

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

MINI-SOLAR ENERGY SYSTEM



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมั.....
เลขทะเบียน..... 36968
วัน, เดือน, ปี ๓๐ ต.ค. 254๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

MINI-SOLAR ENERGY SYSTEM



นางสาวชนิษฐา เสาใบ  
นายประสิทธิ์ชัย ศิริพรอดุลศิลป์  
นายปรัชญา พลະพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

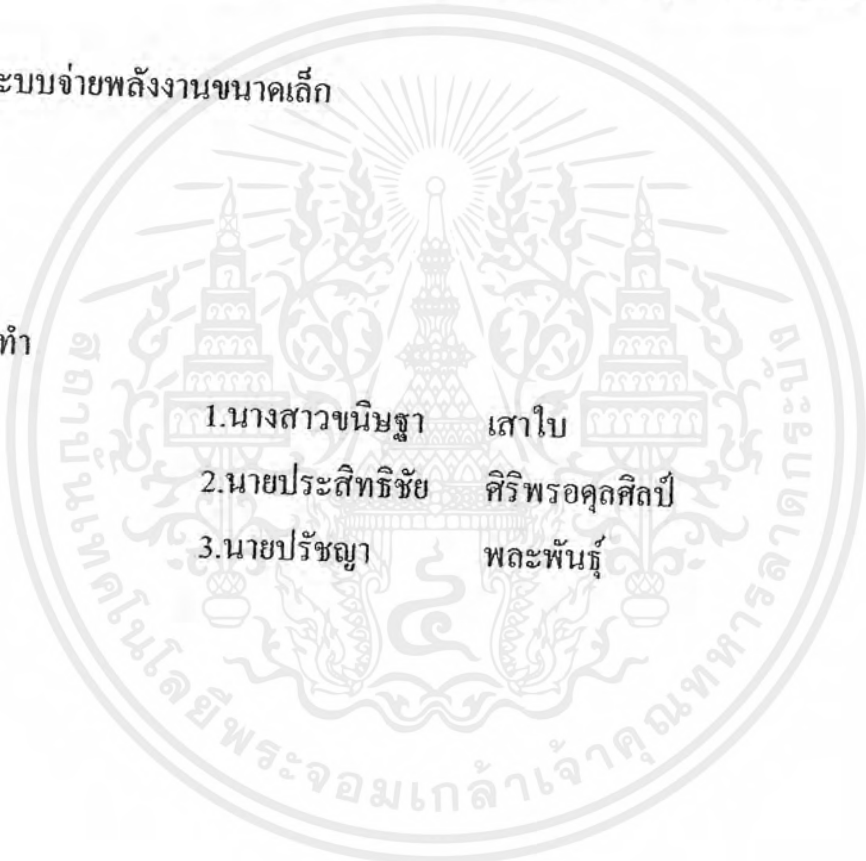
ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบจ่ายพลังงานขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

- 
- 1.นางสาวนิษฐา เสาใบ
  - 2.นายประสิทธิ์ชัย ศิริพรอคุศลศิลป์
  - 3.นายปรัชญา พลละพันธ์



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบจ่ายพลังงานขนาดเล็ก

นางสาวชนิษฐา เสาใบ

นายประสิทธิ์ชัย ศิริพรอคุดศิลป์

นายปรัชญา พลพะพันธุ์

รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบตามลำพัง (Photovoltaic Stand Alone System) ซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 วัตต์ 2 แผง โดยเปลี่ยนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านชุดอัดประจุไฟฟ้า (Battery Chager) ให้แบตเตอรี่ไปเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ในตอนกลางวัน แล้วในตอนกลางคืนจึงนำพลังงานจากแบตเตอรี่ไปส่งผ่านชุดอินเวอร์เตอร์ (ใช้ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งควบคุมด้วยเทคนิค Pulse Width Modulation โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่น (full-bridge converter) จะได้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจึงยกระดับแรงดันด้วยหม้อแปลงเพื่อนำไปจ่ายโหลดพลังงานกระแสสลับขนาดเล็ก 1 เฟส 50 เฮิร์ต 220 โวลต์ มีพิกัด 50 วัตต์ใช้งานได้นาน 10 ชั่วโมงต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Mini-Solar Energy System

Kanittha Saobai  
 Prasittichai Siripornadunsin  
 Pratyapa Palaphan  
 Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul Advisor  
 1999

#### Abstract

This project is based on the principle of Photovoltaic Stand Alone System. Solar cells 55 W 2 Panels are used to produce the electrical energy. Battery is charged by DC voltage the receiving from Solar cells by Charger circuit then DC is inverted to AC voltage by DC-AC full bridge converter and step-up voltage by transformer for supplying AC mini-load 1 phase 50 Hz , 220 V. The specified conditions are 50 Watts rated for 10 hours continuous operation.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1	1
บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
หลักการเบื้องต้นของระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีต่าง ๆ	3
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์	3
2.2 แบตเตอรี่	12
2.3 วงจรอັคประจุไฟฟ้า	13
2.4 อินเวอเตอร์	14
2.5 Insulated gate bipolar transistor	15
2.6 หม้อแปลงไฟฟ้า	15
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	17
3.1 การคำนวณขนาดแบตเตอรี่	17
3.2 วงจรอັคประจุแบตเตอรี่	17
3.3 วงจรอินเวอเตอร์	18
วงจรเรกกูเลเตอร์ไฟลบที่ปรับค่าได้	18
วงจรสร้างสัญญาณไซน์	18
วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	20
วงจรเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม	20
วงจรเคทโทด	21
วงจรขับเคลื่อนไอจีบีที	21
วงจรกำลัง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรไฟเลี้ยง	23
3.5 Low Voltage cut-off device	24
3.6 การจัดวางวงจรต่าง ๆ ลงกล่อง	24
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	26
4.1 การทดลองหาเส้นแสดงคุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์	26
4.2 การทดลองการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้วงจรอัดประจุ	31
4.3 การทดลองหาคงสมบัติของอินเวอร์เตอร์	33
4.4 หาคงสมบัติเมื่อต่ออินเวอร์เตอร์กับหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกัน	36
4.5 การทดลองหาคงสมบัติรวมของระบบ	41
4.6 การทดลองหาคงสมบัติของระบบรวมเมื่อทำการจ่ายโหลดเป็นเวลา 10 ชั่วโมง	46
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	48
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังการทำงานของระบบในตอนกลางวัน	2
รูปที่ 1.2 แผนผังการทำงานของระบบในตอนกลางคืน	2
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบห้วต่อพีเอ็น	5
รูปที่ 2.2 เส้นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	6
รูปที่ 2.3 สเปคตรัมของแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ	8
รูปที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนของ Si และ GaAs ที่ค่าโฟตอนขนาดต่าง ๆ	9
รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์	10
รูปที่ 2.6 อิทธิพลของความต้านทานขนานที่มีต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์	11
รูปที่ 2.7 อิทธิพลของความต้านทานอนุกรมที่มีต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์	11
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า	16
รูปที่ 3.1 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่	18
รูปที่ 3.2 วงจรเรกกูเลเตอร์ไฟลบปรับค่าได้	18
รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณไซน์	19
รูปที่ 3.4 วงจรเลื่อนสัญญาณรูปไซน์	20
รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	20
รูปที่ 3.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม	21
รูปที่ 3.7 วงจรเคทไทยม์	21
รูปที่ 3.8 วงจรขับเคลื่อนไอจีบีที	22
รูปที่ 3.9 วงจรกำลังของชุดอินเวอร์เตอร์	23
รูปที่ 3.10 วงจรไฟเลี้ยง	23
รูปที่ 3.11 วงจรป้องกันแบตเตอรี่	24
รูปที่ 3.12 แสดงการจัดวางวงจรในชั้นที่สองภายในกล่อง	24
รูปที่ 3.13 แสดงการจัดวางวงจรในชั้นที่หนึ่งภายในกล่อง	25
รูปที่ 3.14 แสดง โครงสร้างรวมของโครงการ	25
รูปที่ 4.1 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	26
รูปที่ 4.2 วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันและกระแส ณ เวลา 13.30 น.	29
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันเปิดวงจรกับกระแสลัดวงจรที่เวลาต่าง ๆ	29
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรกับเวลาใน 1 วัน	30
รูปที่ 4.6 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของ Charger	31
รูปที่ 4.7 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	33
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับ โวลเตจเรกกูเลชัน	34
รูปที่ 4.9 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติเมื่ออินเวอร์เตอร์ต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อจ่ายโหลด	36
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหอดเผาไส้และ ประสิทธิภาพจากการทดลองที่ 4.4	38
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหอดเผาไส้และ โวลเตจเรกกูเลชันจากการทดลองที่ 4.4	38
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหอดเผาไส้เกี่ยวกับ ประสิทธิภาพจากการทดลองที่ 4.4	39
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหอดเผาไส้เกี่ยวกับ โวลเตจเรกกูเลชันจากการทดลองที่ 4.4	39
รูปที่ 4.14 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติรวมของระบบ	41
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหอดเผาไส้กับ ประสิทธิภาพจากการทดลองที่ 4.5	43
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหอดเผาไส้กับ โวลเตจเรกกูเลชันจากการทดลองที่ 4.5	43
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหอดเผาไส้เกี่ยวกับ ประสิทธิภาพจากการทดลองที่ 4.5	44
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหอดเผาไส้เกี่ยวกับ โวลเตจเรกกูเลชันจากการทดลองที่ 4.5	44
รูปที่ 4.19 การทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อจ่ายโหลด 50 วัตต์ นาน 10 ชั่วโมง	46

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าแรงดันเปิดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรที่เวลาต่าง ๆ กันในวัน	27
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่เกิดจากการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ใน ในวงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์ เวลา 13.30 น.	28
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองชุดวงจรอัดประจุเข้าแบตเตอรี่	31
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	34
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้โหลดชนิดหลอดเผาไส้	37
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้โหลดชนิดหลอดตะเกียบ	37
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อใช้หลอดเผาไส้เป็นโหลด	42
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อใช้หลอดตะเกียบเป็นโหลด	42
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเมื่อระบบรวมทำการจ่ายโหลดนาน 10 ชั่วโมง	47

## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันนี้สภาวะสิ่งแวดล้อมทั่วโลกมีความเสื่อมโทรมลงและทวีความรุนแรงมากขึ้นมีการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือยโดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมาจากการเผาเชื้อเพลิงที่เป็นถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ เป็นผลให้เกิดมลพิษและอุณหภูมิของโลกสูงขึ้นซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้นับวันก็จะหมดลงเรื่อยๆ จึงจำเป็นที่จะต้องหาพลังงานอื่นมาทดแทนและไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษตามมา โดยพลังงานจากแสงอาทิตย์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นพลังงานที่บริสุทธิ์และได้มีการศึกษาและพัฒนามานานแล้วที่จะนำพลังงานนี้มาใช้

ในโครงการวิศวกรรมนี้ได้เลือกที่จะนำเอาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ให้ได้มากที่สุดอีกทางหนึ่ง โดยจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยทั่วไปได้ ซึ่งในตอนกลางวันจะมีการเก็บพลังงานสำรองไว้ในแบตเตอรี่แล้วนำพลังงานที่ได้มาใช้ในตอนกลางคืนซึ่งเรียกระบบนี้ว่าระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System)

ถึงแม้ว่าระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในโครงการนี้จะป็นระบบขนาดเล็กแต่ก็สามารถที่จะพัฒนาให้เป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นพลังงานที่สำคัญในการพัฒนาประเทศชาติต่อไปในอนาคต

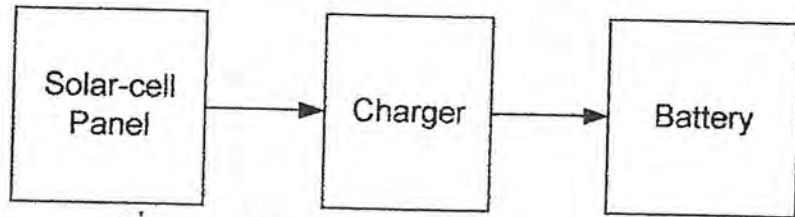
### วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษากระบวนการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System)
2. สร้างระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ( Photovoltaic System ) เพื่อจ่ายโหลดพลังงานกระแสสลับขนาด 1 เฟส 50 เฮิร์ต 220 โวลต์ พิกัด 50 วัตต์ใช้งานได้นาน 10 ชั่วโมงต่อเนื่องเป็นระบบ Stand Alone
3. ศึกษาคุณลักษณะของแบตเตอรี่และสร้างชุดอัดประจุแบตเตอรี่(Battery Charger)
4. ศึกษาและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์

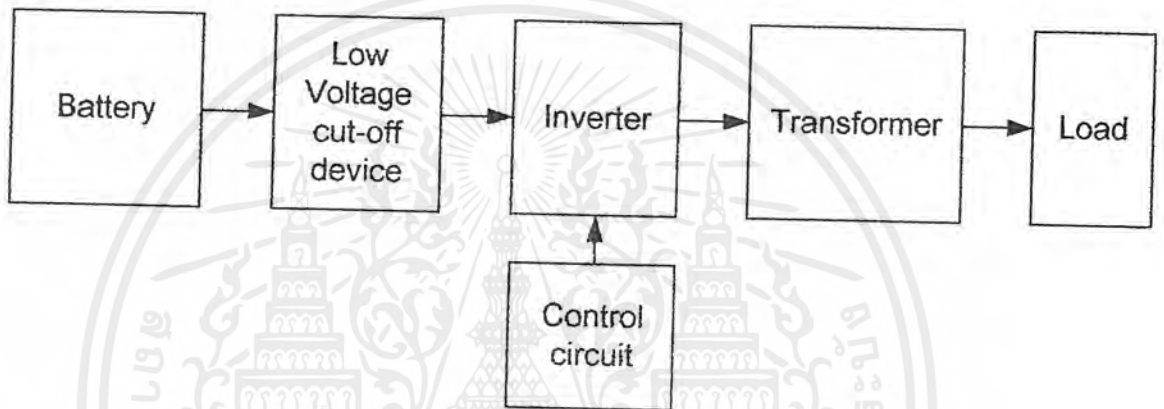
### หลักการเบื้องต้นของระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ศึกษาในโครงการนี้ ในตอนกลางวันจะนำพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ด้วยชุดอัดประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ แล้วจะได้นำพลังงานที่เก็บไว้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในตอนกลางคืนด้วยการแปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ที่ได้จากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 Hz ด้วยชุดอินเวอร์เตอร์ โดยชุดอินเวอร์เตอร์จะควบคุม

คุมแบบ SPWM และจะมีการยกระดับแรงดันโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าดังแสดงได้ตามแผนผังการทำงานดังรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 แผนผังการทำงานของระบบในตอนกลางวัน



รูปที่ 1.2 แผนผังการทำงานของระบบในตอนกลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีต่างๆ

### 2.1. เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงาน ไฟฟ้าพลังงาน ไฟฟ้านี้จะถูกจ่ายออกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์นั้นกับ โหลดที่เหมาะสม

การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ในอดีตนั้นส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ โครงการอวกาศ, ดาวเทียม หรือยานอวกาศมากกว่า 500 ดวงที่ส่งจากพื้นโลกขึ้นไปลอยวนอยู่ในอวกาศใช้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้ทั้งสิ้น หากไม่มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แล้วเราคงจะไม่มี วิทยากรก้าวหน้าต่างๆในปัจจุบัน เช่น การสื่อสารดาวเทียม การพยากรณ์อากาศผ่านดาวเทียม

เซลล์แสงอาทิตย์มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ความสามารถในการใช้งานที่ถาวร ไม่ต้องมี ค่าใช้จ่ายขณะใช้งาน ไม่มีของเสียเหลือใช้นอกจากความร้อน สามารถแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงาน ไฟฟ้าโดยตรง และเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ ข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ การให้พลังงานไฟฟ้า ต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยไม่มากนัก ดังนั้น จึงต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ค่อนข้างโต การแปลง พลังงานยังไม่สูงเป็นที่น่าพอใจนัก และอาจมีการเสื่อมคุณภาพภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีอนุภาพพลังงานแรงสูง

โครงการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า กำลังดำเนินการ ทดลองอยู่หลายแห่งบนพื้นโลก แผงเซลล์แสงอาทิตย์เหล่านี้ประกอบขึ้นด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ สร้างขึ้นจากแวนซิลิกอนที่ให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานประมาณ 10-12% ปัญหาของ โครงการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์คือ เรื่องของราคาเซลล์แสงอาทิตย์เอง กล่าวคือ ราคาต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลึกซิลิกอนอยู่ราวๆ 100 บาทต่อวัตต์ หากต้องแข่งขันกับราคาต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยวิธีอื่นได้แล้ว ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องลดลงอีก ประมาณ 1/20 เท่า คือเหลือเพียง 5 บาทต่อวัตต์ การใช้งานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จึงจะคุ้มค่า

โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ หัวต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทำจากซิลิกอนนั้นผลิตขึ้นโดยการนำแวนซิลิกอนหนาประมาณ 200-300 ไมครอน มาแพร่ ซิมสร้างเจือปนเพื่อสร้างหัวต่อพีเอ็น โดยมีความลึกของชั้นแพร่ซิมหรือหัวต่อประมาณ 0.3-0.5 ไมครอน จากนั้นนำหัวต่อพีเอ็นไปทำผิวสัมผัสทั้งด้านหน้า และด้านหลัง ผิวสัมผัสทางด้านหน้า มีลักษณะเป็นรูปนิ้วมือหรือก้างปลา เพื่อให้เหลือพื้นที่รับแสงมากที่สุดในขณะที่สามารถทำหน้าที่ รวบรวมกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพด้วย

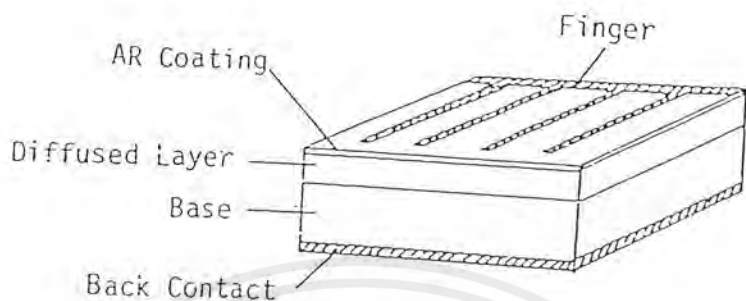
ได้มีการวิเคราะห์กันว่าวัสดุชนิดใดจึงจะเหมาะสมที่สุดในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎีแล้วสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่มีค่าประมาณ 1.5eV อย่างไรก็ตามสารกึ่งตัวนำที่มีค่า แถบพลังงานต้องห้ามอยู่ระหว่างค่า 1.1 eV ถึง 2.7 eV ก็สามารถนำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ได้

ซิลิกอนเป็นวัสดุที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวัสดุเริ่มต้นในการทำเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดในบรรดาสารกึ่งตัวนำทั้งหลายด้วยกัน ซิลิกอนมีราคาถูกและเป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการพัฒนามานาน เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องจึงเป็นที่เข้าใจและใช้งานอย่างกว้างขวางอยู่แล้วในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ปัจจุบัน

การพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นมีความเหมาะสมหลายประการ ได้แก่ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประเทศไทยได้รับตลอดปีมีมาก ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ายังมีไม่ทั่วถึงทั้งประเทศ ประเทศไทยมีทรัพยากรด้านวัตถุดิบที่อุดมสมบูรณ์ที่อาจนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ได้ ฉะนั้นแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ควรมีเป้าหมายที่จะใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม กล่าวคือ การเลือกใช้เทคนิคที่ง่าย สร้างเครื่องมือได้เอง และใช้วัตถุดิบในประเทศให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หากยึดมั่นแนวทางการพัฒนาดังกล่าวแล้ว เซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นประโยชน์ต่อสังคมไทยอย่างแน่นอนในอนาคต

#### แนวความคิดของการประดิษฐ์

โครงสร้างหลักโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ หัวต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำรูปที่ 2.1 แสดงถึง โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพีเอ็นที่ทำด้วยซิลิกอนเว่นผลึกซิลิกอนที่ใช้เป็นฐานจะมีความหนาประมาณ 200 ไมครอน ด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีชนิดการนำไฟฟ้าตรงข้ามกับฐานที่หนาประมาณ 0.5 ไมครอน ความลึกของหัวต่อพีเอ็นซึ่งมีค่าคี่ๆนี้เป็นการออกแบบที่จำเป็นต่อเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะต้องการให้แสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทะลุทะลวงถึงหัวต่อมากที่สุด หากหัวต่อพีเอ็นอยู่ลึกเกินไปจะทำให้จำนวนพาหะที่เกิดขึ้นจากการดูดกลืนแสงแพร่ซึมถึงหัวต่อได้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้มีจำนวนน้อยลง ดังนั้น ขั้วโลหะรับแสงมักจะได้รับการออกแบบให้เป็นรูปนิ้วมือหรือเป็นรูปอื่นๆ เพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด และในขณะเดียวกันขั้วไฟฟ้านั้นสามารถรวบรวมพาหะนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดด้วย ส่วนขั้วไฟฟ้าทางด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องเป็นผิวสัมผัสแบบ โอมห์มิกที่ดีซึ่งฉาบไว้เต็มหน้าผิวด้านรับแสงที่นอกเหนือจากขั้ว โลหะแล้วยังมีชั้นด้านการสะท้อนแสง(Antireflection Coating) ปิดทับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงอีกด้วย ชั้นด้านการสะท้อนแสงนี้อาจได้แก่ SiO<sub>2</sub> ซึ่งทำขึ้นหนาประมาณ 800 - 1000 ไมครอน จากนั้นจึงนำเซลล์ที่ได้ไปประกออบในแผงที่ห่อหุ้มมิดชิดสามารถป้องกันความชื้น ฝุ่นละออง เพื่อให้เซลล์มีคุณภาพดีตลอดไป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพีเอ็น

เซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับไดโอดโดยทั่วไป กล่าวคือมีความสามารถในการตัดกระแสไฟฟ้า (Current Rectification) ได้ ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะสมบัติกระแส - แรงดัน ดังเส้นประในรูปที่ 2.2 ในสภาพที่ไม่ถูกแสง เมื่อมีการฉายแสงตกกระทบบนหัวต่อจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกขึ้น ลักษณะสมบัติกระแส - แรงดัน จะเปลี่ยนไปเป็นเส้นเต็มในรูปที่ 2.2 พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งที่แรงเคลื่อนกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นผลิตได้ แต่กำลังไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งานจริงานั้น จะกำหนดได้จากการต่อโหลดที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันค่าสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 2.2

สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์จึงตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์หลัก 3 ตัวคือ

- 1) ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ( $V_{oc}$ ) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) ค่าฟิลแฟกเตอร์ ( $F.F$ ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างผลคูณของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและกระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ได้แก่ ผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าสูงสุด  $V_M$  และกระแสไฟฟ้าสูงสุด  $I_M$ ) ซึ่งได้จากการต่อกับโหลดที่มีค่าเหมาะสม

$$F.F. = \frac{V_M I_M}{V_{oc} I_{sc}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

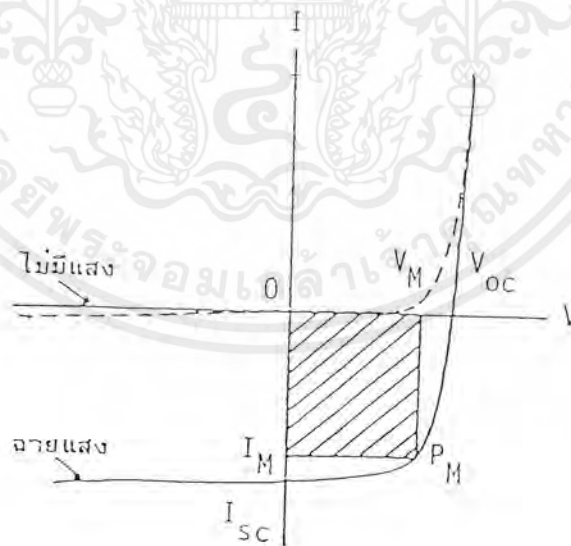
พารามิเตอร์ทั้งสามตัวนี้จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพและเงื่อนไขการต่อวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจึงเขียนแสดงในรูปสูตรต่อไปนี้

$$\eta = (V_{oc} I_{sc} / P_{IN}) \times F.F. \times 100$$

โดยค่า  $P_{IN}$  ได้แก่อินพุตที่ป้อนให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งกำหนดได้จากความเข้มของแสงอาทิตย์ซึ่งมีหน่วยคิดเป็นวัตต์ต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย

ค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบห้วต่อพีเอ็นนั้น เกี่ยวข้องโดยตรงกับแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำนั้นๆ โดยกำหนดความสูงที่ห้วต่อแบเรี่ยนั้นๆ ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมักเขียนแสดงอยู่ในรูปฟังก์ชันกึ่งของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) ค่ากระแสไฟฟ้ามืด ( $I_o$ ) ของห้วต่อ และแฟคเตอร์ที่แสดงความสมบูรณ์แบบของห้วต่อ ( $A_o$ ) ดังสมการ

$$V_{oc} = A_o (KT/q) \ln\{(I_{sc} / I_o) + 1\}$$



รูปที่ 2.2 เส้นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

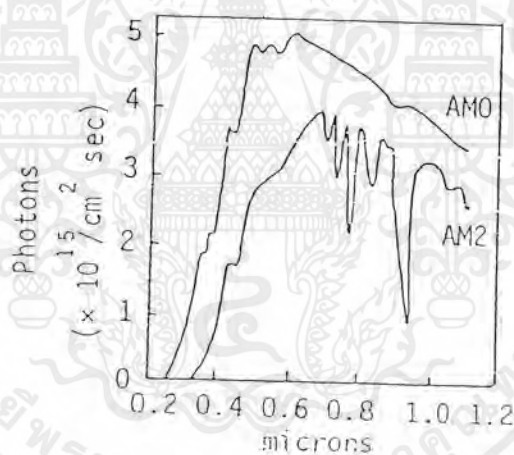
สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีหัวต่อสมบูรณ์แบบค่า  $A_0$  จะมีค่าเป็น 1 และจะทำให้ได้ค่า  $V_{oc}$  สูงสุด และหากค่า  $I_0$  มีค่ามากจะทำให้  $V_{oc}$  ลดน้อยลง ค่ากระแสไฟฟ้ามืด  $I_0$  นี้กำหนดได้จาก ขนาดของแถบพลังงานต้องห้ามของสสารและอุณหภูมิ กล่าวคือ  $I_0$  จะมีค่าลดน้อยลง เมื่อค่าแถบพลังงานต้องห้าม มีค่าสูงขึ้นหรือที่อุณหภูมิต่ำๆ ดังนั้น การเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามสูงและใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้ได้  $V_{oc}$  สูงขึ้น เช่นค่า  $V_{oc}$  ที่  $300^\circ\text{K}$  ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนจะมีค่าประมาณ 0.9 โวลต์ และค่า  $V_{oc}$  ที่  $300^\circ\text{K}$  ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกเลียมอาเซนายด์จะมีค่าประมาณ 0.9 โวลต์ เป็นต้น จากสูตรความสัมพันธ์แบบล็อกในสมการ (3) ซึ่งให้เห็นว่าค่า  $V_{oc}$  นี้จะมีค่าอิมิตัวในรูปฟังก์ชันกึ่งของความเข้มแสง

ค่ากระแสไฟฟ้ามืด  $I_{sc}$  จะกำหนดได้จากสเปกตรัมของแสง และความรู้สีกที่มีต่อสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์ ( หรือหมายถึงความสามารถในการสร้างคู่อิเล็กตรอน โฮลเมื่อมีโฟตอนฉายกระทบ ) ความรู้สีกที่มีต่อสเปกตรัมเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นลักษณะสมบัติที่ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนแสง ( $\alpha$ ) ค่าความลึกต่อหัว ( $X_j$ ) ขนาดความกว้างของย่านปลอดพาหะ ( $W$ ) ค่าอายุชีวิต ( $\tau$ ) และความคล่องตัวของพาหะ ( $\mu$ ) ในเนื้อสารกึ่งตัวนำทั้งสองข้างของหัวต่อ และความเร็วในการรวมตัวที่ผิว ( $S$ ) เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์กระจายอยู่ตลอดช่วงความยาวคลื่นขนาดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในอวกาศ (แบบ AM0) และสเปกตรัมของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก (AMI) คำว่า AM นี้ย่อมาจาก Air Mass สเปกตรัมแบบ AM0 นี้ ได้แก่ สภาพของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดย NASA กล่าวคือเป็นสเปกตรัมแสงอาทิตย์ที่มีกำลัง แสงที่คิดรวมทั้งหมดโดยการอินทิเกรตทุกช่วงความยาวคลื่นจะได้ค่า  $035.3 \text{ mW/cm}^2$  ส่วนสเปกตรัมแบบ AM2 ได้แก่สภาพของแสงอาทิตย์บนโลก เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม  $60^\circ$  และให้กำลังแสงทั้งหมดประมาณ  $72-75 \text{ mW/cm}^2$  ดังนั้น AM2 จึงคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่มีสภาพอากาศที่มีเมฆและมีมุมแสงอาทิตย์แคบสเปกตรัมของแสงอาทิตย์แบบ AM1 ก็เป็นมาตรฐานอันหนึ่งที่นิยมใช้กันในการกำหนดสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์แบบ AM1 นี้ ได้แก่ แสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเล ในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก กำลัง แสงจะมีค่าประมาณ  $100 \text{ mW/cm}^2$  ดังนั้นสเปกตรัมที่มีแสงแบบ AM1 จึงอยู่ระหว่าง AM0 และ AM2 ข้อแตกต่างระหว่างแสงอาทิตย์นอกและในบรรยากาศโลก ได้แก่ ปริมาณแสงอุลตราไวโอเลต และอินฟราเรด เพราะในบรรยากาศโลกนั้นแสงอุลตราไวโอเลตจะมีน้อยเนื่องจาก การสะท้อนของชั้นโอโซนซึ่งอยู่ในบรรยากาศชั้นบนของโลก ส่วนแสงอินฟราเรดนั้นก็ถูกดูดกลืนจากไอน้ำและคาบอนไดออกไซด์อนุภาคของบรรยากาศโลกจะกระจุกกระจายแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นได้ดีกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาว ดังนั้นหากบรรยากาศนั้นมีความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอนุภาคสูง แสงอาทิตย์จะถูกฟิวเตอร์เหลือ แต่เพียงช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าเท่านั้น และขนาดของแสงทุกความยาวคลื่นจะมีค่าน้อยลงด้วย เมื่อแสงอาทิตย์บนโลกประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ แสงอาทิตย์ตรง (Direct Sunlight) และแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกับบรรยากาศโลก (Diffused Sunlight) ส่วนที่เป็นแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกับบรรยากาศโลกนี้จะเพิ่มปริมาณตาม Air Mass ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มาแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีสเปกตรัมดังกล่าวนี้ จึงควรเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีความรู้สีกต่อสเปกตรัมในช่วงที่กว้างไว้จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานนั้นสูงขึ้นและเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนนั้นเปลี่ยนแปลงตามแถบพลังงานต้องห้าม ดังนั้นสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานต้องห้ามกว้างจะดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้น้อย ดังนั้นจะก่อให้เกิดกระแสลัดวงจรได้น้อยกว่าสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานต้องห้ามแคบค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรนี้จึงเป็นปริมาณที่เพิ่มได้โดยการเพิ่มพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ใช้



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์แบบต่างๆ

ค่าฟิลล์แฟกเตอร์เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดขนาดของค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ( $V_{oc}$ ) ค่าแฟกเตอร์ความสมบูรณ์แบบของหัวต่อ ( $A_0$ ) ค่าความต้านทานอนุกรม ( $R_s$ ) และค่าความต้านทานขนาน ( $R_{sh}$ ) ของหัวต่อพีเอ็น หากค่า  $V_{oc}$  และ  $R_{sh}$  สูง และค่า  $A_0$  และ  $R_s$  ต่ำ จะทำให้ได้ค่า F.F. สูง ปกติเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจะมีค่า F.F. อยู่ประมาณ 0.6-0.8

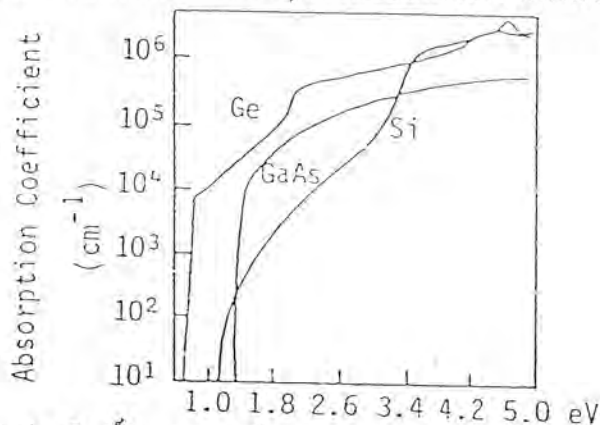
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น กำหนดได้จากค่าของกระแสโฟโต ( $I_{ph}$ ) ซึ่งเป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่คิดคำนวณจากปริมาณพาหะนำไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดจากการดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ หากกระแสโฟโตทั้งหมดถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่โดยไม่เกิด loss เนื่องจากการหักล้างกับกระแสไฟฟ้ามืด ซึ่งได้แก่กระแสที่ฉีดเข้าหัวต่อ (Injection Current) และกระแสรวมตัว (Recombination Current) ซึ่งอาจคิดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาเบเชิงประโยชน์แก่การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณได้ว่า  $I_{sc} - I_{ph}$  ฉะนั้นการคำนึงถึงเงื่อนไขที่ดีที่สุดจะสร้างกระแสโฟโตให้มีค่ามากที่สุดจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง

กระแสโฟโตกำหนดได้จากความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นแสงที่กำหนดให้ ความสามารถดังกล่าวนี้วัดหาได้โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนแสง ( $\alpha$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็นส่วนกลับของระยะทาง ปริมาณแสงที่ตกกระทบผิวของสารจะมีค่าลดลง  $1/e$  ที่ระยะทางลึกจากผิวลงไป  $1/\alpha$  โดยกฎเกณฑ์ทั่วไปแล้ว ค่า  $\alpha$  นี้จะมีค่าน้อยลงสำหรับสารที่มีแถบพลังงานต้องห้ามกว้างขึ้น แต่  $\alpha$  ยังเป็นปริมาณที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของแถบพลังงานด้วยว่าเป็นแบบ Direct หรือ Indirect รูปที่ 2.4 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนของ Si, GaAs ในช่วง 0.6-5.0 eV ในกรณีของซิลิกอน ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพราะซิลิกอนมีแถบพลังงานแบบ Indirect ฉะนั้นการดูดกลืนแสงและการสร้างพาหะจึงเกิดค่อนข้างลึกใต้ผิวของซิลิกอน ( มีหน่วยเป็นลิบไมครอน ) แต่ในกรณีของ GaAs ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืน จะเพิ่มขึ้นอย่างชันและรวดเร็วเมื่อโฟตอนมีพลังงานเท่ากับค่า แถบพลังงานต้องห้าม จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากการมีความหนาแน่นของ States ที่ยอมรับพาหะมีค่าต่ำ การดูดกลืนแสงและการสร้างพาหะใน GaAs จึงเกิดขึ้นประมาณ 2 ไมครอน

พาหะที่ถูกสร้างขึ้น โดยการดูดกลืนแสงจะเกิดการแพร่ซึมเข้าหาหัวต่อและถูกกวาดด้วยสนามไฟฟ้าภายในหัวต่อให้ออกไปยังปลายทั้งสองข้างของสิ่งประดิษฐ์ ก่อนที่พาหะจะถูกรวบรวมโดยขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองข้าง พาหะส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากการรวมตัวภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำ และการรวมตัวที่ผิว ( Bulk & Surface Recombination ) การรวมตัวของพาหะภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำอาจเกิดขึ้นได้ทั้งแบบการรวมตัวโดยตรงระหว่างอิเล็กตรอนอิสระกับโฮลและการรวมตัวโดยอาศัยศูนย์รวมตัว ( Recombination Center ) ซึ่งเป็นชั้นพลังงานภายในแถบพลังงานต้องห้ามที่เกิดจากการมีสารเจือปนที่เป็น Deep Levels หรือจุดบกพร่องอื่นๆ ทางผลึกความหนาแน่นของศูนย์รวมตัวนี้เป็นปริมาณที่กำหนดได้จากคุณภาพของผลึกสารกึ่งตัวนำที่ใช้ว่าเตรียมขึ้นได้โดยวิธีการใด

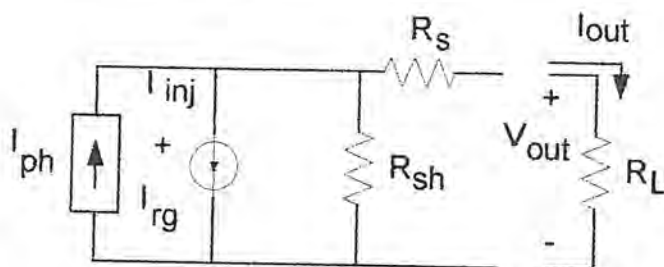


รูปที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนของ Si และ GaAs ที่ค่าโฟตอนขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงกระบวนการรวมตัวของพาหะที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำได้แก่ค่าอายุชีวิตของพาหะข้างน้อย เช่น อายุชีวิตของโฮลในสารกึ่งตัวนำที่เป็นแบบ n-type และอายุชีวิตของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำแบบ p-type ค่าอายุชีวิตของพาหะจะขึ้นอยู่กับปริมาณการ doping ของสารเจือปน หากมีการเติมสารเจือปนมาก ค่าอายุชีวิตจะน้อยลงและอ้อมตัวในที่สุด แต่ในทางปฏิบัติ ค่าอายุชีวิตของพาหะในซิลิกอนขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมผลึก การ Treat ผิวของสิ่งประดิษฐ์ในขณะผลิต อุณหภูมิของการแพร่ซึม ขั้นตอนการทำ Annealing ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ นั้นต้องอาศัยขั้นตอนที่มีอุณหภูมิสูงหลายครั้ง ดังนั้นค่าอายุชีวิตของพาหะในการแพร่ซึมจะมีค่าต่ำ และมี order อยู่ประมาณ 2-3 ไมครอน และที่ผิวชั้นบนสุดของเซลล์ ซึ่งเป็นบริเวณที่มี lattice damage และปริมาณการ doping มากที่สุด จะเป็นบริเวณที่มีศูนย์รวมตัวมากที่สุด และส่งผลให้ค่าอายุชีวิตของพาหะที่ขึ้น  $100 \text{ A}^\circ$  แรกอาจมีค่าต่ำถึง order ของ 100 psec ชั้นบางที่ผิวนี้เรียกว่า Dead Layer ของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการกำจัด Dead Layer ให้หมดหรือลดน้อยลงจะช่วยเพิ่มกระแสโฟโตได้ ซึ่งอาจกระทำได้โดยการหาเงื่อนไขการแพร่ซึมที่เหมาะสมการทำ Annealing การลดอัตราการรวมตัวของพาหะที่ผิวให้ช้าลง โดยการปิดบังผิวด้วยชั้นฉนวนหรือสารชนิดอื่นที่เหมาะสม

วงจรมนุลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ใช้งาน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 กระแสโฟโตแทนด้วยตัวกำเนิดกระแส  $I_{ph}$  ซึ่งให้กระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสไบอัสตามของไดโอด ซึ่งประกอบด้วย กระแสที่ลัดข้ามหัวต่อรวมกับกระแสรวมตัว ( $I_{inj} + I_{rec}$ ) ค่าความต้านทานขนานเขียนแสดงด้วย  $R_{sh}$  ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่กำหนดค่าได้จากสภาพของหัวต่อที่ทำขึ้น เช่น การเกิดกระแสรั่วไหลตามขอบเซลล์ ความไม่สม่ำเสมอของหัวต่อ ได้แก่ การมี Diffusion Spike เนื่องจากความบกพร่องทางผลึกต่างๆ ค่าความต้านทานอนุกรมเขียนแสดงด้วย  $R_s$  กำหนดได้จากค่าความต้านทานของผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังรวมกับค่าความต้านทานของผลึกฐานและชั้นแพร่ซึมของเซลล์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

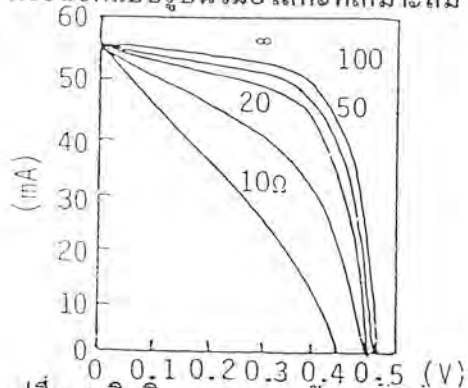


รูปที่ 2.5 วงจรมนุลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

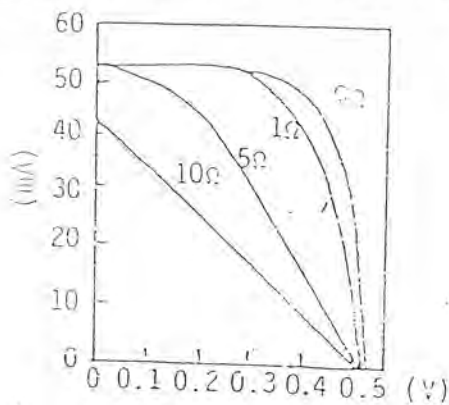
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากวงจรสมมูลแล้วจะเห็นได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคตินั้น ควรเป็น โดไดโอดที่มีหัวต่อที่มีคุณภาพดี โดยมีค่า  $R_{sh}$  เป็น  $\infty$  และค่า  $R_s$  เป็น 0 แต่ในทางปฏิบัติแล้ว การสร้างหัวต่อที่สมบูรณ์แบบนั้นทำได้ยาก เพราะผลึกสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีจุดบกพร่องทางผลึกอยู่ก่อนแล้ว และเมื่อมาทำหัวต่อที่มีพื้นที่กว้างโดยการเติมสารเจือปนที่อุณหภูมิสูง ก็จะได้หัวต่อที่มีความสม่ำเสมอที่ดีได้ด้วยขีดจำกัดขนาดหนึ่งเท่านั้น เพราะจะเกิด Diffusion Spike ซึ่งเป็นสาเหตุของกระแสรั่วทำให้ค่า  $R_{sh}$  ไม่เป็น  $\infty$  ส่วนค่า  $R_s$  ก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงมีค่าไม่เป็น 0 ดังนั้นการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดคือ พยายามทำให้ค่า  $R_{sh}$  มีค่ามากที่สุด ในขณะที่  $R_s$  มีค่าน้อยที่สุด อิทธิพลของ  $R_{sh}$  และ  $R_s$  ที่มีต่อลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์อาจทดสอบดูได้โดยการต่อตัวต้านทานขนานและอนุกรมที่มีค่าต่างๆ กับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ รูปที่ 2.6 แสดงถึงอิทธิพลของความต้านทานขนานที่ต่อขนานกับเซลล์ โดยมีการฉายแสงด้วยหลอดไฟทั้งสแตนท์ที่มีความเข้มข้น  $100 \text{ mW/cm}^2$  จะเห็นว่าค่ากระแสลัดวงจรมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าลดลงเมื่อค่าความต้านทานขนานต่ำลง ส่วนรูปที่ 2.7 นั้นแสดงถึงอิทธิพลของความต้านทานอนุกรมซึ่งมีผลกระทบต่อค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์เป็นอย่างมาก ในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดคงที่และส่งผลให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ค่าต่ำลงกว่ากระแสลัดไฟโต เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าส่วนหนึ่งตกคร่อมความต้านทานอนุกรม จึงมีกระแสไฟฟ้ามีดไหลขึ้นสวนทางกับกระแสไฟโต

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ แสงอาทิตย์ความเข้มข้นสูงแค่  $1 \text{ sun}$  ค่าความต้านทานขนานจะมีค่าสูงพอที่อิทธิพลของมันจะตัดทิ้งได้ แต่เมื่อใช้กับแสงความเข้มต่ำหรือที่อุณหภูมิต่ำ ค่าความต้านทานขนานจึงเริ่มมีบทบาทสำคัญขึ้น ส่วนค่าความต้านทานอนุกรมกลับมีบทบาทสำคัญต่อการใช้งานกับแสงความเข้มสูงหรืออุณหภูมิต่ำ ดังนั้นในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความต้านทานอนุกรมต่ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น การสร้างหัวต่อที่บางแต่มีความเข้มข้นของสารเจือปนสูงหรือออกแบบรูปร่างมือ โลหะที่เหมาะสม



รูปที่ 2.6 อิทธิพลของความต้านทานขนานที่มี



รูปที่ 2.7 อิทธิพลของความต้านทานอนุกรม

ต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์

มีต่อลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดันของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

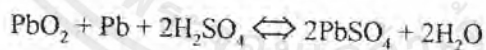
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2. แบตเตอรี่

**เซลล์แบบตะกั่ว-กรด(Lead Acid)** เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมกันมากก็คือ เซลล์แบบตะกั่ว-กรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ ซึ่งจะประกอบด้วยแผ่นคาโธดและแผ่นแอนโอดวางสลับกันจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์มากเท่าไร ปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์จะยังมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส วิธีที่นิยมใช้กันก็คือ ใช้แผ่นเพลทบาง ๆ คั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน

อิเล็กโทรดที่เป็นแอนโอดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโธดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโอดจะแตกตัวเป็นไอออน ที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์และทิ้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก ที่คาโธด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกสูง และเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่แอนโอดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโธดผ่านไปยังวงจรภายนอก

ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (lead sulphate) (ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรดทั้งสอง) และก๊าซไฮโดรเจน (ซึ่งจะรวมกับไอออนของออกซิเจนจากคาโธดกลายเป็นน้ำ) สามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



ซึ่งแสดง (โดยถูกลด 2 ทิศทาง) ว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจรซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากคาโธดไปสู่แอนโอด

สูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นขณะเดียวกับที่เซลล์คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะการประจุและคายประจุของเซลล์ได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ(specific gravity) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะบอกว่าเซลล์ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไฟกลับเข้าไปใหม่ โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่ประจุมาเต็มที่จะมีค่าประมาณ 1.25 และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่คายประจุหมดจะมีค่าระบุไว้ประมาณ 1.2 เราใช้ไฮโดรมิเตอร์ในการวัด แรงดันของเซลล์โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์

**ประจุกลับเข้าไปใหม่** การประจุเซลล์แบบตะกั่ว-กรดนั้นสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการป้อนกระแสกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขวามือไปทางซ้ายมือ ซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็โดยการต่อขั้วคาโอด (ขั้วบวก) และขั้วแอโนด (ขั้วลบ) เข้ากับขั้วบวกและลบของแหล่งจ่ายไฟภายนอก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกนี้จะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์โดยปกติ ดังนั้นเซลล์แบบนี้เซลล์เดียวซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์ สามารถที่จะประจุเข้าไปด้วยแรงดันระหว่าง 2.2 ถึง 2.5 โวลต์ ตัวอย่างที่เห็นได้ง่าย ๆ ก็คือแบตเตอรี่รถยนต์ (ซึ่งแรงดันปกติเท่ากับ 12 โวลต์ เนื่องจากประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์อนุกรมกัน) จะถูกประจุโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไดนาโมและผ่านชุดรีชาร์จระดับแรงดันให้เป็นไฟตรงมีค่าแรงดันคงที่ที่ 14 โวลต์ เป็นที่เห็นได้ชัดว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปเมื่อประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มที่หรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์คายประจุหมดเต็มที่แล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วย หรือถ้าเซลล์ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ(cycle) คือจากสถานะประจุเต็มไปสู่สถานะหมดประจุเต็มที่แล้ว จึงค่อยประจุใหม่อีกครั้ง จะใช้กระแสในการประจุมากตามไปด้วย แต่ถ้าเซลล์ถูกใช้งานพร้อมกับการประจุไฟเข้าตลอดเวลา เช่นในแบตเตอรี่รถยนต์แล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุก็จะมีค่าต่ำ ซึ่งก็เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์ จึงใช้แรงดันในการประจุเพียง 14 โวลต์ ซึ่งประมาณ 1.17 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ และสามารถที่จะใช้วิธีการประจุอย่างรวดเร็วแก่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยคอยสังเกตระดับกระแสที่ประจุไว้ และการประจุจะสิ้นสุดเมื่อระดับกระแสที่ประจุตกลงมาถึงค่ากระแสสุดท้ายในการประจุ ซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น ภายใต้เงื่อนไขการประจุจะเต็ม (จากตอนที่แบตเตอรี่หมดประจุเต็มถึงประจุโดยสมบูรณ์) ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ถ้าเราไม่สามารถรักษาระดับแรงดันในการประจุให้คงที่ได้อยู่ได้ ก็ไม่ควรที่จะใช้วิธีประจุอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากจะทำความเสียหายแก่เซลล์จนไม่สามารถแก้ไขได้ ในกรณีนี้จึงควรใช้แรงดันในการประจุน้อยลงเป็นประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่จึงจะดีที่สุด โดยใช้เวลาในการประจุเกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป

### 2.3. วงจรอัดประจุไฟฟ้า(charger)

ในโครงการนี้จะเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำรองไว้ในแบตเตอรี่ ในการเก็บพลังงานสำรองนี้จะต้องมีการควบคุมการประจุ เพื่อป้องกันความเสียหายให้แก่แบตเตอรี่ เนื่องจากการประจุเกิน โดยมีหลักการเบื้องต้นคือ เมื่อแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่ำ วงจรควบคุมการ

ประจุแบตเตอรี่จนแรงดันของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นตัวแสดงว่าแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ว  
วงจรควบคุมการประจุก็จะหยุดทำงาน

#### 2.4. อินเวอร์เตอร์

การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หรือ อินเวอร์เตอร์ เป็นการแปลงแรงดันอินพุทไฟฟ้ากระแสตรง เป็นแรงดันเอาต์พุทแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีขนาดและความถี่ตามต้องการ คือ แรงดันเอาต์พุทอาจคงที่หรือแปรค่าได้ที่ความถี่คงที่ หรือ ความถี่แปรค่าได้ประเภทของอินเวอร์เตอร์ แบ่งเป็น 2 ประเภทกว้าง ๆ ได้แก่

- การอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
- การอินเวอร์เตอร์สามเฟส

นอกจากนี้การอินเวอร์เตอร์ยังแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างและการนำไปใช้งานได้ 2 ประเภทคือ

1. การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน ( Voltage source inverter ; VSI ) ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1.1 อินเวอร์เตอร์แบบการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ ( Pulse Width Modulation (PWM) inverters )

1.2 อินเวอร์เตอร์แบบรีโซแนนท์

1.3 อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray

1.4 อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray - Bedford

2. การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส ( Current Source inverters ; CSI )

การควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

การใช้งานอินเวอร์เตอร์ในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภทจำเป็นต้องควบคุมแรงดันเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ด้วยเหตุผลดังนี้

- เพื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไปตามต้องการ
- เพื่อปรับแต่งแรงดันของอินเวอร์เตอร์
- เพื่อให้แรงดันคงที่ตามความต้องการขณะควบคุมความถี่

วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมแรงดันเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ คือ การควบคุมการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แรงดันเอาต์พุท ซึ่งได้แก่

- การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดี่ยว
- การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์
- การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้ในโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ ( Sinusoidal Pulse Width Modulation ; SPWM )

การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์แบบไซน์ หรือ SPWM คล้ายกับ UPWM แต่ความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนต่อขนาดของรูปคลื่นไซน์

ค่า rms ของแรงดันเอาต์พุตแปรค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง  $V_s$  โดยการปรับค่า M จาก 0 ถึง 1 นอกจากนี้ถ้ากำหนดให้  $\delta_m$  เป็นความกว้างของพัลส์ลำดับที่ m ก็จะสามารถหาค่า rms ของแรงดันเอาต์พุต ได้จาก

สมการ

$$V_o = V_s \left[ \sum_{m=1}^p \frac{\delta}{\pi} \right]^{1/2}$$

$$V_o = \left[ \frac{2p}{2\pi} \int_{(\pi/p-\delta)/2}^{(\pi/p+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}}$$

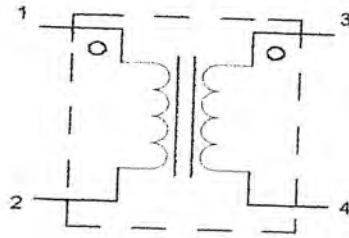
### 2.5. Insulate gate bipolar transistor : IGBT

ไอจีบีทีเป็นสวิตช์สารกึ่งตัวนำที่เกิดจากการพัฒนารวมเอาข้อดีของมอสเฟต ทรานซิสเตอร์ และ จีทีโอ ไว้ในตัวเดียวกัน ไอจีบีทีมีคุณลักษณะเหมือนมอสเฟตคือ เกตมีค่าอิมพีแดนซ์สูง คุณลักษณะที่เหมือนทรานซิสเตอร์คือ มีแรงดันขณะนำกระแสต่ำ และมีพิคปิดกั้นแรงดันได้สูง (เช่น นำกระแสที่แรงดัน 2-3 โวลต์ และมีพิคแรงดันสูงถึง 1200 โวลต์) และที่มีลักษณะเหมือนจีทีโอคือ สามารถปิดกั้นแรงดันได้ทั้งสองด้านด้วยเหตุผลเหล่านี้เองทำให้ปัจจุบัน ไอจีบีทีได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากออกแบบการควบคุมได้ง่าย ทนพิคแรงดันได้สูง และมีความถี่สวิตช์สูง ซึ่งจะเข้ามาแทนที่มอสเฟต และทรานซิสเตอร์ได้ในอนาคต

### 2.6. หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด มีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.8

ขดลวดทางค้ำอันินพุทของหม้อแปลง คือ ขั้ว 1 และ 2 เรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิขดลวดทางค้ำอันเอาต์พุท คือ ขั้ว 3 และ 4 เรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ



รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ

3.1. การคำนวณขนาดแบตเตอรี่ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ต้องการจ่ายโหลด 50 วัตต์นาน 10 ชั่วโมงต่อเนื่อง

$$\therefore \text{POWER LOAD} = 50 \times 10 = 500 \text{ WHr}$$

คิดประสิทธิภาพของระบบ(η) เป็น 75%

$$\therefore \text{Power input} = 500/0.75 = 666.67 \text{ WHr}$$

เลือกใช้แบตเตอรี่ 12 V

$$\therefore \text{ได้ขนาดแบตเตอรี่} = (666.67/12) = 55.56 \text{ Ahr/day}$$

ถ้าใช้ที่ 20 % ของแบตเตอรี่ 55.56 Ahr/day จะการคำนวณจะได้ขนาดแบตเตอรี่ ดังนี้

$$\text{ขนาดแบตเตอรี่} = 55.56/0.2 = 277.8 \text{ Ahr/day}$$

ถ้าใช้ที่ 30 % ของแบตเตอรี่ 55.56 Ahr/day จะการคำนวณจะได้ขนาดแบตเตอรี่ ดังนี้

$$\text{ขนาดแบตเตอรี่} = 55.56/0.3 = 185.2 \text{ Ahr/day}$$

ถ้าใช้ที่ 40 % ของแบตเตอรี่ 55.56 Ahr/day จะการคำนวณจะได้ขนาดแบตเตอรี่ ดังนี้

$$\text{ขนาดแบตเตอรี่} = 55.56/0.4 = 138.9 \text{ Ahr/day}$$

ถ้าใช้ที่ 50 % ของแบตเตอรี่ 55.56 Ahr/day จะการคำนวณจะได้ขนาดแบตเตอรี่ ดังนี้

$$\text{ขนาดแบตเตอรี่} = 55.56/0.5 = 111.1 \text{ Ahr/day}$$

ถ้าใช้ที่ 55 % ของแบตเตอรี่ 55.56 Ahr/day จะการคำนวณจะได้ขนาดแบตเตอรี่ ดังนี้

$$\text{ขนาดแบตเตอรี่} = 55.56/0.55 = 101.02 \text{ Ahr/day}$$

$\therefore$  เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V, 100Ahr

คิดการจ่ายของแผง 2 แผงๆ ละ 55 W, 7.2 ชั่วโมงได้

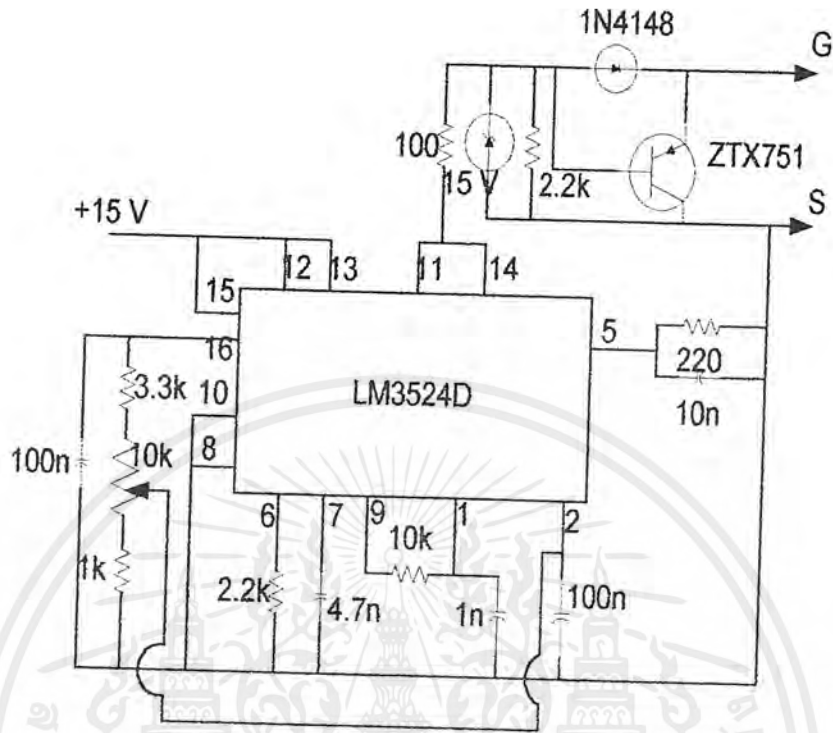
$$= 110 \times 7.2 = 792 \text{ Whr}$$

$$\text{และได้ Power output} = 792 \times 0.75 = 594 \text{ Whr}$$

$\therefore$  สามารถใช้แผง 2 แผง จ่ายโหลด 50 W ได้

3.2. วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

ในที่นี้ใช้ Buck SMPS ในการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ซึ่งแสดงได้ดังรูป ในรูปจะประกอบไปด้วยวงจรที่ใช้ในการทรานส์ดิวชันขาออกของมอสเฟต โดยใช้ไอซี LM3524D และวงจรกำลัง

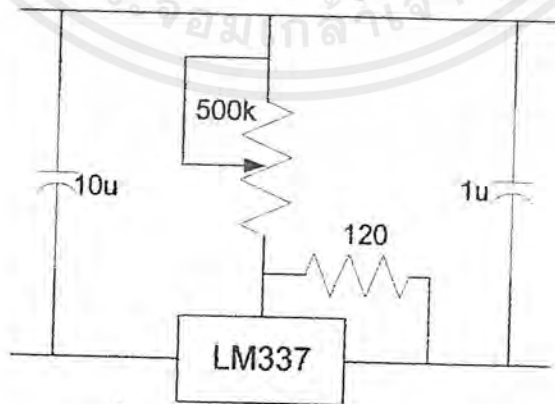


รูปที่ 3.1 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

### 3.3. วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรเรกกูเลเตอร์ไฟลอปที่ปรับค่าได้

โดยวงจรนี้จะต่ออนุกรมเข้ากับวงจรสร้างสัญญาณไซน์(IC XR-2206)เพื่อที่จะสามารถยก ระดับสัญญาณไซน์ให้ขึ้นลงได้ซึ่งวงจรที่ใช้จะค่อดังรูป

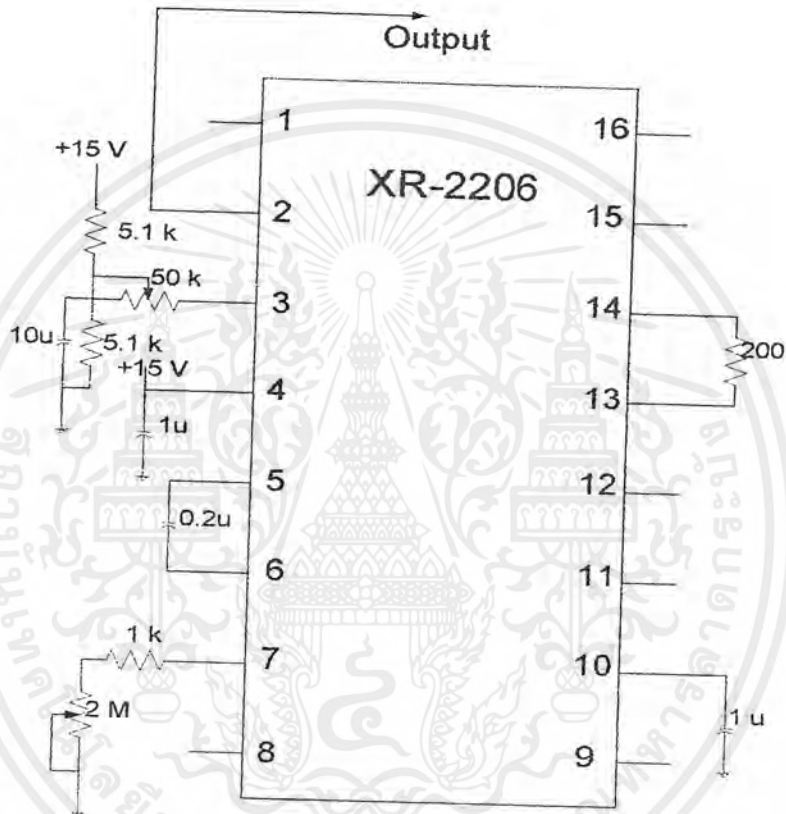


รูปที่ 3.2 วงจรเรกกูเลเตอร์ไฟลอปปรับค่าได้

วงจรสร้างสัญญาณไซน์

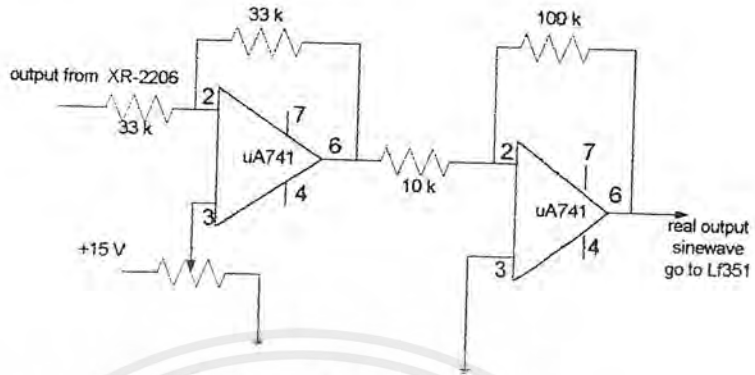
ใช้ IC XR-2206 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณไซน์ความถี่ 50 Hz ที่สามารถปรับแอมปริจูดและ ความถี่ได้ซึ่งสัญญาณไซน์ที่ออกจาก XR-2206 นี้จะเป็นสัญญาณ ไซน์ที่ขึ้นอยู่กับไฟตรงบวก ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 7 โวลต์ ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถลดระดับสัญญาณอินพุตลงมา และสามารถเปลี่ยนระดับสัญญาณอินพุตได้จึงต้องวงจรเรกกูเลเตอร์ไฟลบที่ปรับค่าได้อินพุตเข้ากับวงจร XR-2206 มีการต่อดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณอินพุต

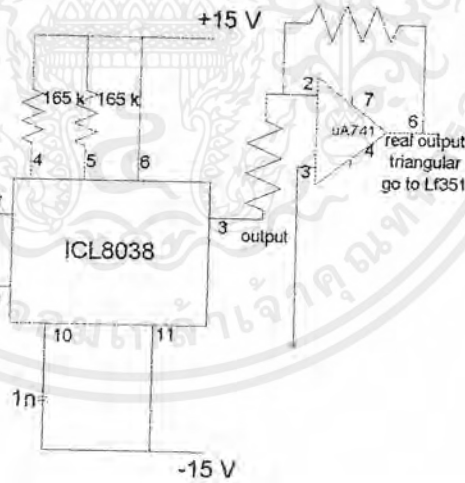
เนื่องจากการต่อดังรูปยังเลื่อนสัญญาณรูปไซน์ลงมาให้สมมาตรกันได้จึงได้มีการต่อวงจรดังรูปที่ 3.4 เข้าไปเพื่อทำให้เลื่อนสัญญาณรูปไซน์ลงมาให้สมมาตรกันได้



รูปที่ 3.4 วงจรเลียนสัญญาณรูปไซน์

วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

จะใช้ ICL8038 ในการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมเพื่อไปเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์ที่ได้จาก ไอซี XR-2206 ซึ่งสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จาก ICL8038 ที่ขา 3 นั้นจะมีค่าประมาณ 3 V ดังนั้นจึงต่อวงจรขยายโดยใช้ uA741 ต่อจากเอาต์พุตของสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จาก ICL8038 ดังจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

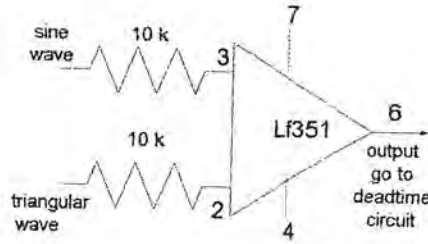


รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้ในโครงการนี้ ใช้ไอซี LF351 ทำการเปรียบเทียบสัญญาณไซน์ที่ได้จาก XR-2206 และสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จาก ICL8038 แล้วสัญญาณเปรียบเทียบที่ได้นี้จะไปเข้าวงจรเคมไทม์ต่อไป การเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมโดยใช้ LF351 แสดงได้ดังรูปที่ 3.6

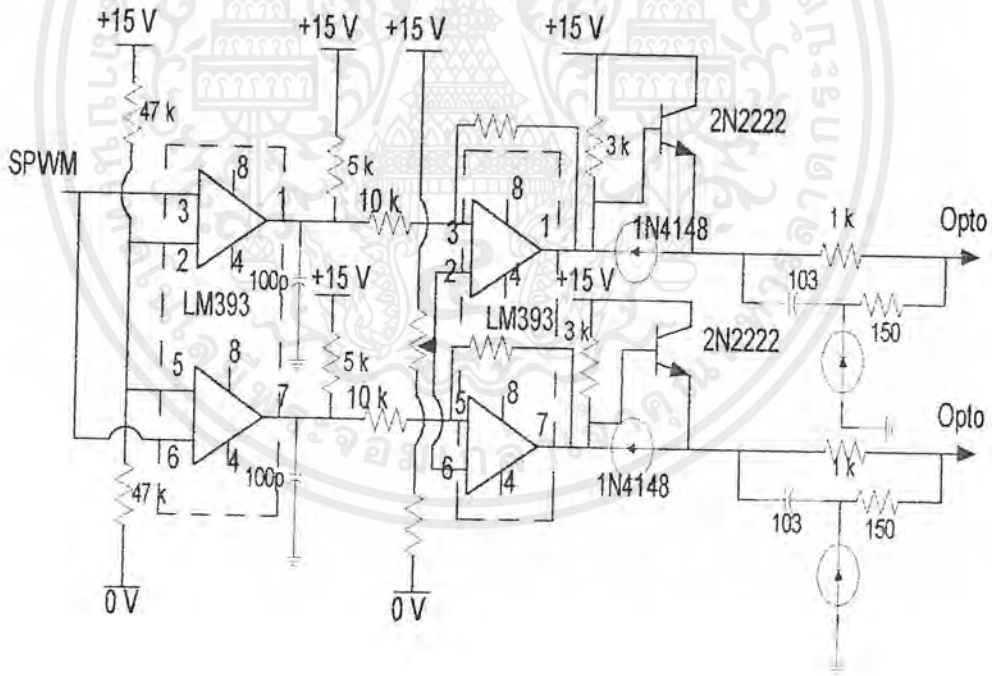
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม

**วงจรเกตไทยม์**

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมนั้นยังไม่สามารถนำไปขับเคลื่อนไอจีบีทีได้โดยตรง จะต้องนำมาผ่านวงจรเกตไทยม์เพื่อให้สัญญาณที่จะไปขับเคลื่อนไอจีบีทีที่มีการหน่วงเวลาสั้นเพื่อไม่ให้ไอจีบีทีเสียหายเวลาใช้งาน ซึ่งวงจรเกตไทยม์ที่ใช้ในโครงการนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.7



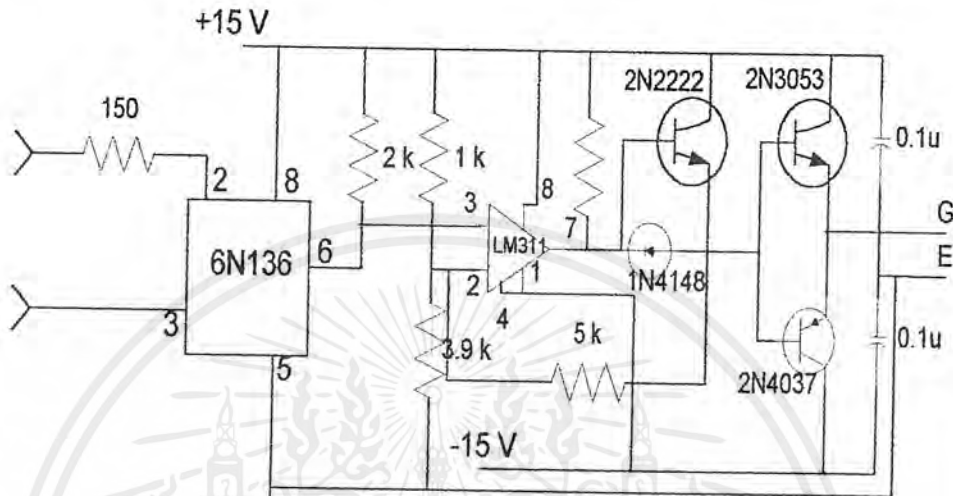
รูปที่ 3.7 วงจรเกตไทยม์

**วงจรขับเคลื่อนไอจีบีที**

ใช้ไอซีเบอร์ 6N136 ซึ่งเป็นไอซีที่แยกกราวด์ของวงจรตัวควบคุมกับวงจรกำลังออกจากกัน ซึ่งสัญญาณที่ผ่าน 6N136 นี้จะมีลักษณะกลับเฟส และจะใช้ไอซี LM311 ทำหน้าที่คอมพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

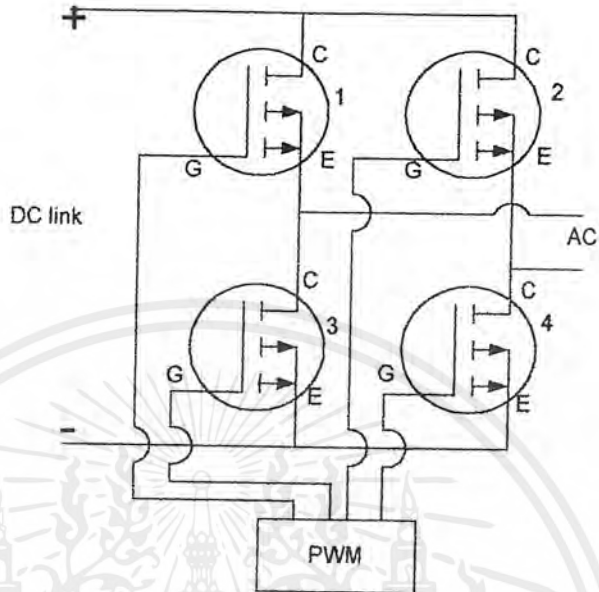
เตอร์เพื่อกลับเฟสให้เหมือนเดิม จากนั้นจึงผ่านทรานซิสเตอร์เพื่อขยายกระแสให้ไอจีบีทีทำงานได้ โดยจะแสดงวงจรขับเคลื่อนได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรขับเคลื่อนไอจีบีที

#### วงจรกำลัง

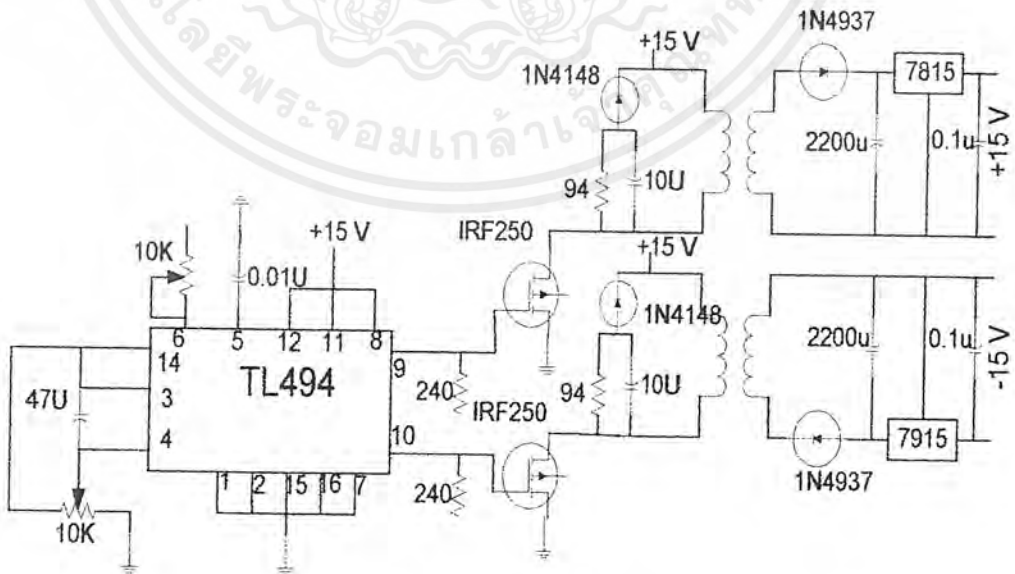
การทำงานของวงจรกำลังใช้การควบคุมจากวงจรควบคุมสัญญาณทริกที่ขาเกตของ ไอจีบีที เมื่อ ไอจีบีทีได้รับสัญญาณทริกจะทำให้มีกระแสไหล โดยไอจีบีที 1 และ 4 จะทำงานพร้อมกัน และ ไอจีบีที 2 และ 3 จะทำงานพร้อมกัน แต่ละคู่จะมีการทำงานไม่พร้อมกันจะสลับกันทำงานทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งวงจรกำลังจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรกำลังของชุดอินเวอร์เตอร์

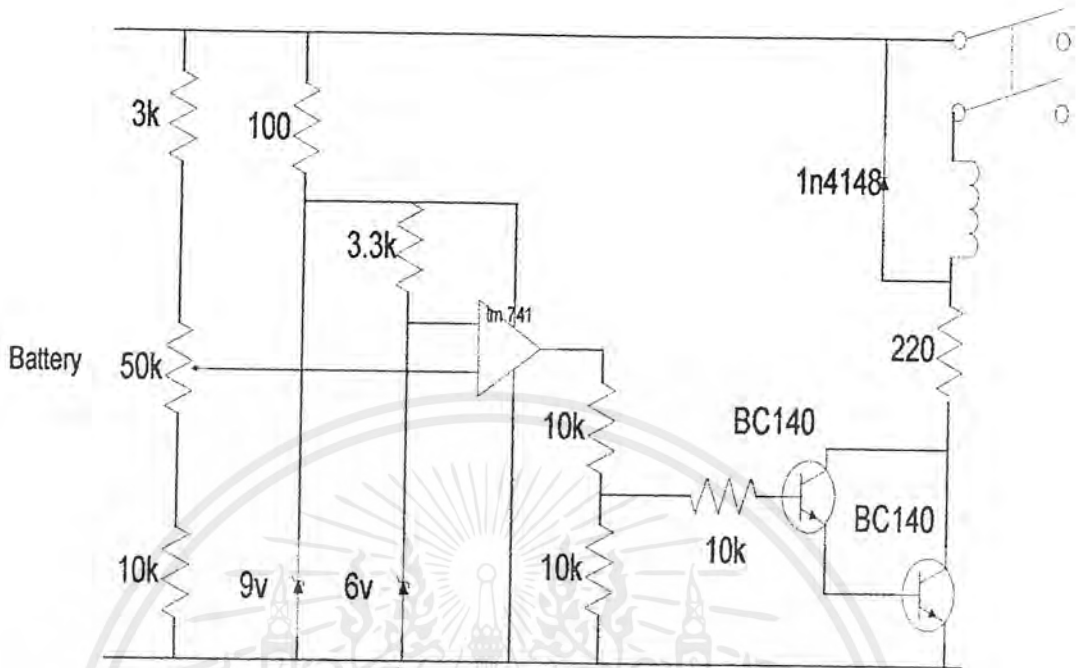
3.4. วงจรไฟเลี้ยง

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นระบบ Stand Alone ดังนั้นจึงต้องมีวงจรไฟเลี้ยงให้กับไอซีต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้ใช้วงจรไฟเลี้ยงที่แสดงดังรูป



รูปที่ 3.10 วงจร ไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



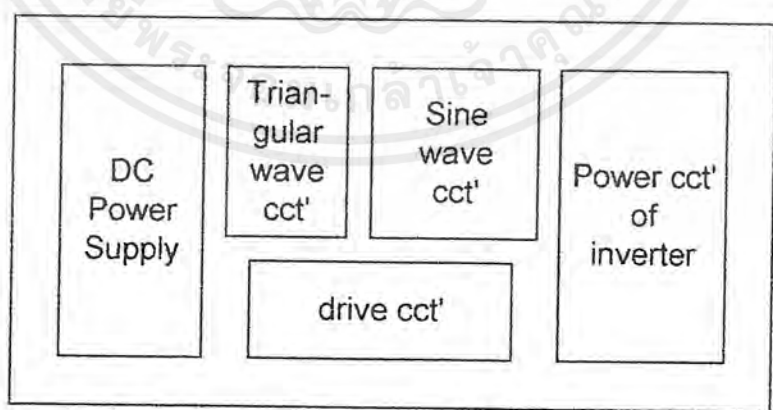
รูปที่ 3.11 วงจรป้องกันแบตเตอรี่

**3.5.Low voltage cutoff device**

เป็นวงจรที่ใช้ป้องกันแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันด้านเอาต์พุตของแบตเตอรี่สูงกว่าแบตเตอรี่ วงจรนี้จะตัดแบตเตอรี่ออกจากระบบเพื่อป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้เสียหายซึ่งวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

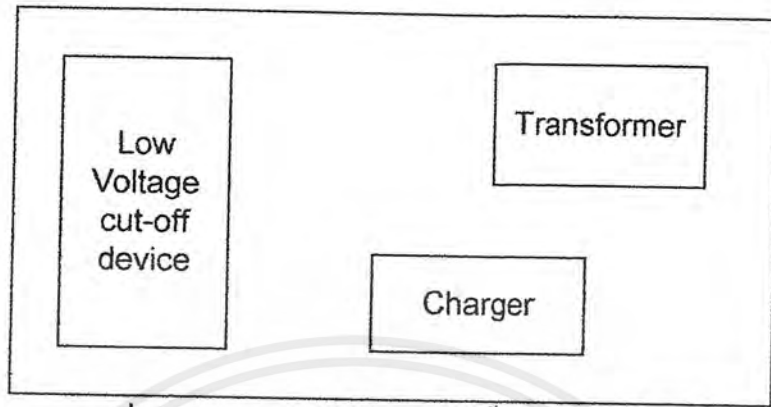
**3.6.การจัดวางวงจรต่าง ๆ ลงกล่อง**

ในการจัดวางวงจรต่าง ๆ ลงกล่องนั้น ได้แบ่งออกเป็นสองชั้นซึ่งในแต่ละชั้นประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.12 และ รูปที่ 3.13 โดยรูปที่ 3.12 จะแสดงการวางอุปกรณ์ในชั้นที่สอง

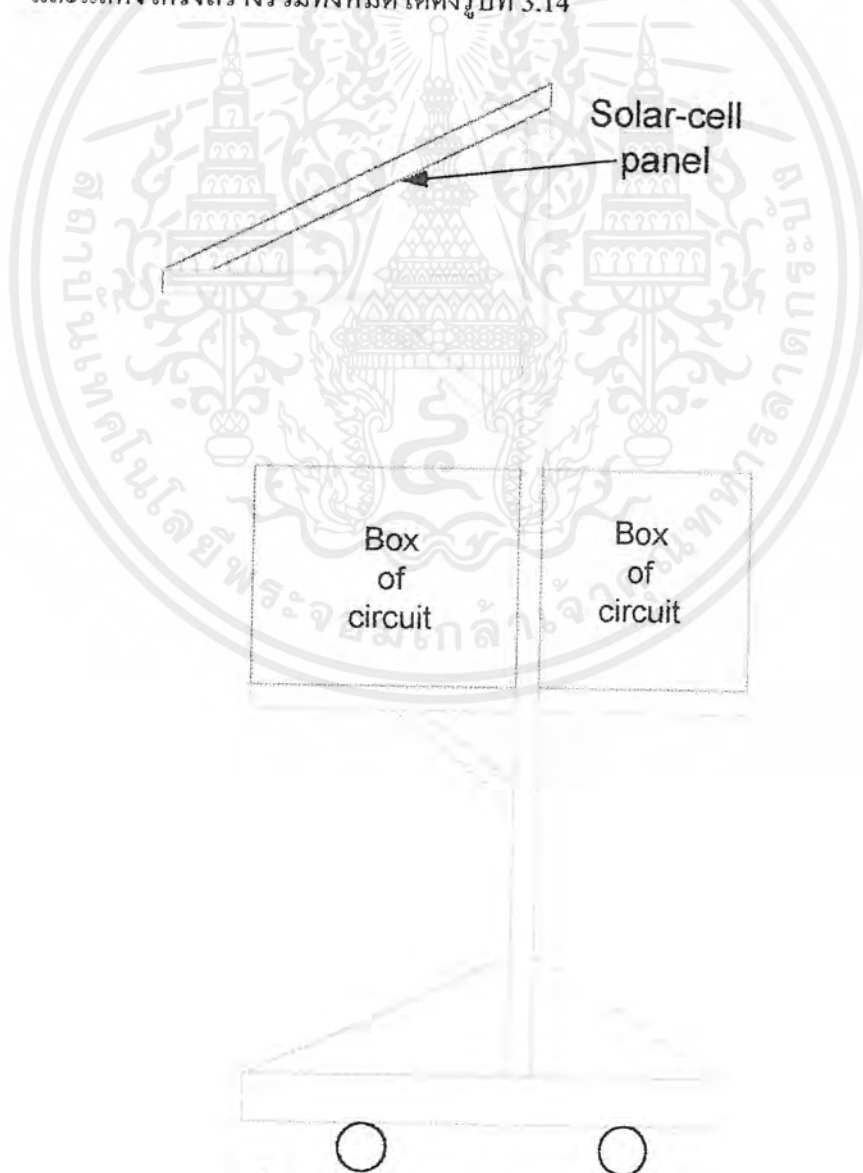


รูปที่ 3.12 แสดงการจัดวางวงจรในชั้นที่สองภายในกล่อง

และในชั้นที่หนึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการจัดวางวงจรในชั้นที่หนึ่งภายในกล่อง และแสดงโครงสร้างรวมทั้งหมดได้ดังรูปที่ 3.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้างรวมทั้งของโครงการนี้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

### 4.1 การทดสอบหาเส้นแสดงคุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์

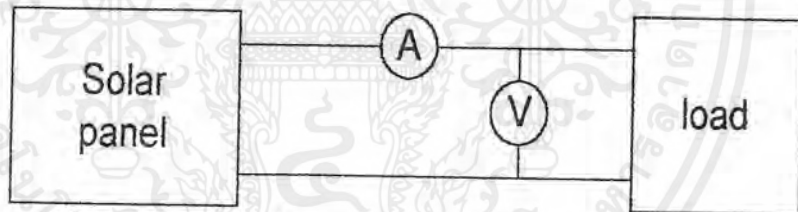
#### วัตถุประสงค์

การทดสอบเพื่อหาเส้นคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์(VI-characteristic)โดยทำการทดสอบตลอดทั้งวัน

#### อุปกรณ์การทดลอง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 วัตต์ 2 แผง
2. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
3. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
4. วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์
5. สายไฟ
6. Junction box

#### รูปการทดลอง



รูปที่ 4.1 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

#### วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 4.1 โดยการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แผง ขนานกัน
2. ทำการวัดค่าแรงดันขณะเปิดวงจร โดยการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจร Load Electronic โดยปรับค่าความต้านทานไปที่ค่าที่ทำให้แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรงอ่านค่าเท่ากับศูนย์หรือจนกระทั่งปรับค่าลดลงอีกไม่ได้และทำการวัดค่ากระแสตรง โดยการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจร Load Electronic โดยปรับค่าความต้านทานไปที่ค่าที่ทำให้โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรงอ่านค่าเท่ากับศูนย์หรือจนกระทั่งปรับค่าลดลงอีกไม่ได้
3. ทำการทดลองคั้งข้อ 2 ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง และในขณะเดียวกันที่ทำการบันทึกค่าแรงดันและแรงดันค่าต่างๆที่ได้จากการปรับค่าความต้านทานที่ทำให้ทั้งโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

ค่าแรงดันเปิดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จากการทดลองที่เวลาต่าง ๆ กันแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

เวลา	V open circuit(V)	I short circuit(A)
8.30 น.	12.00	1.78
9.00 น.	18.00	2.43
9.30 น.	17.50	3.25
10.00 น.	18.00	3.95
10.30 น.	17.50	4.70
11.00 น.	17.20	4.99
11.45 น.	17.60	5.54
12.00 น.	17.70	5.05
12.30 น.	17.20	5.15
13.00 น.	17.50	5.93
13.30 น.	17.50	5.99
14.00 น.	17.20	5.59
14.30 น.	17.50	4.64
15.00 น.	17.40	3.98
15.30 น.	17.00	2.90
16.00 น.	17.80	2.13
16.30 น.	17.60	1.71
17.00 น.	17.00	1.41
17.20 น.	17.50	0.71

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าแรงดันเปิดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรที่เวลาต่าง ๆ ใน 1 วัน

และจากการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจร Load Electronic เพื่อหาค่ากระแสและแรงดันที่ค่าความต้านทานต่าง ๆ ก็แสดงผลการทดลองได้ดังในตารางที่ 4.2 ในที่นี้จะนำผลที่เวลา 13.30 น. มาแสดงเพราะจากผลการทดลอง ณ ที่เวลานี้จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

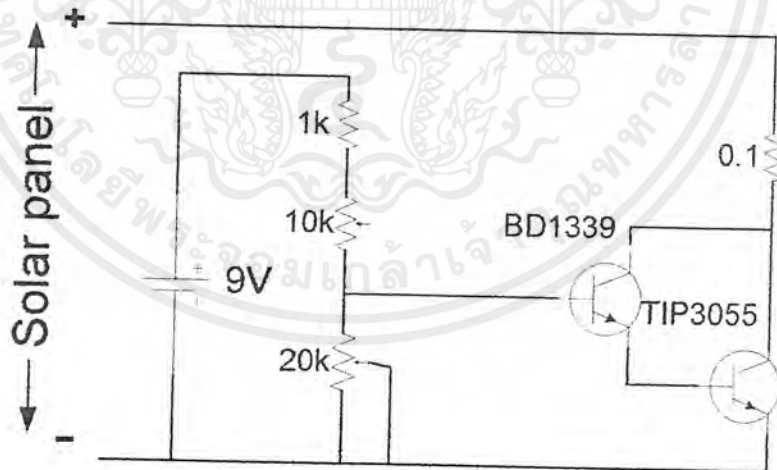
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงดันและกระแสที่เกิดจากการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ เวลา 13.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.5	0.01	9	10	5.74
2	17	0.09	10	9	5.84
3	16	2.32	11	8	5.88
4	15	3.56	12	7	5.95
5	14	4.34	13	6	5.96
6	13	4.98	14	5	5.96
7	12	5.39	15	4	5.96
8	11	5.62	16	3	5.99

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่เกิดจากการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจร Load Electronic เวลา 13.30 น.

รูปวงจร โหลดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลอง

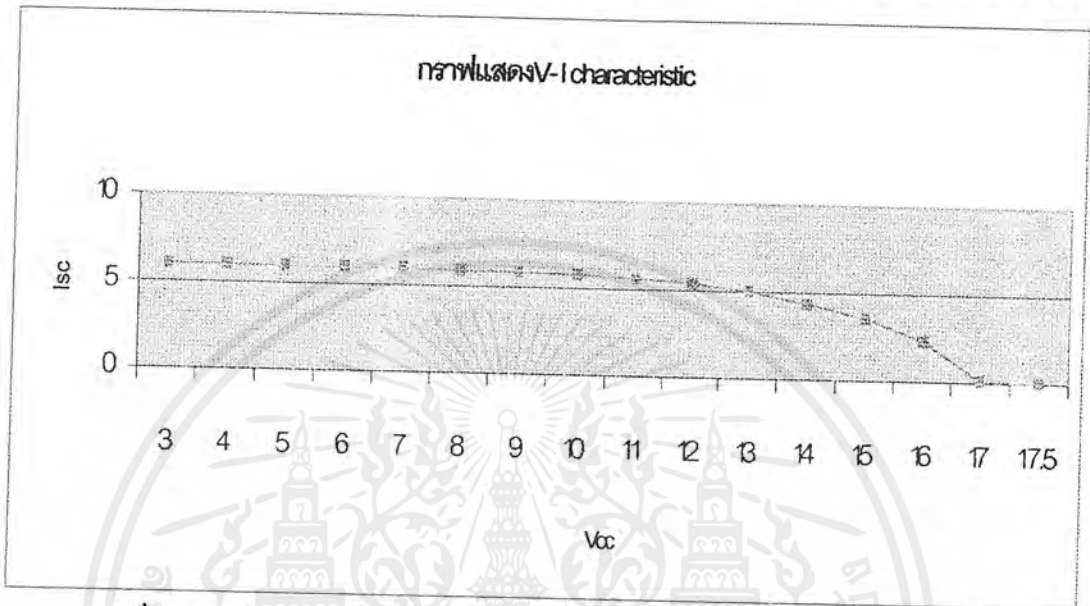


รูปที่ 4.2 วงจร โหลดอิเล็กทรอนิกส์

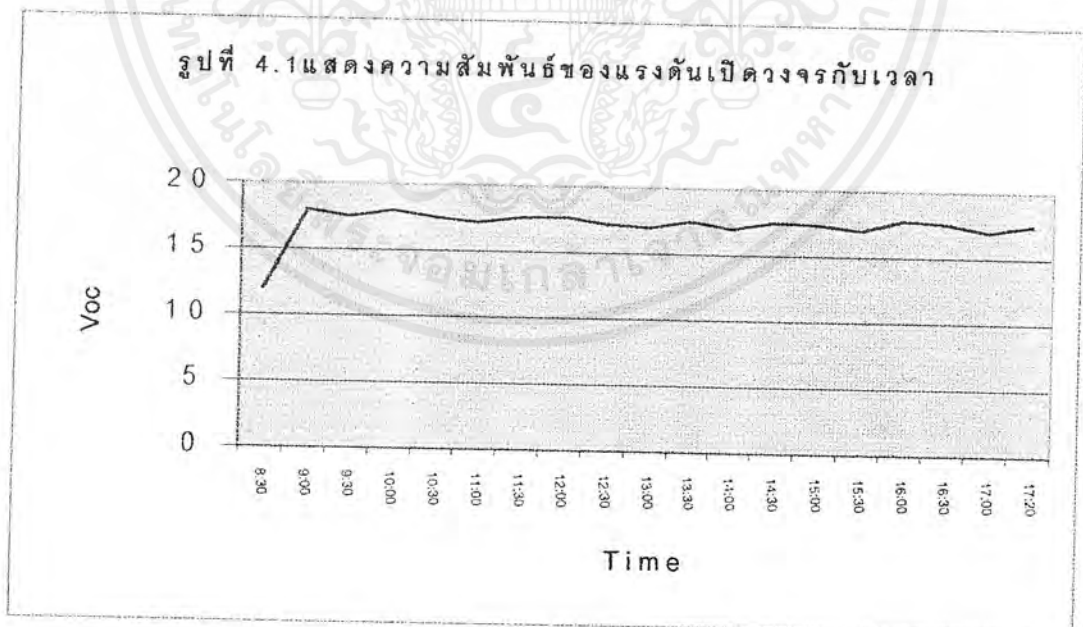
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.2 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแส-แรงดันที่เวลา 13.30 น. ได้ดังนี้

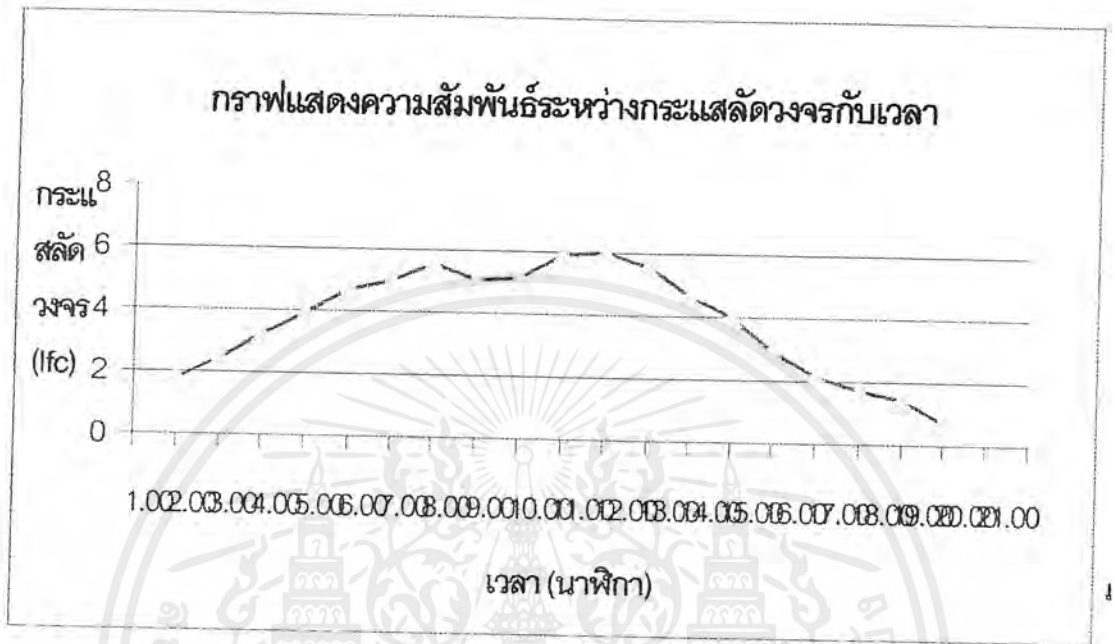


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันและกระแส ณ เวลา 13.30 น. และจากตารางที่ 4.1 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันเปิดวงจรกับเวลาได้ดังรูป



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันเปิดวงจรกับกระแสลัดวงจรที่เวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรกับเวลาใน 1 วัน

จากกราฟรูปที่ 4.5 จะพบว่าค่ากระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาโดยค่ากระแสลัดวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเข้าใกล้ 13.00 น. หรือ ความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและจะลดลงอีกครั้งเมื่อเวลาประมาณ 14.30 น. หรือความเข้มแสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวมาว่าค่ากระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงของแสงอาทิตย์

และจากรูปที่ 4.4 จะพบว่าแรงดันเปิดวงจรจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ทำการทดลอง

ส่วนผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสที่เกิดจากการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจร Load Electronic ในเวลาต่าง ๆ นั้นสามารถอ่านได้ที่ภาคผนวก ก.

## 4.2 การทดลองการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่โดยใช้วงจรอัดประจุ

### วัตถุประสงค์

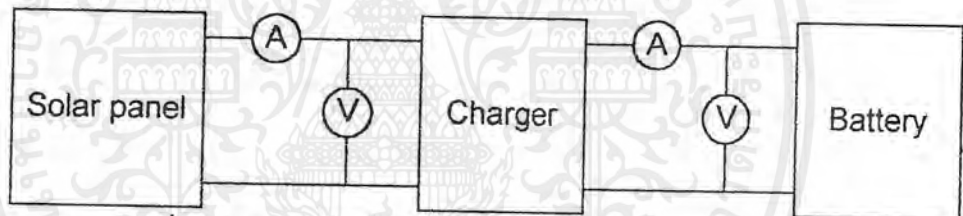
เพื่อต้องการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรอัดประจุแบตเตอรี่

ทำการอัดประจุไฟเข้าแบตเตอรี่เพื่อให้แบตเตอรี่มีไฟเพียงพอในการจ่ายโหลดได้ตลอดคืน

### อุปกรณ์การทดลอง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 วัตต์ 2 แผง
2. สายไฟ
3. Junction box
4. ชุดอัดประจุไฟแบตเตอรี่
5. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
6. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง

### รูปการทดลอง



รูปที่ 4.6 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของ Charger

### วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 4.6
2. วัดค่าแรงดันและกระแสก่อนผ่านชุดอัดประจุทุก ๆ 1 ชั่วโมง พร้อมบันทึกผล
3. วัดค่าแรงดันและกระแสหลังผ่านชุดอัดประจุทุก ๆ 1 ชั่วโมง พร้อมบันทึกผล
4. หาประสิทธิภาพของวงจร
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

### ผลการทดลอง

เวลา (น.)	input			Output			efficiency (%)
	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	
9.15	14.69	2.6	38.19	13.03	2.6	33.88	88.70
9.45	14.52	2.8	40.66	13.10	2.5	32.75	80.55
10.15	14.40	2.8	40.32	13.03	2.5	32.58	80.79
10.45	14.62	3.0	43.86	13.11	2.8	36.71	83.69

11.15	14.58	3.0	43.74	13.04	2.8	36.51	83.48
11.45	14.58	3.0	43.74	13.09	2.7	35.34	80.80
12.15	14.60	3.0	43.80	13.13	2.8	36.76	83.94
12.45	14.15	2.9	41.04	13.06	2.6	33.96	82.75
13.15	14.60	2.9	42.34	13.16	2.6	34.22	80.81
13.45	14.53	2.8	40.68	13.13	2.5	32.83	80.68
14.15	14.48	2.8	40.54	13.10	2.5	32.75	80.78
14.45	14.51	2.4	34.82	13.00	2.2	28.60	82.13
15.15	14.41	2.2	31.70	13.03	2.3	29.97	94.53
15.45	14.27	2.2	31.39	12.87	2.0	25.74	81.99
16.00	14.28	2.1	29.99	12.86	2.0	25.72	85.77

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองชุดวงจรอัดประจุเข้าแบตเตอรี่

#### วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 จะพบว่าชุดอัดประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง คือ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และข้อดีอีกข้อของวงจรนี้ก็คือ กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าคงที่ อยู่ในช่วงระหว่าง 2-3 A ตลอดช่วงการอัดประจุ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อแบตเตอรี่

### 4.3 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

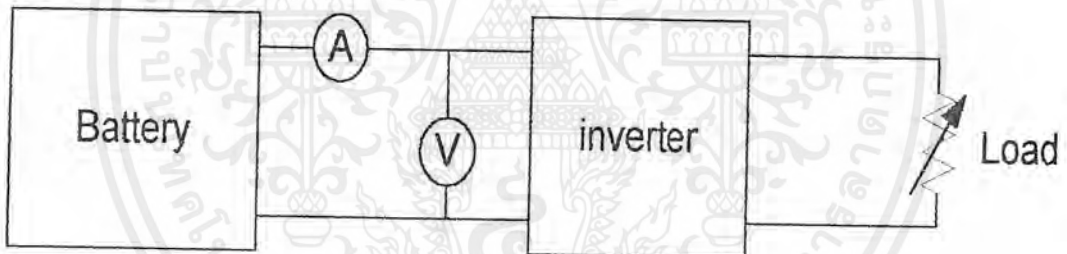
#### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและ โวลเตจเรกกูเลชั่นของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการ

#### อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่
2. สายไฟ
3. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
5. Storage scope
6. อินเวอร์เตอร์
7. ความต้านทานขนาด 30 โอห์ม 10 วัตต์ , 3 โอห์ม 10 วัตต์ , 0.22 โอห์ม 5 วัตต์

#### รูปการทดลอง



รูปที่ 4.7 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

#### วิธีการทดลอง

1. ต่อดวงจรตามรูปที่ 4.7 วัดค่าและบันทึกค่าแรงดันขณะเปิดวงจร
2. บันทึกค่าแรงดันและกระแสต้านอินพุทในขณะที่ใช้ความต้านทานเป็นโหลด
3. บันทึกค่าแรงดันและคำนวณค่ากระแสต้านเอาต์พุทจากค่าที่ได้จาก Storage scope ในขณะที่ใช้ค่าความต้านค่าเดียวกับการบันทึกค่าจากข้อ 2
4. เปลี่ยนค่าความต้านพร้อมทั้งบันทึกค่าตามการทดลองข้อ 2 และ 3
5. คำนวณหาประสิทธิภาพและ โวลเตจเรกกูเลชั่นของอินเวอร์เตอร์
6. วิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

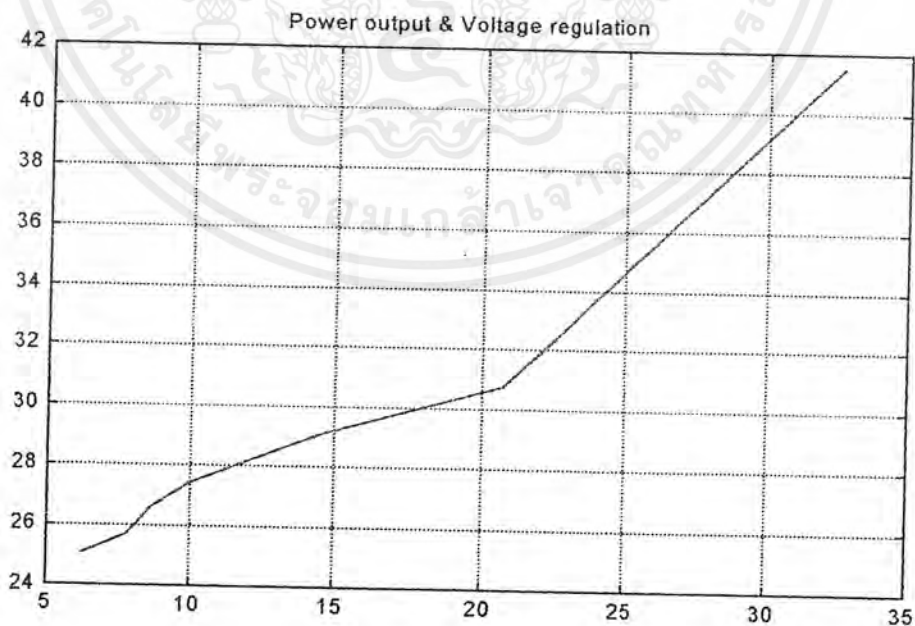
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

ลำดับ ที่	Input			Output			Efficiency (%)	Voltage Regulation (%)
	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)		
1	11.33	5.20	58.92	6.99	4.67	32.622	55.37	41.53
2	11.57	2.80	32.40	7.89	2.63	20.718	63.95	34.05
3	11.69	2.00	23.38	8.28	1.76	14.567	62.31	30.75
4	11.76	1.55	18.23	8.48	1.39	11.812	64.80	29.11
5	11.80	1.20	14.16	8.68	1.15	10.022	70.78	27.44
6	11.81	1.20	14.17	8.78	0.98	8.584	60.57	26.57
7	11.83	1.00	11.83	8.89	0.88	7.791	65.86	25.70
8	11.84	0.80	9.47	8.97	0.70	6.280	66.30	25.03

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

## วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับ โวลเตจเรกูเลชัน

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังเอาต์

พุตกับโวลเตจเรกูเลชันได้ดังรูปที่ 4.8 โดยที่แกนนอนจะแทนกำลังเอาต์พุตและแกนตั้งแทนโวล

เอกสารนี้เขียนโดยผู้จัดทำเอกสารนี้ขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้

เตจเรกนูเลขันและจากรูปที่ 4.8 นี้จะพบว่าเมื่อกำลังเอาที่พุทของอินเวเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นค่าไวลเตจเรกนูเลขันก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

กราฟค่าแรงดันเอาที่พุทในแต่ละค่าของการทดลองนั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

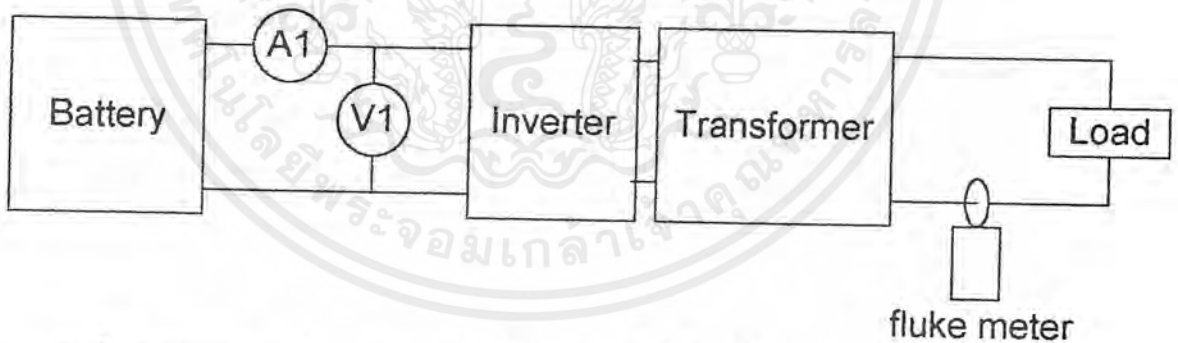
### การทดลองที่ 4.4 หาคุณสมบัติเมื่ออินเวอร์เตอร์กับหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกัน วัตถุประสงค์

เพื่อหาคุณสมบัติเมื่ออินเวอร์เตอร์กับหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกัน

#### อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่ 12V 100Ahr
2. สายไฟ
3. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. ชุดอินเวอร์เตอร์
6. หลอดเผาไส้ขนาด 25 วัตต์ จำนวน 3 หลอด , ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
7. หลอดตะเกียบขนาด 11 วัตต์ จำนวน 3 หลอด , ขนาด 20 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
8. Storage scope
9. Fluke meter
10. หม้อแปลงไฟฟ้า 12/220V

#### รูปการทดลอง



รูปที่ 4.9 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติเมื่ออินเวอร์เตอร์ต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อจ่าย โหลด

#### วิธีการทดลอง

1. ค่อวงจรตามรูปที่ 4.9
2. ทำการวัดค่าแรงดันเปิดวงจรด้านเอาต์พุท โดยอ่านค่าจาก Storage scope
3. ใช้หลอดเผาไส้ ขนาด 25 วัตต์ เป็น โหลด
4. ทำการอ่านและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุทจาก โวลต์มิเตอร์ V1 และแอมป์มิเตอร์ A1 ส่วนค่าแรงดันด้านเอาต์พุทอ่านค่าจาก Storage scope และค่ากระแสด้านเอาต์พุทอ่านค่าจาก Fluke meter ดังแสดงในรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
5. เปลี่ยนจากหลอด 25 วัตต์ เป็น 50,75 และ 100 วัตต์ แล้วทำการบันทึกค่าตามข้อ 4  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนจากโหลดเผาไส้เป็นโหลดตะเกียบและทำการทดลองคั้งข้อ 4 ซึ่งจะทำการทดลองที่ 11,22,33,42 และ 53 วัตต์
7. หาประสิทธิภาพและ โวลเตจเรกกูเลชั่น
8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### ผลการทดลอง

ผลกาดทดลองเมื่อใช้โหลดเผาไส้เป็น โหลด

Load(W)	Input			Output			Efficiency (%)	Voltage regulation
	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)		
No-load	12.06	0.5	6.03	250.7	-	-	-	-
25	12.14	3.8	46.13	207.6	0.15	31.14	67.50	17.19
50	12.04	6.1	73.44	162.8	0.19	30.93	42.12	35.06
75	12.03	7.7	92.63	124.0	0.23	28.52	30.79	50.54
100	12.02	8.7	104.57	96.9	0.25	24.22	23.16	61.35

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้โหลดชนิดโหลดเผาไส้

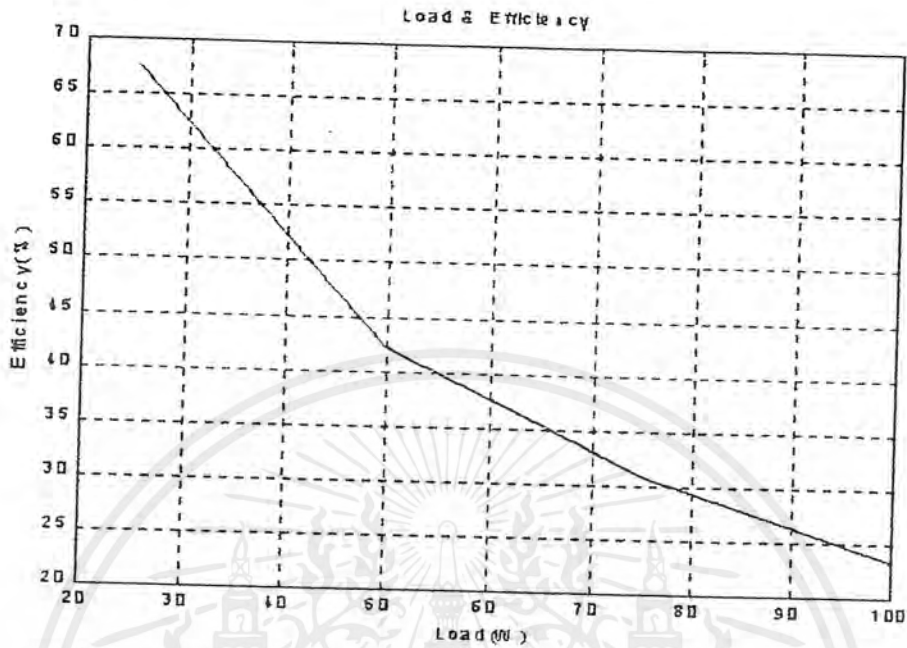
ผลการทดลองเมื่อใช้โหลดตะเกียบเป็น โหลด

Load(W)	Input			Output			Efficiency (%)	Voltage regulation
	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)		
No-load	12.06	0.5	6.03	250.7	-	-	-	-
11	12.04	3.7	44.55	239.4	0.13	31.12	69.86	4.51
22	12.03	4.4	52.93	225.8	0.14	31.61	59.72	9.93
33	12.02	4.8	57.69	171.3	0.18	30.83	53.44	31.7
42	12.03	5.1	61.35	168.8	0.19	32.07	52.27	32.7
53	12.02	7.0	84.14	157.4	0.19	29.91	35.54	37.2

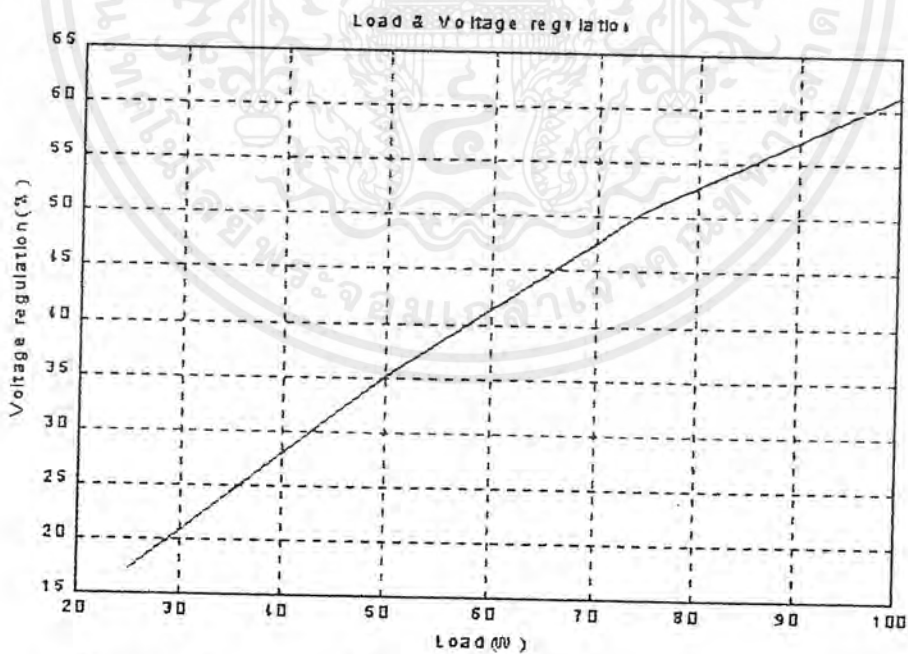
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้โหลดชนิดโหลดตะเกียบ

#### วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.5 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ โหลดกับประสิทธิภาพได้ดังรูปที่ 4.10 และกราฟในรูปที่ 4.11 จะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ โหลดกับ โวลเตจเรกกูเลชั่น



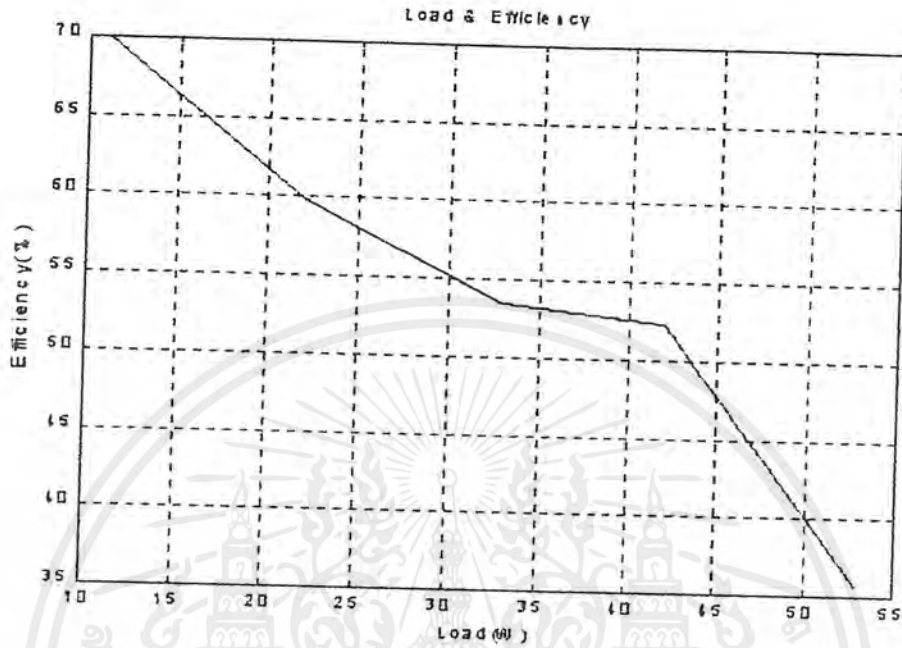
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหาค่าเฉลี่ยและประสิทธิภาพจากการทดลองที่ 4.4



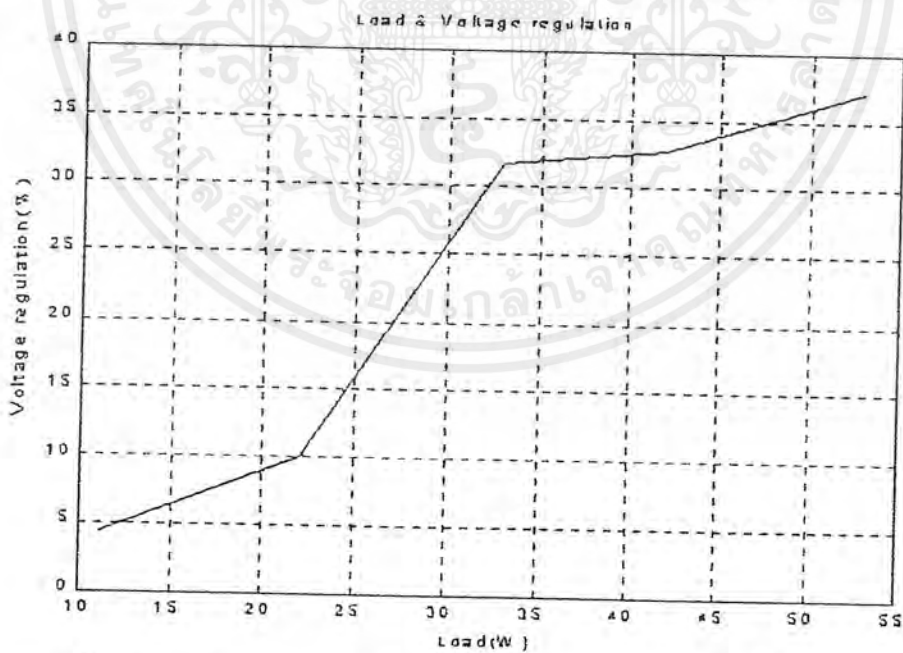
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหาค่าเฉลี่ยกับโวลเตจเรกูเลชันจากการทดลองที่ 4.4

และจากตารางที่ 4.6 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ โหลดกับประสิทธิภาพและของโหลดกับโวลเตจเรกูเลชัน ได้ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของโหลดตลอดระยะเวลาเกี่ยวกับประสิทธิภาพจากการทดลองที่ 4.4



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดตลอดระยะเวลาเกี่ยวกับ โวลเตจเรกกูเลชันจากการทดลองที่ 4.4

จากผลการทดลองในตารางและจากรูปที่แสดง จะพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโหนดชนิดหลอดเผาไส้ เมื่อโหนดมีค่าเพิ่มขึ้น ค่ากำลังเอาท์พุทจะมีค่าลดลง และ ประสิทธิภาพจะมีค่าลดลง ซึ่งจะลดลงมากในช่วงที่โหนดเพิ่มจาก 25 วัดต์ เป็น 50 วัดต์ แต่การลดลงในช่วงของการเพิ่มโหนดค่าอื่น ๆ จะมีการลดลงของประสิทธิภาพไม่มากเท่ากับช่วงการเพิ่มโหนดจาก 25 เป็น 50 วัดต์ และเมื่อโหนดเพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์โวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ในโหนดชนิดหลอดตะเกียบ เมื่อโหนดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพจะมีค่าลดลงตามการเพิ่มของโหนด ซึ่งจากกราฟ ประสิทธิภาพจะลดลงมากในช่วงของการเพิ่มจากโหนดขนาด 42 วัดต์ เป็น 53 วัดต์ และค่าเปอร์เซ็นต์โวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโหนดเพิ่ม และจะมีค่าการเพิ่มสูงสุดในช่วงการเปลี่ยนจากโหนดขนาด 22 วัดต์ เป็น 33วัดต์

กราฟค่าแรงดันเอาท์พุทในแต่ละค่าของการใช้หลอดเผาไส้และหลอดตะเกียบในการทดลองนั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก.



### การทดลองที่ 4.5 การทดลองหาคุณสมบัติรวมของระบบ

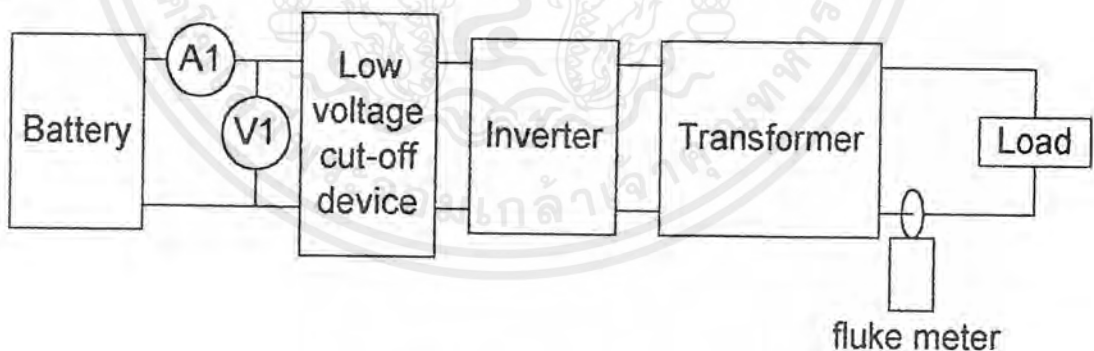
#### วัตถุประสงค์

เพื่อหาคุณสมบัติของระบบรวม

#### อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่ 12V 100Ahr
2. สายไฟ
3. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. ชุดอินเวอร์เตอร์
6. หลอดเผาไส้ขนาด 25 วัตต์ จำนวน 3 หลอด , ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
7. หลอดตะเกียบขนาด 11 วัตต์ จำนวน 3 หลอด , ขนาด 20 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
8. Storage scope
9. Fluke meter
10. หม้อแปลงไฟฟ้า 12/220V
11. ชุด Low Voltage cut-off device

#### รูปการทดลอง



รูปที่ 4.14 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติรวมของระบบ

#### วิธีการทดลอง

1. ค่อวงจรถามรูปที่ 4.14
2. ทำการวัดค่าแรงดันเปิดวงจรด้านเอาต์พุท โดยอ่านค่าจาก Storage scope
3. ใช้หลอดเผาไส้ ขนาด 25 วัตต์ เป็นโหลด
4. ทำการอ่านและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุทจาก โวลต์มิเตอร์ V1 และแอมป์มิเตอร์ A1 ส่วนค่าแรงดันด้านเอาต์พุทอ่านค่าจาก Storage scope และค่ากระแสด้านเอาต์พุทอ่านค่าจาก Fluke meter ดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปลี่ยนจากโหลด 25 วัตต์ เป็น 50,75 และ 100 วัตต์ แล้วทำการบันทึกค่าตามดั่งข้อ 4
6. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนจากโหลดเผาไส้เป็นหลอดตะเกียบและทำการทดลองดั่งข้อ 4 ซึ่งจะทำการทดลองที่ 11,22,33,42 และ 53 วัตต์
7. หาประสิทธิภาพและ โวลเตจเรกกูเลชัน
8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### ผลการทดลอง

เมื่อใช้หลอดเผาไส้เป็นโหลด

Load (W)	Input			Output			Efficiency (%)	Voltage regulation
	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)		
No-load	12.27	1.8	22.09	252.8	-	-	-	-
25	12.20	4.8	58.56	194.4	0.18	34.99	59.75	23.10
50	12.18	7.0	85.26	138.5	0.19	26.32	30.86	45.21
75	12.18	8.3	101.09	100.5	0.25	25.13	24.85	60.25
100	12.12	9.2	111.50	82.47	0.27	22.27	19.97	67.38

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อใช้หลอดเผาไส้เป็นโหลด

เมื่อใช้หลอดตะเกียบเป็นโหลด

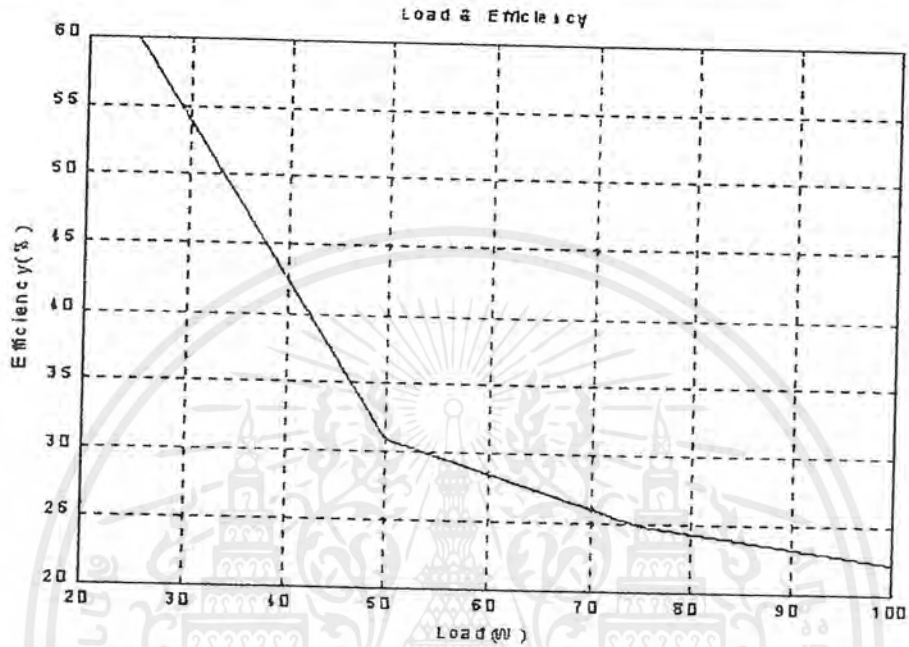
Load (W)	Input			Output			Efficiency (%)	Voltage Regulation
	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)		
No-load	12.27	1.8	22.09	252.8	-	-	-	-
11	12.22	2.7	32.99	252.2	0.08	20.18	61.15	0.24
22	12.19	5.7	69.48	217.1	0.17	36.91	53.12	14.12
33	12.16	7.5	91.20	164.7	0.21	34.59	37.92	34.85
42	12.16	7.7	93.63	162.3	0.22	35.71	38.13	35.79
53	12.16	8.1	98.46	135.5	0.23	31.17	31.64	46.40

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อใช้หลอดตะเกียบเป็นโหลด

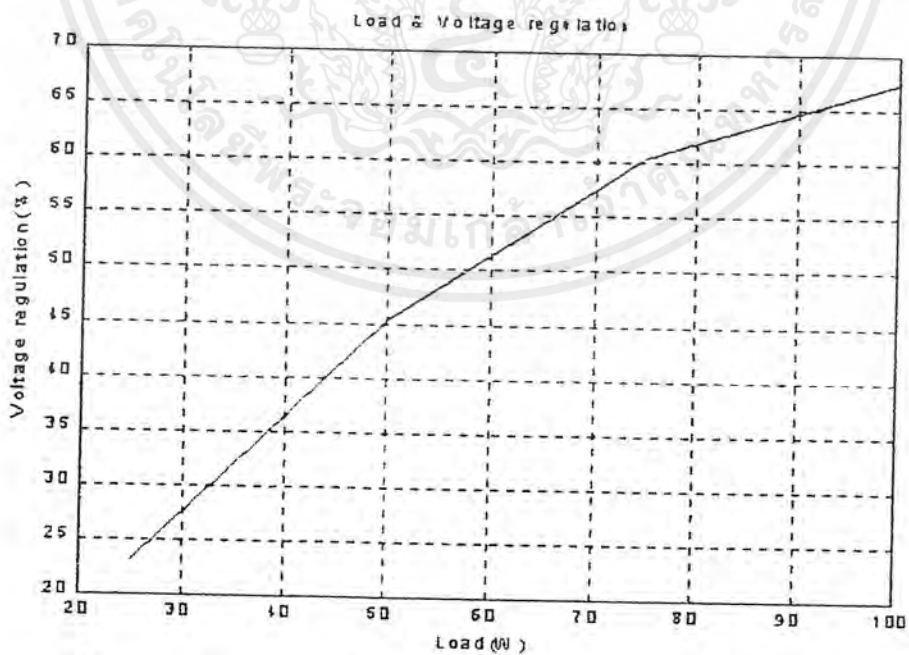
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.7 นำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ โหลดกับประสิทธิภาพและ โวล

เดจเรกกูเลชั่น ได้ดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 และจากตารางที่ 4.8 นำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของโหลดกับประสิทธิภาพและ โวลเดจเรกกูเลชั่น ได้ดังรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18

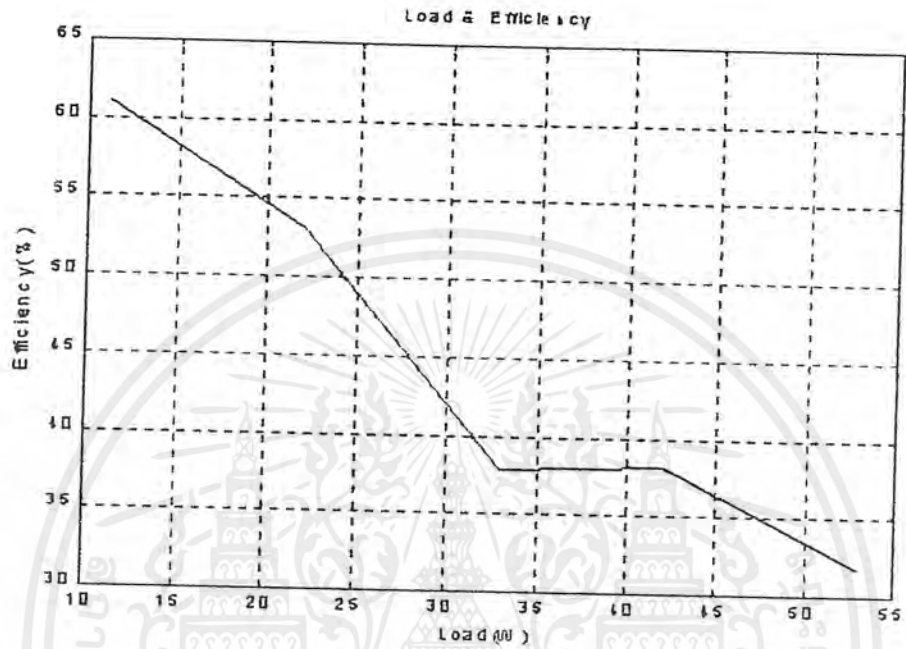


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดตลอดเหาไส้กับประสิทธิภาพจากการทดลองที่ 4.5

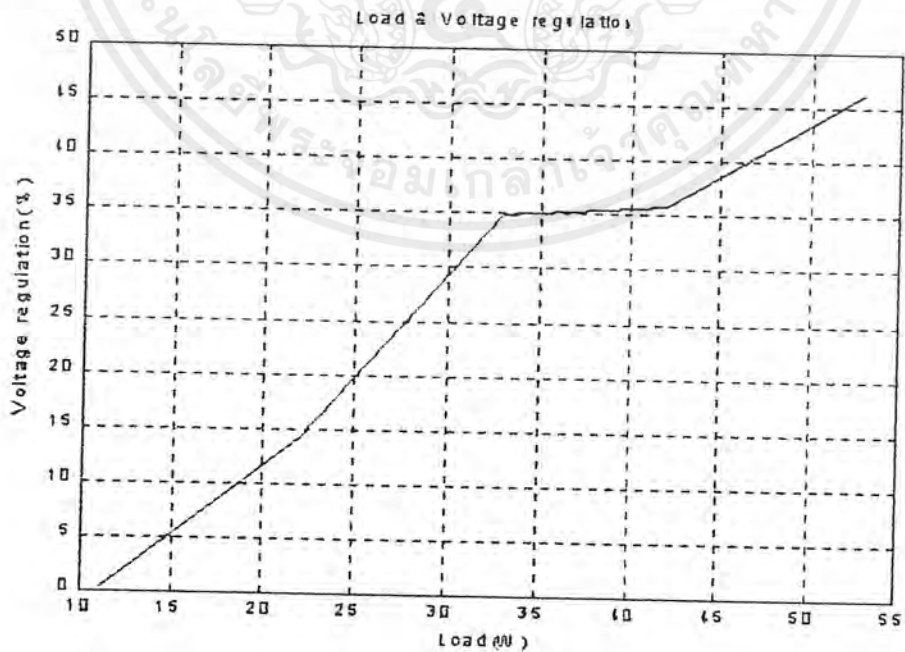


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดตลอดเหาไส้กับ โวลเดจเรกกูเลชั่นจากการทดลองที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดตลอดระยะเวลาเกี่ยวกับประสิทธิภาพจากการทดลองที่ 4.5



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดตลอดระยะเวลาเกี่ยวกับโวลเตจเรกูเลชันจากการทดลองที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองและกราฟในรูปที่แสดงนั้น จะพบว่า

ในโพลีชนิดหลอดเผาไส้ เมื่อโพลีเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพและกำลังเอาต์พุตจะมีค่าลดลง โดยค่าประสิทธิภาพจะมีค่าการลดลงมากที่สุดในช่วงการเปลี่ยนจากโพลี 25 วัตต์ เป็น 50 วัตต์ แต่ค่าโวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ โพลีเพิ่มขึ้นและจะมีค่าการเพิ่มขึ้นมากที่สุดในช่วงการเปลี่ยนจากโพลี 25 วัตต์เป็น 50 วัตต์

ในโพลีชนิดหลอดตะเกียบ เมื่อโพลีเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าลดลง และในช่วงการเพิ่มจากโพลี 22 วัตต์ เป็น 33 วัตต์ จะเป็นช่วงที่มีค่าประสิทธิภาพลดลงมากที่สุด ส่วนค่าโวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ โพลีเพิ่มขึ้น และจะมีค่าการเพิ่มมากที่สุดในช่วงการเพิ่มโพลีจาก 22 วัตต์ เป็น 33 วัตต์

ซึ่งจากการทดลองนี้สรุปได้ว่าในช่วงที่ค่าประสิทธิภาพมีค่าลดลงมากที่สุดนั้นค่าโวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าการเพิ่มขึ้นมากที่สุด

กราฟค่าแรงดันเอาต์พุตในแต่ละค่าของการใช้หลอดเผาไส้และหลอดตะเกียบในการทดลองนั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก.

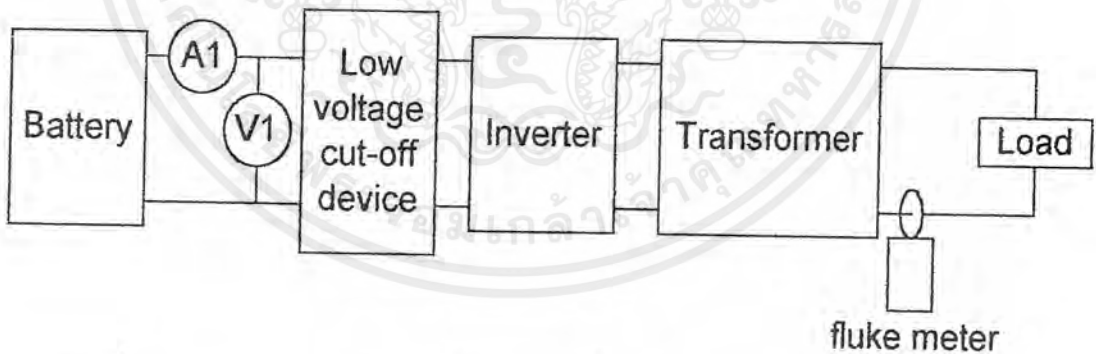
#### 4.6 การทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อทำการจ่ายโหลดเป็นเวลา 10 ชั่วโมง วัตถุประสงค์

เพื่อหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อทำการจ่ายโหลดนาน 10 ชั่วโมง

#### อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่
2. สายไฟ
3. Junction box
4. อินเวอร์เตอร์
5. หม้อแปลง
6. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
7. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
8. Storage scope
9. หลอดเผาไส้ 25 วัตต์ 2 หลอด
10. fluke meter

#### รูปการทดลอง



รูปที่ 4.19 การทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อจ่ายโหลด 50 วัตต์ นาน 10 ชั่วโมง

#### วิธีการทดลอง

1. ต้องจรรยาตามรูปการทดลองที่ 4.19
2. ใช้หลอดเผาไส้ขนาด 25 วัตต์ 2 หลอดเป็น โหลด
3. อ่านค่ากระแสและแรงดันทางด้านอินพุทจากแอมป์มิเตอร์ A1 และ โวลต์มิเตอร์ V1 และอ่านค่าแรงดันเอาต์พุทจาก Storage scope , ค่ากระแสด้านเอาต์พุทอ่านค่าจาก Fluke meter ดังรูป
4. ทำการบันทึกค่าดังข้อ 3 ทุก ๆ 1 ชั่วโมง

#### 5. คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของระบบงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## ผลการทดลอง

ผลการทดลองเมื่อใช้หลอดเผาไส้เป็นโหลดแสดงได้ดังตาราง

Hr.	Input			Output			efficiency (%)
	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	
0	12.00	6.7	80.40	122.0	0.23	28.06	34.90
1	11.99	6.7	80.33	127.7	0.20	25.54	31.79
2	11.98	6.6	79.07	121.8	0.20	24.36	30.81
3	11.98	6.5	77.87	118.9	0.19	22.59	29.01
4	11.97	6.5	77.81	115.6	0.18	20.81	26.74
5	11.97	6.4	76.61	114.2	0.18	20.56	26.83
6	11.97	6.4	76.61	110.6	0.19	21.01	27.43
7	11.96	6.3	75.35	107.9	0.19	20.50	27.21
8	11.95	6.2	74.09	106.0	0.18	19.08	25.75
9	11.94	6.1	72.83	102.7	0.17	17.46	23.97
10	11.83	6.1	72.16	98.4	0.18	17.71	24.54

ตารางที่ 4. 9 ผลการทดลองเมื่อระบบรวมทำการจ่ายโหลดนาน 10 ชั่วโมง

## วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่าระบบสามารถจ่ายโหลดขนาด 50 วัตต์ ได้นานเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้จริง และประสิทธิภาพของระบบรวมจะอยู่ในช่วง 23-34 เปอร์เซ็นต์ โดยจะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 34.9 % ในช่วงเริ่มแรกของการทดลอง และจะมีค่าน้อยสุดอยู่ในช่วง ชั่วโมงที่ 9 หรือ 10 ก็เพราะว่า ในช่วงแรกนั้นแบตเตอรี่ยังมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูง และ ในด้านเอาต์พุต ยังมีค่ามากที่สุดกว่าในทุก ๆ ช่วงของการทดลองด้วย ดังนั้นจึงทำให้มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด และ เมื่อจ่ายโหลดไปนาน ค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ และกราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในช่วงเวลาต่าง ๆ สามารถดูได้ในภาคผนวก ก.

### บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

จากวัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อจ่ายโหลดพลังงานกระแสสลับขนาด 1 เฟส 50 เฮิร์ต 220 โวลต์ พิกัด 50 วัตต์ใช้งานได้นาน 10 ชั่วโมงต่อเนื่อง เป็นระบบ Stand Alone นั้น ผู้ทดลองได้สร้างชุดอัดประจุไฟเพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำรองไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 100 Ah ซึ่งจากผลการทดลองชุดอัดประจุไฟเข้าแบตเตอรี่นี้ให้ประสิทธิภาพในการทำงานค่อนข้างสูง นั่นคือ มีประสิทธิภาพ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และ ข้อดีของวงจรชุดอัดประจุนี้ได้แก่ กระแสที่ใช้อัดประจุเข้าแบตเตอรี่มีค่าค่อนข้างคงที่ คือ อยู่ในช่วง 2-3 A และเนื่องจากกระแสที่ใช้อัดประจุนั้นมีค่าน้อย และค่าค่อนข้างคงที่นั้นจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานขึ้น

และจากการทดลองที่ 4.1 ทำให้รู้ว่ากระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีค่าขึ้นอยู่กับความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลา

ในวงจรควบคุมเพื่อที่จะใช้ขั้วเกตของ ไอจีบีทีที่ใช้เป็นสวิตช์ในอินเวอร์เตอร์นั้นได้มีการใช้ช่วงเวลา Deadtime ในช่วง 4.5-5  $\mu\text{s}$  ซึ่งก็เป็นไปตามทฤษฎีของ ไอจีบีทีที่ใช้ช่วงเวลา Deadtime ในช่วง 0-6  $\mu\text{s}$  เพื่อไม่ให้ ไอจีบีทีในกิ่งเดียวกันเกิดการ Short กันขึ้นเมื่ออินเวอร์เตอร์กำลังทำงานและอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้ยังไม่มีการป้อนกลับจากแรงดันเอาต์พุตเพื่อทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่ในขณะที่จ่ายโหลด

และจากผลการทดลองในขั้นตอนการทดลองต่าง ๆ นั้นจะพบว่า

ในการทดลองที่ 4.3 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์นั้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 55-70 เปอร์เซ็นต์

ในการทดลองที่ 4.4 ประสิทธิภาพของระบบที่ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 23-70 เปอร์เซ็นต์ ในโหลดชนิดโหลดเผาไส้และมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 35-70 เปอร์เซ็นต์ ใน โหลดชนิดโหลดตะเกียบ

ในการทดลองที่ 4.5 ประสิทธิภาพของระบบที่ประกอบด้วยชุดป้องกันแบตเตอรี่อินเวอร์เตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 20-60 เปอร์เซ็นต์ ใน โหลดชนิดโหลดเผาไส้และมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 30-60 เปอร์เซ็นต์ ใน โหลดชนิดโหลดตะเกียบ

ในการทดลองที่ 4.6 เพื่อทำการจ่ายโหลด 50 วัตต์ นาน 10 ชั่วโมง นั้น ประสิทธิภาพของระบบจะมีค่าอยู่ในช่วง 24-35 เปอร์เซ็นต์ และสามารถทำการจ่ายโหลดได้นานถึง 10 ชั่วโมง ตามวัตถุประสงค์จริง

ปัญหาที่พบพร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการปรับปรุงโครงการนี้ต่อไป

ในการทำงานปัญหาส่วนใหญ่ที่เกี่ยวกับการต่อวงจรจะเป็นเรื่องของจุดต่อต่าง ๆ ดังนั้นในการทำโครงการจะต้องมีความละเอียด รอบคอบ เมื่อมีการต่อหลาย ๆ จุดเข้าด้วยกัน แล้วถ้าพบว่าจุดใดไม่มีสัญญาณออกมาก็ควรทำการตรวจเช็คที่ละจุดเพื่อจะได้พบจุดที่ทำให้เกิดปัญหานั้น

และในการยกกระดับแรงดันก่อนที่จะเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า นั้น ในโครงการได้มีการยกกระดับแรงดันโดยใช้วงจร Boost Converter ถึงสามชุด แต่เมื่อนำมาประกอบกันแล้วจะพบว่า วงจร Boost Converter ชุดที่สามจะพังเนื่องจากปัญหาในเรื่องของกระแสที่มีค่ามาก ดังนั้นในการทำโครงการนี้ต่อก็ควรที่จะศึกษาเรื่องของคนเวอร์เตอร์ให้ดี และควรหลีกเลี่ยงการต่อวงจร Boost Converter หลาย ๆ ชุดเข้าด้วยกัน อาจจะใช้วงจร Push-pull Converter ใช้ในการยกกระดับแรงดันแทนวงจร Boost Converter ก็ได้

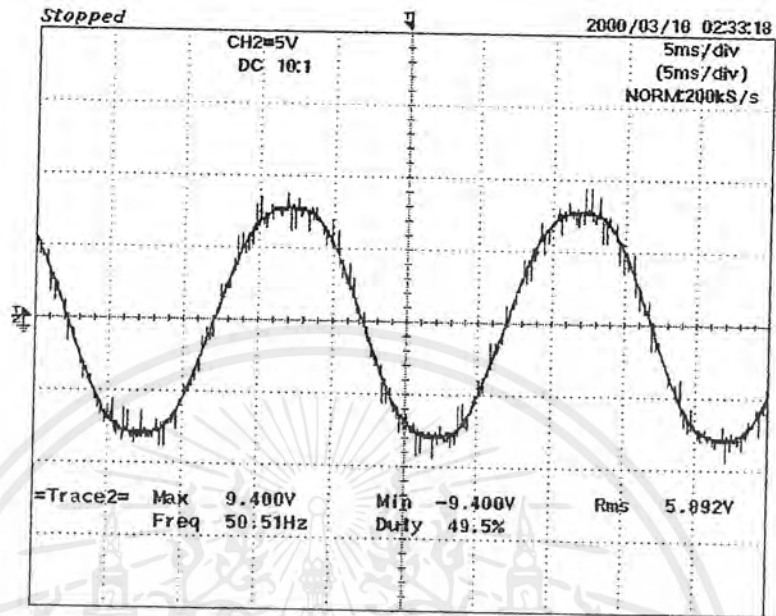
และเนื่องจากวัตถุประสงค์ข้อหนึ่งของการทำโครงการนี้ได้แก่ การที่สามารถจ่ายโหลดได้นาน 10 ชั่วโมง และเป็นระบบที่ต้องจ่ายในคอนกลางคืน ดังนั้น ผู้ทำโครงการจึงควรมีความพยายามและอดทนในการเก็บผลขณะที่ทำการทดลองจ่ายโหลดในช่วงเวลา 10 ชั่วโมงนั้น ๆ

ในโครงการนี้เนื่องจากเป็นระบบ Stand Alone จึงได้มีการทำวงจร DC-Switching Power Supply ใช้ขึ้นเพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับไอซีที่ใช้ในวงจรต่าง ๆ และในการทดลองก็พบปัญหาว่าเมื่อใช้ไฟจากวงจรดังกล่าวจ่ายแทนไฟบ้านแล้ว คลื่นสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมเกิดการเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะทำให้กระแสด้านอินพุทเพิ่มแล้วจะทำให้ไอจีบีทีเสียหายได้ ทั้งนี้เมื่อตรวจเช็คแล้วพบว่าวงจรไฟเลี้ยงนี้มีบางจุดที่จ่ายไฟเกิดปัญหาขึ้นจึงได้ทำการแก้ไข และเมื่อมาใช้ในการทดลองอีกสัญญาณก็จะไม่เกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้นในการทำวงจรไฟเลี้ยงขึ้นมาใช้เองควรจะเช็คไปในแต่ละจุดที่จะนำไปใช้จ่ายไอซีให้ดีเพื่อป้องกันปัญหาอื่น ๆ ที่จะตามมาได้



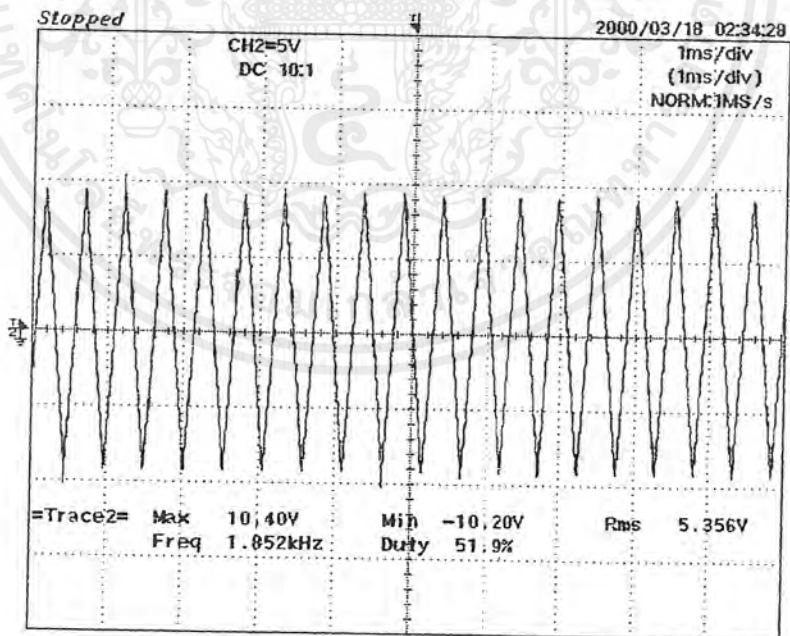
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1   
Delay : 0.0ns  
Hold OFF : MINIMUM

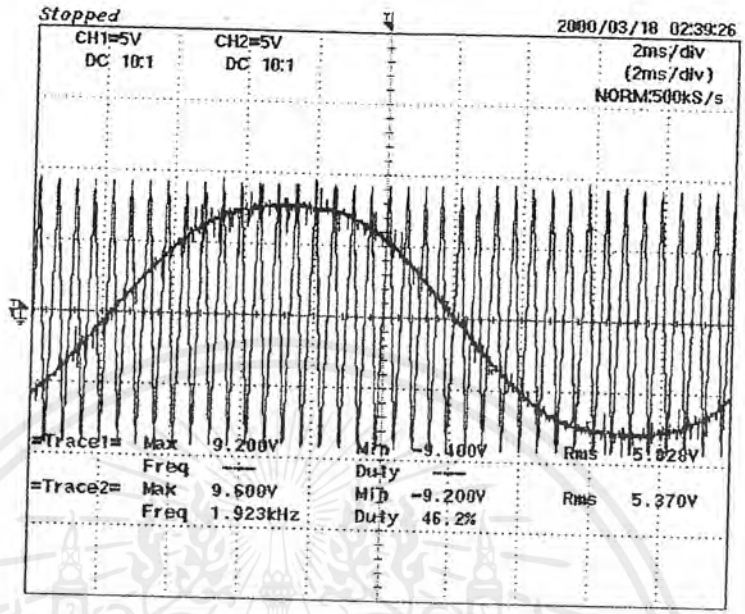
สัญญาณไซน์จากวงจรสร้างไซน์โดยใช้ไอซี XR-2206



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1   
Delay : 0.0ns  
Hold OFF : MINIMUM

สัญญาณสามเหลี่ยมจากวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมโดยใช้ไอซี ICL8038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=

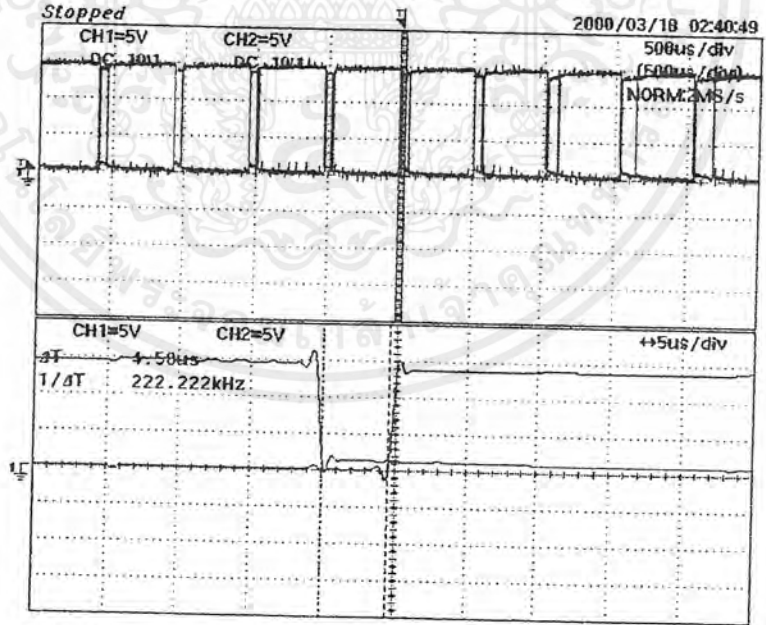
Smoothing : OFF    CH1 : 0.00V      Main : 10K      Mode : AUTO

BW : FULL          CH2 : 0.00V      Zoom : 100     Type : EDGE CH1  $\uparrow$

Delay : 0.0ns

Hold Off : MINIMUM

สัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยมก่อนผ่าน ไอซี LF351N



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=

Smoothing : OFF    CH1 : 0.00V      Main : 10K      Mode : AUTO

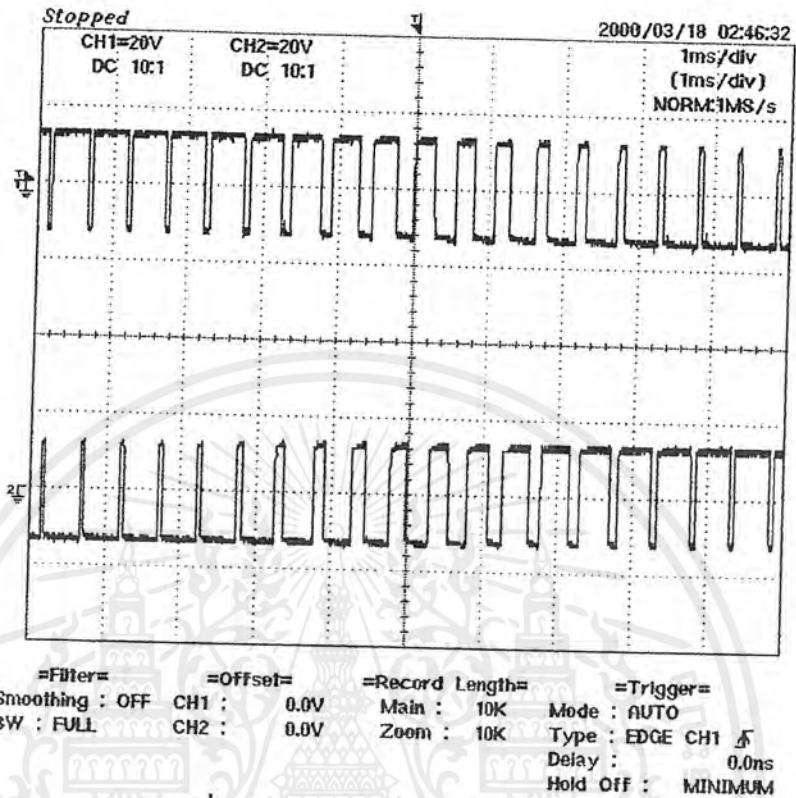
BW : FULL          CH2 : 0.00V      Zoom : 100     Type : EDGE CH1  $\uparrow$

Delay : 0.0ns

Hold Off : MINIMUM

สัญญาณหลังผ่านวงจรDeadtime

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณที่ใช้ในการทริกขาเกต ไอจีบีทีก็งี้เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 4.1 การทดสอบหาเส้นแสดงคุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์  
ผลของค่าแรงดันและกระแสที่เกิดจากการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจรโหลด  
อิเล็กทรอนิกส์ ณ เวลาต่าง ๆ กัน

ณ เวลา 8.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	18.5	0.01	8	5	1.82
2	11	1.28	9	4	1.82
3	10	1.77	10	3	1.74
4	9	1.77	11	2.5	1.8
5	8	1.77	12	1.5	1.78
6	7	1.81	13	1	1.78
7	6	1.81			

ณ เวลา 9.00 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	18	0.01	8	10	1.15
2	17	0.41	9	7.5	1.11
3	16	0.69	10	8	1.04
4	15	1.02	11	5	0.99
5	14.5	1.93	12	4.97	3.99
6	13	2.33	13	1.5	2.43
7	11	2.07			

ณ เวลา 9.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.5	0.01	8	8	1.15
2	17	0.01	9	7	1.17
3	16	0.44	10	6	1.26
4	15	0.84	11	5	3.17
5	14	1.23	12	4	3.2
6	12	1.3	13	2.5	3.19
7	10	1.22	14	1.5	3.25

ณ เวลา 10.00 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	18	0.01	9	9	3.8
2	17	1.15	10	8	3.84
3	16	2.27	11	7	3.88
4	15	3.01	12	6	3.91
5	14	3.34	13	5	3.9
6	13	3.59	14	4	3.9
7	12	3.68	15	3	3.9
8	11	3.74	16	2	3.95

ณ เวลา 10.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.5	0.01	9	9	4.52
2	17	0.11	10	8	4.54
3	16	1.94	11	7	4.57
4	15	3.06	12	6	4.57
5	14	3.75	13	5	4.59
6	13	4.04	14	4	4.61
7	12	4.26	15	3	4.66
8	11	4.36	16	2.5	4.7

ณ เวลา 11.00 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.2	0.01	9	10	4.94
2	17	0.01	10	9	4.96
3	16	1.9	11	8	5.06
4	15	3.29	12	7	5.06
5	14	3.79	13	6	5.04
6	13	4.29	14	5	4.96
7	12	4.61	15	4	4.94
8	11	4.82	16	2.5	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ เวลา 1130 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.6	0.01	9	9	5.33
2	17	0.01	10	8	5.37
3	16	1.8	11	7	5.43
4	15	3.32	12	6	5.47
5	14	4.28	13	5	5.52
6	13	4.48	14	4	5.53
7	12	4.95	15	3	5.53
8	11	5.05	16	2.5	5.54

ณ เวลา 12.00 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.7	0.01	9	9	4.96
2	17	0.42	10	8	4.97
3	16	1.55	11	7	5.01
4	15	2.85	12	6	5.07
5	14	3.84	13	5	4.97
6	13	4.43	14	4	5
7	12	4.77	15	3	4.97
8	11	4.86	16	2	5.05

ณ เวลา 12.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.2	0.01	9	10	4.8
2	17	0.76	10	9	4.86
3	16	1.91	11	8	4.93
4	15	3.38	12	7	4.98
5	14	3.98	13	6	5.06
6	13	4.39	14	5	5.08
7	12	4.55	15	4	5.09
8	11	4.75	16	3	5.15

ณ เวลา 13.00 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.5	0.01	9	10	5.63
2	17	0.21	10	9	5.68
3	16	1.55	11	8	5.73
4	15	3.23	12	7	5.8
5	14	4.26	13	6	5.77
6	13	4.93	14	5	5.81
7	12	5.32	15	4	5.85
8	11	5.51	16	2.8	5.93

ณ เวลา 13.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.5	0.01	9	10	5.74
2	17	0.09	10	9	5.84
3	16	2.32	11	8	5.88
4	15	3.56	12	7	5.95
5	14	4.34	13	6	5.96
6	13	4.98	14	5	5.96
7	12	5.39	15	4	5.96
8	11	5.62	16	3	5.99

ณ เวลา 14.00 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.2	0.01	9	10	5.26
2	17	0.01	10	9	5.36
3	16	1.14	11	8	5.43
4	15	2.67	12	7	5.5
5	14	3.63	13	6	5.51
6	13	4.4	14	5	5.47
7	12	4.82	15	4	5.5
8	11	5.18	16	2.8	5.59

ณ เวลา 14.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.5	0.01	9	9	4.64
2	17	0.41	10	8	4.64
3	16	2.23	11	7	4.67
4	15	3.14	12	6	4.72
5	14	3.95	13	5	4.69
6	13	4.29	14	4	4.69
7	12	4.51	15	3	4.66
8	11	4.58	16	2.5	4.64

ณ เวลา 15.00 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.4	0.01	9	10	3.74
2	17	0.03	10	9	3.78
3	16	1.16	11	8	3.84
4	15	2.38	12	7	3.88
5	14	2.94	13	6	3.91
6	13	3.39	14	5	3.92
7	12	3.63	15	4	3.93
8	11	3.7	16	2.5	3.98

ณ เวลา 15.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17	0.01	9	9	3.26
2	16	1.88	10	8	3.22
3	15	2.22	11	7	3.16
4	14	2.68	12	6	3.12
5	13	3.01	13	5	3.13
6	12	3.22	14	4	3.17
7	11	3.28	15	3	3.26
8	10	3.3	16	2.5	2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ เวลา 16.00 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.8	0.01	10	9	2.16
2	17	0.44	11	8	2.11
3	16	1.47	12	7	2.08
4	15	1.92	13	6	2.1
5	14	2.13	14	5	2.09
6	13	2.21	15	4	2.07
7	12	2.29	16	3	2.05
8	11	2.15	17	2	2.07
9	10	2.14	18	1.5	2.13

ณ เวลา 16.30 น.

ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.6	0.01	10	9	1.49
2	17	0.75	11	8	1.5
3	16	1.16	12	7	1.52
4	15	1.35	13	6	1.55
5	14	1.42	14	5	1.57
6	13	1.45	15	4	1.62
7	12	1.45	16	3	1.65
8	11	1.46	17	2	1.72
9	10	1.47	18	1.5	1.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ เวลา 17.00 น.

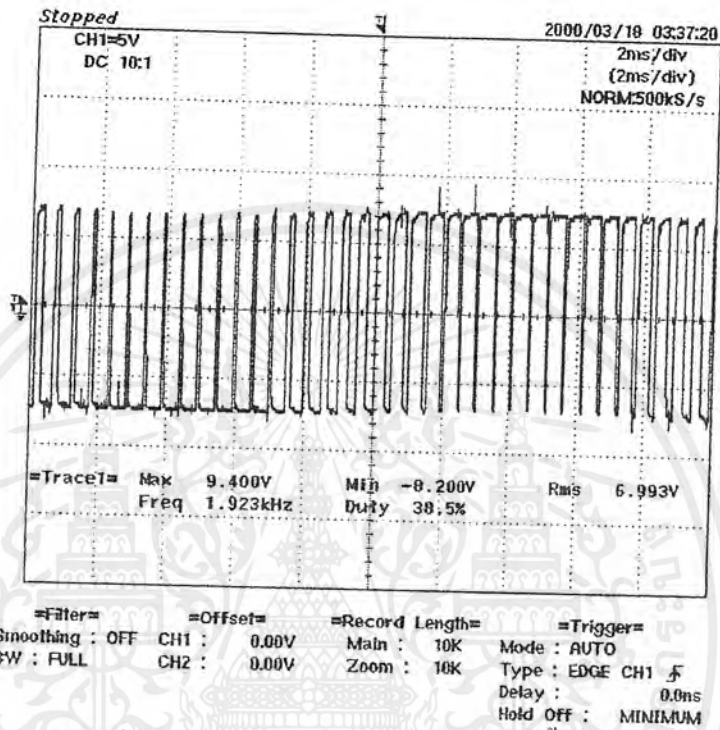
ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17	0.01	10	8	1.28
2	16	0.36	11	7	1.26
3	15	0.79	12	6	1.24
4	14	1.05	13	5	1.24
5	13	1.2	14	4	1.23
6	12	1.28	15	3	1.23
7	11	1.31	16	2	1.27
8	10	1.31	17	1.7	1.41
9	9	1.28			

ณ เวลา 17.20 น.

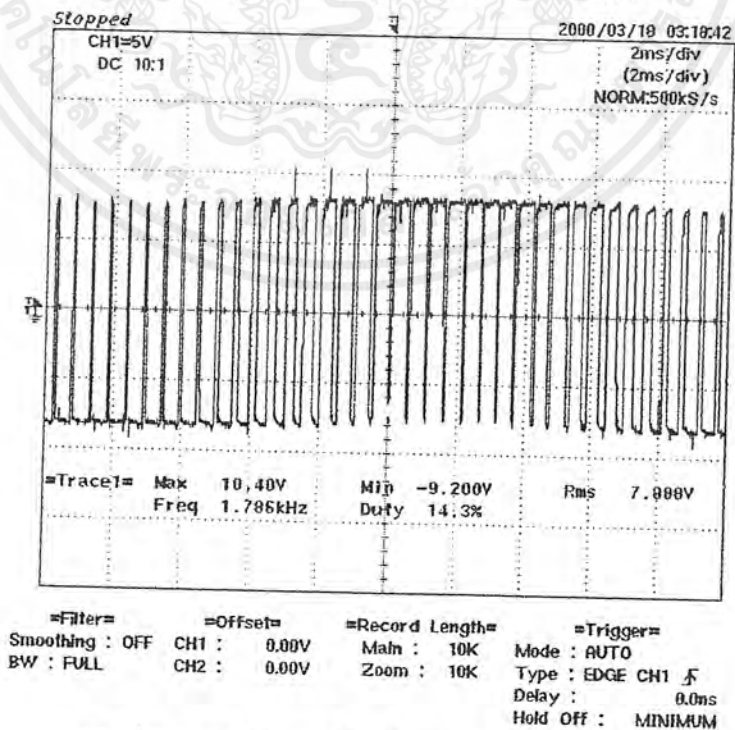
ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ลำดับที่	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	17.5	0.01	10	9	0.77
2	17	0.01	11	8	0.77
3	16	0.4	12	7	0.76
4	15	0.52	13	6	0.75
5	14	0.7	14	5	0.74
6	13	0.72	15	4	0.72
7	12	0.73	16	3	0.71
8	11	0.76	17	2	0.71
9	10	0.77	18	1.8	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟผลการทดลองที่ 4.3 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

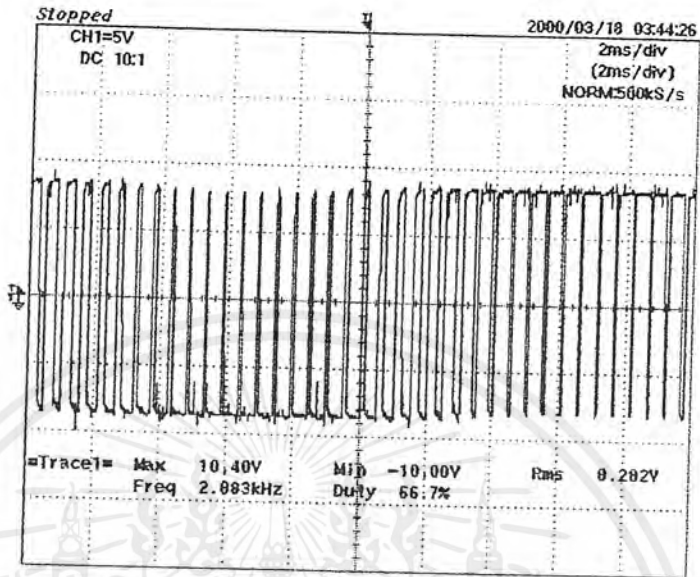


กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในการทดลองครั้งที่ 1



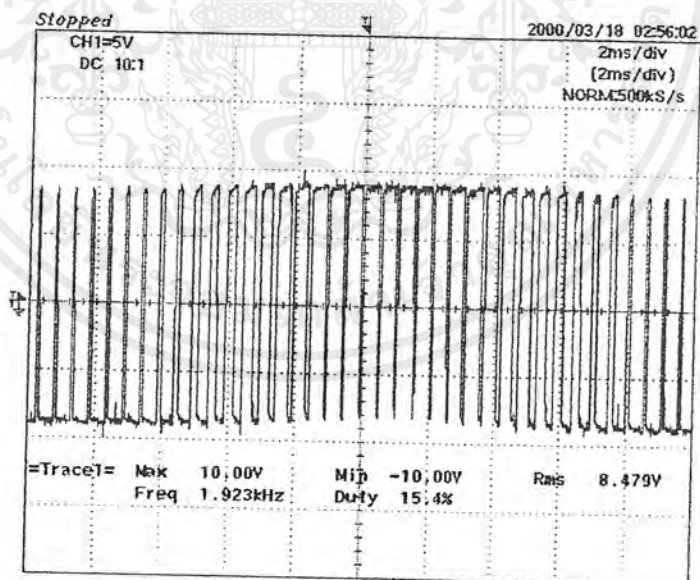
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1  $\sqrt{\text{f}}$   
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

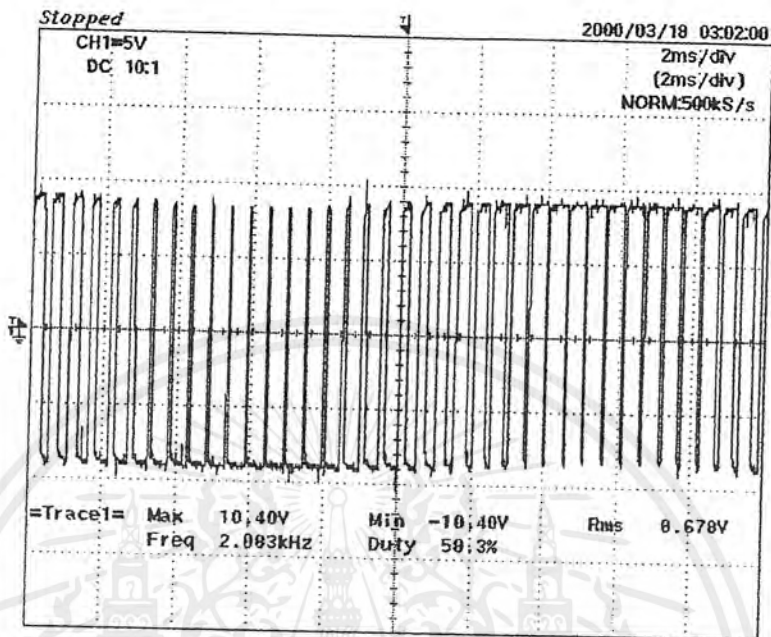
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในการทดลองครั้งที่ 3



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1  $\sqrt{\text{f}}$   
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

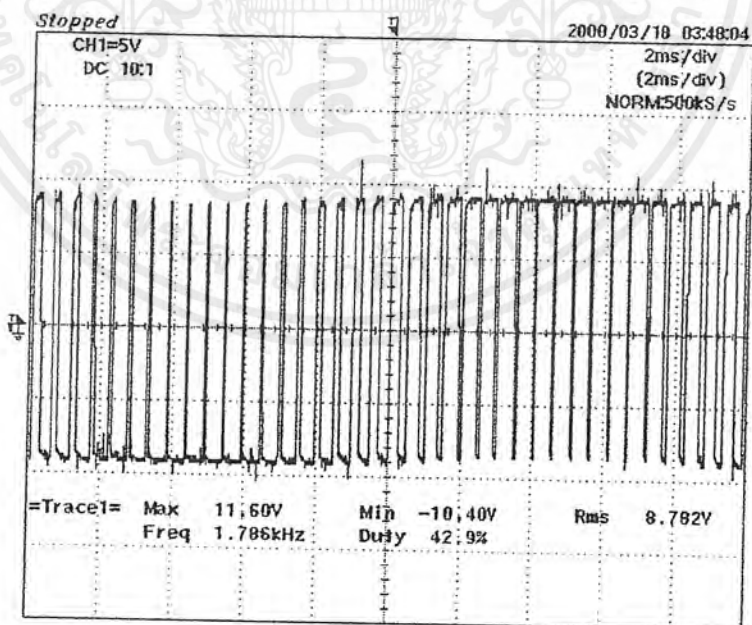
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในการทดลองครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1  $\uparrow$   
Delay : 0.0ms  
Hold Off : MINIMUM

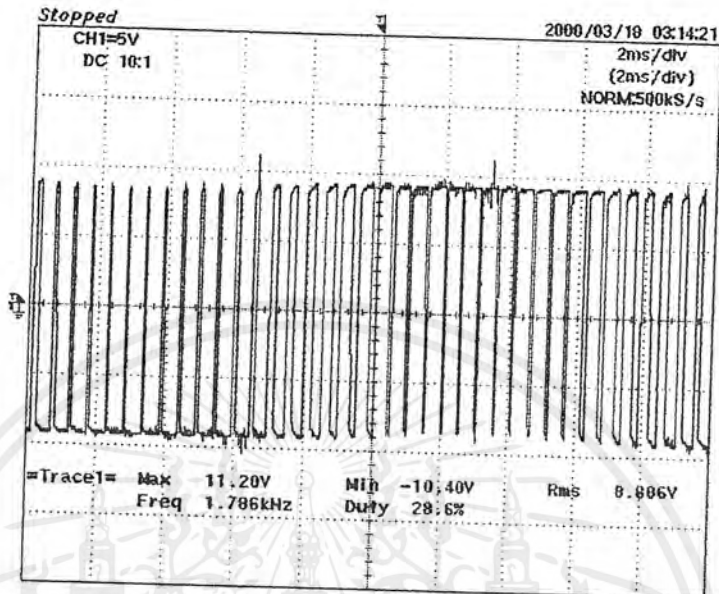
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในการทดลองครั้งที่ 5



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1  $\uparrow$   
Delay : 0.0ms  
Hold Off : MINIMUM

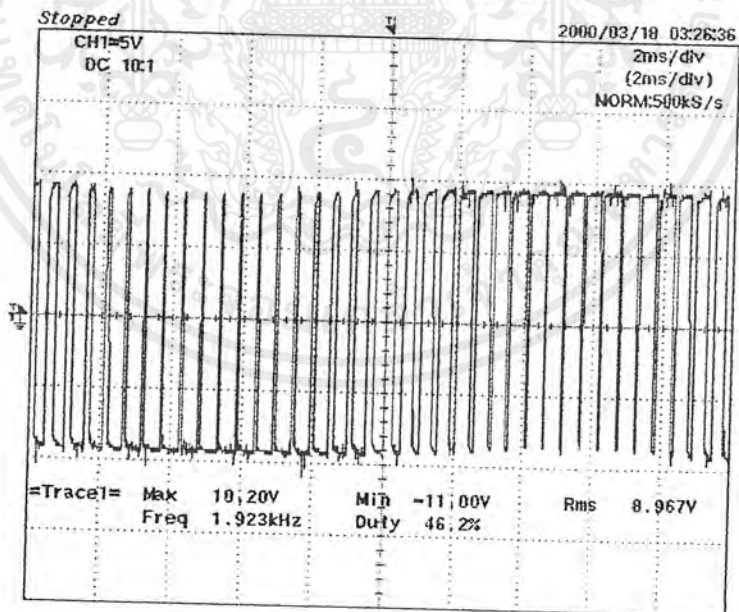
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในการทดลองครั้งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1  $\uparrow$   
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในการทดลองครั้งที่ 7

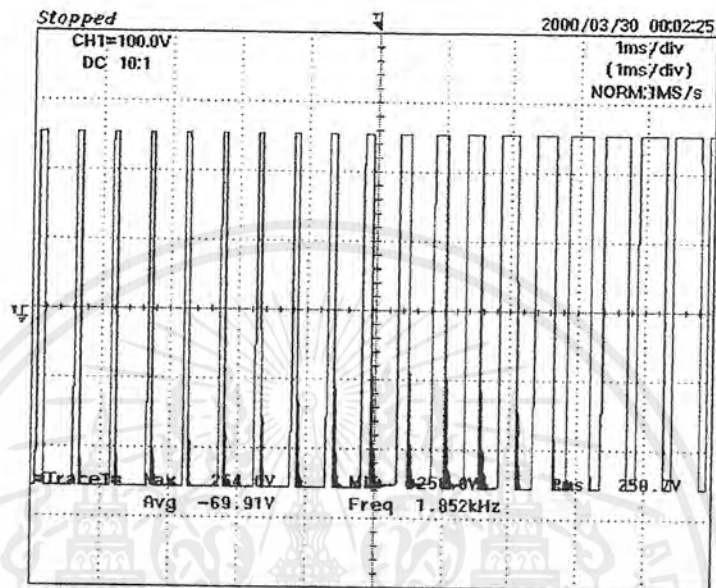


=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1  $\uparrow$   
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตในการทดลองครั้งที่ 8

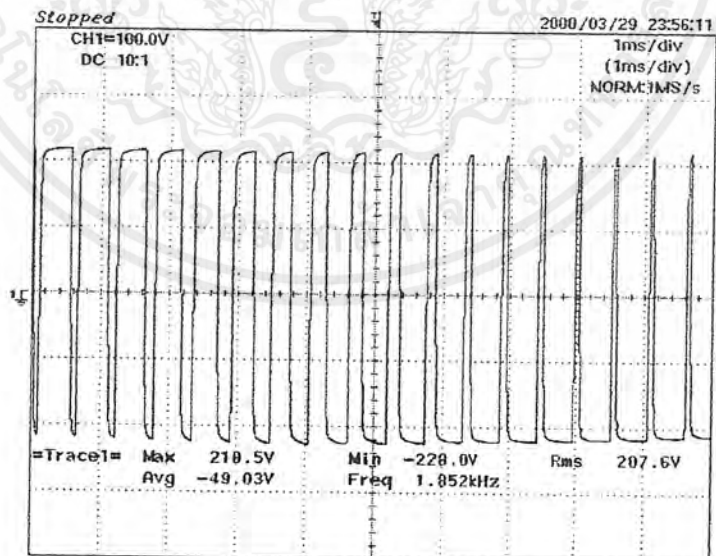
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.4 หากคุณสมบัติเมื่ออินเวอร์เตอร์กับหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกัน



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Max : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

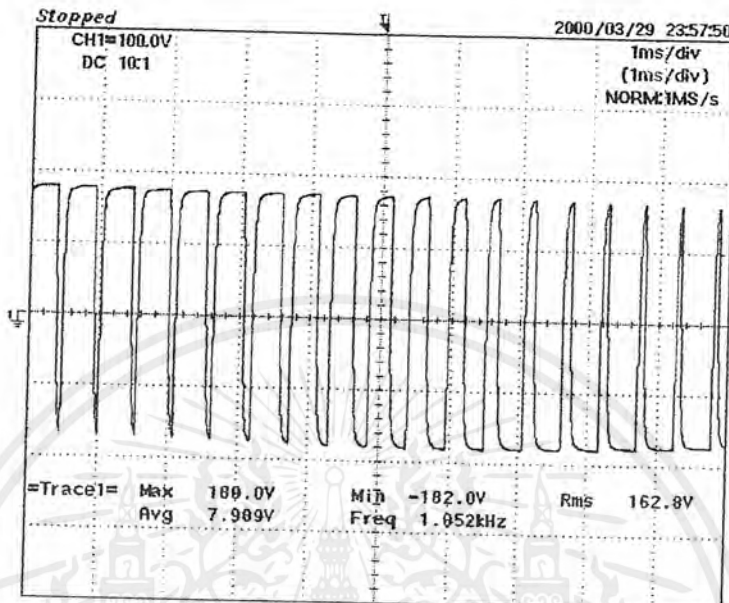
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Max : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

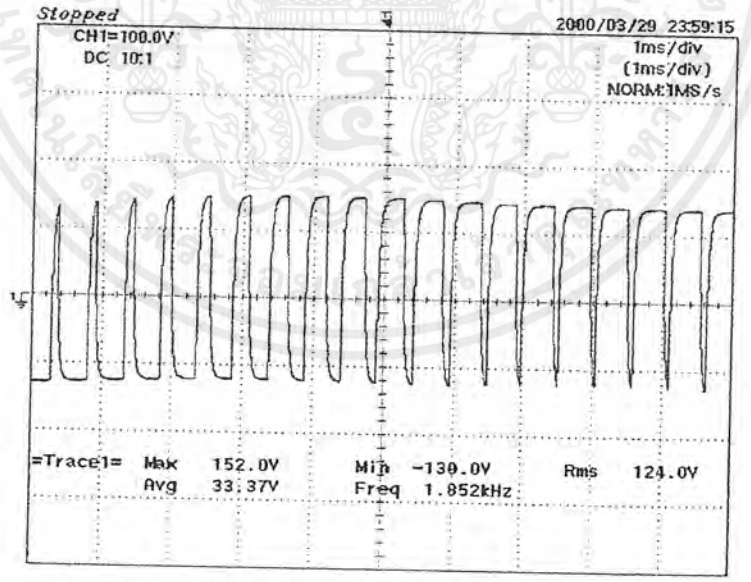
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตโหลดเผาไส้ขนาด 25 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

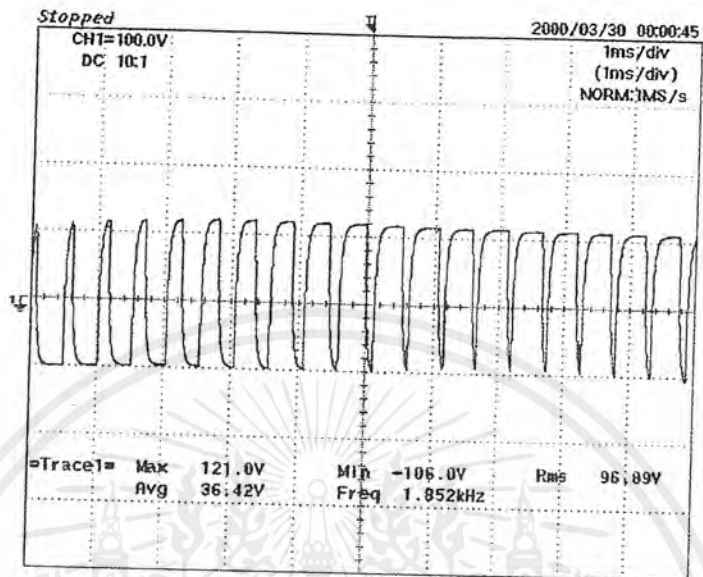
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตหลอดเผาไส้ขนาด 50 วัตต์



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

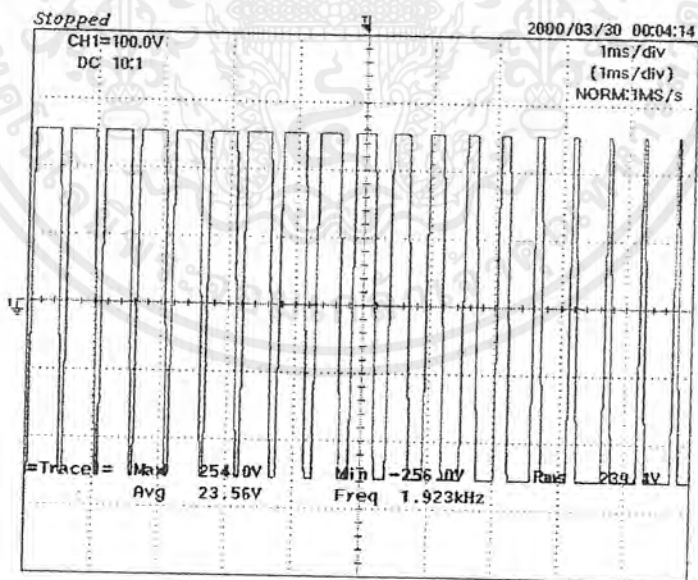
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตหลอดเผาไส้ขนาด 75 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

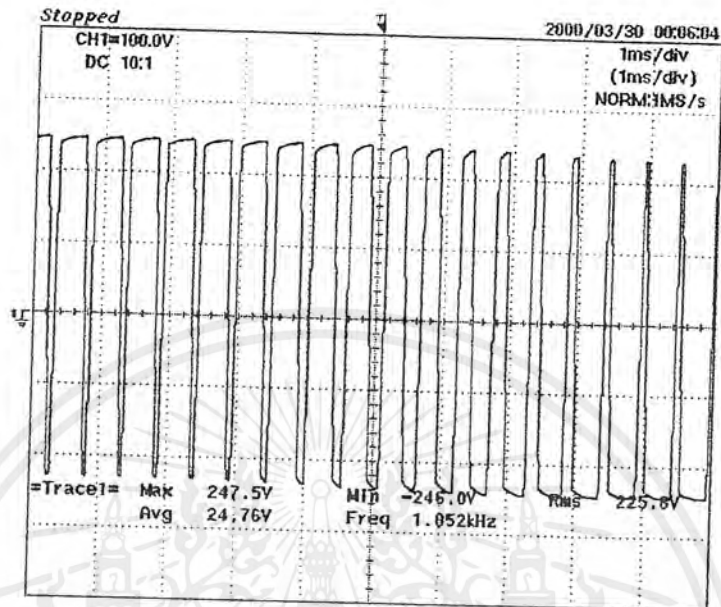
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตหลอดเผาไส้ขนาด 100 วัตต์



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

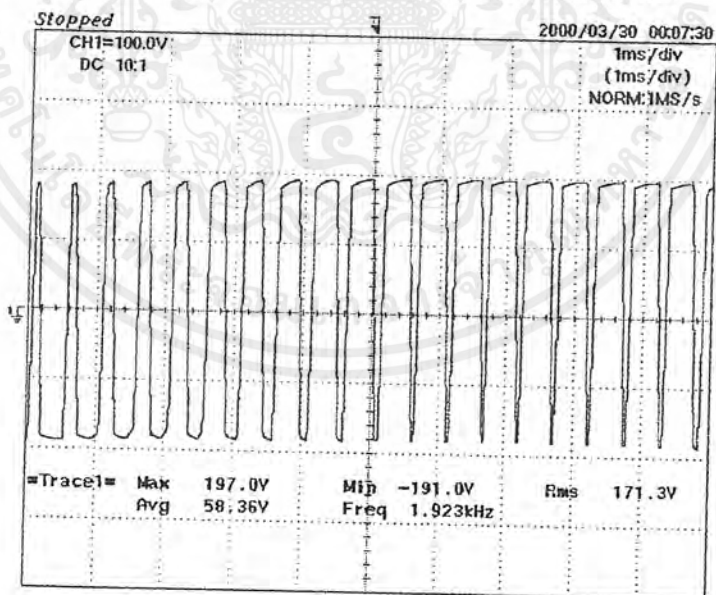
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตหลอดตะเกียบขนาด 11 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

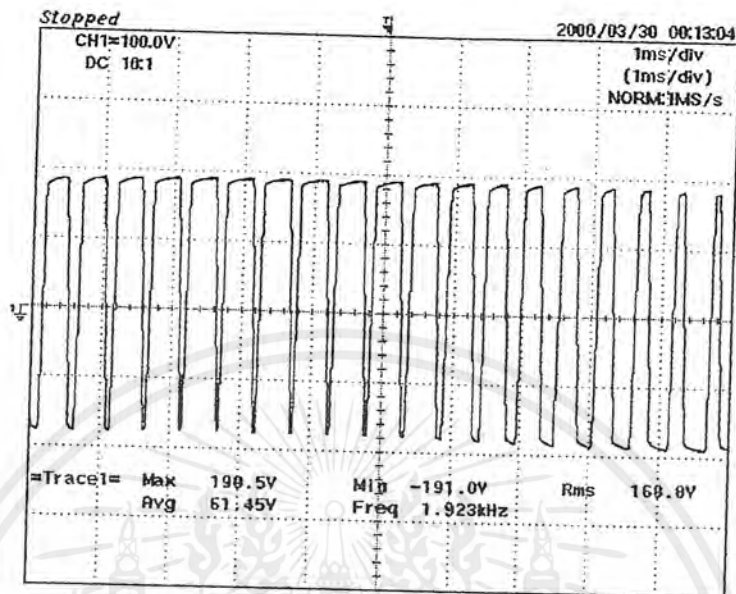
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตตลอดระยะเวลาขนาด 22 วัตต์



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

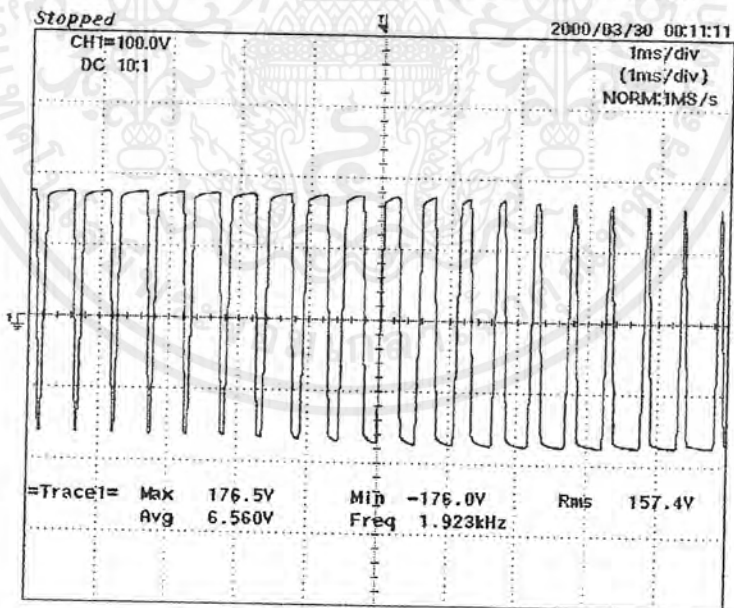
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตตลอดระยะเวลาขนาด 33 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตตลอดระยะเวลาขนาด 42 วัตต์

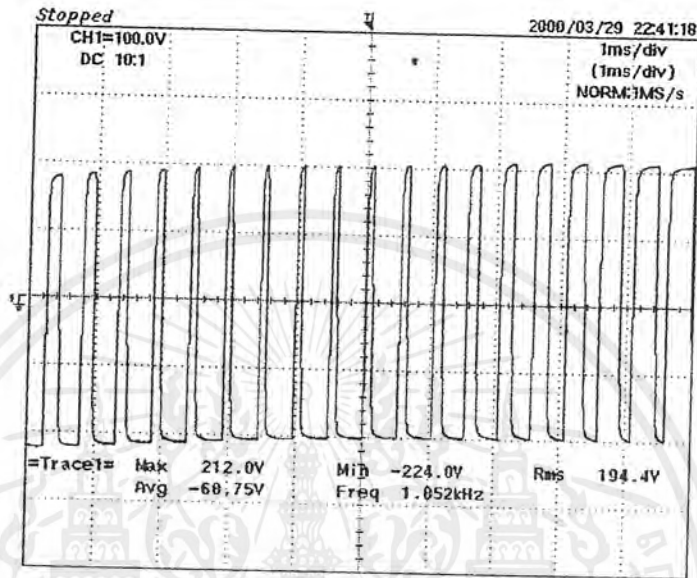


=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตตลอดระยะเวลาขนาด 53 วัตต์

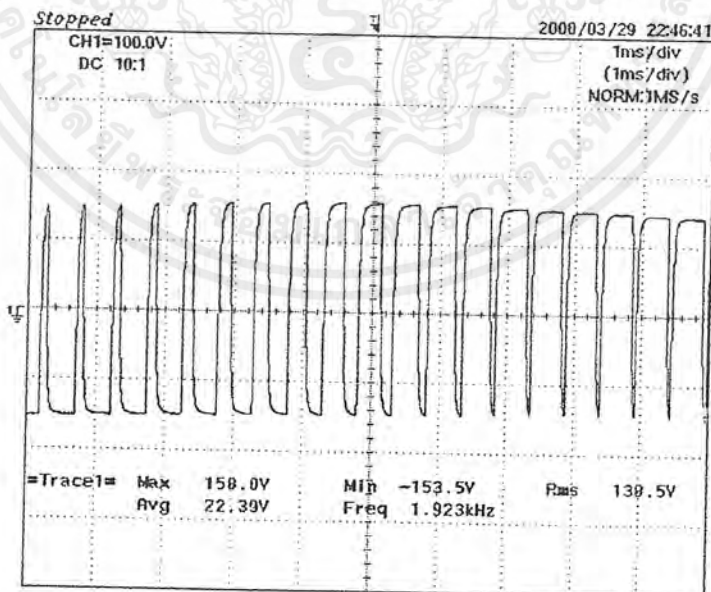
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.5 การทดลองหาคุณสมบัติรวมของระบบ



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold OFF : MINIMUM

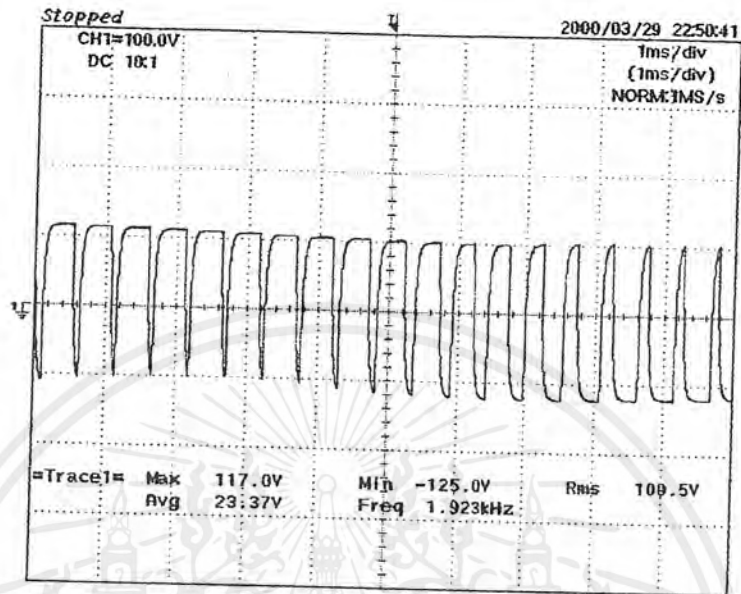
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุทตลอดแฉาไส้ขนาด 25 วัตต์



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold OFF : MINIMUM

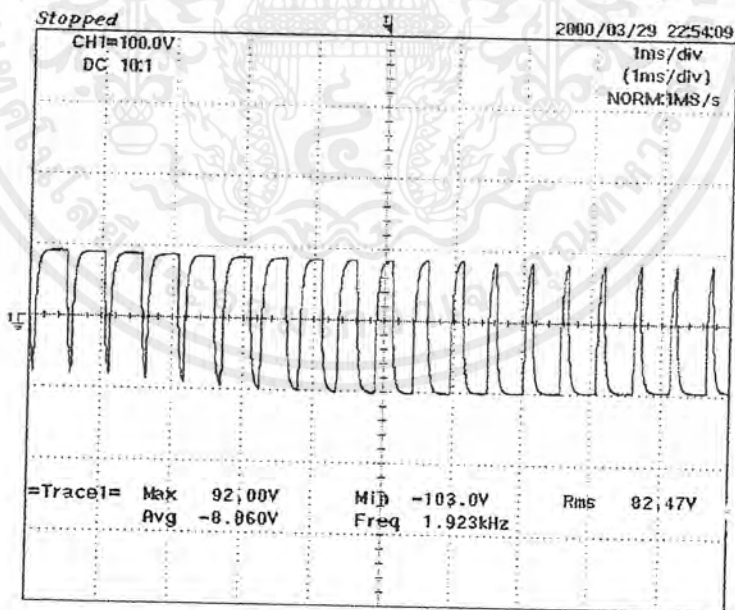
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุทตลอดแฉาไส้ขนาด 50 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON CH1 : 0.0V CH2 : 0.00V  
=Offset= Main : 10K Zoom : 100  
=Record Length= Mode : AUTO  
=Trigger= Type : EDGE LINE Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตโหลดเผาไส้ขนาด 75 วัตต์

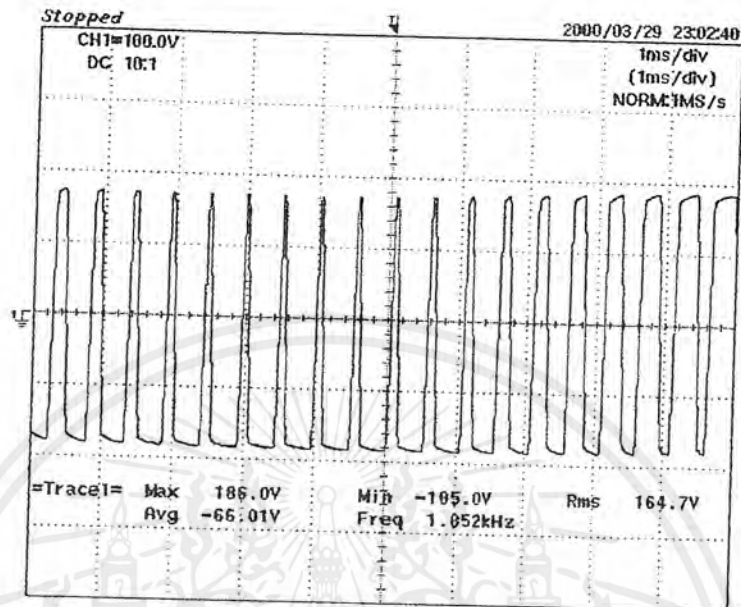


=Filter= Smoothing : ON CH1 : 0.0V CH2 : 0.00V  
=Offset= Main : 10K Zoom : 100  
=Record Length= Mode : AUTO  
=Trigger= Type : EDGE LINE Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตโหลดเผาไส้ขนาด 100 วัตต์

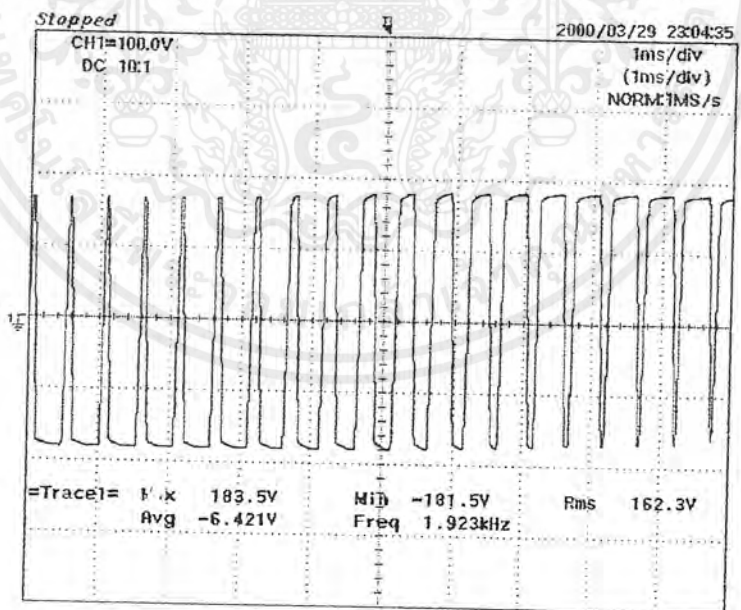
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

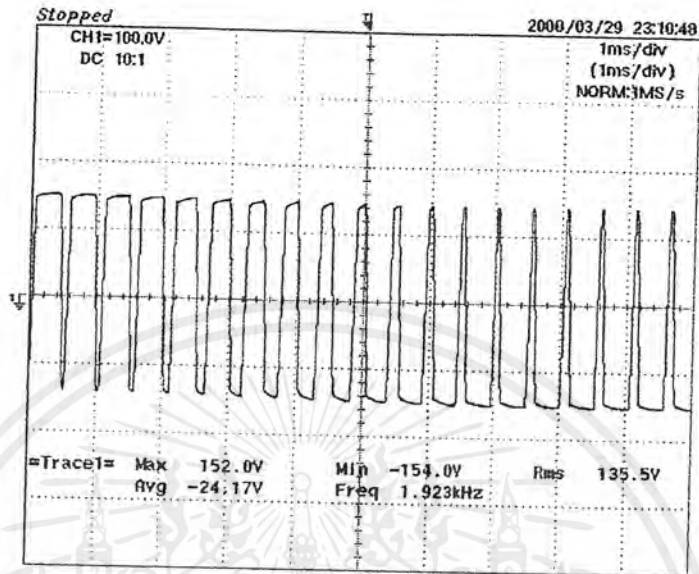
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่โหลดตะกั่วขนาด 33 วัตต์



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่โหลดตะกั่วขนาด 42 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

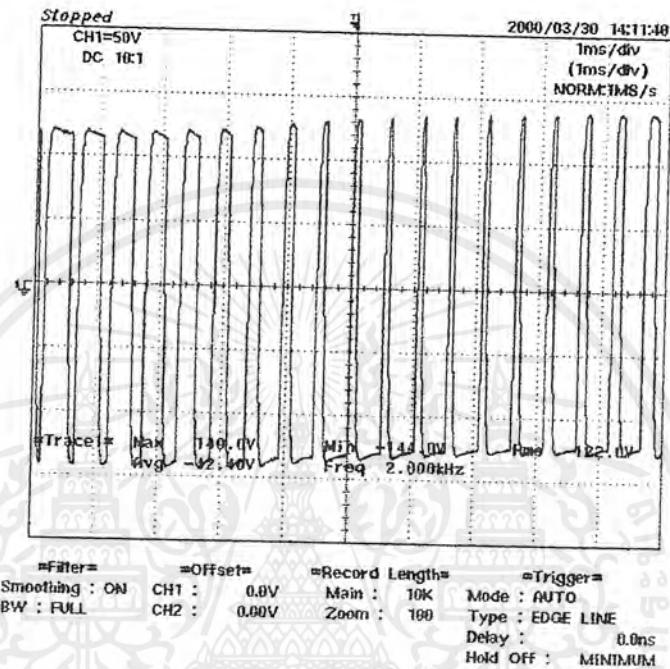


=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold OFF : MINIMUM

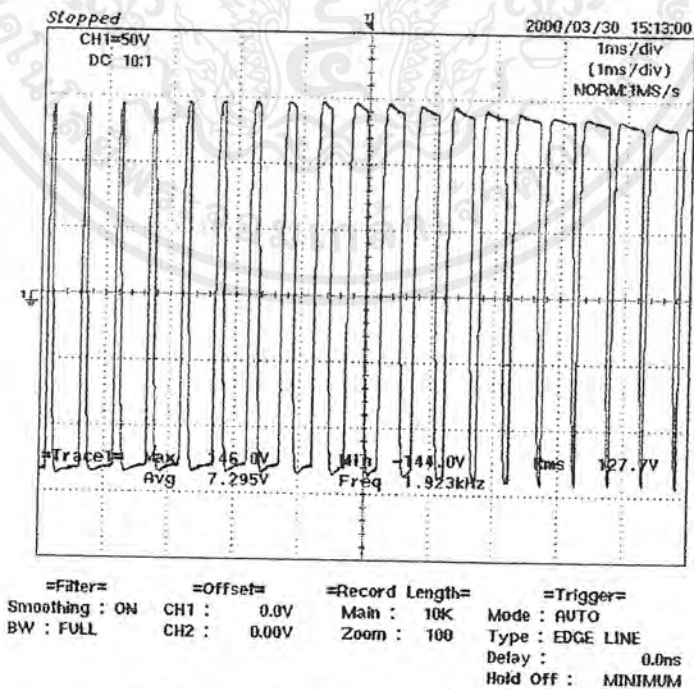
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตหลอดตะเกียบขนาด 53 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.6 การทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อทำการจ่ายโหลด เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



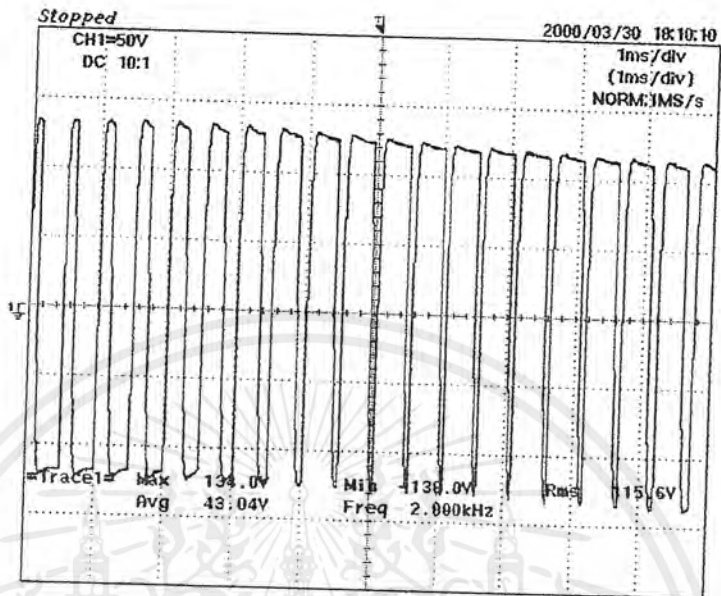
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตเมื่อเริ่มการทดลอง



กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่ชั่วโมงที่ 1

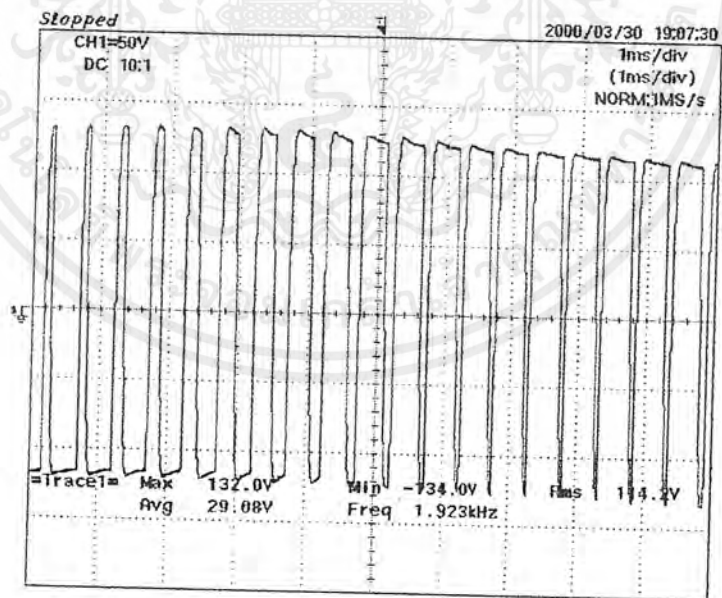
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

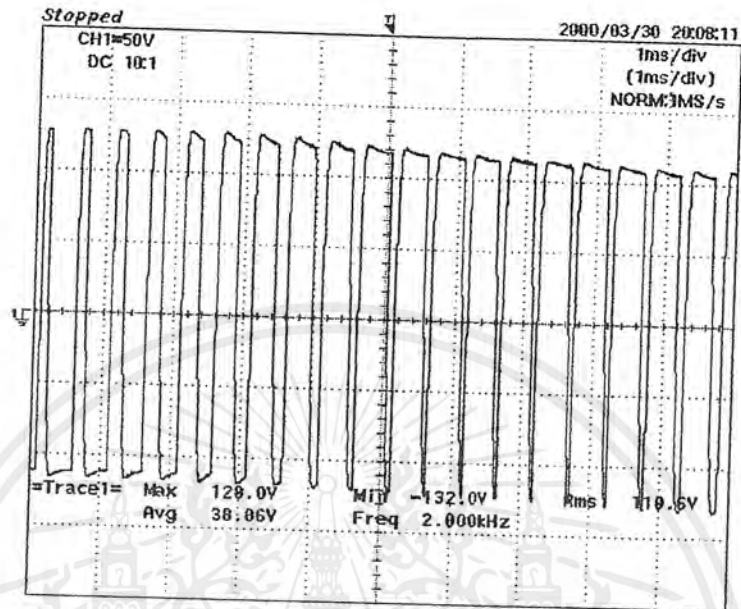
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่ชั่วโมงที่ 4



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

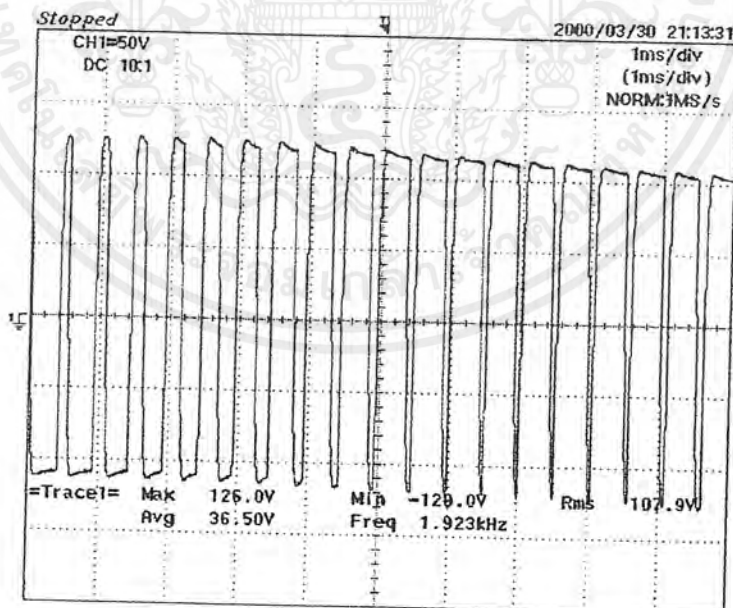
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่ชั่วโมงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

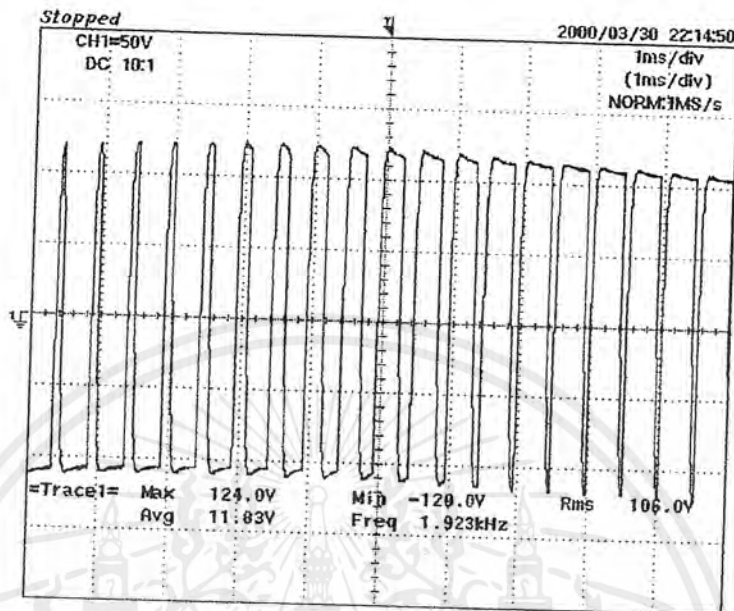
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่ชั่วโมงที่ 6



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

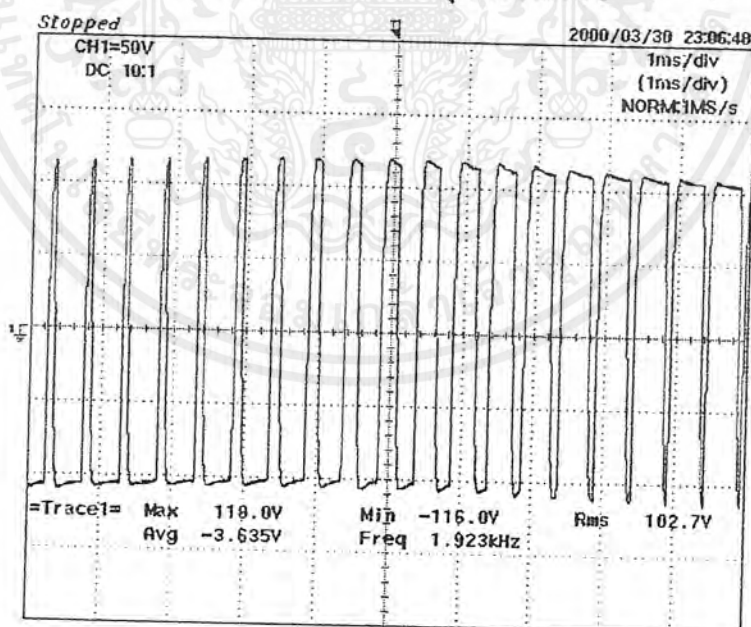
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่ชั่วโมงที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

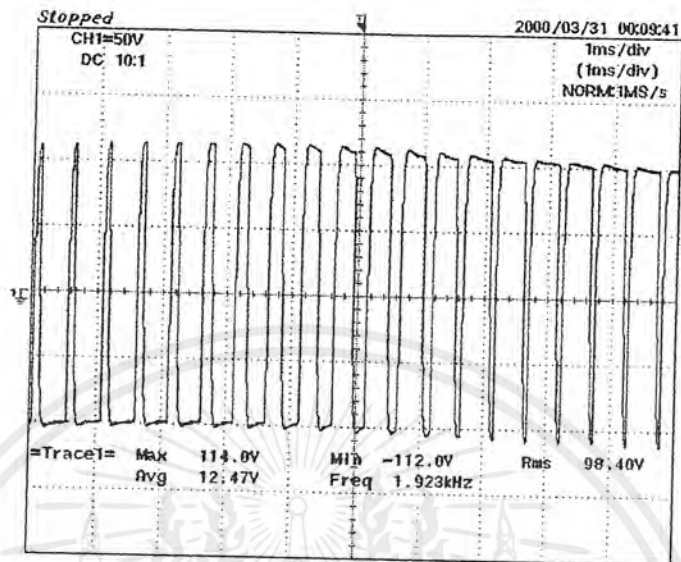
กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่ชั่วโมงที่ 8



=Filter=      =Offset=      =Record Length=      =Trigger=  
Smoothing : ON    CH1 : 0.0V      Main : 10K      Mode : AUTO  
BW : FULL      CH2 : 0.00V      Zoom : 100      Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่ชั่วโมงที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=  
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO  
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE LINE  
Delay : 0.0ns  
Hold Off : MINIMUM

กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตที่ชั่วโมงที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.  
Data Sheet ของไอซีที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Monolithic Function Generator

### GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01 Hz to more than 1 MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20 ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range, with an external control voltage, having a very small effect on distortion.

### FEATURES

Low-Sine Wave Distortion	.5%, Typical
Excellent Temperature Stability	20 ppm/°C, Typical
Wide Sweep Range	2000:1, Typical
Low-Supply Sensitivity	0.01%V, Typical
Linear Amplitude Modulation	
TTL Compatible FSK Controls	
Wide Supply Range	10V to 26V
Adjustable Duty Cycle	1% to 99%

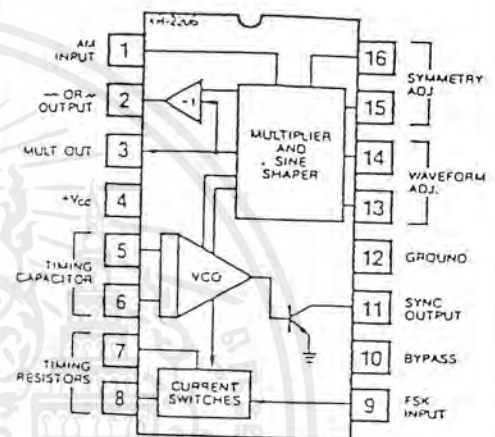
### APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	26V
Power Dissipation	750 mW
Derate Above 25°C	5 mW/°C
Total Timing Current	6 mA
Storage Temperature	-65°C to +150°C

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



### ORDERING INFORMATION

Part Number	Package	Operating Temperature
XR-2206M	Ceramic	-55°C to +125°C
XR-2206N	Ceramic	0°C to +70°C
XR-2206P	Plastic	0°C to +70°C
XR-2206CN	Ceramic	0°C to +70°C
XR-2206CP	Plastic	0°C to +70°C

### SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks: a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO actually produces an output frequency proportional to an input current, which is produced by a resistor from the timing terminals to ground. The current switches route one of the timing pins current to the VCO controlled by an FSK input pin, to produce an output frequency. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK Generation Applications.

## XR-2206

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 1,  $V^+ = 12V$ ,  $T_A = 25^\circ$ ,  $C = 0.01 \mu F$ ,  $R_1 = 100 k\Omega$ ,  $R_2 = 10 k\Omega$ ,  $R_3 = 25 k\Omega$  unless otherwise specified.  $S_1$  open for triangle, closed for sine wave.

PARAMETER	XR-2206M			XR-2206C			UNIT	CONDITIONS
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.		
<b>GENERAL CHARACTERISTICS</b>								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Self-Supply Voltage	$\pm 5$		$\pm 13$	$\pm 5$		$\pm 13$	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_3 > 10 k\Omega$
<b>OSCILLATOR SECTION</b>								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000 \mu F$ , $R_1 = 1 k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50 \mu F$ , $R_1 = 2 M\Omega$
Frequency Accuracy		$\pm 1$	$\pm 4$		$\pm 2$		% of $f_0$	$f_0 = 1/R_1 C$
Temperature Stability		$\pm 10$	$\pm 50$		$\pm 20$		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C < T_A < 75^\circ C$ , $R_1 = R_2 = 20 k\Omega$
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$ , $V_{HIGH} = 20V$ , $R_1 = R_2 = 20 k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H - f_L$	$f_H @ R_1 = 1 k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2 M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1 kHz$ , $f_H = 10 kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100 Hz$ , $f_H = 100 kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	$\mu F$	See Figure 4.
Timing Resistors: $R_1$ & $R_2$	1		2000	1		2000	$k\Omega$	
Triangle Sine Wave Output								See Note 1, Figure 2.
Triangle Amplitude		160			160		mV/ $k\Omega$	Figure 1, $S_1$ Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/ $k\Omega$	Figure 1, $S_1$ Closed
Max. Output Swing		6			6		V <sub>p-p</sub>	
Output Impedance		600			600		$\Omega$	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Amplitude Stability		4900			4800		ppm/ $^\circ C$	See Note 2.
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 20 k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.6	%	See Figures 6 and 7.
Amplitude Modulation								
Inout Impedance	50	100		50	100		$k\Omega$	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		V <sub>p-p</sub>	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		nsec	$C_L = 10 pF$
Fall Time		50			50		nsec	$C_L = 10 pF$
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	$I_L = 2 mA$
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	$\mu A$	$V_{I1} = 26V$
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls.
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Note 1: Output amplitude is directly proportional to the resistance,  $R_3$ , on Pin 3. See Figure 2.

Note 2: For maximum amplitude stability,  $R_3$  should be a positive temperature coefficient resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XR-2206

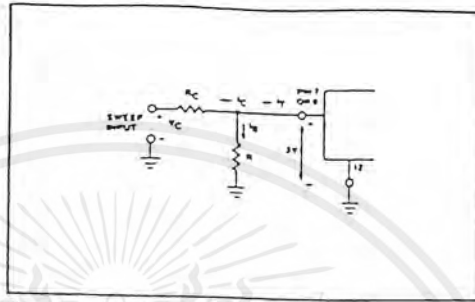


Figure 9: Circuit Connection for Frequency Sweep.

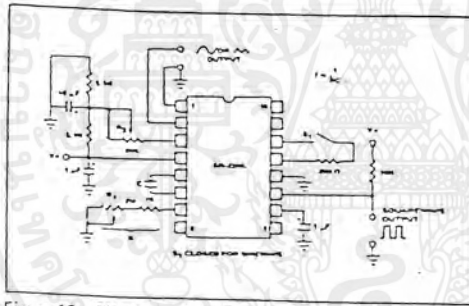


Figure 10: Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 2 for Choice of  $R_3$ .)

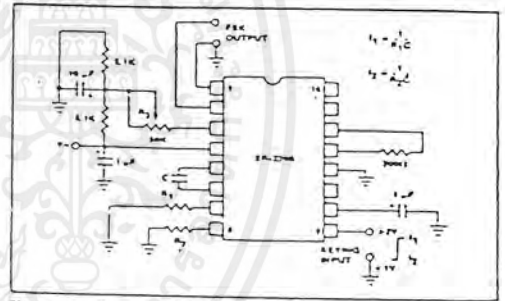


Figure 12: Sinusoidal FSK Generator.

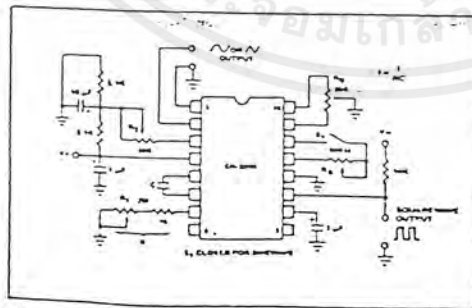


Figure 11: Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. ( $R_3$  Determines Output Swing — See Figure 2.)

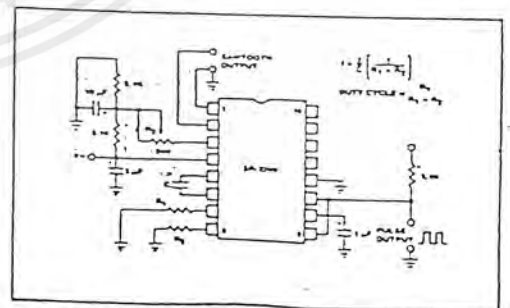


Figure 13: Circuit for Pulse and Ramp Generation.

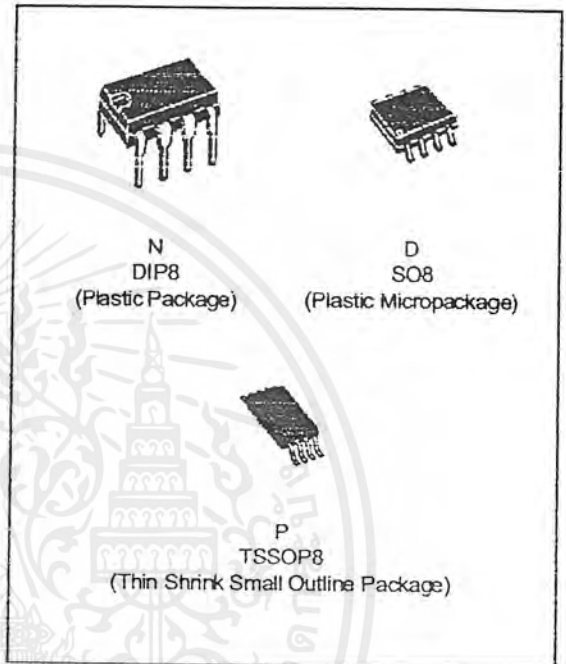
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# LM193 - LM293 LM393

## LOW POWER DUAL VOLTAGE COMPARATORS

- WIDE SINGLE SUPPLY VOLTAGE RANGE OR DUAL SUPPLIES +2V TO +36V OR -1V TO +18V
- VERY LOW SUPPLY CURRENT (0.4mA) INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE (1 mW/comparator at +5V)
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 25nA TYP
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 5nA TYP
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 1mV TYP
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LOW OUTPUT SATURATION VOLTAGE : 250mV TYP. ( $I_o = 4mA$ )
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE SUPPLY VOLTAGE
- TTL, DTL, ECL, MOS, CMOS COMPATIBLE OUTPUTS



### DESCRIPTION

These devices consist of two independent low power voltage comparators designed specifically to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible.

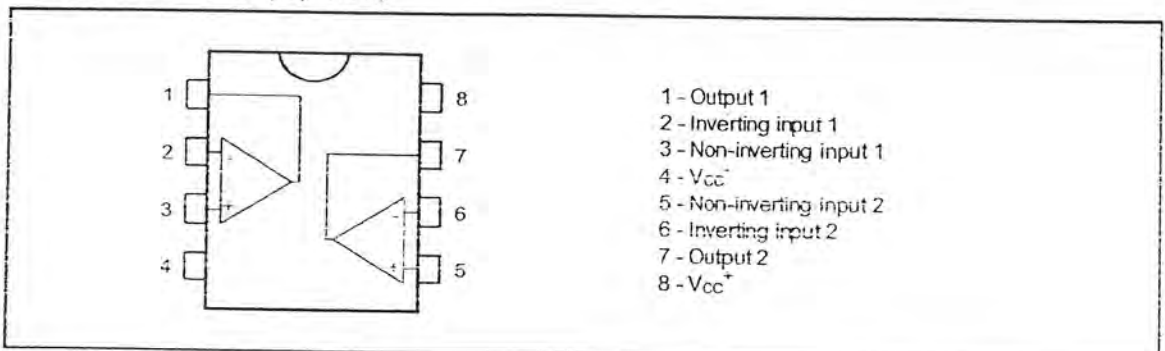
These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground even though operated from a single power supply voltage.

### ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM193	-55, +125°C	.	.	.
LM293	-40, +105°C	.	.	.
LM393	0, +70°C	.	.	.

Example : LM393D

### PIN CONNECTIONS (top view)



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}^+ = +5V$ ,  $V_{CC}^- = 0V$ ,  $T_{amb} = 25^\circ C$  (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	LM193 - LM293 - LM393			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
$V_{io}$	Input Offset Voltage - (note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \cdot T_{amb} \cdot T_{max.}$		1	5 9	mV
$I_{ib}$	Input Bias Current - (note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \cdot T_{amb} \cdot T_{max.}$		25	250 400	nA
$I_{io}$	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \cdot T_{amb} \cdot T_{max.}$		5	50 150	nA
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain $V_{CC} = 15V$ , $R_L = 15k\Omega$ , $V_o = 1$ to $11V$	50	200		V/mV
$I_{CC}$	Supply Current (all comparators) $V_{CC} = 5V$ , no load $V_{CC} = 30V$ , no load		0.4 1	1 2.5	mA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range - (note 4) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \cdot T_{amb} \cdot T_{max.}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	V
$V_{id}$	Differential Input Voltage - (note 6)			$V_{CC}^+$	V
$I_{sink}$	Output Sink Current ( $V_{id} = -1V$ , $V_o = 1.5V$ )	6	16		mA
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage ( $V_{id} = -1V$ , $I_{sink} = 4mA$ ) $T_{amb} = 25^\circ C$ $T_{min.} \cdot T_{amb} \cdot T_{max.}$		250	400 700	mV
$I_{OH}$	High Level Output Current ( $V_{id} = 1V$ , $V_{CC} = V_o = 30V$ ) $T_{amb} = 25^\circ C$ $T_{min.} \cdot T_{amb} \cdot T_{max.}$		0.1	1	nA A
$t_{re}$	Response Time ( $R_L = 5.1k\Omega$ to $V_{CC}^+$ ) - (note 5)		1.3		$\mu s$
$t_{rel}$	Large Signal Response Time ( $V_i = TTL$ , $V_{rel} = +1.4V$ , $R_L = 5.1k\Omega$ to $V_{CC}^+$ )		300		ns

- Notes :
- At output switch point,  $V_o = 1.4V$ ,  $R_o = 0\Omega$  with  $V_{CC}^+$  from 5V to 30V and over the full input common-mode range (0V to  $V_{CC}^+ - 1.5V$ ).
  - The direction of the input current is out of the iC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output, so no loading charge exists on the reference or input lines.
  - The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is  $V_{CC}^+ - 1.5V$ , but either or both inputs can go to +30V without damage.
  - The response time specified is for a 100mV input step with 5mV overdrive. For larger overdrive signals 300ns can be obtained.
  - Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3V (or 0.3V below the negative power supply, if used).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SINGLE-CHANNEL**  
**6N135, 6N136**  
**HCPL-2503**  
**HCPL-4502**

**DUAL-CHANNEL**  
**HCPL-2530**  
**HCPL-2531**

## DESCRIPTION

The HCPL-4502/HCPL-2503, 6N135/6 and HCPL-2530/HCPL-2531 optocouplers consist of an AlGaAs LED optically coupled to a high speed photodetector transistor.

A separate connection for the bias of the photodiode improves the speed by several orders of magnitude over conventional phototransistor optocouplers by reducing the base-collector capacitance of the input transistor.

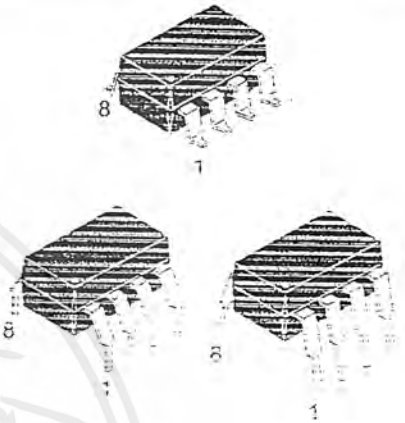
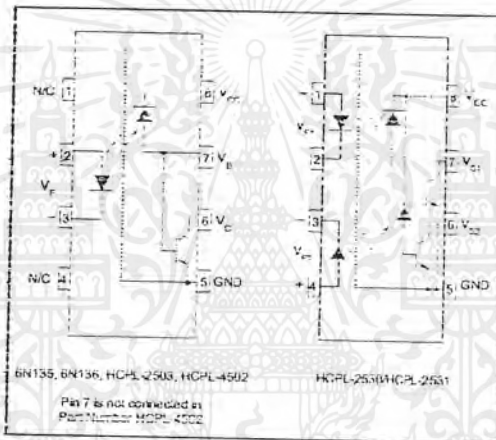
An internal noise shield provides superior common mode rejection of 10kV/ $\mu$ s. An improved package allows superior insulation permitting a 490 V working voltage compared to industry standard of 220 V.

## FEATURES

- High speed-1 MBit/s
- Superior CMR-10 kV/ $\mu$ s
- Dual-Channel  
HCPL-2530/HCPL-2531
- Double working voltage-480V RMS
- CTR guaranteed 0-70°C
- U.L. recognized (File # E90700)

## APPLICATIONS

- Line receivers
- Pulse transformer replacement
- Output interface to CMOS-LSTTL-TTL
- Wide bandwidth analog coupling



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Value	Units
Storage Temperature	$T_{STG}$	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	$T_{OPR}$	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	$T_{SOL}$	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
<b>EMITTER</b>			
DC/Average Forward Input Current	Each Channel (Note 1)	$I_F$ (avg)	25 mA
Peak Forward Input Current (50% duty cycle, 1 ms P.W.)	Each Channel (Note 2)	$I_F$ (pk)	50 mA
Peak Transient Input Current ( $\leq 1 \mu\text{s}$ P.W., 300 pps)	Each Channel	$I_F$ (trans)	1.0 A
Reverse Input Voltage	Each Channel	$V_R$	5 V
Input Power Dissipation	(6N135/6N136 and HCPL-2503/4502) (HCPL-2530/2531) Each Channel (Note 3)	$P_D$	100 mW
<b>DETECTOR</b>			
Average Output Current	Each Channel	$I_O$ (avg)	8 mA
Peak Output Current	Each Channel	$I_O$ (pk)	16 mA
Emitter-Base Reverse Voltage	(6N135, 6N136 and HCPL-2503 only)	$V_{EBR}$	5 V
Supply Voltage		$V_{CC}$	-0.5 to 30 V
Output Voltage		$V_O$	-0.5 to 20 V
Base Current	(6N135, 6N136 and HCPL-2503 only)	$I_B$	5 mA
Output power dissipation	(6N135, 6N136, HCPL-2503, HCPL-4502) (Note 4) (HCPL-2530, HCPL-2531) Each Channel	$P_D$	100 mW 35 mW

200004A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SINGLE-CHANNEL**  
**6N135, 6N136**  
**HCPL-2503**  
**HCPL-4502**

**DUAL-CHANNEL**  
**HCPL-2530**  
**HCPL-2531**

### TRANSFER CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 0 to 70°C Unless otherwise specified)

Parameter	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ**	Max	Unit
COUPLED  Current transfer ratio (Note 5)	(I <sub>F</sub> = 16 mA, V <sub>O</sub> = 0.4 V) (V <sub>CC</sub> = 4.5 V, T <sub>A</sub> = 25°C)	CTR	6N135	7	18	50	%
			HCPL-2530				
			6N136	19	27	50	%
			HCPL-4502				
			HCPL-2531				
	(I <sub>F</sub> = 16 mA, V <sub>O</sub> = 0.5 V) (V <sub>CC</sub> = 4.5 V)		HCPL-2503	12	27		%
			6N135	5	21		%
			HCPL-2530				
			6N136	15	30		%
			HCPL-4502				
Logic low output voltage output voltage	(I <sub>F</sub> = 16 mA, I <sub>O</sub> = 1.1 mA) (V <sub>CC</sub> = 4.5 V, T <sub>A</sub> = 25°C)	V <sub>OL</sub>	6N135		0.18	0.4	V
			HCPL-2530		0.16	0.5	
	(I <sub>F</sub> = 16 mA, I <sub>O</sub> = 3 mA) (V <sub>CC</sub> = 4.5 V, T <sub>A</sub> = 25°C)		6N136		0.25	0.4	
			HCPL-4502				
	(I <sub>F</sub> = 16 mA, I <sub>O</sub> = 0.8 mA) (V <sub>CC</sub> = 4.5 V)		HCPL-2503		0.25	0.5	
			HCPL-2531				
	(I <sub>F</sub> = 16 mA, I <sub>O</sub> = 2.4 mA) (V <sub>CC</sub> = 4.5 V)		6N135			0.5	
			HCPL-2530				
			6N136			0.5	
			HCPL-4502				
			HCPL-2503				
			HCPL-2531				

\*\* All typicals at T<sub>A</sub> = 25°C

SINGLE-CHANNEL  
6N135, 6N136  
HCPL-2503  
HCPL-4502

DUAL-CHANNEL  
HCPL-2530  
HCPL-2531

## ISOLATION CHARACTERISTICS ( $T_A = 0$ to $70^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified)

Characteristics	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
Input-output insulation leakage current	(Relative humidity = 45%) ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $t = 5$ s) ( $V_{I-O} = 3000$ VDC) (Note 9)	$I_{I-O}$			1.0	$\mu\text{A}$
Withstand insulation test voltage	(RH $\leq$ 50%, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) (Note 9) ( $t = 1$ min.)	$V_{ISO}$	2500			$V_{RMS}$
Resistance (input to output)	(Note 9) ( $V_{I-O} = 500$ VDC)	$R_{I-O}$		$10^{12}$		$\Omega$
Capacitance (input to output)	(Note 9) ( $f = 1$ MHz)	$C_{I-O}$		0.6		pF
DC Current gain	( $I_O = 3$ mA, $V_O = 5$ V)	HFE		150		
Input-Input Insulation leakage current	(RH $\leq$ 45%, $V_{I-I} = 500$ VDC) (Note 10) $t = 5$ s. (HCPL-2530/2531 only)	$I_{I-I}$		0.005		$\mu\text{A}$
Input-Input Resistance	( $V_{I-I} = 500$ VDC) (Note 10) (HCPL-2530/2531 only)	$R_{I-I}$		$10^{11}$		$\Omega$
Input-Input Capacitance	( $f = 1$ MHz) (Note 10) (HCPL-2530/2531 only)	$C_{I-I}$		0.03		pF

\*\* All typicals at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

## NOTES

- Derate linearly above  $70^\circ\text{C}$  free air temperature at a rate of  $0.8$  mA/ $^\circ\text{C}$ .
- Derate linearly above  $70^\circ\text{C}$  free air temperature at a rate of  $1.5$  mA/ $^\circ\text{C}$ .
- Derate linearly above  $70^\circ\text{C}$  free-air temperature at a rate of  $0.9$  mW/ $^\circ\text{C}$ .
- Derate linearly above  $70^\circ\text{C}$  free-air temperature at a rate of  $2.0$  mW/ $^\circ\text{C}$ .
- Current Transfer Ratio is defined as a ratio of output collector current,  $I_C$ , to the forward LED input current,  $I_F$ , times 100%.
- The  $4.1$  k $\Omega$  load represents 1 LSTTL unit load of  $0.36$  mA and  $5.1$  k $\Omega$  pull-up resistor.
- The  $1.9$  k $\Omega$  load represents 1 TTL unit load of  $1.6$  mA and  $5.6$  k $\Omega$  pull-up resistor.
- Common mode transient immunity in logic high level is the maximum tolerable (positive)  $dV_{CM}/dt$  on the leading edge of the common mode pulse signal,  $V_{CM}$ , to assure that the output will remain in a logic high state (i.e.,  $V_O > 2.0$  V). Common mode transient immunity in logic low level is the maximum tolerable (negative)  $dV_{CM}/dt$  on the trailing edge of the common mode pulse signal,  $V_{CM}$ , to assure that the output will remain in a logic low state (i.e.,  $V_O < 0.6$  V).
- Device is considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 are shorted together and Pins 5, 6, 7 and 8 are shorted together.
- Measured between pins 1 and 2 shorted together, and pins 3 and 4 shorted together.

200004A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

### General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

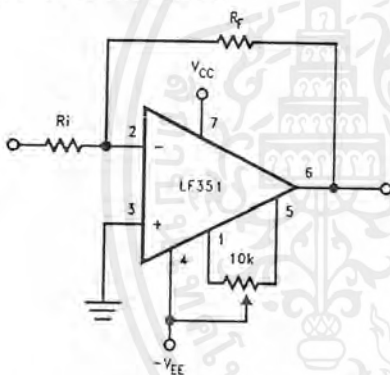
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

current is important, however, the LF351 is the better choice.

### Features

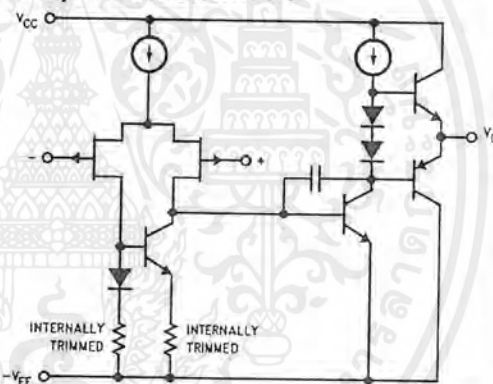
■ Internally trimmed offset voltage	10 mV
■ Low input bias current	50 pA
■ Low input noise voltage	25 nV/√Hz
■ Low input noise current	0.01 pA/√Hz
■ Wide gain bandwidth	4 MHz
■ High slew rate	13 V/μs
■ Low supply current	1.8 mA
■ High input impedance	10 <sup>12</sup> Ω
■ Low total harmonic distortion $A_V=10$ , $R_L=10k$ , $V_O=20$ Vp-p, BW=20 Hz–20 kHz	<0.02%
■ Low 1/f noise corner	50 Hz
■ Fast settling time to 0.01%	2 μs

### Typical Connection



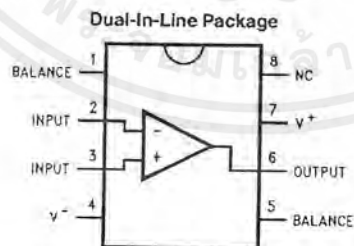
TL/H/5648-11

### Simplified Schematic



TL/H/5648-12

### Connection Diagrams



TL/H/5648-13

Order Number LF351M or LF351N  
See NS Package Number M08A or N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T <sub>j</sub> (MAX)	115°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	
Metal Can	300°C
DIP	260°C

θ<sub>JA</sub>

N Package  
M Package

120°C/W  
TBD

### Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

## DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 kΩ, T <sub>A</sub> = 25°C Over Temperature		5	10 13	mV mV
ΔV <sub>OS</sub> /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 kΩ		10		μV/°C
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	T <sub>j</sub> = 25°C, (Notes 3, 4) T <sub>j</sub> ≤ 70°C		25	100 4	pA nA
I <sub>B</sub>	Input Bias Current	T <sub>j</sub> = 25°C, (Notes 3, 4) T <sub>j</sub> ≤ ±70°C		50	200 8	pA nA
R <sub>IN</sub>	Input Resistance	T <sub>j</sub> = 25°C		10 <sup>12</sup>		Ω
A <sub>VOL</sub>	Large Signal Voltage Gain	V <sub>S</sub> = ±15V, T <sub>A</sub> = 25°C V <sub>O</sub> = ±10V, R <sub>L</sub> = 2 kΩ Over Temperature	25	100		V/mV V/mV
V <sub>O</sub>	Output Voltage Swing	V <sub>S</sub> = ±15V, R <sub>L</sub> = 10 kΩ	±12	±13.5		V
V <sub>CM</sub>	Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>S</sub> = ±15V	±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R <sub>S</sub> ≤ 10 kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I <sub>S</sub>	Supply Current			1.8	3.4	mA

## AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		13		$V/\mu s$
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		4		MHz
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C, R_S = 100\Omega, f = 1000\text{ Hz}$		25		$nV/\sqrt{Hz}$
$i_n$	Equivalent Input Noise Current	$T_J = 25^\circ C, f = 1000\text{ Hz}$		0.01		$pA/\sqrt{Hz}$

**Note 1:** For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance,  $\theta_{JA}$ .

**Note 2:** Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

**Note 3:** These specifications apply for  $V_S = \pm 15V$  and  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ .  $V_{OS}$ ,  $I_B$  and  $I_{OS}$  are measured at  $V_{CM} = 0$ .

**Note 4:** The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^\circ C$  increase in the junction temperature,  $T_J$ . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_D$ .  $T_J = T_A + \theta_{JA} P_D$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

**Note 5:** Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From  $\pm 15V$  to  $\pm 5V$ .

**Note 6:** Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.



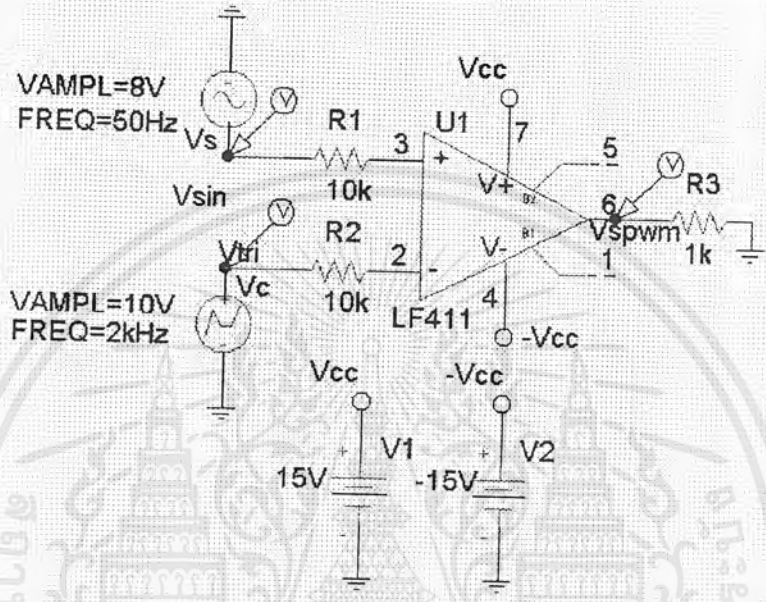
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

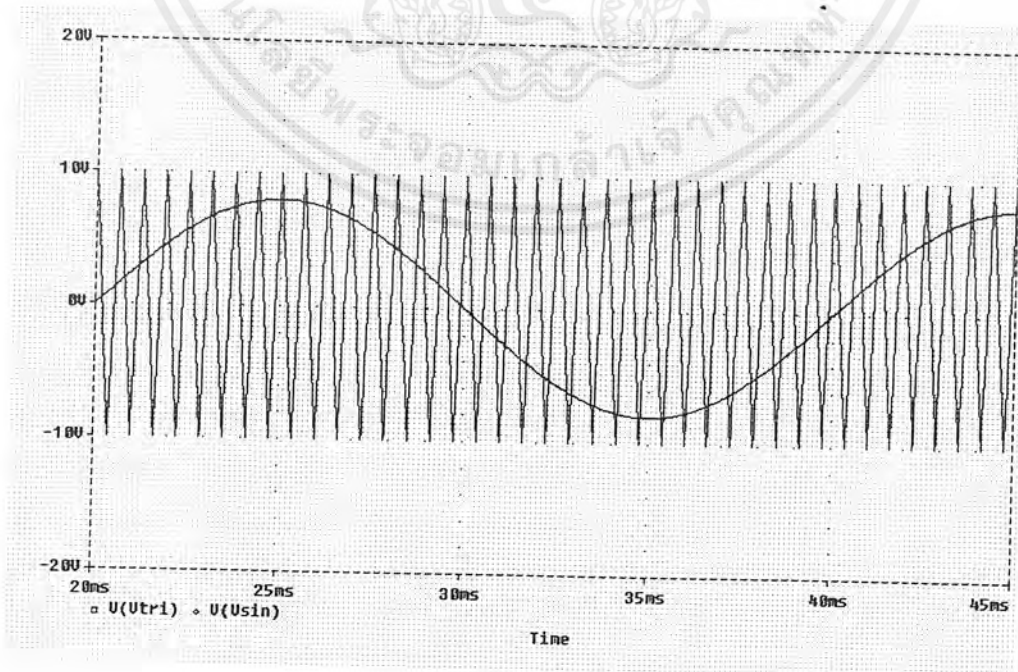
วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม ใช้วงจรดังจะแสดงดังรูปที่ ค.-1 ช่วยในการSimulation



รูปที่ ค.-1

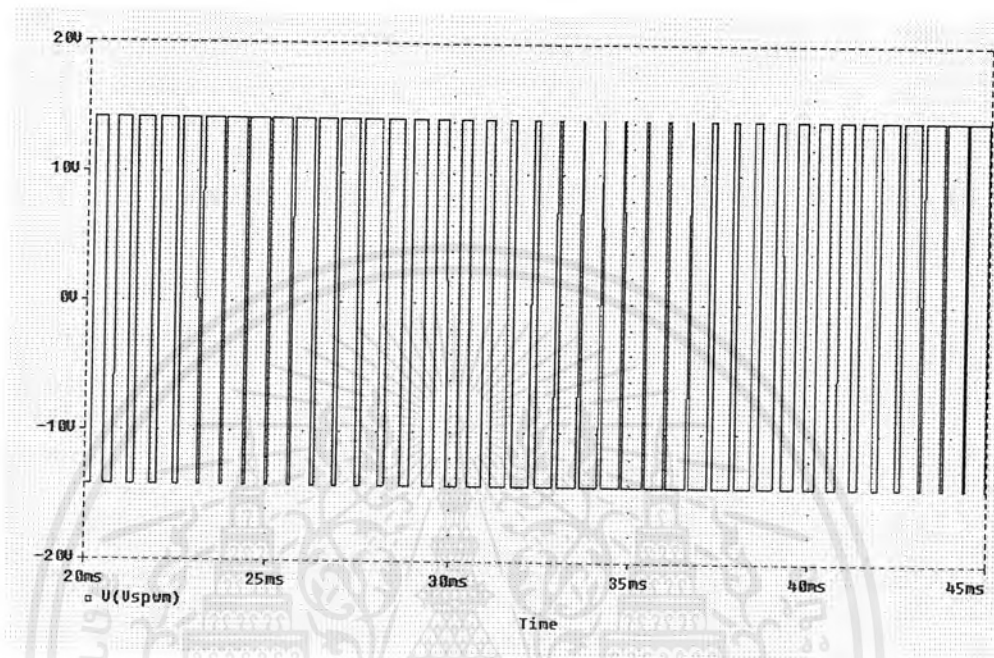
ซึ่งสัญญาณ ไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยมก่อนผ่านวงจรเปรียบเทียบมีลักษณะดังรูปที่ ค.-2



รูปที่ ค.-2

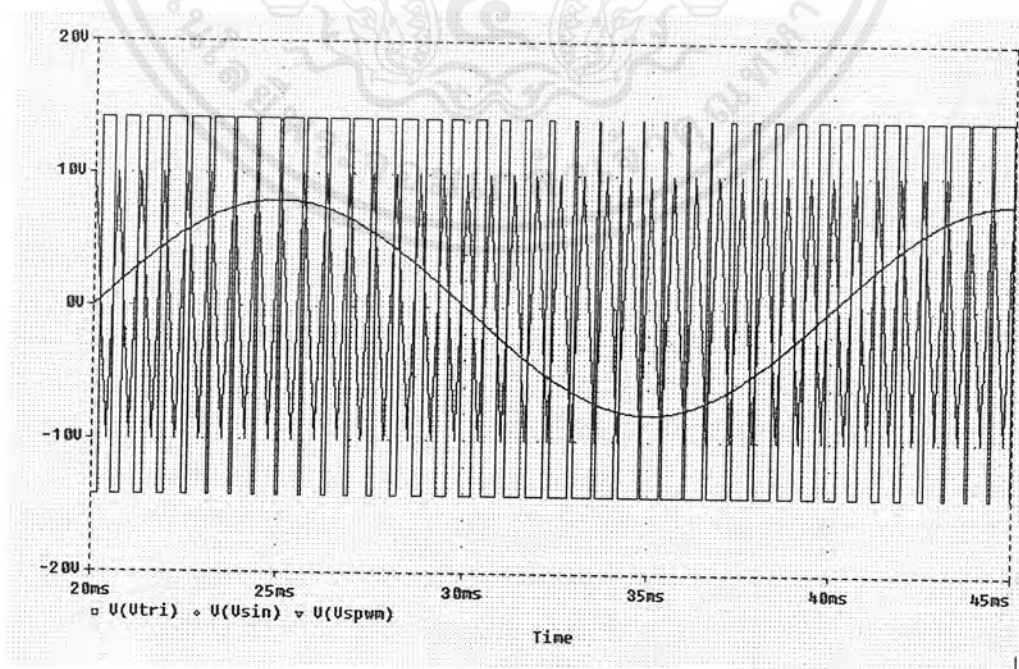
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบ โดยสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมแสดงได้ดังรูป  
ที่ ค.-3



รูปที่ ค.-3

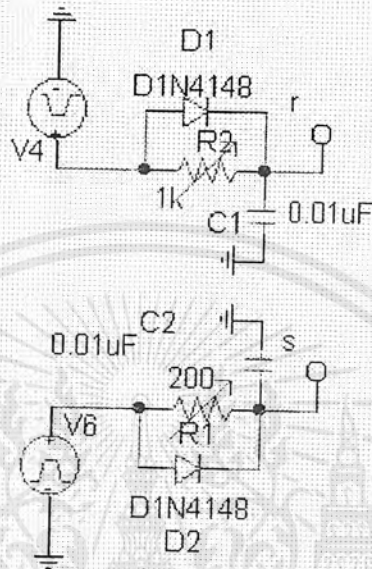
จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณ ไซน์,สัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบให้เห็นดังรูปที่ ค.-4



รูปที่ ค.-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเดมโอมจะใช้วงจรดังแสดงดังรูปที่ ค.-5 ช่วยในการSimulationซึ่งวงจรมีลักษณะดังนี้



รูปที่ ค.-5

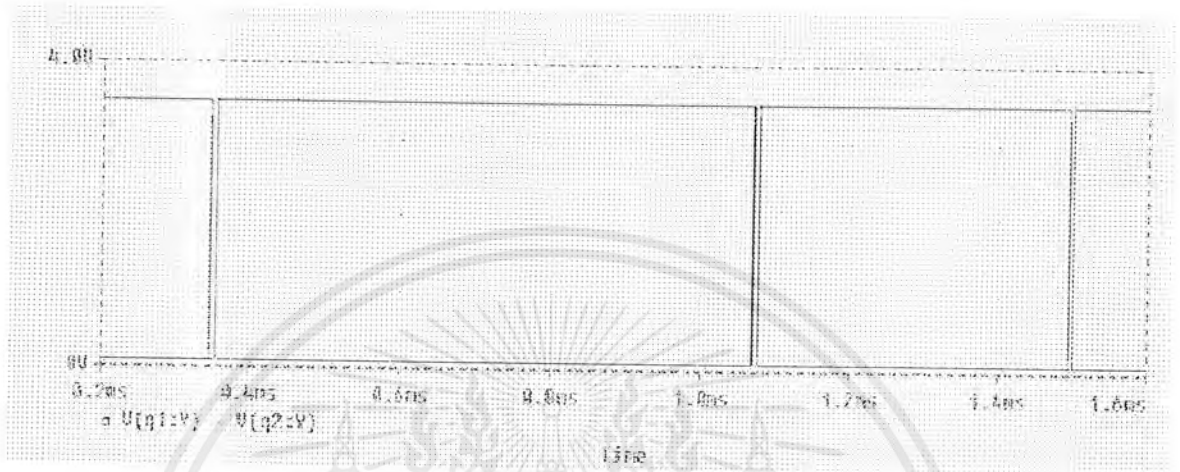
และสัญญาณที่ได้จากวงจรเดมโอมได้แสดงดังรูปที่ ค.-6



รูปที่ ค.-6

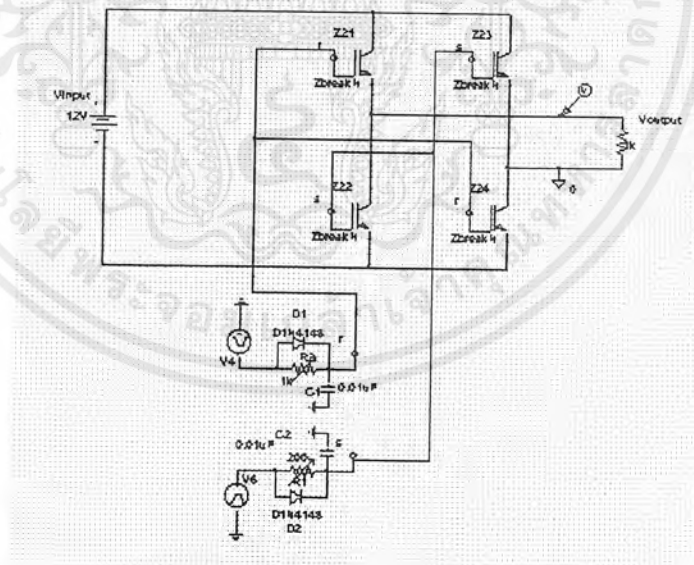
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำการขยายสัญญาณให้เห็นช่วงแคบใหม่ที่กว้างขึ้นจากรูปที่ ค.-6 โดยแสดงในรูปที่ ค.-7



รูปที่ ค.-7

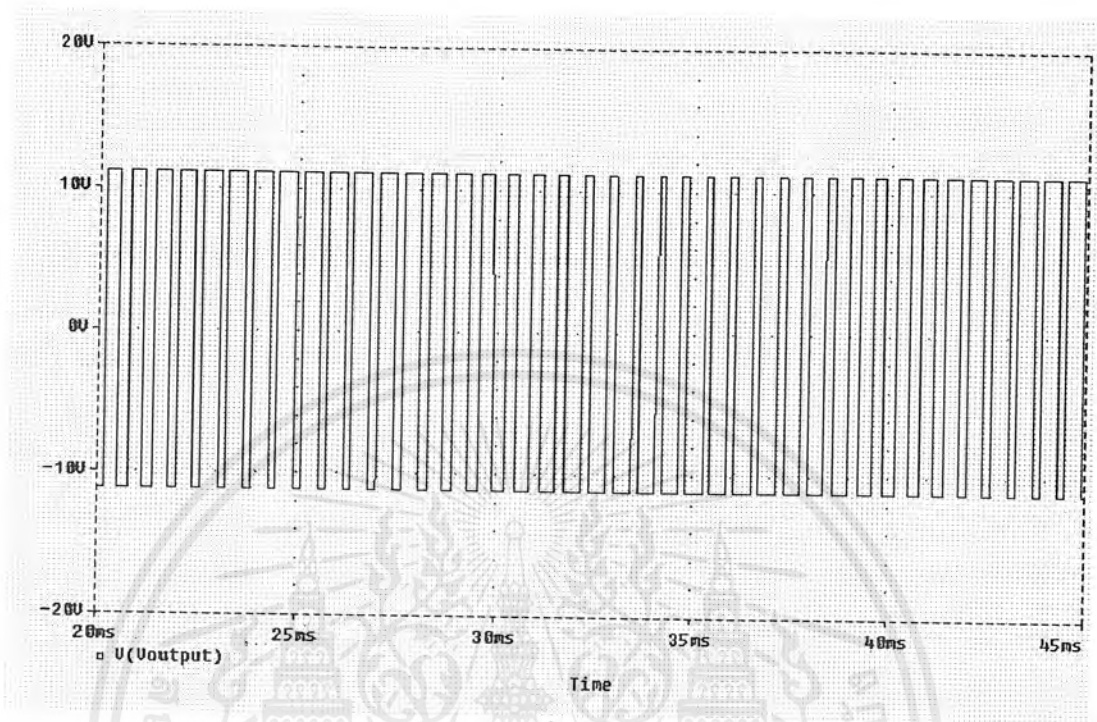
และเมื่อนำสัญญาณที่ได้จากวงจรแคบใหม่ไปผ่านวงจรขับเกตแล้วนำไปขับเกตไอจีบีทีซึ่งจะแสดงวงจรกำลังพร้อมกับวงจรควบคุมดังรูปที่ ค.-8 ซึ่งจะแสดงคั้งวงจรข้างล่างนี้



รูปที่ ค.-8

และสัญญาณที่ได้จากวงจรกำลังจะแสดงได้ดังรูปที่ ค.-9 ซึ่งจะเป็นสัญญาณแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสัญญาณจะมีความถี่ 2 kHz ตามสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งเป็นความถี่ในการสวิตชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.-9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

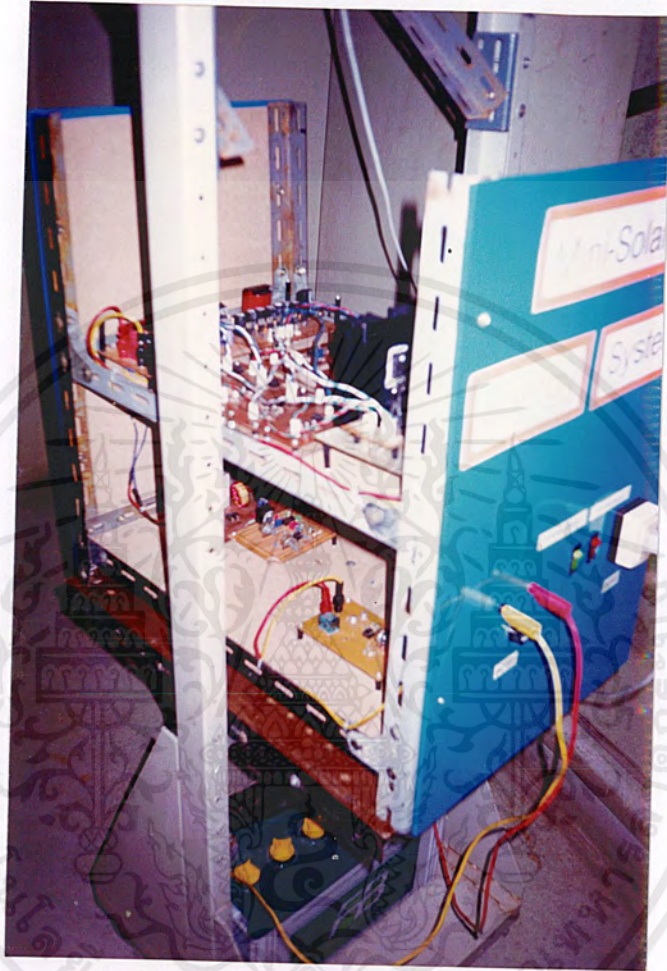
รูปภาพแสดงชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง โครงสร้างจริงของระบบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปวงจรเมื่อประกอบลงกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือดูแลเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ศิริวัฒน์ โทธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยให้คำปรึกษาในด้านระบบการทำงาน ด้านอุปกรณ์ และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์..

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง ที่ให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด

ขอบคุณ พี่แสบ พี่แก้ว พี่จ้อ พี่ตัง พี่เอ พี่โต้ง และพี่ ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในทุก ๆ ด้าน

ขอบใจเพื่อนพັນ, ยุทธ, ขวัญ, ฮ่อง, ปี่, ลี 4B ที่ช่วยให้คำแนะนำ กำลังใจ ความช่วยเหลือมาโดยตลอดและเพื่อน ๆ ทุกภาคที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เอกสารอ้างอิง

1. “คู่มือการใช้และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์”,บริษัท บีพี ไทยโซลาร์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
2. ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ,รวมบทความ“ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน ,หน้า 86-92,2538
3. ธนาวุฒิ ไกรฤทธิ์กุล,“รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์เล่ม 3”,กองบรรณาธิการวารสารเคมีคอนคักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฝ่ายหนังสือ บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,หน้า 68-72,2521
4. มงคล ทองสงคราม,“อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”,พรศิวการพิมพ์,หน้า 161-162,171-176,2536
5. ปริญญาณิพนธ์ “ระบบจ่ายพลังงานขนาดเล็ก”,2541
6. สว่าง ปรภายรุ่งทอง,“เบตเตอร์และเครื่องชาร์จ”,บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน ,หน้า 18-20, 2538
7. สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์ และ อุเทน คำนำน,“อิเล็กทรอนิกส์กำลัง1”, บริษัท สำนักพิมพ์โกดบอสิวิชั่น จำกัด ,หน้า 2-59 หน้า 2-60 .2540
8. Ned Mohun,tore wiley & William P. Robbins, Power Electronics , Second Edition , John Wiley & Sons, INC, New York,1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้