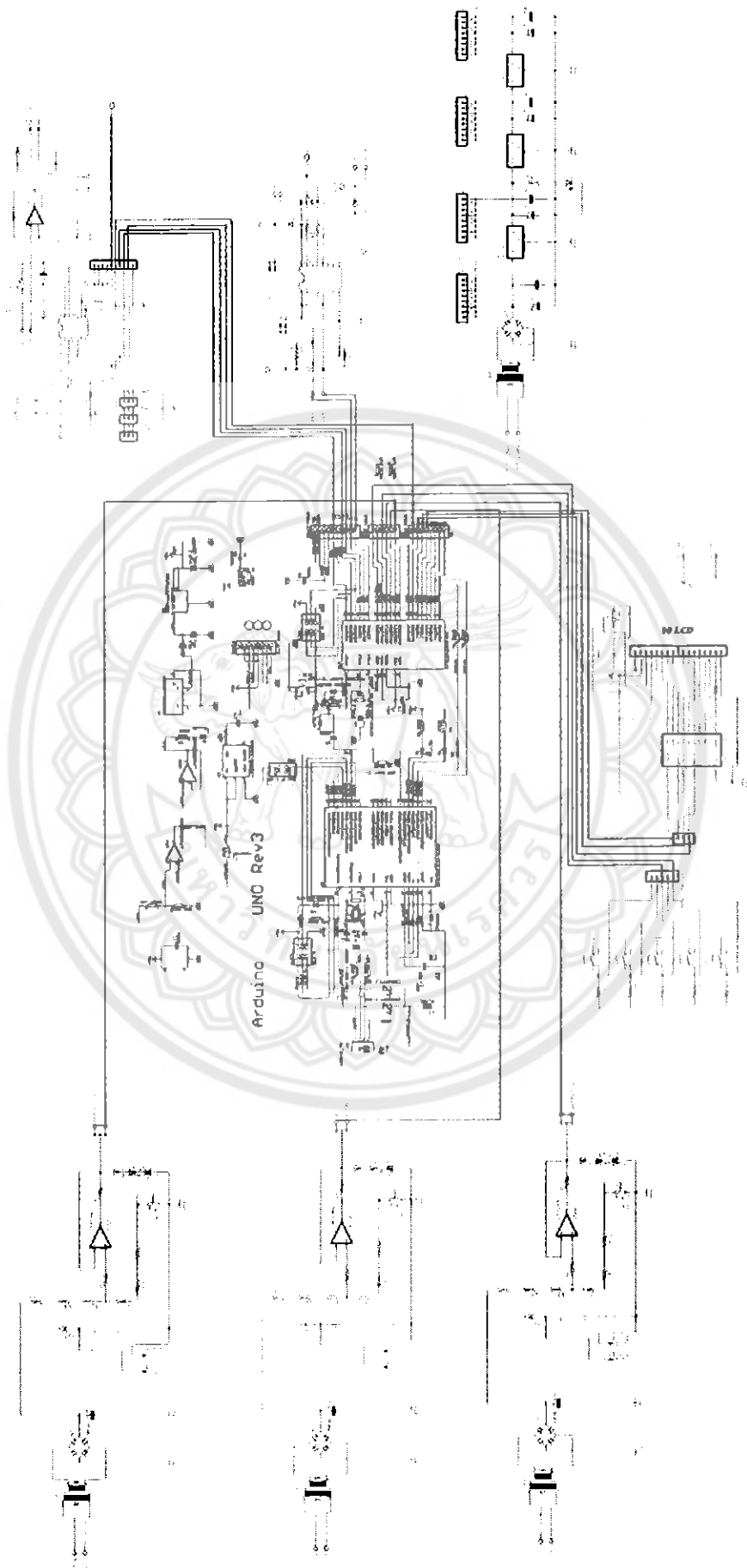
รูปที่ 3.11 วงจรภาระไฟฟ้า

17195217

ร/ ๕5965
๒557



สำนักหอสมุด



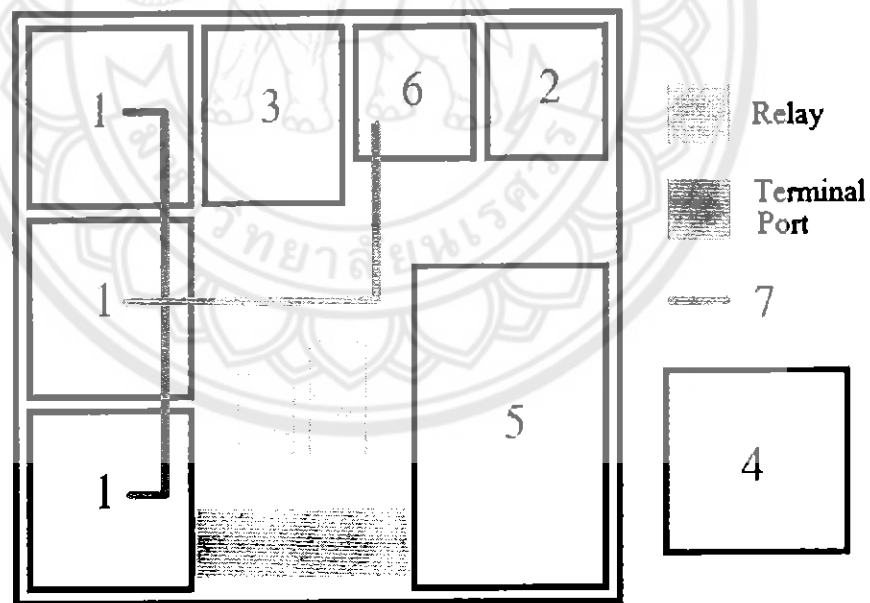
รูปที่ 3.12 ไดอะแกรมวงจรควบคุมแรงดันด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5 การสร้างชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของชุดควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบไปด้วยบอร์ดวงจรทั้งหมด 8 บอร์ด และ 1 วงจร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- | | |
|---|---------|
| 1. วงจรแปลงค่าแรงดัน | 3 บอร์ด |
| 2. วงจรแปลงผันดิจิทัลเป็นแอนะล็อกและวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ | 1 บอร์ด |
| 3. วงจรควบคุมรีเลย์ | 1 บอร์ด |
| 4. วงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม | 1 บอร์ด |
| 5. วงจรแหล่งจ่ายไฟ | 1 บอร์ด |
| 6. Arduino UNO R3 | 1 บอร์ด |
| 7. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง | 1 วงจร |

ซึ่งจะสามารถออกแบบลักษณะการจัดวางบอร์ดวงจรในกล่องชุดควบคุมตามหมายเลขข้างต้นได้ดังนี้



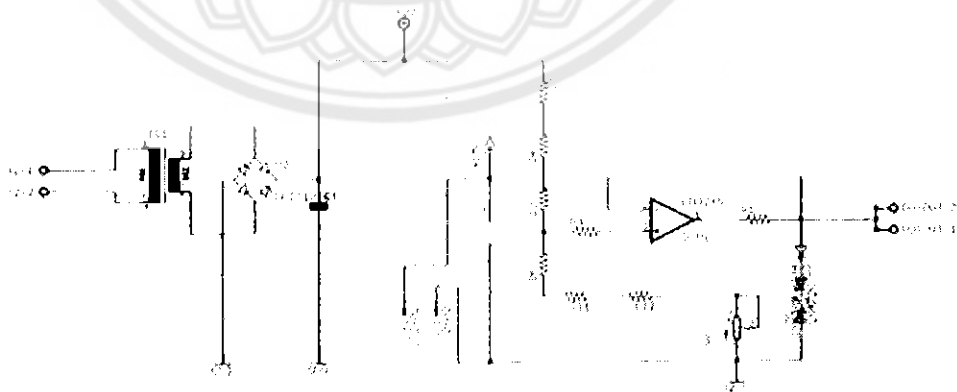
รูปที่ 3.13 แผนผังการวางตำแหน่งของบอร์ดวงจร

โดยมีไดอะแกรมที่แสดงรายละเอียดการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด ดังรูปที่ 3.12 การควบคุมการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเริ่มจากรับค่าสัญญาณสวิตช์จากบอร์ดวงจรจอแสดงผลหมายเลข 4 เข้ามาที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข 6 เพื่อเริ่มการส่งค่าสัญญาณตั้งต้น ไปที่บอร์ดวงจรแปลง

ค้นคิติดอลเป็นแอนะล็อก หมายเลข 2 จากนั้นส่งค่าจากบอร์ดหมายเลข 2 ไปที่อินเวอร์เตอร์ในส่วน
ของแหล่งต้นกำลัง เพื่อเริ่มต้นสร้างความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมีการรับค่าสวิตซ์จาก
วงจรมารายเลข 4 มาที่วงจรมารายเลข 6 เพื่อสั่งการให้วงจรมอเตอร์รีเลย์ หมายเลข 3 เปิดหรือปิดการ
เชื่อมต่อภาระงาน ส่วนการอ่านค่าแรงดันและแสดงผลแรงดัน เริ่มจากการรับค่าสัญญาณแรงดัน
จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาที่บอร์ดวงจรมารายเลข 1 เพื่อแปลงค่าสัญญาณแรงดันและจำกัดสัญญาณ
แรงดัน ก่อนผ่านเข้าวงจรมารายเลข 7 ไปสู่บอร์ดหมายเลข 6 เพื่อทำการอ่านค่าและ
แสดงผลผ่าน ไปสู่บอร์ดหมายเลข 4

3.5.1 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดัน

จากการศึกษาทฤษฎีวงจรแบ่งแรงดันและวงจรมารายเลขสัญญาณแรงดันในบทที่ 2 หัวข้อที่
2.3 และ 2.5.2 มาแล้ว ในหัวข้อนี้จะมีการออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดัน โดยบอร์ด
นี้จะมีหลักการทำงาน คือ อ่านค่าแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ด้วยการรับค่าแรงดัน
กระแสสลับที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เข้ามาในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ
220 โวลต์ เพื่อลดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับลงมาที่ 9 โวลต์ แล้วเข้าสู่วงจรเรียงกระแสแปลง
สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ไปที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้สัญญาณที่เรียบเป็น
เส้นตรง จากนั้นผ่านวงจรแบ่งแรงดัน โดยตัวต้านทานต่ออนุกรม และนำสัญญาณ ณ จุดที่ค่าแรงดัน
เท่ากับ 5 โวลต์ เข้าไปที่วงจรมารายเลขที่ดั่งค่าจำกัดไว้ที่ 4.5 โวลต์เพื่อป้องกันแรงดันไม่ให้เกิน 5
โวลต์ก่อนจะเข้าสู่ส่วนของวงจรมารายเลขค่าผ่าน ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงบอร์ดวงจรอ่านค่าแรงดัน

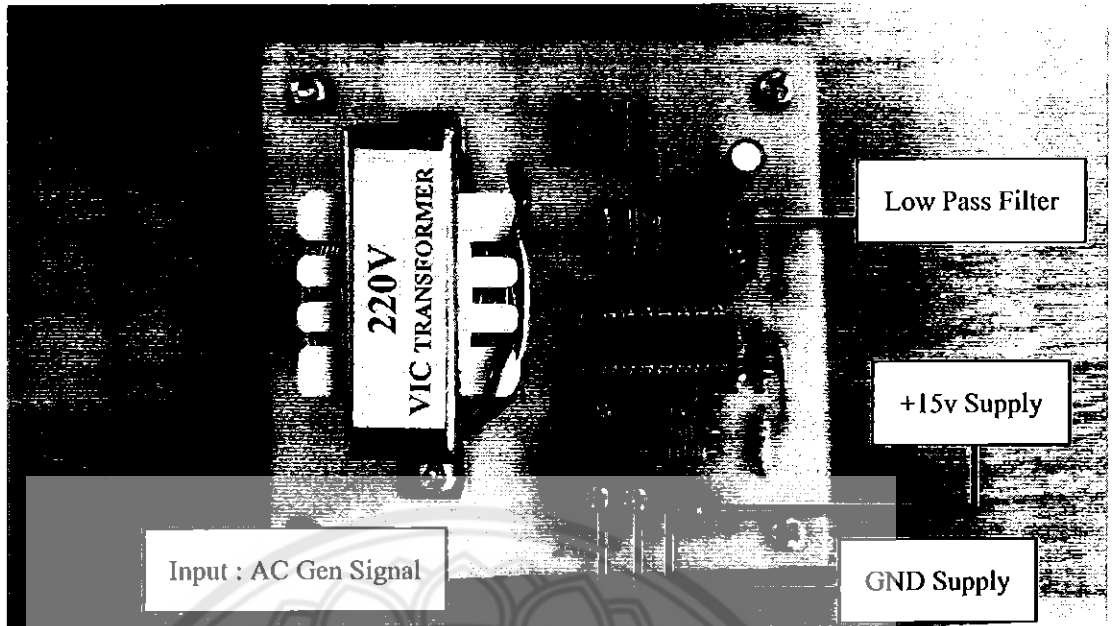
การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

จากสมการ (2.13)

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \\ &= 14.5 \times \left(\frac{210k}{395k + 210k} \right) \\ &= 5.03 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

บอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดัน มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- | | |
|--|-------|
| 1. หม้อแปลงกระแสระดับ 220V เป็น 9V | 1 ตัว |
| 2. ไอซีบริดจ์ เบอร์ DBL106G | 1 ตัว |
| 3. ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LM234N | 1 ตัว |
| 4. ตัวเก็บประจุแบบมีขั้วขนาด 3.3 μ F 50V | 1 ตัว |
| 5. ไดโอด เบอร์ 1N4001 | 2 ตัว |
| 6. ซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N4732 | 1 ตัว |
| 7. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 20k Ω | 1 ตัว |
| 8. ตัวต้านทาน 330k Ω | 1 ตัว |
| ตัวต้านทาน 150k Ω | 1 ตัว |
| ตัวต้านทาน 100k Ω | 1 ตัว |
| ตัวต้านทาน 47k Ω | 1 ตัว |
| ตัวต้านทาน 40k Ω | 1 ตัว |
| ตัวต้านทาน 15k Ω | 1 ตัว |
| ตัวต้านทาน 10k Ω | 1 ตัว |
| ตัวต้านทาน 3.3k Ω | 1 ตัว |
| 9. เทอร์มินอล | 2 ตัว |



รูปที่ 3.15 บอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดัน

จากการออกแบบเมื่อนำอุปกรณ์ข้างต้นมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้บอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดันดังรูป 3.13 โดยในวงจรจะมีเทอร์มินอลพอร์ที่รับค่าแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านเข้าหม้อแปลง เทอร์มินอลพอร์ที่จะส่งค่าแรงดันที่ผ่านการแปลงค่าในวงจรแล้วผ่านไปสู่วงจรรองความถี่ต่ำผ่านในหัวข้อ 3.5.7 และจะมีพอร์ทก้างปลาที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดัน +15 โวลต์ กับ GND จากบอร์ดวงจรจ่ายไฟในหัวข้อ 3.5.5 เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับ ไอซีออปแอมป์

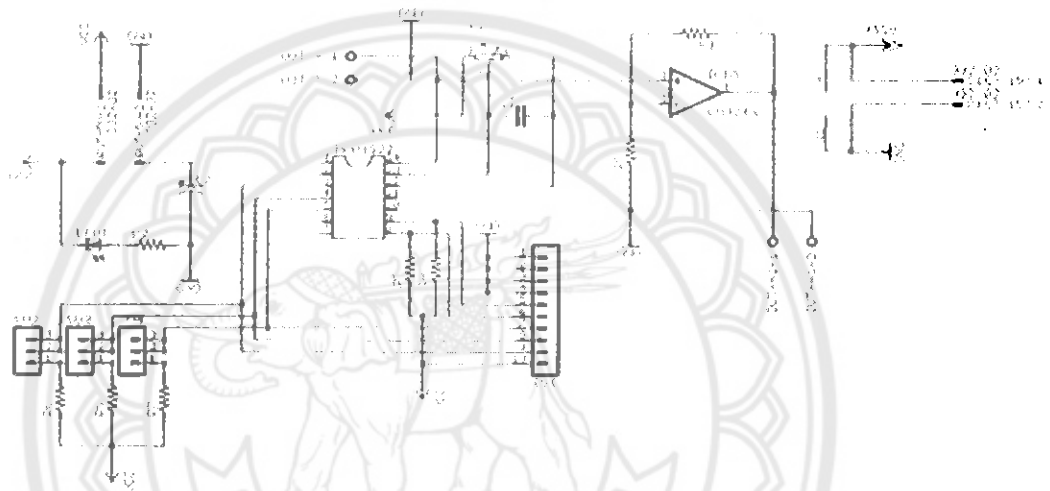
3.5.2 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรแปลงผันสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกและวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

จากการศึกษาทฤษฎีการแปลงผันสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital to Analog converter : DAC) ด้วยการใช้อิซี MCP4922 และวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณในบทที่ 2 หัวข้อ 2.7 และ 2.5.1 ในหัวข้อนี้จะมีการออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรแปลงผันดิจิทัลเป็นแอนะล็อกและวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ โดยบอร์ดนี้จะมีหลักการทำงาน คือ การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก จะทำการรับสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วทำการแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณแอนะล็อก 0 – 5 โวลต์ ผ่านเข้าสู่วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณที่ตั้งอัตราขยายเป็นสองเท่าให้เป็น 0 – 10 โวลต์ เพื่อใช้ในการควบคุมอินเวอร์เตอร์ในการเพิ่มการจ่ายพลังงานให้ความเร็วรอบของแหล่งต้นกำลังที่ใช้ในการสร้างแรงดันเริ่มต้น และการเพิ่มความเร็วยุบหลังจากเพิ่มภาระงาน ดังแผนภาพในรูปที่ 3.16

การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

จากสมการ (2.14)

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \\ &= \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \\ &= \left(1 + \frac{10k}{10k}\right) \\ &= 2 \end{aligned}$$

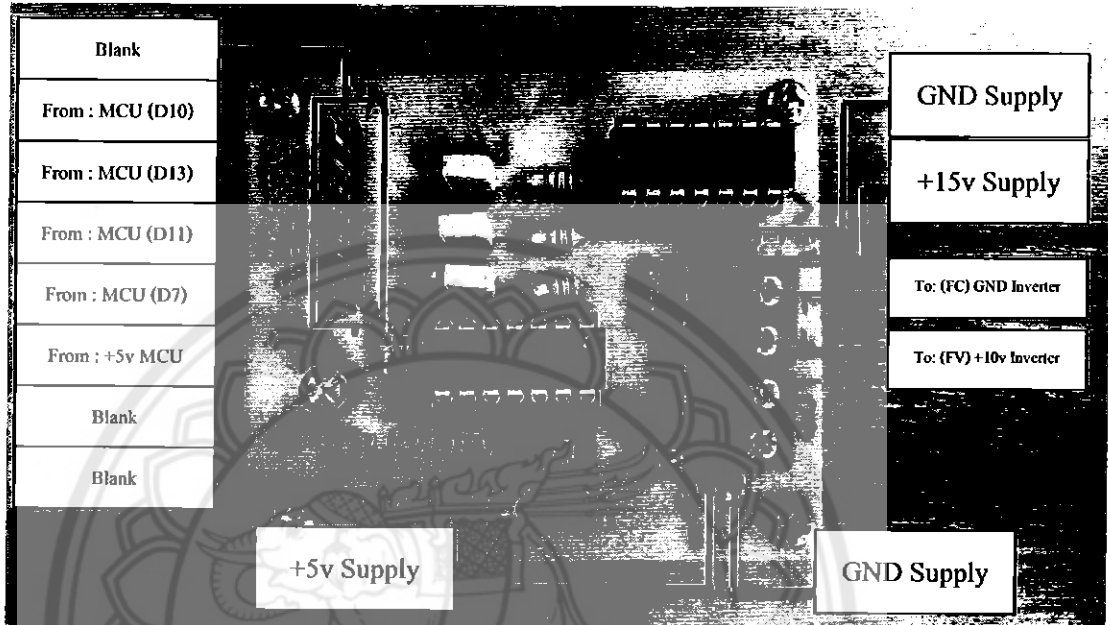


รูปที่ 3.16 แผนภาพแสดงบอร์ดวงจรแปลงผันดิจิทัลเป็นแอนะล็อก และวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

บอร์ดวงจรแปลงผันดิจิทัลเป็นแอนะล็อกและวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- | | |
|--|-------|
| 1. ไอซี DAC เบอร์ MCP4922 | 1 ตัว |
| 2. ไอซีออปแอมป์ LM234N | 1 ตัว |
| 3. ตัวเก็บประจุแบบมีขั้ว $10\mu F$ 16V | 1 ตัว |
| ตัวเก็บประจุไม่มีขั้ว $0.1\mu F$ | 1 ตัว |
| 4. ตัวต้านทานปรับค่าได้ $10k\Omega$ | 1 ตัว |
| 5. ตัวต้านทาน $10k\Omega$ | 7 ตัว |
| ตัวต้านทาน 470Ω | 1 ตัว |

- | | |
|---------------|-------|
| 6. LED สีแดง | 1 ดวง |
| 7. เทอร์มินอล | 2 ตัว |
| 8. จัมเปอร์ | 3 อัน |



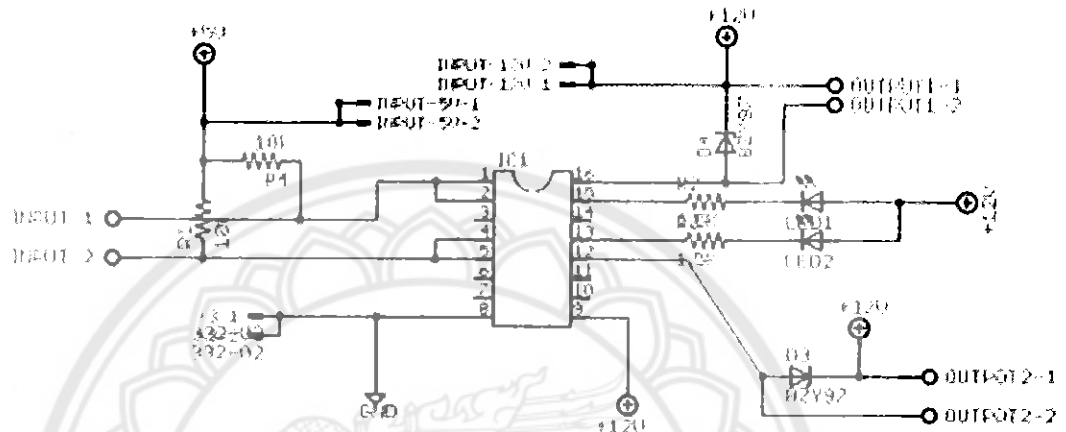
รูปที่ 3.17 วงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะล็อกและวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

จากการออกแบบเมื่อนำอุปกรณ์ข้างต้นมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้บอร์ดวงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะล็อกและวงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณดังรูป 3.15 โดยในวงจรจะมีเทอร์มินอลพอร์ทที่ใช้ในการส่งสัญญาณ 0 – 10 โวลต์ไปยังอินเวอร์เตอร์ และมีพอร์ทก้างปลาที่จะทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดัน +15 โวลต์, +5 โวลต์, GND จากบอร์ดวงจรจ่ายไฟในหัวข้อ 3.5.5 เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับ ไอซีออปแอมป์และ ไอซีMCP4922 พอร์ทก้างปลาทำหน้าที่รับสัญญาณจากพอร์ทของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในหัวข้อ 3.5.6

3.5.3 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์

จากการศึกษาวงจรควบคุมรีเลย์ด้วยไอซี ULN2003 มาแล้วในหัวข้อนี้จะมีการออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์ โดยบอร์ดนี้จะมีหลักการทำงาน คือ ในการควบคุมรีเลย์ จะมีการรับค่าสัญญาณจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์พอร์ท D8 จะทำหน้าที่สั่งให้รีเลย์ที่ต่อกับแหล่งต้นกำลังเริ่มทำงานหรือหยุดทำงาน โดยเมื่อมีการส่งสัญญาณมาหนึ่งครั้งจะเป็นการสั่งให้เริ่มทำงาน และ

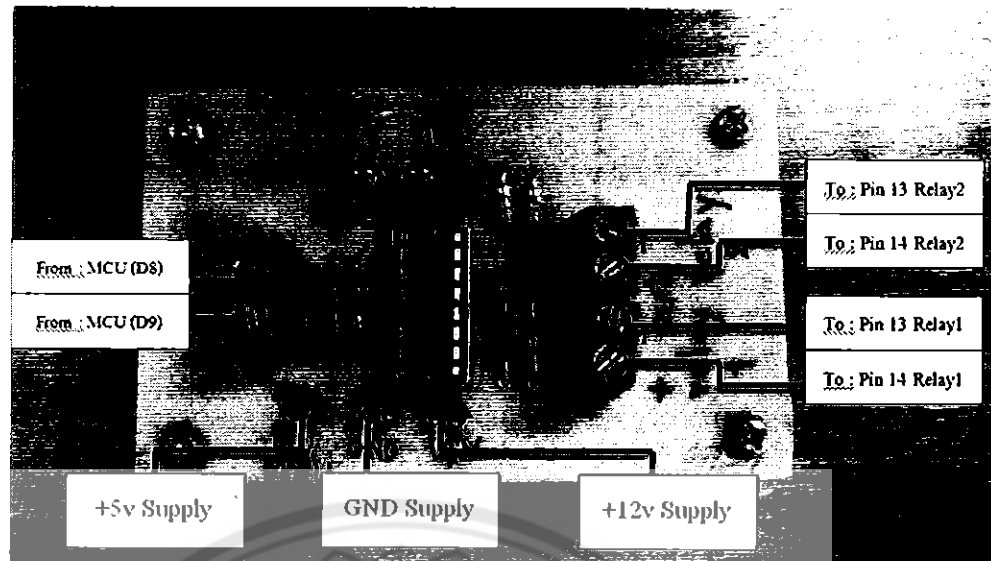
เมื่อมีการส่งสัญญาณอีกครั้งจะเป็นการสั่งให้หยุดทำงาน สลับกันทุกครั้งที่มีการส่งสัญญาณจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ และพอร์ท D9 จะทำหน้าที่ควบคุมรีเลย์ที่ควบคุมการจ่ายแรงดันไปที่ภาระงาน โดยที่เมื่อมีส่งสัญญาณหนึ่งครั้งจะเป็นการสั่งให้เริ่มทำการจ่ายแรงดันไปที่ภาระงาน และเมื่อส่งสัญญาณอีกครั้งจะเป็นการสั่งให้หยุดจ่ายแรงดันไปที่ภาระงานสลับกันทุกครั้งที่มีการส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.18 แผนภาพแสดงบอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์

บอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์ มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- | | |
|----------------------------|-------|
| 1. ไอซีเบอร์ ULN2003 | 1 ตัว |
| 2. ไดโอด เบอร์ 1N4001 | 2 ตัว |
| 3. ตัวต้านทาน 10k Ω | 2 ตัว |
| ตัวต้านทาน 1k Ω | 2 ตัว |
| 4. LED สีแดง | 2 ดวง |
| 5. เทอร์มินอล | 3 ตัว |

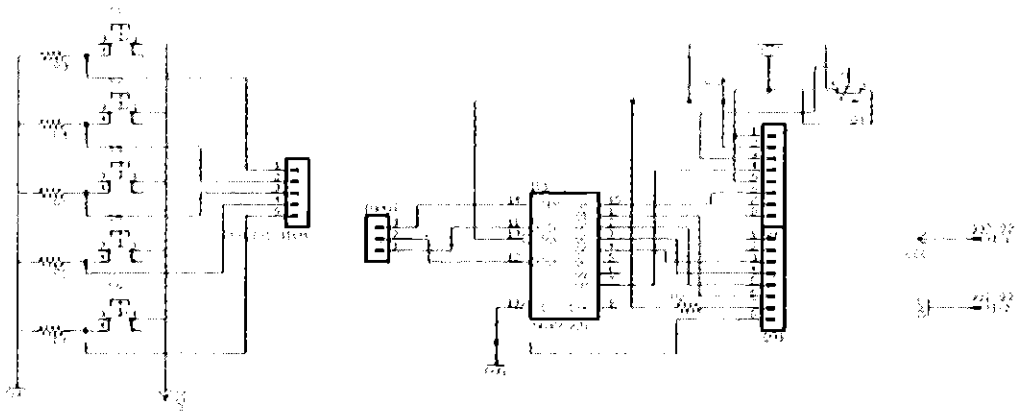


รูปที่ 3.19 บอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์

จากการออกแบบเมื่อนำอุปกรณ์ข้างต้นมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้บอร์ดวงจรควบคุมรีเลย์ดังรูป 3.17 โดยในบอร์ดวงจรจะมีพอร์ทก้างปลาที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดัน +12 โวลต์ ,+5 โวลต์ ,GND จากบอร์ดวงจรจ่ายไฟ ในหัวข้อ 3.5.5 เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับ รีเลย์และไอซี ULN2003 และมีเทอร์มินอลที่ทำหน้าที่ต่อกับรีเลย์ตัวที่1 และรีเลย์ตัวที่2 เทอร์มินอลพอร์ทหน้าที่รับค่าสัญญาณจากพอร์ทดิจิทัล D8 ,D9 ในไมโครคอนโทรลเลอร์หัวข้อ 3.5.6

3.5.4 ออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม

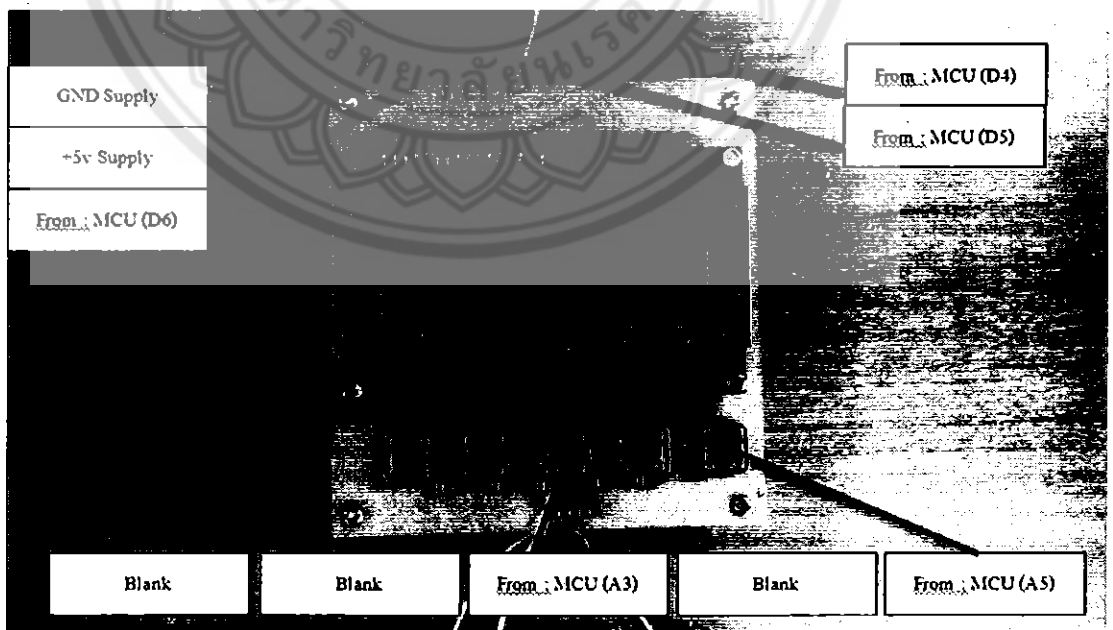
จากการศึกษาจอแสดงผลและสวิตช์ มาแล้วในหัวข้อนี้จะมีการออกแบบและสร้างบอร์ดวงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม โดยบอร์ดนี้จะมีหลักการทำงาน คือ ในส่วนของวงจรสวิตช์จะมีการรับค่าสัญญาณอินพุตจากการกดสวิตช์เข้าไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการทำงานของรีเลย์ตัวที่ 1 และรีเลย์ตัวที่ 2 วงจรจอแสดงผล จะใช้ในการแสดงผลแรงดันและสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยรับข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีการนำไอซีเบอร์ 74HC595 มาใช้เป็น I2C ในวงจรเพื่อทำการลดจำนวน I/O พอร์ทของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.20 แผนภาพบอร์ดวงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม

บอร์ดวงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- | | |
|-----------------------------|-------|
| 1. จอแสดงผล LCD | 1 อัน |
| 2. ไอซี เบอร์ 74HC595 | 1 ตัว |
| 3. ตัวต้านทาน 10kΩ | 5 ตัว |
| ตัวต้านทาน 100kΩ | 1 ตัว |
| 4. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5kΩ | 1 ตัว |



รูปที่ 3.21 บอร์ดวงจรจอแสดงผลและสวิตช์ควบคุม

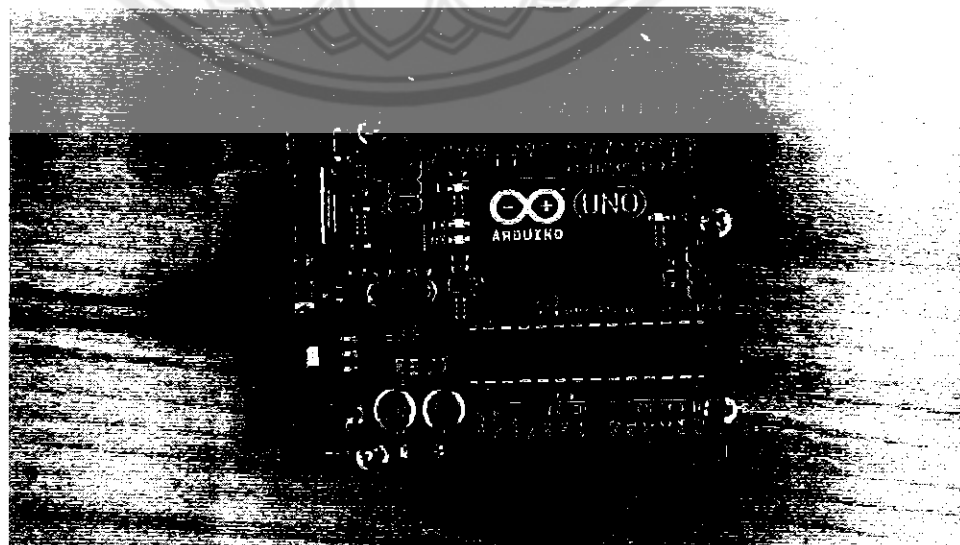
- | | |
|---------------|-------|
| 5. LED สีแดง | 1 ดวง |
| 4. เทอร์มินอล | 1 ตัว |



รูปที่ 3.23 บอร์ดวงจรแหล่งจ่ายไฟ

จากการออกแบบเมื่อนำอุปกรณ์ข้างต้นมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้บอร์ดวงจรแหล่งจ่ายไฟดังรูป 3.20 โดยจะมีเทอร์มินอลพอร์ททำหน้าที่รับแรงดันกระแสสลับ 220 โวลต์เข้ามาที่หม้อแปลงไฟฟ้า และจะมีพอร์ทก้างปลาทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการแปลงค่าแล้วออกเป็น 4 ชุด คือ +15 โวลต์, +12 โวลต์, +5 โวลต์ และ GND เพื่อจ่ายให้กับบอร์ดวงจรต่างๆ

3.5.6 บอร์ด Arduino UNO R3



รูปที่ 3.24 บอร์ด Arduino UNO R3

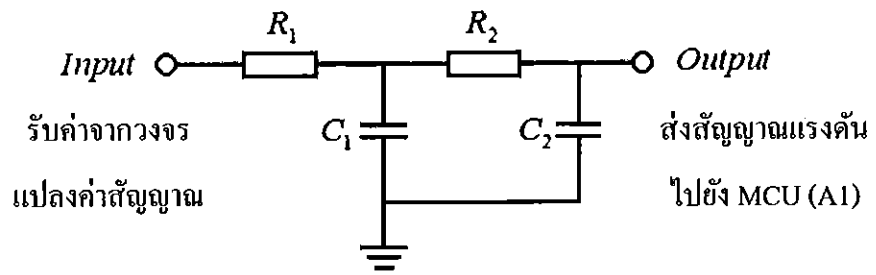
ในการใช้งานบอร์ด Arduino UNO R3 ในส่วนของการอ่านค่าแรงดัน จะทำการรับค่าจากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เข้ามาที่พอร์ตแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Conversion : ADC) เพื่อแปลงสัญญาณที่เข้ามาจาก 0 – 5 โวลต์ เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 10 บิต แล้วเขียนโปรแกรมอ่านค่าและสั่งงานให้แปลงค่าเป็นค่าโวลต์ตามทีออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแสดงผลที่ได้ออกไปที่ส่วนจอแสดงผล

ในการใช้งานบอร์ด Arduino UNO R3 ในส่วนของการควบคุมความเร็วรอบของแหล่งต้นกำลัง จะทำการ โดยเขียน โปรแกรมคำสั่งให้จ่ายแรงดัน 0 – 5 โวลต์ ในรูปแบบสัญญาณดิจิตอลขนาด 12 บิต ไปที่วงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะล็อก เพื่อสั่งการให้อินเวอร์เตอร์คุมการหมุนรอบของแหล่งต้นกำลัง ไปที่ความเร็วรอบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะสามารถจ่ายแรงดันในระดับ 220 โวลต์ เพื่อเริ่มการทำงาน แล้วจะมีการรับค่า 0 – 5 โวลต์ เข้ามาในคำสั่งเพื่อเพิ่มความเร็วรอบของแหล่งต้นกำลัง ในกรณีที่มีการจ่ายภาระงานเพื่อให้ระดับของแรงดันคงที่

ในการใช้งานบอร์ด Arduino UNO R3 ในส่วนของการควบคุมรีเลย์ จะมีการรับค่ามาจากสวิตซ์ 2 ตัว สวิตซ์ตัวที่ 1 จะทำหน้าที่สั่งให้รีเลย์ที่ต่อกับแหล่งต้นกำลัง เริ่มทำงานหรือหยุดทำงาน โดยเมื่อมีการกดสวิตซ์จะสั่งให้เริ่มทำงาน และ เมื่อกดอีกครั้งจะสั่งให้หยุดทำงาน สลับกัน ทุกครั้งที่มีการกดสวิตซ์ และสวิตซ์ตัวที่ 2 จะทำหน้าที่ควบคุมรีเลย์ที่ควบคุมการจ่ายแรงดันไปที่ภาระงาน โดยที่เมื่อมีการกดสวิตซ์จะสั่งให้เริ่มทำการจ่ายแรงดันไปที่ภาระงาน และเมื่อกดอีกครั้งจะสั่งให้หยุดจ่ายแรงดัน ไปที่ภาระงานสลับกันทุกครั้งที่มีการกดสวิตซ์

3.5.7 ออกแบบและสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง

จากการศึกษาทฤษฎีวงจรกรองความถี่มาแล้วในบทที่ 2 หัวข้อ 2.6 ทำให้เลือกใช่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง และในหัวข้อนี้จะมีการออกแบบและสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง (Low-Pass Filter Second Order) โดยวงจรนี้จะมีหลักการทำงาน คือ ในส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับสอง จะทำการรับสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรแปลงค่าแรงดันเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนก่อนจะเข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.25 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง

การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

จากสมการ (2.16)

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot RC}$$

กำหนดให้ $f_c = 5\text{Hz}$ และ $C = 0.1\mu\text{F}$ จะได้ตัวต้านทานเท่ากับ

$$R = \frac{1}{2\pi \times 5 \times 0.1\mu}$$

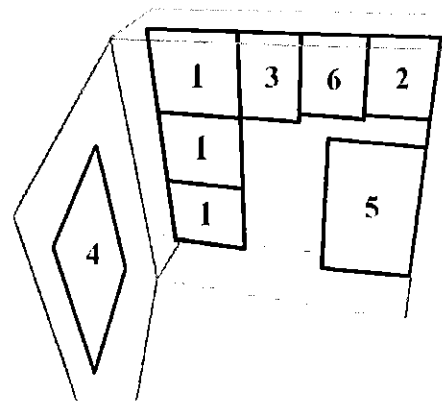
$$R = 318.31\text{k}\Omega$$

เลือกใช้ตัวต้านทานในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเท่ากับ $320\text{k}\Omega$

เมื่อนำอุปกรณ์ในส่วนของคุณควบคุมแรงดันมารวมกันจะได้กล่องชุดควบคุมแรงดันที่เหมือนกับรูปที่ 3.26 ดังนี้



รูปที่ 3.26 กกล่องชุดควบคุม

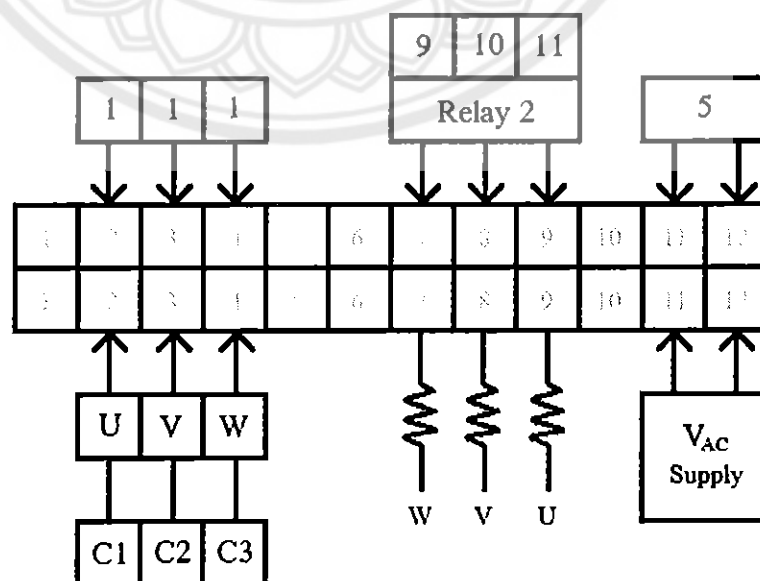


รูปที่ 3.26ข ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในชุดควบคุม

หลังจากนั้น เชื่อมต่อสายไฟของอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันที่เทอร์มินอลบริเวณด้านล่างของกล่องชุดควบคุมในรูปที่ 3.13 โดยกำหนดให้

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งการเชื่อมต่อสายไฟของอุปกรณ์ต่างๆ ระหว่างเทอร์มินอล

Port	ภายในกล่อง MCU	ภายนอกกล่อง MCU
1	-	-
2	บอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดันตัวที่ 1	อินเวอร์เตอร์ U, สายตัวเก็บประจุ C1
3	บอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดันตัวที่ 2	อินเวอร์เตอร์ V, สายตัวเก็บประจุ C2
4	บอร์ดวงจรแปลงค่าแรงดันตัวที่ 3	อินเวอร์เตอร์ W, สายตัวเก็บประจุ C3
5	-	-
6	-	-
7	รีเลย์ตัวที่ 2 พอร์ต 9	สายภาระงาน W
8	รีเลย์ตัวที่ 2 พอร์ต 10	สายภาระงาน V
9	รีเลย์ตัวที่ 2 พอร์ต 11	สายภาระงาน U
10	-	-
11	บอร์ดวงจรแหล่งจ่ายไฟ	V _{AC} Supply
12	บอร์ดวงจรแหล่งจ่ายไฟ	V _{AC} Supply



รูปที่ 3.27 ลักษณะการเชื่อมต่อสายไฟของอุปกรณ์ต่างๆระหว่างเทอร์มินอลพอร์ต

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง โดยจะมีการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทดลองหากระแสไฟฟ้าสูงสุดโดยกำหนดความถี่คงที่ และการทดลองการปรับตั้งแรงดันคงที่

4.1 การทดลองหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสม ในการเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นตัวเอง สามารถสร้าง ได้ด้วยการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขานที่ทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอคทีฟ เพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กแทนการรับจากระบบไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดสเตเตอร์เหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านขดลวดสเตเตอร์สูงขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อเนื่องกลับมาให้กระแสไฟฟ้าทางด้านสเตเตอร์มีค่ามากขึ้น และเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงจุดอิ่มตัวของขดลวดจึงทำให้เกิดเสถียรภาพในการทำงานส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่สร้างออกมามีค่าคงที่

ในการทดลองนี้ผู้จัดทำโครงการ ได้ศึกษาหลักการกระตุ้นกำลังไฟฟ้าในมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยต่อตัวเก็บประจุขานในบทที่ 2 และได้ทำการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับการใช้งานในมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานเต็มพิกัดในบทที่ 3 โดยได้ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 6.159 ไมโครฟารัด เพื่อหาความเร็วรอบของแหล่งต้นกำลังที่สามารถเปลี่ยนมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งได้ทำการทดลอง โดยเพิ่มความเร็วรอบของแหล่งต้นกำลังขึ้นจนถึงระดับความเร็วระหว่าง 0 – 2500 รอบต่อนาทีโดยจะมีระยะความห่างของระดับถัดไปที่ 100 รอบต่อนาทีใช้มิเตอร์ไฟฟ้าวัดค่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นเป็นเวลา 5 นาทีจนได้รับค่าแรงดันที่วัดได้อย่างชัดเจนและคงที่โดยที่ได้จำกัดความเร็วรอบการหมุนไม่เกิน 2500 รอบต่อนาทีเพื่อป้องกันความเสียหายต่อขดลวดของมอเตอร์ไฟฟ้าจากความเร็วรอบที่สูงกว่าค่าใช้งานมากเกินไปและเพื่อป้องกันการระเบิดของตัวเก็บประจุเนื่องจากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่มากเกินไปจนความจุของตัวเก็บประจุ

วิธีการทดลอง

1. ต่อมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าเข้ากับขั้วสัญญาณขาออกของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
2. เพิ่มความเร็วรอบของแหล่งต้นกำลังโดยใช้ฟังก์ชัน 'A001' บนอินเวอร์เตอร์ปรับรอบความเร็วของแหล่งต้นกำลังขึ้นช้าๆจนกระทั่งความเร็วถึงระดับที่กำหนด
3. ทำซ้ำในข้อที่ 2 บันทึกค่าแรงดันและความเร็วรอบของแหล่งต้นกำลัง

ตารางที่ 4.1 ผลการหาค่าตัวเก็บประจุที่ค่าต่างๆระหว่าง $1\ \mu F - 7\ \mu F$ ที่ความเร็วรอบ 0 - 2500 รอบ

ความเร็วรอบ (rpm)	แรงดัน (v)												
	$1\ \mu F$	$1.5\ \mu F$	$2\ \mu F$	$2.5\ \mu F$	$3\ \mu F$	$3.5\ \mu F$	$4\ \mu F$	$4.5\ \mu F$	$5\ \mu F$	$5.5\ \mu F$	$6\ \mu F$	$6.5\ \mu F$	$7\ \mu F$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255
1700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275	285
1800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295	300	315
1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	298	311	325	345
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	301	317	324	347	375
2100	0	0	0	0	0	0	0	305	311	325	345	369	388
2200	0	0	0	0	0	0	310	318	324	346	368	389	397
2300	0	0	0	0	0	308	322	326	333	362	377	395	400
2400	0	0	0	0	302	324	331	340	348	370	385	401	405
2500	0	0	0	0	322	338	349	355	369	384	399	409	412

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 การหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พบว่าที่ตัวเก็บประจุเท่ากับ 1 ไมโครฟารัด ถึง 2.5 ไมโครฟารัด ไม่สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ ที่ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 3 ไมโครฟารัด ถึง 5.5 ไมโครฟารัด สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาได้ แต่ความเร็วรอบที่ได้ยังมีค่าสูงไม่สามารถนำมาใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ที่ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 6 ไมโครฟารัด สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานได้ที่ความเร็วรอบที่สามารถใช้งานได้ แต่แรงดันที่ได้ต่อรอบการทำงานมีค่าน้อยไม่สามารถนำมาใช้ในการทำงานที่มีภาระงาน ที่ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 6.5 ไมโครฟารัด สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานได้ที่ความเร็วรอบที่สามารถใช้งานได้ และแรงดันที่ได้ต่อรอบการทำงานมีค่าเหมาะสมสามารถนำมาใช้ในการทำงานที่มีภาระงานได้ ได้ ที่ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 7 ไมโครฟารัด สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานได้ที่ความเร็วรอบที่สามารถใช้งานได้ แต่แรงดันที่ได้ต่อรอบการทำงานมีค่าสูงไม่สามารถนำมาใช้ในการทำงานที่มีภาระไฟฟ้า

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเปลี่ยนมอเตอร์เหนี่ยวนำให้ใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ 6.5 ไมโครฟารัด เพราะสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ในความเร็วรอบการทำงานที่ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป และมีค่าแรงดันที่ฝักฝันต่อความเร็วรอบที่สามารถนำไปใช้งานในส่วนของการทำงานที่มีภาระไฟฟ้าได้

4.2 การทดลองหาภาระไฟฟ้าสูงสุดโดยกำหนดความถี่คงที่

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีคุณภาพเสมือนระบบไฟฟ้า เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกในปริมาณเท่าใดก็ได้ ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่พอกพามาได้มากกว่าปริมาณที่ภาระไฟฟ้าต้องการใช้ กำลังไฟฟารีแอกทีฟที่เหลือจะถูกป้อนกลับเข้าสู่ระบบ แต่ถ้าผลิตกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่พอกพามาในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาระไฟฟ้า มอเตอร์เหนี่ยวนำจะหลุดจากสถานะของการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การทดลองนี้ผู้จัดทำโครงงานต้องการหาแรงดันที่ลดลงเมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าในปริมาณต่างๆ โดยกำหนดให้ความเร็วรอบหมุนของแหล่งต้นกำลังคงที่ 1500 รอบต่อนาที ที่แรงดัน 220 โวลต์ และเพิ่มภาระไฟฟ้าขึ้นครั้งละ 15 วัตต์ (5 วัตต์ต่อเฟส) ในทุกๆ ช่วงเวลา 5 นาที

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องจำลองแหล่งต้นกำลัง ปรับความเร็วรอบหมุนที่ 1500 รอบต่อนาที
2. เปิดวงจรภาระไฟฟ้าครั้งละ 15 วัตต์ (5 วัตต์ต่อเฟส)
3. อ่านค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงและบันทึกผล
4. ทำซ้ำในข้อ 2 - 3

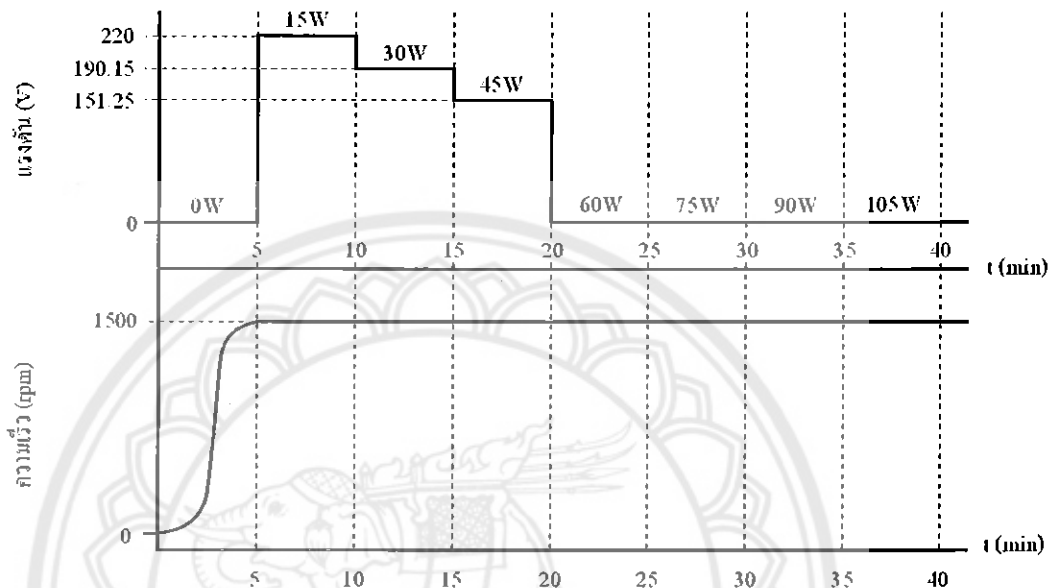
จากการทดลองหาค่าแรงดันที่ลดลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตามปริมาณภาระไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ โดยไม่เพิ่มความเร็วรอบการหมุนของแหล่งต้นกำลัง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.2 ปริมาณแรงดันที่ลดลงเมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าขึ้น

ช่วงเวลา (นาท)	ภาระไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์)	แรงดันที่ลดลง (โวลต์)	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลง
0 - 5	0	219.47	0.53	0.24
5 - 10	15	190.15	29.85	13.57
10 - 15	30	151.25	68.25	31.25
15 - 20	45	0	220	100
20 - 25	60	0	220	100
25 - 30	75	0	220	100
30 - 35	90	0	220	100
35 - 40	105	0	220	100

จากตารางที่ 4.2 อธิบายได้ว่า ค่าแรงดันที่ลดลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าเข้าไปในระบบพบว่าการลดลงจริง สังกัดได้ที่ความเร็วรอบการหมุนของแหล่งต้นกำลังคงที่ขณะไร้ภาระไฟฟ้า (Load = 0) จะผลิตแรงดันได้เท่ากับ 219.47 โวลต์ เมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าเข้าไปในระบบ 15 วัตต์ ในขั้นตอนที่ 2 (Load = 15) เป็นผลให้แรงดันลดลงจากเดิม 219.47 โวลต์ เหลือ 190.15 โวลต์ คิดเป็นส่วนต่างเท่ากับ 29.3 โวลต์ หรือ 13.35% และในลักษณะการทดลองที่คล้ายกันคือเพิ่มภาระไฟฟ้าเข้าไปในระบบ 30 วัตต์ (Load = 30) แรงดันจากเดิม 190.15 ลดลงเหลือ 151.25 คิดเป็นส่วนต่างเท่ากับ 38.9 โวลต์ หรือ 20.45%

เมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้าลำดับถัดไปที่ภาระไฟฟ้ารวมทั้งหมด 45 วัตต์ (Load = 45) ทำให้แรงดัน 151.25 ลดลงเหลือต่ำกว่า 1 โวลต์ นั่นคือ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำหลุดพ้นจากสถานะของการเป็น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นภาระไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถเพิ่มเข้าระบบในขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาทีและแรงดันคงที่ 220 โวลต์ คือ 45 วัตต์ที่สามเฟส หรือ 15 วัตต์ต่อเฟส สามารถแสดงผลแรงดันที่ลดลงเมื่อเทียบกับแรงดันตั้งต้นในรูปแบบของกราฟได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลแรงดันที่ลดลงเมื่อเพิ่มภาระไฟฟ้า

4.3 การทดลองการปรับตั้งแรงดันคงที่

ภาระงานที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดันที่วัดได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงเมื่อเทียบกับความเร็วรอบที่คงที่ เนื่องจากภาระไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าแอกทีฟได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ได้จากตัวเก็บประจุมากขึ้น เมื่อภาระไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟมากเกินไปที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตัวเก็บประจุสามารถสร้างสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ก็จะทำให้เกิดสถานะหลุดพ้นจากการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการทดลองนี้ผู้จัดทำโครงการต้องการทราบค่าแรงดันที่ลดลงในทุกๆ การเพิ่มระดับภาระไฟฟ้าครั้งละ 15 วัตต์ (เฟสละ 5 วัตต์) โดยกำหนดให้เพิ่มรอบความเร็วของแหล่งต้นกำลังขึ้นทุกครั้งที่เพิ่มภาระไฟฟ้าจนกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะผลิตแรงดันได้ระดับคงที่ 220 โวลต์ เป็นจำนวน 7 ครั้ง (ภาระไฟฟ้ารวม 105 วัตต์)สังเกตแรงดันที่ลดลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แสดงผลบนจอ LCD รวมทั้งความเร็วรอบการหมุนของแหล่งต้นกำลังที่เพิ่มขึ้นภายหลังจากการเพิ่มภาระไฟฟ้าในกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบหมุนขณะเพิ่มภาระไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 220 โวลต์ ดังรูปที่ 4.2

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องจ่ายตอมแหล่งต้นกำลัง ปรับความเร็วรอบให้ได้ค่าแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ 220 โวลต์ อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าบนจอ LCD
2. เปิดวงจรภาระไฟฟ้าครั้งละ 5 วัตต์ต่อเฟส รวมเป็น 15 วัตต์ ต่อครั้ง
3. อ่านค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงและบันทึกผล
4. เพิ่มความเร็วรอบโดยหมุนที่ตัวต้านทานปรับค่าได้บนชุดควบคุม ให้ค่าแรงดันกลับไปที่ 220 โวลต์
5. อ่านค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงและบันทึกผล
6. ทำซ้ำในข้อที่ 2-5

จากการทดลองหาค่าแรงดันที่ลดลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตามปริมาณภาระไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ โดยเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของแหล่งต้นกำลังเพื่อรักษาระดับแรงดัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การปรับตั้งแรงดันคงที่ โดยเพิ่มความเร็วรอบตามการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้า

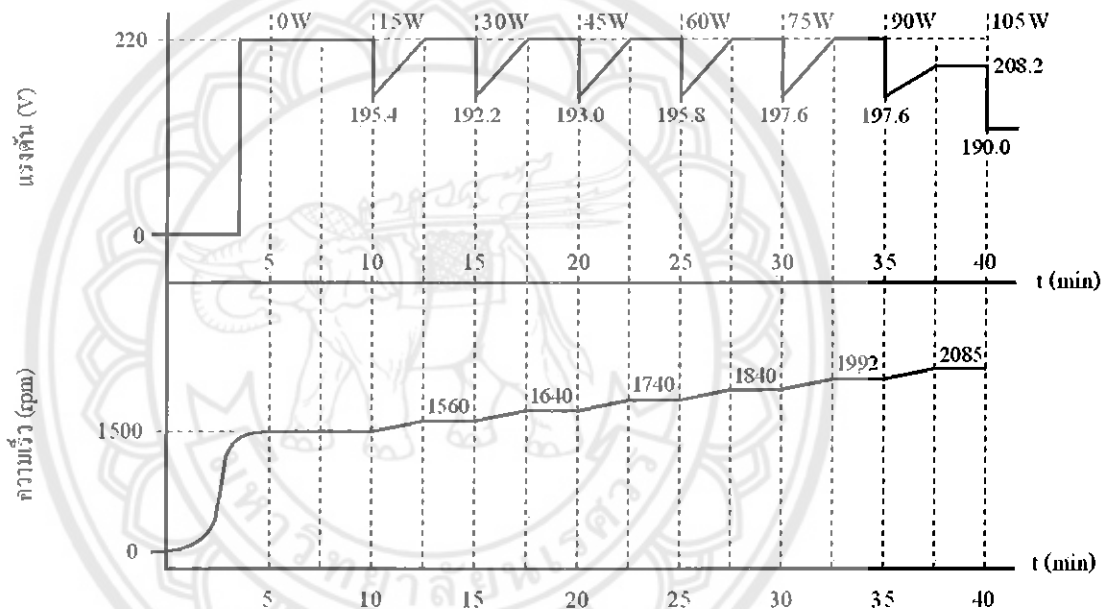
ช่วงเวลา (นาที)	ภาระไฟฟ้า (วัตต์)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์)
0 - 5	0	1500	220
5 - 10	15	1500	220
10 - 15	30	1560	220
15 - 20	45	1640	220
20 - 25	60	1740	220
25 - 30	75	1840	220
30 - 35	90	1992	220
35 - 40	105	2085	220

จากตารางที่ 4.3 อธิบายได้ว่า สถานะเริ่มต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถสร้างแรงดัน 220 โวลต์ ที่ความเร็วรอบแหล่งต้นกำลังเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที ในขั้นตอนนี้ยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงใดๆ เนื่องจากยังไม่ได้เชื่อมต่อภาระไฟฟ้าเข้ากับระบบ (Load = 0) เมื่อต่อภาระไฟฟ้า เข้าไปในระบบ 15 วัตต์ตามวิธีการทดลองในข้อที่ 2 (Load = 15) ส่งผลให้แรงดันขาออกของเครื่อง ก่อเกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจาก 220 โวลต์ เหลือ 181.07 โวลต์ คิดเป็นส่วนต่างเท่ากับ 38.93 โวลต์ หรือ ลดลง 17.69% เพิ่มความเร็วรอบการหมุนของแหล่งต้นกำลังขึ้นจนกระทั่งถึง 220 โวลต์ ในขณะที่ ความเร็วรอบการหมุนของแหล่งต้นกำลังจะเพิ่มขึ้น 60 รอบต่อนาที จากเดิม 1500 รอบต่อนาที เป็น 1560 รอบต่อนาที

เมื่อความเร็วรอบการหมุนของแหล่งต้นกำลังที่เพิ่มขึ้นจนมีระดับแรงดันที่ผลิตจากเครื่อง ก่อเกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำคงที่ 220 โวลต์ เพิ่มภาระไฟฟ้าขึ้นอีกเฟสละ 5 วัตต์ รวม 15 วัตต์ (ภาระ ไฟฟ้ารวม 30 วัตต์) แรงดันลดลงเหลือ 187.6 โวลต์ คิดเป็นส่วนต่างแรงดันเท่ากับ 32.4 โวลต์ หรือ 14.72% เพิ่มความเร็วรอบการหมุนของแหล่งต้นกำลังขึ้นจนกระทั่งเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ผลิตแรงดันเท่ากับ 220 โวลต์ จากความเร็ว 1560 รอบ เป็น 1640 รอบ

ภาระไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานมากขึ้น ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำเป็นต้องสร้างกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยการสูญเสียที่เกิดจากภาระไฟฟ้า โดยเพิ่มความเร็วการหมุนของแหล่งต้นกำลัง เมื่อภาระไฟฟ้ามีระดับสูงสุด (ภาระงานรวม 105 วัตต์) รอบการหมุนของแหล่งต้นกำลังมีความเร็วเท่ากับ 2085 รอบต่อนาที สามารถสร้างแรงดันสูงสุดได้ 208.2 โวลต์ เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความสามารถในการสร้างกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เพียง 100 วัตต์ เมื่อเทียบกับภาระไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 105 วัตต์ จึงสามารถผลิตแรงดันได้ 95% ของพิกัดมอเตอร์ ดังรูปที่

4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้า

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการดำเนินการการออกแบบ การสร้างและการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ปัญหาและการแก้ไข ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา โดยมีข้อสรุปในการดำเนินงานดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ พิกัด 100 วัตต์ ที่พัฒนาขึ้นจากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ พิกัด 200 วัตต์ เชื่อมแกนโรเตอร์เข้าหามอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ พิกัด 100 วัตต์ ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำพิกัด 200 วัตต์ ด้วยอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ พิกัด 200 วัตต์ แทนแรงต้นกำลัง และต่อตัวเก็บประจุขนาด 6.5 ไมโครฟารัดขนานเข้ากับระบบที่ด้านขาออกของมอเตอร์เหนี่ยวนำพิกัด 100 วัตต์ เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการให้ความเร็วรอบหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำพิกัด 200 วัตต์ คงที่ที่ 1500 รอบต่อนาที มอเตอร์เหนี่ยวนำพิกัด 100 วัตต์ สามารถผลิตแรงดันได้ 220 โวลต์ วัตต์แรงดันที่ขาออกของมอเตอร์เหนี่ยวนำพิกัด 100 วัตต์เมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้า (โหลดไฟ) ครั้งละ 15 วัตต์ (5 วัตต์ต่อเฟส) ทุกๆ 5 นาที ทำให้แรงดันลดลงจนพ้นจากสถานะการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อภาระทางไฟฟ้าเท่ากับ 45 วัตต์หรือสูงกว่า และเพื่อปรับแรงดันให้มีค่าคงที่ที่ 220 โวลต์ สามารถทำได้โดยการเพิ่มความเร็วยุโรปหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำพิกัด 200 วัตต์ให้สูงขึ้นตามภาระทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

การทำงานของชุดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามการเพิ่มขึ้นของภาระทางไฟฟ้าได้ ส่วนในการแสดงผลที่หน้าจอ LCD มีค่าแปรปรวนจากสัญญาณรบกวนของอินเวอร์เตอร์

5.2 ปัญหาและการแก้ไข

ปัญหาที่พบ : สัญญาณรบกวนจากการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ที่ทำให้การอ่านค่าแรงดันอินพุตของหน่วยประมวลผลคลาดเคลื่อน

การแก้ไข : เพิ่มวงจรกรองความถี่แบบแอนะล็อก (Low Pass Filter 2nd order) ทำให้สามารถอ่านค่าได้แรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ แต่ยังมีสัญญาณรบกวนอยู่จึงไม่สามารถทำการควบคุมแบบป้อนกลับได้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. ควรเลือกการกรองสัญญาณในแบบดิจิทัล (Digital Signal Processing : DSP) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน
2. ควรออกแบบวงจรให้มีกราวด์เฟน และในส่วนของกล่องใส่จอแสดงผล ควรเป็นกล่องโลหะที่มีตัวป้องกันสัญญาณรบกวน



เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสิทธิ์ภาพ ปัญญานันท์. “การศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสแบบกระตุ้นด้วยตัวเองโดยใช้ตัวเก็บประจุอนุกรมขนาน” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2549.
- [2] Stephen J. Chapman.“INDUCTION MOTORS” Electric Machinery Fundamentals, McGraw Hill International Edition 2005, Fourth Edition.
- [3] “วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider)” [Online]. Available: www.phayaotc.ac/files/10032219194101_12122622220311.doc
- [4] มงคล ทองสงคราม (2551) “อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น:วงจรเรียงกระแส” กรุงเทพฯ:ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินต์ติ้ง
- [5] V.Sankardoss, S.P.Sabberwal and K.Rajambal. (2012) “Experimental design of capacitance required for self-excited induction generator” Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol.45.
- [6] มนตรี ศิริปรัชญานันท์. “วงจรรองความถี่แบบแอกทีฟเบื้องต้น” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] “Arduino UNO” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- [8] Jim Karki. (2012)“Second-Order Low-Pass Butterworth Filter” Active Low-Pass Filter Design, Application Report, Texas Instruments Incorporated.



ภาคผนวก ก

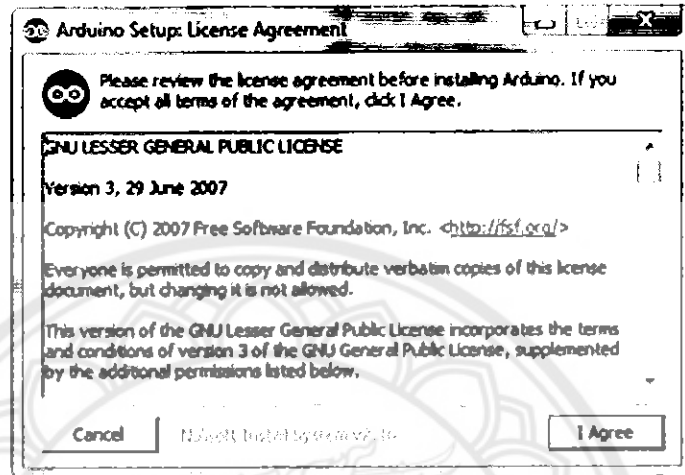
การติดตั้งโปรแกรม Arduino UNO R3 เพื่อใช้งาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏบรังษาร

การติดตั้งโปรแกรม Arduino UNO R3

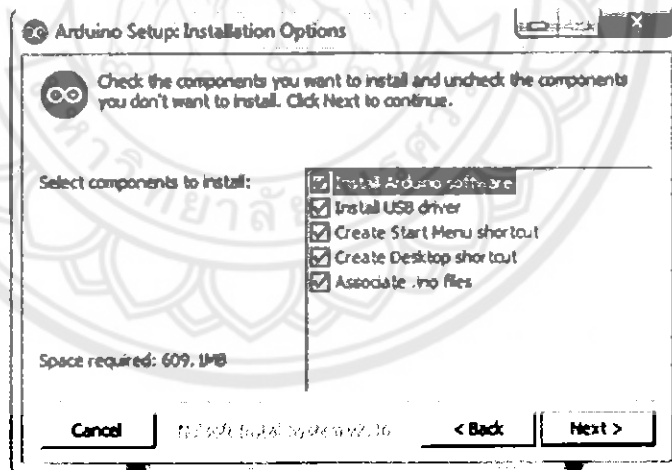
1. ติดตั้ง arduino-1.5.8-windows.exe เพื่อใช้เป็นตัวคอมพิวเตอร์โปรแกรมเพื่อติดตั้ง

1.1 ทำการ run ไฟล์ arduino-1.5.8-windows.exe จะปรากฏหน้าต่าง ให้เลือก I Agree ต้องการจะติดตั้ง (ตามรูปที่ 1)



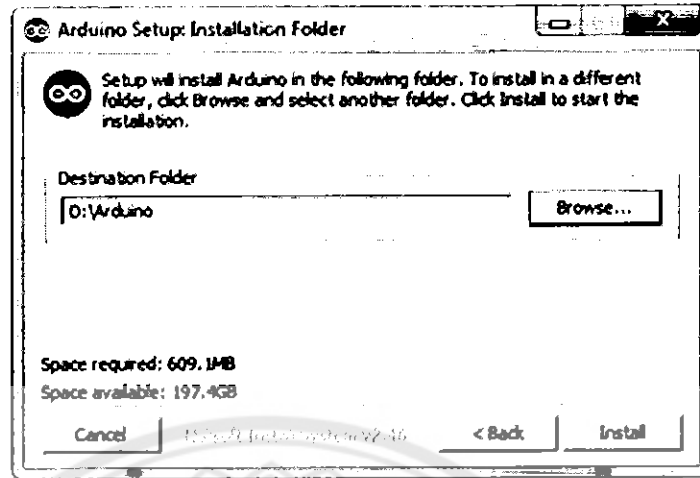
รูปที่ 1

1.2 จากนั้นกดปุ่ม Next (ตามรูปที่ 2)



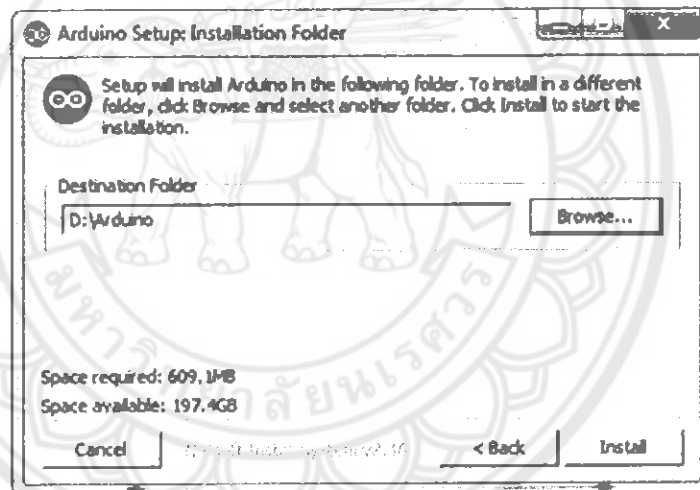
รูปที่ 2

1.3 จากนั้นจะขึ้นหน้าต่างเพื่อให้เลือกไดรฟ์ที่ต้องการติดตั้ง (ตามรูปที่ 3)



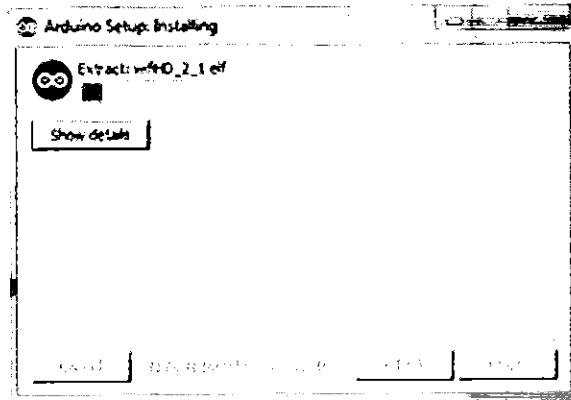
รูปที่ 3

1.4 จากนั้นกดปุ่ม Install เพื่อลงโปรแกรม (ตามรูปที่ 4)



รูปที่ 4

1.5 พอโหลดเสร็จแล้วจะขึ้นหน้าจอ (ตามรูปที่ 5)



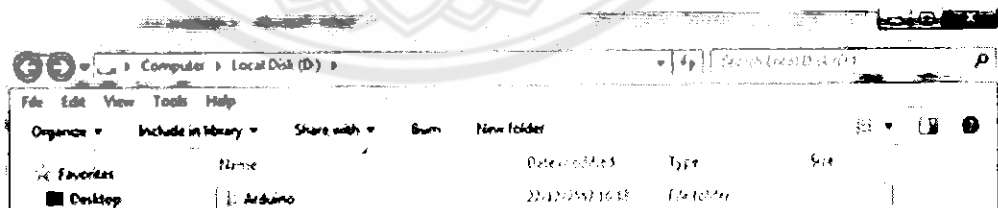
รูปที่ 5

1.6 กด Close เพื่อเสร็จสิ้นการลงโปรแกรม (ตามรูปที่ 6)



รูปที่ 6

1.7 จากโปรแกรมที่ลงจะอยู่ตามใครฟี่ที่ลงไว้ (ตามรูปที่ 7)



รูปที่ 7

ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุมอินเวอร์เตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



```

#include <SPI.h>
#include <DAC_MCP49xx.h>
#include <LiquidCrystal595.h>
/*****LCD*****/
LiquidCrystal595 lcd(4,5,6);
/*****INPUT&OUTPUT*****/

double Vin,Vin1,Vin2,Vin3,Vout,Ratio;
double x,y,L1,L2,L3;
#define SS_PIN 10
#define LDAC_PIN 7
DAC_MCP49xx dac(DAC_MCP49xx::MCP4922, SS_PIN, LDAC_PIN);

/*****Relay*****/
int inPinA3 = A3;
int inPinA5 = A5;
int state1 = LOW;
int reading1;
int previous1 = HIGH;
int state2 = LOW;
int reading2;
int previous2 = HIGH;
int relay1 = 8 ;
int relay2 = 9 ;

/*****VR Step*****/
double VR = A4;
void setup(){
  Serial.begin(9600);

  /*****LCD*****/
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("0 = STOP / 1 = START");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("STATUS = ");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("V.GEN = ");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("V.INVT = ");

  /*****INPUT&OUTPUT*****/
  pinMode(11,OUTPUT);
  dac.setSPIDivider(SPI_CLOCK_DIV16);
  dac.setPortWrite(true);
  dac.setAutomaticallyLatchDual(true);

  /*****Relay*****/
  pinMode(inPinA3,INPUT);
  pinMode(inPinA5,INPUT);
  pinMode(relay1,OUTPUT);
  pinMode(relay2,OUTPUT);

```

```

    /*****VR Step*****/
    pinMode(VR, INPUT);
}

void loop(){
    /*****Relay*****/
    reading1 = digitalRead(inPinA3);
    if(reading1 == HIGH && previous1 == LOW){
        if(state1 == HIGH) state1 = LOW;
        else state1 = HIGH;
    }
    reading2 = digitalRead(inPinA5);
    if(reading2 == HIGH && previous2 == LOW ){
        if(state2 == HIGH) state2 = LOW;
        else state2 = HIGH;
    }
    digitalWrite(relay1, state1);
    digitalWrite(relay2, state2);
    previous1 = reading1;
    previous2 = reading2;

    /*****VR Step*****/
    VR = analogRead(A4);
    x = (VR /1024)*5 ;

    /*****INPUT&OUTPUT*****/
    Vin1 = analogRead(A0);
    Vin2 = analogRead(A1);
    Vin3 = analogRead(A2);

    Ratio = 63.218 ;

    L1 = ((Vin1/1024)*5)* Ratio;
    L2 = ((Vin2/1024)*5)* Ratio;
    L3 = ((Vin3/1024)*5)* Ratio;

    Serial.print("L2 = ");Serial.print(L2);

    Vout = ((1.98 + x)/5 )*4096;
    dac.output2(Vout , 0 );
    y = ((1.98 + x)*2);

    Serial.print(" , V_invertor = ");Serial.print(y);
    Serial.print(" ; STEP = ");Serial.println(Vout);

    /*****LCD*****/
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print(state1);
    lcd.setCursor(9,2);
    lcd.print(L2);
    lcd.setCursor(9,3);
    lcd.print(y);
}

```



ภาคผนวก ค

รายละเอียด IC Atmega328P

มหาวิทยาลัยนเรศวร



ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P

**ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES
IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH**

DATASHEET SUMMARY

Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller Family
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1KBytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2KBytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix® acquisition
 - Up to 64 sense channels
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change

- **Special Microcontroller Features**
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- **I/O and Packages**
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- **Operating Voltage:**
 - 1.8 - 5.5V
- **Temperature Range:**
 - -40°C to 85°C
- **Speed Grade:**
 - 0 - 4MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10MHz@2.7 - 5.5V, 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
- **Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C**
 - Active Mode: 0.2mA
 - Power-down Mode: 0.1µA
 - Power-save Mode: 0.75µA (Including 32kHz RTC)



1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P

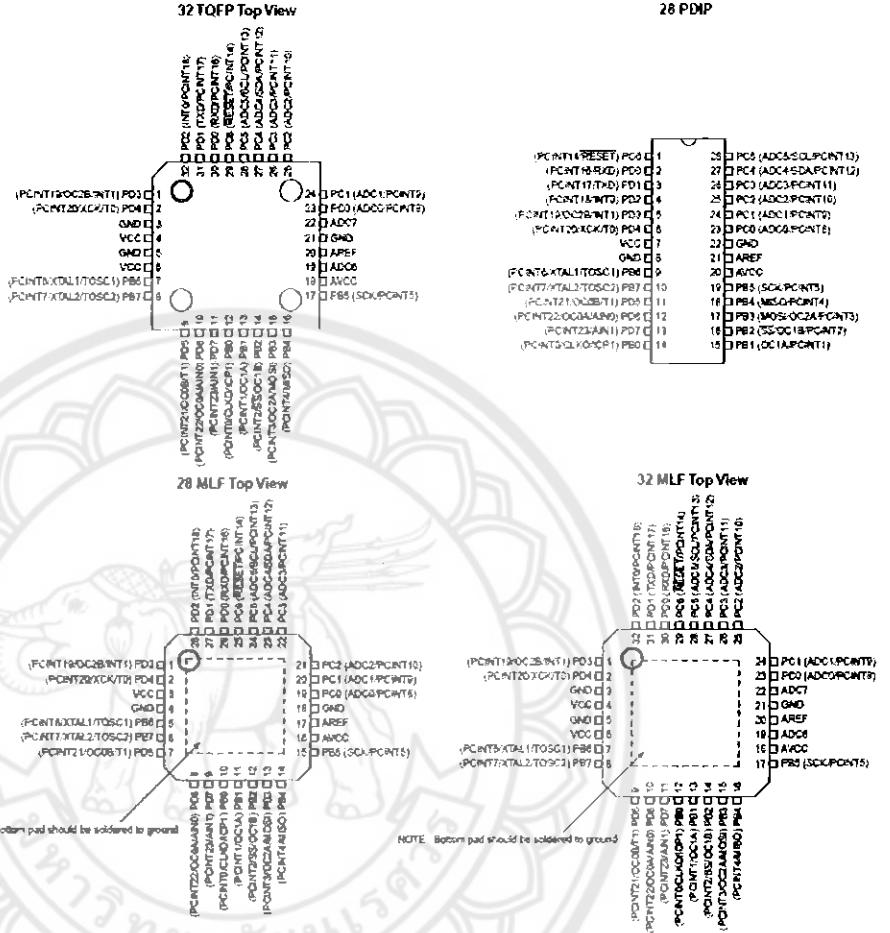


Table 1-1. 32UFBGA - Pinout ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA

	1	2	3	4	5	6
A	PD2	PD1	PC6	PC4	PC2	PC1
B	PD3	PD4	PD0	PC5	PC3	PC0
C	GND	GND			ADC7	GND
D	VDD	VDD			AREF	ADC6
E	PB6	PD6	PB0	PB2	AVDD	PB5
F	PB7	PD5	PD7	PB1	PB3	PB4

1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7...6 is used as TOSC2...1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in "Alternate Functions of Port B" on page 82 and "System Clock and Clock Options" on page 27.

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5...0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 29-11 on page 305. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in "Alternate Functions of Port C" on page 85.]

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

The various special features of Port D are elaborated in "Alternate Functions of Port D" on page 88.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6...4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

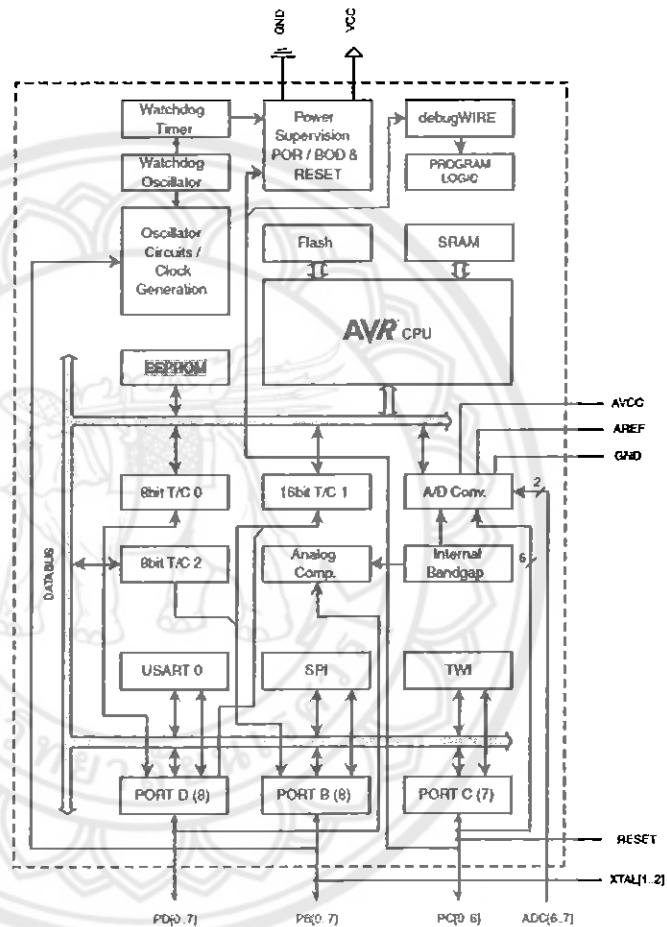
In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

2. Overview

The ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P provides the following features: 4K/8Kbytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 256/512/512/1Kbytes EEPROM, 512/1K/1K/2Kbytes SRAM, 23 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte-oriented 2-wire Serial Interface, an SPI serial port, a 8-channel 10-bit ADC (8 channels in TQFP and QFN/MLF packages), a programmable Watchdog Timer with internal Oscillator, and five software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, USART, 2-wire Serial Interface, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption.

Atmel® offers the QTouch® library for embedding capacitive touch buttons, sliders and wheels functionality into AVR® microcontrollers. The patented charge-transfer signal acquisition offers robust sensing and includes fully debounced reporting of touch keys and includes Adjacent Key Suppression® (AKS™) technology for unambiguous detection of key events. The easy-to-use QTouch Suite toolchain allows you to explore, develop and debug your own touch applications.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The Boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro Assemblers, Program Debugger/Simulators, In-Circuit Emulators, and Evaluation kits.

2.2 Comparison Between Processors

The ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P differ only in memory sizes, boot loader support, and interrupt vector sizes. Table 2-1 summarizes the different memory and interrupt vector sizes for the devices.

Table 2-1. Memory Size Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega48A	4KBytes	256Bytes	512Bytes	1 instruction word/vector
ATmega48PA	4KBytes	256Bytes	512Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88A	8KBytes	512Bytes	1KBytes	1 instruction word/vector
ATmega88PA	8KBytes	512Bytes	1KBytes	1 instruction word/vector
ATmega168A	16KBytes	512Bytes	1KBytes	2 instruction words/vector
ATmega168PA	16KBytes	512Bytes	1KBytes	2 instruction words/vector
ATmega328	32KBytes	1KBytes	2KBytes	2 instruction words/vector
ATmega328P	32KBytes	1KBytes	2KBytes	2 instruction words/vector

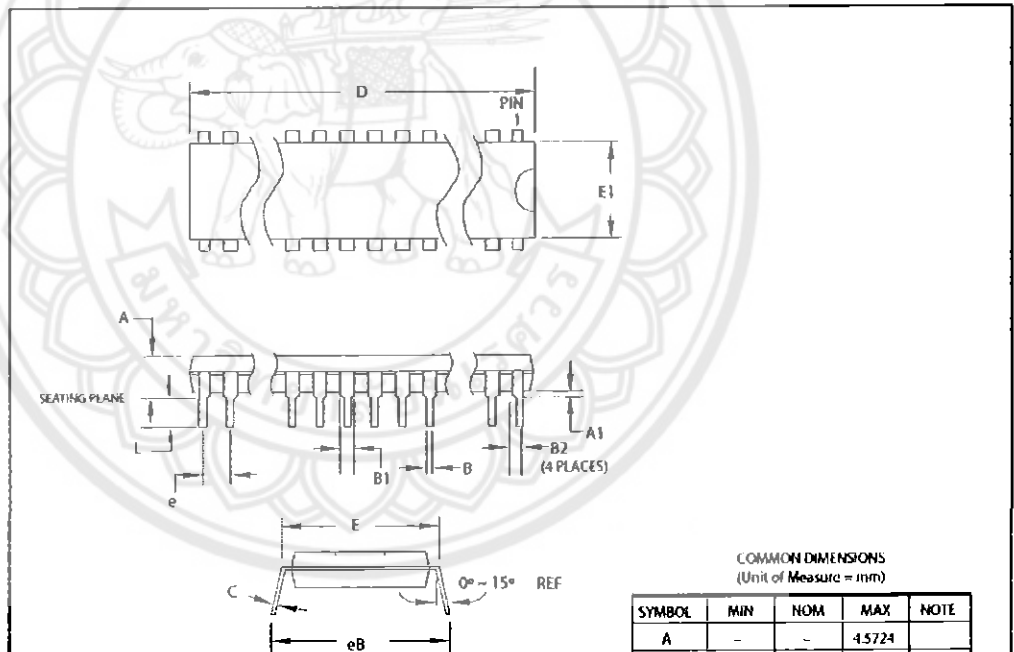
9.8 ATmega328P

Speed (MHz) ⁽¹⁾	Power Supply (V)	Ordering Code ⁽²⁾	Package ⁽³⁾	Operational Range
20	1.8 - 5.5	ATmega328P-AU ATmega328P-AUR ⁽⁵⁾ ATmega328P-MMH ⁽⁴⁾ ATmega328P-MMHR ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ ATmega328P-MU ATmega328P-MUR ⁽⁵⁾ ATmega328P-PU	32A 32A 28M1 28M1 32M1-A 32M1-A 28P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega328P-AN ATmega328P-ANR ⁽⁵⁾ ATmega328P-MN ATmega328P-MNR ⁽⁵⁾ ATmega328P-PN	32A 32A 32M1-A 32M1-A 28P3	Industrial (-40°C to 105°C)

- Note:
1. This device can also be supplied in wafer form. Please contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. Pb-free packaging complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.
 3. See Figure 23-1 on page 303.
 4. NiPdAu Lead Finish
 5. Tape & Reef

10. Packaging Information

10.5 28P3



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	-	-	4.5724	
A1	0.508	-	-	
D	34.544	-	34.798	Note 1
E	7.620	-	8.255	
E1	7.112	-	7.493	Note 1
B	0.381	-	0.533	
B1	1.143	-	1.397	
B2	0.762	-	1.143	
L	3.175	-	3.429	
C	0.203	-	0.356	
eB	-	-	10.160	
e	-	2.540 TYP	-	

Note: 1. Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusion. Mold flash or protrusion shall not exceed 0.25mm (0.010").

09/28/01

2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	TITLE 28P3, 28-lead (0.300"/7.62mm Wide) Plastic Dual InLine Package (PDIP)	DRAWING NO.	REV.
		28P3	B



ภาคผนวก ง

รายละเอียด IC LM78xx

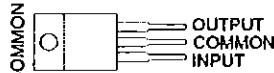
มหาวิทยาลัยนเรศวร

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

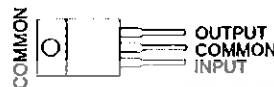
SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation

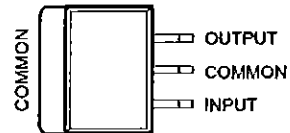
KC (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



KCS (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)



KTE PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering Information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	μA7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	μA7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
		POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	
	12	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	μA7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
		15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER
	TO-220 (KC)		Tube of 50	μA7815CKC	μA7815C
	TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS	
	24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

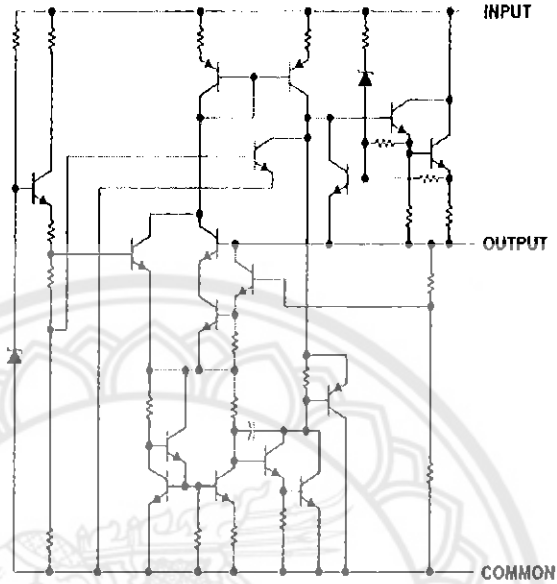


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**μA7800 SERIES
POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

schematic



absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, V_I : μA7824C	40 V
All others	35 V
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{slg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	θ_{JC}	θ_{JA}
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A) / \theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.



μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J - MAY 1976 - REVISED MAY 2003

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V_I	Input voltage	μA7805C	7	25	V
		μA7808C	10.5	25	
		μA7810C	12.5	28	
		μA7812C	14.5	30	
		μA7815C	17.5	30	
		μA7824C	27	36	
I_O	Output current		1.5	A	
T_J	Operating virtual junction temperature	μA7800C series	0	125	°C

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10$ V, $I_O = 500$ mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7805C			UNIT	
			MIN	TYP	MAX		
Output voltage	$I_O = 5$ mA to 1 A, $V_I = 7$ V to 20 V, $P_D \leq 15$ W	25°C	4.8	5	5.2	V	
		0°C to 125°C	4.75		5.25		
Input voltage regulation	$V_I = 7$ V to 25 V	25°C	3			mV	
	$V_I = 8$ V to 12 V		1				
Ripple rejection	$V_I = 8$ V to 18 V, $f = 120$ Hz	0°C to 125°C	62	78		dB	
Output voltage regulation	$I_O = 5$ mA to 1.5 A	25°C	15			mV	
	$I_O = 250$ mA to 750 mA		5				
Output resistance	$f = 1$ kHz	0°C to 125°C	0.017			Ω	
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5$ mA	0°C to 125°C	-1.1			mV/°C	
Output noise voltage	$f = 10$ Hz to 100 kHz	25°C	40			μV	
Dropout voltage	$I_O = 1$ A	25°C	2			V	
Bias current		25°C	4.2			8	mA
Bias current change	$V_I = 7$ V to 25 V	0°C to 125°C	1.3			mA	
	$I_O = 5$ mA to 1 A		0.5				
Short-circuit output current		25°C	750			mA	
Peak output current		25°C	2.2			A	

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

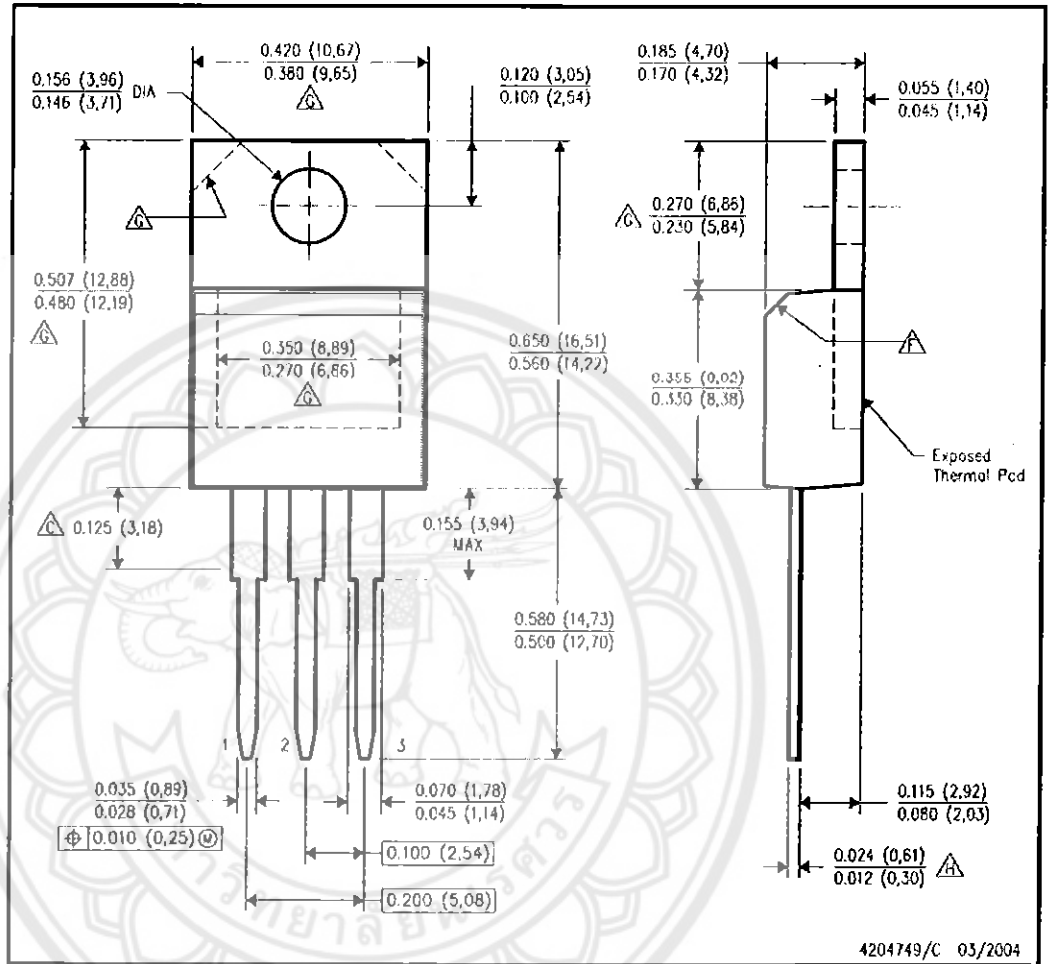
 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MECHANICAL DATA

KCS (R-PSFM-T3)

PLASTIC FLANGE-MOUNT PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - Lead dimensions are not controlled within this area.
 - D. All lead dimensions apply before solder dip.
 - E. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
 - The chamfer is optional.
 - Thermal pad contour optional within these dimensions.
 - Falls within JEDEC IO-220 variation AB, except minimum lead thickness.