

ระบบจ่ายไฟจากแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

(Small power supply system from solar cell)



ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจ่ายไฟจากแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

(Small power supply system from solar cell)

โดย

จักรรินทร์ การภา

เจษฎาพร ร่วมชาติ

ศุจิวรรษ สวงนสุทธิ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบจ่ายไฟจากแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

Small power supply system from solar cell

ผู้จัดทำ นายจักรรินทร์ การภา รหัสประจำตัว 62010107

นายเจษฎาพร ร่วมชาติ รหัสประจำตัว 62010140

นายศุภจิรราช สงวนสุทธิ รหัสประจำตัว 62010886

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ ระบบจ่ายไฟจากแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

| | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|----------|
| นักศึกษา | นายจักรรินทร์ การภา | รหัสประจำตัว | 62010107 |
| | นายเจษฎาพร ร่วมชาติ | รหัสประจำตัว | 62010140 |
| | นายศุภจิรราช สงวนสุทธิ | รหัสประจำตัว | 62010886 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ | | |
| ปีการศึกษา | 2565 | | |
| อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ | ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว | | |

บทคัดย่อ

ในโครงการเล่มนี้จะจัดทำเกี่ยวกับการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กภายในบ้าน โดยหลักๆจะประกอบไปด้วยแผง Solar cell วงจร Charger Solar แบตเตอรี่ 12 V วงจร Inverter และหม้อแปลง Step up โดยจะมีหลักการทำงานโดยเริ่มจากใช้ Solar cell ในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า และนำไปต่อเข้ากับวงจร Charger Solar เพื่อสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปชาร์จเข้ากับแบตเตอรี่ 12 V จากนั้นจะนำแบตเตอรี่ต่อเข้ากับวงจร Inverter เพื่อเปลี่ยนจากกระแส DC เป็น AC และส่งต่อไปยังหม้อแปลง Step up เพื่อเพิ่มแรงดันเป็น 220 V และจึงสามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|------------------------|---|------------|----------------------|
| Project Title | Small power supply system from solar cell | | |
| Student | Mr. Jakkarin | Karnpa | Student ID. 62010107 |
| | Mr. Jesadaporn | Rouamchart | Student ID. 62010140 |
| | Mr. Sujiwat | Sanguansut | Student ID. 62010886 |
| Degree | Bachelor of Engineering | | |
| Program | Electronics Engineering | | |
| Year | 2022 | | |
| Project Advisor | Asst. Prof. Seangrawee Buakaew | | |

ABSTRACT

In this project, this book will be prepared about converting light energy into electrical energy for use with home appliances. It mainly consists of Solar cell panel, Solar charger circuit, 12 V battery, Inverter circuit and Step up transformer. The working principle starts from using Solar cell to convert light energy into electrical energy. And connected to the Charger Solar circuit to be able to bring the electrical energy to charge the 12 V battery, then connect the battery to the inverter circuit to change from DC to AC current and send it to a step up transformer to increase The voltage is 220 V and can therefore be used.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการระบบจ่ายไฟจากแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก(Small power supply system from solar cell)นี้ สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้วอาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูง ที่คอยให้คำแนะนำตลอดการทำงานและความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ รวมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำโครงการในครั้งนี้เป็นอย่างดี อีกทั้งให้คำปรึกษาและติดตามดูแลมาโดยตลอดในการทำโครงการครั้งนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด และรุ่นพี่ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือ ช่วยกันแก้ไขปัญหาต่างๆ ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงคณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจและผู้นำ ผลงานนี้ไปใช้งานได้ไม่มากนัก

จักรรินทร์ การภา
 เจษฎาพร ร่วมชาติ
 ศุจิวรรษ สวงสุทธิ

สารบัญ

| | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VII |
| สารบัญรูป..... | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 1 |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... | 1 |
| 1.4 ขอบเขตในการวิจัย..... | 2 |
| 1.4.1 ประเภทของแหล่งจ่าย..... | 2 |
| 1.4.2 ขอบเขตเวลา..... | 2 |
| 1.4.3 ขอบเขตการศึกษา..... | 2 |
| 1.4.4 สถานที่..... | 2 |
| 1.4.5 อุปกรณ์..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี | 4 |
| 2.1 โซลาร์เซลล์ (solar cell) | 4 |
| 2.1.1 โครงสร้างของโซลาร์เซลล์ (solar cell) | 4 |
| 2.1.2 ลักษณะการทำงานของโซลาร์เซลล์ | 4 |
| 2.1.3 การเชื่อมต่อแผงโซลาร์เซลล์..... | 6 |
| 2.1.4 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์..... | 7 |
| 2.1.4.1 Mono crystalline หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว..... | 7 |
| 2.1.4.2 Poly crystalline หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก..... | 7 |
| 2.1.4.3 Amorphous silicon หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส..... | 8 |
| 2.1.5 การใช้งานโซลาร์เซลล์..... | 9 |
| 2.1.5.1 ระบบติดตั้งแบบอิสระ (Stand-alone system)..... | 9 |
| 2.1.5.2 ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย..... | 10 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|----|
| 2.1.5.3 ระบบติดตั้งแบบผสมผสาน (Hybrid system)..... | 10 |
| 2.1.6 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของโซลาร์เซลล์..... | 11 |
| 2.1.6.1 ความเข้มของแสง กระแสไฟ (Current)..... | 12 |
| 2.1.6.2 อุณหภูมิ กระแสไฟ (Current) | 12 |
| 2.2 เครื่องชาร์จพลังงานแสงอาทิตย์..... | 13 |
| 2.2.1 ประเภทตามลักษณะหลักการทำงานของโซล่าชาร์จเจอร์..... | 13 |
| 2.2.1.2 MPPT (Maximum Power Point Tracking) | 13 |
| 2.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)..... | 14 |
| 2.3.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คืออะไร?..... | 15 |
| 2.3.2 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์..... | 15 |
| 2.3.3 โครงสร้างภายในของ Inverter..... | 15 |
| 2.3.4 ประเภทของอินเวอร์เตอร์..... | 17 |
| 2.3.4.1 อินเวอร์เตอร์แบบ Grid Tie Inverter..... | 17 |
| 2.3.4.2 อินเวอร์เตอร์แบบ Micro Grid Inverter..... | 17 |
| 2.3.4.3 อินเวอร์เตอร์แบบ Pure Sine Wave..... | 17 |
| 2.3.4.4 อินเวอร์เตอร์แบบ Modify Sine Wave..... | 18 |
| 2.3.4.5 อินเวอร์เตอร์แบบ Hybrid..... | 18 |
| 2.3.5 Inverter ได้นำไปใช้ในระบบงานต่างๆ เช่น..... | 19 |
| 2.4 CD4047..... | 20 |
| 2.4.1 คุณสมบัติของ CD4047..... | 21 |
| 2.4.2 ข้อมูลจำเพาะของ CD4047..... | 21 |
| 2.5 LM317T..... | 22 |
| 2.5.1 ลักษณะทางเทคนิคที่โดดเด่น..... | 23 |
| 2.6 MOSFET..... | 23 |
| 2.6.1 โครงสร้างของ MOSFET..... | 23 |
| 2.6.2 ประเภทของ MOSFET..... | 24 |
| 2.6.3 การทำงานของ MOSFET..... | 24 |
| 2.6.4 สัญลักษณ์แทน MOSFET..... | 24 |
| 2.7 Arduino Uno R3..... | 25 |
| 2.7.1 ข้อมูลจำเพาะ..... | 26 |
| 2.8 PZEM-004t..... | 27 |
| 2.8 CT Sensor | 28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|----|
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการงาน..... | 29 |
| 3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือโปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินโครงการงาน..... | 29 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน..... | 30 |
| 3.3 ลักษณะการทำงาน..... | 31 |
| 3.3.1 การออกแบบวงจร Schematic..... | 32 |
| 3.3.2 การออกแบบ PCB..... | 33 |
| 3.3.3 รูปวงจรทั้งหมด..... | 34 |
| 3.4 การทำงานของวงจร..... | 35 |
| 3.4.1 การทำงานของวงจรทั้งหมด..... | 35 |
| 3.4.1.1 คำนวณ Load..... | 35 |
| 3.4.1.2 คำนวณ แบตเตอรี่..... | 35 |
| 3.4.1.3 คำนวณกระแสที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่..... | 35 |
| 3.4.1.4 คำนวณเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่..... | 36 |
| 3.4.1.5 คำนวณ ขนาดแผงโซลาร์เซลล์..... | 36 |
| 3.4.1.6 คำนวณ Solar Charge..... | 36 |
| 3.4.1.7 การทำงานของวงจร Inverter..... | 36 |
| 3.4.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจร..... | 37 |
| 3.4.2.1 IC CD4047..... | 37 |
| 3.4.2.2 Filter..... | 37 |
| 3.4.2.3 Mosfet..... | 37 |
| 3.4.2.4 I/V ในวงจร..... | 37 |
| 3.4.2.5 Transformer..... | 38 |
| 3.4.2.6 Diode..... | 38 |
| 3.4.2.7 Battery High and Low Voltage..... | 38 |
| 3.4.2.8 Transistor..... | 38 |
| 3.5 Flow Chart..... | 38 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง..... | 40 |
| 4.1 การทดลองพัลส์ของสัญญาณอินเวอร์เตอร์..... | 40 |
| 4.2 ทดลองต่อวงจร Charger Battery เข้ากับ Solar cell เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ 12V..... | 41 |
| 4.3 การทดลอง Solar Charger กับ แผงวงจรโซลาร์เซลล์..... | 41 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|----|
| 4.4 ผลการวัดเทียบแรงดันของหลอดไฟ 1 หลอดด้วย Pzem-004t กับ Multimeter..... | 42 |
| 4.4.1 ตารางการทดลองต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ..... | 42 |
| 4.4.2 รูปทดลองต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ..... | 43 |
| 4.5 ผลการทดลองต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ และวัดผลโดย Pzem-004t..... | 44 |
| 4.5.1 ตารางการทดลองต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ..... | 44 |
| 4.5.2 รูปการทดลองต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ..... | 44 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | 46 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 46 |
| 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง..... | 46 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 47 |
| ภาคผนวก | |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | | |
|--------------|--|----|
| ตารางที่ | | |
| หน้า | | |
| ตารางที่ 3.1 | คำนวณ Load..... | 35 |
| ตารางที่ 3.2 | คำนวณ Inverter..... | 37 |
| ตารางที่ 4.1 | การทดลองพัลส์ของสัญญาณอินเวอร์เตอร์..... | 40 |
| ตารางที่ 4.2 | การทดลอง Solar Charger กับ แผงวงจรถือเซลล์..... | 41 |
| ตารางที่ 4.3 | ตารางผลการวัดเทียบแรงดันของ Pzem-004t กับ Multimeter..... | 42 |
| ตารางที่ 4.4 | ตารางผลการทดลองที่ 4.4 การทดลองใช้งานแบตเตอรี่ 12V กับหลอดไฟฟ้า..... | 44 |
| ตารางที่ 4.5 | ค่าต่างๆในผลการทดลอง..... | 44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 การผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์..... | 5 |
| รูปที่ 2.2 การนำเซลล์หลายๆตัวมาต่อรวมกันในแผงโซลาร์เซลล์..... | 5 |
| รูปที่ 2.3 การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบอนุกรม..... | 6 |
| รูปที่ 2.4 การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบขนาน..... | 6 |
| รูปที่ 2.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline..... | 7 |
| รูปที่ 2.6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly crystalline..... | 8 |
| รูปที่ 2.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous silicon..... | 8 |
| รูปที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบอิสระ..... | 9 |
| รูปที่ 2.9 แบบเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย..... | 10 |
| รูปที่ 2.10 รูปแบบเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบผสมผสาน..... | 11 |
| รูปที่ 2.11 โซลาร์ชาร์จเจอร์แบบ PWM และ MPPT..... | 14 |
| รูปที่ 2.12 อินเวอร์เตอร์..... | 14 |
| รูปที่ 2.13 อินเวอร์เตอร์แบบ Grid Tile Inverter..... | 17 |
| รูปที่ 2.14 อินเวอร์เตอร์แบบ Micro Grid Inverter..... | 17 |
| รูปที่ 2.15 อินเวอร์เตอร์แบบ Pure Sine Wave..... | 18 |
| รูปที่ 2.16 อินเวอร์เตอร์แบบ Modify Sine Wave..... | 18 |
| รูปที่ 2.17 อินเวอร์เตอร์แบบ Hybrid..... | 19 |
| รูปที่ 2.18 CD4047..... | 21 |
| รูปที่ 2.19 LM317T..... | 22 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 2.20 MOSFET..... | 23 |
| รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ในทางดิจิทัลของ MOSFET..... | 25 |
| รูปที่ 2.22 Arduino Uno R3..... | 25 |
| รูปที่ 2.23 PZEM-004T..... | 27 |
| รูปที่ 2.24 ct sensor..... | 28 |
| รูปที่ 3.1 ลักษณะการทำงาน..... | 31 |
| รูปที่ 3.2 วงจร Inverter..... | 32 |
| รูปที่ 3.3 วงจร Battery Charger..... | 32 |
| รูปที่ 3.4 PCB วงจร inverter..... | 33 |
| รูปที่ 3.5 PCB วงจร Solar Charger..... | 33 |
| รูปที่ 3.6 รูปวงจร Inverter..... | 34 |
| รูปที่ 3.7 รูปวงจร Charger Battery..... | 34 |
| รูปที่ 3.8 Flowchart ของ Charger Battery..... | 38 |
| รูปที่ 3.9 Flowchart ของ Inverter..... | 39 |
| รูปที่ 4.1 กราฟสัญญาณพัลส์เมื่อเราหมุน RP ไปทางขวาสุด..... | 40 |
| รูปที่ 4.2 กราฟสัญญาณพัลส์เมื่อเราหมุน RP ไปทางซ้ายสุด..... | 40 |
| รูปที่ 4.3 ทดลองต่อวงจร Charger Battery เข้ากับ Solar cell เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ 12V LED..... | 41 |
| รูปที่ 4.4 ผลการวัดเทียบแรงดันของ Pzem-004t กับ Multimeter..... | 43 |
| รูปที่ 4.5 วงจร Inverter ยังไม่ได้ต่อเข้ากับโหลด..... | 44 |
| รูปที่ 4.6 ต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ 1 หลอด..... | 45 |
| รูปที่ 4.7 ต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ 2 หลอด..... | 45 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งสำหรับการดำรงชีวิตประจำวันของประชาชน เพราะเป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม การค้าและการคมนาคมต่างๆ ไฟฟ้าเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างนอกจากได้แสงสว่างเวลาค่ำคืนแล้ว ยังให้ความร้อนในการหุงต้ม และให้พลังงานเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆอีกด้วย แต่กว่าจะมาเป็นไฟฟ้าให้เราใช้นั้น ก็จะต้องมีการผลิตไฟฟ้า ซึ่งแหล่งการผลิตไฟฟ้านั้นก็มีมากมาย อาทิเช่น การใช้พลังงานน้ำในการผลิตไฟฟ้า การใช้พลังงานแสงผลิตไฟฟ้า หรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และอื่นๆ

และในปัจจุบันนั้นประเทศไทยของเราเป็นเมืองร้อนไฟส่องถนนส่วนใหญ่จะใช้เป็นพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุดและเป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใดๆอันทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พวกเราได้เห็นความสำคัญดังกล่าวจึงได้เล็งเห็นว่าการนำโซลาร์เซลล์มาประยุกต์เพื่อผลิตไฟฟ้า และใช้ระบบ IOT ในการควบคุม ที่จะสามารถจ่ายไฟในระบบสูงให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของระบบโซลาร์เซลล์และเข้าใจหลักการทำงาน
- 1.2.2 เพื่อนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาระบบโซลาร์เซลล์ไปประยุกต์ใช้
- 1.2.3 เพื่อนำความรู้เรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมในการรับส่งข้อมูล

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 นำโซลาร์เซลล์มาเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า และนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้
- 1.3.2 สามารถประหยัดค่าไฟจากปกติให้เหลือน้อยลงกว่าเดิมได้
- 1.3.3 สามารถนำค่าผลลัพธ์ต่างๆมาแสดงผลบนหน้าจอได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 เนื้อหาที่ใช้ในการศึกษา

1.4.1.1 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

1.4.1.2 หลักการทำงานของ inverter

1.4.1.3 หลักการทำงานของเซนเซอร์ที่ใช้

1.4.1.4 หลักการการเขียนโปรแกรมเพื่อรับและแสดงข้อมูล

1.4.1.5 หลักการทำงานของ Solar charge

1.4.2 สถานที่

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีความรู้ในหลักการการใช้งานโซลาร์เซลล์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า

1.5.2 เข้าใจหลักการทำงานของเซนเซอร์

1.5.3 ช่วยฝึกทักษะการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า และการวางแผน

1.6 อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือโปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

| | | |
|--------------------------------|---|---------|
| 1.6.1 Solar cell | 1 | อัน |
| 1.6.2 Battery | 1 | ก้อน |
| 1.6.3 วงจร Inverter | 1 | วงจร |
| 1.6.4 วงจร Solar charge | 1 | วงจร |
| 1.6.5 ขาดั้งแผงโซลาร์เซลล์ | 4 | อัน |
| 1.6.6 Arduino UNO R3 | 1 | อัน |
| 1.6.7 คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล | 1 | เครื่อง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-------------------------------------|---|------|
| 1.6.8 CT Sensor | 1 | อัน |
| 1.6.9 หลอดไฟ | 3 | หลอด |
| 1.6.10 หม้อแปลง Step up 12V to 220V | 1 | ลูก |
| 1.6.11 ขาดั้ง Board | 5 | ชุด |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 โซลาร์เซลล์ (solar cell)

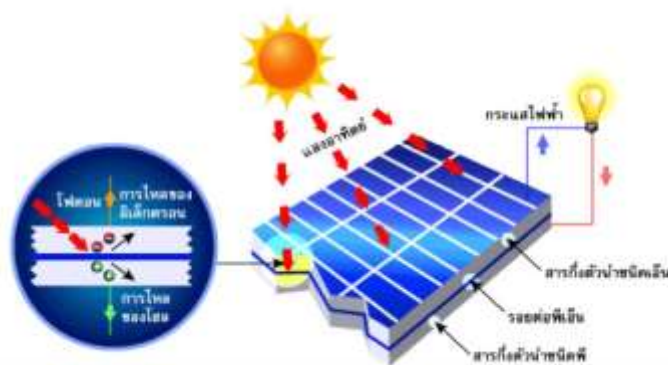
โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็น อุปกรณ์สำหรับ เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พบว่ากำลังไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ จะมีประสิทธิภาพการผลิต กำลังไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมใน การนำโซลาร์เซลล์มาใช้ผลิตกำลังไฟฟ้า

2.1.1 โครงสร้างของโซลาร์เซลล์ (solar cell)

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถลุง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่ได้รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

2.1.2 ลักษณะการทำงานของโซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน ไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovotataic Effect) ในสารกึ่งตัวนำ โดยโซลาร์เซลล์ จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ P และสารกึ่งตัวนำ N เมื่อโซลาร์เซลล์ได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอ จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นถ้ามีการเชื่อมต่อระหว่างผิวทั้งสองของโซลาร์เซลล์ จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบ ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.1 การผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์

(ที่มา <https://www.epco.co.th/departmentofenergybusiness.php>)

โดยปกติแล้วในแต่ละเซลล์ (Cell) ซึ่งเป็นตัวแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า กระแสตรงนั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.6 - 0.7 V ทำให้ในการใช้จริงจะต้องมีการต่ออนุกรม เซลล์หลายๆตัวเข้าด้วยกันทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นและหากต้องการกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการต่อขนานกันซึ่งการต่อขนานหรืออนุกรมเข้าด้วยกันนั้นเป็นการเพิ่ม กำลังไฟฟ้าในแผงโซลาร์เซลล์ในแผงก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งการต่อเซลล์หลายๆตัว รวมกันในแผงนั้นเราจะเรียกว่า แผงโซลาร์เซลล์ หรือที่เรียกในภาษาอังกฤษอีกชื่อหนึ่งว่า Photovoltaic Module (PV) โดยหน่วยที่ใช้เรียกจำนวนแผงโซลาร์เซลล์นั้นคือ แผงหรือโมดูล (Module)



รูปที่ 2.2 การนำเซลล์หลายๆตัวมาต่อรวมกันในแผงโซลาร์เซลล์

(ที่มา <https://medium.com/@Horizoniiz/พลังงานแสงอาทิตย์-solar-cell-b19fe1af3e5c>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การเชื่อมต่อแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์ในแต่ละแผง (Module) นั้นจะประกอบไปด้วยเซลล์ (Cell) หลายๆตัว อนุกรมหรือขนานกันภายในแผงโซลาร์เซลล์ แต่อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตด้วยแผงโซลาร์เซลล์ 1 แผงอาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งานในระบบเพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องนำแผงโซลาร์เซลล์มาต่อกัน

การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบอนุกรม คือนำขั้วบวกของโซลาร์เซลล์แผงหนึ่งมาต่อกับขั้วลบอีกแผงหนึ่งไปเรื่อยๆ จนได้แรงดันตามระบบที่ออกแบบไว้ การต่อแบบอนุกรมนี้จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแต่กระแสในระบบจะเท่าเดิม



รูปที่ 2.3 การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบอนุกรม

(ที่มา <https://solarcelleng.com/การต่อเพิ่มแผง-pv/>)

การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบขนาน คือนำขั้วบวกของโซลาร์เซลล์แผงหนึ่งไปต่อกับขั้วบวกของโซลาร์เซลล์อีกแผงหนึ่ง และนำขั้วลบแผงหนึ่งไปต่อกับขั้วลบอีกแผงหนึ่ง การต่อแบบนี้จะทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแต่แรงดันเท่าเดิม



รูปที่ 2.4 การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบขนาน

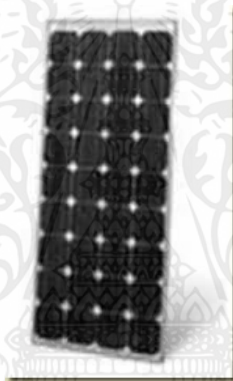
(ที่มา <https://solarcelleng.com/การต่อเพิ่มแผง-pv/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์

2.1.4.1 Mono crystalline หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สร้างโดยการนำเอาซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมากถึง 99.999% ไปหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงถึง 1500 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว) จากผลึกตั้งต้น (Seed crystal) ด้วยเทคโนโลยีการดึงผลึก คุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมากต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อไปก็จะนำแท่งผลึกเดี่ยวนี้ไปตัดเป็นแผ่น ๆ เรียกว่า เวเฟอร์ หนาประมาณ 300 ไมโครเมตร และขัดความเรียบของผิว จากนั้นก็จะนำไปเจือสารที่จำเป็นในการทำให้เกิดเป็น p-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีการ diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1000 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นก็จะเป็นขั้นตอนการทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้ และขั้นสุดท้ายก็จะเป็นการเคลือบฟิล์มผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline

(ที่มา <https://thanchaging.wordpress.com/โครงการปัญหาพิเศษ/บทที่2-ทฤษฎีและงานวิจัย/>)

2.1.4.2 Poly crystalline หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก

เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึกได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ซิลิคอนแบบหลายผลึกก็คือก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็ก ๆ (ขนาดระดับไมโครเมตร-มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิคอน การผลิตแบบ cast โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมละลายเข้าไปใน crucible แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้า ๆ ซึ่งก็จะได้ก้อน ingot ของซิลิคอนหลายผลึกที่มีรูปร่างตาม crucible ที่ใช้ หลังจากนั้นการนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะคล้ายกับกรณีของแบบผลึกเดี่ยว คือนำไปตัดเป็นเวเฟอร์หนาขนาด 300-400 ไมโครเมตร แล้วก็ทำ p-n junction ต่อไป การสร้างแผ่นซิลิคอนหลายผลึกที่จะใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงจากสารหลอมเหลวของซิลิคอน เรียกว่าวิธีนี้ว่า ribbon โดยวิธีนี้จะช่วยลดขั้นตอนที่จะต้องหั่นเป็นแผ่นเวเฟอร์ในกรณีที่ใช้ ingot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly crystalline

(ที่มา <https://thanchaging.wordpress.com/โครงการงานปัญหาพิเศษ/บทที่2-ทฤษฎีและงานวิจัยท/>)

2.1.4.3 Amorphous silicon หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส

เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง โดยจะเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบางไม่ใช่เวเฟอร์ เราจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรองโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่มีซิลิคอนติดอยู่ เช่น ก๊าซไซเลน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ และตรงบริเวณที่วางแผ่นฐานรองก็จะมีการกระตุ้น เช่น โดยพลาสมาเพื่อส่งพลังงานให้ซิลิคอนแยกตัวออกจากก๊าซเข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นแก้ว หรือพลาสติก ที่ได้ทำการเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน โดยมีอุณหภูมิบนแผ่นฐานรองประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ซิลิคอนจะทับถมสะสมบนแผ่นเกิดเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในขั้นตอนนี้หากเราใส่ก๊าซที่มีโบรอน เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วย เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด p และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสเฟต เช่น PH_3 เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด n ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้เราสามารถควบคุมการไหลของก๊าซเพื่อสร้างให้เกิดชั้นของ pin อะมอร์ฟัสซิลิคอนขึ้นได้อย่างค่อนข้างง่ายดาย หลังจากได้ pin แล้ว เราก็จะสร้างส่วนของขั้วไฟฟ้าให้เสร็จเป็นเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous silicon

(ที่มา <https://thanchaging.wordpress.com/โครงการงานปัญหาพิเศษ/บทที่2-ทฤษฎีและงานวิจัยท/>)

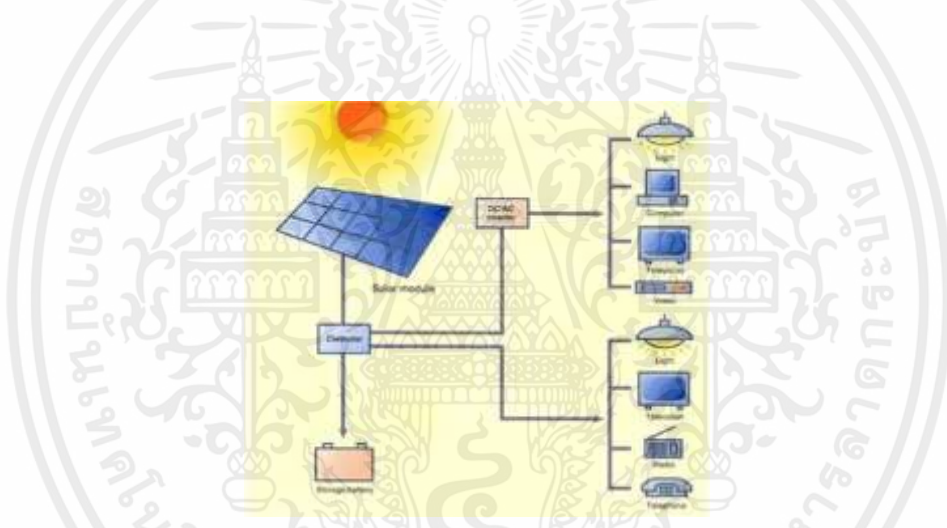
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การใช้งานโซลาร์เซลล์

การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีรูปแบบที่หลากหลายต่างกัน แต่ทั้งหมดจะมีรูปแบบการใช้งานหลัก ๆ อยู่ 3 รูปแบบ ดังนี้

2.1.5.1 ระบบติดตั้งแบบอิสระ (Stand-alone system)

เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าเข้าถึง หลักการทำงานของระบบติดตั้งแบบอิสระ แบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน โดยในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้รับแสงแดดจะ สามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อม ๆ กัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดด จึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้นพลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด จึงกล่าวได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบอิสระนี้ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน



รูปที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบอิสระ

(ที่มา <https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/kar-phlit-fifa-dwy-sell-saeng-xathity>)

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่
- แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อไว้ใช้ในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เช่น กรณีที่ฟ้า ครึ้ม หรือตอนกลางคืน
- เครื่องแปลงไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับเครื่องใช้ ไฟฟ้า เช่น หากเครื่องใช้ไฟฟ้าต้องการไฟฟ้าที่แรงดัน 220Vac 50Hz เครื่องแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220Vac 50Hz เพื่อให้สามารถใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ เป็นต้น ส่วนในกรณีที่เครื่องใช้ไฟฟ้าต้องการ แรงดันกระแสตรง ก็สามารถใช้งานโดยตรงจากแบตเตอรี่ได้เลย

2.1.5.2 ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (Grid connected system)

เป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน การลงทุนไม่สูงมากเท่าแบบติดตั้งอิสระ แต่ต้องติดตั้งในพื้นที่ที่มีระบบสายส่งไฟฟ้าอยู่แล้ว ระบบนี้จะไม่มีการเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ ผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แล้วก็จ่ายเข้าระบบได้เลย ทำให้ช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของการดูแลรักษาแบตเตอรี่ แต่หากระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง ระบบนี้ก็จะหยุดจ่ายกระแส ไฟฟ้าเข้าระบบด้วย เนื่องจากเป็นมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับช่างไฟฟ้าที่จะซ่อมบำรุงระบบ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่บังคับใช้ทั่วโลก

รายละเอียดของระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย ประกอบด้วย

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องแปลงกระแสสลับชนิดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้จากชุดแผง เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดและแรงดันเท่ากับระบบไฟฟ้าหลัก เช่น ระบบ ไฟฟ้าหลักมีแรงดัน 220Vac 50Hz ก็จะต้องใช้เครื่องแปลงไฟฟ้าเป็นรุ่นที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 220Vac 50Hz ด้วย ซึ่งระบบแบบต่อร่วมระบบจำหน่ายนี้มีการติดตั้งใช้งานกันมากในปัจจุบันเนื่องจากมีการส่งเสริมจากทางภาครัฐ ทำให้ในปัจจุบันจะเห็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ต่างๆ กันมาก



รูปที่ 2.9 แบบเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

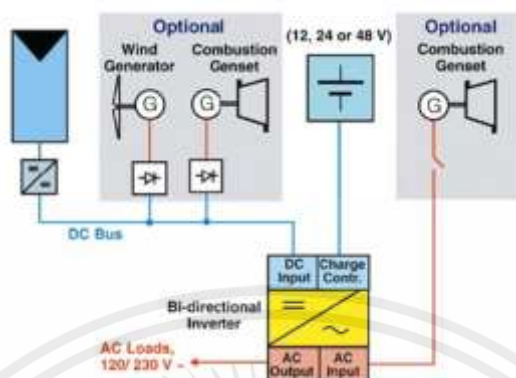
(ที่มา <https://thanchaging.wordpress.com/โครงการงานปัญหาพิเศษ/บทที่2-ทฤษฎีและงานวิจัยท/>)

2.1.5.3 ระบบติดตั้งแบบผสมผสาน (Hybrid system)

เป็นระบบซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ตามเกาะต่าง ๆ และเหมาะสำหรับออกแบบให้เป็นแหล่งไฟฟ้าหลักได้เลย เนื่องจากจะใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหลาย ๆ แหล่งมาช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายกระแสไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพมากขึ้น เช่น มีแหล่ง จ่ายจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากชุด กังหันลมผลิตไฟฟ้า จากชุดเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.10 รูปแบบเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบผสมผสาน

(ที่มา <https://thanchaging.wordpress.com/โครงการปัญหาพิเศษ/บทที่2-ทฤษฎีและงานวิจัย/>)

รายละเอียดของระบบติดตั้งแบบผสมผสาน ประกอบด้วย

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่
- แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อไว้ในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เช่น กรณีที่ฟ้า ครึ้ม หรือตอนกลางคืน
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิด 2 ทิศทาง จะทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสสลับเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า และในขณะเดียวกันหากแรงดันชุดแบตเตอรี่ต่ำลง หรือไม่มีแสงอาทิตย์สำหรับประจุลงแบตเตอรี่ เครื่องแปลงก็จะ ทำหน้าที่ในการเป็นเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยอัตโนมัติ เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ที่จ่ายกระแสเข้ามาและเมื่อเครื่องยนต์ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์เครื่องแปลงไฟฟ้าทำการประจุไฟฟ้าจนแบตเตอรี่เต็มแล้ว เครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าก็จะหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์เครื่องแปลงไฟฟ้าก็จะกลับมาทำหน้าที่ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยอัตโนมัติทันที ทำให้ระบบสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

2.1.6 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของโซลาร์เซลล์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบ หรือคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.1 ความเข้มของแสง กระแสไฟ (Current)

จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 W ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 750 W ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2.1.6.2 อุณหภูมิ กระแสไฟ (Current)

จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V ($21\text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21\text{V} - 0.525\text{V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.2 เครื่องชาร์จพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar charger)

โซล่าชาร์จเจอร์ถือเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวหนึ่งที่มีคุณสมบัติคอยควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ลงสู่แบตเตอรี่ ของระบบโซล่าเซลล์เพื่อเก็บกระแสไฟเพื่อนำมาใช้งานตามที่เรากำหนดไว้ ซึ่งโซล่าชาร์จเจอร์ทั่วไป จะมีหลักการทำงานหรือหน้าที่ จ่ายกระแสไฟเมื่อแรงดันแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำตามที่แต่ละยี่ห้อตั้งค่ามา และทำการตัดการจ่ายกระแสไฟเพื่อไปประจุยังแบตเตอรี่เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่สูงตามที่ได้กำหนดไว้เหมือนกัน เพื่อป้องกันการ Over Charge ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและเสื่อมอายุก่อนเวลาอันควร ทำให้ใช้งานได้ไม่คุ้มค่าตัวของมันเอง

คุณสมบัติของโซล่าชาร์จเจอร์โดยทั่วไปในช่วงเวลากลางคืนยังคงคอยปกป้องไม่ให้ไฟจากแบตเตอรี่ย้อนขึ้นไปยังตัวแผงโซล่าเซลล์ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวแผงโซล่าเซลล์อีกด้วย และอีกข้อหนึ่งของโซล่าชาร์จเจอร์ก็คือเป็นตัวสวิตช์อัตโนมัติที่จ่ายไฟให้โหลดเวลาที่ไม่ได้มีแสงมากระทบแผงโซล่าเซลล์

โซล่าชาร์จเจอร์ จะต่อระหว่างแผงโซล่าเซลล์กับแบตเตอรี่และโหลด ทำงานโดยจะดูว่าแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่อยู่ในระดับใด ถ้าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่ตั้งไว้ ตัวเครื่องควบคุมการชาร์จจะทำการปลดโหลดออกจากระบบโดยทันที(Load disconnect)เพื่อป้องกันการคลายประจุของแบตเตอรี่ที่มากเกินไปและอาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็ว นอกจากนี้เครื่องควบคุมการชาร์จก็จะต่อการทำงานของโหลดใหม่(Load reconnect) ถ้าแบตเตอรี่มีค่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นตามที่ตั้งไว้

2.2.1 ประเภทตามลักษณะหลักการทำงานของโซล่าชาร์จเจอร์

2.2.1.1 PWM (Pulse Width Modulation)

หลักการทำงาน คือ ควบคุมความถี่ของคลื่นไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ให้คงที่ ด้วยระบบดิจิทัล (Digital) เพื่อให้ประหยัดพลังงาน และสามารถควบคุมการประจุไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ได้เป็นอย่างดี ทำให้แบตเตอรี่ไม่เสื่อมเร็ว มีฟังก์ชันไฟแสดงสถานะการทำงานที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การทำงานของแผงโซล่าเซลล์/ ระดับการเก็บประจุของแบตเตอรี่ (ไฟเต็ม/ ไฟกลาง/ ไฟน้อย หรือใกล้หมด) / การจ่ายไฟ DC ให้เครื่องใช้ไฟฟ้าDC ที่กำลังต่อเชื่อมวงจร มีระบบการตัดไฟอัตโนมัติ ในกรณีไฟแบตเตอรี่ใกล้หมด เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสีย/ เสื่อมสภาพ เนื่องจากการใช้ไฟเกินกำลัง (Over Charge/ Over Discharge Protection)มี PWM Solar Charge Controller ขนาดต่าง ๆ ตามความต้องการใช้งานตามระดับปริมาณกระแสไฟใช้งานดังต่อไปนี้ 10A 20A 30A 40A 50A 60A และเลือกตามแรงดัน Input ได้แก่ 12V 24V 48V หรือ 96V

2.2.1.2 MPPT (Maximum Power Point Tracking)

หลักการทำงานของตัวนี้ ก็คือ มีระบบไมโครโพรเซสเซอร์ หรือตัวจับสัญญาณ คอยควบคุมดูแลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์ เปรียบเทียบกับแรงดันกระแสในแบตเตอรี่ และเลือกสัญญาณไฟฟ้าที่สูงที่สุดจากแผงเพื่อประจุลงในแบตเตอรี่ให้เต็มที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงหมดห่วงเมื่อใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ ขณะที่สภาพแสงแดดภายนอกไม่คงที่ แสงแดดอ่อน ๆ ในช่วงเช้า/ ช่วงเย็น หรือตอนครึ้ม ๆ ก่อน/หลัง

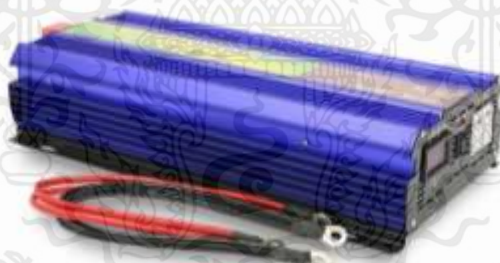
ฝนตก มี MPPT Solar Charge Controller ขนาดต่างๆ ตามความต้องการใช้งานตามระดับปริมาณกระแสไฟ ใช้งาน ดังต่อไปนี้ 10A 20A 30A 40A 50A 60A และเลือกตามแรงดัน Input ได้แก่ 12V 24V 48V หรือ 96V



รูปที่ 2.11 โซล่าชาร์จเจอร์แบบ PWM และ MPPT

(ที่มา <https://www.sunenergytech.com/article/274/หลักการการทำงานของโซล่าชาร์จเจอร์-solar-charge>)

2.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)



รูปที่ 2.12 อินเวอร์เตอร์

(ที่มา <https://www.kachathailand.com/articles/อินเวอร์เตอร์-คืออะไร-ม/>)

หลายคนคงคุ้นกับชื่อของ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือ (Variable Frequency Drive : VFD) เป็นอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ที่มีศักยภาพช่วยลดการใช้พลังงานต่อหน่วยสูง สามารถใช้งานควบคู่ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไป เช่น กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบปั้มน้ำ พัดลม และระบบปรับอากาศขนาดใหญ่

โดยปัจจุบันแนวโน้มการใช้งานมีมากขึ้น ทั้งในระบบอุตสาหกรรมและอาคาร อีกทั้งตัวผลิตภัณฑ์ยังได้รับ “ฉลากประสิทธิภาพสูง” จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะได้สิทธิประโยชน์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดหย่อนภาษี โดยผู้ซื้อทรัพย์สินจะได้รับการยกเว้นภาษีเงิน ได้เป็นจำนวนร้อยละ 25 ของค่าใช้จ่ายดังกล่าว เพราะในระยะยาวแล้วอินเวอร์เตอร์ จะช่วยให้คุณประหยัดค่าใช้จ่ายเรื่องของค่าไฟได้มากถึง 30-50 เปอร์เซ็นต์

2.3.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คืออะไร?

อินเวอร์เตอร์คือ อุปกรณ์ทางไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าตรง เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ โดยไฟฟ้ากระแสตรง ที่จะนำมาทำการเปลี่ยนนั้นมาจาก แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแผงโซลาร์เซลล์ก็ได้ ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มานั้น จะเหมือนกับไฟฟ้าที่ได้จากปลั๊กไฟตามบ้าน โดยอินเวอร์เตอร์ ทำให้ อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ พัดลม หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถใช้ได้กับกระแสไฟฟ้าตรง

2.3.2 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์

โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นไซน์ แต่เอาท์พุทของInverterจะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปไซน์ นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ 3-phase Induction motor

2.3.3 โครงสร้างภายในของ Inverter

1. ชุดคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ แปลงไฟสลับจากแหล่งจ่ายไฟ AC. power supply (50 Hz) ให้เป็นไฟตรง (DC Voltage)
2. ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ แปลงไฟตรง (DC Voltage) ให้เป็นไฟสลับ (AC Voltage) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้
3. ชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์

ตัวอย่างการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ที่พบเห็นได้ในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟสำรอง หรือที่เรียกว่า UPS (Uninterruptible Power Supply) เพื่อแก้ปัญหาไฟเกิน, ไฟตก, ไฟดับ และคลื่นรบกวน ช่วยป้องกันการเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า โดยไฟฟ้าที่สำรองไว้จะเก็บในแบตเตอรี่

ยกตัวอย่าง ถ้ากระแสไฟฟ้าดับ ระบบสำรองไฟจะสวิตช์มาใช้ไฟจากแบตเตอรี่โดยทันที ต่อจากนั้น ไฟฟ้าซึ่งเป็นกระแสตรง จะเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงนั้นให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่คงที่ และถูกต้อง ไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์ก็จะป้อนสู่เครื่องไฟฟ้าทั่วไป โดยที่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ออกมาจะถูกนำไปป้อนกลับมาทำการเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิงค่าหนึ่ง แล้วนำผลจากการเปรียบเทียบไปควบคุมการกำเนิดความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่คงที่และถูกต้อง ตามที่เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องการ

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ถูกนำมาใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ, ตู้เย็น, โทรทัศน์ และระบบเซอร์โวควบคุมมอเตอร์ (Servo Motor) เนื่องจากความต้องการลดการสูญเสียกำลังงานที่สูง โดยเฉพาะขณะเริ่มต้นทำงาน และจากการสูญเสียในแกนเหล็ก และในตัวขดลวด (สำหรับเครื่องเชื่อมแบบมีหมุน และมอเตอร์) ซึ่งการสูญเสียกำลังงานหรือค่าไฟฟ้าเป็นดังนี้คือ

เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเริ่มทำงาน จะมีค่ากระแสลุ่มทำงาน I (Start) สูงกว่า ขณะเดินปรกติถึง 4 – 6 เท่าตัว เช่น มอเตอร์เครื่องปรับอากาศ ที่มีขนาด 220 V ,1 A

$$P_{\text{normal}} = 220\text{V } 1\text{A} = 220\text{W} \quad (2.1)$$

ขณะเริ่มต้นมอเตอร์หรือหม้อแปลงจะดึงกระแสเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กอย่างน้อย 4 เท่าของขณะปรกติ

$$P_{\text{start}} = 220\text{V } (4 \text{ 1A}) = 880\text{W} \quad (2.2)$$

ทำให้ระบบเดิมที่ไม่มีการใช้อินเวอร์เตอร์จะต้องเสียค่าไฟสูงมาก และทำให้ระดับของแรงดันไฟฟ้าในสายไม่เสถียร (Stable) รวมถึงทำให้เกิดแรงดันสไปค์ ขณะหยุดการทำงานซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการเสียหาย หรือบั่นทอนอายุการใช้งานให้สั้นลง

ตัวอย่างปัญหาและการแก้ไข โดยนำอินเวอร์เตอร์ (Inverter) มาใช้งาน

การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ระบบเดิมนั้นจะทำงานติดๆ ดับๆ อยู่บ่อยครั้ง ซึ่งสร้างปัญหากับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ อีกทั้งยังกินไฟสูง จึงได้มีการนำเอาระบบอินเวอร์เตอร์เข้ามาแก้ไข ทำให้มอเตอร์แอร์ทำงานต่อเนื่องไม่มีการติด-ดับ ดังเช่นในระบบเดิม ซึ่งจากการพิสูจน์แล้วพบว่า "การให้มอเตอร์ทำงานต่อเนื่องจะช่วยประหยัดพลังงาน และค่าไฟฟ้าได้มากกว่าการหยุด และเริ่มเดินใหม่อย่างน้อย 1 เท่าตัวขึ้นไป" ซึ่งก็มีหลักการทำงาน ดังนี้ ขณะที่เข้าสู่สถานะการทำงานแล้ว ชุดอินเวอร์เตอร์จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานมากขึ้น (หมุนเร็วขึ้น) โดยการเพิ่มความถี่หรือปรับเปลี่ยน Duty Cycle และขณะสแตนด์บาย หรืออุณหภูมิกังที่ ระบบอินเวอร์เตอร์จะลดการทำงานของมอเตอร์ลง (หมุนช้าลง) แต่ไม่หยุดการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งจะช่วยลดกำลังงานที่ใช้นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ประเภทของอินเวอร์เตอร์

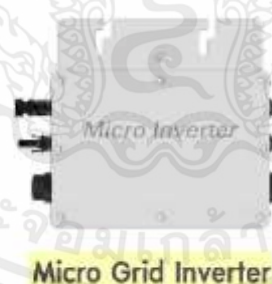
2.3.4.1 อินเวอร์เตอร์แบบ Grid Tile Inverter อินเวอร์เตอร์แบบนี้ จะทำหน้าที่แปลงไฟจากแผงโซลาร์เซลล์ที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นกระแสสลับขนาด 220 โวลต์ สำหรับจ่ายไฟเข้าสู่ตัวอาคารบ้านเรือน และยังมีหน้าที่ช่วยรักษาระดับแรงดันไฟให้มีความเสถียร



รูปที่ 2.13 อินเวอร์เตอร์แบบ Grid Tile Inverter

(ที่มา <https://www.kachathailand.com/articles/อินเวอร์เตอร์-คืออะไร-ม/>)

2.3.4.2 อินเวอร์เตอร์แบบ Micro Grid Inverter ไมโครกริดอินเวอร์เตอร์ หรือ Minigrad มีลักษณะการทำงานคล้ายกับแบบ Grid แต่จะแตกต่างกันเล็กน้อยตรงที่ Minigrad สามารถแปลงกระแสไฟได้ 1 อัน ต่อ 1 แผงโซลาร์เซลล์ ทำให้ช่วยลดการใช้สายไฟ AC ได้



รูปที่ 2.14 อินเวอร์เตอร์แบบ Micro Grid Inverter

(ที่มา <https://www.kachathailand.com/articles/อินเวอร์เตอร์-คืออะไร-ม/>)

2.3.4.3 อินเวอร์เตอร์แบบ Pure Sine Wave เป็นอินเวอร์เตอร์ ที่ช่วยแปลงไฟจากแบตเตอรี่ให้สามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

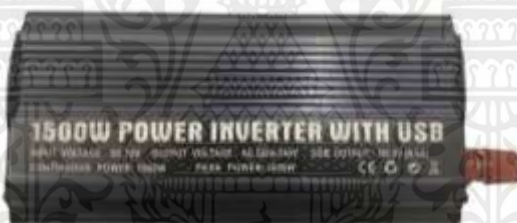


Pure Sine Wave

รูปที่ 2.15 อินเวอร์เตอร์แบบ Pure Sine Wave

(ที่มา <https://www.kachathailand.com/articles/อินเวอร์เตอร์-คืออะไร-ม/>)

2.3.4.4 อินเวอร์เตอร์แบบ Modify Sine Wave มีลักษณะการทำงานเหมือนกับแบบ Pure Sine Wave แต่รุ่มเก๋กว่า และการทำงานไม่มีคุณภาพเท่ากับแบบ Pure Sine Wave



Modify Sine Wave

รูปที่ 2.16 อินเวอร์เตอร์แบบ Modify Sine Wave

(ที่มา <https://www.kachathailand.com/articles/อินเวอร์เตอร์-คืออะไร-ม/>)

2.3.4.5 อินเวอร์เตอร์แบบ Hybrid เป็นอินเวอร์เตอร์ ที่นำเอาคุณสมบัติเด่นของแบบ Grid Tie Inverter และ Minigrad มารวมกับ Pure Sine Wave เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของอินเวอร์เตอร์ให้เพิ่มมากขึ้น หรือเรียกอีกอย่างว่า เป็นอินเวอร์เตอร์แบบลูกผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hybrid

รูปที่ 2.17 อินเวอร์เตอร์แบบ Hybrid

(ที่มา <https://www.kachathailand.com/articles/อินเวอร์เตอร์-คืออะไร-ม/>)

2.3.5 Inverter ได้นำไปใช้ในระบบงานต่างๆ เช่น

1. ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ที่เรียกว่า Stand by power supply หรือ Uninterruptible Power Supplies (UPS) เพื่อใช้ทดแทนในกรณีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดความขัดข้อง
2. ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลักการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อต้องการให้แรงบิด (Torque) คงที่ทุกๆ ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป
3. ใช้แปลงไฟฟ้าจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงชนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อบริการให้แก่ผู้ใช้
4. ใช้ในระบบเตาถลุงเหล็กที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน (Induction heating) ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงในการทำงาน

วิธีเลือกซื้ออินเวอร์เตอร์

1. เลือกขนาดอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสม อินเวอร์เตอร์ที่ขายกันอยู่ในปัจจุบัน มีทั้งอินเวอร์เตอร์ราคาถูกและราคาแพง แต่สิ่งสำคัญในการเลือกซื้อ ไม่ใช่ปัจจัยเรื่องของราคาเพียงอย่างเดียว ควรเลือกซื้ออินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดเหมาะสม โดยให้เลือกซื้อมากกว่า Watt ของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการนำเอาจำนวนวัตต์ทั้งหมดของอุปกรณ์ไฟฟ้ามาบวกกัน เช่น หลอดไฟขนาด 10 วัตต์ และเครื่องซักผ้า 70 วัตต์ (10 วัตต์ + 70 วัตต์ = 80 วัตต์) ดังนั้น ต้องเลือกอินเวอร์เตอร์ขนาดมากกว่า 80 วัตต์ ขึ้นไป ซึ่งถ้าหากเป็นโหลดมอเตอร์จะต้องเผื่อขนาดอินเวอร์เตอร์ให้เพียงพอด้วย เพื่อป้องกันการกระชากของไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือกประเภทของอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ เลือกประเภทของอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ลักษณะการใช้งานและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และคุ้มค่าที่จะลงทุน

3. เลือกอินเวอร์เตอร์ แบรินด์ที่มีความน่าเชื่อถือ ความน่าเชื่อถือของแบรินด์เป็นสิ่งสำคัญ บางครั้งอินเวอร์เตอร์ราคาถูก ที่จำหน่ายภายใต้แบรินด์ที่ไม่มีคุณภาพ อาจเป็นไปได้ว่าอินเวอร์เตอร์ที่คุณซื้อมานั้น ไม่มีคุณภาพ และไม่มีมาตรฐาน อาจทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ในระหว่างการใช้งานได้ อีกทั้งยังไม่มีความทนทาน หรือมีอายุการใช้งานสั้น ดังนั้น ควรพิจารณาจากความน่าเชื่อถือเป็นสิ่งสำคัญ

4. เลือกแบรินด์ที่มีการรับประกัน การรับประกันสินค้าหรือรับประกันอินเวอร์เตอร์ ช่วยให้ผู้ใช้มั่นใจได้ว่าสินค้ามีคุณภาพ ซื้อแล้วเกิดความคุ้มค่า ไม่เสียตายนเงิน หรือถ้าหากเกิดข้อผิดพลาดใด ๆ ขึ้น ก็สามารถนำไปเปลี่ยน นำไปซ่อม ตลอดจนขอคืนเงินได้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการรับประกัน

นอกเหนือจากความสามารถในการแปลงไฟแล้ว อินเวอร์เตอร์ยังช่วยรักษาระดับไฟให้มีความเสถียร ไม่เกิดการไฟตก หรือไฟอ่อน นอกจากนี้ อินเวอร์เตอร์ยังมีความปลอดภัยในการใช้งานสูง และที่สำคัญ อินเวอร์เตอร์บางรุ่น ยังสามารถแสดงผลการแปลงไฟและปริมาณไฟที่จ่ายผ่านแอปพลิเคชันมือถือได้อีกด้วย ถือเป็นก้าวใหม่ของเทคโนโลยีจริง ๆ

2.4 CD4047

4047IC หรือ CD 4047 เป็นตัวทวีป CMOS ตัวเลือกที่มาพร้อมกับตัวทวีคูณนี้อาจเป็นพลังงานต่ำที่สามารถ monostable หรือ astable นอกจากนี้ 4047IC แปลง DC เป็น AC เป็นหลัก นอกจากนี้ยังสร้างคลื่นไซน์และซิงเจอร์

4047IC เป็นหนึ่งในสามตัวแปรที่มีอยู่ในตลาดวันนี้ นอกจากนี้ชิปนี้อยู่ภายใต้หมวดหมู่ที่น่าทึ่งและสามารถจำแนกได้ อย่างไรก็ตามสิ่งนี้เห็นว่าตัวทวีคูณนี้ขาดในหมวดหมู่เดียวเท่านั้น อย่างไรก็ตามหมวดหมู่ที่ 4047IC ขาดอยู่คือหมวดหมู่ multivibrator bistable

ตัวแปรที่มี bistable เป็นที่ที่วงจรมีความเสถียรในทั้งสองสถานะ อย่างไรก็ตามพัลส์ทริกเกอร์ภายนอกสามารถพลิกสถานะของวงจรได้ อย่างไรก็ตามวงจรไม่เสถียรในตัวทวีคูณที่เหมาะสมและสลับจากสถานะหนึ่งอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปจะทำหน้าที่ได้มากหรือน้อยเหมือนออสซิลเลเตอร์ผ่อนคลาย

ในทางกลับกันตัวทวีคูณแบบ monostable มีเพียงหนึ่งสถานะของวงจรที่มีเสถียรภาพในขณะที่อีกสถานะหนึ่งเป็นชั่วคราว โดยสรุปวงจรที่มีตัวทวีคูณแบบ monostable เป็นวงจรหนึ่งนัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนึงถึงทั้งหมดนี้มันเป็นการดีที่จะชี้ให้เห็นว่าช่วงแรงดันไฟฟ้าของ 4047 IC คือ 3V ถึง 18V อย่างไรก็ตามมันทำงานได้ดีที่สุดที่ 5V



รูปที่ 2.18 CD4047

(ที่มา <https://pcbthailand.com/4047-IC.html>)

2.4.1 คุณสมบัติของ CD4047

1. เอาต์พุตบัฟเฟอร์นั้นถูกต้องและสมบูรณ์
2. มันมีลักษณะ O/P ที่สอดคล้องกันและสมมาตร
3. อินพุตของมันจะถูกบัฟเฟอร์
4. ได้รับการทดสอบ 100% สำหรับกระแสที่หยุดนิ่งใน 20V
5. สามารถทำงานในโหมด monostable และ astable
6. ต้องใช้ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานเดียวจากภายนอก
7. 4047IC มีการใช้พลังงานน้อยกว่า
8. โดยทั่วไปมันมีภูมิคุ้มกันที่มีเสียงรบกวนสูง
9. การจัดอันดับพารามิเตอร์คือ 5 โวลต์ 10 โวลต์และ 15 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ข้อมูลจำเพาะของ CD4047

1. สำหรับอินพุตเดี่ยวใด ๆ กระแสอินพุต DC คือ $\pm 10\text{mA}$
2. มีช่วงการทำงานของอุณหภูมิตั้งแต่ $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. ชิป 4047IC มีช่วงการจ่ายอินพุต 3V ถึง 18V
4. ช่วงอุณหภูมิการจับเก็บของ 4047IC คือ $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$
5. อุณหภูมิตะกั่วบัดกรีของมันเป็นคือ $260\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.5 LM317T



รูปที่ 2.19 LM317T

(ที่มา <https://www.hwlibre.com/th/lm317/#:~:text=EL%20LM317%20เป็นที่นิยม>)

ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่สามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ในวงจรได้ มีให้เห็นบ่อยในส่วนประกอบต่างๆเช่นอุปกรณ์จ่ายไฟและอุปกรณ์แปลงไฟ ในกรณีนี้ LM317 เป็นตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าเชิงเส้นแบบปรับได้ขนาดเล็กที่ห่อหุ้มด้วยโล่คล้ายกับที่เราเห็นในกรณีของทรานซิสเตอร์

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือผู้ผลิตมักใช้ LM317 บ่อยๆ สำหรับบางโครงการที่คุณต้องทำงานกับแรงดันไฟฟ้าที่มั่นคงหรือ โดยที่มันเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้าประเภทหนึ่งไปเป็นอีกประเภทหนึ่งๆ ในกรณีเหล่านี้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เสถียรหรือผลกระทบต่อสัญญาณเมื่อเปลี่ยนจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงจะไม่เหมาะสำหรับการจ่ายกระแสไฟตรงหากไม่ได้รับการบำบัดด้วยอุปกรณ์ประเภทนี้มาก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ลักษณะทางเทคนิคที่โดดเด่น

- ประเภทตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้า: ปรับได้
- แรงดันไฟฟ้า: ตั้งแต่ 1.25 ถึง 37v
- กระแสไฟขาออก: 1.5 A
- การป้องกันความร้อนสูงเกินไป
- แพคเกจ: บรรจุภัณฑ์มีหลายประเภทเช่น SOT-223, TO-220 และ TO-263
- ความทนทานต่อแรงดันไฟฟ้า เอ้าท์พุท 1%
- La ข้อ จำกัด ในปัจจุบันไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
- การป้องกันเสียงรบกวน อินพุต (RR = 80dB)
- สามารถทำงานที่อุณหภูมิสูง, สูงถึง125°C

2.6 MOSFET



รูปที่ 2.20 MOSFET

(ที่มา <https://chakchai-el.com/th/articles/107450-MOSFET>)

มอสเฟต เป็นทรานซิสเตอร์ ที่ใช้อิทธิพลสนามไฟฟ้าในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ออกไซด์ของโลหะในการทำส่วน GATE นิยมใช้ในวงจรดิจิทัล โดยนำไปสร้างลอจิกเกตต่างๆเพราะมีขนาดเล็ก

2.6.1 โครงสร้างของ MOSFET

- GATE เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อ สร้างสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า
- SOURCE เป็นส่วนขาเข้าของสัญญาณ
- DRAIN เป็นส่วนขาออกของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ประเภทของ MOSFET

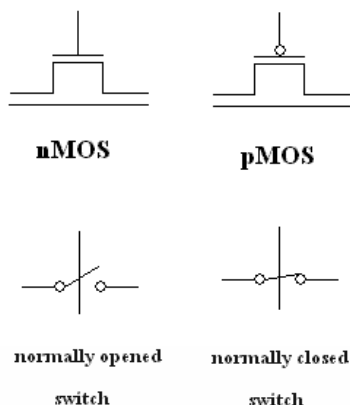
- nMOS (negative MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท NPN เมื่อมีความต่างศักย์เป็นบวก (สนามไฟฟ้าแรง) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก source ไป drain ได้
- pMOS (positive MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท PNP เมื่อมีความต่างศักย์ต่ำหรือเป็นลบ (สนามไฟฟ้าอ่อน) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก source ไป drain ได้

2.6.3 การทำงานของ MOSFET

- nMOS เมื่อปล่อยความต่างศักย์สูง จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศลงอย่างแรง โอลใน p-type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง (ตามรูปที่ประกอบข้างบน) ประกอบกับมีอิเล็กตรอนอิสระบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีอิเล็กตรอนอิสระมากจนเป็น n-type ได้เรียกว่า channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง channel นี้ซึ่งเป็น n-type เหมือนกับ drain และ source ได้โดยใช้อิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะ
- pMOS จะทำงานกลับกัน nMOS โดยเมื่อปล่อยความต่างศักย์ต่ำ (โดยมากมักจะติดลบ) จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศขึ้นอย่างแรง อิเล็กตรอนอิสระใน n-type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง ประกอบกับมีโฮลบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีโฮลมากจนเป็น p-type ได้เรียกว่า channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง channel นี้ซึ่งเป็น p-type เหมือนกับ drain และ source ได้โดยใช้โฮลเป็นพาหะ

2.6.4 สัญลักษณ์แทน MOSFET

MOSFET ในทางดิจิทัลถูกมองว่าเป็นสวิตช์ โดย nMOS จะเป็นสวิตช์ที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สวิตช์ก็จะปิด ถ้าไม่สวิตช์ก็ยังเปิดอยู่ (normal opened switch) ส่วน pMOS จะเป็นสวิตช์ที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สวิตช์ก็จะเปิด ถ้าไม่สวิตช์ก็จะปิดอยู่ (normal closed switch) และสัญลักษณ์ทั่วไปจะมีสามขา ขากลางเป็น gate ส่วนอีกสองขาคือ source และ drain โดยใช้ใน nMOS เป็นหลัก เพื่อสื่อสัญลักษณ์เดียวกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือ ไฟขา base ไหล ขา Collector จะต่อกับ Emitter ส่วน pMOS ก็จะใช้ bubble ที่ขา gate



รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ในทางดิจิทัลของ MOSFET

(ที่มา <https://chakchai-el.com/th/articles/107450-MOSFET>)

2.7 Arduino Uno R3



รูปที่ 2.22 Arduino Uno R3

(ที่มา <https://www.ai-corporation.net/2021/11/19/arduino-uno-r3/>)

คำว่า Uno เป็นภาษาอิตาลี ซึ่งแปลว่าหนึ่ง เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกทีผลิออกมา มีขนาดประมาณ 68.6×53.4 mm. เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง และส่วนใหญ่โปรเจกต์และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือกรณีที่ MCU เสียผู้ใช้สามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย Arduino Uno R3 มี MCU ที่เป็น Package DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 ข้อมูลจำเพาะ

| | |
|-------------------------------------|---|
| ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ | ATmega328 |
| ใช้แรงดันไฟฟ้า | 5V |
| รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ) | 7 – 12V |
| รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด) | 6 – 20V |
| พอร์ต Digital I/O | 14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output) |
| พอร์ต Analog Input | 6 พอร์ต |
| กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต | 40mA |
| กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V | 50mA |
| พื้นที่โปรแกรมภายใน | 32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader |
| พื้นที่แรม | 2KB |
| พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM) | 1KB |
| ความถี่คริสตัล | 16MHz |
| ขนาด | 68.6x53.4 mm |
| น้ำหนัก | 25 กรัม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 PZEM-004T



รูปที่ 2.23 PZEM-004T

(ที่มา <https://www.arduitronics.com/article/72/การใช้งาน-pzem-004t-เพื่อวัดกำลังและพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ>)

PZEM-004T AC Digital Power Energy Meter Module โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าของไฟฟ้าบ้าน วัดค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ วัดค่ากำลังไฟฟ้า และวัดค่ากำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง (Wh) ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปใช้คำนวณค่าไฟฟ้าได้ หรือวัดการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชิ้น

- ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าของไฟฟ้าบ้าน วัดค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ วัดค่ากำลังไฟฟ้า และวัดค่ากำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง (Wh)
- วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 80 - 260VAC และวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ 0 - 100A ทำงานได้ที่ความถี่ 45 - 65Hz
- แยกไฟสูงออกจากไฟต่ำด้วยออปโต ทำให้เมื่อใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วไม่เสี่ยงโดนไฟดูด
- วัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วย CT Current Transformer
- สื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย UART (หรือ Serial)
- ผ่านการทดสอบมาจากโรงงานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ct sensor



รูปที่ 2.24 ct sensor

(ที่มา <https://naichangmashare.com/2021/07/16/current-transformer/>)

เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Transformer) หรือ CT นั้นคือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมา เพื่อให้พวกเราทุกคนทราบถึงค่ากระแสไฟฟ้าของ Load ที่เราใช้งานอยู่ โดยจะเป็นอัตราส่วนระหว่าง Main Primary Conductor และขดลวด Secondary ของ CT โดยจะทำการลดกระแสฝั่ง Primary ลงมายังฝั่ง Secondary ในค่าที่เหมาะสมและสามารถต่อเข้าใช้งานกับ Load ไฟฟ้า หรือ Ammeter ให้อยู่ในค่าที่เราต้องการจะวัดได้แบบ Real time ซึ่งตัว CT นั้นจะเป็นประเภทของหม้อแปลง (Transformer) ที่โครงสร้างด้านในหลักๆ จะมี 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1. ขดลวด Primary
2. ขดลวด Secondary
3. แกนเหล็ก (Core)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาโครงการระบบจ่ายไฟจากแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก โดยจะใช้ Solar cell ในการรับแสงมาเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า และส่งไปยังวงจร Battery Charger เพื่อทำการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ และส่งต่อไปยังวงจร Inverter เพื่อทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ และนำไปใช้ต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบทนี้เป็นการนำเสนอรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการ ซึ่งได้นำทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้งาน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือโปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

| | | |
|-----------------------------|---|------|
| 3.1.1 Solar cell | 1 | อัน |
| 3.1.2 Battery | 1 | ก้อน |
| 3.1.3 LM317T | 1 | อัน |
| 3.1.4 Diode 1N4001 | 1 | อัน |
| 3.1.5 Diode 1N4007 | 2 | อัน |
| 3.1.6 Capacitor 2200uf | 1 | อัน |
| 3.1.7 Capacitor 0.22uf | 1 | อัน |
| 3.1.8 Capacitor 0.1uf | 1 | อัน |
| 3.1.9 Capacitor 0.01uf | 1 | อัน |
| 3.1.10 Resistor 100 ohm | 1 | อัน |
| 3.1.11 Resistor 0.5 ohm | 1 | อัน |
| 3.1.12 Resistor 120 ohm | 1 | อัน |
| 3.1.13 Resistor 470 ohm | 1 | อัน |
| 3.1.14 Resistor 390k ohm | 1 | อัน |
| 3.1.15 Resistor 220 ohm | 2 | อัน |
| 3.1.16 Resistor 330 ohm | 1 | อัน |
| 3.1.17 Potentiometer 1k ohm | 2 | อัน |
| 3.1.18 Potentiometer 5k ohm | 1 | อัน |
| 3.1.19 IC CD4047 | 1 | อัน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------------------|---|-----|
| 3.1.20 MOSFET IRFZ44N | 2 | อัน |
| 3.1.21 Transformer step up | 1 | อัน |
| 3.1.22 Heatsink | 3 | อัน |
| 3.1.23 Pzem-004T | 1 | อัน |
| 3.1.24 XH-M604 | 1 | อัน |
| 3.1.25 16x2 LCD | 1 | อัน |

3.2 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

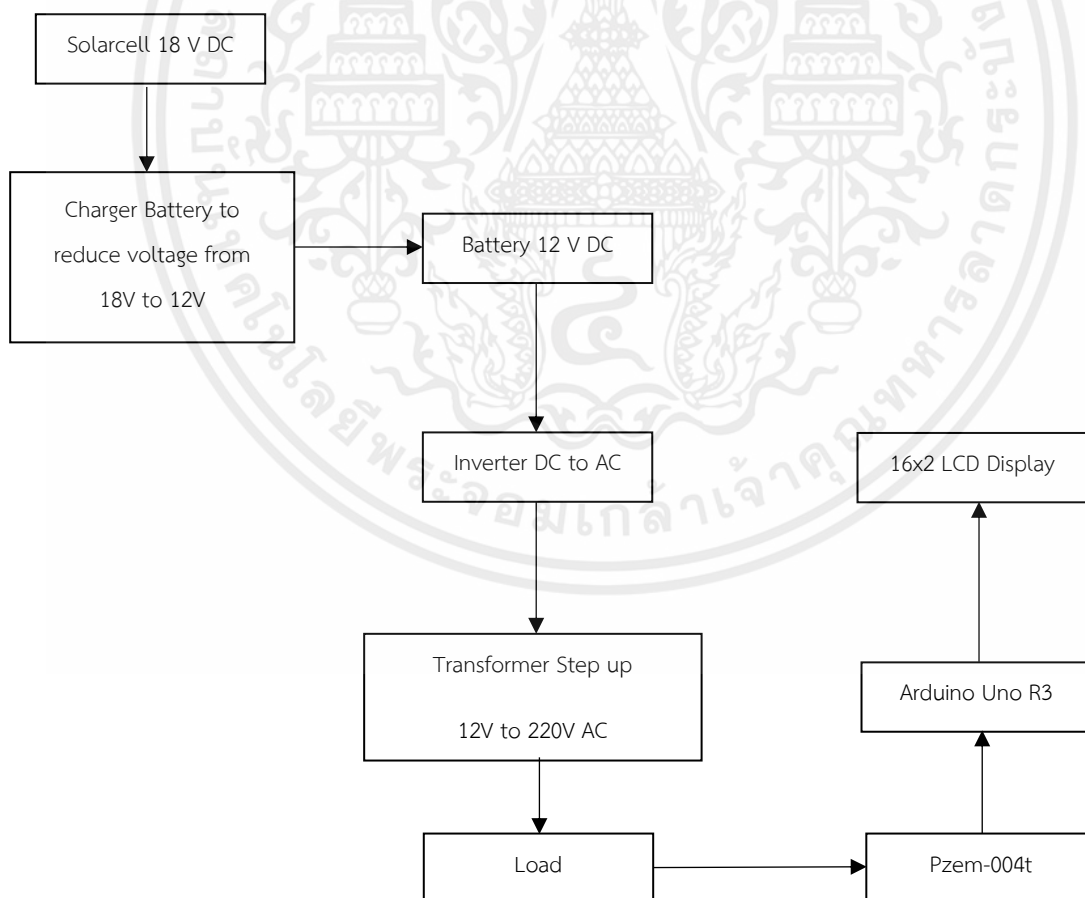
- 3.2.1 พิจารณาที่มามีความสำคัญของปัญหา วางจุดประสงค์ และกำหนดขอบเขตของโครงการ
- 3.2.2 ทำการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง และนำมารวบรวมไว้
- 3.2.3 ออกแบบสิ่งที่จะทำ ในด้านการทำงานซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์
- 3.2.4 ศึกษาโค้ดต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมเพื่อการทำงาน อุปกรณ์ต่างๆ และสั่งซื้อ
- 3.2.5 สร้างชิ้นงานที่เราออกแบบไว้ และทดสอบชิ้นงานนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

3.3 ลักษณะการทำงาน

ลักษณะการทำงานของวงจร แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

Input คือ ส่วนที่รับค่าสัญญาณรับเข้าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอุปกรณ์อินพุตประกอบไปด้วย ไฟฟ้ากระแสตรง(DC)จากแบตเตอรี่ ที่ได้มากจากการชาร์จกระแสด้วยโซลาร์เซลล์ผ่านวงจร Charger Solar โดยไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะถูกนำเข้าสู่วงจร Inverter เพื่อแปลงกระแสเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ(AC) และนำเข้าสู่ หม้อแปลงเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า จากนั้นจะทำการต่อกับ Load และทำการคำนวณค่าต่างๆโดยใช้ Pzem-004t และ CT sensor และนำข้อมูลเข้าสู่ Arduino Uno R3 เพื่อประมวลผลและเพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ โดยจะมีไฟเลี้ยงจากคอมพิวเตอร์

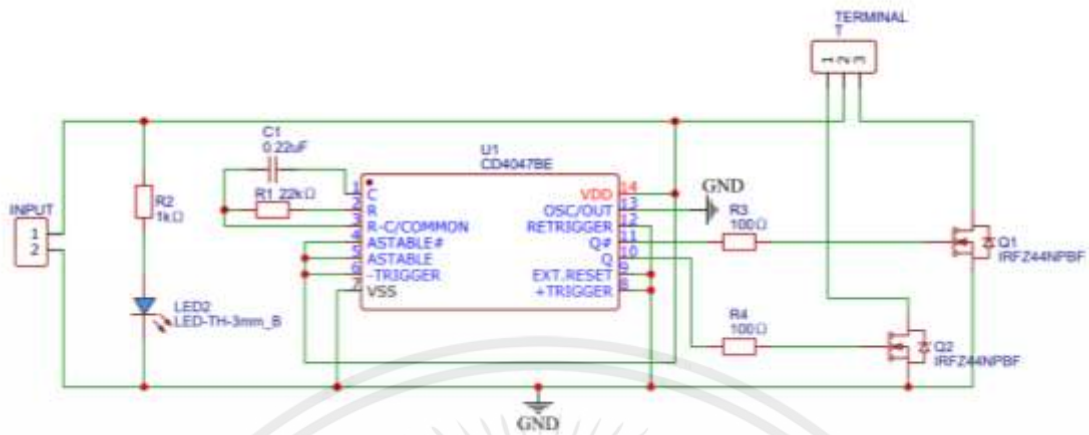
Output คือ ส่วนที่ทำงานตามการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อมีสัญญาณรับเข้า Arduino Uno R3 จะประมวลผลตามโปรแกรมที่เขียนไว้ จากนั้นก็สร้างสัญญาณส่งออกให้กับอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ โดยจะแสดงเอาต์พุตค่าต่างๆออกมาในรูปแบบจอ LCD



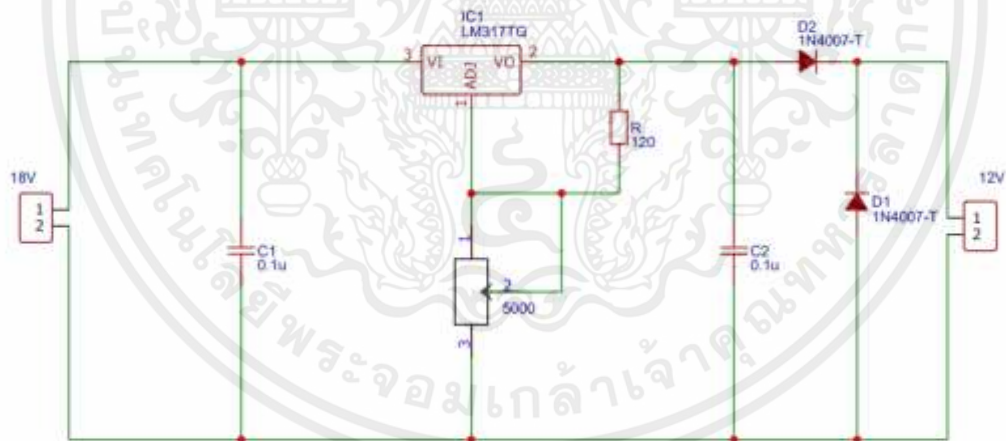
รูปที่ 3.1 ลักษณะการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การออกแบบวงจร Schematic



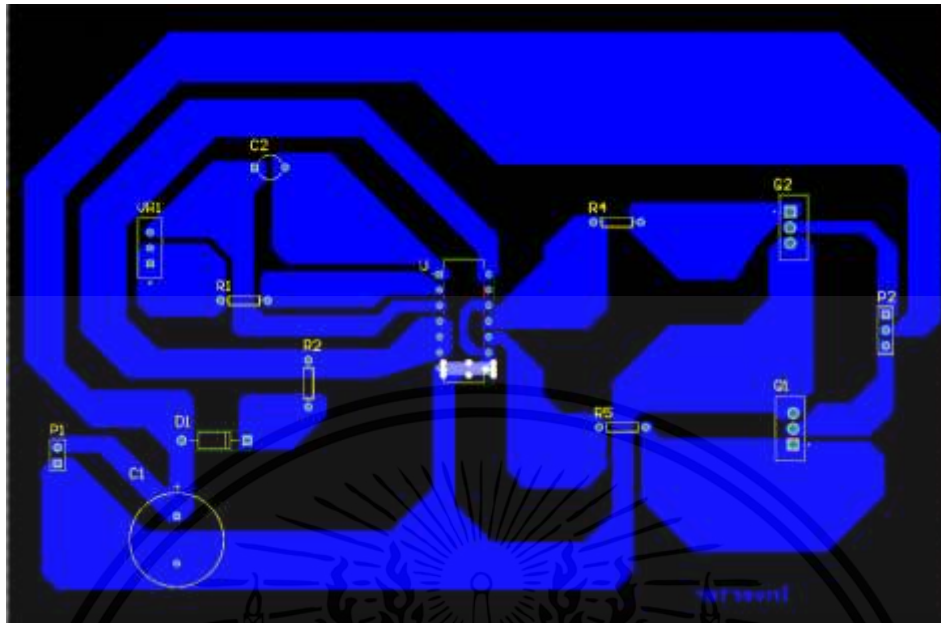
รูปที่ 3.2 วงจร Inverter



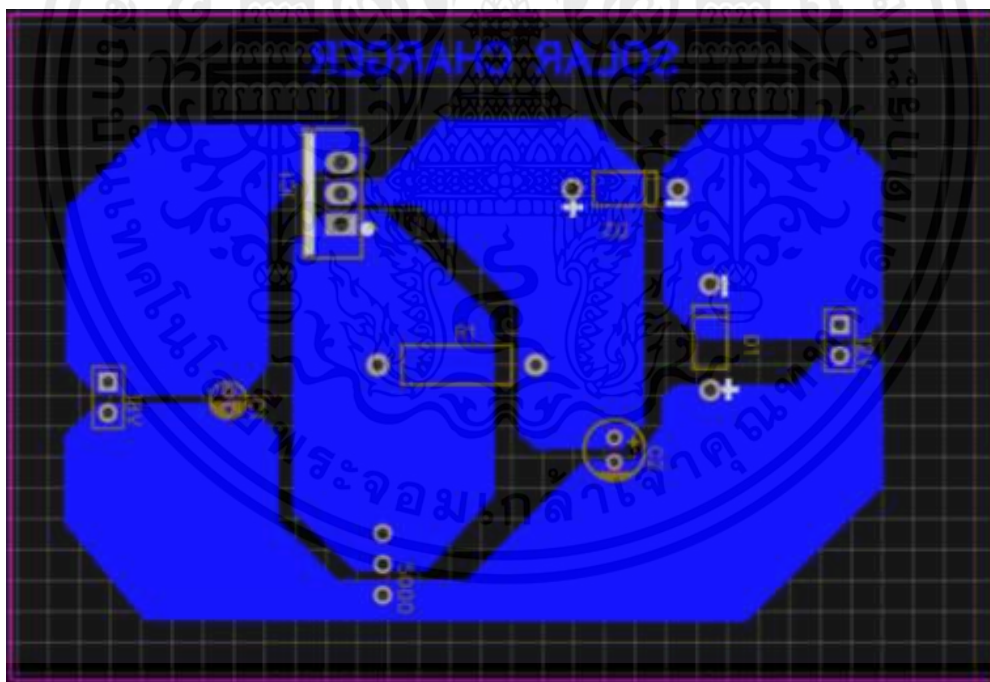
รูปที่ 3.3 วงจร Battery Charger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การออกแบบ PCB



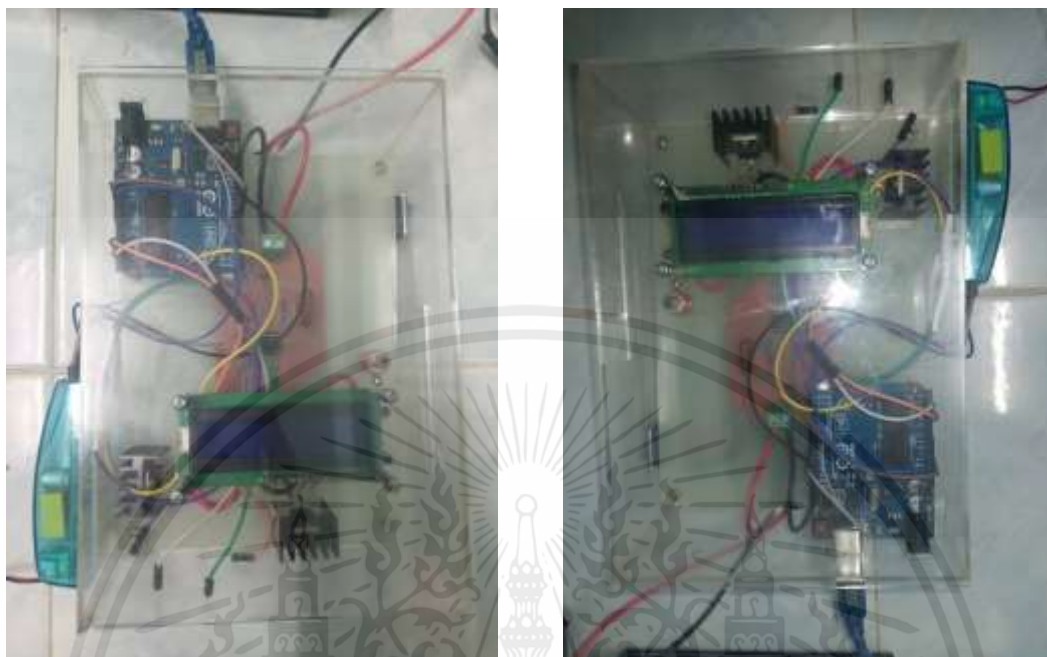
รูปที่ 3.4 PCB วงจร inverter



รูปที่ 3.5 PCB วงจร Solar Charger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 รูปวงจรทั้งหมด



รูปที่ 3.6 รูปวงจร Inverter



รูปที่ 3.7 รูปวงจร Charger Battery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทำงานของวงจร

3.4.1 การทำงานของวงจรทั้งหมด

3.4.1.1 จำนวน Load

พวกเราได้ทำการศึกษา Load ของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อคำนวณหาสเปคอุปกรณ์ ดังนี้

-เราใช้หลอดไฟ 2 หลอด หลอดละ 8W เป็นเวลา 4 ชั่วโมงต่อวัน ปริมาณไฟต่อวันที่ใช้ทั้งหมด คือ $8W \times 2 \times 4 \text{ ชั่วโมง} = 64 \text{ W/h}$

ตารางที่ 3.1 จำนวน Load

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | จำนวน | กำลังที่ใช้ | ระยะเวลาที่ใช้งานต่อวัน | พลังงานที่ใช้ต่อวัน |
|-----------------|--------|-------------|-------------------------|---------------------|
| หลอดไฟ LED | 1 หลอด | 3W | 4h | 12 W/h |
| หลอดไฟ LED | 2 หลอด | 6W | 4h | 24 W/h |

3.4.1.2 จำนวนแบตเตอรี่

ขั้นตอนถัดมาให้เราเริ่มต้นจากการคำนวณแบตเตอรี่ โดยคำนวณจากตัวเลข load ที่เราคำนวณได้ ด้านบน ซึ่งเราคำนวณได้ 94 W/h หมายความว่าเราต้องใช้ไฟต่อวันเท่ากับ 94 W/h นั้นเอง แต่หากใครพอมีความเข้าใจด้านแบตเตอรี่ จะรู้ดีกว่าเราไม่สามารถใช้แบตเตอรี่ให้หมด 100% ได้ ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละเคมียังมีความแตกต่างกันไป เราเรียกปริมาณการใช้แบตเตอรี่ต่อ 1 รอบว่า Depth of Discharge (DOD) ซึ่งเจ้า DOD ของแบตเตอรี่แห่งชนิดตะกั่วกรดจะอยู่ราว ๆ 80-90% ทีไปซัก 85% ซึ่งจะได้ขนาดแบตเตอรี่ ที่เราต้องซื้อ มาคือ $64 \text{ W/h} \div 85\% = 75.3 \text{ W/h}$ นี้แหละคือแบตเตอรี่ที่เราใช้ได้ 1 วัน และถ้าเราใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V ก็จะได้ $75.3 / 12 = 6.275 \text{ A}$ ดังนั้น เราจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ 12V 7A 1 ก้อน

3.4.1.3 จำนวนกระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่

ในการชาร์จแบตเตอรี่ ต้องมีวิธีกำหนดกระแสไฟชาร์จแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ตลอดจนวิธีคำนวณเวลาที่ต้องใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่เป็นชั่วโมง โดยกระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{กระแสไฟชาร์จที่จำเป็นสำหรับแบตเตอรี่} = \text{แบตเตอรี่ Ah} \times 10\% \quad (3.1)$$

แบตเตอรี่ที่เราเลือกใช้นั้นเป็นประเภทแห่งชนิดตะกั่วกรด มีขนาด 12 V 7 A ซึ่งมีขนาดกระแสอยู่ที่ 7 A ดังนั้น กระแสไฟชาร์จที่จำเป็นสำหรับแบตเตอรี่ = $7 \text{ A} \times 10\%$ ซึ่งจะได้กระแสไฟที่จำเป็นสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่คือ 0.7 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.4 คำนวณเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่

เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่นั้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่(hr)} = \text{แบตเตอรี่ Ah} \div \text{กระแสการชาร์จ} \quad (3.2)$$

ซึ่งแบตเตอรี่ที่เลือกมาใช้มีขนาด 7 A และกระแสที่เหมาะสมสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ใช้ขนาด 0.7 A จะมีเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่(hr) = 7 A ÷ 0.7 A จะได้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่เท่ากับ 10 ชั่วโมง

3.4.1.5 คำนวณขนาดแผงโซลาร์เซลล์

อุปกรณ์ต่อมาที่เราต้องคำนวณ ก็คือแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งสำหรับประเทศไทย ชั่วโมงแสงแดดเท่ากับ 4 ชั่วโมง โดยปกติอาจจะใช้ 4-6 ชั่วโมง แต่พวกเรานั้นใช้แค่ 5 ชั่วโมง ขนาดแบตเตอรี่ของเราที่คำนวณได้ 64 หาร 5 ชั่วโมง จะเท่ากับ 13 W ซึ่งก็คือแผงที่เราต้องใช้ ดังนั้นพวกเราเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 18W

3.4.1.6 คำนวณ Solar Charge

หลังจากเราได้ขนาดโซลาร์เซลล์ทั้งหมดที่เราต้องการติดตั้งแล้วเราก็เอาขนาดโซลาร์เซลล์ทั้งหมด 20W มาหารด้วย volt ของระบบ 12V จะได้เท่ากับ $18W/12V = 1.5 \text{ A}$ ดังนั้นควรจะเลือก solar charge controller ที่ขนาดประมาณ 1.5A

3.4.1.7 การทำงานของวงจร Inverter

วงจรอินเวอร์เตอร์ 12V DC ถึง 220V ใช้มอสเฟต IRFZ44 2 ตัวในการขับกำลังเอาต์พุตและ 4047 IC เป็นมัลติไวมัลติเพลเตอร์แบบastableที่มีความถี่ประมาณ 50 Hz

เอาต์พุตพิน 10 และ 11 ของ IC ขับ MOSFET พลังงานโดยตรงที่ใช้ในการกำหนดค่าแบบพุชพูล ใช้แผ่นระบายความร้อนที่เหมาะสมสำหรับ MOSFET เนื่องจากจะทำให้เกิดความร้อนจำนวนมาก หม้อแปลงเอาต์พุตมี 12V-0-12V, 1 แอมป์ที่ตัวรองและ 220V ที่ตัวหลัก

IC CD4047 ได้รับการกำหนดค่าในโหมดมัลติไวมัลติเพลเตอร์แบบ astable ด้วยความช่วยเหลือของตัวต้านทานปรับค่าได้ RV1 และตัวเก็บประจุ C1 โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของ RV1 เราจะได้ช่วงของเอาต์พุตพัลส์ที่แตกต่างกันที่พิน Q และ Q' ของ CD4047 ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออกที่หม้อแปลง

MOSFETs กำลัง n-channel IRFZ44 ขาเดรนเชื่อมต่อกับพินรองของหม้อแปลงและพินทั่วไปในขดลวดทุติยภูมิเชื่อมต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ พินซอร์สMOSFETทั้งสองเชื่อมต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่เมื่อพัลส์สแควร์สำรองจาก Q & Q' ขับ MOSFET มันจะเปิด จากนั้นขดลวดทุติยภูมิจะถูกบังคับให้เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กสำรอง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กนี้สร้างแรงดันไฟฟ้าสำรองสูงประมาณ 220V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดอินเวอร์เตอร์ควรเป็นขนาดที่รองรับกำลังไฟสูงสุดได้ ซึ่งอาจจะเป็น W ของทุกเครื่องใช้ไฟฟ้ารวมกันได้ หรืออาจจะไม่ใช้ก็ได้

ตารางที่ 3.2 จำนวน Inverter

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | จำนวน | กำลังที่ไฟใช้ | กำลังที่ใช้ | หมายเหตุ |
|-----------------|--------|---------------|-------------|--------------------|
| หลอดไฟ LED | 2 หลอด | 8W | 16W | ใช้ 2 หลอดพร้อมกัน |

ดังนั้นเรารู้แล้วว่าขนาดอินเวอร์เตอร์ที่เราควรใช้คือ 16W แต่ในการออกแบบของเรา เราจะทำให้สามารถใช้ไฟ 220V ได้ และจ่ายกระแส 1.5A เราจึงเลือกใช้ 330Wซึ่งจะทำให้เราสามารถรองรับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ นอกเหนือจากสิ่งที่เราศึกษาได้

3.4.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจร

3.4.2.1 IC CD4047

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการวัดสัญญาณเอาต์พุตคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่ง IC CD4047 สามารถที่จะผลิตเอาต์พุตสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม โดยมีการผลิตสัญญาณเอาต์พุตคลื่นสี่เหลี่ยมที่ขา 10 และ 11 กับ ความถี่ 50Hz รอบการทำงาน 50% และการเลื่อนเฟส 180 องศา จึงเลือกใช้อุปกรณ์ IC CD4047 นี้

3.4.2.2 Filter

ในการออกแบบอินเวอร์เตอร์สัญญาณพัลส์ มีฮาร์มอนิกผลิตในรูปคลื่นเอาต์พุตที่เกิดจากการสลับสารกึ่งตัวนำ สำหรับการลดฮาร์มอนิกใช้ตัวกรอง LC ค่าของตัวเก็บประจุคือ 0.22 ไมโครฟารัด สำหรับตัวเก็บประจุแบบขนานในวงจรนี้ใช้สำหรับแปรผันและเปลี่ยนค่าของความถี่

3.4.2.3 Mosfet

วัตถุประสงค์อื่นของบทความนี้คือ MOSFET เราใช้มอสเฟต 2 ตัว ชื่ออะไรครับคือ IRFZ44 ความจุของ MOSFET สองตัวนี้คือ 44A และมอสเฟต2ตัวนี้ทำงานจนถึงกำลังไฟ 538W

3.4.2.4 I/V ในวงจร

ไฟจากแบตเตอรี่ที่เข้าวงจร คือ 12 V และวงจรใช้ 100 W จึงต้องใช้

$$\frac{100}{12} = 8.33 \text{ A} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.5 Transformer

- พิกัด 100 W
- Input = 12-0-12 V
- Output = 220 V

3.4.2.6 Diode

ใน Diode 1N4007 จะสามารถทนกระแสได้ถึง 1 A อย่างต่อเนื่องที่แรงดันไฟฟ้าที่สามารถไปได้ถึง 700 V นอกจากนี้ยังสามารถรองรับจุดสูงสุดแรงดันย้อนกลับ ได้ถึง 1000 V และกระแส 30 A ซึ่งมีคุณสมบัติแบบที่วงจรต้องการในการนำมาป้องกันการไหลของกระแส จึงเลือกที่จะใช้ Diode 1N4007 นี้

3.4.2.7 Battery High And Low Voltage

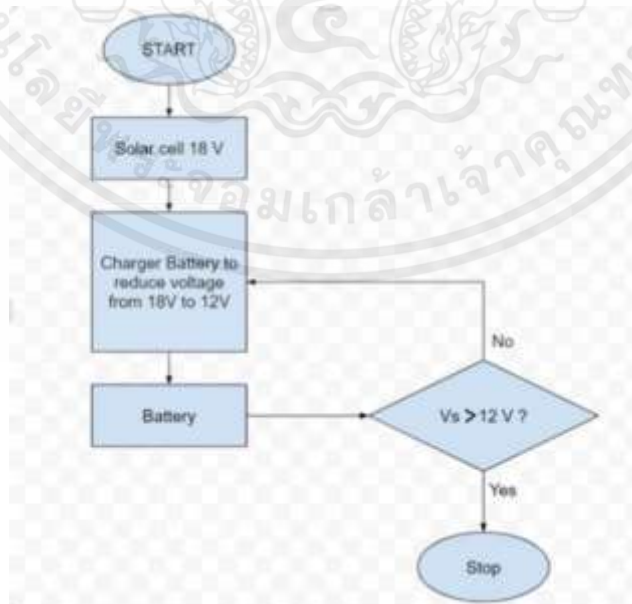
แรงดันแบตเตอรี่เต็ม = 12 V

แรงดันแบตเตอรี่ต่ำ = 10.5 V

3.4.2.8 Transistor

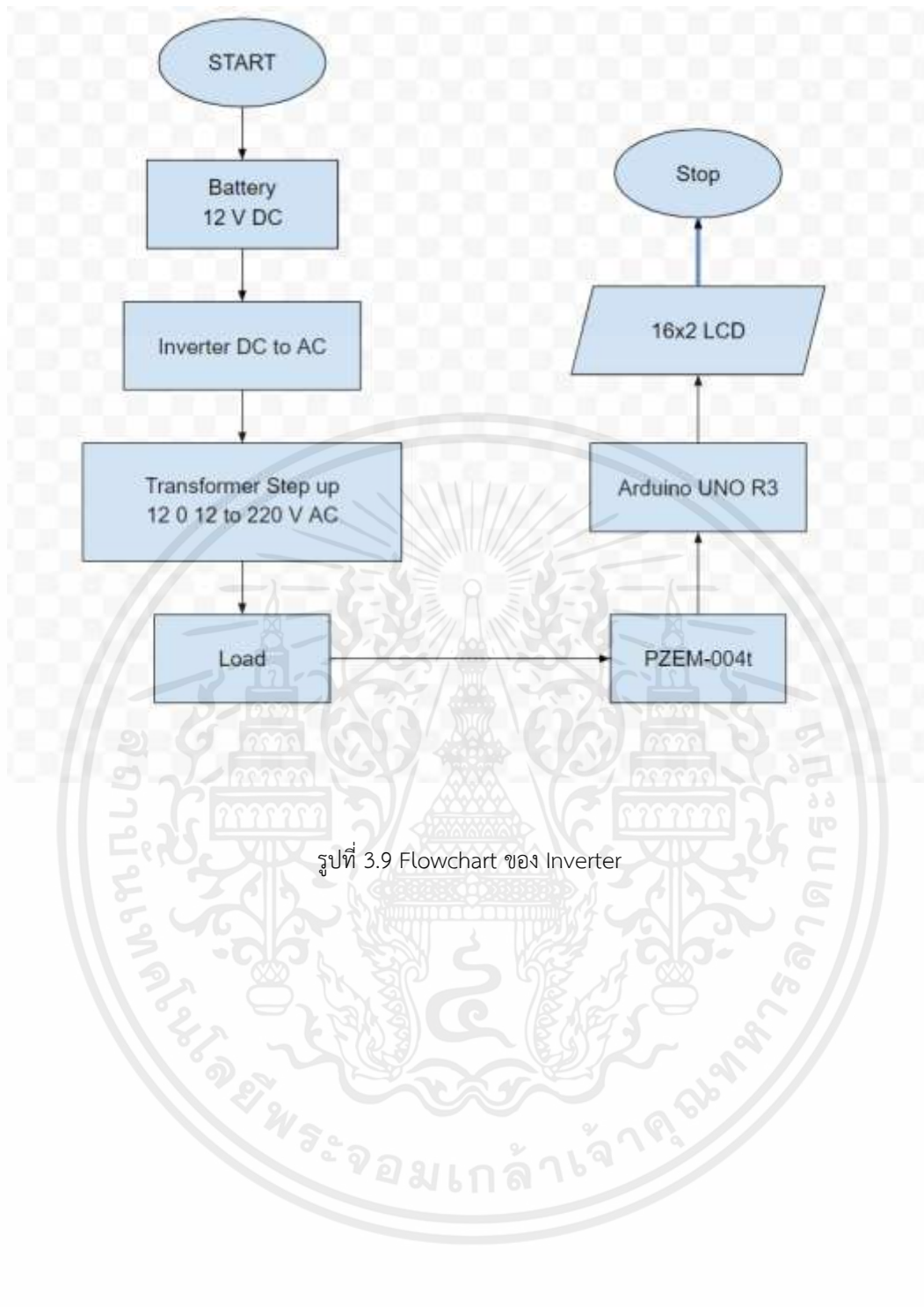
เนื่องจากการคำนวณกระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งผลที่ได้ออกมาคือ 700 mA เราจึงเลือกใช้ Transistor 2N2222A ซึ่งเป็นชนิด NPN และมีความสามารถในการสะสมกระแส 800 mA

3.5 Flowchart



รูปที่ 3.8 Flowchart ของ Charger Battery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Flowchart ของ Inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

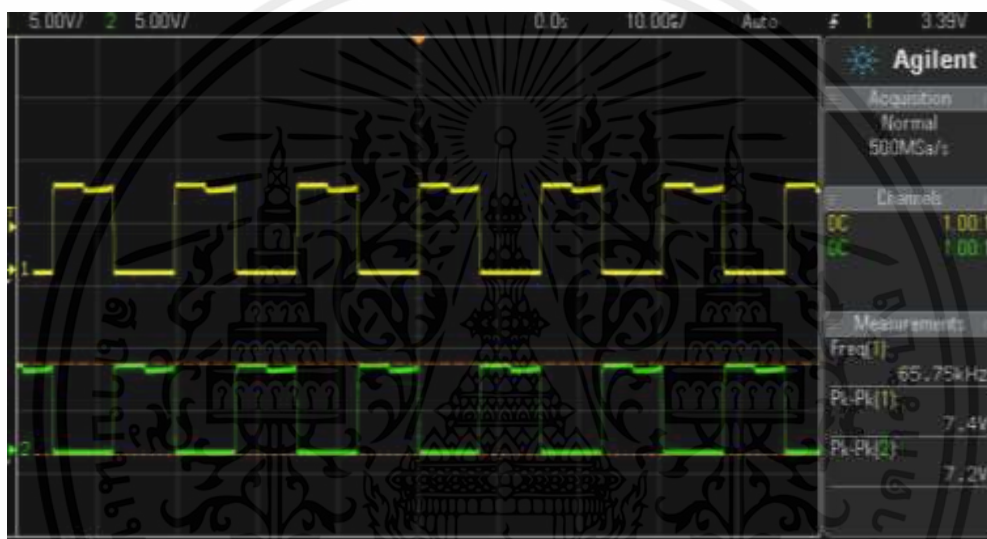
บทที่ 4

ผลการทดลอง

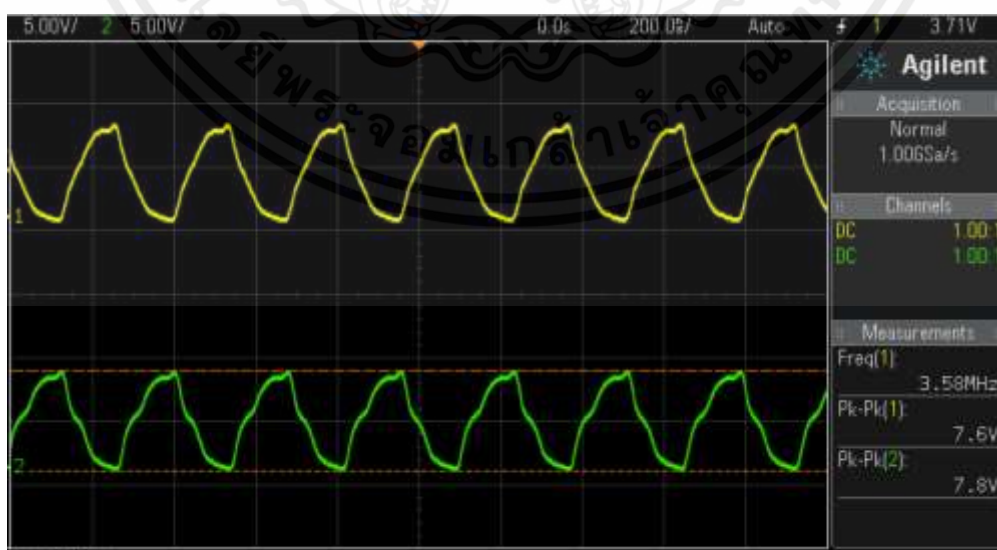
4.1 การทดลองพัลส์ของสัญญาณอินเวอร์เตอร์

| ปรับค่าสัญญาณ Rtrimpot | Q | Q' |
|------------------------|------|------|
| หมุน Rtrimpot ขวาสุด | 7.4V | 7.2V |
| หมุน Rtrimpot ซ้ายสุด | 7.6V | 7.8V |

ตารางผลการทดลองที่ 4.1 การทดลองพัลส์ของสัญญาณอินเวอร์เตอร์



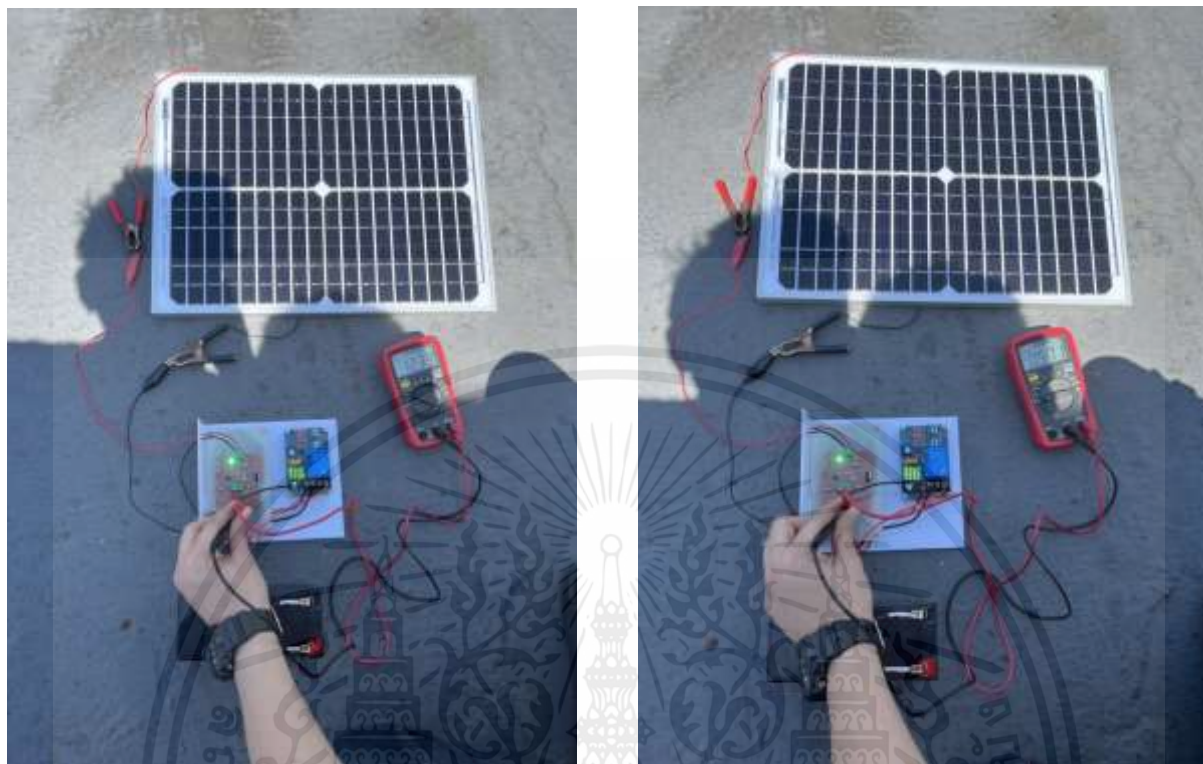
รูป 4.1 กราฟสัญญาณพัลส์เมื่อเราหมุน Rtrimpot ไปทางขวาสุด



รูป 4.2 กราฟสัญญาณพัลส์เมื่อเราหมุน Rtrimpot ไปทางซ้ายสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดลองต่อวงจร Charger Battery เข้ากับ Solar cell เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ 12V



รูปที่ 4.3 ทดลองต่อวงจร Charger Battery เข้ากับ Solar cell เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ 12V LED

4.3 การทดลอง Solar Charger กับ แผงวงจรโซลาร์เซลล์

| ระยะเวลาในการชาร์จ (min) | แรงดันก่อนชาร์จ (V) | แรงดันหลังชาร์จ (V) | แรงดันที่ชาร์จได้ (V) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 hr | 6.24 V | 7.46 V | 1.22 V |
| 2 hr | 7.46 V | 8.60 V | 1.14 V |
| 3 hr | 8.60 V | 9.62 V | 1.02 V |
| 4 hr | 9.62 V | 10.60 V | 0.98 V |
| 5 hr | 10.60 V | 11.52 V | 0.92 V |
| เฉลี่ย | | | 1.06 V |

ตารางผลการทดลองที่ 4.2 การทดลอง Solar Charger กับ แผงวงจรโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ตารางและรูปภาพผลการวัดเทียบแรงดันของหลอดไฟ 1 หลอดด้วย Pzem-004t กับ Multimeter

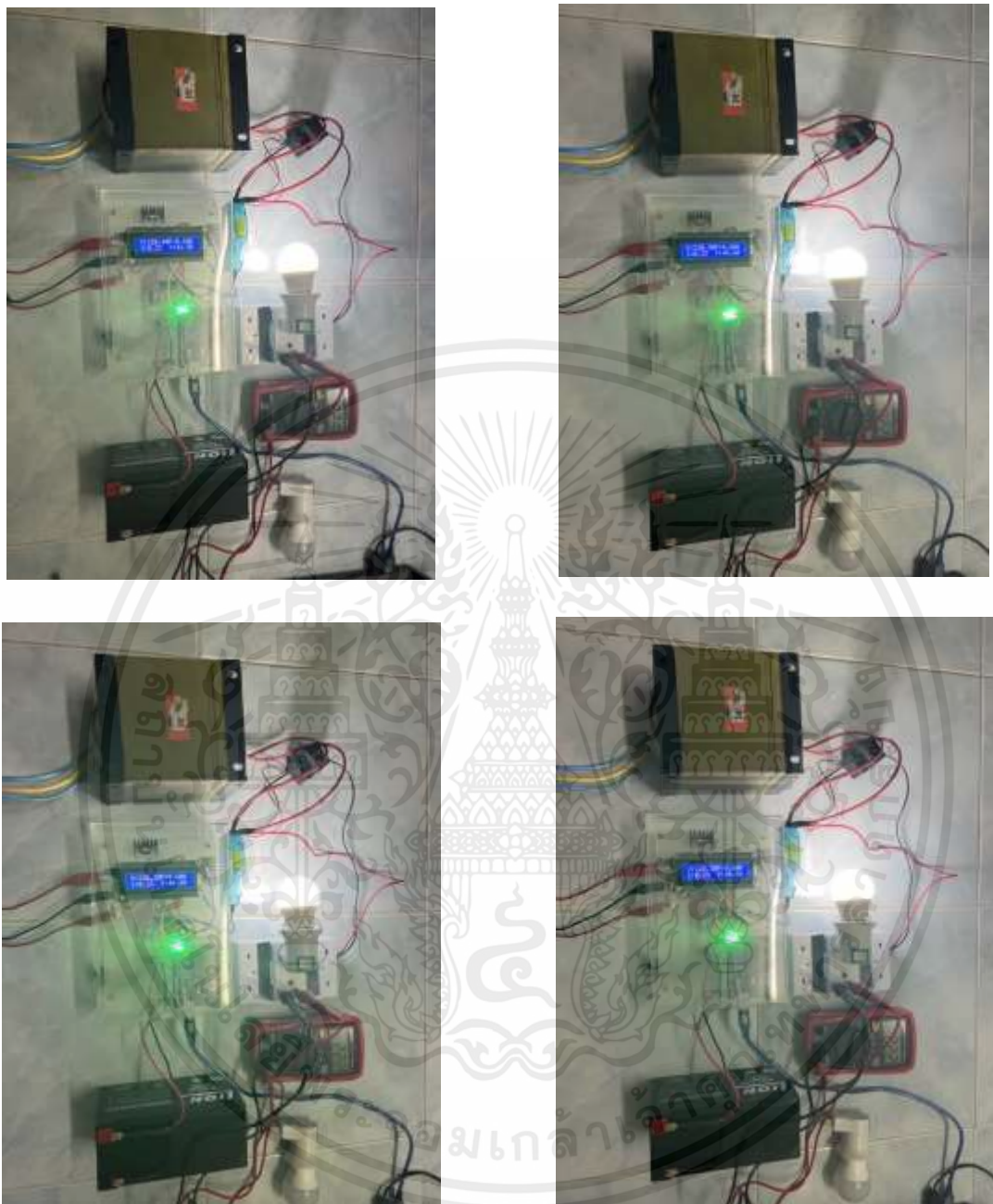
4.4.1 ตารางผลการวัดเทียบแรงดันของหลอดไฟ 1 หลอดด้วย Pzem-004t กับ Multimeter

| ครั้งที่ | Voltage | |
|----------|-----------|------------|
| | Pzem-004t | Multimeter |
| 1 | 220.4 | 223 |
| 2 | 220.3 | 222 |
| 3 | 220.3 | 222 |
| 4 | 220.2 | 222 |
| 5 | 220.2 | 222 |
| 6 | 220.2 | 222 |
| 7 | 220.2 | 222 |
| 8 | 220.1 | 222 |
| 9 | 220.1 | 221 |
| 10 | 220.1 | 221 |
| Average | 220.21 | 221.9 |

ตารางผลการทดลองที่ 4.3 ตารางผลการวัดเทียบแรงดันของ Pzem-004t กับ Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 รูปผลการวัดเทียบแรงดันของหลอดไฟ 1 หลอดด้วย Pzem-004t กับ Multimeter



รูปที่ 4.4 ผลการวัดเทียบแรงดันของ Pzem-004t กับ Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ตารางและรูปภาพผลการทดลองต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ และวัตต์ผลโดย Pzem-004t

4.5.1 ตารางผลการทดลองใช้งานแบตเตอรี่ 12V กับหลอดไฟ 1 หลอด และ 2 หลอด

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | จำนวน | ระยะเวลาที่ใช้งาน | ใช้งานได้จริง |
|-----------------|--------|-------------------|---------------|
| หลอด LED | 1 หลอด | 4 ชั่วโมง | 2 ชั่วโมง |
| หลอด LED | 2 หลอด | 4 ชั่วโมง | 1 ชั่วโมง |

ตารางผลการทดลองที่ 4.4 การทดลองใช้งานแบตเตอรี่ 12V กับหลอดไฟ

| จำนวนหลอดไฟ | Voltage(V) | Current(A) | Power(W) | Frequency(Hz) |
|-------------|------------|------------|----------|---------------|
| 0 | 222.2 | 0 | 0 | 45.1 |
| 1 | 220.7 | 0.23 | 0.7 | 44.7 |
| 2 | 218.7 | 0.38 | 1 | 44.4 |

ตารางผลการทดลองที่ 4.5 ค่าต่างๆในผลการทดลอง

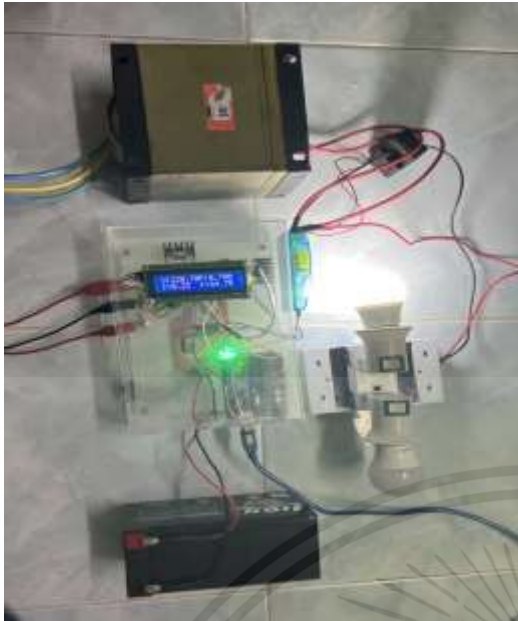
หมายเหตุ ที่ Frequency มีค่าไม่ถึง 50 Hz ตามไฟบ้านปกติของประเทศไทย อาจเป็นเพราะค่า RC ที่ขา 1,2,3 ของ ICCD4047 เกิดการคำนวณผิดพลาดของผู้ทดลอง และจึงทำให้ค่า Frequency เกิดการแกว่ง

4.5.2 รูปภาพผลการทดลองต่อวงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ และวัตต์ผลโดย Pzem-004t

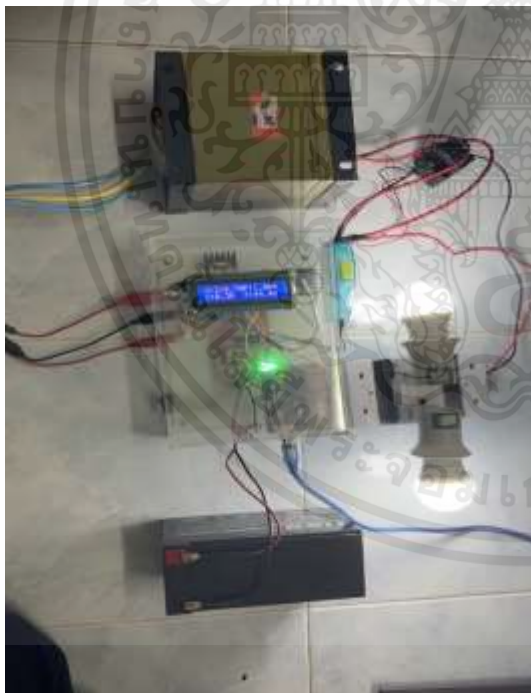


รูปที่ 4.5 วงจร Inverter ยังไม่ได้ต่อเข้ากับหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ต่ วงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ 1 หลอด



รูปที่ 4.7 ต่ วงจร Inverter เข้ากับหลอดไฟ 2 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองระบบจ่ายไฟจากแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก(Small power supply system from solar cell) พบว่าเมื่อนำอุปกรณ์ไปไว้ในที่มีแสงแดดเพียงพอต่อการชาร์จ ของวงจร Charger Battery พบว่าสามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มโดยใช้เวลา 6 ชั่วโมง แต่อาจใช้เวลานานขึ้นถ้านำไปไว้ในที่มีแสงแดดน้อยกว่าในตอนที่ยกทดลองไว้ อุปกรณ์นี้จะมีข้อจำกัดที่ถ้าไม่นำไปไว้ในสถานที่ที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ จะทำให้การกักเก็บพลังงานไฟฟ้าของวงจร Charger Battery ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า อุปกรณ์นี้จะไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ถ้าไม่นำไปไว้ในที่มีแสงแดดเพียงพอ ทำให้บางวันที่มีแสงแดดน้อย หรือสภาพอากาศที่ไม่มีแสงแดด จะทำให้วันนั้นไม่สามารถใช้อุปกรณ์ตัวนี้ในการชาร์จแบตเตอรี่ได้ หรือชาร์จได้ไม่เต็มประสิทธิภาพที่กำหนดไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี, MOSFET, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/มอสเฟต>
- [2] CHYANUN SUPPLY, Inverter, จาก http://www.inverter.co.th/Home/index.php?option=com_content&view=article&id=110:inverter&catid=46:news-info&Itemid=83
- [3] Thai water, Charger Solar, จาก <https://www.thaiwatersystem.com/article/47/คุณสมบัติของโซลาร์ชาร์จเจอร์>
- [4] CC Solar, Solar Cell, จาก <https://www.thaiwatersystem.com/article/47/คุณสมบัติของโซลาร์ชาร์จเจอร์>
- [5] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี, หม้อแปลง, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/หม้อแปลงไฟฟ้า>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCH5044C - Revised September 2003

CD4047B Types

CMOS Low-Power Monostable/Astable Multivibrator

High Voltage Types (20-Volt Rating)

■ CD4047B consists of a gatable astable multivibrator with logic techniques incorporated to permit positive or negative edge-triggered monostable multivibrator action with retriggering and external counting options.

Inputs include +TRIGGER, -TRIGGER, ASTABLE, ASTABLE, RETRIGGER, and EXTERNAL RESET. Buffered outputs are Q, Q, and OSCILLATOR. In all modes of operation, an external capacitor must be connected between C-Timing and RC-Common terminals, and an external resistor must be connected between the R-Timing and RC-Common terminals.

Astable operation is enabled by a high level on the ASTABLE input or a low level on the ASTABLE input, or both. The period of the square wave at the Q and Q Outputs in this mode of operation is a function of the external components employed. "True" input pulses on the ASTABLE input or "Complement" pulses on the ASTABLE input allow the circuit to be used as a gatable multivibrator. The OSCILLATOR output period will be half of the Q terminal output in the astable mode. However, a 50% duty cycle is not guaranteed at this output.

The CD4047B triggers in the monostable mode when a positive-going edge occurs on the +TRIGGER input while the -TRIGGER is held low. Input pulses may be of any duration relative to the output pulse.

If retrigger capability is desired, the RETRIGGER input is pulsed. The retriggerable mode of operation is limited to positive-going edges. The CD4047B will retrigger as long as the RETRIGGER input is high, with or without transitions (See Fig. 34).

An external countdown option can be implemented by coupling "Q" to an external "N" counter and resetting the counter with the trigger pulse. The counter output pulse is fed back to the ASTABLE input and has a duration equal to N times the period of the multivibrator.

A high level on the EXTERNAL RESET input assures no output pulse during an "ON" power condition. This input can also be activated to terminate the output pulse at any time. For monostable operation, whenever V_{DD} is applied, an internal power-on reset circuit will clock the Q output low within one output period (t_M).

The CD4047B-Series types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 14-lead small-outline packages (M, MT, M96, and NSR suffixes), and 14-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

Features:

- Low power consumption: special CMOS oscillator configuration
- Monostable (one-shot) or astable (free-running) operation
- True and complemented buffered outputs
- Only one external R and C required
- Buffered inputs
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Monostable Multivibrator Features:

- Positive- or negative-edge trigger
- Output pulse width independent of trigger pulse duration
- Retriggerable option for pulse width expansion
- Internal power-on reset circuit
- Long pulse widths possible using small RC components by means of external counter provision
- Fast recovery time essentially independent of pulse width
- Pulse-width accuracy maintained at duty cycles approaching 100%

Astable Multivibrator Features:

- Free-running or gatable operating modes
- 50% duty cycle

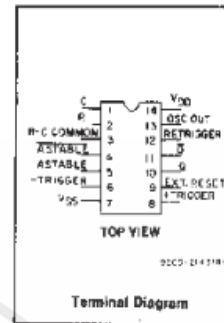
Oscillator output available

- Good astable frequency stability:
Frequency deviation:
= ±2% + 0.03%/°C @ 100 kHz
= ±0.5% + 0.015%/°C @ 10 kHz
(circuits "trimmed" to frequency V_{DD} = 10 V ± 10%)

Applications:

Digital equipment where low-power dissipation and/or high noise immunity are primary design requirements:

- Envelope detection
- Frequency multiplication
- Frequency division
- Frequency discriminators
- Timing circuits
- Time-delay applications



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

| CHARACTERISTIC | LIMITS | | UNITS |
|--|--------|------|-------|
| | MIN. | MAX. | |
| Supply-Voltage Range (For T _A = Full Package-Temperature Range) | 3 | 16 | V |

NOTE: IF AT 15 V OPERATION A 10 MΩ RESISTOR IS USED THE OPERATING TEMPERATURE SHOULD BE BETWEEN -25°C and 100°C

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

| | |
|---|-------------------------------------|
| DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE (V _{DD}) (Voltages referenced to V _{SS} Terminal) | -0.5V to +20V |
| INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS | -0.5V to V _{DD} + 0.5V |
| DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT | ±10mA |
| POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P _{DD}) | |
| For T _A = -55°C to +100°C | 500mW |
| For T _A = +100°C to +125°C | Derate Linearly at 12mW/°C to 200mW |
| DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR | |
| FOR T _A = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types) | 100mW |
| OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T _A) | -55°C to +125°C |
| STORAGE TEMPERATURE RANGE (T _{stg}) | -55°C to +150°C |
| LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING): | |
| At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.63 ± 0.79mm) from case for 10s max | +265°C |

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4047B Types

CD4047B FUNCTIONAL TERMINAL CONNECTIONS

**NOTE: IN ALL CASES EXTERNAL RESISTOR BETWEEN TERMINALS 2 AND 3▲
EXTERNAL CAPACITOR BETWEEN TERMINALS 1 AND 3▲**

| FUNCTION | TERMINAL CONNECTIONS | | | OUTPUT PULSE FROM | OUTPUT PERIOD OR PULSE WIDTH |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|----------|-------------------|------------------------------|
| | TO V _{DD} | TO V _{SS} | INPUT TO | | |
| Astable Multivibrator: | | | | | |
| Free Running | 4,5,6,14 | 7,8,9,12 | — | 10,11,13 | $t_A(10,11) = 4.40 RC$ |
| True Gating | 4,6,14 | 7,8,9,12 | 5 | 10,11,13 | $t_A(13) = 2.20 RC^*$ |
| Complement Gating | 6,14 | 5,7,8,9,12 | 4 | 10,11,13 | |
| Monostable Multivibrator: | | | | | |
| Positive-Edge Trigger | 4,14 | 5,6,7,9,12 | 8 | 10,11 | $t_M(10,11) = 2.48 RC$ |
| Negative-Edge Trigger | 4,8,14 | 5,7,9,12 | 6 | 10,11 | |
| Retriggerable | 4,14 | 5,6,7,9 | 8,12 | 10,11 | |
| External Countdown* | 14 | 5,6,7,8,9,12 | — | 10,11 | |

▲ See Text.

* First positive 1/2 cycle pulse-width = 2.48 RC, see Note on Page 3-134.

* Input Pulse to Reset of External Counting Chip External Counting Chip Output To Terminal 4

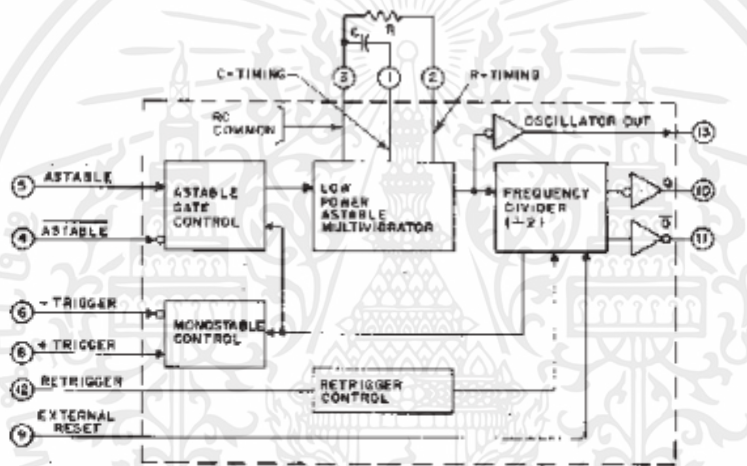


Fig. 1—CD4047B logic block diagram.

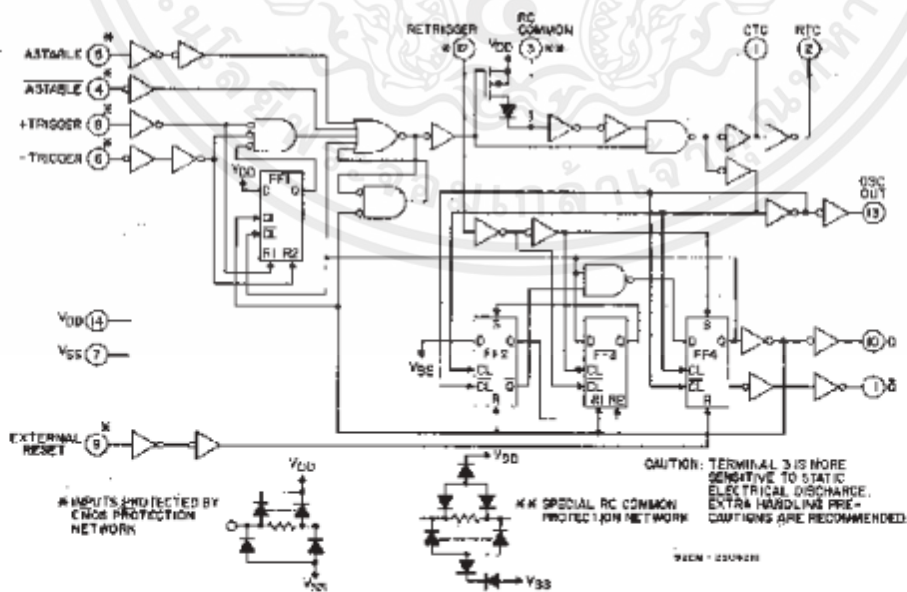


Fig. 2—CD4047B logic diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4047B Types

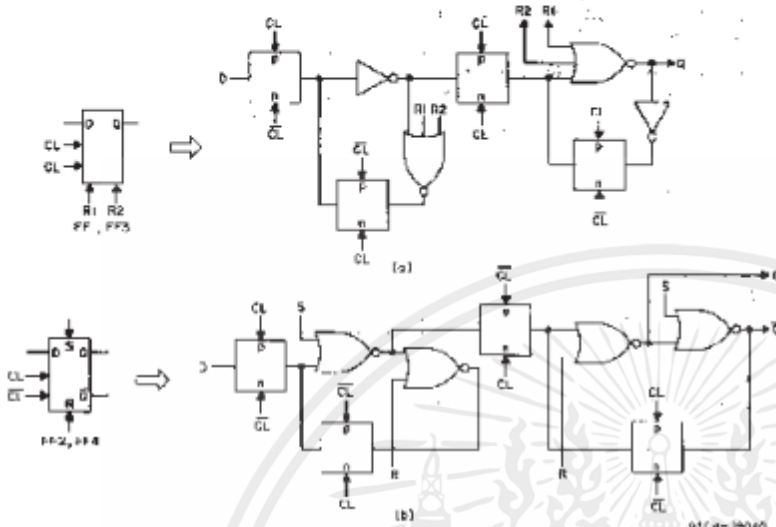


Fig. 3—Detail logic diagram for flip-flops FF1 and FF3 (a) and for flip-flops FF2 and FF4 (b).

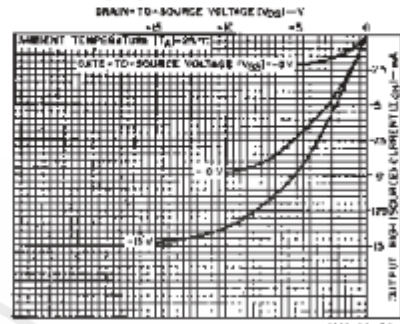


Fig. 6—Typical output high (source) current characteristics.

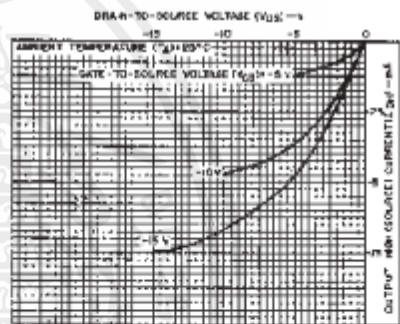


Fig. 7—Minimum output high (source) current characteristics.

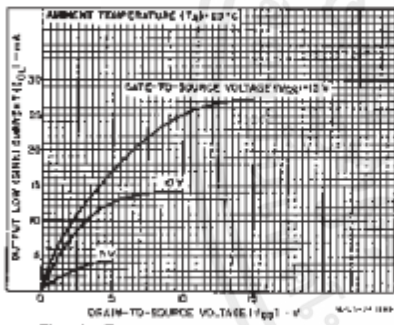


Fig. 4—Typical output low (sink) current characteristics.

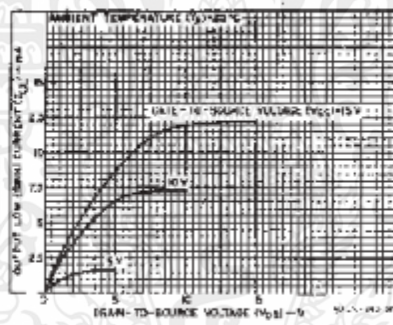


Fig. 5—Minimum output low (sink) current characteristics.

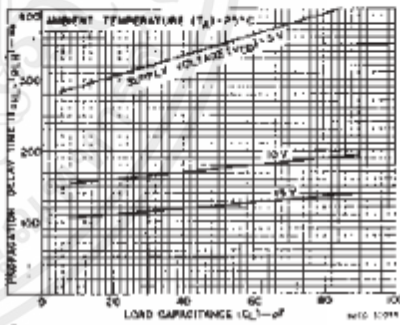


Fig. 8—Typical propagation delay time as a function of load capacitance (Astable to 0, Q).

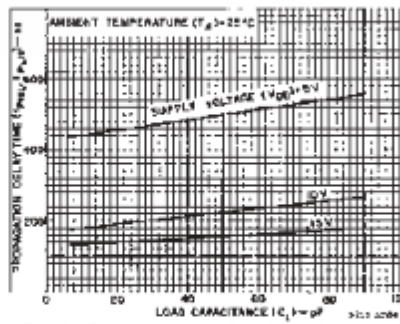


Fig. 9—Typical propagation delay time as a function of load capacitance (+ or - trigger to Q, Q-bar).

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

| CHARACTERISTICS | CONDITIONS | | | LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C) | | | | | | | UNITS |
|--|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | V _O (V) | V _{IN} (V) | V _{DD} (V) | -55 | -40 | +85 | +125 | +25 | | | |
| | | | | | | | | Min. | Typ. | Max. | |
| Quiescent Device Current, I _{DD} Max. | — | 0.5 | 5 | 1 | 1 | 30 | 30 | — | 0.02 | 1 | μA |
| | — | 0.10 | 10 | 2 | 2 | 60 | 60 | — | 0.02 | 2 | |
| | — | 0.15 | 15 | 4 | 4 | 120 | 120 | — | 0.02 | 4 | |
| Output Low (Sink) Current I _{OL} Min. | 0.4 | 0.5 | 5 | 0.64 | 0.61 | 0.42 | 0.38 | 0.51 | 1 | — | mA |
| | 0.5 | 0.10 | 10 | 1.6 | 1.5 | 1.1 | 0.9 | 1.3 | 2.6 | — | |
| | 1.5 | 0.15 | 15 | 4.2 | 4 | 2.8 | 2.4 | 3.4 | 6.8 | — | |
| Output High (Source) Current, I _{OH} Min. | 4.6 | 0.5 | 5 | -0.64 | -0.61 | -0.42 | -0.38 | -0.51 | -1 | — | mA |
| | 2.5 | 0.5 | 5 | -2 | -1.8 | -1.3 | -1.15 | -1.6 | -3.2 | — | |
| | 9.5 | 0.10 | 10 | -1.6 | -1.5 | -1.1 | -0.9 | -1.3 | -2.6 | — | |
| | 13.5 | 0.15 | 15 | -4.2 | -4 | -2.8 | -2.4 | -3.4 | -6.8 | — | |
| Output Voltage: Low-Level V _{OL} Max. | — | 0.5 | 5 | 0.05 | | | | — | 0 | 0.05 | V |
| | — | 0.10 | 10 | 0.05 | | | | — | 0 | 0.05 | |
| | — | 0.15 | 15 | 0.05 | | | | — | 0 | 0.05 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4047B Types

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

| CHARACTERISTICS | CONDITIONS | | | LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C) | | | | | | UNITS | |
|--|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|------|-----|------|-------|------------------|-------|------|
| | V _O (V) | V _{IN} (V) | V _{DD} (V) | -55 | -40 | +85 | +125 | +25 | | | |
| | | | | | | | | Min. | Typ. | | Max. |
| Output Voltage: High-Level, V _{OH} Min. | — | 0.5 | 5 | 4.95 | | | | 4.95 | 5 | — | V |
| | — | 0.10 | 10 | 9.95 | | | | 9.95 | 10 | — | |
| | — | 0.15 | 15 | 14.95 | | | | 14.95 | 15 | — | |
| Input Low Voltage, V _{IL} Max. | 0.5, 4.5 | — | 5 | 1.5 | | | | — | — | 1.5 | V |
| | 1.9 | — | 10 | 3 | | | | — | — | 3 | |
| Input High Voltage, V _{IH} Min. | 0.5, 4.5 | — | 5 | 3.5 | | | | 3.5 | — | — | V |
| | 1.9 | — | 10 | 7 | | | | 7 | — | — | |
| Input Current I _{IN} Max. | — | 0.18 | 18 | ±0.1 | ±0.1 | ±1 | ±1 | — | ±10 ⁶ | ±0.1 | μA |

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at T_A = 25°C; Input t_r, t_f = 20 ns, C_L = 50 pF, R_L = 200 kΩ

| CHARACTERISTIC | V _{DD} (V) | LIMITS | | | UNITS |
|---|---------------------|--------|------|------|-------|
| | | MIN. | TYP. | MAX. | |
| Propagation Delay Time, t _{PHL} , t _{PLH} Astable, Astable to Osc. Out | 5 | — | 200 | 400 | |
| | 10 | — | 100 | 200 | |
| | 15 | — | 80 | 160 | |
| Astable, Astable to Q, \bar{Q} | 5 | — | 350 | 700 | |
| | 10 | — | 175 | 350 | |
| | 15 | — | 125 | 250 | |
| + or - Trigger to Q, \bar{Q} | 5 | — | 500 | 1000 | |
| | 10 | — | 225 | 460 | |
| | 15 | — | 150 | 300 | |
| Retrigger to Q, \bar{Q} | 5 | — | 300 | 600 | |
| | 10 | — | 150 | 300 | |
| | 15 | — | 100 | 200 | |
| External Reset to Q, \bar{Q} | 5 | — | 250 | 500 | ns |
| | 10 | — | 100 | 200 | |
| | 15 | — | 70 | 140 | |
| Transition Time, t _{THL} , t _{TLH} Osc. Out, Q, \bar{Q} | 5 | — | 100 | 200 | |
| | 10 | — | 50 | 100 | |
| | 15 | — | 40 | 80 | |
| Minimum Input Pulse Width, t _w + Trigger, - Trigger | 5 | — | 200 | 400 | |
| | 10 | — | 80 | 160 | |
| | 15 | — | 60 | 100 | |
| Reset | 5 | — | 100 | 200 | |
| | 10 | — | 50 | 100 | |
| | 15 | — | 30 | 60 | |
| Retrigger | 5 | — | 300 | 600 | |
| | 10 | — | 115 | 230 | |
| | 15 | — | 75 | 150 | |
| Input Rise and Fall Time, t _r , t _f All Trigger Inputs For + Trigger: t _r only is unlimited For - Trigger: t _f only is unlimited | 5 | — | — | — | μs |
| | 10 | — | — | — | |
| | 15 | — | — | — | |
| | 5 | — | 270 | — | |
| | 10 | — | 18 | — | |
| | 15 | — | 9 | — | |
| Q or \bar{Q} Deviation from 50% Duty Factor | 5 | — | ±0.5 | ±1 | % |
| | 10 | — | ±0.5 | ±1 | |
| | 15 | — | ±0.1 | ±0.5 | |
| Input Capacitance, C _{IN} | Any Input | — | 5 | 7.7 | pF |

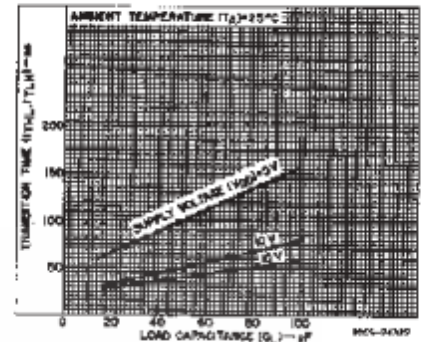


Fig. 10—Typical transition time as a function of load capacitance.

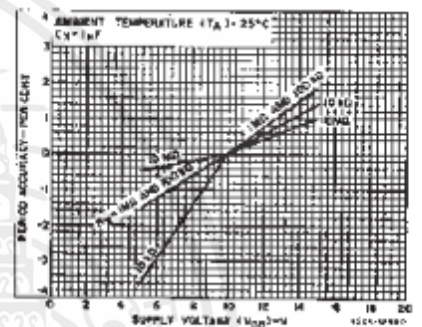


Fig. 11—Typical astable oscillator or Q, \bar{Q} period accuracy vs. supply voltage.

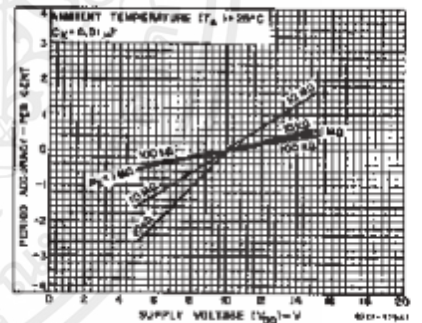


Fig. 12—Typical astable oscillator or Q, \bar{Q} period accuracy vs. supply voltage.

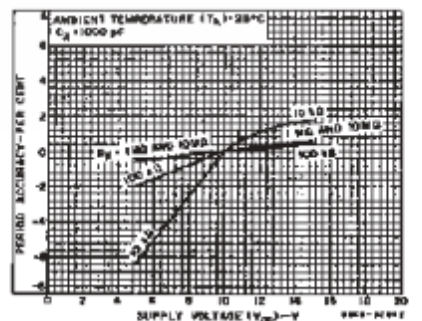


Fig. 13—Typical astable oscillator or Q, \bar{Q} period accuracy vs. supply voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4047B Types

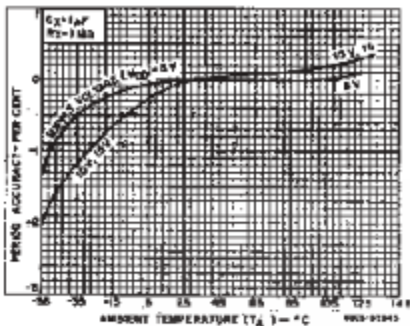


Fig. 14—Typical astable oscillator or Q, \bar{Q} period accuracy vs. ambient temperature (ultra-low frequency).

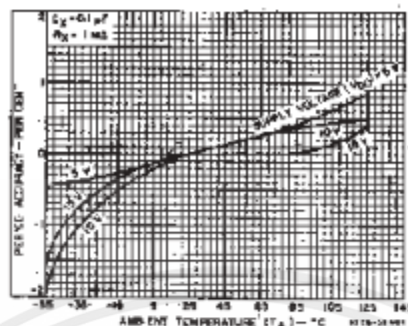


Fig. 15—Typical astable oscillator or Q, \bar{Q} period accuracy vs. ambient temperature (low frequency).

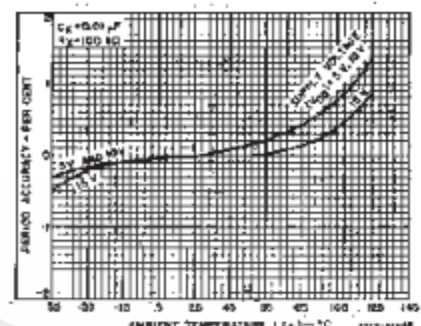


Fig. 16—Typical astable oscillator or Q, \bar{Q} period accuracy vs. ambient temperature (medium frequency).

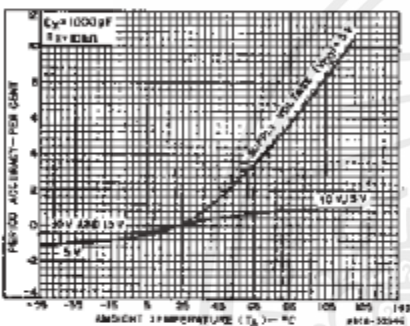


Fig. 17—Typical astable oscillator or Q, \bar{Q} period accuracy vs. ambient temperature (high frequency).

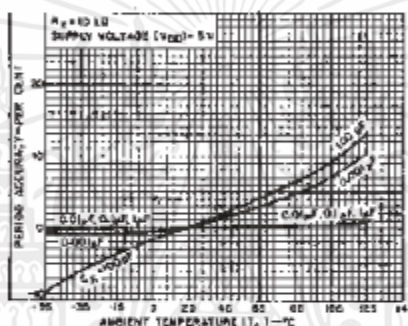


Fig. 18—Typical astable oscillator or Q, \bar{Q} period accuracy vs. ambient temperature.

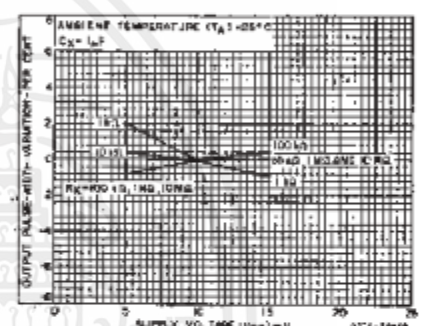


Fig. 19—Typical output pulse-width variations vs. supply voltage.

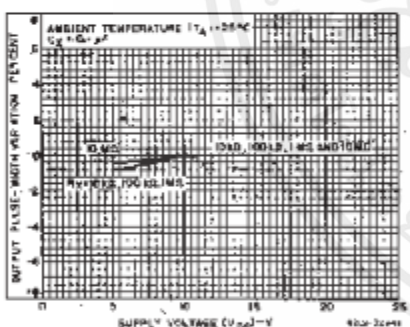


Fig. 20—Typical output pulse-width variations vs. supply voltage.

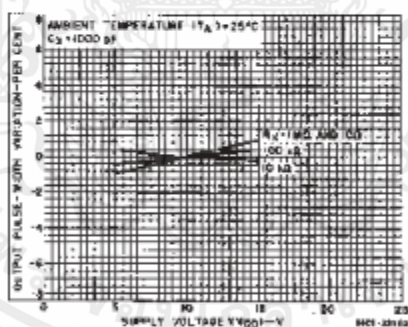


Fig. 21—Typical output pulse-width variations vs. supply voltage.

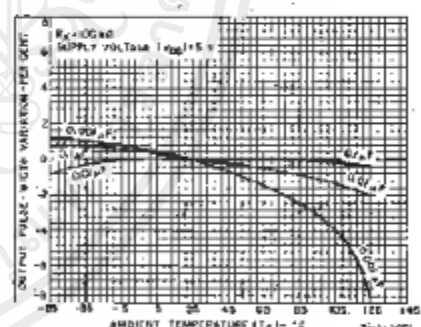


Fig. 22—Typical output pulse-width variations vs. ambient temperature.

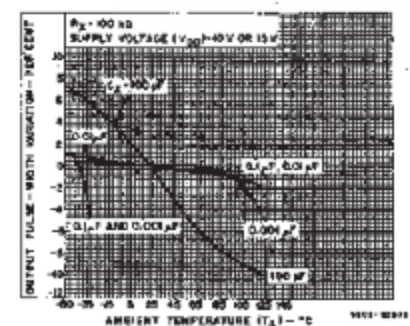


Fig. 23—Typical output pulse-width variations vs. ambient temperature.

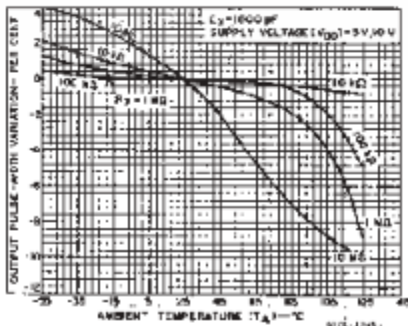


Fig. 24—Typical output pulse-width variations vs. ambient temperature.

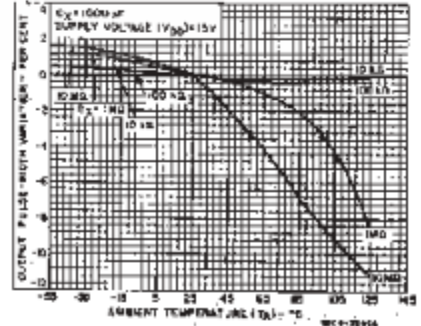


Fig. 25—Typical output pulse-width variations vs. ambient temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4047B Types

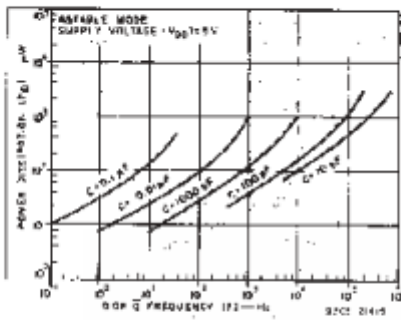


Fig. 26—Typical power dissipation vs. output frequency ($V_{DD} = 5\text{ V}$).

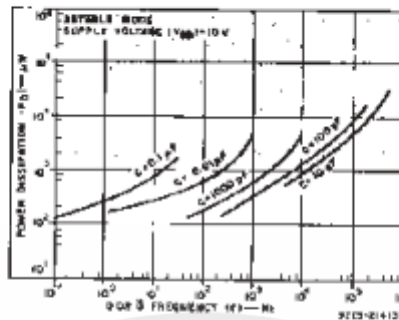


Fig. 27—Typical power dissipation vs. output frequency ($V_{DD} = 10\text{ V}$).

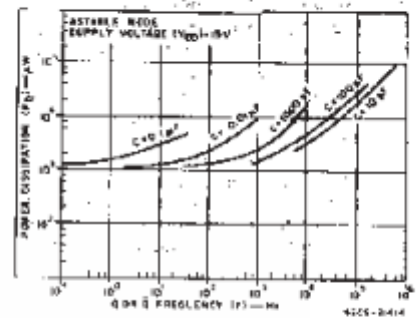


Fig. 28—Typical power dissipation vs. output frequency ($V_{DD} = 15\text{ V}$).

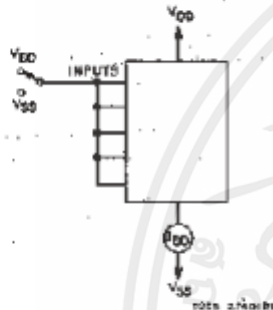


Fig. 29—Quiescent device current test circuit.

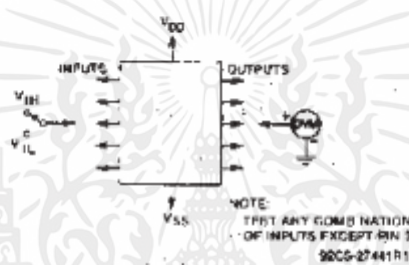


Fig. 30—Input-voltage test circuit.

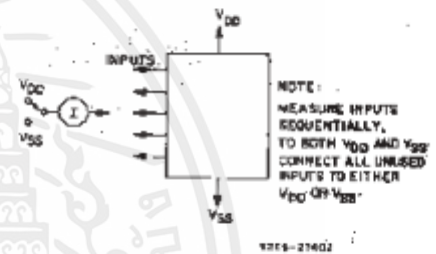


Fig. 31—Input-leakage-current test circuit.

I. Astable Mode Design Information

A. Unit-to-Unit Transfer-Voltage Variations — The following analysis presents variations from unit to unit as a function of transfer-voltage (V_{TR}) shift (33%—67% V_{DD}) for free-running (astable) operation.



Fig. 32—Astable mode waveforms.

$$t_1 = -RC \ln \frac{V_{TR}}{V_{DD} + V_{TR}}$$

typically, $t_1 = 1.1 RC$

$$t_2 = -RC \ln \frac{V_{DD} - V_{TR}}{2V_{DD} - V_{TR}}$$

typically, $t_2 = 1.1 RC$

$$T_A = 2(t_1 + t_2)$$

$$= -2 RC \ln \frac{(V_{TR} \times V_{DD} - V_{TR})}{(V_{DD} + V_{TR})(2V_{DD} - V_{TR})}$$

Typ: $V_{TR} = 0.5 V_{DD}$ $t_A = 4.40 RC$
 Min: $V_{TR} = 0.33 V_{DD}$ $t_A = 4.62 RC$
 Max: $V_{TR} = 0.67 V_{DD}$ $t_A = 4.82 RC$

thus if $t_A = 4.40 RC$ is used, the variation will be +5%, -0% due to variations in transfer voltage.

B. Variations Due to V_{DD} and Temperature Changes — In addition to variations from unit to unit, the astable period varies with V_{DD} and temperature. Typical variations are presented in graphical form in Figs. 31 to 35 with 10 V as reference for voltage variations curves and 25°C as reference for temperature variations curves.

II. Monostable Mode Design Information

The following analysis presents variations from unit to unit as a function of transfer-voltage (V_{TR}) shift (33% — 67% V_{DD}) for one shot (monostable) operation.

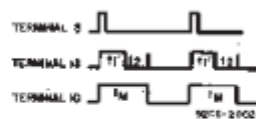


Fig. 33—Monostable waveforms.

$$t_1' = -RC \ln \frac{V_{TR}}{2V_{DD}}$$

typically, $t_1' = 1.38 RC$

$$t_M = (t_1' + t_2)$$

$$t_M = -RC \ln \frac{(V_{TR})(V_{DD} - V_{TR})}{(2V_{DD} - V_{TR})(2V_{DD})}$$

where t_M = Monostable mode pulse width. Values for t_M are as follows:

Typ: $V_{TR} = 0.5 V_{DD}$ $t_M = 2.48 RC$
 Min: $V_{TR} = 0.33 V_{DD}$ $t_M = 2.71 RC$
 Max: $V_{TR} = 0.67 V_{DD}$ $t_M = 2.48 RC$

thus if $t_M = 2.48 RC$ is used, the variation will be +9.3%, -0% due to variations in transfer voltage.

Note:

In the astable mode, the first positive half cycle has a duration of t_H ; succeeding durations are $t_A/2$.

In addition to variations from unit to unit, the monostable pulse width varies with V_{DD} and temperature. These variations are presented in graphical form in Fig. 19 to 26 with 10 V as reference for voltage-variation curves and 25°C as reference for temperature-variation curves.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

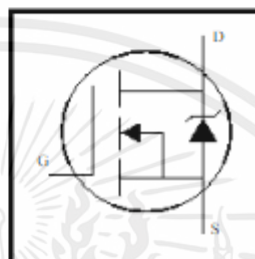
International
IR Rectifier

PD - 91341B

IRF540N

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

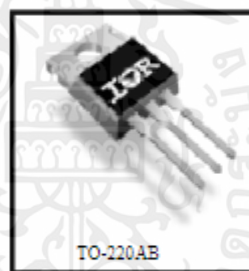


| |
|--------------------------|
| $V_{DS} = 100V$ |
| $R_{DS(on)} = 44m\Omega$ |
| $I_D = 33A$ |

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 |
|---------------------------|------------------------|-------|
| $I_D @ T_c = 25^\circ C$ | 33 | A |
| $I_D @ T_c = 100^\circ C$ | 23 | |
| I_{DM} | 110 | |
| $P_D @ T_c = 25^\circ C$ | 130 | W |
| | 0.87 | W/°C |
| V_{GS} | + 20 | V |
| I_{AR} | 16 | A |
| E_{AR} | 13 | mJ |
| dv/dt | 7.0 | V/ns |
| T_j | -55 to + 175 | °C |
| T_{SM} | | |
| | 300 (1.6mm from case) | |
| | 10 lbf·in (1.1N·m) | |

Thermal Resistance

| Parameter | Typ. | Max. | Units |
|-----------------|------|------|-------|
| $R_{\theta JC}$ | — | 1.15 | °C/W |
| $R_{\theta CS}$ | 0.50 | — | |
| $R_{\theta JA}$ | — | 62 | |

www.irf.com

1
03/13/01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF540N

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

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions |
|------------------------------|--------------------------------------|------|------|------|--------------------|--|
| $V_{(BR)DS}$ | Drain-to-Source Breakdown Voltage | 100 | | | | $V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$ |
| $\Delta V_{(BR)DS}/\Delta T$ | Breakdown Voltage Temp. Coefficient | | 0.12 | | $V/^\circ\text{C}$ | Reference to 25°C , $I_D = 1\text{mA}$ |
| $R_{DS(on)}$ | Static Drain-to-Source On-Resistance | | | 44 | $m\Omega$ | $V_{GS} = 10V, I_D = 16A$ |
| $V_{GS(th)}$ | Gate Threshold Voltage | 2.0 | | 4.0 | V | $V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$ |
| g_m | Forward Transconductance | 21 | | | S | $V_{DS} = 50V, I_D = 16A$ |
| I_{DSS} | Drain-to-Source Leakage Current | | | 25 | μA | $V_{GS} = 100V, V_{DS} = 0V$ |
| | | | | 250 | μA | $V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$ |
| I_{DSS} | Gate-to-Source Forward Leakage | | | 100 | nA | $V_{GS} = 20V$ |
| | Gate-to-Source Reverse Leakage | | | -100 | nA | $V_{GS} = -20V$ |
| Q_g | Total Gate Charge | | | 71 | nC | $I_D = 16A$ |
| Q_{gs} | Gate-to-Source Charge | | | 14 | nC | $V_{GS} = 80V$ |
| Q_{gd} | Gate-to-Drain ("Miller") Charge | | | 21 | nC | $V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 |
| $t_{d(on)}$ | Turn-On Delay Time | | | 31 | ns | $V_{GS} = 50V$ |
| t_r | Rise Time | | | 35 | ns | $I_D = 16A$ |
| $t_{d(off)}$ | Turn-Off Delay Time | | | 39 | ns | $R_{\theta J} = 5.1\Omega$ |
| t_f | Fall Time | | | 35 | ns | $V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 |
| L_D | Internal Drain Inductance | | | 4.5 | nH | Between lead, 6mm (0.25in.) |
| L_S | Internal Source Inductance | | | 7.5 | nH | From package and center of die contact. |
| C_{iss} | Input Capacitance | | | 1960 | pF | $V_{GS} = 0V$ |
| C_{oss} | Output Capacitance | | | 250 | pF | $V_{GS} = 25V$ |
| C_{rs} | Reverse Transfer Capacitance | | | 40 | pF | $f_r = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5 |
| E_{AS} | Single Pulse Avalanche Energy | | | 700 | mJ | $I_{AS} = 16A, L = 1.5mH$ |

Source-Drain Ratings and Characteristics

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions |
|----------|--|---|------|---------|-------|--|
| I_S | Continuous Source Current (Body Diode) | | | 33 | A | MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. |
| I_{SM} | Pulsed Source Current (Body Diode) | | | 110 | A | |
| V_{SD} | Diode Forward Voltage | | | 1.2 | V | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 16A, V_{GS} = 0V$ |
| t_r | Reverse Recovery Time | | | 115 | ns | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 16A$ |
| Q_{rr} | Reverse Recovery Charge | | | 5.0-5.7 | nC | $di/dt = 100A/\mu s$ |
| t_{on} | Forward Turn-On Time | Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_D+L_S) | | | | |

Notes:

- 1 Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- 2 Starting $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 1.5mH, R_G = 25\Omega, I_{AS} = 16A$. (See Figure 12)
- 3 $I_{SM} \leq 16A, di/dt \leq 340A/\mu s, V_{SD} \leq V_{(BR)SD}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- 4 Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- 5 This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- 6 This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

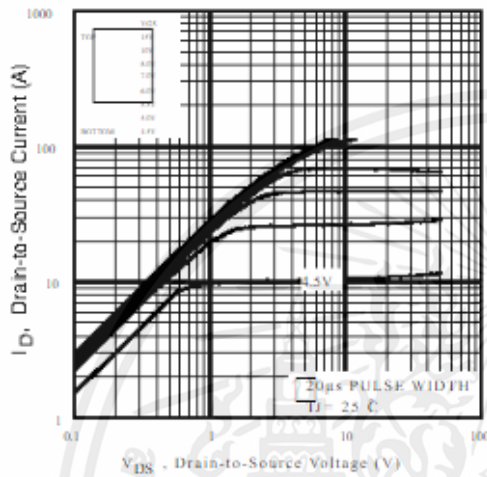


Fig 1. Typical Output Characteristics

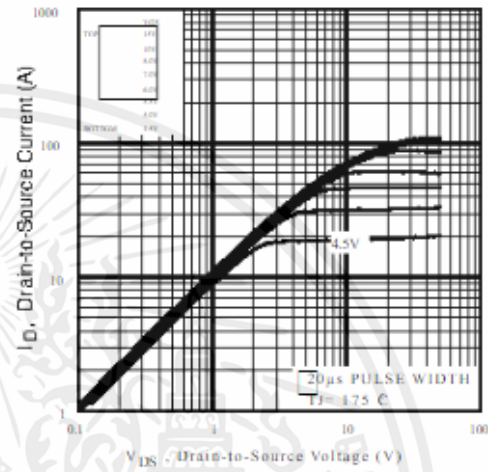


Fig 2. Typical Output Characteristics

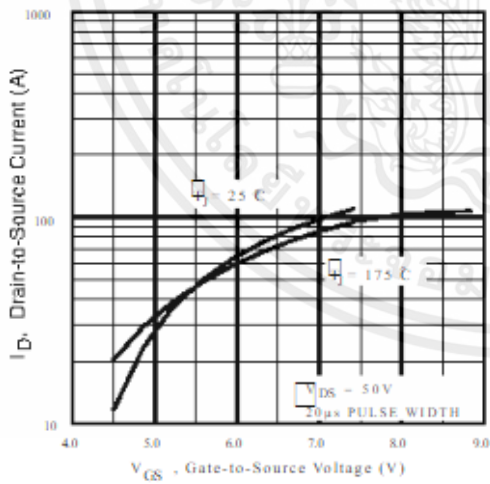


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

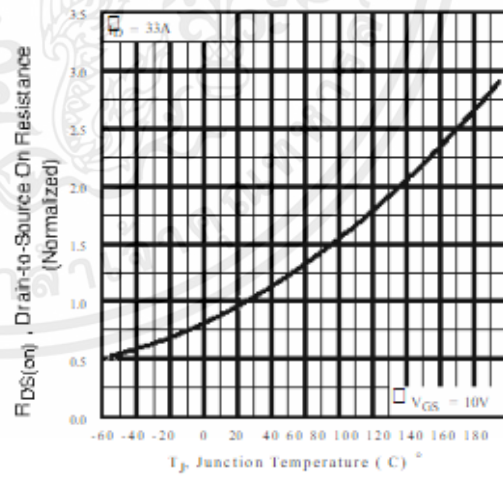


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF540N

International
IR Rectifier

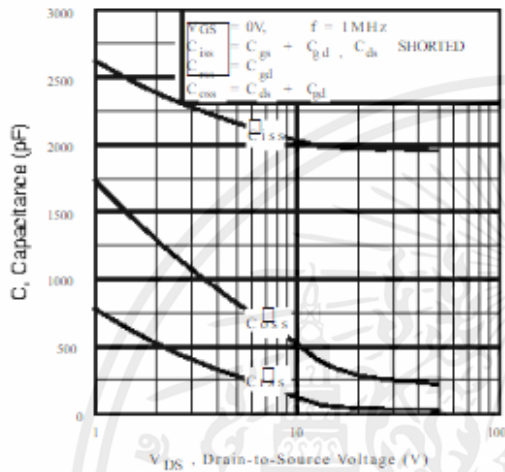


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

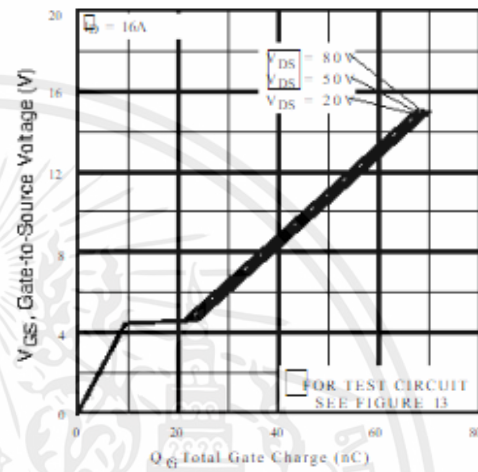


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

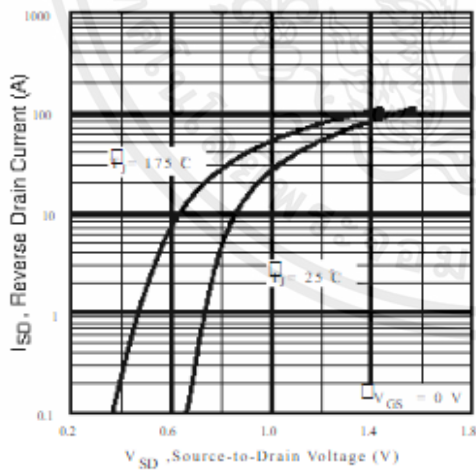


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

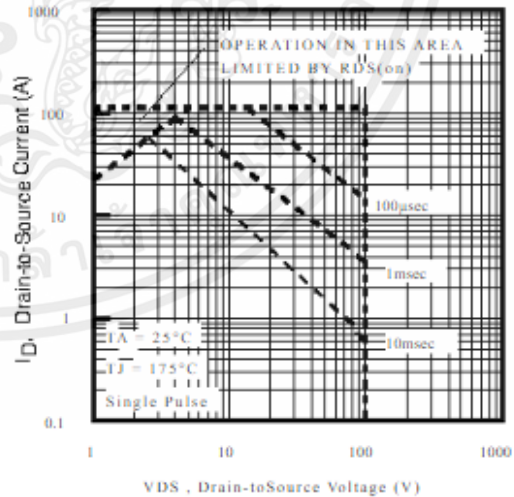


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

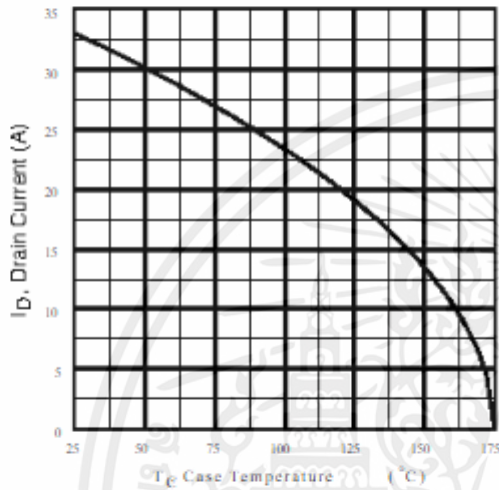


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

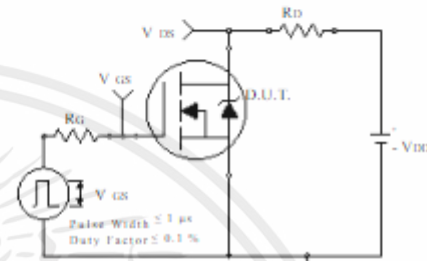


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

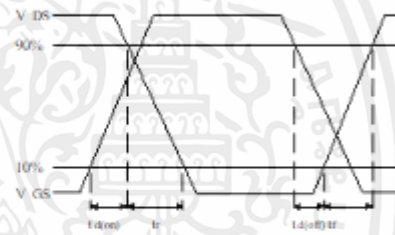


Fig 10b. Switching Time Waveforms

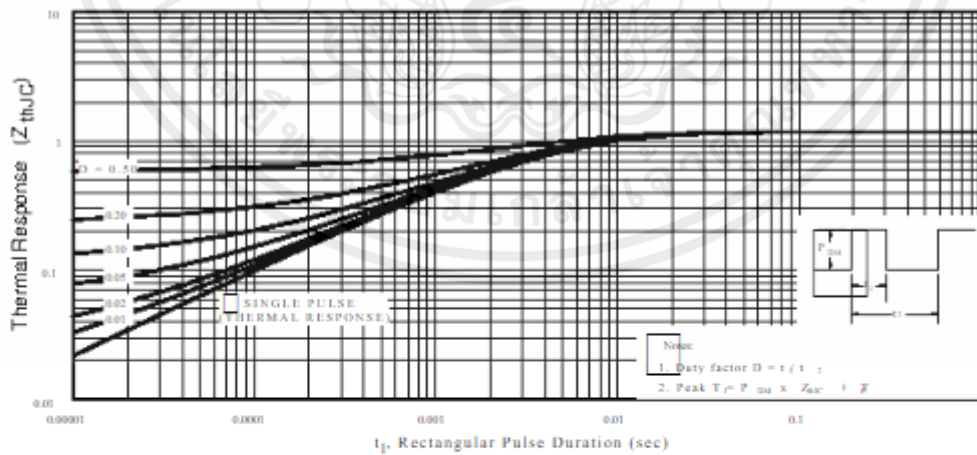


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF540N

International
IOR Rectifier

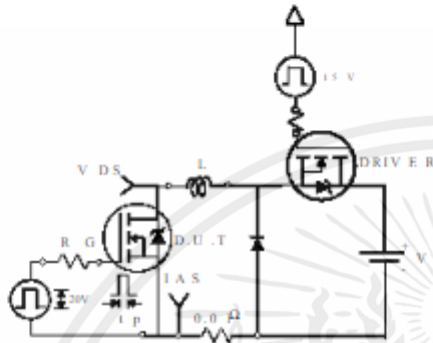


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

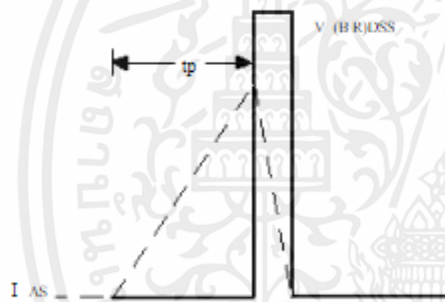


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

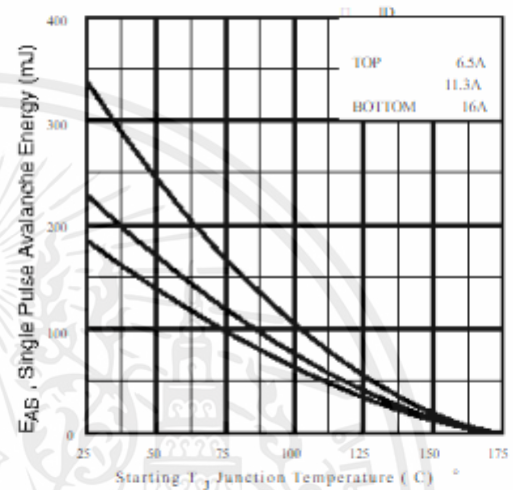


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

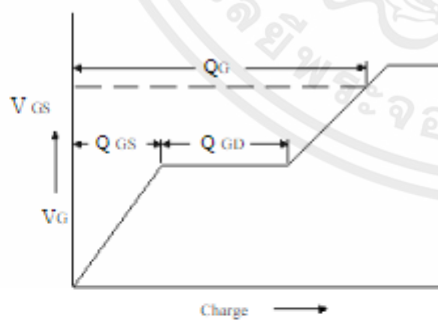


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

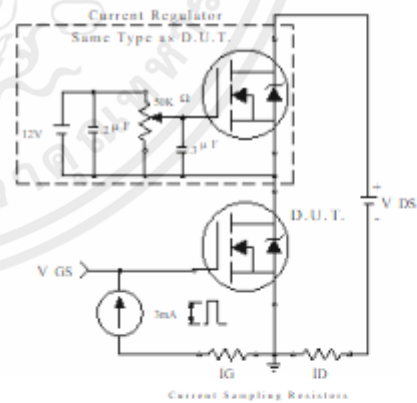


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

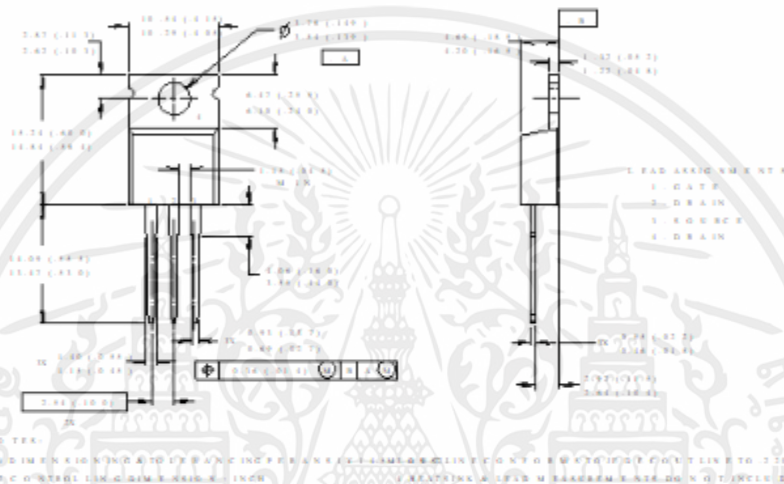
IRF540N

International
IR Rectifier

Package Outline

TO-220AB

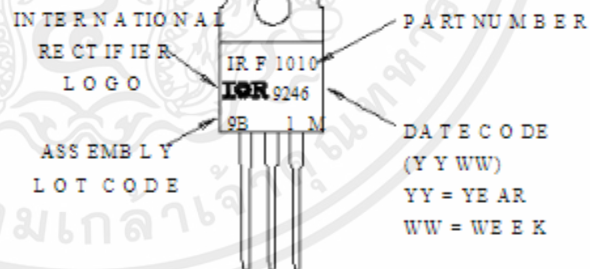
Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

TO-220AB

EXAMPLE: THIS IS AN IRF 1010
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.
This product has been designed and qualified for the industrial market.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105

TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information.03/01

www.irf.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM117/217 LM317

1.2V TO 37V VOLTAGE REGULATOR

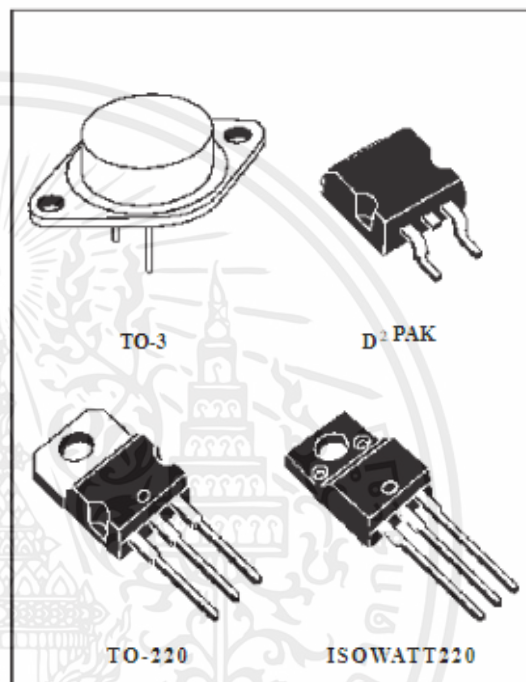
- OUTPUT VOLTAGE RANGE : 1.2 TO 37V
- OUTPUT CURRENT IN EXCESS OF 1.5A
- 0.1% LINE AND LOAD REGULATION
- FLOATING OPERATION FOR HIGH VOLTAGES
- COMPLETE SERIES OF PROTECTIONS : CURRENT LIMITING, THERMAL SHUTDOWN AND SOA CONTROL

DESCRIPTION

The LM117/LM217/LM317 are monolithic integrated circuit in TO-220, ISOWATT220, TO-3 and D 2PAK packages intended for use as positive adjustable voltage regulators.

They are designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V range.

The nominal output voltage is selected by means of only a resistive divider, making the device exceptionally easy to use and eliminating the stocking of many fixed regulators.



ABSOLUTE MAXIMUM RATING

| Symbol | Parameter | Value | Unit |
|-----------|---|--------------------------------------|--------------|
| V_{io} | Input-output Differential Voltage | 40 | V |
| I_o | Output Current | Internally Limited | |
| T_{op} | Operating Junction Temperature for: LM117 LM217 LM317 | -55 to 150 -25 to 150 0 to 125 | $^{\circ}$ C |
| P_{tot} | Power Dissipation | Internally Limited | |
| T_{stg} | Storage Temperature | - 65 to 150 | $^{\circ}$ C |

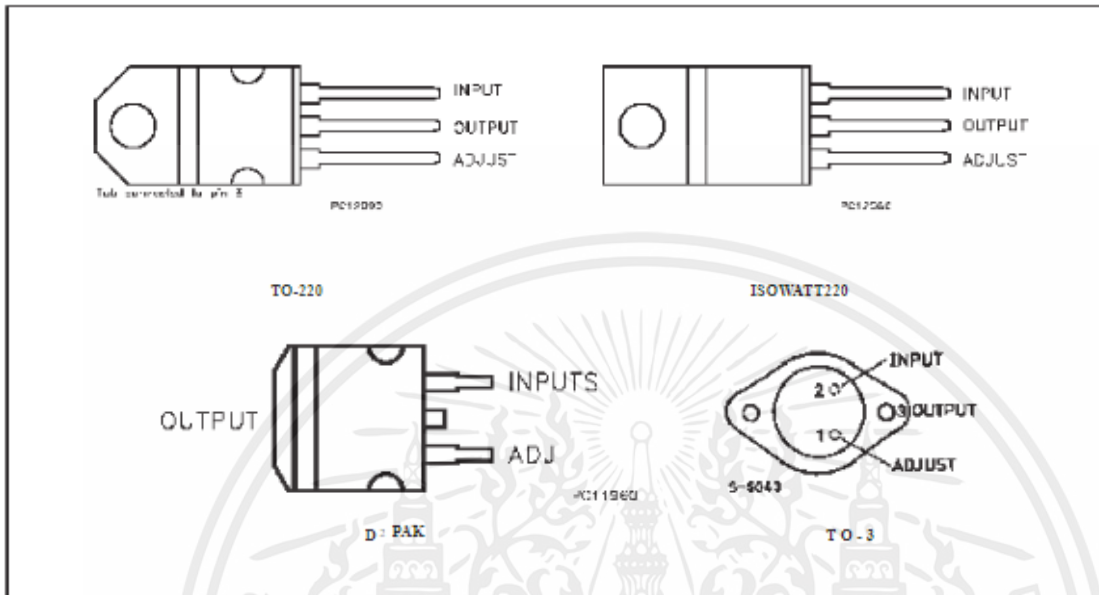
THERMAL DATA

| Symbol | Parameter | | TO-3 | TO-220 | ISOW ATT220 | D - PAK | Unit |
|---------------|-------------------------------------|-----|------|--------|-------------|---------|----------------|
| $R_{th(j-c)}$ | Thermal Resistance Junction-case | Max | 4 | 3 | 4 | 3 | $^{\circ}$ C/W |
| $R_{th(j-a)}$ | Thermal Resistance Junction-ambient | Max | 35 | 50 | 60 | 62.5 | $^{\circ}$ C/W |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

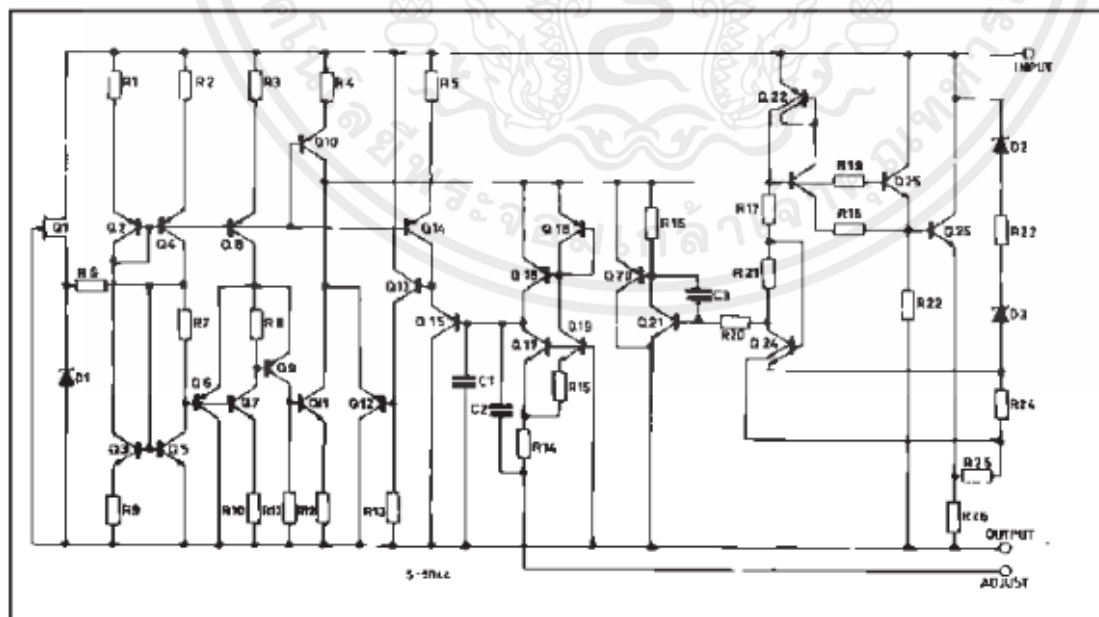
LM117/217/317

CONNECTION DIAGRAM AND ORDERING NUMBERS (top view)



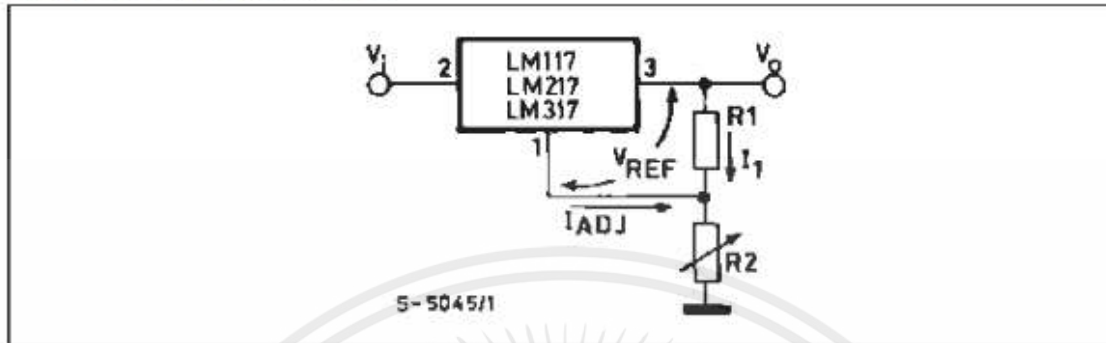
| Type | TO-3 | TO-220 | ISOWATT220 | D-PAK |
|-------|--------|--------|------------|----------|
| LM117 | LM117K | | | |
| LM217 | LM217K | LM217L | | LM217D2T |
| LM317 | LM317K | LM317T | LM317P | LM317D2T |

SCHEMATIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BASIC ADJUSTABLE REGULATOR



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_i - V_o = 5\text{ V}$, $I_o = 500\text{ mA}$, $I_{\text{MAX}} = 1.5\text{ A}$ and $P_{\text{MAX}} = 20\text{ W}$, unless otherwise specified)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | LM117/LM217 | | | LM317 | | | Unit |
|--------------------------|--|--|------------------------------------|-------|------|-------|-------|------|---------------|
| | | | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | |
| ΔV_o | Line Regulation | $V_i - V_o = 1.5\text{ to }40\text{ V}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$ | 0.01 | 0.02 | | 0.01 | 0.04 | | %/V |
| ΔV_o | Load Regulation | $V_o \leq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{\text{MAX}}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$ | 0.02 | 0.03 | | 0.02 | 0.07 | | %/V |
| ΔV_o | Load Regulation | $V_o \geq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{\text{MAX}}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$ | 0.1 | 0.3 | | 0.1 | 0.5 | | % |
| I_{ADJ} | Adjustment Pin Current | | 50 | 100 | | 50 | 100 | | μA |
| I_{ADJ} | Adjustment Pin Current | $V_o = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{\text{MAX}}$ | 0.2 | 5 | | 0.2 | 5 | | μA |
| V_{REF} | Reference Voltage (between pin 3 and pin 1) | $V_i - V_o = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{\text{MAX}}$ $P_D \leq P_{\text{MAX}}$ | 1.21 | 2.51 | 3 | 1.2 | 1.251 | 3 | V |
| $\frac{\Delta V_o}{V_o}$ | Output Voltage Temperature Stability | | | 11 | | | | | % |
| $I_{\text{O(MIN)}}$ | Minimum Load Current | $V_i - V_o = 40\text{ V}$ | 3.5 | 5 | | 3.5 | 10 | | mA |
| $I_{\text{O(MAX)}}$ | Maximum Load Current | $V_i - V_o \leq 15\text{ V}$ $P_D \leq P_{\text{MAX}}$ | 1.5 | 2.2 | | 1.5 | 2.2 | | A |
| $I_{\text{O(MAX)}}$ | Maximum Load Current | $V_i - V_o = 40\text{ V}$ $P_D \leq P_{\text{MAX}}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$ | | 0.4 | | | 0.4 | | A |
| en | Output Noise Voltage (percentage of V_o) | $B = 10\text{ Hz to }10\text{ kHz}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$ | | 0.003 | | | 0.003 | | % |
| S.V.R | Supply Voltage Rejection (*) | $T_c = 25^\circ\text{C}$ $f = 120\text{ Hz}$ | | 65 | | | 65 | | dB |
| | | | $C_{\text{ADJ}} = 10\ \mu\text{F}$ | 66 | | 66 | 80 | | dB |

(*) C_{ADJ} is connected between pin 1 and ground.

Note:

(1) Unless otherwise specified the above specs. apply over the following conditions: LM117 $T_c = 55\text{ to }150^\circ\text{C}$; LM217 $T_c = 25\text{ to }150^\circ\text{C}$; LM317 $T_c = 0\text{ to }125^\circ\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM117/217/317

to improve the ripple rejection of about 15 dB (C_{ADJ}).

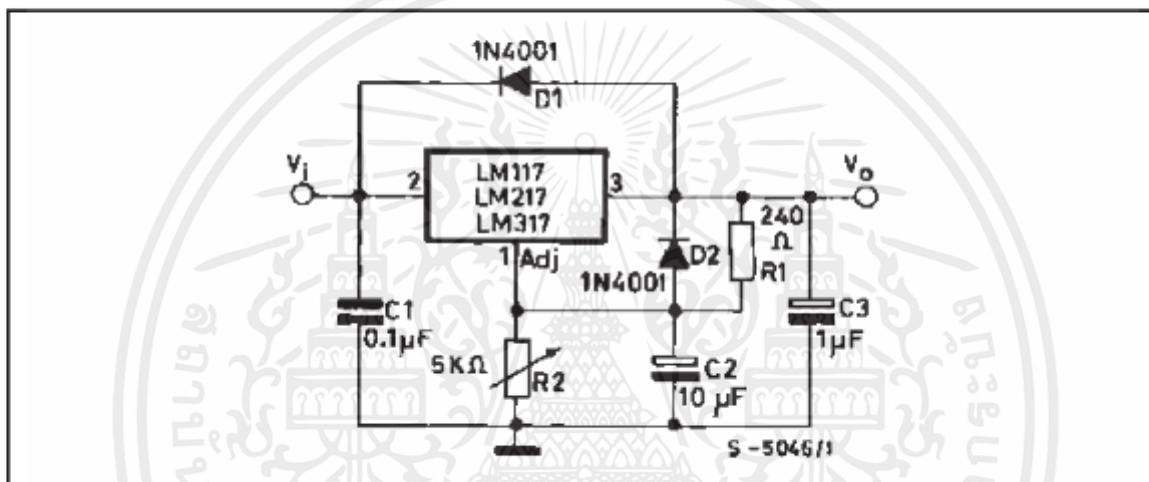
An 1 μ F tantalium (or 25 μ F Aluminium electrolytic) capacitor on the output to improve transient response.

In addition to external capacitors, it is good

practice to add protection diodes, as shown in fig.5.

D1 protect the device against input short circuit, while D2 protect against output short circuit for capacitance discharging.

Figure 5 : Voltage Regulator with Protection Diodes.



D1 protect the device against input short circuit, while D2 protects against output short circuit for capacitors discharging

Figure 6 : Slow Turn-on 15V Regulator.

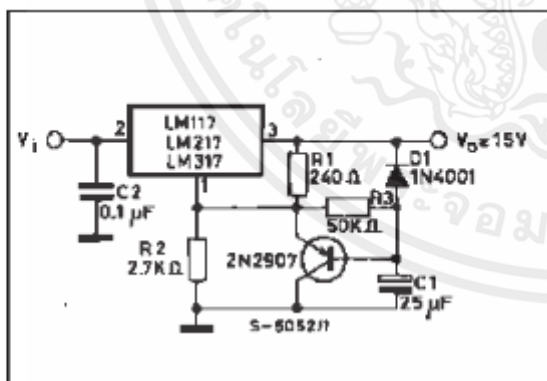
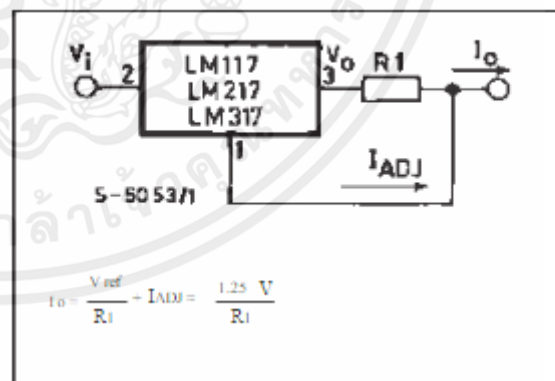


Figure 7 : Current Regulator.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้