



อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้
PROGRAMMABLE SOLAR INVERTER

พุทธิญาณ ทองจีนสังข์

PHUTTIYA THONGJEENSANG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้
PROGRAMMABLE SOLAR INVERTER

พุทธิญาณ ทองจีนสังข์

PHUTTIYA THONGJEENSANG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2565

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เรื่อง อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้

Programmable Solar Inverter

ผู้จัดทำ

นายพุทธิญาณ ทองจีนสังข์ รหัสนักศึกษา 62201012



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษมสุข เสพศิริสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|------------------|--|
| ชื่อปริญญาบัตร | อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้ |
| นักศึกษา | นายพุทธิญาณ ทองจีนสังข์ รหัสนักศึกษา 62201012 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.เกษมสุข เสพศิริสุข |
| หลักสูตร | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ |
| ปีการศึกษา | 2565 |

บทคัดย่อ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้กล่าวถึงอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้ ซึ่งจะอาศัยการส่งสัญญาณจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเปิด-ปิดการทำงานของมอเตอร์ด้วยความถี่สูงประมาณ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 100 กิโลเฮิร์ตซ์ แล้วผ่านสัญญาณไปกรองที่ตัวเก็บประจุ ทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ขนาด 220 โวลต์ ใช้วงจรภาคส่งผ่านไฟฟ้ากระแสตรงแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ วงจรภาคแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบฮาร์ฟบริดจ์ โดยอุปกรณ์นี้สามารถรับอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ทั้งจากแบตเตอรี่และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถตั้งโปรแกรมการเลือกรับอินพุตโดยอัตโนมัติได้

จากการทดลองแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ขนาด 36 โวลต์ เมื่อทำการต่อโหลดไฟขนาด 180-240 โวลต์ ที่เอาพุทของอุปกรณ์ จะได้ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เอาพุท 220 โวลต์ เมื่อเปลี่ยนขนาดแบตเตอรี่เป็น 12 โวลต์ จะได้ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เอาพุท 194 โวลต์ และตัววงจรอินเวอร์เตอร์ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ประมาณ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์, ไฟฟ้ากระแสสลับ, ไฟฟ้ากระแสตรง

Project Title PROGRAMMABLE SOLAR INVERTER
Student Mr. Phuttiya Thongjeensang **Student ID** 62201012
Advisor Asst. Prof. Dr. Kasemsuk Sepsirisuk
Degree Bachelor of Engineering
Program in Electronics Engineering
Academic Year 2022

ABSTRACT

This project presents Programmable Solar Inverter by using signal that generates from microcontroller to bias High-power MOSFET On-Off with the frequency of 10 kHz to 100 kHz then pass the signal to film capacitor. It will generate alternating current in sinewave with value of 220 Vrms using fullbridge topology for DC-to-DC part using halfbridge circuit for DC-to-AC part. This project can receive direct current either from battery or solar cell for its input and able to be programming how to select the type of input by automatic

From our experiment, Using direct current from 36 volt battery for the input. When connected to the light bulb with rating of 180 Vrms-240V rms, It will get output alternating voltage 220 Volt. When change battery voltage to 12 volt, It will get output alternating voltage 194 Volt and the Inverter circuit make 50 to 60 percent of power-loss

Keyword: Inverter, Alternating Current, Direct Current

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือ และการสนับสนุน จากบุคคลหลายๆท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุกๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งคอยให้การอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา ตลอดจนให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เกษมสุข เสพศิริสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งเอื้อเฟื้อเครื่องมือเครื่องใช้ในการทำโครงการ และติดตามเกี่ยวกับงานโครงการตลอดมา

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ ติเตียนถึงความผิดพลาดและคอยช่วยเหลือเสมอมา

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ตักเตือนถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ทำให้ชิ้นงานชิ้นนี้มีความคืบหน้าและเสร็จสมบูรณ์ในท้ายที่สุด

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พุทธิญาณ ทองจีนสังข์
มิถุนายน 2565

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VII |
| สารบัญรูป..... | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์..... | 1 |
| 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา | 1 |
| 1.4 ขอบเขตของการศึกษา | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย..... | 2 |
| 1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.7 โครงสร้างปริญญานิพนธ์ | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 มอสเฟต (MOSFET) | 5 |
| 2.1.1 โครงสร้างของมอสเฟต | 5 |
| 2.1.2 ประเภทของมอสเฟต..... | 6 |
| 2.1.3 หลักการทำงานของมอสเฟต | 6 |
| 2.1.4 โหมดการทำงานของมอสเฟต..... | 7 |
| 2.1.5 วงจรไบอัสมอสเฟต | 8 |
| 2.2 บอร์ดอาร์ดูโน้ ูโน้ R3 (Arduino UNO R3)..... | 9 |
| 2.2.1 ส่วนประกอบ บอร์ดอาร์ดูโน้ ูโน้ R3 | 9 |
| 2.3 จอแอลซีดี (LCD) | 9 |
| 2.4 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ (Full Brigde Converter) | 10 |
| 2.4.1 การทำงานของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ | 10 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.4.2 การคำนวณวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ | 11 |
| 2.4.3 คุณสมบัติของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ | 11 |
| 2.5 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) | 11 |
| 2.5.1 แรงดันไฟฟ้าขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ | 11 |
| 2.5.2 รูปคลื่นเอาต์พุตแบบชายน์เวฟ | 12 |
| 2.5.3 อินเวอร์เตอร์แบบอนกริด | 12 |
| 2.6 หม้อแปลงไฟฟ้า | 13 |
| 2.6.1 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า | 13 |
| 2.7 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Inverter) | 14 |
| 2.8 เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712 | 14 |
| 2.9 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35 | 15 |
| 2.10 ไอซีคอมพาราเรเตอร์ LM311 (Comparator) | 15 |
| 2.11 รีเลย์ (Relay) | 16 |
| บทที่ 3 การออกแบบ | 17 |
| 3.1 การออกแบบวงจร | 17 |
| 3.1.1 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ | 18 |
| 3.1.2 วงจรอินเวอเตอร์ | 20 |
| 3.1.3 วงจรภาคขยายสัญญาณ | 20 |
| 3.1.4 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน | 21 |
| 3.1.5 วงจรซิงโครไนส์เฟส (Phase Synchronising) | 22 |
| 3.1.6 ระบบเลือกรับอินพุท | 23 |
| 3.2 การออกแบบโปรแกรม | 23 |
| 3.2.1 ชุดคำสั่งสร้างสัญญาณให้วงจรอินเวอเตอร์ | 23 |
| 3.2.2 ชุดคำสั่งสร้างสัญญาณให้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ | 24 |
| 3.2.3 ชุดคำสั่งสำหรับที่วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน | 26 |
| 3.2.4 ชุดคำสั่งเซ็นเซอร์วัดและแจ้งเตือนอุณหภูมิ | 27 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.2.5 ชุดคำสั่งควบคุมระบบเชื่อมต่อกริด..... | 28 |
| 3.2.6 ชุดคำสั่งควบคุมระบบเชื่อมต่อกริด..... | 29 |
| บทที่ 4 วิธีการและผลการทดลอง..... | 30 |
| 4.1 การทดลองความแม่นยำวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 30 |
| 4.1.1 วิธีการทดลอง..... | 30 |
| 4.1.2 ผลการทดลอง..... | 30 |
| 4.2 การทดลองความแม่นยำวงจรวัดกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 31 |
| 4.2.1 วิธีการทดลอง..... | 31 |
| 4.2.2 ผลการทดลอง..... | 31 |
| 4.3 การทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ..... | 32 |
| 4.3.1 วิธีการทดลอง..... | 33 |
| 4.3.2 ผลการทดลอง..... | 33 |
| 4.4 การทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์และระบบซิงค์เฟส..... | 34 |
| 4.4.1 วิธีการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจร..... | 34 |
| 4.4.2 ผลการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจร..... | 34 |
| 4.4.3 วิธีการทดลองความบิดเบี้ยวของรูปคลื่นไซน์และการซิงโครไนส์เฟส..... | 35 |
| 4.4.4 ผลการทดลองความบิดเบี้ยวของรูปคลื่นไซน์และการซิงโครไนส์เฟส..... | 35 |
| 4.5 การทดลองระบบเลือกรับอินพุท..... | 38 |
| 4.5.1 วิธีการทดลอง..... | 38 |
| 4.5.2 ผลการทดลอง..... | 38 |
| 4.6 การทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทของอุปกรณ์..... | 39 |
| 4.6.1 วิธีการทดลอง..... | 39 |
| 4.6.2 ผลการทดลอง..... | 39 |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 41 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 41 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 5.1.1 สรุปผลการผลการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจรอินเวอร์เตอร์..... | 41 |
| 5.1.2 สรุปผลการการทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทของอุปกรณ์..... | 41 |
| 5.1.3 สรุปผลทดลองความแม่นยำวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 41 |
| 5.1.4 สรุปผลทดลองความแม่นยำวงจรวัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 41 |
| 5.1.5 สรุปผลทดลองระบบเลือกรับอินพุท..... | 41 |
| 5.1.6 สรุปผลทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ..... | 41 |
| 5.1.7 ผลการทดลองความบิดเบี้ยวของรูปคลื่นไซน์และการซิงโครไนส์เฟส..... | 42 |
| 5.2 ปัญหาและอุปสรรค..... | 42 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 42 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 43 |
| ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้..... | 44 |
| ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้..... | 51 |
| ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ (Datasheet)..... | 56 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 67 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1..... | 3 |
| 1.2 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2..... | 3 |
| 4.1 ผลการทดลองวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 30 |
| 4.2 ผลการทดลองเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 32 |
| 4.3 ผลการทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิด้วยอาร์ดูโน้..... | 33 |
| 4.4 ผลการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจรอินเวอร์เตอร์..... | 34 |
| 4.5 ผลการทดลองระบบเลือกรับอินพุต..... | 38 |
| 4.6 ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุตของอุปกรณ์ที่แรงอินพุต 12 โวลต์..... | 39 |
| 4.7 ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุตของอุปกรณ์ที่แรงอินพุต 36 โวลต์..... | 39 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้าที่ |
|---|---------|
| 2.1 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส (MOSFET structure)..... | 5 |
| 2.2 สัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เม้นท์..... | 6 |
| 2.3 การนำกระแสของมอสเฟตในย่านอิมิตัว..... | 7 |
| 2.4 วงจรเทียบเคียงการไบอัสแรงดันดีซี และแสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซี..... | 8 |
| 2.5 บอร์ดอาร์ดูโน้ อูโน้ R3..... | 9 |
| 2.6 จอแอลซีดี ขนาด 16x2 ตัวอักษร | 10 |
| 2.7 วงจรวงจรพูลบริดจ์คอนเวอเตอร์..... | 10 |
| 2.8 ไซน์เวฟ..... | 12 |
| 2.9 โมดิฟายชายน์เวฟ..... | 12 |
| 2.10 อินเวอร์เตอร์แบบอนกริต | 13 |
| 2.11 โครงสร้างหลักของหม้อแปลงไฟฟ้า | 13 |
| 2.12 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว | 14 |
| 2.13 เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712 | 14 |
| 2.14 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35..... | 15 |
| 2.15 ไอซีคอมพารเตอร์ LM311 | 15 |
| 2.16 รีเลย์ขนาด 30 แอมป์ | 16 |
| 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบโดยรวมทั้งหมด | 17 |
| 3.2 รูปของกล่องอุปกรณ์..... | 18 |
| 3.3 วงจรวงจรพูลบริดจ์คอนเวอเตอร์..... | 19 |
| 3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท็ปกลาง | 20 |
| 3.5 วงจรภาคขยายสัญญาณ..... | 21 |
| 3.6 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 22 |
| 3.7 วงจรวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า..... | 22 |
| 3.8 ระบบเลือกรับอินพุท..... | 23 |
| 3.9 โฟลวชาร์ตชุดคำสั่งสร้างสัญญาณให้วงจรอินเวอร์เตอร์..... | 24 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้าที่ |
|---|---------|
| 3.10 โพลวชาร์ตชุดคำสั่งสร้างสัญญาณให้วงจรฟลูอิดจ็คอนเวอเตอร์..... | 25 |
| 3.11 โพลวชาร์ตชุดคำสั่งสำหรับที่วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า..... | 26 |
| 3.12 ชุดคำสั่งเซ็นเซอร์วัดและแจ้งเตือนอุณหภูมิ..... | 27 |
| 3.13 ชุดคำสั่งควบคุมให้เฟสของคลื่นเอาพุตตรงกับกริด..... | 28 |
| 3.14 ชุดคำสั่งเลือกรับอินพุตจากแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่..... | 29 |
| 4.1 การทดลองวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 31 |
| 4.2 การทดลองเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้..... | 32 |
| 4.3 การทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิด้วยอาร์ดูโน้..... | 33 |
| 4.4 การทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจรอินเวอร์เตอร์..... | 35 |
| 4.5 รูปคลื่นเอาพุตก่อนต่อภาระไฟฟ้า..... | 35 |
| 4.6 รูปคลื่นเอาพุตเมื่อต่อภาระไฟฟ้าประเภทมอเตอร์ 5 โวลต์..... | 36 |
| 4.7 รูปคลื่นเอาพุตเมื่อต่อภาระไฟฟ้าประเภทไฟแอลอีดีขนาด 5 วัตต์..... | 36 |
| 4.8 การจ่ายพัลส์ด้วยคอมพิวเตอร์ตามเฟสของกริด..... | 37 |
| 4.9 การทดลองการซิงโครไนส์เฟส..... | 37 |
| 4.10 การทดลองระบบเลือกรับอินพุตระหว่างโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่..... | 38 |
| 4.11 การทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุต..... | 40 |

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมุติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานและโครงสร้างปริญญานิพนธ์ของโครงการอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบตั้งโปรแกรมได้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน รัฐบาลหลายประเทศทั่วโลกต่างก็เร่งผลักดันนโยบายทางด้านโซลาร์เซลล์ (Solar cell) เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ไม่ทำให้เกิดการปล่อยมลพิษ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่การแปลงไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่นิยมใช้กันอยู่นั้น จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่มีพิกัดที่เหมาะสม อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Inverter) มีรูปแบบการทำงานได้หลายรูปแบบ โดยทั่วไปแล้วผู้ผลิตได้ตั้งค่าการทำงานอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ตามที่เหมาะสมไว้แล้ว ซึ่งผู้ใช้งานไม่สามารถปรับแต่งการทำงานของอินเวอร์เตอร์ตามต้องการในภายหลังได้ กลุ่มของข้าพเจ้า จึงได้จัดทำโครงการอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาและออกแบบอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบตั้งโปรแกรมได้
- 2) เพื่อศึกษาการทำงานของระบบแผงโซลาร์เซลล์แบบอนกริดและออฟกริด
- 3) เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบต่างๆ
- 4) เพื่อศึกษาการใช้มอสเฟต (MOSFET) เป็นสวิตช์ไฟฟ้า ที่ควบคุมโดยสัญญาณจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- 5) เพื่อแก้ปัญหาที่ผู้ใช้งานระบบโซลาร์อินเวอร์เตอร์ทั่วไปไม่สามารถปรับแต่งการทำงานของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าตามต้องการได้
- 6) เพื่อศึกษาการใช้อาร์ดูโนในการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้ สามารถนำไปใช้งานแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับได้ รูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้เป็นรูปคลื่นไซน์เวฟ (Sine wave) สามารถรองรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้ทั้งจากแบตเตอรี่และแผงโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1) พิกัดเบื้องต้นของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบตั้งโปรแกรมได้ กำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด 85 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าขาออก 220 โวลต์ กระแสไฟฟ้าขาออก 0.5 แอมป์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 12 โวลต์ ถึง 36 โวลต์
- 2) มีเอาต์พุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบชาน์เนลเวฟ
- 3) มีจอแอลซีดี (LCD) เพื่อแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
- 4) สามารถเลือกรับอินพุตจากแผงโซลาร์เซลล์กับแบตเตอรี่
- 5) มีระบบแจ้งเตือนและหยุดการทำงานเมื่อมอเตอร์มีอุณหภูมิเกิน 120 องศาเซลเซียส

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1) ได้ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบตั้งโปรแกรมได้
- 2) ได้ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ระบบอนกริดและออฟกริด
- 3) ได้ศึกษาการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบต่างๆ
- 4) ผู้ใช้งานระบบโซลาร์อินเวอร์เตอร์สามารถปรับแต่งการทำงานของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าตามต้องการได้
- 5) ได้ศึกษาการใช้อาร์ดูโนในการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้มีดังนี้

- 1) ศึกษาการทำงานของวงจร
- 2) ออกแบบและสร้างวงจร
- 3) ทดลองการทำงานของวงจร
- 4) นำวงจรที่สร้างมาเชื่อมต่อกันและจัดวางวงจรส่วนต่างๆลงในกล่องอุปกรณ์
- 5) ทดลองตัวอุปกรณ์และแก้ไขข้อผิดพลาด

แผนการดำเนินในภาคเรียนที่ 1 แสดงดังตารางที่ 1.1 และในภาคเรียนที่ 2 ดังตารางที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | ระยะเวลาดำเนินงาน | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---|---|---|--------|---|---|---|-----------|---|---|---|---------|---|---|---|
| | กันยายน | | | | ตุลาคม | | | | พฤศจิกายน | | | | ธันวาคม | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1) คิดหัวข้อโครงการนำเสนอ อาจารย์ที่ปรึกษา | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2) ออกแบบวงจร | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3) สร้างและทดลองวงจร แก้ไขข้อบกพร่องในวงจร | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4) จัดทำรายงานและนำเสนอ | | | | | | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | ระยะเวลาดำเนินงาน | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---|---|---|------------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|
| | มกราคม | | | | กุมภาพันธ์ | | | | มีนาคม | | | | เมษายน | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1) แก้ไขข้อบกพร่องของอุปกรณ์ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2) ออกแบบวงจรเพิ่มเติม | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3) สร้างและทดลองวงจร แก้ไขข้อบกพร่องในวงจร | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4) บั๊กทีกและสรุปผลการทดลองโดยรวม | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5) จัดทำรายงานและนำเสนอ | | | | | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 โครงสร้างปริญญานิพนธ์

โครงงานฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับเรื่อง อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้

บทที่ 1 บทนำในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมาย วัตถุประสงค์ สมมุติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่ได้รับ และตารางวิธีการดำเนินงาน รวมถึงโครงสร้างปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีเบื้องหลังส่วนประกอบต่างๆในอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้

บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง ในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบวงจรไฟฟ้าที่ใช้ และโพลชาร์ตชุดคำสั่งในอาร์ดูโน้

บทที่ 4 วิธีการและผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวถึง วิธีการทดลอง และตารางผลการทดลองส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ ในบทนี้จะกล่าวถึง การสรุปผลการทดลองทั้งหมด ปัญหา และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

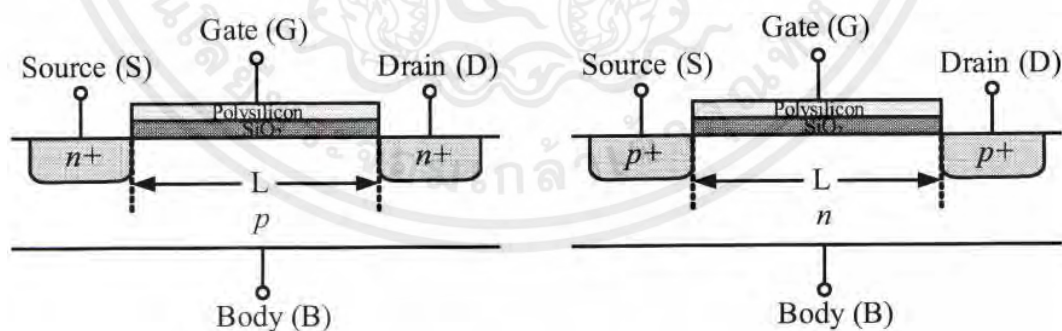
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการออกแบบและสร้างโครงงานอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้ซึ่งประกอบด้วย มอสเฟต (MOSFET) อาร์ดูโน้ (Arduino) จอแอลซีดี วงจรฟูลบริดจ์ (Fullbridge) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เซ็นเซอร์วัดกระแส คอมพาราเตอร์ (Cmpparator) แผงโซลาร์เซลล์ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ หม้อแปลงไฟฟ้าและรีเลย์ (Relay) เป็นต้น

2.1 มอสเฟต (MOSFET)

มอสเฟต (MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) [1] เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการทำงานในลักษณะที่แปลงแรงดันเป็นกระแส กระแสที่ได้เป็นผลมาจากอิเล็กตรอนหรือโฮล ซึ่งเป็นพาหะข้างมาก (Majority carrier) ขึ้นอยู่กับว่าอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นมอสเฟตชนิดเอ็น (NMOS) หรือมอสเฟตชนิดพี (PMOS)

2.1.1 โครงสร้างของมอสเฟต

มอสเฟต ประกอบด้วยสามส่วน ดังรูปที่ 2.1 คือ เกต (Gate) เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อ สร้างสนามไฟฟ้า เพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า ซอร์ส (Source) เป็นส่วนขาเข้าของสัญญาณ เดรน (Drain) เป็นส่วนขาออกของสัญญาณ



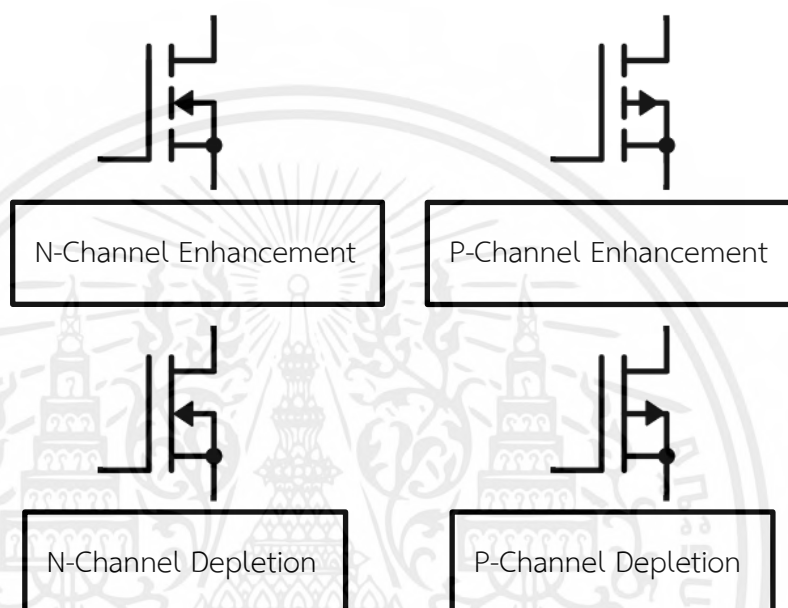
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต (MOSFET structure)

(ที่มา:วงจรรวมอนาล็อก1_2563%20(1).pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ประเภทของมอสเฟต

มอสเฟตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท [2] ได้แก่ มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion) และแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement) โดยปกติมอสเฟตในวงจรกำลังมักเป็นแบบเอนฮานซ์เมนต์ มอสเฟตยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ มอสเฟตชนิดเอ็น (NMOS) ซึ่งมีประจุพาหะอิเล็กตรอนเป็นตัวนำกระแส และมอสเฟต ชนิดพี (PMOS) ซึ่งมีประจุพาหะโฮลเป็นตัวนำกระแส สัญลักษณ์ของมอสเฟตแสดงดังรูปที่ 2.2

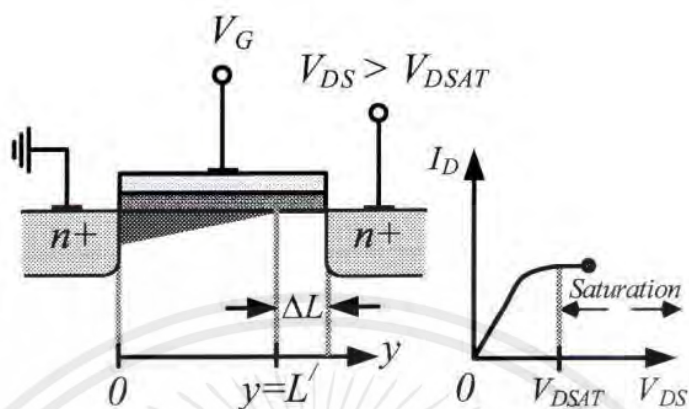


รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ชนิด (ก) NMOS และ (ข) PMOS
(ที่มา: <https://electronics.stackexchange.com/>)

2.1.3 หลักการทำงานของมอสเฟต

การป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขาเกตเทียบกับขาซอส (VGS) ซึ่งแรงดัน VGS มีขนาดเพียงพอจะทำให้เกิดช่องทางเดินของกระแสระหว่างขาซอส และขาเดรน ค่าแรงดันที่ทำให้เกิดช่องทางเดินของกระแสนี้เรียกว่า แรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage : V_T) กระแสไหลผ่านช่องทางเดินกระแสมีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากความต่างศักย์ระหว่างขาเดรนและขาซอสมีค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับการเกิดของช่องทางเดินกระแสในมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ชนิดพี (PMOS) สามารถทำได้โดยป้อนแรงดันค่าลบเข้าที่เกตเทียบกับซอสให้มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าแรงดันขีดเริ่มเมื่อป้อนแรงดันบวกระหว่างขาเกตเทียบกับขาซอสให้มีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม และป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขาเดรนเทียบกับขาซอส ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง ($V_{DS} < V_{GS} - V_T$) กระแสเดรนจะไหลผ่านช่องทางเดินกระแสจากขาเดรนไปยังขาซอส โดยคุณสมบัติของกระแสเดรน (I_D) เมื่อเทียบกับ

แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาคีเรนและซอส (V_{DS}) การนำกระแสของมอสเฟตในย่านอิ่มตัวแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การนำกระแสของมอสเฟตในย่านอิ่มตัว
(ที่มา: วงจรรวมอนาล็อก1_2563%20(1).pdf)

2.1.4 โหมดการทำงานของมอสเฟต

ช่วงคัทออฟ (Cutoff Region) ($V_{GS} < V_T$) คือช่วงที่มอสเฟตไม่ทำงาน กรณีนี้ไม่มีช่องทางเดินกระแสจึงทำให้มอสเฟตไม่สามารถนำกระแสเดรน (I_D) ได้

ช่วงเชิงเส้น (Linear Region) ($V_{DS} < V_{GS} < V_T$) ช่วงเชิงเส้น เป็นช่วงที่แรงดันไบอัสที่ขาเกต และขาซอสมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS} > V_T$) และแรงดันระหว่าง V_{DS} มีค่าน้อยกว่า $V_{GS} - V_T$ โดยสามารถหากระแส I_D ได้สมการที่ 2.1

$$I_D = k \left[(V_{GS} - V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความนำ (Transconductance parameter)

I_D คือ กระแสเดรน (แอมป์)

V_{GS} คือ แรงดันเกตซอส (โวลต์)

V_T คือ แรงดันขีดเริ่ม (โวลต์)

V_{DS} คือ แรงดันเดรนซอส (โวลต์)

ช่วงอิ่มตัว (Saturation Region) ($V_{DS} \geq V_{GS} < V_T$) ช่วงอิ่มตัวเป็นช่วงที่แรงดันที่ขาเกตและขาซอสมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS} > V_T$) และแรงดัน V_{DS} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $V_{GS} - V_T$ สามารถหากระแส I_D ได้ดัง สมการที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_d = k[(V_{gs} - V_t)^2(1 + \lambda V_{ds})] \quad (2.2)$$

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความนำ (Transconductance parameter)

I_d คือ กระแสเดรน (แอมป์)

V_{gs} คือ แรงดันเกตซอส (โวลต์)

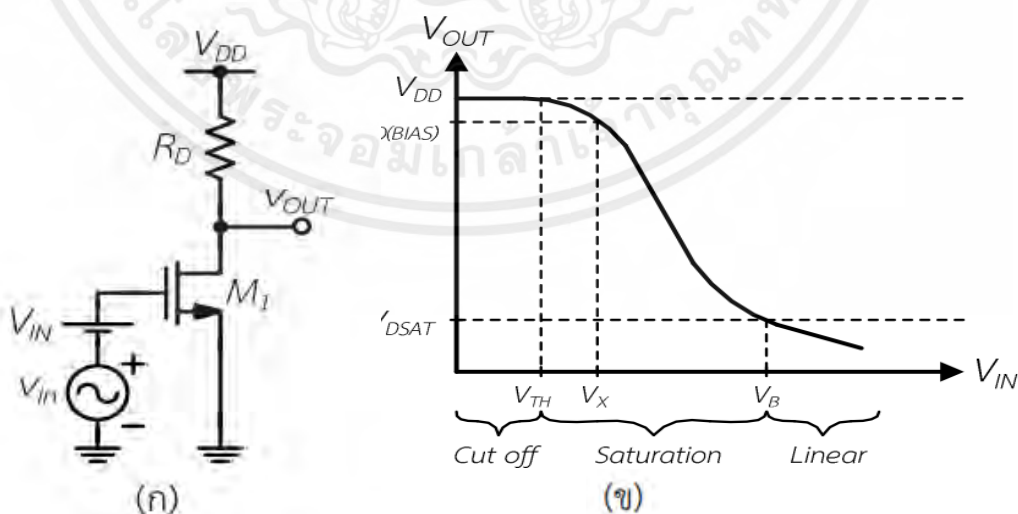
V_t คือ แรงดันขีดเริ่ม (โวลต์)

V_{ds} คือ แรงดันเดรนซอส (โวลต์)

λ คือ ความยาวแชนแนลโมดูเลชัน (Channel length modulation)

2.1.5 วงจรไบอัสมอสเฟต

การนำมอสเฟตไปใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณหรือวงจรอื่นจะต้องทำการไบอัสมอสเฟตให้ทำงานในย่านอิมิตัว รูปที่ 2.4 (ก) แสดงวงจรเทียบเคียงวงจรขยายที่ถูกไบอัสด้วยแรงดันดีซี (V_{IN}) และมีการป้อนสัญญาณขนาดเล็ก (v_{in}) รูปที่ 2.4 (ข) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซี เมื่อทำการไบอัสแรงดันดีซีเข้าที่ขาเกตของมอสเฟตมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ มอสเฟตไม่นำกระแส ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ V_{DD} เมื่อทำการปรับแรงดันเพิ่มมากขึ้นแต่น้อยกว่าแรงดันขีดเริ่ม มอสเฟตยังไม่นำกระแส ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตยังคงเท่ากับ V_{DD} ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านคัทออฟ เมื่อป้อนแรงดันที่ขาเกตมากกว่าแรงดันขีดเริ่ม มอสเฟตเริ่มนำกระแส ทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุต เมื่อแรงดันไบอัสในช่วง $V_{TH} < V_{IN} < V_D$ กระแส I_D ไหลมากขึ้น ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตลดลงเนื่องจากแรงดันส่วนมากจะไปตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_D ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านอิมิตัว และเมื่อแรงดันไบอัสในช่วง $V_D < V_{IN}$ ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตลดลงน้อยกว่าแรงดัน V_{DSAT} ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านเชิงเส้น (V_D หมายถึงแรงดันที่ขาเดรน)



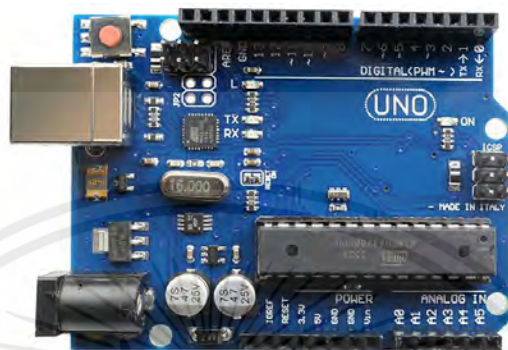
รูปที่ 2.4 (ก) วงจรเทียบเคียงการไบอัสแรงดันดีซี และ (ข) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซี

(ที่มา: <http://pws.npru.ac.th/thawatchait>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 บอร์ดอาร์ดูโน้ อูโน่ R3 (Arduino UNO R3)

บอร์ดอาร์ดูโน้ อูโน่ R3 คำว่า อูโน่ (Uno) [3] มาจากภาษาอิตาลี แปลว่าหนึ่ง เป็นบอร์ดอาร์ดูโน้ รุ่นแรกที่เกิดออกมา มีขนาดประมาณ 68.6×53.4 มิลลิเมตร. ดังรูปที่ 2.5 เป็นรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบเอสเอ็มดี (SMD) บอร์ดอาร์ดูโน้ อูโน่ R3 มีเอ็มซียู (MCU) ที่เป็นแพ็คเกจไอพี (DIP)



รูปที่ 2.5 บอร์ด Arduino UNO R3
(ที่มา:<http://www.lungmaker.com/>)

2.2.1 ส่วนประกอบ บอร์ดอาร์ดูโน้ อูโน่ R3

- 1) พอร์ต I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13
- 2) พอร์ต ICSP แอตเมกา328 (Atmega328)
- 3) เอ็มซียูแอตเมกา328 (Atmega328)
- 4) ขาไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์, +5 โวลต์, GND, Vin
- 5) ตัวแปลงไฟ 7-12 โวลต์
- 6) พอร์ต USB ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Computer)

2.3 จอแอลซีดี (LCD)

จอ LCD (Liquid crystal display หรือ LCD) [4] ดังรูปที่ 2.6 หรือเรียกว่า “จอภาพผลึกเหลว” เป็นอุปกรณ์จอภาพแบบแบน บาง สร้างขึ้นจากพิกเซลสี (Color pixel) หรือพิกเซลโมโนโครมจำนวนมาก ที่เรียงอยู่ด้านหลังของแหล่งกำเนิดแสง หรือตัวสะท้อนแสง นับเป็นจอภาพที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เพราะใช้กำลังไฟฟ้าน้อยมาก ด้วยเหตุนี้ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่มีแหล่งจ่ายไฟเป็นแบตเตอรี่ แต่ละพิกเซลของจอผลึกเหลวนั้นประกอบด้วยชั้นโมเลกุลผลึกเหลวที่แขวนลอยอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงสองขั้ว ที่ทำด้วยอินเดียมทินออกไซด์ (Indium tin oxide) และตัวกรอง หรือฟิลเตอร์ (Filter) แบบโพลาริซสองตัว แกนโพลาริซของฟิลเตอร์นั้นจะตั้งฉากกัน เมื่อไม่มีผลึกเหลวอยู่ระหว่างกลาง แสงที่ผ่านทะลุตัวกรองตัวหนึ่งก็จะถูกกั้นด้วยตัวกรองอีกตัวหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



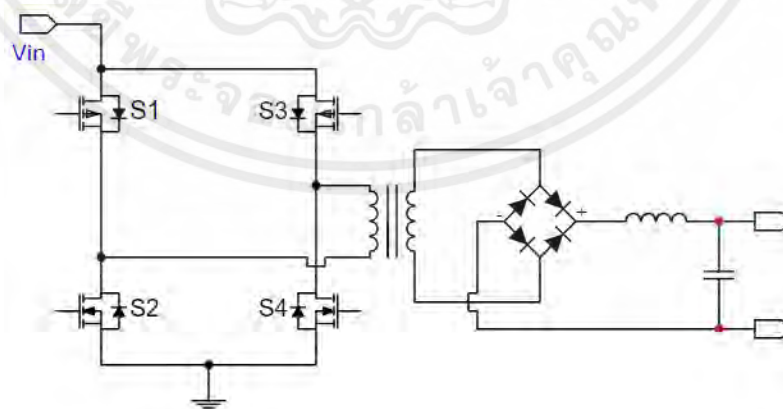
รูปที่ 2.6 จอแอลซีดีขนาด 16x2 ตัวอักษร
(ที่มา: <http://www.ett.co.th>)

2.4 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ (Fullbridge Converter)

ฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ เป็นสวิชชิงพาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) ชนิดหนึ่ง เป็นโทโพโลยีตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (กำหนดค่าได้) โดยมีส่วนประกอบสวิตชิงอยู่สี่ตัวในการสร้างลูกคลื่นข้ามหม้อแปลงไฟฟ้า ฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนสร้างคลื่นสี่เหลี่ยม ส่วนถ่ายโอนพลังงานและส่วนเรกติไฟร์ (Rectifier)

2.4.1 การทำงานของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์

จากรูปที่ 2.7 ส่วนส่วนสร้างคลื่นสี่เหลี่ยมประกอบด้วยสวิชชิง s1 s2 s3 และ s4 โดยทำงานเป็นคู่ s1 s2 สลับกับคู่ s4 s3 ทำให้เกิดคลื่นสี่เหลี่ยมแบบสลับขั้วไปมา หม้อแปลงไฟฟ้าจะเพิ่มแอมพลิจูดของคลื่นสี่เหลี่ยม ส่วนเรกติไฟร์ที่อยู่อีกด้านจะเปลี่ยนคลื่นสี่เหลี่ยมสลับขั้วให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันที่ได้จากรกติไฟร์แบบเต็มคลื่น จะยังมีระลอกคลื่นปนอยู่ จึงนำไปผ่านวงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ [5]



รูปที่ 2.7 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์
(ที่มา: Offline project EasyEDA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การคำนวณของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์

แรงดันเอาต์พุตสูงสุดของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ถูกจำกัดโดยอัตราส่วนของจำนวนรอบของหม้อแปลง และการเปลี่ยนแปลงค่าดิวตี้ไซเคิลของการสวิตช์ ดังสมการที่ 2.3

$$V_{out} = 2 \times D \frac{N_s}{N_p} V_{in} \quad (2.3)$$

เมื่อ V_{out} คือ แรงดันขาออก

V_{in} คือ แรงดันขาเข้า

D คือ ค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle)

N_s คือ จำนวนรอบของขดลวดฝั่งปฐมภูมิ

N_p คือ จำนวนรอบของขดลวดฝั่งทุติยภูมิ

2.4.3 คุณสมบัติของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์

- 1) เหมาะสำหรับภาระไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ ถึง 300 วัตต์
- 2) มีค่าการกระเพื่อมที่เอาพุตต่ำกว่าแบบฟลายแบค (Fly Back)
- 3) สามารถปรับให้ได้ค่าเอาพุตได้หลายขนาดโดยการเพิ่มขดลวดฝั่งเอาพุต

2.5 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

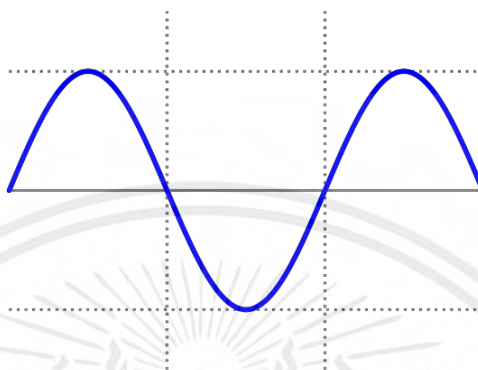
เครื่องแปลงไฟ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) [6] หรืออินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือวงจรไฟฟ้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับขึ้นอยู่กับอุปกรณ์เฉพาะที่ใช้งาน อินเวอร์เตอร์ทำสิ่งที่ตรงกันข้ามกับวงจรเรียงกระแสซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

2.5.1 แรงดันไฟฟ้าขาเข้าอินเวอร์เตอร์

อุปกรณ์หรือวงจรอินเวอร์เตอร์แปลงไฟโดยทั่วไปต้องการแหล่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความเสถียรซึ่งสามารถจ่ายกระแสไฟได้เพียงพอสำหรับความต้องการกำลังไฟที่ต้องการของระบบ แรงดันไฟฟ้าขาเข้าขึ้นอยู่กับการออกแบบและวัตถุประสงค์ของอินเวอร์เตอร์ ตัวอย่างได้แก่ 12 โวลต์ สำหรับผู้บริโภคนขนาดเล็กและอินเวอร์เตอร์เชิงพาณิชย์ ที่โดยทั่วไปจะทำงานจากแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 12 โวลต์ แบบชาร์จซ้ำได้หรือเต้ารับไฟฟ้าในรถยนต์ 24, 36 และ 48 โวลต์ ซึ่งเป็นมาตรฐานทั่วไปสำหรับระบบพลังงานภายในบ้าน 200 ถึง 400 โวลต์ เมื่อใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ 300 ถึง 450 โวลต์ เมื่อใช้พลังงานจากชุดแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าในระบบรถยนต์สู่กริด (Grid) นับแสนโวลต์ในอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในส่วนหนึ่งของระบบส่งไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง

2.5.2 รูปคลื่นเอาต์พุตแบบซายน์เวฟ

อินเวอร์เตอร์แบบคลื่นซายน์ (Sine) เป็นอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ไฟฟ้าที่สร้างรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับแบบซายน์ดังรูปที่ 2.8 ที่มีเอาต์พุตผิดเพี้ยนน้อยกว่าการออกแบบอินเวอร์เตอร์แบบโมดิฟายซายน์เวฟ (Modify sine wave) ซึ่งมีรูปคลื่นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 ไซน์เวฟ

(ที่มา: <https://commons.wikimedia.org>)

ในกรณีที่อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์จ่ายไฟฟ้าทำงานกับกริดมาตรฐาน เอาต์พุตคลื่นไซน์ดังรูปที่ 2.8 เป็นสิ่งที่พึงปรารถนา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าจำนวนมากได้รับการออกแบบทางวิศวกรรมให้ทำงานได้ดีที่สุดกับแหล่งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับคลื่นไซน์



รูปที่ 2.9 โมดิฟายไซน์เวฟ

(ที่มา: <https://blog.triplite.com>)

2.5.3 อินเวอร์เตอร์แบบอนกริต

อินเวอร์เตอร์แบบอนกริต ตัวอย่างดังรูปที่ 2.10 เป็นอินเวอร์เตอร์ที่สามารถต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า และใช้งานร่วมกันได้ โดยมีตัวประมวลผลเชิงการเคลื่อนสัญญาณไซน์ (Phase shift sine wave) ให้มีลูกคลื่นไซน์ และไซเคิล (Cycle) ตรงกันกับของระบบการไฟฟ้าสามารถใช้งานร่วมกันระหว่างไฟฟ้าที่เราผลิตเองกับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าได้เลยโดยตรง ไม่จำเป็นต้องแยกโหลดไฟฟ้ามาใช้ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 อินเวอร์เตอร์แบบออนกริด

(ที่มา:<https://www.thaisolarsystem.com/product/271>)

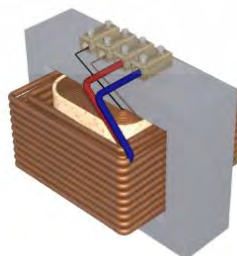
2.6 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลง หรือ หม้อแปลงไฟฟ้า [7] (Transformer) เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ที่ใช้ในการส่งผ่านพลังงานจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกวงจรโดยอาศัยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในลูปวงจร โดยปกติจะใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าแรงสูง และไฟฟ้าแรงดันต่ำ [8]

2.6.1 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้งานของระบบไฟฟ้ากำลังได้ 2 แบบ ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟสตามรูปที่ 2.11 และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟสแต่ละชนิดมีโครงสร้างสำคัญประกอบด้วย

- 1) ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary winding) ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- 2) ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) ทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- 3) ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) ทำหน้าที่เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด
- 4) แผ่นป้าย (Name plate) ทำหน้าที่บอกรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง
- 5) อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับขดลวด เช่น อากาศพัดลม, น้ำมัน หรือใช้ทั้งพัดลมและน้ำมันช่วยระบายความร้อน เป็นต้น
- 6) โครง (Frame) หรือตัวถังของหม้อแปลง (Tank) ทำหน้าที่บรรจุขดลวด แกนเหล็ก



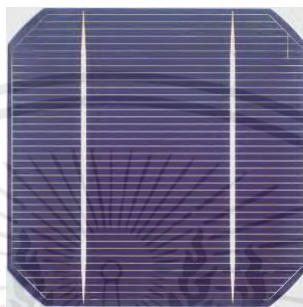
รูปที่ 2.11 โครงสร้างหลักของแม่เหล็กไฟฟ้า

(ที่มา:<https://www.homemade-circuits.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

โซลาร์เซลล์ หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [9] หรือ เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic cell) คือ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงหรือโฟตอน (Photon) เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก นั่นก็คือ คุณสมบัติของสารที่ ค่าความต้านทาน แรงดัน และกระแส จะเปลี่ยนไปเมื่อมีแสงตกกระทบโดยไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก และเมื่อต่อหลอดไฟ จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านหลอดนั้นได้ โซลาร์เซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว
(ที่มา: <https://www.pveducation.org>)

2.8 เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712

เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712 [10] แสดงในรูปที่ 2.13 ใช้วัดกระแสไฟฟ้าได้ทั้งไฟฟ้ กระแสตรงและกระแสสลับ สัญญาณรบกวนต่ำ เวลาตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าขาเข้า 5 ไมโครเซ็ค แบนด์วิธ 80 กิโลเฮิรตซ์ ความคลาดเคลื่อน 1.5 % ความต้านทานภายในตัวนำ 1.2 มิลลิโอมห์ ใช้ไฟเลี้ยงขนาด 5 โวลต์ ความไวตอบสนองเอาต์พุต 66 ถึง 185 มิลลิโวลต์ต่อแอมป์



รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712
(ที่มา: <https://circuit.rocks/current-sensor>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ [13] เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ มีหลักการทำงานคล้ายกับ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า หรือโซลินอยด์ (Solenoid) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทค (Contact) ให้เปลี่ยนสถานะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงานช่างอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) ตัวอย่างรีเลย์แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 รีเลย์ขนาด 30 แอมป์
(ที่มา: <https://mualinhkien.vn/relay>)

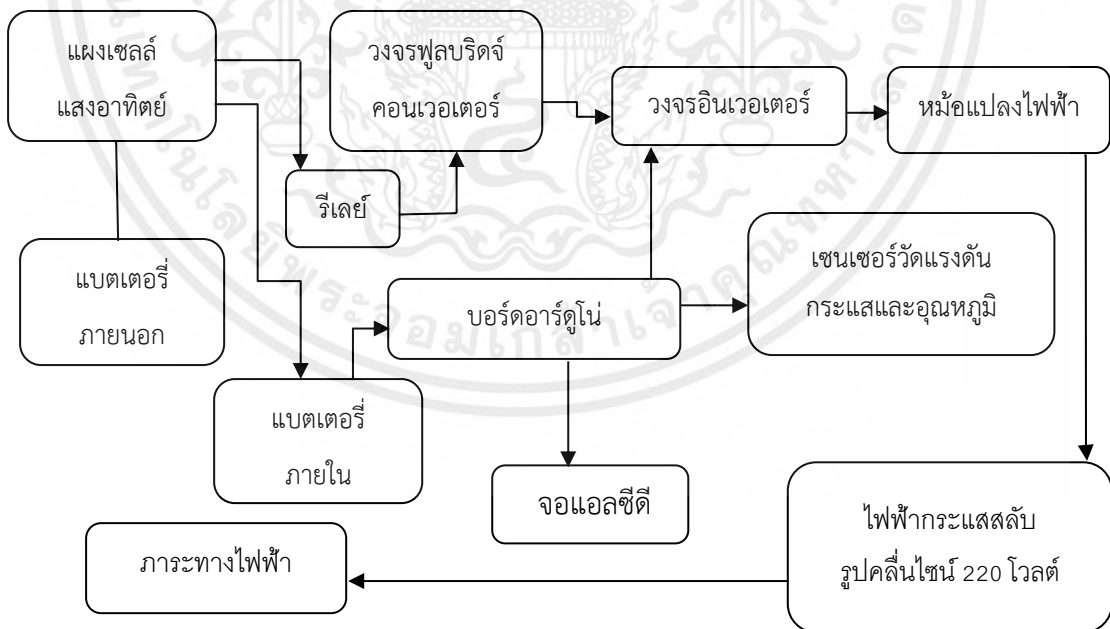
บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้ มีการออกแบบวงจรและการออกแบบโปรแกรม

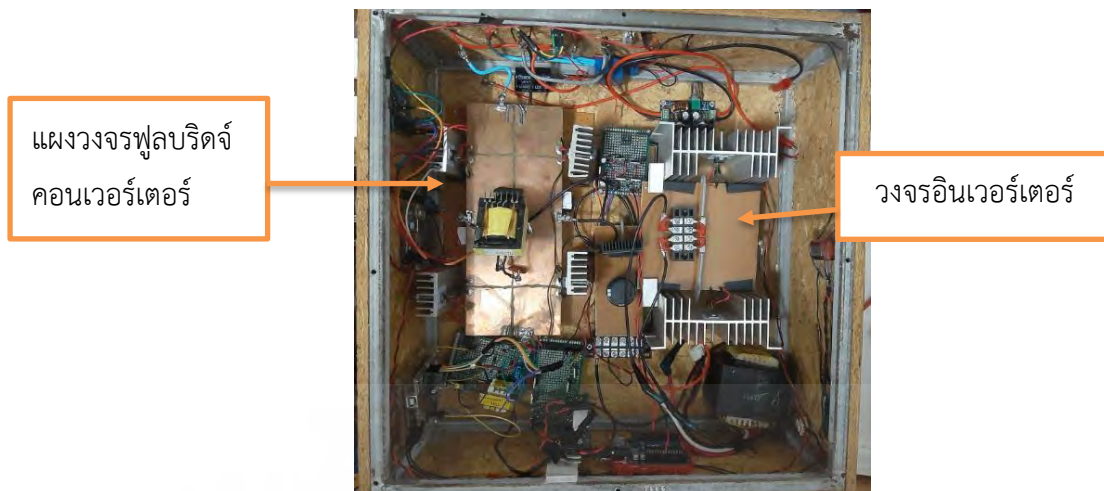
3.1 การออกแบบวงจร

การออกแบบการทำงานโดยรวมของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเริ่มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้แก่แบตเตอรี่และแผงโซลาร์เซลล์ (Solar cell) จ่ายไฟฟ้าเข้าสู่อุปกรณ์ผ่านรีเลย์ (Relay) ของระบบเลือกรับอินพุตไปยังวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) แล้วผ่านไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะได้ลูกคลื่นไฟฟ้าแบบสลับชั่วคราวความถี่สูง จากนั้นเพิ่มทำการเพอมนแรงดันด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแล้วผ่านคาปาซิเตอร์ (Capacitor) เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับลูกคลื่นไซน์ (Sine wave) เช่นเซอร์วิตแรงดัน กระแสและอุณหภูมิจะส่งค่าไปที่บอร์ดอาร์ดูโน้เพื่อคำนวณแล้วแสดงผลทางจอแอลซีดี บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบโดยรวมทั้งหมดของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และ รูปของกล่องอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบโดยรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



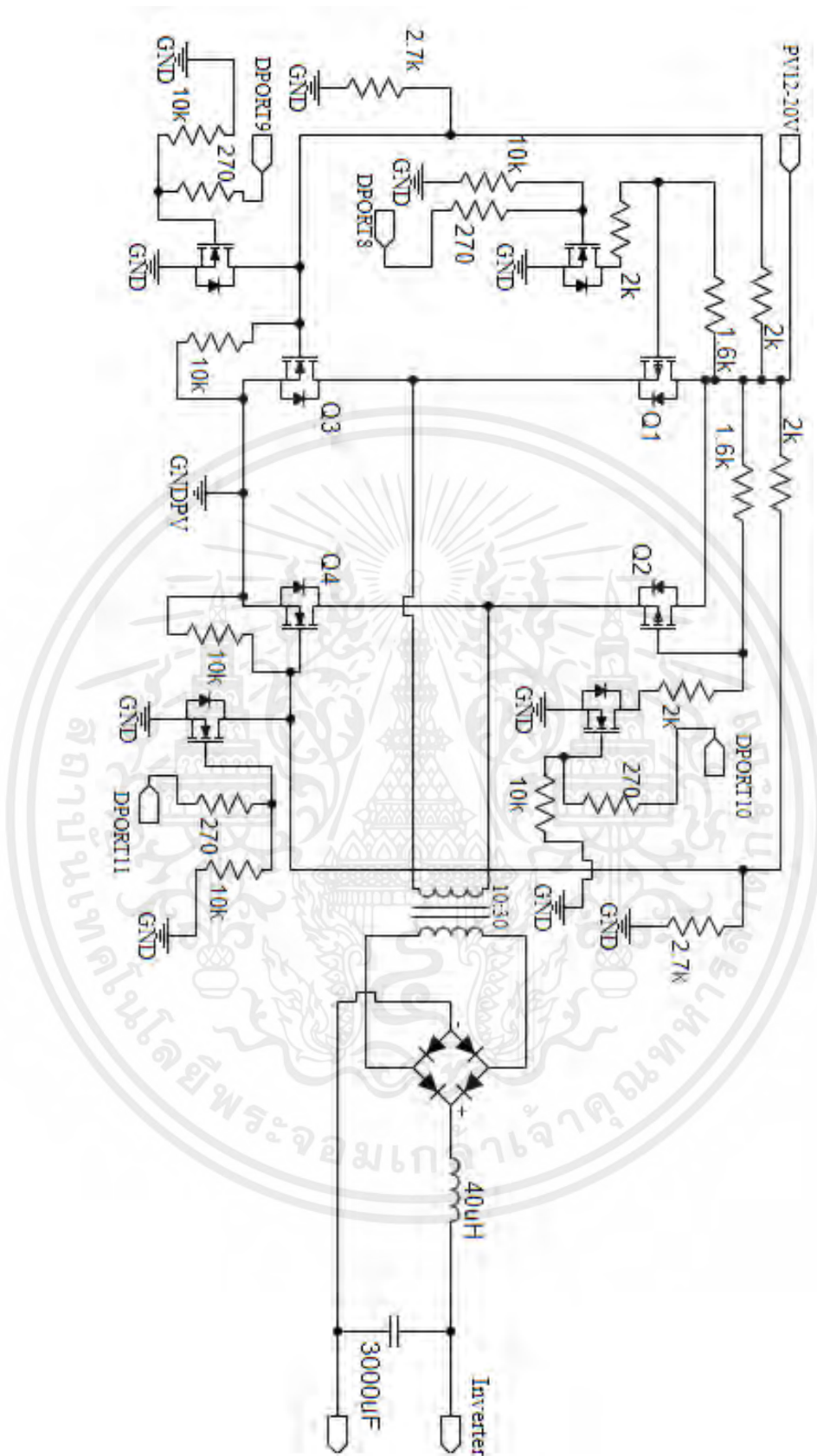
รูปที่ 3.2 รูปของกล่องอุปกรณ์

3.1.1 วงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full Bridge converter) ประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญคือ มอสเฟต ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ ไดโอดความถี่สูง ไซบอร์ดอาร์ดูโน้ (Arduino) ในการส่งสัญญาณควบคุมมอสเฟต (MOSFET) วงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในโครงงานนี้แสดงดังรูปที่ 3.3 ออกแบบให้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ตั้งแต่ 12 โวลต์ ถึง 36 โวลต์ และเมื่อนำไปทำงานจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะรับค่าฟีดแบค (Feedback) จากเอาพุทตัวไอซีคอมพารเรเตอร์ (Comparator) ที่ด้านเอาพุท แรงดันขาออกของวงจรพูลบริดจ์คำนวณตามสมการที่ 2.3

การทำงานของวงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะเริ่มในส่วนการสร้างคลื่นสี่เหลี่ยมประกอบด้วยสวิชชิง (Switching) Q1 Q2 Q3 และ Q4 ควบคุมการทำงานโดยใช้สัญญาณพัลส์ส่งจากอาร์ดูโน้ โดยกำหนดให้ทำงานเป็นคู่ Q1 Q3 สลับกับคู่ Q4 Q2 ทำให้เกิดคลื่นสี่เหลี่ยมแบบสลับขั้วไปมา หม้อแปลงไฟฟ้าจะเพิ่มแอมพลิจูด (Amplitude) ของคลื่นสี่เหลี่ยม ส่วนเรกติไฟร์ (Rectifier) และตัวเก็บประจุ ที่อยู่อีกด้านจะเปลี่ยนคลื่นสี่เหลี่ยมสลับขั้วให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและจ่ายไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อไป ค่าคาบการทำงานของคลื่นสี่เหลี่ยมจะเปลี่ยนไปตามค่าฟีดแบค ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลจากวงจรถูกคอมพารเรเตอร์ที่เอาพุทของอินเวอร์เตอร์ หากบอร์ดอาร์ดูโน้ได้รับค่าฟีดแบคลอจิก 0 จะตอบสนองโดยการเพิ่มค่าคาบการทำงานการทำงานของคลื่นสี่เหลี่ยม (ความถี่ของสัญญาณเท่าเดิม) ในกรณีเดียวกันหากบอร์ดอาร์ดูโน้ได้รับค่าฟีดแบคลอจิก 1 จะตอบสนองโดยการลดค่าคาบการทำงานการทำงานของคลื่นสี่เหลี่ยม เงื่อนไขการทำงานดังกล่าวจะทำให้วงจรพูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ (แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์แล้วได้เอาพุทแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกินและไม่ต่ำกว่า 220 โวลต์ แม้ขนาดภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่จะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

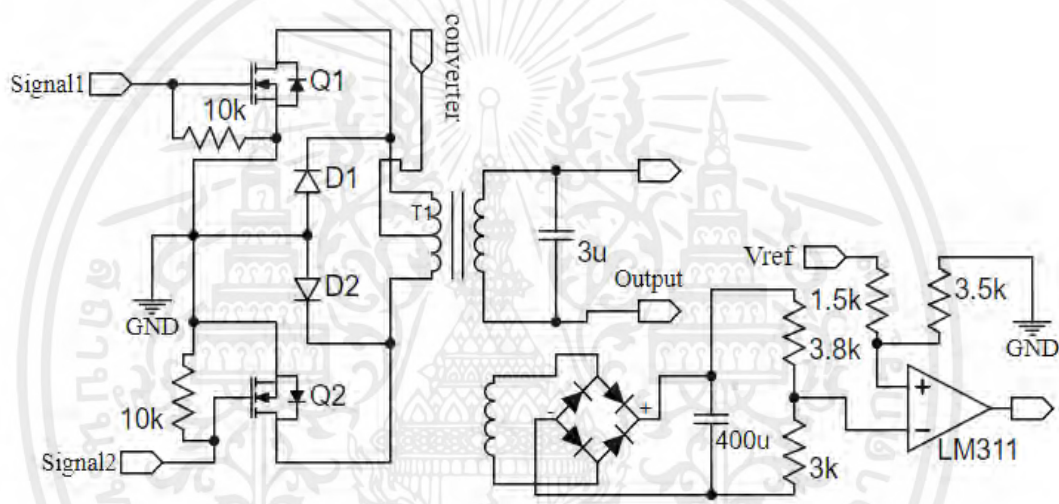


รูปที่ 3.3 วงจรพูลบริดจ์คอนเวอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรอินเวอร์เตอร์

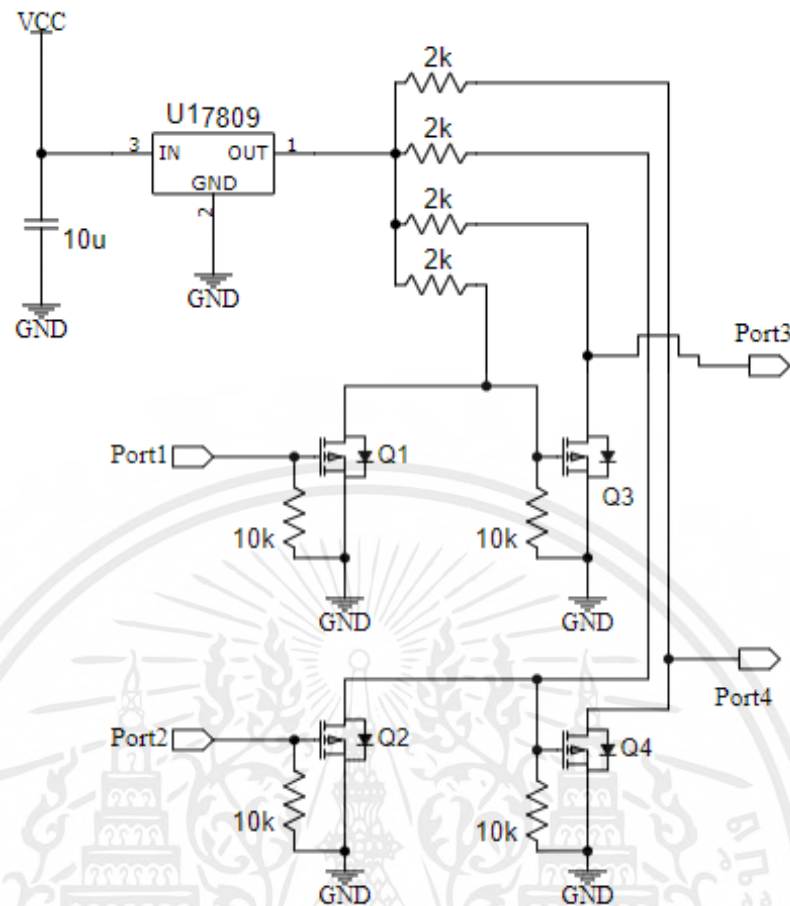
วงจรอินเวอร์เตอร์ ออกแบบมาให้ใช้สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท่งกลาง มีส่วนประกอบหลักคือ มอสเฟต 2 ตัวที่ควบคุมโดยอาร์ดูโน้ แรงดันไฟฟ้าขั้วบวกซึ่งรับมาจากวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ต่อเข้ากับแท่งกลาง อีก 2 สายฝั่งปฐมภูมิต่อเข้ากับขาเดรนของมอสเฟตกำลัง ขาซอสของมอสเฟตทั้งสองต่อลงกราวด์ ที่ขาเกตต่อกับเอาพุทของภาคขยายสัญญาณ ตัวเก็บประจุที่เอาพุททำหน้าที่กรองความถี่สูงออก ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งที่ด้านเอาพุทของวงจรอินเวอร์เตอร์จะมีการต่อวงจรพีดีแบค เอาไว้สำหรับทำงานตอบสนองกับวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ส่วนพีดีแบคมีส่วนประกอบหลักคือไอซีคอมพาราเรเตอร์ (Comparator) ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันของไฟฟ้ากระแสสลับกับแรงดันอ้างอิงที่สร้างจากไฟเลี้ยง 5 โวลต์ จากอาร์ดูโน้



รูปที่ 3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท่งกลาง

3.1.3 วงจรภาคขยายสัญญาณ

ใช้ขยายแอมพลิจูดของสัญญาณจากอาร์ดูโน้เพื่อส่งไปควบคุมการปิดเปิดมอสเฟต ที่วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรภาคขยายสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.5 ใช้ไฟเลี้ยงจากวงจรคอนเวอร์เตอร์ ผ่านไอซี 7809 เพื่อให้สัญญาณเปิดปิดมอสเฟตมีค่า 9 โวลต์ คงที่ แต่ละสัญญาณจะผ่านมอสเฟตขยายสัญญาณ 2 ตัว เพื่อกลับขั้วให้มอสเฟตในวงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานตามค่าลอจิก 1 จากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ซึ่งทำให้ง่ายต่อการออกแบบโปรแกรมคำสั่ง



รูปที่ 3.5 วงจรภาคขยายสัญญาณ

จากรูปที่ 3.5 สัญญาณจากอาร์ดูโน้จะมาจากพอร์ท 9 และ 10 ส่งการไปที่มอสเฟส Q2 และ Q1 หาก Q1 ทำงาน จะไม่มีสัญญาณไปที่ขาเกตของ Q3 ทำให้สัญญาณ 9 โวลต์ ออกทาง ช่อง 3 ดังรูป 3.5 กรณีแบบเดียวกับตอนที่ Q2 ทำงาน ทำงานจะไม่มีสัญญาณไปที่ขาเกตของ Q3 ทำให้สัญญาณ 9 โวลต์ ออกทาง ช่อง 4 และจะมีช่วงที่ทั้งพอร์ท 9 และ 10 หยุดจ่ายสัญญาณ เป็นการดีเลย์ (Delay) เพื่อให้วงจรอินเวอร์สร้างคลื่นไซน์ที่มีค่าตัวตั้งไซเคิล 10 มิลลิเซ็คพอติ

3.1.4 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้

ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัวต่อกันตามหลักการแบ่งแรงดันดังรูปที่ 3.6 ด้าน 5 กิโลโอห์ม จะต่อกับกราวด์ และด้าน 45 กิโลโอห์ม จะต่อกับไฟบวกของแหล่งจ่ายที่ต้องการวัดแรงดันไฟฟ้า แล้วต่อสายระหว่างตัวต้านทานทั้งสองเข้าที่ อนุาล็อกพินของอาร์ดูโน้ วงจรตัวต้านทานแบ่งแรงดันดังรูปที่ 3.6 สามารถใช้วัดแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 50 โวลต์ แรงดันที่เข้าอนุาล็อกพินคือแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R2 สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.1

$$Vr2 = \frac{R2}{R1+R2} Vcc \quad (3.1)$$

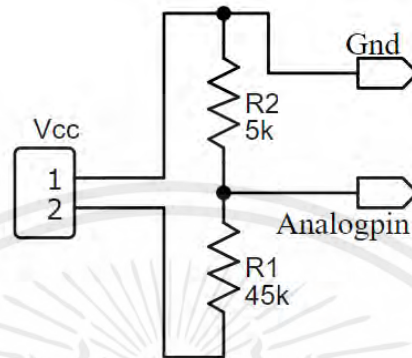
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $Vr2$ คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน $R2$ (โวลต์)

$R2$ คือ ค่าความต้านทาน $R2$ (โอห์ม)

$R1$ คือ ค่าความต้านทาน $R1$ (โอห์ม)

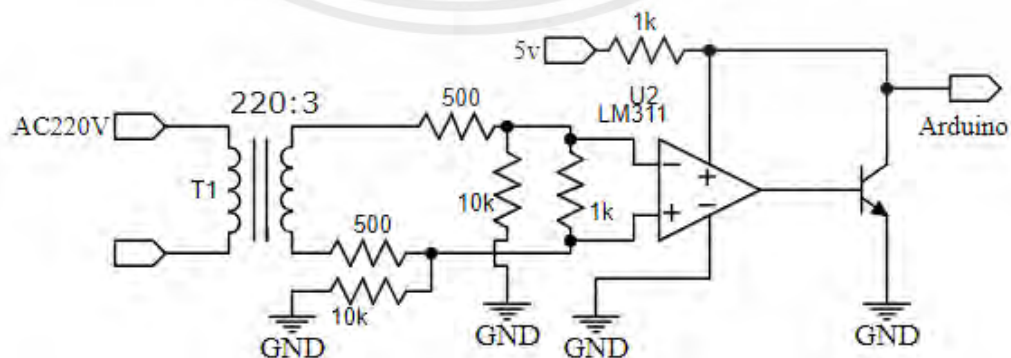
Vcc คือ ค่าแรงดันที่ทำการวัด (โวลต์)



รูปที่ 3.6 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้

3.1.5 วงจรซิงโครไนส์เฟส

วงจรซิงโครไนส์เฟสเพื่อใช้งานในระบบเชื่อมต่อกิตในรูป 3.7 เป็นตัวทำหน้าที่ซิงโครไนส์เฟส (Phase Synchronising) มีส่วนประกอบหลักคือไอซีคอมพาราเตอร์ ทำงานโดยต่อไฟฟ้าจากกริดเข้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าที่ด้านปฐมภูมิและที่ด้านทุติยภูมิต่อเข้ากับไอซี lm311p ผ่านตัวต้านทานที่เป็นโวลตรหว่างขาบวกและลบ ลูกคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับที่เข้ามาจะทำให้ไอซีส่งสัญญาณพัลส์ที่มีเฟสและความถี่ตรงกับไฟฟ้าจากกริดไปที่อาร์ดูโน้ ทำให้อาร์ดูโน้ควบคุมมอสเฟสให้ทำงานปล่อยคลื่นไซน์ที่มีเฟสและความถี่ตรงกับกริดออกไป เฟสของคลื่นไซน์จากเอาพุทของวงจรอินเวอร์เตอร์จะตามหลังเฟสของคลื่นพัลส์จากคอมพาราเตอร์อยู่ จึงต้องตั้งดีเลย์ประมาณ 3 มิลลิเซ็คเพื่อให้เฟสของไฟฟ้าจากกริดตรงกับเฟสจากเอาพุทของวงจรอินเวอร์เตอร์

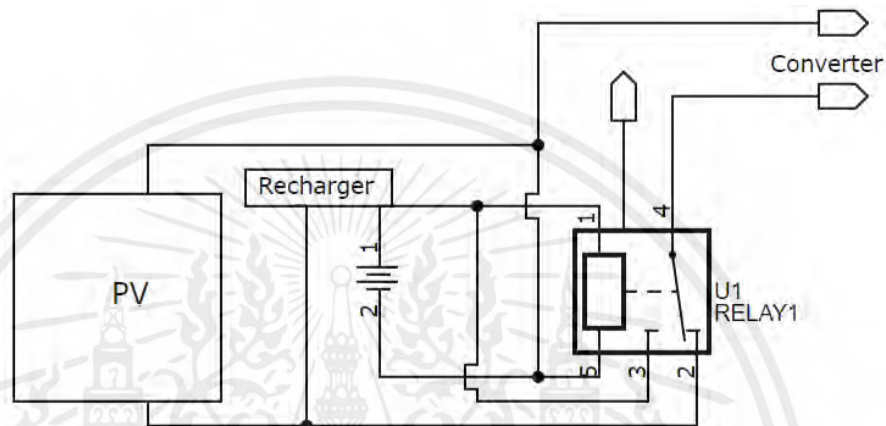


รูปที่ 3.7 วงจรวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 ระบบเลือกรับอินพุท

การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายเข้าอุปกรณ์อาจจะมีทั้งแผงโซลาร์เซลล์ (Solar cell) และแบตเตอรี่ในเวลาเดียวกัน ระบบเลือกรับอินพุทดังรูปที่ 3.8 จะปล่อยแหล่งจ่ายจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าที่อุปกรณ์เมื่อแรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์มีค่าเกิน 12.3 โวลต์ หากมีค่าต่ำกว่านั้นระบบจะสลับไปใช้ไฟจากแบตเตอรี่ และจะสลับไปใช้แหล่งจ่ายจากแผงโซลาร์เซลล์อีกครั้งเมื่อโซลาร์เซลล์มีแรงดันสูงกว่า 15 โวลต์



รูปที่ 3.8 ระบบเลือกรับอินพุท

จากรูปที่ 3.8 ระบบเลือกรับอินพุท ส่วนประกอบหลักคือออปโตคอปเพิลอร์รีเลย์ (OptoCoupler) ต่อไฟบวกของแผงโซลาร์เซลล์ที่ช่อง NC ไฟบวกของแบตเตอรี่เข้าที่ช่อง NO และต่อช่อง COM เข้าที่อินพุทของอุปกรณ์ ตัวต้านทานแบ่งแรงดันแบบเดียวกับในรูปที่ 3.6 ที่ต่อคร่อมแผงโซลาร์เซลล์จะส่งสัญญาณไปยังอาร์ดูโน้เมื่อแรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์มีค่าต่ำกว่าที่กำหนด ทำให้รีเลย์ทำงาน ช่อง NC จะเปิดวงจรและ NO ปิดวงจรทำให้อุปกรณ์รับอินพุทจากแบตเตอรี่แทน เมื่อแรงดันที่แรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์กลับมาสูงกว่า 15 โวลต์ อาร์ดูโน้จะหยุดส่งสัญญาณทำให้รีเลย์จะหยุดทำงานและอุปกรณ์รับอินพุทจากแผงโซลาร์เซลล์เช่นเดิม

3.2 การออกแบบโปรแกรม

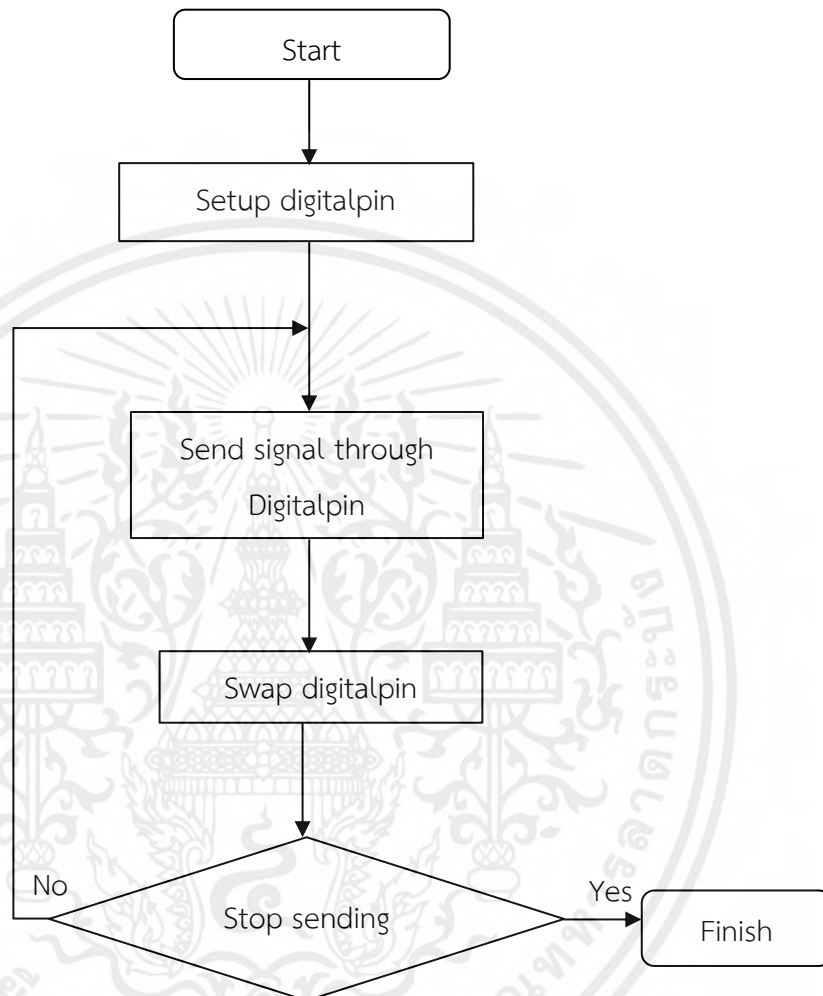
โปรแกรมคำสั่งที่อัปโหลดลงในบอร์ดอาร์ดูโน้ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้ มีดังนี้

3.2.1 ชุดคำสั่งสร้างสัญญาณให้วงจรอินเวอร์เตอร์

เป็นชุดคำสั่งสร้างสัญญาณเพื่อควบคุมมอสเฟตทั้ง 2 ตัว ในวงจรอินเวอร์เตอร์จากรูปที่ 3.4 ซึ่งจะต้องผ่านมอสเฟตทั้ง 4 ตัวในวงจรภาคขยายสัญญาณจากรูปที่ 3.5 ก่อน สัญญาณที่ออกจากภาคขยายสัญญาณจะไม่กลับขั้วกับสัญญาณจากอาร์ดูโน้ มีหลักการทำงานตามโพลวชาร์ตรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 เริ่มต้นจากกำหนดพินดิจิตอลที่ใช้ปล่อยสัญญาณได้แก่พิน 9 และ 10 จากนั้นส่งสัญญาณพัลส์ออกทางพิน 9 เมื่อส่งสัญญาณพัลส์ครบรอบการทำงาน จะสลับไปส่งสัญญาณเดิมออกจากพิน 10 สลับกันไปมาแบบนี้เรื่อยๆ



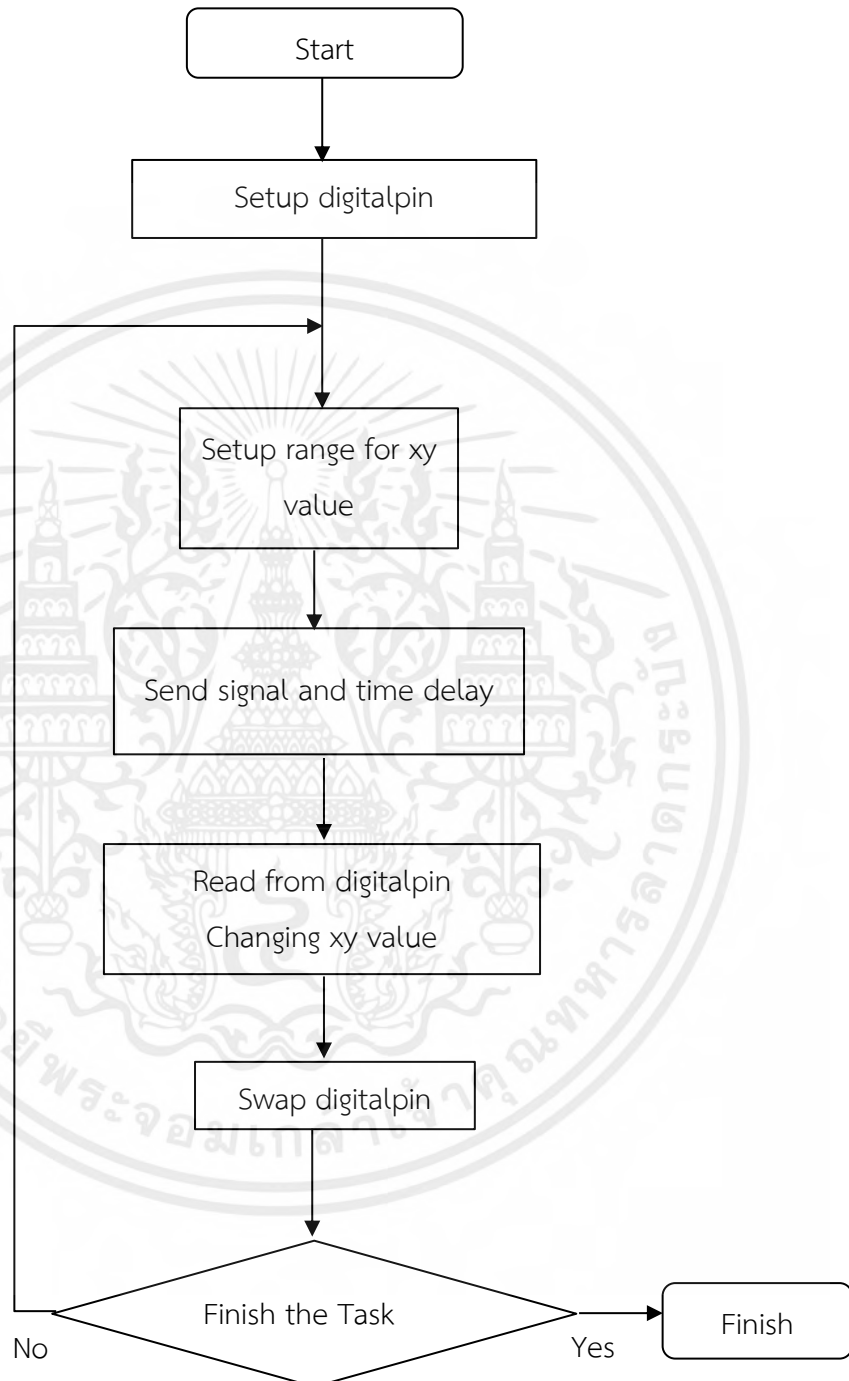
รูปที่ 3.9 โฟลวชาร์ตชุดคำสั่งสร้างสัญญาณให้วงจรถ่ายวีดิโอ

3.2.2 ชุดคำสั่งสร้างสัญญาณให้วงจรถ่ายวีดิโอ

เป็นชุดโปรแกรมคำสั่งสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว ที่อยู่ในวงจรถ่ายวีดิโอจากรูปที่ 3.3 มีพินสำหรับรับสัญญาณดิจิตอลจากไอซีคอมพิวเตอร์ที่ด้านเอาพุทของอุปกรณ์ซึ่งทำงานเป็นพีดีบีให้กับวงจรถ่ายวีดิโอเพื่อ ชุดคำสั่งสร้างสัญญาณดังกล่าวมีหลักการทำงานตามโฟลวชาร์ตรูปที่ 3.10 การทำงานจะเริ่มจากกำหนดพินดิจิตอลทั้ง 4 พิน จากนั้นส่งสัญญาณพัลส์ที่พิน 8 และ 10 ก่อน เมื่อสิ้นสุดคาบการทำงาน สลับไปส่งสัญญาณพัลส์เดิมที่พิน 9 และ 11 มีตัวแปร xy เป็นตัวกำหนดเวลาของคาบการทำงาน ซึ่งจะเพิ่มขึ้นและลดลงตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณดิจิทัลจากไอซีคอมพารเตเตอร์ หากเป็นลอจิก 1 จะลดค่าลง หากเป็นลอจิก 0 จะเพิ่มค่าขึ้น และค่าของตัวแปร xy จะถูกกำหนดให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 45

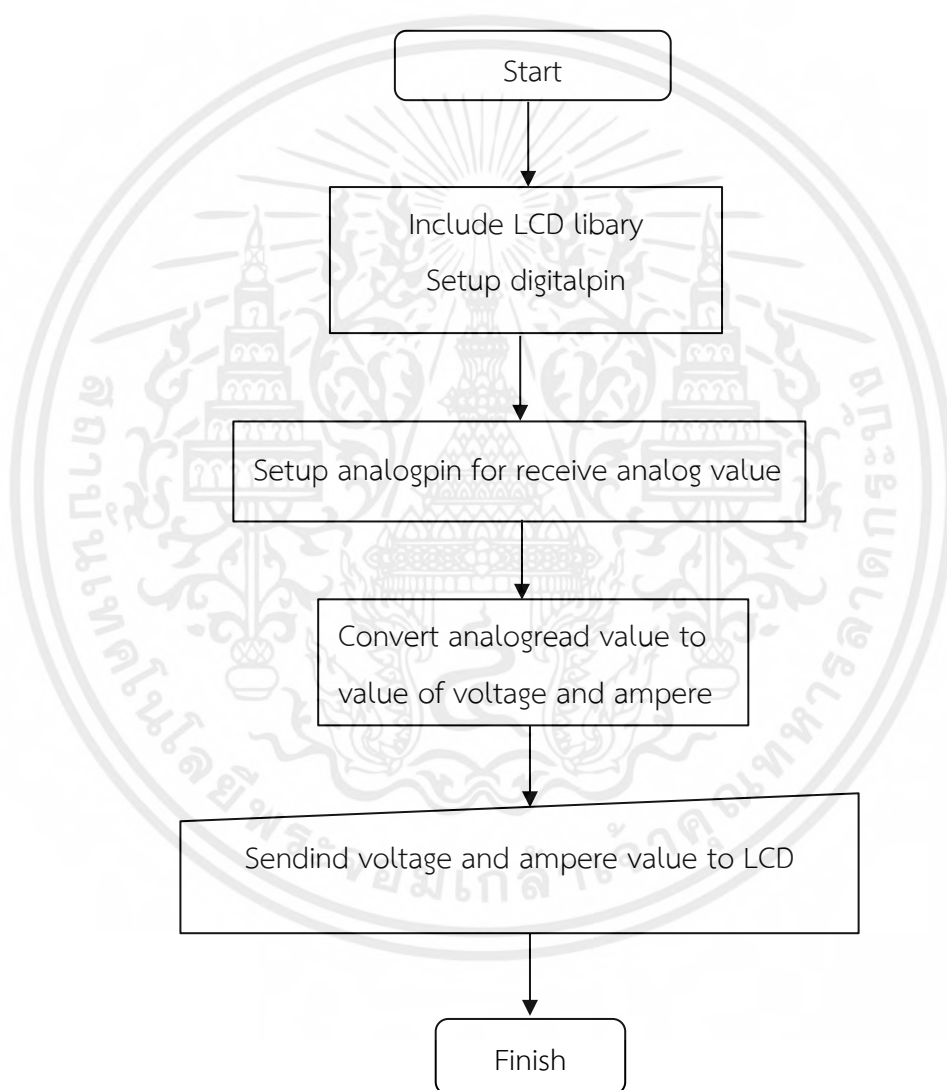


รูปที่ 3.10 โฟลวชาร์ตชุดคำสั่งสร้างสัญญาณให้วงจรฟลูบรีตจ็ควอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ชุดคำสั่งสำหรับที่วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน

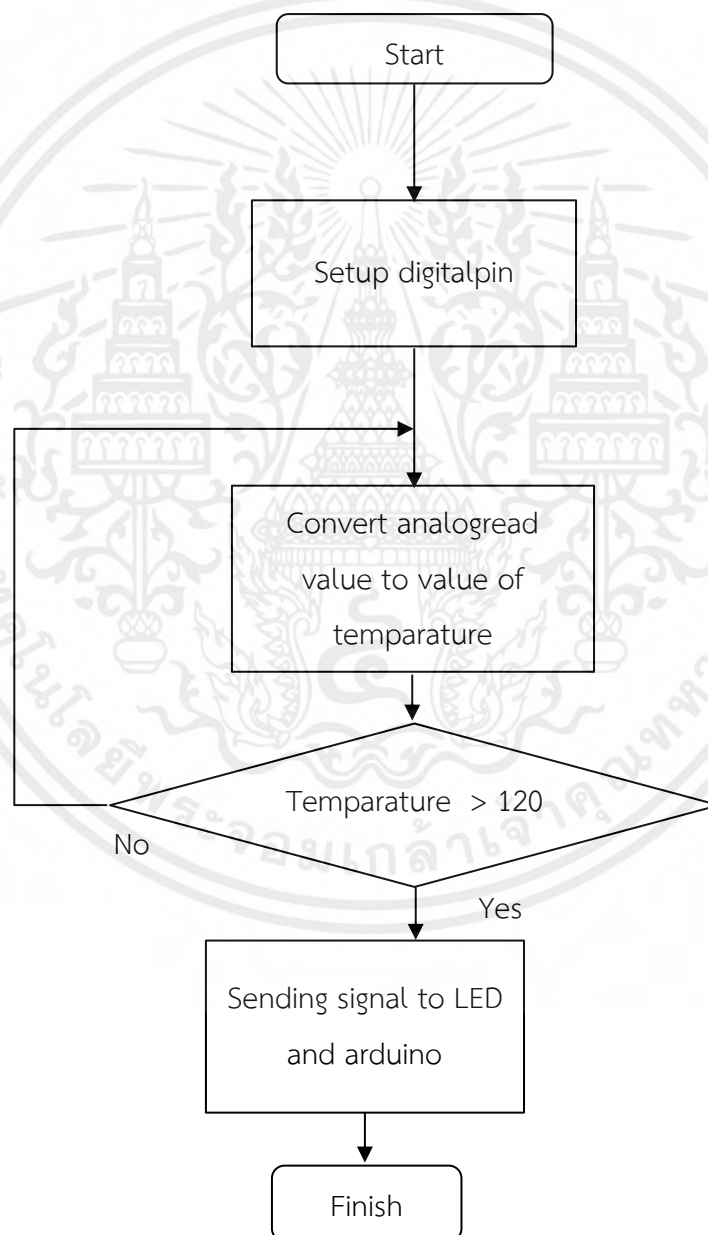
เป็นคำสั่งรับค่าจากอนาล็อกพิน แล้วแปลงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า แล้วแสดงผลออกทางจอแอลซีดี ขนาด 16x2 หากเป็นการวัดกระแสไฟฟ้าจะใช้โมดูล ACS12 ชุดคำสั่งสำหรับที่วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน มีหลักการทำงานตามโฟลวชาร์ตรูปที่ 3.11 โดยนำเข้าไลบรารีของจอแอลซีดี กำหนดการรับค่าสัญญาณอนาล็อกทางพินอนาล็อก นำค่าที่ได้มาคำนวณใหม่ให้ได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่แม่นยำ จากนั้นนำค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแสดงผลทางจอแอลซีดี



รูปที่ 3.11 โฟลวชาร์ตชุดคำสั่งสำหรับที่วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

3.2.4 ชุดคำสั่งเซ็นเซอร์วัดและแจ้งเตือนอุณหภูมิ

เซ็นเซอร์ LM35 จะถูกติดตั้งไว้ที่ตัวถังของมอเตอร์ เมื่ออุณหภูมิของมอเตอร์เกิน 120 องศาเซลเซียส หลอดไฟแอลอีดี (LED) จะติดเพื่อแจ้งเตือน และหยุดการทำงานของวงจร อินเวอร์เตอร์ โพลซาร์ตของชุดคำสั่งเซ็นเซอร์วัดและแจ้งเตือนอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 3.12 เมื่อบอร์ด อาร์ดูโน้รับค่าจากเอาพุทของเซ็นเซอร์จะนำมาทำการคำนวณให้ได้ค่าอุณหภูมิจริงๆในหน่วยองศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเช็คเงื่อนไขว่าค่าที่ได้เกิน 120 องศาเซลเซียส หรือไม่ หากเกินจะส่งสัญญาณ ฟินดิ้งติดต่อไปยัง อาร์ดูโน่ของวงจรอินเวอร์เตอร์และไฟแอลอีดี

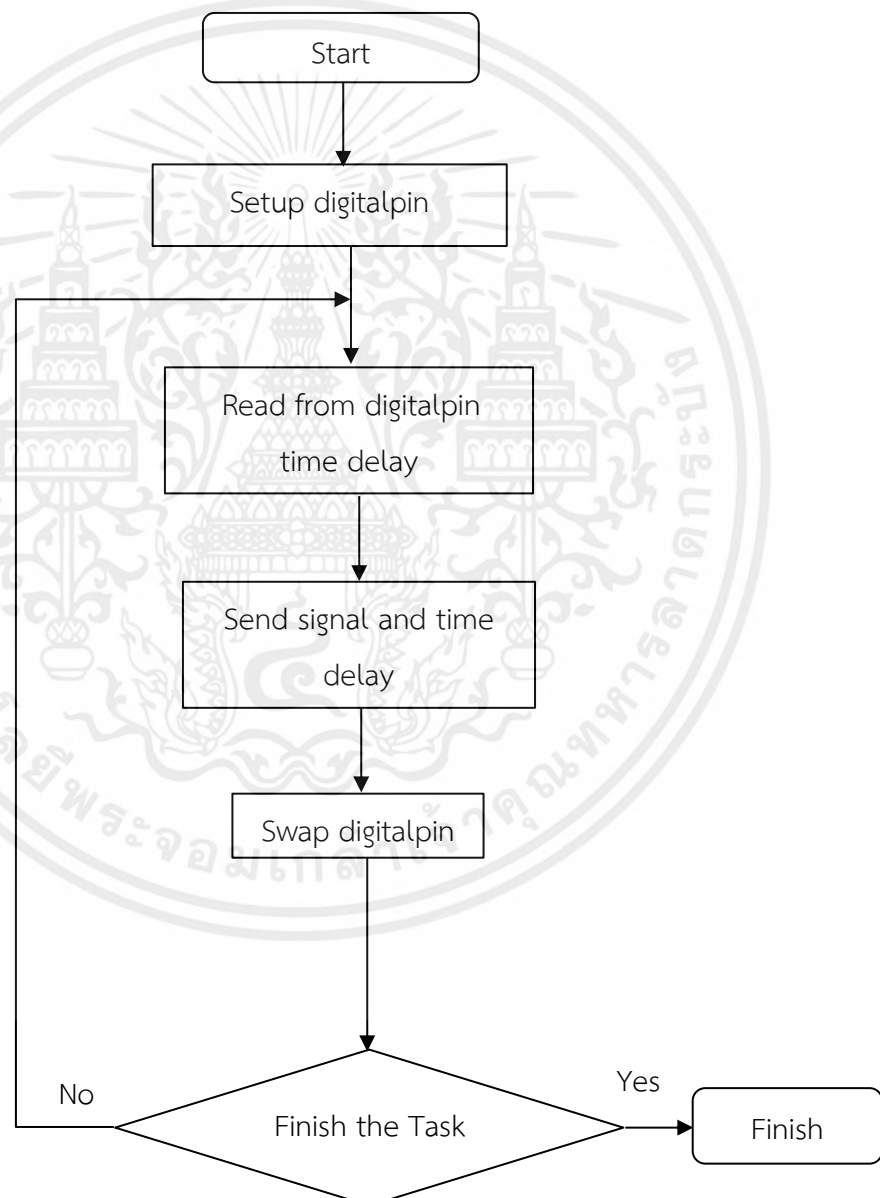


รูปที่ 3.12 ชุดคำสั่งเซ็นเซอร์วัดและแจ้งเตือนอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 ชุดคำสั่งควบคุมระบบซิงโครนัสเฟส

เป็นคำสั่งที่ควบคุมการรับและตอบสนองต่อค่าลอจิกที่ได้รับจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันวงจรส่วนซิงโครนัสเฟส (Phase Synchronus) มีหลักการทำงานตามโฟลวชาร์ตรูปที่ 3.14 เริ่มจากการรับค่าดิจิตอลจากไอซีคอมพารเตเตอร์มาเข้าที่อาร์ดูโนของวงจรอินเวอร์เตอร์ จากนั้นหน่วงเวลาก่อนทำการส่งสัญญาณพัลส์ เวลาที่หน่วงคือ 2 มิลลิเซ็คตามระยะห่างระหว่างเฟสของสัญญาณพัลส์จากอาร์ดูโนกับรูปคลื่นซายน์ที่เอาพุทของอุปกรณ์ เพื่อควบคุมให้เฟสของเอาพุทกับกริดตรงกัน ผ่านการส่งสัญญาณของพิน 9 และ 10

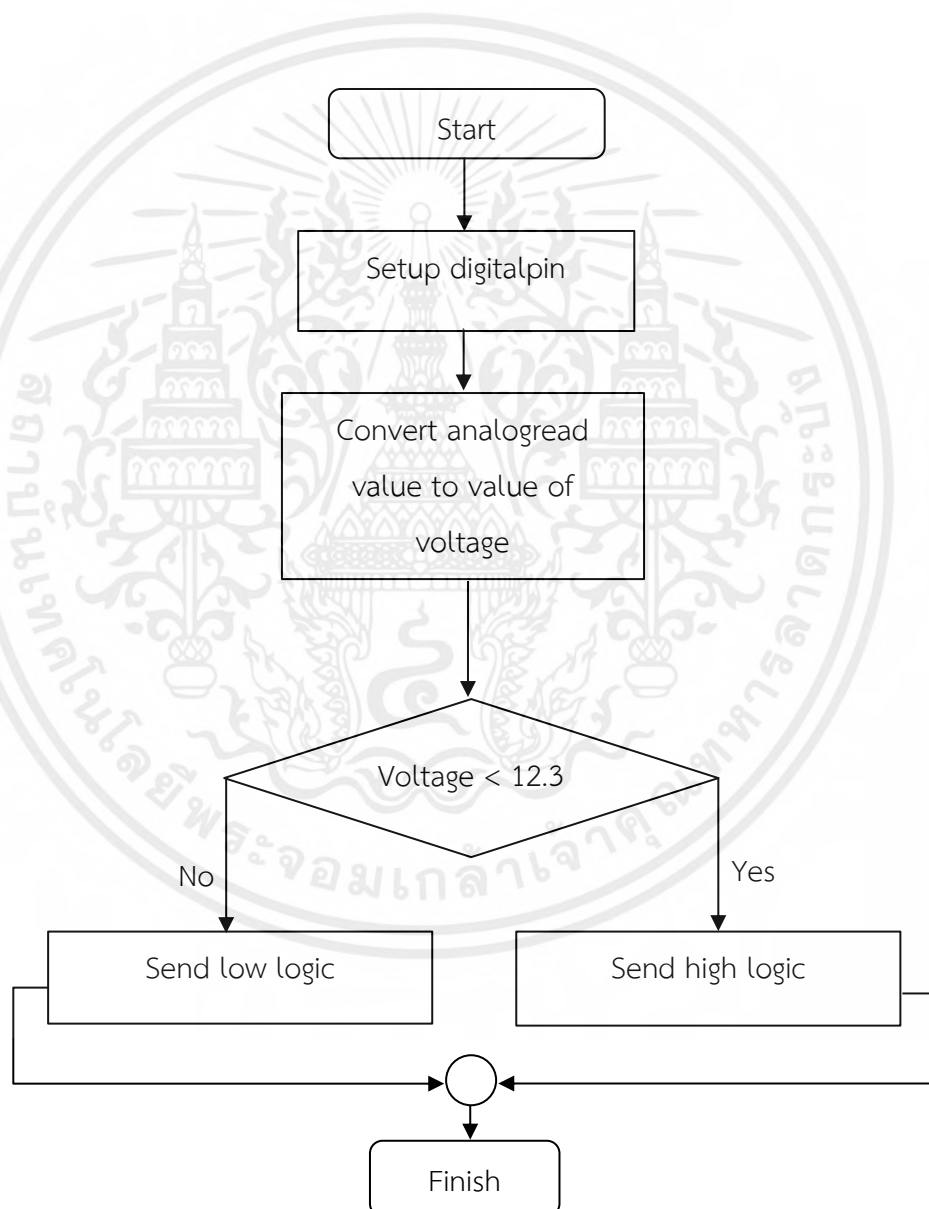


รูปที่ 3.13 โฟลวชาร์ตชุดคำสั่งควบคุมระบบเชื่อมต่อกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ชุดคำสั่งระบบเลือกรับอินพุท

เป็นชุดคำสั่งเลือกรับอินพุทจากแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ โดยการใช้การเปิดปิดรีเลย์ที่มีทั้งช่อง NC และ NO การเปิดปิดรีเลย์จะขึ้นอยู่กับแรงดันของโซลาร์เซลล์ หากที่โซลาร์เซลล์มีแรงดันสูงกว่า 12.3 โวลต์ รีเลย์จะยังปิดอยู่ (อุปกรณ์รับอินพุทจากโซลาร์เซลล์) และเมื่อโซลาร์เซลล์มีแรงดันต่ำกว่า 12.3 โวลต์ รีเลย์จะทำงาน (อุปกรณ์รับอินพุทจากแบตเตอรี่) มีหลักการทำงานตามโฟลวชาร์ตรูปที่ 3.14 กำหนดการรับค่าสัญญาณอนาล็อกทางพินอนาล็อก นำค่าที่ได้มาคำนวณให้ได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า เช็คว่าค่าที่คำนวณได้ต่ำกว่า 12.3 หรือไม่ หากมีค่าต่ำกว่า 12.3 จะส่งสัญญาณดิจิตอลลอจิก 1 ค้างไปเพื่อสั่งให้รีเลย์ทำงาน



รูปที่ 3.14 ชุดคำสั่งเลือกรับอินพุทจากแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการ และผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองและผลการทดลองของโครงการอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้

4.1 การทดลองวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้

หน้าจอแอลซีดีข้างตัวอุปกรณ์จะแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ด้านอินพุทของอุปกรณ์ ซึ่งวัดได้จากวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ การทดลองนี้มีเพื่อทดสอบหาความแม่นยำของวงจรถัดกล่าว

4.1.1 วิธีการทดลอง

นำวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ (Arduino) ไปทดลองวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ถึง 40 โวลต์ แล้วเทียบกับค่าอ้างอิงซึ่งเป็นแรงดันที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ คำนวณความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน คำนวณจากสมการที่ 4.1 [14]

$$\%Err = \left| \frac{X_{ref} - X_r}{X_r} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

เมื่อ X_{ref} คือ ค่าแรงดันที่ใช้อ้างอิง (โวลต์)

X_r คือ ค่าที่วัดได้จากวงจรหรือเซ็นเซอร์ (โวลต์)

$\%Err$ คือ เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน

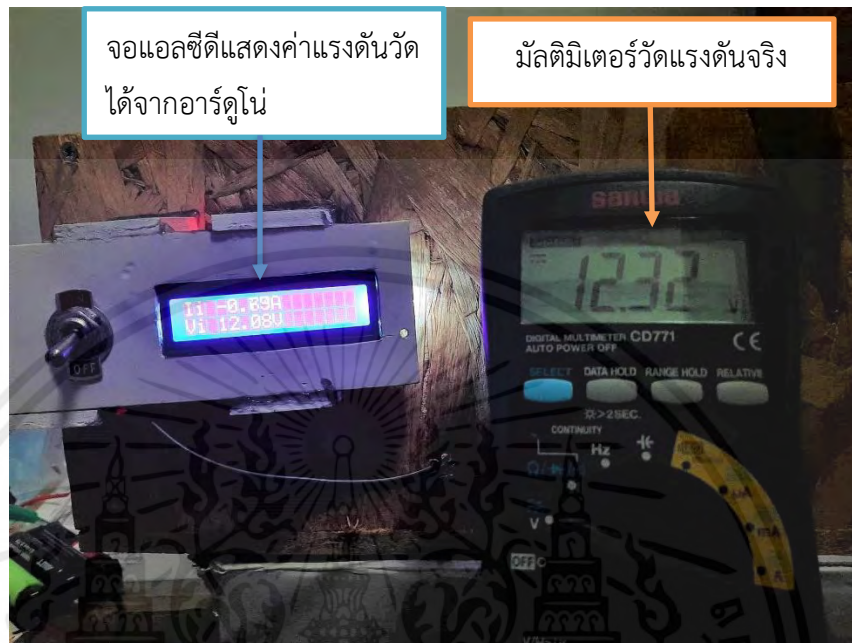
4.1.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้

| วัดจากมัลติมิเตอร์ (โวลต์) | วัดด้วยอาร์ดูโน้ (โวลต์) | ค่าคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) |
|----------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 12 | 12.03 | 0.25 |
| 15 | 15.04 | 0.26 |
| 20 | 20.03 | 0.15 |
| 30 | 30.02 | 0.12 |
| 40 | 40.0 | 0 |

จากตารางที่ 4.1 พบว่าวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ เมื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าขนาด 0 โวลต์ ถึง 40 โวลต์ ได้ค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 0.1 ถึง 0.26 เปอร์เซ็นต์ การทดลองวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดลองวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้

4.2 การทดลองเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้

หน้าจอลซีดีข้างตัวอุปกรณ์จะแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าที่ด้านอินพุทของอุปกรณ์ ซึ่งวัดได้จากเซ็นเซอร์ (Senser) วัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ การทดลองนี้มีเพื่อทดสอบหาความแม่นยำของเซ็นเซอร์ดังกล่าว

4.2.1 วิธีการทดลอง

นำโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ ACS712 ไปทดลองวัดกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทั้งขนาด 1.1 แอมป์ ถึง 8.2 แอมป์ แล้วเทียบกับค่าที่วัดได้จากแอมป์มิเตอร์ คำนวณความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนคำนวณตามสมการที่ 4.1

4.2.2 ผลการทดลอง

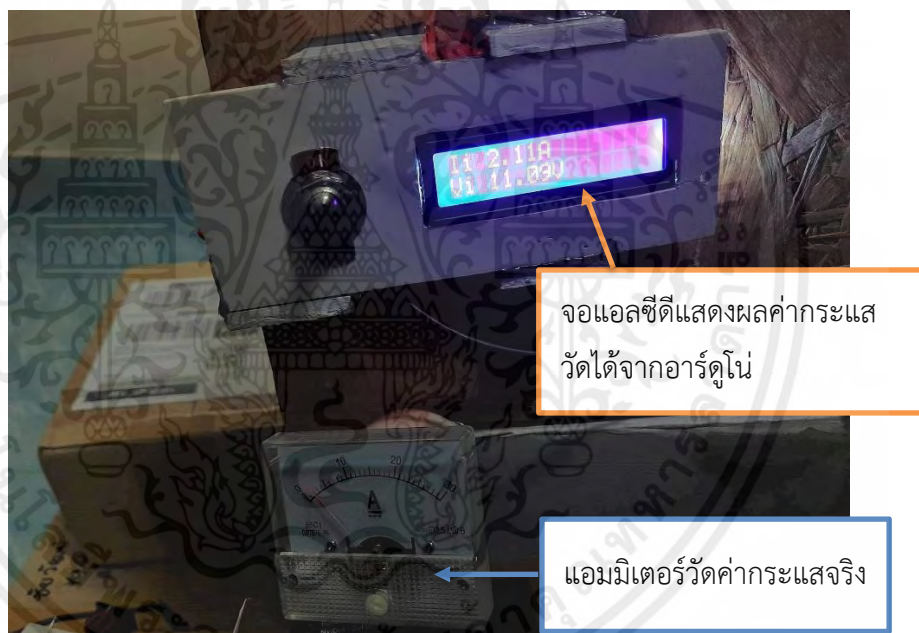
ผลการทดลองเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ แสดงดังตารางที่ 4.2 ประกอบด้วย ช่องแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดจากแอมป์มิเตอร์ ช่องแสดงค่ากระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ และช่องแสดงค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้

| วัดจากแอมป์มิเตอร์ (แอมป์) | วัดจากด้วยอาร์ดูโน้ (แอมป์) | ค่าคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1.1 | 1.1 | 0 |
| 2 | 1.99 | 0.5 |
| 3.1 | 3.1 | 0 |
| 5 | 5.1 | 2 |
| 8.2 | 8.2 | 0 |

จากการตารางที่ 4.2 พบว่าเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้ ในการวัดกระแสไฟฟ้าขนาด 0.5 ถึง 8 แอมป์ ได้ผลคลาดเคลื่อนไปจากแอมมิเตอร์มีเตอร์ประมาณ 0 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ การทดลองเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การทดลองเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน้

4.3 การทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิด้วยอาร์ดูโน้

เมื่อการส่งสัญญาณควบคุมมอเตอร์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานผิดพลาด (อาจเกิดจากสายไฟหลุดหรือ ลัดวงจรภายในอุปกรณ์) อาจทำให้มอเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดการพังทลายของรอยต่อ ทำให้มอเตอร์เสียหาย การทดลองนี้มีเพื่อทดสอบว่าหากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิด้วยอาร์ดูโน้ อ่านค่าอุณหภูมิได้เกิน 120 องศาเซลเซียส ตัวอุปกรณ์จะแจ้งเตือนผู้ใช้ด้วยไฟแอลอีดี และจะหยุดการทำงานเพื่อป้องกันอุปกรณ์ให้ไม่เกิดความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 วิธี การทดลอง

ทดลองโดยทำให้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิส่งค่าอุณหภูมิไปที่อาร์ดูโนที่ควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์แล้วสังเกตสถานะการทำงานของอุปกรณ์และไฟแอลอีดี

4.3.2 ผลการทดลอง

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ แสดงดังตารางที่ 4.3 ประกอบด้วยช่องแสดงค่าอุณหภูมิระหว่างสูงและต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส สถานะการทำงานของอุปกรณ์ และสถานะไฟแอลอีดี

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิด้วยอาร์ดูโน

| ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส) | สถานะการทำงาน | ไฟแอลอีดี |
|-------------------------------------|---------------|-----------|
| ต่ำกว่า 120 | ยังทำงานปกติ | ดับ |
| สูงกว่า 120 | หยุดทำงาน | ติด |

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอ่านค่าอุณหภูมิได้เกิน 120 องศาเซลเซียส อุปกรณ์หยุดการทำงานและไฟแอลอีดีสว่างขึ้น ป้องกันอุปกรณ์ให้ไม่เกิดความเสียหายได้ การทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิด้วยอาร์ดูโนแสดงดังรูปที่ 4.3



เช็คอุณหภูมิที่มอสเฟต
ด้วยมัลติมิเตอร์

หลอดไฟแอลอีดีสีแดงจะติดเมื่อวัดอุณหภูมิได้
เกิน 120 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3 การทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิด้วยอาร์ดูโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์และซิงค์เฟส

เป็นการทดลองเพื่อค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ความบิดเบี้ยวของรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) (ใช้วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก) และการทดลองวงจรซิงโครนัสเฟสจากรูปที่ 3.7

4.4.1 วิธีการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจร

นำวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อกับภาระไฟฟ้ากระแสสลับขนาดตั้งแต่ 5 วัตต์ ถึง 38 วัตต์ แล้วทำการวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ขาเข้า แล้วนำมาเทียบกับขนาดภาระไฟฟ้า จากนั้นคำนวณค่าความสูญเสียออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนคำนวณตามสมการที่ 4.2

$$\%Loss = \frac{Pin-Pl}{Pin} \times 100 \quad (4.2)$$

เมื่อ Pin คือ กำลังไฟฟ้าขาเข้า (วัตต์)

Pl คือ ขนาดภาระไฟฟ้า (วัตต์)

$\%Loss$ คือ ค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้า (เปอร์เซ็นต์)

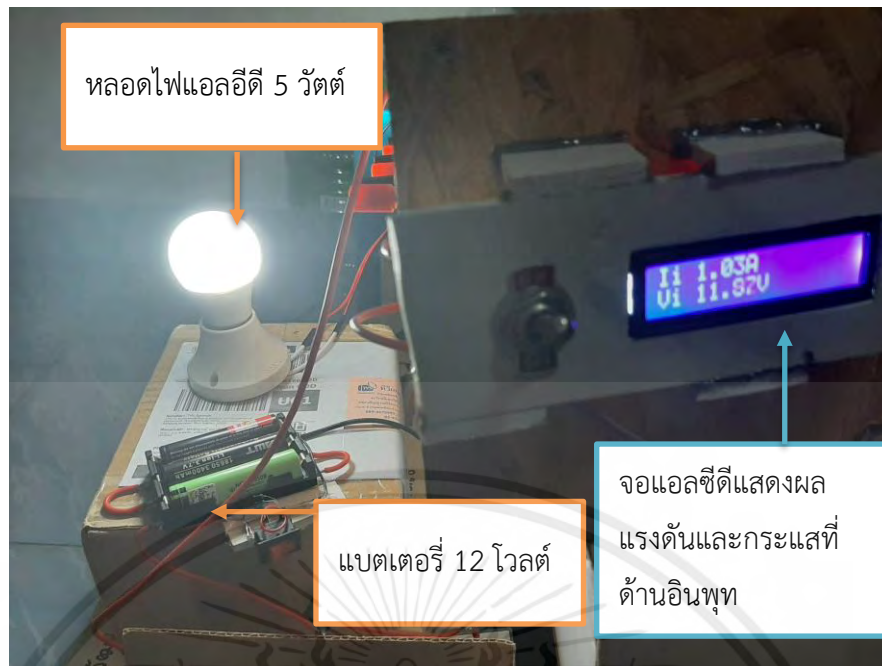
4.4.2 ผลการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจร

ผลการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจรอินเวอร์เตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยที่การทดลองที่โหลดขนาด 5 วัตต์ ถึง 10 วัตต์ จะใช้โหลดประเภทหลอดไฟแอลอีดี และขนาด 38 วัตต์ ถึง 85 วัตต์ ใช้โหลดประเภทมอเตอร์

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจรอินเวอร์เตอร์

| กำลังไฟฟ้าขาเข้า(วัตต์) | ขนาดภาระไฟฟ้า(วัตต์) | ค่าความสูญเสีย(เปอร์เซ็นต์) |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 12 | 5 | 58.33 |
| 21.6 | 7 | 67.59 |
| 24 | 10 | 58.33 |
| 72 | 38 | 47.22 |
| 171 | 85 | 50.29 |

จากตารางที่ 4.4 การทดลองพบว่าวงจรอินเวอร์เตอร์มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการต่อภาระไฟฟ้าขนาด 5 ถึง 85 วัตต์ โหลดที่ทำให้เกิดค่าความสูญเสียเยอะที่สุดคือหลอดไฟแอลอีดีขนาด 7 วัตต์ การทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจรอินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 4.4



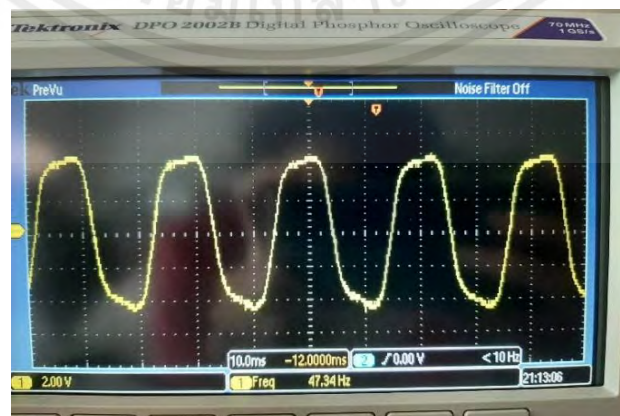
รูปที่ 4.4 การทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจรอินเวอร์เตอร์

4.4.3 วิธีการทดลองความบิดเบี้ยวของรูปคลื่นไซน์และการซิงโครนัสเฟส

นำอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ต่อกับภาระไฟฟ้า 2 ชนิด ได้แก่ หลอดไฟแอลอีดีสีขาวและอแดปเตอร์แปลงไฟฟ้า 5 โวลต์ ทำการต่อเอาพุทเข้าออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) แล้วบันทึกภาพของหน้าจอ และการใช้วงจรคอมพารเตอร์ (Comparater) ต่อกับกริดแล้ววัดรูปพัลส์ (Pulse) ที่ได้

4.4.4 ผลการทดลองความบิดเบี้ยวของรูปคลื่นไซน์และการซิงโครนัสเฟส

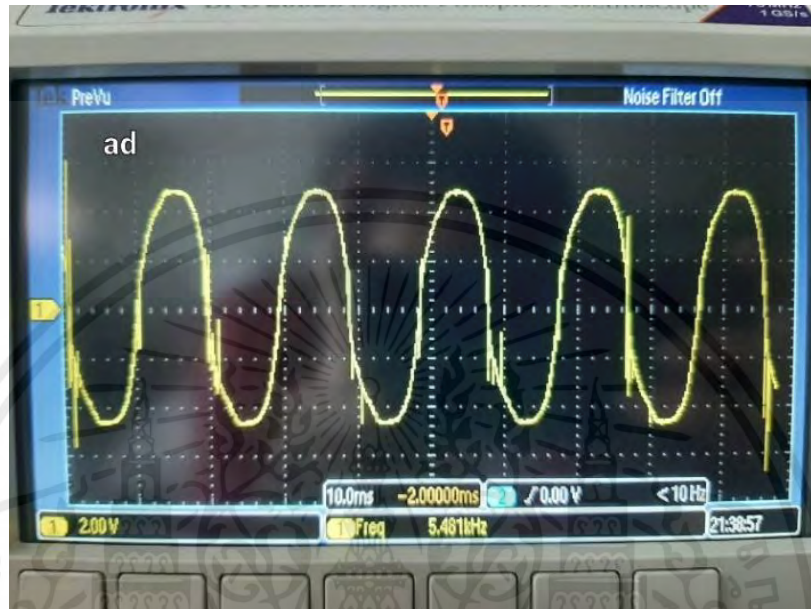
ผลการทดลองวัดเอาพุทของอุปกรณ์เพื่อดูรูปคลื่นขายนของไฟฟ้ากระแสสลับ โดยที่ยังไม่ต่อภาระไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งจะพบว่ารูปคลื่นที่ได้มีลักษณะสัญญาณขายนที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.5 รูปคลื่นเอาพุทก่อนต่อภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวัดเอาพุทของอุปกรณ์เพื่อดูรูปคลื่นขายนไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อทำการต่อภาระไฟฟ้าประเภทหลอดต่อแตรเตอร์ 5 โวลต์ และหลอดไฟแอลอีดี แสดงรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่ารูปคลื่นสัญญาณไม่ผิดเพี้ยน มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ และมีสัญญาณความถี่สูงรบกวนอยู่



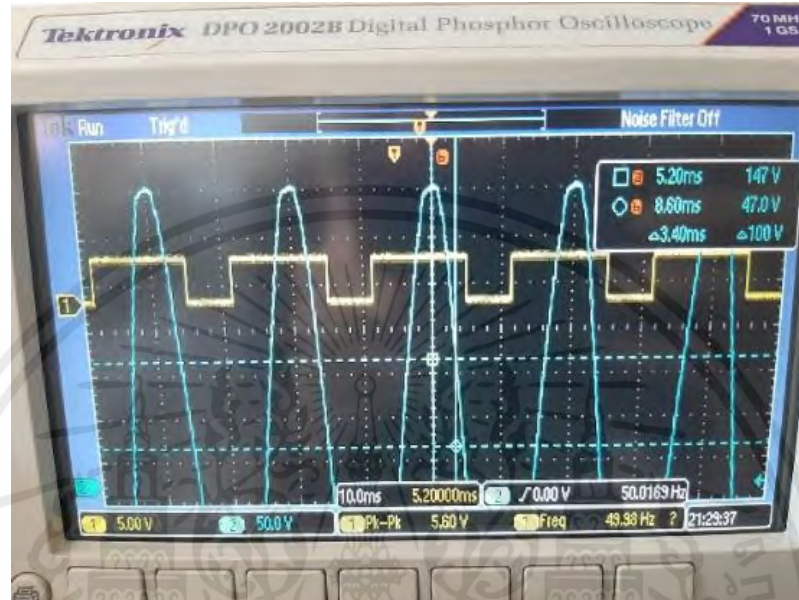
รูปที่ 4.6 รูปคลื่นเอาพุทเมื่อต่อภาระไฟฟ้าประเภทอแดปเตอร์ 5 โวลต์



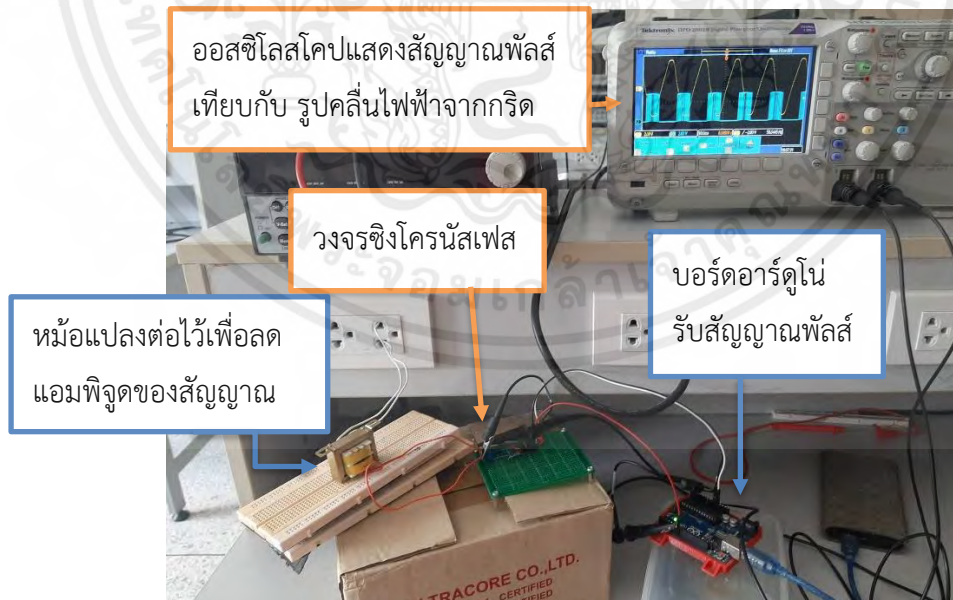
รูปที่ 4.7 รูปคลื่นเอาพุทเมื่อต่อภาระไฟฟ้าประเภทไฟแอลอีดีขนาด 5 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวัดเอาพุทของวงจรสร้างคลื่นพัลส์ เพื่อนำมาใช้ทำการ ชิงโครนัสเฟส (PhaseSyn chronising) แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่า รูปพัลส์สี่เหลี่ยมที่ได้ มีช่วงลอจิก 1 และ ลอจิก 0 ไม่เท่ากัน และยังมีเฟสที่นำหน้าเฟสของไฟฟ้าจากกริดอยู่ประมาณ 3 มิลลิเซ็ค การทดลองการ ชิงโครนัสเฟสแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 การจ่ายพัลส์ด้วยคอมพาราเรเตอร์ตามเฟสของกริด



รูปที่ 4.9 การทดลองการชิงโครนัสเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองระบบเลือกรับอินพุท

เป็นการทดลองเกี่ยวกับการเลือกรับค่าอินพุทของอุปกรณ์ระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ กับ แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เมื่อแรงดันจากแผงโซลาร์เซลล์มีค่าเปลี่ยนแปลง

4.5.1 วิธีการทดลอง

ต่อไฟจากแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ เข้าที่อินพุทของอุปกรณ์ที่มีระบบเลือกรับอินพุท ทำการบังแสงอาทิตย์ที่มากกระทบแผงโซลาร์เซลล์ทำให้แรงดันจากโซลาร์เซลล์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตาม 4 ขั้นตอน สังเกตการทำงานของรีเลย์ (Relay) และทำการวัดแรงดันที่ถูกจ่ายเข้าอินพุทของอุปกรณ์

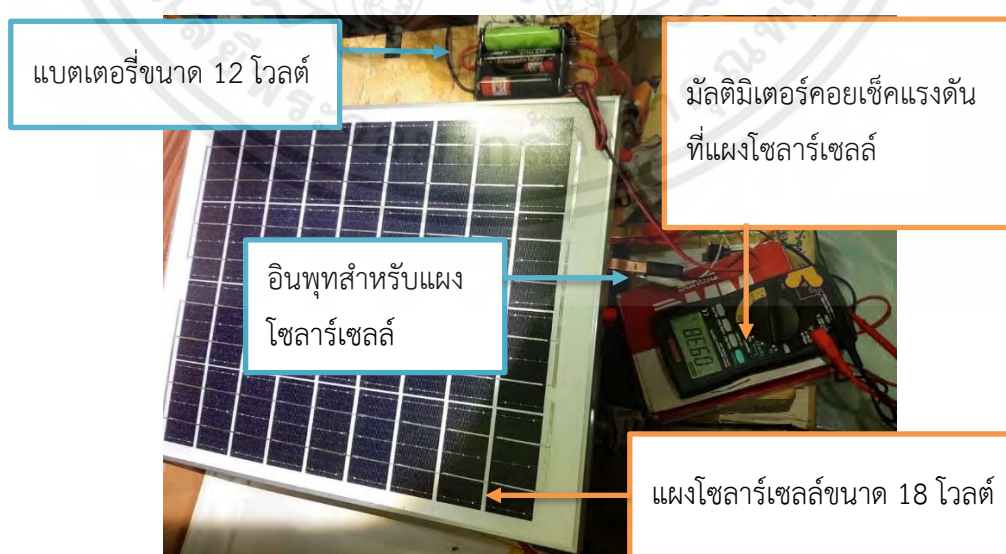
4.5.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองระบบเลือกรับอินพุท แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองระบบเลือกรับอินพุท

| ขั้นตอนที่ | แรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์ (โวลต์) | สถานะรีเลย์ | แรงดันที่เข้าอินพุท (โวลต์) |
|------------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|
| 1 | 18 | ปิด | 18 |
| 2 | 4 | เปิด | 12 |
| 3 | 13 | เปิด | 12 |
| 4 | 16 | ปิด | 16 |

จากตารางที่ 4.5 พบว่ารีเลย์สามารถทำงานตอบสนองต่อแรงดันจากแผงโซลาร์เซลล์ที่เปลี่ยนแปลงได้ตามปกติ การทดลองระบบเลือกรับอินพุทแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การทดลองระบบเลือกรับอินพุทระหว่างโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทของอุปกรณ์

เป็นการทดลองใช้งานจริงของอุปกรณ์ เมื่อทำการต่อภาระไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อทดสอบว่าอุปกรณ์จะยังรักษาแรงดันเอาพุทของอุปกรณ์ไว้ที่ 220 โวลต์ได้ เมื่อขนาดภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่มีค่าเปลี่ยนแปลง

4.6.1 วิธีการทดลอง

เป็นการทดลองโดยการต่อภาระไฟฟ้ากระแสสลับที่เอาพุทของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ขนาด 5 วัตต์ถึง 85 วัตต์ โดยต่อแรงดันที่ด้านอินพุทขนาด 12 โวลต์ และ 36 โวลต์ แล้ววัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้ เทียบกับแรงดันที่ใช้อ้างอิงขนาด 220 โวลต์ (ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เป็นกระแสสลับจะหมายถึงค่า RMS ของปริมาณนั้นๆ เสมอ โดยไม่จำเป็นต้องเขียนซิปสคริป RMS กำกับไว้) [15] แล้วคำนวณความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

4.6.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทของอุปกรณ์ที่แรงดันอินพุท 12 โวลต์แสดงดังตารางที่ 4.6 และผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทที่แรงดันอินพุท 36 โวลต์แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทที่แรงดันอินพุท 12 โวลต์

| ขนาดโหลด (วัตต์) | แรงดันหลังต่อโหลด (โวลต์) | ค่าคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) |
|------------------|---------------------------|------------------------------|
| 5 | 194 | 11.81 |
| 7 | 184 | 16.36 |
| 10 | 164 | 25.45 |
| 38 | 0 | 100 |
| 85 | 0 | 100 |

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทที่แรงดันอินพุท 36 โวลต์

| ขนาดโหลด(วัตต์) | แรงดันหลังต่อโหลด (โวลต์) | ค่าคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) |
|-----------------|---------------------------|------------------------------|
| 5 | 220 | 0 |
| 7 | 220 | 0 |
| 10 | 220 | 0 |
| 38 | 219 | 0.45 |
| 85 | 180 | 18.18 |

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าอุปกรณ์จ่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 220 โวลต์ เมื่อต่อแรงดันอินพุทที่ 12 โวลต์ จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงสุด 194 โวลต์ เมื่อเปลี่ยนไปใช้แรงดันอินพุทที่ 36 โวลต์จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออก 220 โวลต์ เมื่อต่อภาระไฟฟ้าขนาด 5 ถึง 38 วัตต์ แต่ก็ยังจ่ายเอาพุทไม่ได้เมื่อต่อภาระไฟฟ้าขนาด 150 วัตต์ การทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ จะกล่าวถึงสรุปผลการทดลอง ปัญหาและอุปสรรควิธีการแก้ไขปัญหา และข้อเสนอแนะของโครงการอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้

5.1 สรุปผลการทดลองอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโปรแกรมได้

5.1.1 สรุปผลการทดลองหาค่าความสูญเสียจากวงจรอินเวอร์เตอร์

จากการทดลองพบว่าวงจรอินเวอร์เตอร์มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าประมาณ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการต่อภาระไฟฟ้าขนาด 5 ถึง 85 วัตต์ ซึ่งค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ได้ควรจะต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

5.1.2 สรุปผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเอาพุทของอุปกรณ์

จากการทดลองพบว่าอุปกรณ์จ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ต่ำกว่า 220 โวลต์ เมื่อต่อแรงดันอินพุทที่ 12 โวลต์ การใช้แรงดันอินพุทที่ 36 โวลต์จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 220 โวลต์ ซึ่งแรงดันเอาพุทควรจะเท่ากับ 220 โวลต์เท่านั้น เมื่อต่อภาระไฟฟ้าและแรงดันอินพุททุกขนาด

5.1.3 สรุปผลทดลองความแม่นยำวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน

จากการทดลองพบว่าวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน (Arduino) ในการวัดแรงดันไฟฟ้าขนาด 0 โวลต์ ถึง 40 โวลต์ ได้ผลคลาดเคลื่อนไปจากมัลติมิเตอร์ทั่วไป 0 ถึง 0.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ควรมีค่าไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

5.1.4 สรุปผลทดลองความแม่นยำวงจรวัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน

จากการทดลองพบว่าวงจรวัดกระแสไฟฟ้าด้วยอาร์ดูโน ในการวัดกระแสไฟฟ้าขนาด 0.5 แอมป์ ถึง 8 แอมป์ ได้ผลคลาดเคลื่อนไปจากแอมมิเตอร์มิเตอร์ทั่วไป 0 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ควรมีค่าไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

5.1.5 สรุปผลทดลองระบบเลือกรับอินพุท

จากการทดลองพบว่าระบบเลือกรับอินพุททำงานสลับอินพุทตามขนาดแรงดันโซลาร์เซลล์ที่ตั้งโปรแกรมไว้ ซึ่งระบบเลือกรับอินพุทควรจะทำตามขนาดแรงดันโซลาร์เซลล์ที่ตั้งโปรแกรมไว้

5.1.6 สรุปผลทดลองเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่าเมื่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอ่านค่าอุณหภูมิได้เกิน 120 องศาเซลเซียส อุปกรณ์หยุดการทำงานและไฟแอลอีดีสว่างขึ้น จึงป้องกันอุปกรณ์ให้ไม่เกิดความเสียหายได้ ซึ่งตัวอุปกรณ์ควรหยุดการทำงานและไฟแอลอีดีสว่างขึ้น เมื่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอ่านค่าอุณหภูมิได้เกิน 120 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.7 ผลการทดลองความบิดเบี้ยวของรูปคลื่นไซน์และการซิงโครไนส์เฟส

จากการทดลองพบว่ารูปคลื่นไซน์จากเอาพุทเมื่อทำการต่อภาระไฟฟ้ายังมีสัญญาณความถี่สูงประมาณ 5 กิโลเฮิร์ตซ์ปะปนอยู่ วงจรสร้างพัลส์ (Pulse) เพื่อซิงโครไนส์เฟสยังมีเฟสที่นำหน้าเฟสของไฟฟ้าจากกริดอยู่ประมาณ 3 มิลลิเซ็ค ซึ่งในการใช้งานจริงรูปคลื่นไซน์จากเอาพุทไม่ควรมีสัญญาณความถี่สูงรบกวน และคลื่นพัลส์ที่ใช้ซิงโครไนส์เฟสจะต้องไม่นำหรือตามหลังเฟสของไฟฟ้าจากกริด

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- 1) บอร์ดอาร์ดูโนที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ในวงจร ไม่สามารถใช้งานกับคำสั่งอื่นได้
- 2) วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์มักจะทำให้ค่าแรงดันเอาพุทสูงสุดไม่เท่าเดิมในบางครั้งแม้ว่าจะจ่ายแรงดันอินพุทเท่ากัน และระหว่างทำงานจะเกิดเสียงความถี่สูงมาจากอุปกรณ์
- 3) รูปคลื่นไซน์ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ เกิดการบิดเบี้ยวเมื่อต่อภาระไฟฟ้าชนิดต่างๆ
- 4) วงจรควบคุมให้เฟสตรงกับกริดไม่สามารถจ่ายพัลส์ที่ตรงกับเฟสของกริดได้จึงไม่สามารถนำไปทดลองระบบเชื่อมต่อกกริดแบบใช้งานจริงได้
- 5) แม้จะทำการปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปแล้ว แต่เมื่อถอดไฟเลี้ยงภาคขยายสัญญาณภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่จะติดแล้วดับอย่างรวดเร็ว

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ให้มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อยกว่านี้
- 2) ไม่จำเป็นต้องมีระบบแจ้งเตือน และหยุดการทำงานของอุปกรณ์ตามค่าจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ หากโปรแกรมคำสั่งส่งสัญญาณพัลส์ และการสร้างอุปกรณ์ ถูกออกแบบมาอย่างถูกต้องและเหมาะสมอยู่แล้ว
- 3) หากจะนำอุปกรณ์นี้ไปพัฒนาเพิ่มเพื่อให้ใช้งานในระบบออนกริดได้ ตัวอุปกรณ์ควรมีพิกัดส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้อย่างน้อย 200 วัตต์ขึ้นไป
- 4) การออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์พิกัดสูงนั้นค่อนข้างยุ่งยากและต้องผ่านการทดลองหลายขั้นตอน การซิววงจรคอนเวอร์เตอร์สำเร็จรูปมาดัดแปลงให้ทำงานร่วมกับวงจรฟีดแบค (Feedback) ได้อาจทำได้ง่ายและได้ผลลัพธ์ดีกว่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] “คุณลักษณะมอสเฟตและวงจรไบอัส”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <http://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files> เข้าครั้งสุดท้าย 23 พฤศจิกายน 2565
- [2] มนตรี ไชยชาญยุทธ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, ชุมพร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร, 2549
- [3] ”ทำความรู้จัก บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา <https://www.ai-corporation.net> เข้าครั้งสุดท้าย 15 เมษายน 2566.
- [4] ”จอฟลิกเหลว”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki> เข้าครั้งสุดท้าย 26 เมษายน 2566
- [5] อุดลย์ กัลยาแก้ว, **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร**, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2546
- [6] ”อินเวอร์เตอร์กำลัง”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki> เข้าครั้งสุดท้าย 16 เมษายน 2566
- [7] ”หม้อแปลงไฟฟ้า”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki> เข้าครั้งสุดท้าย 16 เมษายน 2566
- [8] วุฒิพล ธาราธิ์เศรษฐ์, **สนามแม่เหล็กไฟฟ้า**, กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2562
- [9] ”เซลล์แสงอาทิตย์”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki> เข้าครั้งสุดท้าย 29 เมษายน 2566
- [10] “เอซีเอส 712”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf> เข้าครั้งสุดท้าย 23 พฤศจิกายน 2565
- [11] “แอลเอ็ม 35”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf> เข้าครั้งสุดท้าย 23 พฤศจิกายน 2565
- [12] “แอลเอ็ม 311”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf>
- [13] ”รีเลย์ (Relay) คืออะไร”, (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <http://www.psptech.co.th/> เข้าครั้งสุดท้าย 30 เมษายน 2566
- [14] พันธุ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, **ทฤษฎีเครื่องมือวัดเบื้องต้น**, กรุงเทพฯ, ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2532
- [15] ประภากร สุวรรณะ, **วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ 1**, กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดคำสั่งควบคุมมอเตอร์ในวงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์

```
#include <Wire.h>
int a3,a1,x,w,y,val,r,state,xy;
int W,V,v,c,C;
float z,vac,ac,vlt;
double cur,curr;
```

} ประกาศตัวแปร

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(7,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(8,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  pinMode(3,INPUT);
  pinMode(A2,INPUT);
  pinMode(A3,INPUT);
  pinMode(A4,INPUT);
  pinMode(6,INPUT);
}
```

} ตั้งค่าพินเป็นอินพุทหรือเอาพุท

```
void loop() {
  z=digitalRead(12) //รับสัญญาณจากวงจรฟีดแบค

  if(xy>45){
    xy=46;
    digitalWrite(7,HIGH);}
  if(xy<45){
    digitalWrite(7,LOW);}
  if(xy<1){xy=0;}
```

} จำกัดค่าตัวที่ไซเคิล

```
if(state==1){w=9;v=8;W=10;V=11;}
if(state==0){w=10;v=11;W=9;V=8;}
```

} ส่งสัญญาณสลับไปมาใน 4 พิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
x=xy+0;
y=50-xy; } ค่าตัวที่ไซเคิลเริ่มต้น
```

```
***//เริ่มส่งสัญญาณควบคุมมอสเฟต***
```

```
digitalWrite(w,HIGH);
digitalWrite(v,HIGH);
digitalWrite(W,LOW);
digitalWrite(V,LOW);
delayMicroseconds(x);
```

ช่วงมอสเฟตทำงาน

```
digitalWrite(8,LOW);
digitalWrite(9,HIGH);
digitalWrite(10,LOW);
digitalWrite(11,HIGH);
delayMicroseconds(y);
```

ช่วงมอสเฟตไม่ทำงาน

```
if(z==1){xy--;}
else{xy++;}
```

ตอบสนองต่อสัญญาณจากวงจรพีดีแบค

```
state = !state; //สลับช่องสัญญาณ
}
```

โค้ดคำสั่งควบคุมมอสเฟตในวงจรอินเวอร์เตอร์

```
int x,y,y2,z;
int i,val,v,state,vel,c;
float mv;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0,INPUT);
  pinMode(A2,INPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(8,OUTPUT);
```

ประกาศตัวแปร

ตั้งค่าพินเป็นอินพุทหรือเอาพุทและโลจิกเดิมของพิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(8,LOW);
digitalWrite(9,LOW);
digitalWrite(10,LOW);
}
void loop() {
  c=digitalRead(7); //รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ
  if(state==1){x=9;} else{x=10;} //ส่งสัญญาณสลับไปมาใน 2 พิน

  z=digitalRead(11);
  if(z==1){v=digitalRead(12);}
  if(v==1){delay(2);}

  if(c==1){
    x=11;
    digitalWrite(9,LOW);
    digitalWrite(10,LOW);
    digitalWrite(8,HIGH);}

    ***//เริ่มส่งสัญญาณควบคุมมอสเฟต***

  for(i=1;i<70;i++){
    digitalWrite(x,LOW);
    delayMicroseconds(6);
    digitalWrite(x,HIGH);
    delayMicroseconds(4);
  }
  for(i=1;i<32;i++){
    digitalWrite(x,LOW);
    delayMicroseconds(7);
    digitalWrite(x,HIGH);
    delayMicroseconds(12);
  }
  for(i=1;i<32;i++){
    digitalWrite(x,LOW);

```

ตั้งค่าลอจิกเดิมของพิน

รับสัญญาณจากพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงและหน่วงเวลา

เมื่อได้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ ส่งลอจิก 0 ที่พิน 9 และ 10

ส่งสัญญาณควบคุมมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delayMicroseconds(7);
digitalWrite(x,HIGH);
delayMicroseconds(17);
}
for(i=1;i<24;i++){
digitalWrite(x,LOW);
delayMicroseconds(3);
digitalWrite(x,HIGH);
delayMicroseconds(21);
}
for(i=1;i<24;i++){
digitalWrite(x,LOW);
delayMicroseconds(2); /***
digitalWrite(x,HIGH);
delayMicroseconds(23);
}
for(i=1;i<24;i++){
digitalWrite(x,LOW);
delayMicroseconds(3);
digitalWrite(x,HIGH);
delayMicroseconds(21);
}
for(i=1;i<32;i++){
digitalWrite(x,LOW);
delayMicroseconds(7);
digitalWrite(x,HIGH);
delayMicroseconds(17);
}
for(i=1;i<32;i++){
digitalWrite(x,LOW);
delayMicroseconds(7);
digitalWrite(x,HIGH);
delayMicroseconds(12);

```

ส่งสัญญาณควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
for(i=1;i<70;i++){
  digitalWrite(x,LOW);
  delayMicroseconds(7);
  digitalWrite(x,HIGH);
  delayMicroseconds(3);
}
digitalWrite(x,LOW);
delayMicroseconds(1344);
state = !state; } //สลับการส่งสัญญาณ

```

ส่งสัญญาณควบคุมมอสเฟต

โค้ดคำสั่งใช้งานเซ็นเซอร์

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
int z,i,val,v,state,tem,x,y,pv,cur;
int lm35 = A0;
float mv,curr,ac,c,dc,vlt,rl;

```

นำเข้าไลบรารีสำหรับจอแอลซีดีและ

```

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //ประกาศแอดเดรส I2C ของจอแอลซีดี
void setup() {
  Serial.begin(57600);
  pinMode(A0,INPUT);
  pinMode(A1,INPUT);
  pinMode(A2,INPUT);
  pinMode(7,OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(8,OUTPUT);
  lcd.init(); lcd.init();}

```

ตั้งค่าพินเป็นอินพุทหรือเอาพุท

```

void loop() {
  lcd.clear();
  lcd.backlight();
}

```

แอลซีดีเริ่มทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cur = analogRead(A1);
curr = ((cur*0.0048)-2.5)/0.1;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("I "); lcd.print(curr,2);
lcd.print("A");

```

คำสั่งรับค่ามาคำนวณแล้วแสดงผลทางจอแอลซีดีสำหรับเซ็นเซอร์วัดกระแส

```

tem = analogRead(A0);
mv = (tem/1024.0)*5000;
c = mv/10;

```

คำสั่งรับค่ามาคำนวณสำหรับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

```

pv=analogRead(A2);
rl=pv*0.043;
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("V ");
lcd.print(rl,2);
lcd.print("V");
if(vlt<0.5){vlt=0;}

```

คำสั่งรับค่ามาคำนวณแล้วแสดงผลทางจอแอลซีดีสำหรับเซ็นเซอร์วัดแรงดัน

```

if(c>120){
  digitalWrite(7,HIGH);
  digitalWrite(6,HIGH);}
if(c<120){
  digitalWrite(7,LOW);
  digitalWrite(6,LOW);}

```

เช็คเงื่อนไขเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ หากตรงตามเงื่อนไข จะส่งสัญญาณที่พิน 7 และ 6


```

if(rl<12.30){
  digitalWrite(8,HIGH);
  digitalWrite(9,HIGH);
  delay(200); }
if(rl>12.30){ digitalWrite(8,LOW);
  digitalWrite(9,LOW); }
  delay(200); }

```

เช็คเงื่อนไขเซ็นเซอร์วัดแรงดัน หากตรงตามเงื่อนไข จะส่งสัญญาณที่พิน 8 และ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

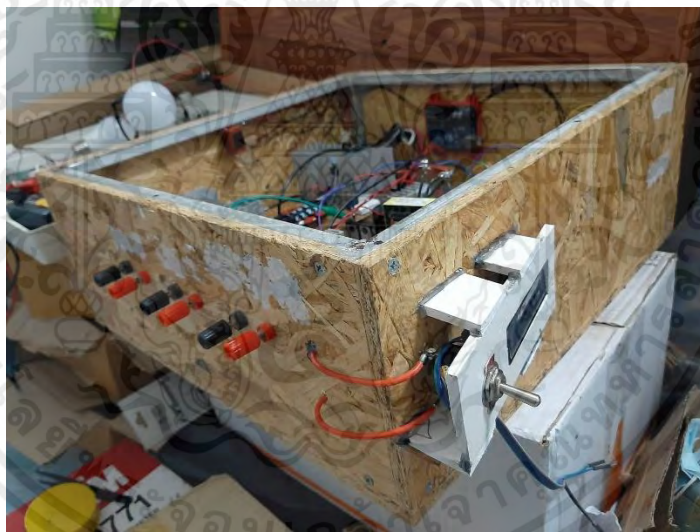


ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้งานอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คู่มือการใช้งานอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตั้งโปรแกรมได้



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

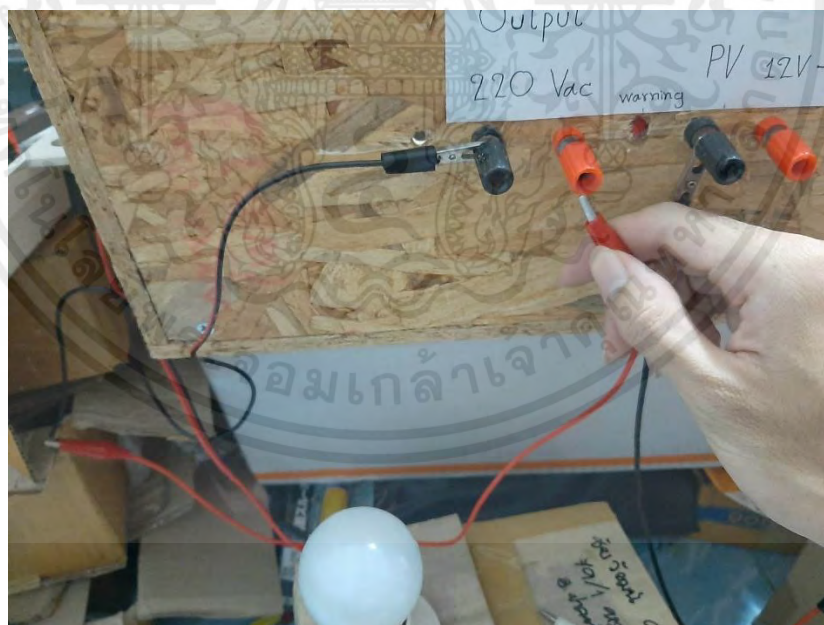
ขั้นตอนการใช้งาน

- 1) เชื่อมต่ออินพุทของอุปกรณ์เข้ากับแบตเตอรี่หรือแผงโซลาร์เซลล์ ดังรูปที่ ค.1



รูปที่ ข.1 ต่ออินพุท

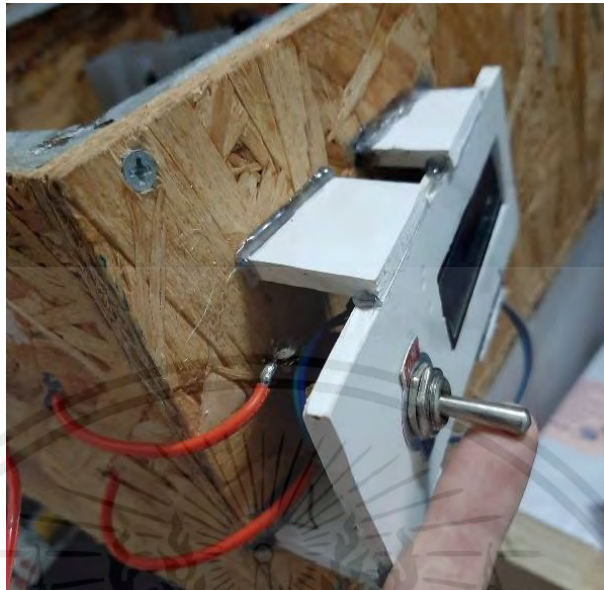
- 2) ต่อภาระไฟฟ้าที่ด้านเอาพุท



รูปที่ ข.2 ต่อภาระไฟฟ้าที่ด้านเอาพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

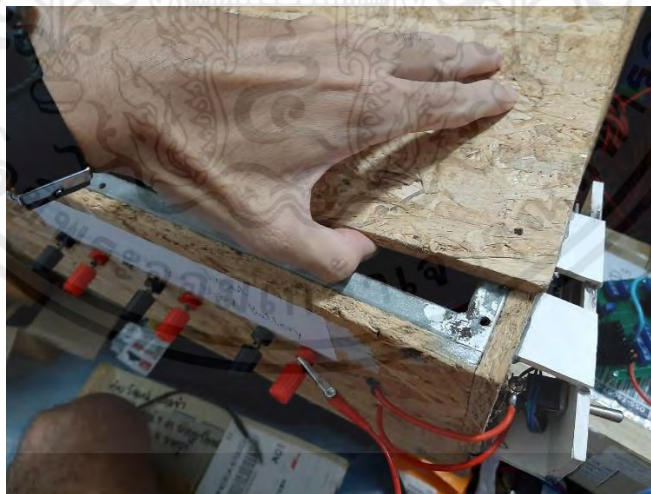
3) เปิดสวิตช์



รูปที่ ข.3 เปิดสวิตช์

ขั้นตอนการอัปโหลดคำสั่งใหม่เข้าอาร์ดูโน้

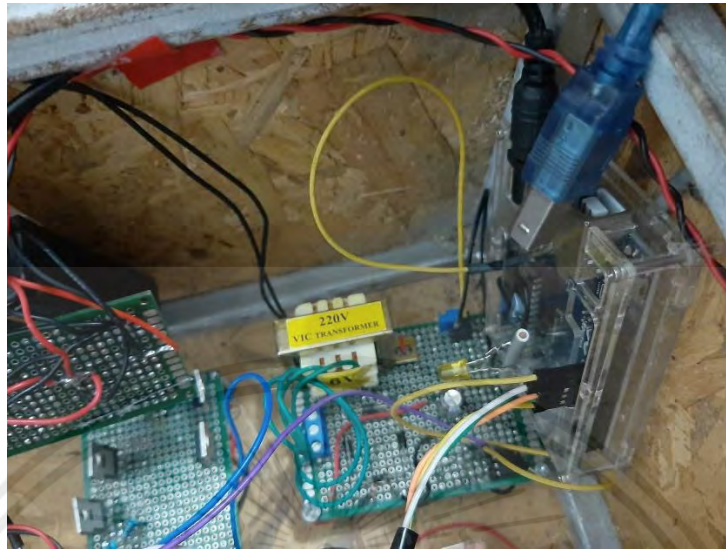
1) เปิดฝาอุปกรณ์



รูปที่ ข.4 เปิดฝาอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เสียบสาย USB เชื่อมต่อบอร์ดอาร์ดูโน้กับคอมพิวเตอร์



รูปที่ ข.5 เสียบสาย USB

3. ทำการอัปโหลดคำสั่งใหม่เข้าบอร์ดอาร์ดูโน่

```
sine002.2 | Arduino 1.8.13
File Edit Sketch Tools Help
sine002.2
int x, y, z;
int i, val, v, state, vel, c;
int lm35 = A0;
float mv;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  digitalWrite(8, LOW);
  digitalWrite(9, LOW);
  digitalWrite(10, LOW);
  //lcd.init();
  //lcd.init();
}
void loop() {
```

รูปที่ ข.6 ทำการอัปโหลดคำสั่งใหม่เข้าบอร์ดอาร์ดูโน่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Buriram is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. On either side of the central umbrella are two smaller, three-tiered umbrellas. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The Thai text around the border reads "วิทยาลัยราชภัฏบรจรม" at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" at the bottom.

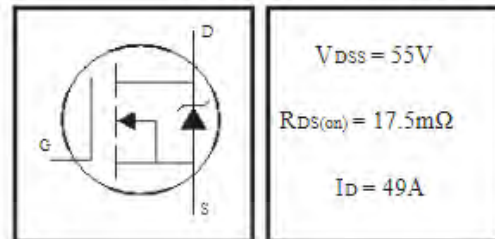
ภาคผนวก ค
คู่มือการใช้งานอุปกรณ์(Datasheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

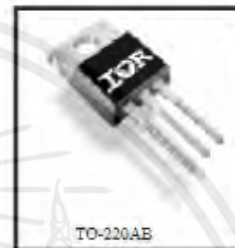
- 1 Advanced Process Technology
- 1 Ultra Low On-Resistance
- 1 Dynamic dv/dt Rating
- 1 175°C Operating Temperature
- 1 Fast Switching
- 1 Fully Avalanche Rated



Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

| | Parameter | Max. | Units |
|------------------------------|--|------------------------|-------|
| $I_D @ T_c = 25^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 49 | A |
| $I_D @ T_c = 100^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 35 | |
| I_{DM} | Pulsed Drain Current <input type="checkbox"/> | 160 | W |
| $P_{tot} @ T_c = 25^\circ C$ | Power Dissipation | 94 | |
| | Linear Derating Factor | 0.63 | W/°C |
| V_{GS} | Gate-to-Source Voltage | ± 20 | V |
| I_{AS} | Avalanche Current <input type="checkbox"/> | 25 | A |
| E_{AS} | Repetitive Avalanche Energy <input type="checkbox"/> | 9.4 | mJ |
| dv/dt | Peak Diode Recovery dv/dt <input type="checkbox"/> | 5.0 | V/ns |
| T_c | Operating Junction and Storage Temperature Range | $-55 \text{ to } +175$ | °C |
| | Soldering Temperature, for 10 seconds | 300 (1.6mm from case) | |
| | Mounting torque, 6-32 or M3 screw | 10 lbf·in (1.1N·m) | |

Thermal Resistance

| | Parameter | Typ. | Max. | Units |
|------------------|-------------------------------------|------|------|-------|
| $R_{\theta(jc)}$ | Junction-to-Case | — | 1.5 | °C/W |
| $R_{\theta(jc)}$ | Case-to-Sink, Flat, Greased Surface | 0.50 | — | |
| $R_{\theta(ja)}$ | Junction-to-Ambient | — | 62 | |

www.irf.com

1
01/03/01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ44N

International
IOR RectifierElectrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions |
|------------------------------|--------------------------------------|------|-------|------|-----------------------|--|
| $V_{(DR)SS}$ | Drain-to-Source Breakdown Voltage | 55 | --- | --- | V | $V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$ |
| $\Delta V_{(BR)SS}/\Delta T$ | Breakdown Voltage Temp. Coefficient | --- | 0.058 | --- | $^\circ\text{C}^{-1}$ | Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$ |
| $R_{DS(on)}$ | Static Drain-to-Source On-Resistance | --- | --- | 17.5 | $m\Omega$ | $V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ □ |
| $V_{GS(th)}$ | Gate Threshold Voltage | 2.0 | --- | 4.0 | V | $V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$ |
| g_{fs} | Forward Transconductance | 19 | --- | --- | S | $V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ □ |
| I_{DSS} | Drain-to-Source Leakage Current | --- | --- | 25 | μA | $V_{GS} = 55V, V_{DS} = 0V$ |
| | | | | 250 | | $V_{GS} = 44V, V_{DS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$ |
| I_{GSS} | Gate-to-Source Forward Leakage | --- | --- | 1.0 | nA | $V_{DS} = 20V$ |
| | Gate-to-Source Reverse Leakage | --- | --- | -100 | | $V_{DS} = -20V$ |
| Q_g | Total Gate Charge | --- | --- | 63 | nC | $I_D = 25A$ |
| Q_{gs} | Gate-to-Source Charge | --- | --- | 14 | | $V_{GS} = 44V$ |
| Q_{gd} | Gate-to-Drain ("Miller") Charge | --- | --- | 23 | | $V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 |
| $t_{d(on)}$ | Turn-On Delay Time | --- | 12 | --- | ns | $V_{DS} = 28V$ |
| t_r | Rise Time | --- | 60 | --- | | $I_D = 25A$ |
| $t_{d(off)}$ | Turn-Off Delay Time | --- | 44 | --- | | $R_{\theta(jc)} = 12^\circ\text{C/W}$ |
| t_f | Fall Time | --- | 45 | --- | | $V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 □ |
| L_D | Internal Drain Inductance | --- | 4.5 | --- | nH | Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact |
| L_S | Internal Source Inductance | --- | 7.5 | --- | | |
| C_{iss} | Input Capacitance | --- | 1470 | --- | | $V_{GS} = 0V$ |
| C_{oss} | Output Capacitance | --- | 360 | --- | | $V_{DS} = 25V$ |
| C_{riss} | Reverse Transfer Capacitance | --- | 88 | --- | pF | $f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5 |
| E_{AS} | Single Pulse Avalanche Energy | --- | 530 | 150 | mJ | $I_{AS} = 25A, L = 0.47\text{mH}$ |

Source-Drain Ratings and Characteristics

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions |
|----------|--|---|------|------|-------|--|
| I_S | Continuous Source Current (Body Diode) | --- | --- | 49 | A | MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. □ |
| I_{SM} | Pulsed Source Current (Body Diode) □ | --- | --- | 160 | | |
| V_{SD} | Diode Forward Voltage | --- | --- | 1.3 | V | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ □ |
| t_{rr} | Reverse Recovery Time | --- | 63 | 95 | ns | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A$ |
| Q_{rr} | Reverse Recovery Charge | --- | 1.7 | 2.6 | nC | $di/dt = 100A/\mu s$ □ |
| t_{on} | Forward Turn-On Time | Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D) | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

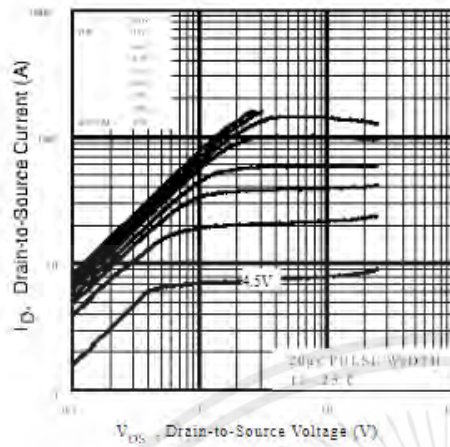


Fig 1. Typical Output Characteristics

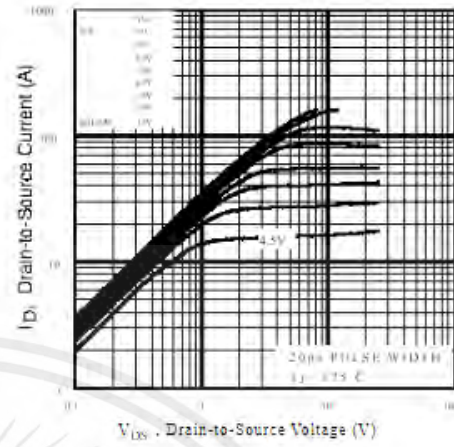


Fig 2. Typical Output Characteristics

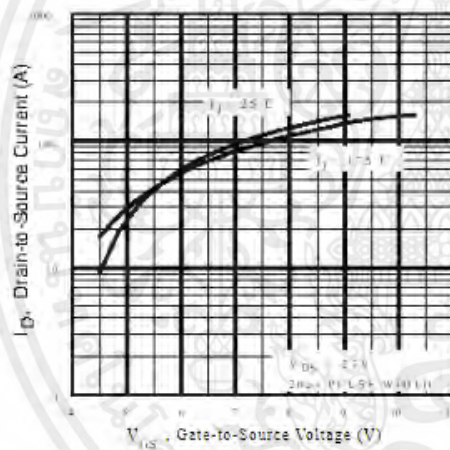
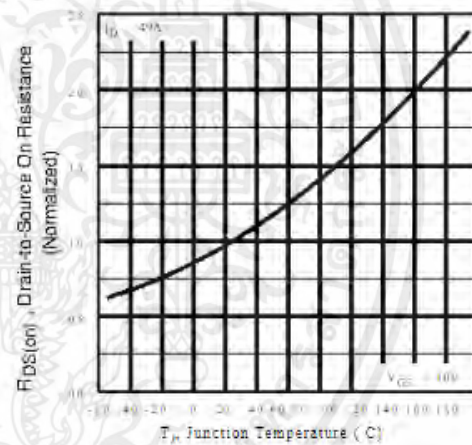


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

Fig 4. Normalized On-Resistance
Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ44N

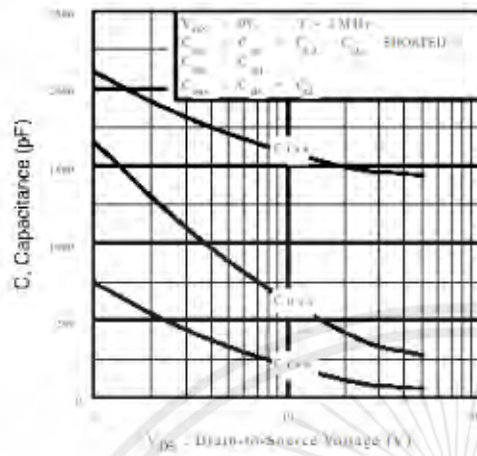
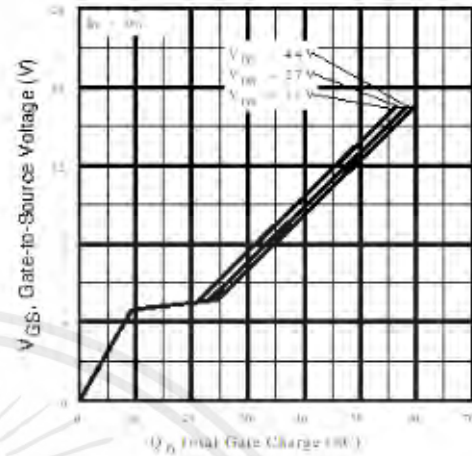
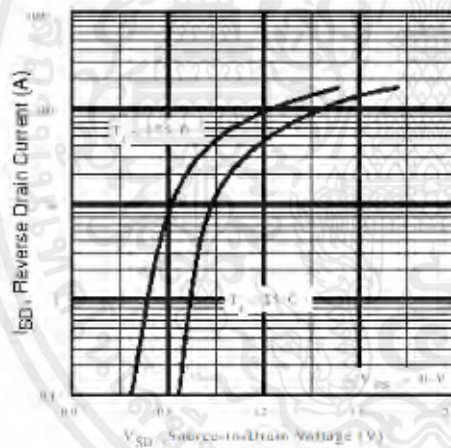
International
IOR RectifierFig 5. Typical Capacitance Vs.
Drain-to-Source VoltageFig 6. Typical Gate Charge Vs.
Gate-to-Source VoltageFig 7. Typical Source-Drain Diode
Forward Voltage

Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM78XX

Electrical Characteristics (LM7808)(V=14V, I=500mA, 0°C ≤ T_j ≤ 125 °C, unless otherwise specified. (Note 1))

| Parameter | Symbol | Conditions | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|--------------------------|-----------------|---|-----|-----|-----|------|
| Output Voltage | V _o | T _j = 25 °C | 7.7 | 8.0 | 8.3 | V |
| Line Regulation | ΔV _o | V _i = 10.5V to 25V T _j = 25 °C | | 6 | 160 | mV |
| | | V _i = 11V to 17V T _j = 25 °C | | 2 | 80 | |
| Load Regulation | ΔV _o | I _o = 5mA to 1.5A, 25 °C | | 12 | 160 | mV |
| | | I _o = 250mA to 750mA, 25 °C | | 4 | 80 | |
| Ripple Rejection | RR | V _i = 11.5V to 21.5V, f = 120Hz | 55 | 72 | | dB |
| Output Noise Voltage | V _n | F = 10Hz to 100Hz T _j = 25 °C | | 52 | | μV |
| Dropout Voltage | V _o | T _j = 25 °C | | 2.0 | | V |
| Quiescent Current | | T _j = 25 °C | | 4.3 | 8 | mA |
| Quiescent Current Change | ΔI _o | V _i = 10.5V to 25V, T _j = 25 °C | | | 1 | mA |
| | | I _o = 5mA to 1A, T _j = 25 °C | | | 0.5 | |

Electrical Characteristics (LM7809)(V=16V, I=500mA, 0°C ≤ T_j ≤ 125 °C, unless otherwise specified. (Note 1))

| Parameter | Symbol | Conditions | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|--------------------------|-----------------|---|-----|-----|------|------|
| Output Voltage | V _o | T _j = 25 °C | 8.6 | 9.0 | 9.40 | V |
| Line Regulation | ΔV _o | V _i = 11.5V to 27V T _j = 25 °C | | 7 | 180 | mV |
| | | V _i = 13V to 19V T _j = 25 °C | | 2 | 90 | |
| Load Regulation | ΔV _o | I _o = 5mA to 1.5A, 25 °C | | 12 | 180 | mV |
| | | I _o = 250mA to 750mA, 25 °C | | 4 | 90 | |
| Ripple Rejection | RR | V _i = 12V to 19V, f = 120Hz | 55 | 70 | | dB |
| Output Noise Voltage | V _n | F = 10Hz to 100Hz T _j = 25 °C | | 60 | | μV |
| Dropout Voltage | V _o | T _j = 25 °C | | 2.0 | | V |
| Quiescent Current | | T _j = 25 °C | | 4.3 | 8 | mA |
| Quiescent Current Change | ΔI _o | V _i = 11.5V to 27V, T _j = 25 °C | | | 1.0 | mA |
| | | I _o = 5mA to 1A, T _j = 25 °C | | | 0.5 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- High Performance, Low Power AVR, 8-Bit Microcontroller
- 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 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C_{min}
 - 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
- 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
- IO 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 for ATmega48P/88P/168PV
 - 2.7 - 5.5V for ATmega48P/88P/168P
 - 1.8 - 5.5V for ATmega328P
- Temperature Range:
 - -40 °C to 85°C
- Speed Grade:
 - ATmega48P/88P/168PV: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V
 - ATmega48P/88P/168P: 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
 - ATmega328P: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48P/88P/168P:
 - Active Mode: 0.3 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.8 µA (Including 32 kHz RTC)



**8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega48P/V
ATmega88P/V
ATmega168P/V
ATmega328P**

**Preliminary
Summary**

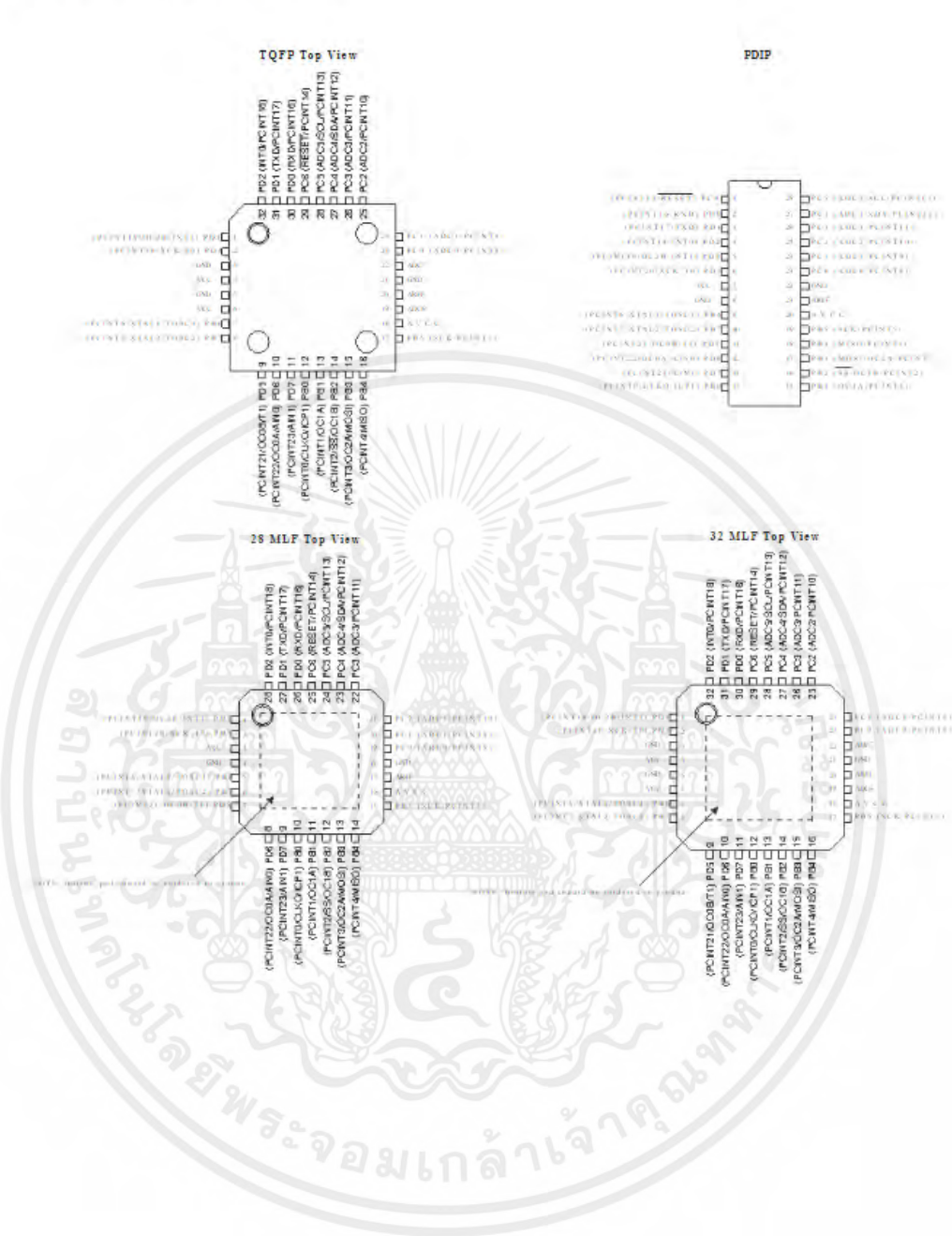
Rev. 5025FS-AVR-08/05



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48P/88P/168P/328P



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ATmega48P/88P/168P/328P

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 26.

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 28-3 on page 520. 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.



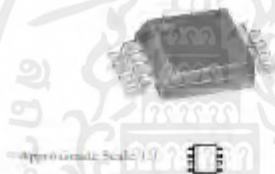
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 7 μ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_s = 25^\circ\text{C}$, and 4% at -40°C to 85°C
- Small footprint, low-profile SOIC-8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV RMS voltage isolation from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratio-metric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale (1:1)

Description

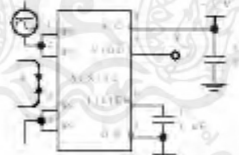
The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope (V_{OUT}↑) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page.

Typical Application



Amplitude: 1.16 A V_{OUT} output is unipolar and V_{OUT} that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM111, LM211, LM311 DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBE

SLCS807H - SEPTEMBER 1973 - REVISED AUGUST 2003

D Fast Response Times

D Strobe Capability

D Maximum Input Bias Current... 300 nA

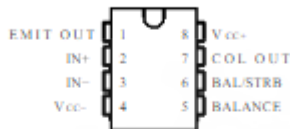
D Maximum Input Offset Current... 70 nA

D Can Operate From Single 5-V Supply

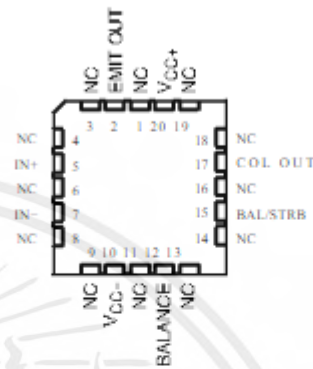
D Available in Q-Temp Automotive

- High-Reliability Automotive Applications
- Configuration Control/Print Support
- Qualification to Automotive Standards

LM111 ...JG PACKAGE
LM211 ... D, P, OR PW PACKAGE
LM311 ... D, P, PS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



LM111 ...FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

description/ordering information

The LM111, LM211, and LM311 are single high-speed voltage comparators. These devices are designed to operate from a wide range of power-supply voltages, including ± 15 -V supplies for operational amplifiers and 5-V supplies for logic systems. The output levels are compatible with most TTL and MOS circuits. These comparators are capable of driving lamps or relays and switching voltages up to 50 V at 50 mA. All inputs and outputs can be isolated from system ground. The outputs can drive loads referenced to ground, V_{CC+} or V_{CC-} . Offset balancing and strobe capabilities are available, and the outputs can be wire-OR connected. If the strobe is low, the output is in the off state, regardless of the differential input.



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. The products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ - นามสกุล

นายพุทธิญาณ ทองจีนสังข์

วัน เดือน ปี

24 พฤษภาคม 2543

ที่อยู่

407 ม.2 ต.หนองพลับ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์
77110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2561 มัธยมศึกษาตอนปลาย
สายวิทย์-คณิต โรงเรียนหนองพลับวิทยา
Tel. 0624650595
Email. 6201012@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้