

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก
(Mini-Solar Energy System)



โดย

นาย อนุวรรณ สันติวัฒนธรรม
นาย อลงกรณ์ อนุรัฐพันธ์
นาย อัครพล จันทรัฐเชิด
นาย เอกพจน์ ศันสราวิพุธ

เลขที่.....
เลขที่ชั้น 34186
วัน, เดือน, ปี- 6 ต.ค. 2542

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ..... เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก (Mini-Solar Energy System)

ผู้จัดทำ

1. นาย อนุวรรณ์ สันติวัฒนธรรม รหัส 38014619
2. นาย อลงกรณ์ อนุรัฐพันธ์ รหัส 38014637
3. นาย อัครพล จันทรัฐเชิด รหัส 38014639
4. นาย เอกพจน์ ตันศราวิพุธ รหัส 38014665



(รศ. ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

นาย อนุวรรณ ตันดิวัฒน์ธรรม

นาย อลงกรณ์ อนุรัฐพันธ์

นาย อัครพล จันทราชูเชิด

นาย เอกพจน์ ตันสรวิพุธ

รศ. สิริวัฒน์ โภธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามลำพัง (Stand Alone System) ซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 W 2 แผง เปลี่ยนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านชุดอัดประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ไปเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่แล้วนำไปผ่านชุดอินเวอร์เตอร์ซึ่งควบคุมแบบควบคุมตามความกว้างพัลส์โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบเต็มลูกคลื่นเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อนำไปจ่ายโหลดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก 1 เฟส 50 Hz 220 Volt มีพิกัด 50 W ใช้งานได้นาน 10 ชั่วโมงต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MINI – SOLAR ENERGY SYSTEM

Anuwat Santiwattanatham

Alongkorn Anurathapan

Akarapon Chanchucherd

Ekapoj Tunsarawiput

Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul Advisor

2541

ABSTRACT

This project is principle of the photovoltaic stand alone system which use Solar Cells 55 w ; 2 Panel to produce the electrical energy ,the DC energy from Solar Cells will charge to battery with charging circuit and convert to AC by pass inverter circuit that use pulse width modulation and full-bridge converter technique to change DC to AC energy , for supply to AC mini-load 1 phase 50 Hz 220 Volt load is 50 Watt 10 hours contineous.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญรูปภาพ	III
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.2 หลักการเบื้องต้นของระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์	3
2.2 แบตเตอรี่	12
2.3 ชาร์จเรกกูเรเตอร์	18
2.4 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์	18
2.5 หลักการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส	19
2.6 มอสเฟต	25
2.7 IGBT	27
2.8 ทฤษฎีการผันหม้อแปลงไฟฟ้า	28
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	32
3.1 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่	32
3.2 การคำนวณขนาดแบตเตอรี่	32
3.3 วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์	34
3.4 วงจรกำลัง	38
3.5 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า	38
3.6 การจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง	40
3.7 การออกแบบชิ้นวางโครงการ	41

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	42
4.1 การทดสอบหาเส้นแสดงคุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์	42
4.2 การทดลองชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่โดยใช้ชุดชาร์จแบตเตอรี่	47
4.3 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	49
4.4 การทดสอบหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบจ่ายไฟ	53
4.5 การทดสอบหาคุณสมบัติรวมของระบบจ่ายไฟ	55
4.6 การทดสอบจ่ายโหลด	58
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	67

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังการทำงานของระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	2
2.1	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบห้วต่อพีเอ็น	5
2.2	เส้นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.3	สเปกตรัมของแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ	8
2.4	ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนของ Si และ GaAs ที่ค่าโฟตอนขนาดต่าง ๆ	9
2.5	วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.6	อิทธิพลของความต้านทานชั้นที่มีต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์	11
2.7	อิทธิพลของความต้านทานอนุกรมที่มีต่อลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดันของเซลล์	11
2.8	ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด แผ่นอาโนดและคาโทดจะวางสลับกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว	12
2.9	ไอออนบวกของตะกั่วจากอาโนดเข้าไปในอิเล็กโทรไลต์ที่อิเล็กตรอนจะมีอิสระที่เข้าไป ในวงจรที่นำมาต่อภายนอกซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดไปยังอาโนด	13
2.10	โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดที่มีการปิดผนึก	13
2.11	แสดงการต่อบัสต่อคั้งไดโอด	18
2.12	สัญญาณอ้างอิง 2 สัญญาณและมีมุมต่างเฟสกัน 180 องศา	20
2.13	การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์แบบชวี่ยน	20
2.14	การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธีเนเชอรัลแซมปลิ่ง	21
2.15	การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธีโมดิฟายสับฮาร์โมนิกส์แซมปลิ่ง	22
2.16	การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธียูนิฟอร์รมแซมปลิ่งแบบสมมาตร	23
2.17	การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธีแบบดิจิตอลชวี่ยน	24
2.18	การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธีแบบมอดูเลตตำแหน่ง	25
2.19	คุณลักษณะในการถ่ายโอน	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
2.20	แสดงคาบเวลาการทำงานของ MOSFET	27
2.21	สัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า	28
2.22	แกนเหล็กรูปตัว E และ I	29
2.23	พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กของหม้อแปลง	30
2.24	ลักษณะแกนเหล็กและบ็อบบิ้น	31
3.1	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโครงงาน	32
3.2	แสดงวงจรอัดประจุแบตเตอรี่	33
3.3	แสดงวงจรถ้าเนิดสัญญาณซายน์โดยใช้ไอซี XR2206	34
3.4	แสดงวงจร TL494	35
3.5	แสดงวงจรหน่วงเวลา	37
3.6	แสดงวงจรควบคุม	37
3.7	แสดงการต่อวงจรกำลัง	38
3.8	รูปการจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง	40
3.9	รูปแสดงการจัดวางชิ้นงาน	41
4.1	แสดงการทดลองหาเส้นแสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์	42
4.2	แสดงความสัมพันธ์ของ แรงดันเปิดวงจรกับเวลา	44
4.3	แสดงความสัมพันธ์ของกระแสตัดวงจรกับเวลา	45
4.4	เส้นแสดงคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	46
4.5	เส้นแสดงคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12.00 น.	47
4.6	การทดลองชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้ชุดชาร์จแบตเตอรี่	48
4.7	แสดงการทดสอบหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	50
4.8	เส้นแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพต่อกำลังด้านเอาต์พุทของ Inverter	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.9	เส้นแสดงความสัมพันธ์ Voltage Regulation ต่อกำลังด้านเอาต์พุตของ Inverter	52
4.10	วงจรการทดสอบหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบจ่ายไฟ	53
4.11	แสดงสัญญาณฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น	55
4.12	รูปแสดงการทดลองหาคณสมบัตินรวมของระบบจ่ายไฟ	56
4.13	แสดงการทดลองหาคณสมบัตินรวมของระบบจ่ายไฟขณะต่อโหลดขนาด 50 W	57
4.14	รูปกราฟระหว่าง Voltage Regulation และ Load	57
4.15	รูปกราฟระหว่างประสิทธิภาพและโหลด	58
4.16	รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลด	59
4.17	แสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 1	61
4.18	รูปแสดงกระแสเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 W	62
4.19	รูปแสดงกระแสเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 50 W	62
4.20	รูปแสดงแรงดันเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 W	63
4.21	รูปแสดงแรงดันเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 50 W	63
4.22	รูปแสดง Voltage Regulation และเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 W	64
4.23	รูปแสดง Voltage Regulation และเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 50 W	64
4.24	รูปแสดงประสิทธิภาพและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 W	65
4.25	รูปแสดงประสิทธิภาพและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 50 W	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงรายละเอียดของถีดแอซิดเซลล์	15
2.2 แสดงคุณสมบัติของแรงดันของถีดแอซิดแบตเตอรี่	16
2.3 รายการของโมดูลแบบควบคุมสม่ำเสมอด้วยตนเองภายใต้สภาวะต่าง ๆ	17
4.1 ผลการทดลองแรงดันขณะเปิดวงจรและกระแสในขณะที่ตัดวงจรที่เวลาต่าง ๆ	42
4.2 ผลการทดลองแรงดันและกระแสโดยเปลี่ยนค่าโหลดความต้านทานเวลา 12.00 น.	43
4.3 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่ชาร์จลงแบตเตอรี่โดยผ่านชุดชาร์จ	48
4.4 แสดงคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	50
4.5 ตารางแสดงค่า ΔP ที่ความถี่ต่าง ๆ	54
4.6 ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติรวมของระบบจ่ายไฟ	56
4.7 แสดงผลการทดลองจ่ายโหลดหลอดไฟขนาด 25 Watt 10 ชั่วโมง	60
4.8 แสดงผลการทดลองจ่ายโหลดหลอดไฟขนาด 50 Watt 10 ชั่วโมง	60

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้สภาวะแวดล้อมทั่วไปเสื่อมโทรมลงทั่วโลก และทวีความรุนแรงมากขึ้นมีการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือยโดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมาจากการเผาเชื้อเพลิงที่เป็นถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ เป็นผลให้เกิดมลพิษและอุณหภูมิของโลกก็จะสูงขึ้น ซึ่งพลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้าเหล่านี้ในวันก็จะหมดลงไปเรื่อย ๆ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาพลังงานอื่นมาทดแทนและไม่ก่อให้เกิดปัญหาตามมามากมาย พลังงานจากแสงอาทิตย์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นพลังงานที่บริสุทธิ์ และได้มีการศึกษาและพัฒนามานานแล้วที่จะนำพลังงานนี้มาใช้

ในโครงการวิศวกรรมนี้ได้เลือกที่จะนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ให้ได้มากที่สุดอีกทางหนึ่ง โดยจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปได้โดยมีการควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation) และมีการเก็บพลังงานสำรองด้วยแบตเตอรี่ ที่สามารถนำพลังงานมาใช้ตอนกลางคืน ซึ่งเราเรียกที่กล่าวมาทั้งหมดว่า ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System)

ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นี้ เป็นโครงการที่จะมีประโยชน์อย่างมาก ถึงแม้ว่าจะเป็นระบบขนาดเล็ก แต่เราสามารถที่จะพัฒนาให้เป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งเป็นพลังงานที่สำคัญในการพัฒนาประเทศชาติต่อไปในอนาคต

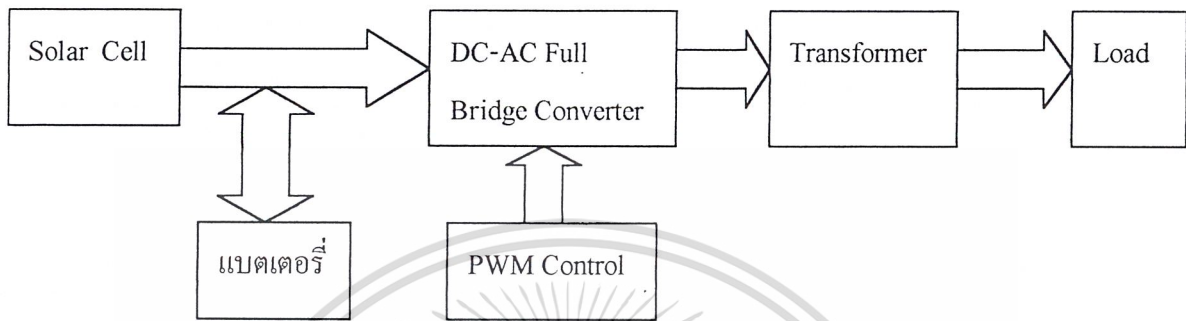
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สร้างระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System) 1 เฟส 220 โวลต์ ควบคุมแบบPWM (Pulse Width Modulation) มีการเก็บพลังงานสำรองด้วยแบตเตอรี่ เป็นระบบ Stand Alone

1.2 หลักการเบื้องต้นของระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ศึกษาในโครงการนี้ จะนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยมีการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วยการแปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ที่ได้จากแบตเตอรี่แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ด้วยชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งจะประกอบด้วย ภาคกำลังที่ต่อแบบ ฟูลบริจด์คอนเวอร์เตอร์

(Full Bridge Converter) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยควบคุมแบบ PWM แล้วใช้หม้อแปลงยกระดับแรงดันกระแสสลับ โดยมีแผนผังแสดงการทำงานดังรูป



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิศวกรรม ที่ใช้เป็นแนวคิดเริ่มต้นในการเลือกออกแบบและสร้างระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

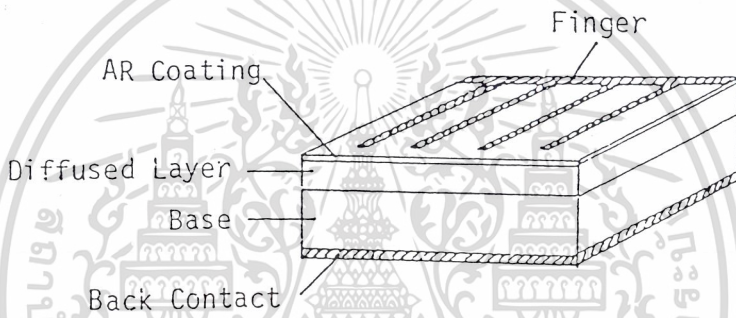
เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้านี้จะถูกจ่ายออกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์นั้นกับโหลดที่เหมาะสม

การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ในอดีตนั้นส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับโครงการอวกาศ ดาวเทียม หรือยานอวกาศมากกว่า 500 ดวงที่ส่งจากพื้นโลกขึ้นไปลอยวนอยู่ในอวกาศใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้ทั้งสิ้น หากไม่มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แล้วเราคงจะไม่มีวิทยาการก้าวหน้าต่างๆ ในปัจจุบัน เช่น การสื่อสารดาวเทียม การพยากรณ์อากาศผ่านดาวเทียม ฯลฯ

เซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีข้อดีหลายประการได้แก่ ความสามารถในการใช้งานที่อวาร์ ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายขณะใช้งาน ไม่มีของเสียเหลือใช้นอกจากความร้อน สามารถแปรพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าโดยตรง และเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ ข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ การให้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยไม่มากนัก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ค่อนข้างโต ประสิทธิภาพการแปรพลังงานยังไม่สูงเป็นที่น่าพอใจนัก และอาจมีการเสื่อมคุณภาพภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีอนุภาพพลังงานแรงสูง ฯลฯ

โครงการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า กำลังดำเนินการทดลองอยู่หลายแห่งบนพื้นโลก แผงเซลล์แสงอาทิตย์เหล่านี้ประกอบขึ้นด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตสร้างขึ้นจากแผ่นผลึกซิลิกอนที่ให้ประสิทธิภาพการแปรพลังงานประมาณ 10-12% ปัญหาของโครงการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์คือ เรื่องราคาของเซลล์แสงอาทิตย์เอง กล่าวคือ ราคาค่าต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลึกซิลิกอนอยู่ราวๆ 100 บาทต่อวัตต์ หากต้องแข่งขันกับราคาต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยวิธีอื่นได้แล้ว ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องลดลงอีกประมาณ 1/20 เท่า คือลดเหลือเพียง 5 บาทต่อวัตต์ การใช้งานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จึงจะคุ้มค่า

ดังนั้น ขั้วโลหะรับแสงมักจะได้รับการออกแบบให้เป็นรูปนิ้วมือหรือเป็นรูปอื่นๆ เพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด และในขณะเดียวกันขั้วไฟฟ้านั้นสามารถรวบรวมพาหะนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดด้วย ส่วนขั้วไฟฟ้าทางด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องเป็นฉนวนกั้นระบบ โหมดที่มีที่ติดตั้งฉนวนไว้เต็มหน้า ผิวทางด้านรับแสงที่นอกเหนือจากขั้วโลหะแล้วยังมีชั้นด้านการสะท้อนแสง (Antireflection Coating) ปิดทับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงอีกด้วย ชั้นด้านการสะท้อนแสงนี้อาจได้แก่ SiO₂ ซึ่งทำขึ้นหนาประมาณ 800-1000 จากนั้นจึงนำเซลล์ที่ได้ไปประกอบในแผงที่ห่อหุ้มมิดชิดสามารถป้องกันความชื้น ฝุ่นละออง ฯลฯ เพื่อให้เซลล์ฯ มีคุณภาพดีตลอดไป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหิวคอปิเอ็น

เซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า เช่นเดียวกับไดโอดโดยทั่วไป กล่าวคือมีความสามารถในการตัดกระแสไฟฟ้า (Current Rectification) ได้ ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ดังเส้นประในรูปที่ 2.2 ในสภาพที่ไม่ถูกแสง เมื่อมีการฉายแสงตกกระทบหิวคอปิเอ็นจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกขึ้น ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปเป็นเส้นเต็มในรูปที่ 2.2 พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งที่แรงก็คือกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นผลิตได้ แต่กำลังไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งานจริงๆ นั้น จะกำหนดได้จากการต่อโหลดที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 2.2

สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์จึงตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์หลักๆ 3 ตัวคือ

1) ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด (V_{oc}) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์

2) ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์

3) ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (F.F) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างผลคูณของแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด และกระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ได้แก่ ผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าสูงสุด V_M และกระแสไฟฟ้าสูงสุด I_M) ซึ่งกำหนดได้จากการต่อกับโหลดที่มีค่าเหมาะสม

$$F.F. = V_M \cdot I_M / V_{OC} \cdot I_{SC} \quad (1)$$

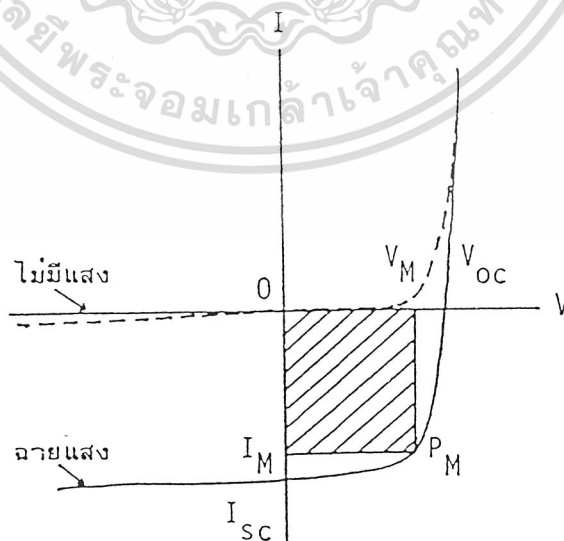
พารามิเตอร์ทั้งสามตัวนี้จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพและเงื่อนไขการต่อวงจรของ เซลล์แสงอาทิตย์หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพในการแปรพลังงานจึงเขียนแสดงในรูป สูตรต่อไปนี้

$$\eta = (V_{OC} \cdot I_{SC} / P_{IN}) \times F.F. \times 100 \quad (2)$$

โดยค่า P_{IN} ได้แก่อินพุตที่ป้อนให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งกำหนดได้จากความเข้มของแสงอาทิตย์ซึ่งมีหน่วยคิดเป็นวัตต์ต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย

ค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรมืดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบหัวต่อพีเอ็นนั้น เกี่ยวข้องโดยตรงกับค่าแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำนั้นๆ โดยกำหนดความสูงของแถบรียที่หัวต่อนั้นๆ ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืดมักเขียนแสดงอยู่ในรูปฟังก์ชันของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) ค่ากระแสไฟฟ้ามืด (Dark Current, I_0) ของหัวต่อ และแฟกเตอร์ที่แสดงความสมบูรณ์แบบของหัวต่อ (A_0) ดังสมการ

$$V_{OC} = A_0 (KT/q) \ln \{ (I_{SC} / I_0) + 1 \} \quad (3)$$



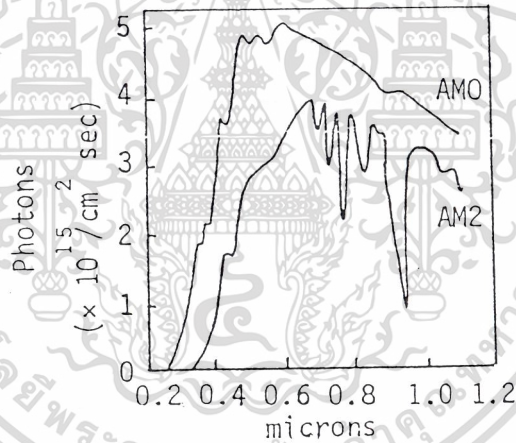
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.2 เส้นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีหัวต่อที่สมบูรณ์แบบค่า A_0 จะมีค่าเป็น 1 และจะทำให้ได้ค่า V_{oc} สูงสุด และหากค่า I_0 มีค่ามากจะทำให้ V_{oc} ลดน้อยลง ค่ากระแสไฟฟ้ามีด I_0 นี้กำหนดได้จากขนาดของแถบพลังงานต้องห้ามของสารและอุณหภูมิ กล่าวคือ I_0 จะมีค่าลดน้อยลง เมื่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามมีค่าสูงขึ้นหรือที่อุณหภูมิต่ำๆ ดังนั้น การเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามสูงและใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้ได้ V_{oc} สูงขึ้น เช่นค่า V_{oc} ที่ 300°K ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนจะมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ และค่า V_{oc} ที่ 300°K ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกเลียมอาเซนไนด์จะมีค่าประมาณ 0.9 โวลต์ เป็นต้น จากสูตรความสัมพันธ์แบบล็อกในสมการ(3) ซึ่งให้เห็นว่าค่า V_{oc} นี้จะมีค่าอิมิตัวในรูปฟังก์ชันของความเข้มแสง

ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร I_{sc} จะกำหนดได้จากลักษณะของสเปกตรัมของแสง และความรู้สึกลึกที่มีต่อสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์ (หรือหมายถึงความสามารถในการสร้างคู่อิเล็กตรอนโฮลเมื่อมีโฟตอนฉายกระทบ) ความรู้สึกที่มีต่อสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นลักษณะสมบัติที่ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนแสง(α) ค่าความลึกต่อหัว(X_j) ขนาดความกว้างของย่านปลอดพาหะ(W) ค่าอายุชีวิต(τ) และความคล่องตัวของพาหะ(μ) ในเนื้อสารกึ่งตัวนำทั้งสองข้างของหัวต่อ และความเร็วในการรวมตัวที่ผิว(S) เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นกระจายอยู่ตลอดช่วงความยาวคลื่นขนาดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในอวกาศ (แบบ AM0) และสเปกตรัมของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก(AM1) ค่า AM นี้ย่อมาจาก Air Mass สเปกตรัมแบบ AM0 ได้แก่ สภาพของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดย NASA กล่าวคือ เป็นสเปกตรัมแสงอาทิตย์ที่มีกำลังแสงที่คิดรวมทั้งหมดโดยการอินทิเกรตทุกช่วงความยาวคลื่นจะได้ค่า 135.3 mW/cm^2 ส่วนสเปกตรัมแบบ AM2 ได้แก่สภาพของแสงอาทิตย์บนโลก เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60° และให้กำลังแสงทั้งหมดประมาณ $72-75 \text{ mW/cm}^2$ ดังนั้น AM2 จึงคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่มีสภาพอากาศที่มีเมฆและมีมุมแสงอาทิตย์แคบ สเปกตรัมของแสงอาทิตย์แบบ AM1 ก็เป็นมาตรฐานอันหนึ่งที่นิยมใช้กันในการกำหนดสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์แบบ AM1 นี้ได้แก่ แสงอาทิตย์ที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก กำลังแสงจะมีค่าประมาณ 100 mW/cm^2 ดังนั้นสเปกตรัมที่มีแสงแบบ AM1 จึงอยู่ระหว่าง AM0 กับ AM2 ข้อแตกต่างระหว่างแสงอาทิตย์นอกและในบรรยากาศโลก ได้แก่ ปริมาณแสงอุลตราไวโอเลต และ อินฟราเรด เพราะในบรรยากาศโลกนั้นแสงอุลตราไวโอเลตจะมีน้อยเนื่องจากการสะท้อนของชั้น โอโซนซึ่งอยู่ในบรรยากาศชั้นบนของโลก ส่วนแสงอินฟราเรดนั้นก็ถูกดูดกลืนจากไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิของบรรยากาศโลกจะกระจุกกระจายแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น ได้ดีกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาวดังนั้นหากบรรยากาศนั้นมีความหนาแน่นของ

อนุภาคสูง แสงอาทิตย์จะถูกพิวเตอร์เหลือแต่เพียงช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าเท่านั้นและขนาดของแสงทุกความยาวคลื่นจะมีค่าน้อยลงด้วย เมื่อแสงอาทิตย์บนพื้นโลกจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แสงอาทิตย์ตรง (Direct Sunlight) และแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกับบรรยากาศโลก (Diffused Sunlight) ส่วนที่เป็นแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกับบรรยากาศของโลกนี้จะเพิ่มปริมาณ ตาม Air Mass ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น การใช้เซลล์แสงอาทิตย์มาแปรพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีสเปกตรัมดังกล่าวนี้ จึงควรเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีความรู้สึกลดต่อสเปกตรัมในช่วงที่กว้างไว้จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการแปรพลังงานนั้นสูงขึ้น และเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนนั้นเปลี่ยนแปลงตามขนาดแถบพลังงานต้องห้าม ดังนั้นสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานต้องห้ามกว้างจะดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้น้อย ดังนั้นจะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานต้องห้ามแคบค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรนี้จึงเป็นปริมาณที่เพิ่มได้ โดยการเพิ่มพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ใช้



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ

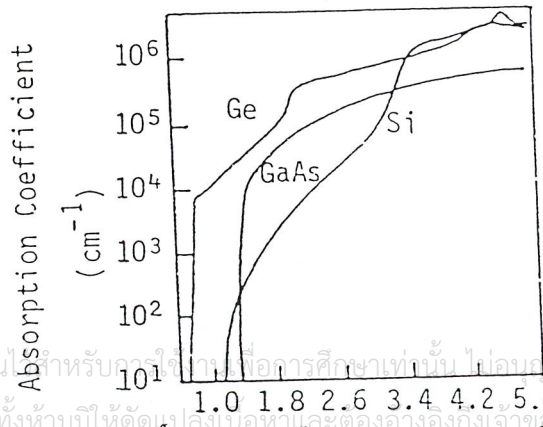
ค่าฟิลต์แฟคเตอร์เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดจากขนาดของค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{∞}) ค่าแฟคเตอร์ความสมบูรณ์แบบของหัวต่อ (A_0) ค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) และค่าความต้านทานชั้น (R_{sh}) ของหัวต่อพีเอ็น หากค่า V_{∞} และ R_{sh} สูงและค่า A_0 และ R_s ต่ำจะทำให้ได้ค่า F.F. สูง ปกติเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจะมีค่า F.F. อยู่ประมาณ 0.6 - 0.8

กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น กำหนดได้จากค่าของกระแสโฟโต (I_{ph}) ซึ่งเป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่คิดคำนวณจากปริมาณพาหะนำไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ หากกระแสโฟโตทั้งหมดถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่โดยไม่เกิด loss เนื่องจากการหักล้างกับกระแสไฟฟ้ามืด ซึ่งได้แก่กระแสที่ฉีดข้ามหัวต่อ (Injection current) และกระแสรวมตัว (Recombination current) ซึ่ง

อาจคิดโดยประมาณได้ว่า $I_{sc} \sim I_{ph}$ ฉะนั้นการคิดคำนึงถึงเงื่อนไขที่ดีที่สุดจะสร้างกระแสโฟโตให้มีค่ามากที่สุด จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง

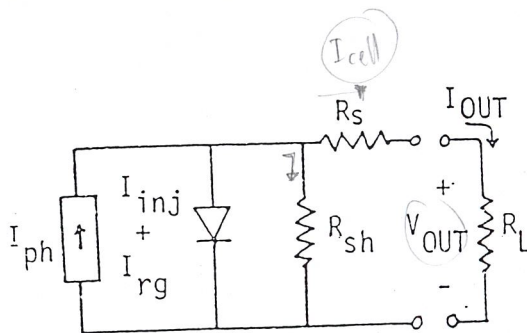
กระแสโฟโตกำหนดได้จากความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นแสงที่กำหนดให้ ความสามารถดังกล่าวนี้วัดหาได้โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนแสง (α) ซึ่งมีหน่วยเป็นส่วนกลับของระยะทาง ปริมาณแสงที่ตกกระทบผิวของสารจะมีค่าลดลง $1/e$ ที่ระยะทางลึกจากผิวลงไป $1/\alpha$ โดยกฎเกณฑ์ทั่วไปแล้ว ค่า α นี้จามีค่าน้อยลงสำหรับสารที่มีแถบพลังงานต้องห้ามกว้างขึ้น แต่ α ยังเป็นปริมาณที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของแถบพลังงานด้วยว่าเป็นแบบ Direct หรือ Indirect รูปที่ 2.4 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนของ Si, GaAs ในช่วง 0.6 - 5.0 eV ในกรณีของซิลิกอน ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เพราะซิลิกอนมีแถบพลังงานแบบ Indirect ฉะนั้นการดูดกลืนแสงและการสร้างพาหะจึงเกิดค่อนข้างลึกใต้ผิวของซิลิกอน (มีหน่วยเป็นสปีไมครอน) แต่ในกรณีของ GaAs ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืน จะเพิ่มขึ้นอย่างชันและรวดเร็วเมื่อโฟตอนมีพลังงานเท่ากับค่าแถบพลังงานต้องห้าม จากนั้นจึงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เนื่องจากการมีความหนาแน่นของ States ที่ยอมรับพาหะมีค่าต่ำ การดูดกลืนแสงและการสร้างพาหะใน GaAs จึงเกิดขึ้นเพียงประมาณ 2 ไมครอน

พาหะที่ถูกสร้างขึ้นโดยการดูดกลืนแสงจะเกิดการแพร่ซึมเข้าหาหัวต่อ และถูกกวาดด้วยสนามไฟฟ้าภายในหัวต่อให้ออกไปยังปลายทั้งสองข้างของสิ่งประดิษฐ์ ก่อนที่พาหะจะถูกรวบรวมโดยขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองข้าง พาหะจำนวนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากการรวมตัวภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำ และการรวมตัวที่ผิว (Bulk & Surface Recombination) การรวมตัวของพาหะภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำอาจเกิดขึ้นได้ทั้งแบบการรวมตัวโดยตรงระหว่างอิเล็กตรอนอิสระกับโฮล และการรวมตัวโดยอาศัยศูนย์รวมตัว (Recombination Center) ซึ่งเป็นชั้นพลังงานภายในแถบพลังงานต้องห้ามที่เกิดจากการมีสารเจือปนที่เป็น Deep Levels หรือจุดบกพร่องอื่น ๆ ทางผลึก ความหนาแน่นของศูนย์รวมตัวนี้เป็นปริมาณที่กำหนดได้จากคุณภาพของผลึกสารกึ่งตัวนำที่เชื่อว่าเตรียมขึ้นได้โดยวิธีการใด



พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงกระบวนการรวมตัวของพาหะที่เกิดขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ ได้แก่ ค่าอายุชีวิตของพาหะข้างน้อย เช่น อายุชีวิตของโฮลในสารกึ่งตัวนำที่เป็น n-type และ อายุชีวิตของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำแบบ p-type ค่าอายุชีวิตของพาหะจะขึ้นอยู่กับปริมาณการ doping ของสารเจือปน หากมีการเติมสารเจือปนมาก ค่าอายุชีวิตจะลดน้อยลง และอ้อมตัวในที่สุด แต่ในทางปฏิบัติ ค่าอายุชีวิตของพาหะในชีวิตก่อนขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมผลึก การ Treat ผิวของสิ่งประดิษฐ์ ในขณะที่ผลิต อุณหภูมิของการแพร่ซึม ขั้นตอนการทำ Annealing ฯลฯ ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องอาศัยขั้นตอนที่มีอุณหภูมิสูงหลายครั้ง ดังนั้นค่าอายุชีวิตของพาหะในชั้นแพร่ซึมจะมีค่าต่ำและมี order อยู่ประมาณ few microns และที่ผิวชั้นบนสุดของเซลล์ฯ ซึ่งเป็นบริเวณที่มี lattice damage และปริมาณการ doping มากที่สุด จะเป็นบริเวณที่มีศูนย์รวมตัวมากที่สุด และส่งผลให้ค่าอายุชีวิตของพาหะที่ชั้น 1000 \AA แรกอาจมีค่าต่ำถึง order ของ 100 psec ชั้นบางที่ผิวนี้เรียกว่า Dead Layer ของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการกำจัดให้ Dead Layer นิ่มหรือลดน้อยลงจะช่วยเพิ่มกระแสโฟโตได้ ซึ่งอาจกระทำได้โดยการหาเงื่อนไขการแพร่ซึมที่เหมาะสมการทำ Annealing การลดอัตราการรวมตัวของพาหะที่ผิวให้ช้าลง โดยการปิดบังผิวด้วยชั้นฉนวนหรือสารชนิดอื่นที่เหมาะสม ฯลฯ

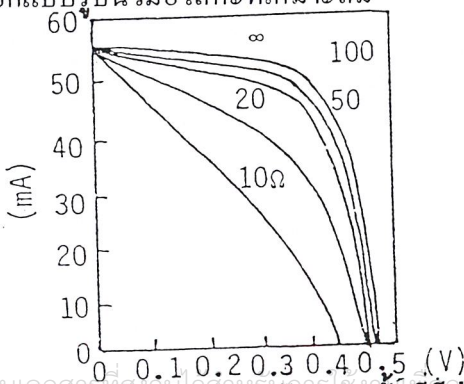
วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ใช้งานสามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 กระแสโฟโตแทนด้วยตัวกำเนิดกระแส I_{ph} ซึ่งให้กระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสไบอัสตามของไดโอด ซึ่งประกอบด้วย กระแสที่ฉีดข้ามหัวต่อรวมกับกระแสรวมตัว ($I_{inj} + I_{rec}$) ค่าความต้านทานชั้นเขียนแสดงด้วย R_{sh} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่กำหนดค่าได้จากสภาพของหัวต่อที่สร้างขึ้น เช่น การเกิดกระแสรั่วตามขอบเซลล์ ความไม่สม่ำเสมอของหัวต่อได้แก่ การมี Diffusion Spike เนื่องจากความบกพร่องทางผลึกต่าง ๆ ค่าความต้านทานอนุกรมเขียนแสดงด้วย R_s กำหนดได้จากค่าความต้านทานของผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง รวมกับค่าความต้านทานของผลึกฐานและชั้นแพร่ซึมของเซลล์ฯ ที่ประดิษฐ์ขึ้น



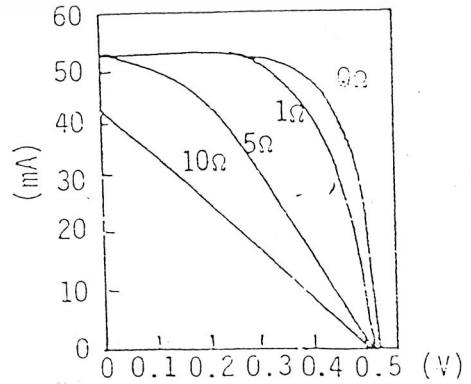
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาจากวงจรสมมูลย์แล้วจะเห็นได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคตินั้น ควรเป็น ไดโอดที่มีหัวต่อที่มีคุณภาพดี โดยมีค่า R_{sh} เป็น ∞ และค่า R_s เป็น 0 แต่ในทางปฏิบัติแล้วการ สร้างหัวต่อที่สมบูรณ์แบบนั้นทำได้ยาก เพราะผลึกสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีจุดบกพร่องทางผลึกอยู่ก่อน แล้ว และเมื่อมาทำหัวต่อที่มีพื้นที่กว้างโดยการเติมสารเจือปนที่อุณหภูมิสูง ก็จะได้หัวต่อที่มีความ สม่ำเสมอที่ดีได้ด้วยขีดจำกัดขนาดหนึ่งเท่านั้น เพราะจะเกิด Diffusion Spike ขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุของ กระแสรั่วทำให้ค่า R_{sh} ไม่เป็น ∞ ส่วนค่า R_s ก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงมีค่าไม่เป็น 0 ดังนั้นการ ออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุด คือพยายามทำให้ค่า R_{sh} มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ค่า R_s มีค่าน้อย สุด อิทธิพลของ R_{sh} และ R_s ที่มีต่อลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์อาจทดสอบดูได้โดยการต่อ ตัวต้านทานขนานและอนุกรมที่มีค่าต่าง ๆ กับเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ๆ รูปที่ 2.6 แสดงถึงอิทธิพลของ ความต้านทานชั้นที่ต่อขนานกับเซลล์ฯ โดยมีการฉายแสงด้วยหลอดไฟทั้งสแตนท์ที่มีความเข้มขึ้น 100 mW/cm^2 จะเห็นว่าค่ากระแสลัดวงจรมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด และค่าฟิลล์แฟคเตอร์มีค่าลดลงเมื่อค่าความต้านทานชั้นต่ำลงส่วนรูปที่ 2.7 นั้น แสดงถึงอิทธิพล ของความต้านทานอนุกรมซึ่งมีผลกระทบต่อค่าฟิลล์แฟคเตอร์ของเซลล์ฯเป็นอย่างมาก ในขณะที่ ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดคงที่และส่งผลให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ค่าต่ำลงกว่ากระแสไฟโต เนื่องจาก มีแรงดันไฟฟ้าส่วนหนึ่งตกคร่อมความต้านทานอนุกรมจึงมีกระแสไฟฟ้ามีดไหลขึ้นสวนทางกับ กระแสไฟโต

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แสงอาทิตย์ความเข้มขึ้นสูงแค่ 1 sun ค่าความต้านทานชั้นจะมีค่าสูงพอที่อิทธิพลของมันจะตัดทิ้งได้ แต่เมื่อใช้กับแสงความเข้มต่ำหรือที่อุณหภูมิต่ำค่าความ ต้านทานชั้นจึงเริ่มมีบทบาทสำคัญขึ้น ส่วนค่าความต้านทานอนุกรมกลับมีบทบาทสำคัญต่อการ ใช้ งานกับแสงความเข้มสูงหรืออุณหภูมิสูง ดังนั้นในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความต้านทาน อนุกรมต่ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น การสร้างหัวต่อที่บางแต่มีความเข้มนขึ้นของสารเจือปนสูงหรือ ออกแบบรูปนิ้วมือโลหะที่เหมาะสม



รูปที่ 2.6 อิทธิพลของความต้านทานชั้นที่มีต่อ ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์ฯ



รูปที่ 2.7 อิทธิพลของความต้านทานอนุกรม มีต่อลักษณะสมบัติของกระแส-แรงดันของเซลล์ฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

2.2 แบตเตอรี่

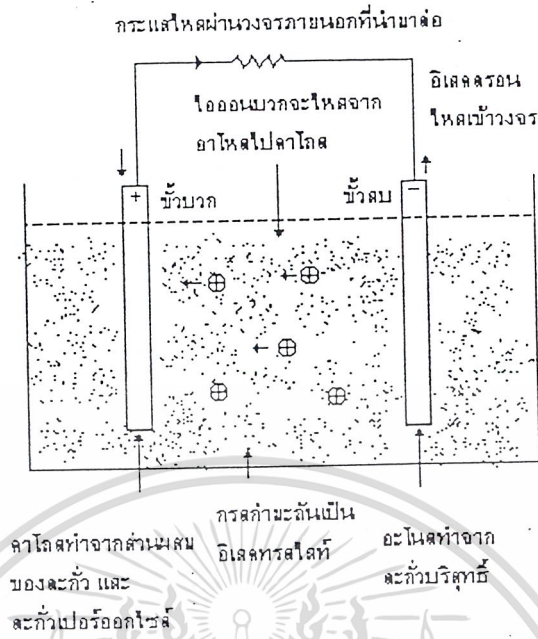
เซลล์แบบทุติยภูมิที่เป็นที่นิยมใช้กันมากคือ เซลล์แบบตะกั่วกรด(Lead Acid) ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ซึ่งแสดงในรูป ซึ่งเราจะเห็นมันประกอบด้วยแผ่นคาโอดและแอนโนด วางสลับกันจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถันแผ่นเพลทวางสลับกันเพื่อจะให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด และอิเล็กโทรไลต์มากเท่าไรปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้นนอกจากมีความต้านทานภายในของเซลล์ จะยิ่งมีค่าน้อยลง ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส วิธีที่นิยมใช้กันก็คือใช้แผ่นเพลทบางๆคั่นด้วยฉนวนมีรูพรุน



รูปที่ 2.8 ภาพแสดง โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด แผ่นแอนโนดและคาโอดจะวางสลับกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว

อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นแอนโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโอดจะสร้างส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้นอะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโนด จะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์และทิ้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก

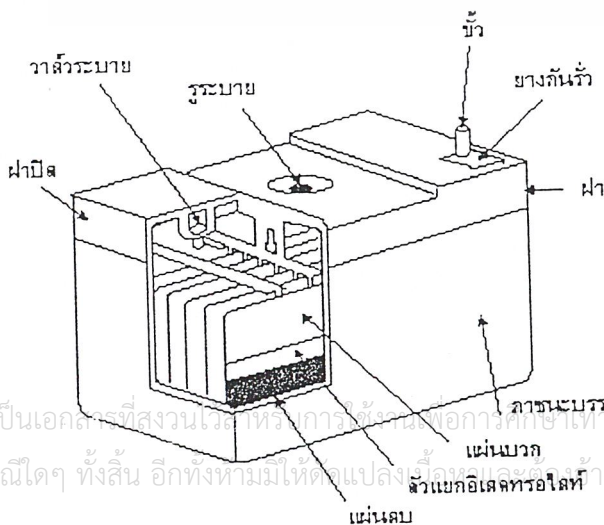
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ไอออนบวกของตะกั่วจากแอโนดเข้าไปในอิเล็กโทรไลต์อิเล็กตรอนจะมีอิสระที่เข้าไปในวงจรที่นำมาต่อภายนอกซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดไปยังแอโนด

ที่คาโทด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วซึ่งมีประจุบวกสูง และเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกันกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่แอโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดผ่านไปยังวงจรภายนอก

ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead sulphate) และก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มีการปิดผนึก

แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถจะใช้กับที่ใดก็ได้โดยไม่ปล่อยให้ไอเล็ดทรอไหลที่ออกมาใช้ประโยชน์ในเครื่องมือแบบกระเป๋าก้าว

การประจุเซลล์ แบบตะกั่วกรด สามารถทำได้ง่ายๆ โดยการป้อนกระแสกลับเข้าไปในแบตเตอรี่ เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขั้วมือไปทางขั้วมือ ซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็ โดยการต่อขั้วคาโอด(+) และอาโนด(-) เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟภายนอก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกนี้จะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันเซลล์โดยปกติ ดังนั้นเซลล์แบบนี้ เซลล์เดียวซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์สามารถที่จะประจุเข้าไปด้วยแรงดันระหว่าง 2.2-2.5 โวลต์ จะถูกประจุโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไดนาโมและผ่านชุดรักษาแรงดันให้เป็นไฟตรงมีค่าแรงดันคงที่ที่ 14 โวลต์

เป็นที่เห็นได้ชัดว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปเมื่อประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มที่หรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์คายประจุหมดเต็มที่แล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเวลาจะมีค่ามากตามมาด้วย หรือถ้าเซลล์ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ(Cyclic) คือสถานะจากประจุเต็มไปสู่สถานะประจุเต็มที่แล้วจึงค่อยประจุใหม่อีกครั้ง จะใช้กระแสประจุมากตามไปด้วย แต่ถ้าเซลล์ถูกใช้งานพร้อมกับประจุไฟเข้าตลอดเวลาเช่นในแบตเตอรี่รถยนต์แล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุก็จะมีค่าต่ำ ซึ่งก็เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์ จึงใช้แรงดันในการประจุเพียง 14 โวลต์ ซึ่งประมาณ 1.17 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่

วงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ที่ต่ออยู่กับแบตเตอรี่ และอีกวงจรซึ่งเราเห็นว่าแบตเตอรี่จะถูกพิจารณาว่าประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัว โดยตัวต้านทานแรก จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่ ส่วนตัวต้านทานที่สองจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยขึ้นอยู่กับสถานะการหมดประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที่ ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุจะมีค่าสูงมาก อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หรือประจุจนเต็มที่แล้วค่าความต้านทานตัวที่ 2 นี้จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง

เราสามารถตรวจสอบสถานะการประจุของแบตเตอรี่ได้โดยการสังเกต ค่าของกระแสที่ใช้ในการประจุ ซึ่งจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ใช้ในการประจุมีค่าคงที่(โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีการรักษาแรงดันที่ส่งออกให้คงที่) แบตเตอรี่โดยทั่วไป ตัวอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ จะจ่ายแรงดันออกไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาไม่คงที่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วิธีการดูกระแสในการบอกสถานะการประจุของแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้อง

2.2.1 ข้อกำหนดสำหรับระบบแสงอาทิตย์ ขึ้นอยู่กับ

1. ซาโดว์ไซเคิล (shadow cycle) ในแต่ละวัน
2. ดีพไซเคิล (deep cycle) ในช่วงเมฆมากและฤดูหนาว (deep cycle คือช่วงเวลาที่การประจุแทนที่ไม่เพียงพอกับจำนวนประจุที่ใช้ในแต่ละวัน)

2.2.2 คุณสมบัติของระบบแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบแสงอาทิตย์

1. มีวงจรชีวิตสำหรับดีพไซเคิลสูง
2. ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ
3. ประสิทธิภาพการประจุสูง
4. ความสามารถในการคายประจุอย่างสมบูรณ์
5. มีอัตราการคายประจุด้วยตนเองต่ำ
6. เชื้อดีได้
7. มีการเปลี่ยนแปลงค่าในช่วงอุณหภูมิสูง

Parts	Materials	
	Charged	Discharged
Active matterial on positive electrode	Lead dioxide	Lead sulphate
Active matterial on negative electrode	Lead	Lead sulphate
Electrolyte	Sulphuric acid	Acid slightly weaker
Electrode support	Lead	
Container	Hard rubber with bitumen	
	Glass	
	Plastic, polyethyiene	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของดีดแอซิดเซลล์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเซลล์ที่ถูกประจุเต็มแผ่นขั้วบวกจะมีสีน้ำตาล และแผ่นขั้วลบมีสีเทาอมเงิน เมื่อเซลล์ถูกคายประจุจะเกิดสัลเฟต (lead sulfate) ก่อตัวเป็นแผ่นบางๆทั้งแผ่น และจะทำให้แผ่นขั้วเปลี่ยนเป็นสีเทา เมื่อแบค เทอรีถูกประจุแต่ละแผ่นขั้วจะกลับไปเหมือนเดิม ในการประจุเมื่อแบคเตอร์ี่ใกล้จะเต็มจะเกิดก๊าซและฟองอากาศจะเพิ่มอย่างรวดเร็วและจะเกิดในทุกๆแผ่น

2.2.3 คุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้า

Voltage characteristics	Voltage at 20 °C	
	Single cell	Six-cell battery
Nominal	2	12
V_{ch} maximum	2.3-2.5	14.0-15.0
V_{ch} float	2.2-2.3	13.0-14.0
V_{oc} at full charger	2.1-2.2	12.5-13.0
Charge of voltage characteristics	0.05 V per 10 °C rise	0.33 V per 10 °C rise
With temperature		

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของแรงดันของดีคแอซิดแบคเตอร์ี่

ในระหว่างการประจุ แรงดันในการประจุสามารถเพิ่มขึ้นสูงสุดตามตารางเมื่อแผ่นขั้วทั้งหมดเกิดก๊าซอย่างอิสระ แรงดันค่านี้นี้เรียกว่าแรงดันอิกวาไลเซชัน (equalization voltage) เมื่อใกล้จะเต็มควรลดแรงดันลงเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายและค่าความสูญเสีย

2.2.4 ผลของอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะให้ความจุเพิ่มขึ้น แต่อัตราการคายประจุก็เพิ่มขึ้น ไทไฟไซเคิล (life cycle) สั้นลงเกิดเร็วขึ้น เพราะฉะนั้นไม่ควรใช้แบคเตอร์ี่อย่างต่อเนื่องในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส

Units of daily insolation		Conversion factor to peak
Abbreviation	Name in full	hours at 1000 W / m ²
Peak- Hour	Peak-hour at an irradiance of 1000 W/m ²	1
Langley	Calorie per square centimetre	0.0116
Cal / cm ²	Caloric per square centimetre	0.0116
Wh / m ²	Watt-hour per square metre	0.001
KWh / m ²	Kilowatt-hour per square metre	1
W / m ² averaged over 24 hour	Watt per square metre averaged over 24 hour	0.024
kJ / m ²	Kilojoule per square metre	0.000278
MJ / m ²	Megajoule per square metre	0.278
Btu / ft ²	British thermal unit per square feet	0.0428

ตารางที่ 2.3 รายการของโมดูลแบบควบคุมสม่าเสมอด้วยตนเองภายใต้สภาวะต่างๆ

2.2.5 ความสม่ำเสมอในการประจุแรงดัน

การประจุแบตเตอรี่จำเป็นต้องได้รับการประจุอย่างถูกวิธี เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของแบตเตอรี่ สำหรับระบบแสงอาทิตย์ควบคุมโดยใช้โมดูลแบบควบคุมสม่าเสมอด้วยตนเอง ซึ่งง่ายที่สุดสำหรับใช้กับแบตเตอรี่ขนาด 12 V ได้แสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นรายการของโมดูลแบบควบคุมสม่าเสมอด้วยตนเองภายใต้สภาวะต่างๆ เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็ม การประจุกระแส (charging current) จะลดลงโดยอัตโนมัติจนเข้าสู่ระดับทริกเกิล (trickle) เพื่อให้แน่ใจว่า การประจุกระแสเกินระดับทริกเกิล จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่แบตเตอรี่

2.3 ชาร์จเรกูเรเตอร์

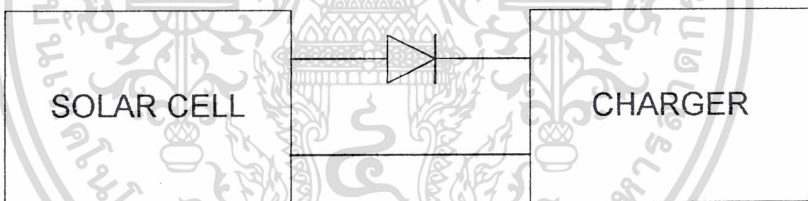
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า
 ในโครงการวิศวกรรมนี้ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะเก็บพลังงานสำรองโดย
 แบตเตอรี่ ในการเก็บพลังงานสำรองนั้นต้องมีการควบคุมการประจุเพื่อป้องกันความเสียหายให้แก่

แบตเตอรี่เนื่องจากการประจุเกิน โดยมีหลักการเบื้องต้นคือเมื่อแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่ำ วงจรควบคุมการประจุจะประจุแบตเตอรี่จนแรงดันของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นตัวแสดงว่าแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ววงจรควบคุมการประจุก็จะหยุดการทำงานดังมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

เมื่อแรงดันทางด้านแบตเตอรี่เริ่มต่ำลง จะทำให้แรงดันที่ขาของ Op-amp ต่ำกว่าขาเปรียบเทียบจึงทำให้ Op-amp on เมื่อ Op-amp on จะทำให้ 2N3019 ทำงาน และจะทำให้ Relay ทำงาน เมื่อ Relay ทำงานหน้าสัมผัสก็จะปิด ทำให้ Solar cell จ่ายพลังงานเข้าแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้นจนเต็ม จะทำให้แรงดันที่ขาของ Op-amp สูงกว่าขาเปรียบเทียบจึงทำให้ Op-amp off เมื่อ Op-amp off จะทำให้ 2N3019 ไม่ทำงาน และจะทำให้ Relay ไม่ทำงานหน้าสัมผัสก็จะเปิดออก

2.3.1 บล็อกกิ้งไดโอด (Blocking diode)

มีหน้าที่เอาไว้ป้องกันการรั่วไหลของกระแสหรือคาร์คเคอเรนที่ลึกลับ โดยเราจะต่อไดโอดในทิศทางที่ยอมให้กระแสที่ประจุไหล และจะปิดกั้นการไหลของคาร์คเคอเรนที่ลึกลับ เรียกไดโอดนี้ว่า บล็อกกิ้งไดโอด (Blocking diode) มีการต่อดังนี้



รูปที่ 2.11 แสดงการต่อบล็อกกิ้งไดโอด

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์

DC-to-AC Converters หรือที่รู้จักกันในชื่ออินเวอร์เตอร์ (Inverters) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยที่แรงดันเอาต์พุตและความถี่มีทั้งคงที่หรือแปรค่าได้ จึงเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้

หลักการการทำงานของอินเวอร์เตอร์นี้ จะอาศัยหลักการตัดต่อของสวิทช์ที่เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเป็นการตัดต่อกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่ออยู่กับโหลด เช่น Power Transistor, SCR, IGBT เป็นต้น เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในโครง

งานจะใช้ IGBT มาใช้เป็นสวิทช์ ของวงจรด้านกำลังที่จะเป็นตัวตัดต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อกับโหลดให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

อินเวอร์เตอร์แบ่งกว้างๆ ได้ 2 ประเภทคือ

อินเวอร์เตอร์แบ่งกว้างๆ ได้ 2 ประเภทคือ

1. อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส
2. อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

อินเวอร์เตอร์สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง และการนำไปใช้งานได้ 2 ประเภทคือ

1. การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Source Inverter ; VSI) ซึ่งแบ่งได้ 4 กลุ่ม
 - อินเวอร์เตอร์แบบการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation

(PWM) Inverter) ใช้ในโครงงานนี้

- อินเวอร์เตอร์แบบวี โชนแนนท์
- อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray
- อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray-Bedford

2. การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส

โดยอินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบนี้จะให้คุณสมบัติและรูปคลื่นของแรงดันและกระแสแตกต่างกันและมีความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกันด้วย

2.5 หลักการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Voltage Control of Single Phase Inverters)

การใช้งานอินเวอร์เตอร์ในอุตสาหกรรมหลายประเภทจำเป็นต้องควบคุมแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ด้วยเหตุผลดังนี้

1. เพื่อเปลี่ยนแปลงแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงอินพุตให้เป็นไปตามต้องการ
2. เพื่อปรับแต่งแรงดันของอินเวอร์เตอร์
3. เพื่อให้แรงดันคงที่ขณะควบคุมความถี่

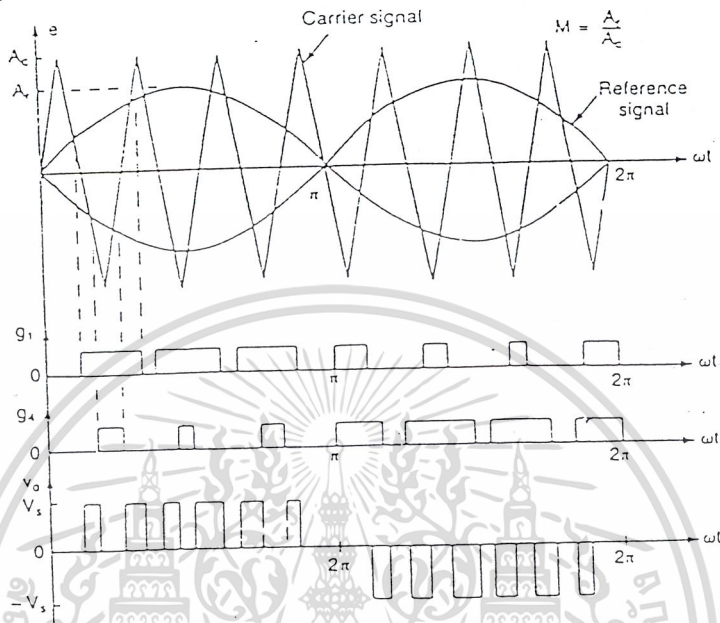
วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์คือการควบคุมการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ แรงดันเอาต์พุต (Pulse Width Modulation, PWM)

การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์แบบไซน์(Sinusoidal Pulse Width Modulation ; SPWM)

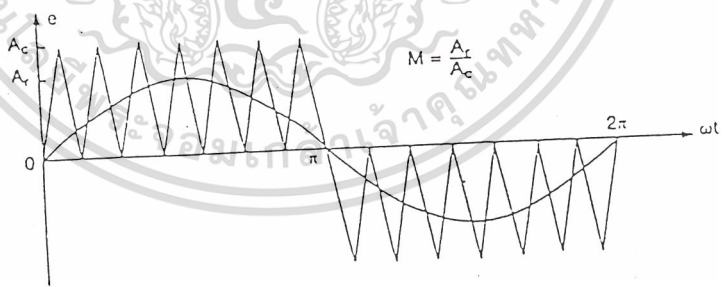
การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์แบบไซน์หรือ SPWM ความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์

จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนต่อขนาดของรูปคลื่นไซน์ สัญญาณทริกเกอร์ที่เกิดซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบของสัญญาณอ้างอิง(รูปคลื่นไซน์)กับสัญญาณพาหะ(สามเหลี่ยม) จากรูปที่ 2.1 สังเกตว่าสัญญาณอ้างอิงมี 2 สัญญาณและมีมุมต่างเฟสกัน 180 องศาเป็นการยืนยันหลักการที่ว่า

ทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในขาเดียวกันนั้น ไม่สามารถนำกระแสในเวลาเดียวกันได้นอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นว่าเกิดสัญญาณทริกเกอร์ที่เกิดและรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตได้อย่างไร



รูปที่ 2.12 สัญญาณอ้างอิง 2 สัญญาณและมีมุมต่างเฟสกัน 180 องศา



รูปที่ 2.13 การมีอคตคูเลตตามความกว้างพัลส์แบบชานัน

สำหรับรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นสัญญาณทริกเกอร์ที่เกิดจากสัญญาณพาหะทิศทางเดียวซึ่งจะสร้างสัญญาณทริกเกอร์ที่เกิด ค่า rms แรงดันเอาต์พุตแปรค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง V_s โดยการปรับค่า M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

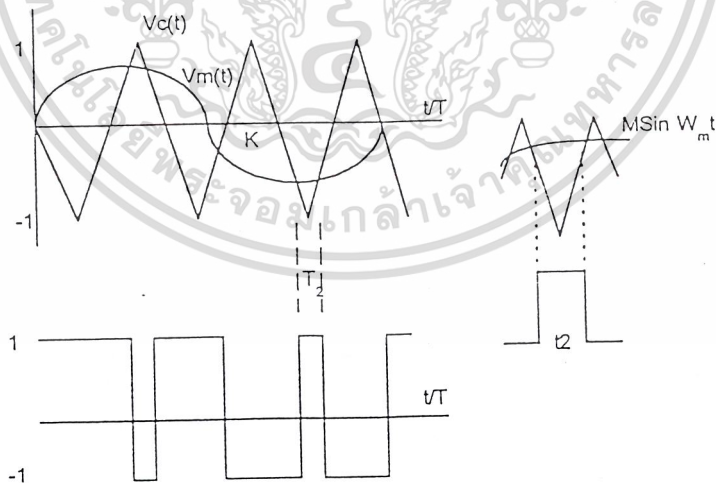
$$V_o = V_s \left(\sum_{m=1}^p \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

จาก 0 ถึง 1 นอกจากนี้ถ้ากำหนดให้ δ_m เป็นความกว้างของพัลส์ลำดับที่ m ก็จะสามารถหาค่า rms ของแรงดันเอาต์พุต ได้ดังสมการ

การมอดูเลตความกว้างของพัลส์แบบซายน์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation, SPWM) มีหลายวิธีแบ่งได้ 6 วิธี ได้แก่

2.5.1 วิธีเนเชอรัลแซมปลิง (Natural Sampling)

มีวิธีการสร้างรูปคลื่น PWM ดังรูปที่ 2.3 เหมาะสำหรับการออกแบบโดยใช้วงจรถอนาโลก เนื่องจากเป็นวิธีดั้งเดิมจึงนิยมให้เป็นรูปคลื่นเปรียบเทียบกับรูปคลื่นเปรียบเทียบกับรูปคลื่นที่สร้างโดยวิธีหนึ่ง วิธีนี้จะเกิดฮาร์โมนิกส์ย่อย (Subharmonic) ขึ้น หากสัดส่วนของความถี่ระหว่างรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่นำมามอดูเลตไม่จำเป็นจำนวนเต็มคี่ที่เป็นจำนวนสามเท่าของสาม ในบางครั้งจึงเรียกว่า “วิธีสับซาร์โมนิกส์แซมปลิง (Subharmonic Sampling)”

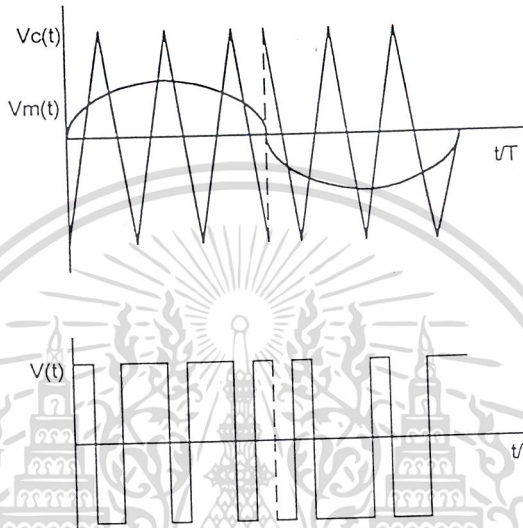


รูปที่ 2.14 การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธีเนเชอรัลแซมปลิง

2.5.2 วิธีโมดิฟายด์ซาร์โมนิกส์แซมปลิง (Modified Sampling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้สร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธีเดียวกับเนซอร์ลแชนเปลิ่งแต่จะปรับปรุง โดยให้ตัดส่วนของความถี่ระหว่างรูปคลื่นสามเหลี่ยมและรูปคลื่นที่นำมาถือจุดยอดเป็นจำนวนเต็มโดยครึ่งคาบของรูปคลื่นจะสมมาตรกันเพื่อลดการเกิดฮาร์โมนิคส์ย่อย ดังแสดงวิธีการสร้างรูปคลื่นดังรูปที่ 2.15



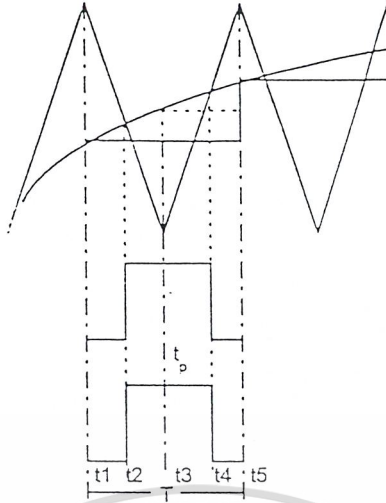
รูปที่ 2.15 การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธี โมดิฟายส์บัสฮาร์โมนิคส์แชนเปลิ่ง

2.5.3 วิธีซุ่มฟอร์มแซมเปลิ่งแบบสมมาตร (Symmetric Uniform Sampling)

ดังแสดงวิธีสร้างรูปคลื่น PWM ในรูปที่ 2.16 เป็นวิธีที่สามารถสร้างด้วยวงจรดิจิทัลได้ เนื่องจากรู้ตำแหน่งของการสุ่มค่าของรูปคลื่นที่นำมาถือจุดยอดที่แน่นอน วิธีนี้จะได้คลื่นพัลส์ในแต่ละช่วงสมมาตรกันและสามารถหาค่าความกว้างของพัลส์ได้จาก

$$T_p = \frac{T}{2} \{1 + M \sin(\omega_m t_1)\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธียูนิฟอร์มแซมปลิงแบบสมมาตร

2.5.4 วิธียูนิฟอร์มแซมปลิงแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Uniform Sampling)

มีวิธีสร้างรูปคลื่น PWM เช่นเดียวกับวิธียูนิฟอร์มแซมปลิงแบบสมมาตร แต่ตำแหน่งการสุ่มค่าของรูปคลื่นที่นำมาเมื่อคูณเลขเป็น 2 เท่า ทำให้รูปคลื่น PWM ใกล้เคียงกับวิธีเนเชอรัลแซมปลิงมากขึ้นสามารถหาความกว้างของพัลส์ได้จาก

$$T_p = \frac{T}{2} \left[1 + \left(\frac{M}{2} \right) \times \{ \sin(\omega_m t_1) + \sin(\omega_m t_3) \} \right]$$

2.5.5 วิธีดิจิตอลซายน์ (Digital Sinusoidal PWM)

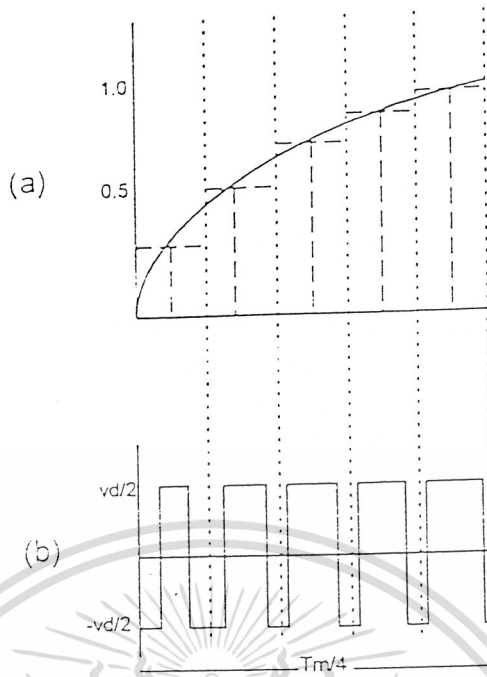
ดังรูปที่ 2.6 วิธีนี้เหมาะสมสำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ (Vector Control) เนื่องจากสามารถใช้ไมโครโปรเซสเซอร์คำนวณความกว้างของพัลส์ได้จาก สำหรับสวิตซ์ 2 ระดับ (Half Bridge)

$$T_p = \frac{T}{2} \{ 1 + M \sin(\omega_m t_1) \}$$

สำหรับสวิตซ์ 3 ระดับ (Full Bridge)

$$T_p = T \times M \sin(\omega_m t_1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธีแบบคิวิตคอลชายน

2.5.6 วิธีการมอดูเลตตำแหน่ง (Pulse Position Modulation หรือ PPM)

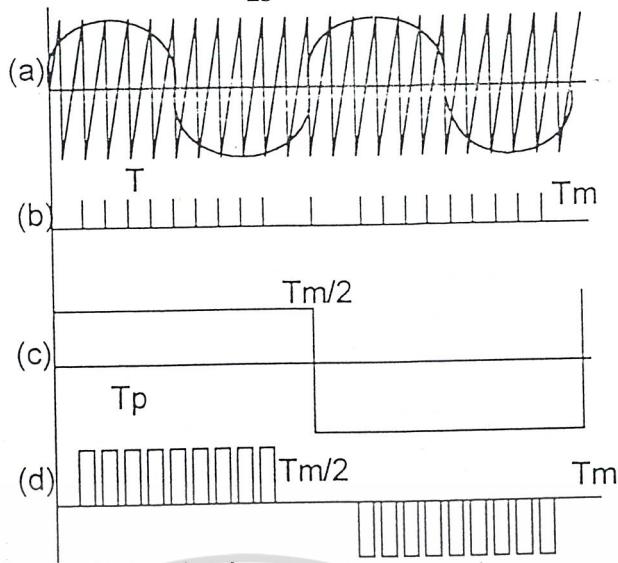
ตั้งรูปที่ 2.18 วิธีนี้ตำแหน่งของพัลส์จะเปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นที่นำมามอดูเลตโดยความกว้างของพัลส์จะกำหนดได้จาก

สำหรับสวิตซิ่ง 2 ระดับ (Half Bridge)

$$T_p = \frac{T}{2}(1+M)$$

สำหรับสวิตซิ่ง 3 ระดับ (Full Bridge)

$$T_p = T \times M$$



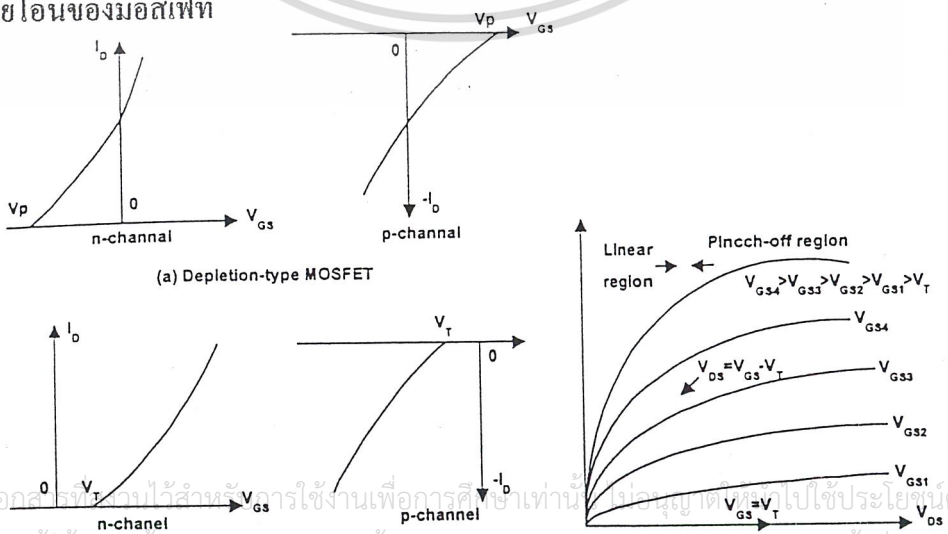
รูปที่ 2.18 การสร้างรูปคลื่น PWM ด้วยวิธีแบบมีอคตุลิตค่าตำแหน่ง

2.6 มอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่มี 3 ขอรส์ (Source ; S) ,เดรน (Drain ; D) และ เกท (Gate ; G) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion MOSFET) เรียกสั้น ๆ ว่า ดีมอสเฟต และ มอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หรือเรียกว่า อิมอสเฟต แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แชนเนล n (n-Channel) และแชนเนล p(p-Channel)

2.6.1 คุณลักษณะของมอสเฟต (MOSFET Characteristic)

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ประเภทที่ใช้แรงดันไฟฟ้าควบคุมและมีอิมพีแดนซ์อินพุตสูงมาก ขั้วเกท จะดึงกระแสรั่วไหลต่ำมากแค่ nanoampere และเราทราบว่าทรานส์คอนดักแตนซ์ (Transconductance ; g_m) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ I_D ต่อแรงดันเกท (V_G) เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะการถ่ายโอนของมอสเฟต



รูปที่ 2.19 คุณลักษณะในการถ่ายโอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดทั้งสิ้น อีกทั้งต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะในการถ่ายโอนของมอสเฟตแบบเซนแนด n และแบบเซนแนด p เป็นดังรูปที่ 2.20 (a) และส่วนรูป 2.20 (b) แสดงคุณลักษณะเอาต์พุตของอิมอสเฟต แบบเซนแนด n ซึ่งมีบริเวณการทำงาน 3 บริเวณคือ

1. บริเวณคัตออฟ (cutoff region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{GS} < V_T$
2. บริเวณพินช์ออฟหรือบริเวณอิ่มตัว (Pinch-off or saturation region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{DS} < V_{GS} - V_T$
3. บริเวณที่เป็นเชิงเส้น (Linear Region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{DS} > V_{GS} - V_T$

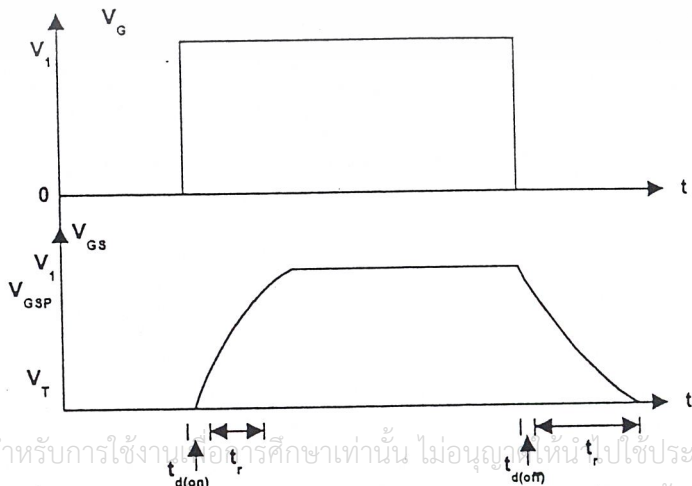
ในบริเวณที่เป็นเชิงเส้น I_D จะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของ V_{DS} และเนื่องจาก I_D มีค่าสูงขณะ V_{DS} มีค่าต่ำ อิมอสเฟตจึงใช้บริเวณที่เป็นเชิงเส้นนี้สำหรับแสดงปฏิกิริยาในการสวิตช์ สำหรับคีมอสเฟต แรงดันเกต (หรือแรงดันอินพุต) อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้แต่อิมอสเฟตตอบสนองกับแรงดันบวกเพียงอย่างเดียว ตามปกคีมอสเฟตกำลังมักเป็นประเภทอิมอสเฟต จึงขอกล่าวเฉพาะคุณลักษณะของอิมอสเฟตเท่านั้น

2.6.2 ประโยชน์และการใช้งานของมอสเฟตกำลัง

เนื่องจากมอสเฟตกำลังมีความเร็วในการสวิตช์สูงมาก (เป็น nanosecond) จึงเหมาะกับการเปลี่ยนผันที่มีความถี่สูงและมีกำลังไฟฟ้าต่ำแต่อย่างไรก็ตามอิมอสเฟตจะมีปัญหาในการคายประจุไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic discharge) ภายในตัวเอง จึงต้องบำรุงรักษาเป็นพิเศษ นอกจากนี้การป้องกันมอสเฟตขณะเกิดฟอลต์แบบลัดวงจร (Short Circuit Fault) ยังทำได้ค่อนข้างยาก

2.6.3 คุณลักษณะในการสวิตช์ (Switching Characteristics)

ผลกระทบที่เกิดจากคาปาซิเตอร์บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำภายในอิมอสเฟตทำให้เขียนรูปคลื่นในการสวิตช์เป็นดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 2.20 แสดงคาบเวลาการทำงานของ MOSFET

เมื่อป้อนแรงดันเกตจากศูนย์ถึง V_1 เวลาที่ใช้ในการอัดประจุคาปาซิเตอร์ (ภายในตัวของอีมอสเฟต) ให้มีค่าแรงดันระดับทรานซิสต์ (V_T) เราเรียกว่าช่วงเวลาที่เลยในการเปิด [Turn-on Delay Time ; $t_{d(on)}$] และช่วงเวลาขาขึ้น (t_r) เป็นเวลาอัดประจุจากระดับ V_T จนกระทั่งมีค่าถึงระดับแรงดันเกตเต็มที่ (Full Gate Voltage ; V_{GSP}) ซึ่งใช้ในการขับมอสเฟตไปสู่บริเวณเชิงเส้น เวลาที่คาปาซิเตอร์ในการคายประจุจาก V_1 ไปจนถึงบริเวณพินซ์ออฟ เรียกว่าช่วงเวลาที่เลยในการปิด [Turn-off Delay Time ; $T_{d(off)}$] และช่วงเวลาลง (t_f) เป็นเวลาที่คาปาซิเตอร์ใช้ในการคายประจุจากบริเวณพินซ์ออฟจนถึง V_T (ถ้า $V_{GS} < V_T$ มอสเฟตจะปิด)

2.7 IGBT

โครงสร้างของ IGBT ประกอบด้วยคือ ขาเดรน ,เกต และขาซอร์สซึ่งลักษณะโครงสร้างของ IGBT ส่วนใหญ่จะมีลักษณะคล้ายกับ โครงสร้างของมอสเฟตมากซึ่งจะแตกต่างกันที่ IGBT จะมีชั้น P หรืออินเจคติ้ง (injecting) ต่ออยู่ระหว่างขาเดรน ซึ่งในมอสเฟตนั้นไม่มี

2.7.1 สภาวะการนำกระแสของ IGBT

เมื่อขาเดรนได้รับแรงดันไบอัสตรงคือเป็นบวกเมื่อเทียบกับซอร์สและแรงดันระหว่างเกตกับซอร์สมีค่าเกิน V_{th} ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากแรงดันที่ขาเกตจะดึงเอาอิเล็กตรอนให้มารวมกันอยู่ในบริเวณใต้เกตแปรสภาพเป็น n ทำให้เกิดการต่อกันบริเวณ n- (drift region) เข้ากับบริเวณ n+ (source region) ซึ่งลักษณะเช่นนี้เหมือนกับการทำงานของมอสเฟต

กระแสของอิเล็กตรอนที่ไหลจากขาซอร์สผ่านมายังบริเวณใต้เกตมายังบริเวณรอยเลื่อนจะรวมกับโฮลที่เป็นพาหะข้างน้อยที่ถูกฉีดมาจากชั้นอินเจคติ้ง P+ เพราะรอยต่อ J1 ได้รับแรงดันไบอัสตรงทำให้ IGBT อยู่ในสภาวะนำกระแสเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากเดรนไปซอร์สได้ การรวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนภายในบริเวณ n- เรียกว่า การมอดูเลตสภาพนำ (Conductivity Modulation)

ผลของการมอดูเลตนี้ทำให้ความต้านทานบริเวณ n- มีค่าต่ำลงเป็นการเพิ่มความสามารถในการขับผ่านกระแสได้สูงขึ้นซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับทรานซิสเตอร์กำลังผลของความต้านทานที่ลดลงทำให้แรงดันลดลงทำให้แรงดันตกคร่อมที่สภาวะนำกระแสลดต่ำลงการสูญเสียกำลังงานขณะนำกระแสลดลงด้วย

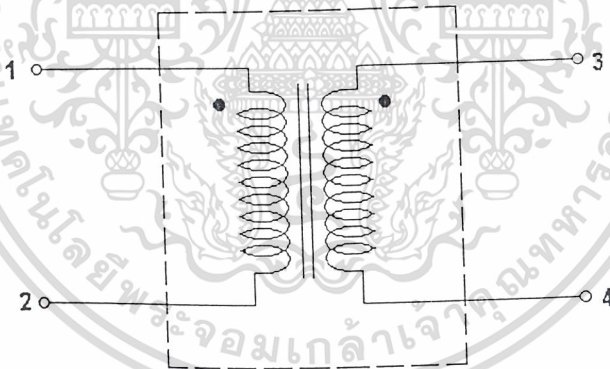
2.7.2 สภาวะการหยุดนำกระแสของ IGBT

เมื่อแรงดันระหว่างเกตและซอร์สลดลงต่ำกว่าแรงดัน $V_{GS(th)}$ จะทำให้มีแรงดันไม่เพียงพอ ไม่สามารถดึงพาหะข้างน้อยให้กลับไปยังขั้วลบและต้องอ้างอิงถึงแรงดันของเอกสารทุกครั้งที่มีการไปใช้ สำหรับการแปรสภาพชั้นบอดี้ P และ n ได้ทำให้บริเวณ n- ไม่ต่อกับบริเวณ n+ IGBT จึงอยู่ใน

สถานะหยุดนำกระแสในสถานะที่รอยต่อ J2 ที่ได้รับแรงดันไบอัสจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นนอกจากนี้ยังทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (Depletion region) ขึ้นที่รอยต่อ J2 ด้วย บริเวณปลอดพาหะนี้จะขยายบริเวณกว้างขึ้นจนเกินข้ามมายังบริเวณ n- มากกว่าที่จะขยายเข้าไปยังบริเวณผลิตพาหะนี้จะขยายบริเวณกว้างขึ้นจนเกินข้ามมายังบริเวณ n- มากกว่าที่จะขยายเข้าไปยังบริเวณชั้นบอดี P ทั้งนี้ชั้นบอดี P มีความหนาแน่นในการโด๊ปสารมากกว่า ถ้าความหนาแน่นของสารที่โด๊ปในบริเวณรอยต่อ n- มากเพียงพอที่จะทำให้การขยายของบริเวณปลอดพาหะไม่สามารถแตะกับชั้นอินเจกต์ P+ ได้

2.8 ทฤษฎีและการพันหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับถ่ายทอดหรือส่งพลังงาน ไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งไปอีกรวงจรถัดไป โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด มีสัญลักษณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า

ขดลวดทางด้านอินพุทของหม้อแปลงคือ ขั้ว 1 และ 2 เรียกว่าขดลวดปฐมภูมิทางด้านเอาต์พุท คือ ขั้ว 3 กับ ขั้ว 4 เรียกว่าขดลวดทุติยภูมิ

หม้อแปลงตัวหนึ่งอาจมีขดลวดทุติยภูมิหลาย ๆ ขดก็ได้ เครื่องหมายจุด (.) ที่ปลายขดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเข้าขดปฐมภูมิกับขั้วทุติยภูมิคือ ขั้วที่ 1 กับขั้วที่ 3 จะมีเฟสตรงกันคือในขณะที่ศักดาไฟฟ้าขั้วที่ 1 สูงกว่าขั้วที่ 2 ศักดาที่ขั้วออกที่ 3 จะสูงกว่าขั้วที่ 4 และในทำนองเดียวกัน ขณะที่ขั้ว 1 มีศักดาไฟฟ้าต่ำกว่าขั้วที่ 2 ขั้วที่ 3 ก็จะมีศักดาต่ำกว่าขั้วที่ 4

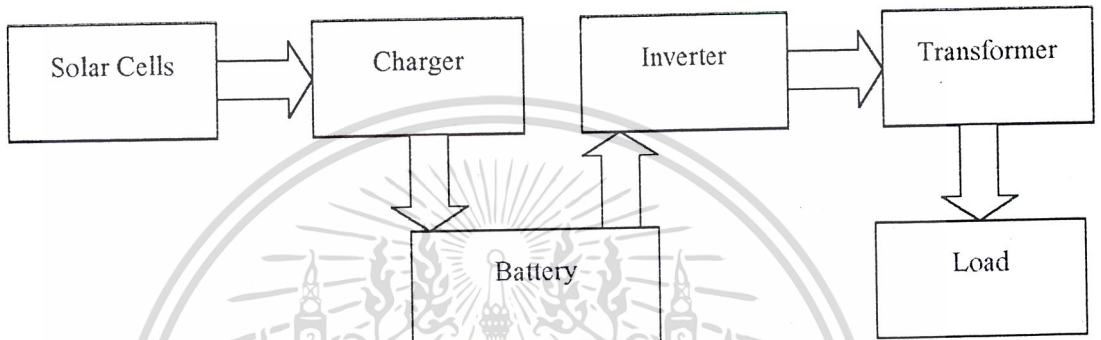
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 การออกแบบวงจรการทำงานจะอ้างอิงตามขอบเขตการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโครงงาน

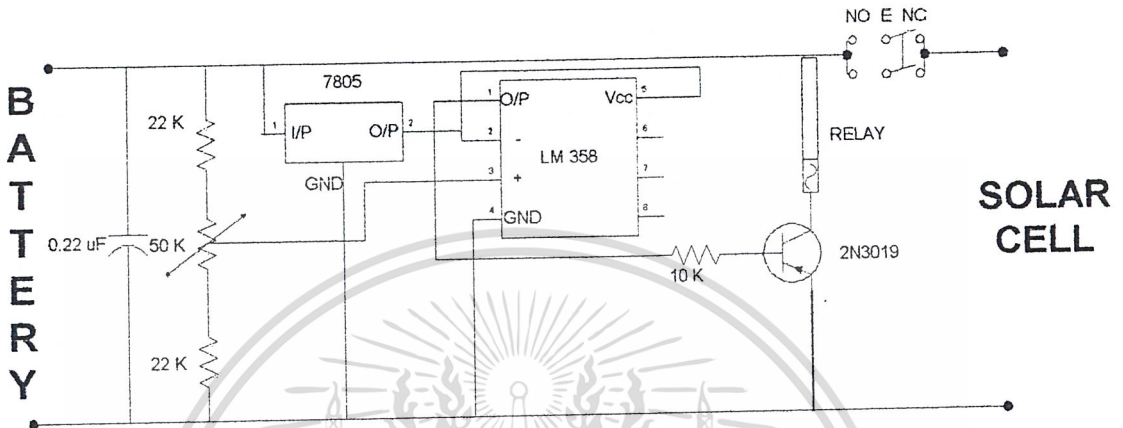
การทำงานของโครงงาน ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะเป็นการรับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาส่งต่อกับแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ในเวลากลางคืน โดยจะอาศัยอินเวอร์เตอร์ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และส่งผ่านหม้อแปลงยกกระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz

3.1 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Charger)

การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.2 เมื่อแรงดันทางด้านแบตเตอรี่เริ่มต่ำลง จะทำให้แรงดันที่ขาของ Op-amp ต่ำกว่าขาเปรียบเทียบจึงทำให้ Op-amp on เมื่อ Op-amp on จะทำให้ 2N3019 ทำงาน และจะทำให้ Relay ทำงาน เมื่อ Relay ทำงานหน้าสัมผัสก็จะปิด ทำให้ Solar cell จ่ายพลังงานเข้าแบตเตอรี่ เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อทั้งสอง อีกทางหม้อแปลงตัดแปลงเนอหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกฎระเบียบใช้แรงดันที่แบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้นจนเต็ม จะทำให้แรงดันที่ขาของ Op-amp สูงกว่าขาเปรียบเทียบจึงทำ

ให้ Op-amp off เมื่อ Op-amp off จะทำให้ 2N3019 ไม่ทำงาน และจะทำให้ Relay ไม่ทำงานหน้าสัมผัสก็จะเปิดออกและจะยุติการชาร์จ



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรอัตโนมัติประจุแบตเตอรี่

3.2 การคำนวณขนาดแบตเตอรี่

Load 50 W ที่ 220 Volt 10 ชั่วโมงต่อเนื่อง
ฉะนั้น

$$\text{Power Load} = 50 \times 10 = 500 \text{ whr}$$

กำหนดให้ ประสิทธิภาพของระบบ 75 %
ฉะนั้น

$$\text{Power Load} = 500 / 0.75 = 666.66 \text{ whr / day}$$

ที่ 12 V

$$\begin{aligned} \text{จะได้ขนาดของ Batt} &= 666.66 / 12 \\ &= 55.55 \text{ Ahr / day} \end{aligned}$$

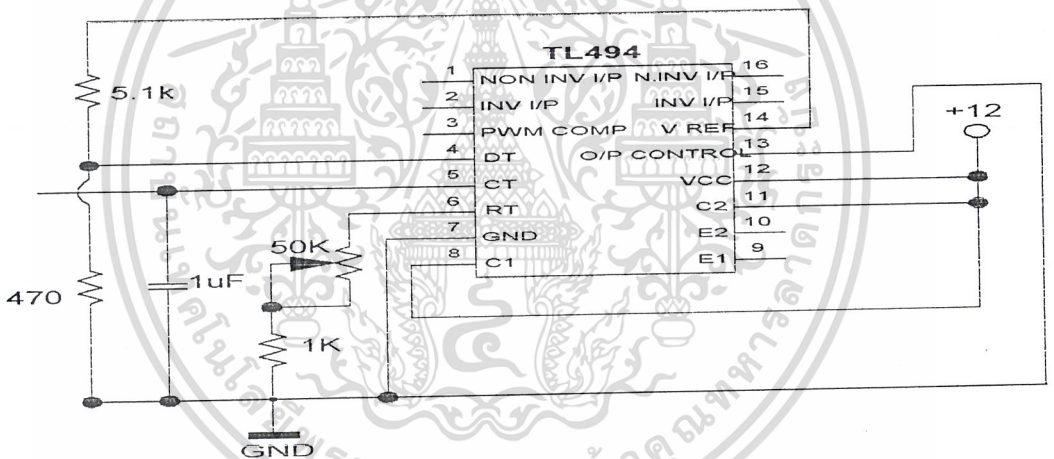
ถ้าใช้ 20 % ของ Batt = 55.55 Ahr/day

$$\begin{aligned} \text{จะได้ขนาดของ Batt} &= 55.55 / 0.2 \\ &= 277.75 \text{ Ahr / day} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **จะได้ขนาดของ Batt** เนื่องจาก = $55.55 / 0.3$ จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
= 185.16 Ahr / day

ในโครงการนี้สัญญาณซายน์ที่จะใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง ในการสร้างสัญญาณที่ดับบลิเวียม ซึ่งสัญญาณซายน์นี้ถูกกำเนิดขึ้นมาโดยใช้ไอซีเบอร์ XR2206 ซึ่งเป็น ไอซีกำเนิดสัญญาณ (Waveform Generated) ซึ่งสามารถที่จะปรับอัตราขยาย (amplitude) และความถี่ของสัญญาณ ได้ ซึ่งความถี่สามารถที่จะปรับได้โดยการปรับค่าความต้านทานที่ขา 7 โดยเราจะปรับเป็นสัญญาณซายน์ความถี่ 50 Hz ส่วนอัตราขยาย สามารถปรับได้โดยการปรับค่าความต้านทานที่ขา 3 ซึ่งจะตั้งเป็นค่าคงที่ไว้ค่าหนึ่ง แต่จะต้องไม่เกินขนาดของแรงดันของรูปคลื่นสามเหลี่ยมฟันเลื่อย ซึ่งเป็นสัญญาณแครเรียร์ (carrier signal) มิฉะนั้นจะเกิดการ โอเวอร์ มอดูเลชัน (over modulation) ดังรูปที่ 3.3 จะแสดงถึงวงจรกำเนิดรูปคลื่นซายน์ โดยใช้ไอซี XR2206

การทำงานของวงจร TL494



รูปที่ 3.4 แสดงวงจร TL494

การทำงานของวงจรจะเป็นการนำสัญญาณซายน์ที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณซายน์โดยการนำเอาที่พ่วงจากวงจรกำเนิดสัญญาณซายน์ที่ขา 2 มาเข้าไอซี TL494 ที่อินพุทขา 3 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อยภายในไอซี TL494 ซึ่งจะสามารถปรับความถี่ของสัญญาณฟันเลื่อยโดยการปรับค่าความต้านทานที่ขา 6 (RT) และจะได้เอาท์พุทที่ได้จะมีลักษณะ HIGH และ LOW ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นที่เอาท์พุทขา 9 และ ขา 10 ซึ่งทั้งสองขาจะมีลักษณะสัญญาณเหมือนกัน ดังแสดงวงจรตามรูปที่ 3.4

การออกแบบภาคควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ หวังให้ผู้ที่เกี่ยวข้องให้ติดต่อแจ้งข้อผิดพลาดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณและการออกแบบภาคควบคุมในโครงงานนี้ใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ TL494 ทำการควบคุมการทำงานของไอจีบีที ที่จะทำงานที่ระดับความถี่เท่าใด โดยการกำหนดความถี่ทำได้ โดยการหาค่า R_T และ C_T ที่เหมาะสมต่อที่ขา 5 และขา 6 ของไอซีตามลำดับ

$$\text{ที่ } f = 3 \text{ kHz}$$

ทำการคงค่า C_T ไว้ที่ $0.1 \mu\text{F}$

จะได้

$$T = \frac{1}{3 \times 10^3}$$

$$= 0.33 \text{ mSec}$$

จาก สมการ

$$T = \frac{R_T \times C_T}{1.1}$$

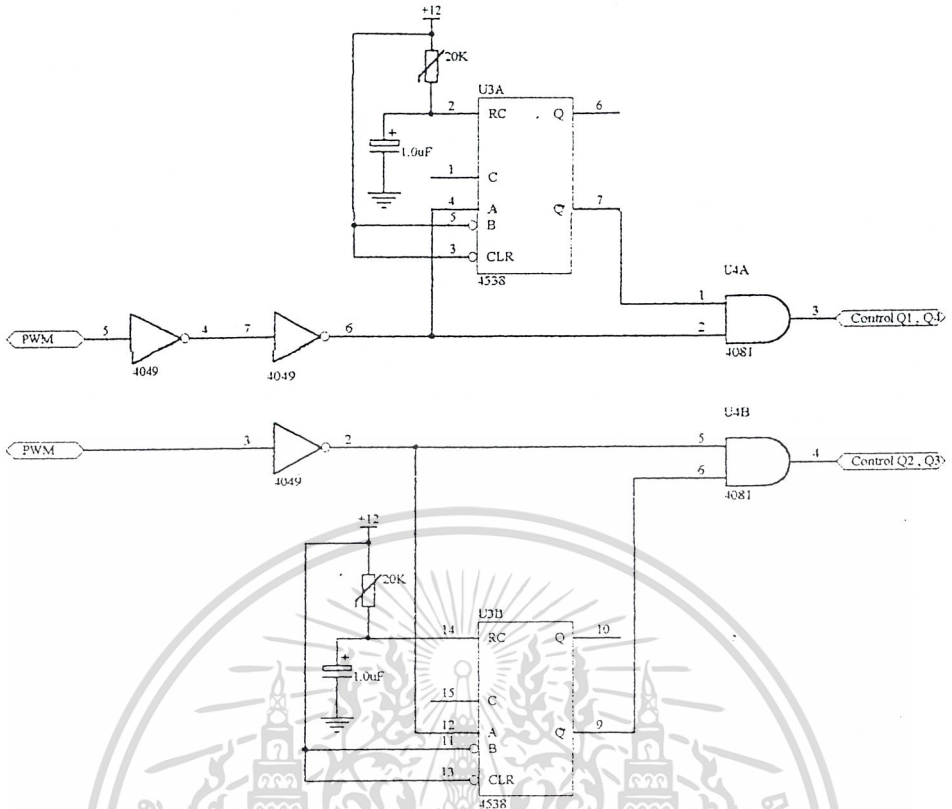
ทำการเลือกค่า R_T ได้ $R_T = 3.6 \text{ k}\Omega$

ได้ R_T เป็นความต้านทานปรับค่าได้ตั้งแต่ $0-50 \text{ k}\Omega$

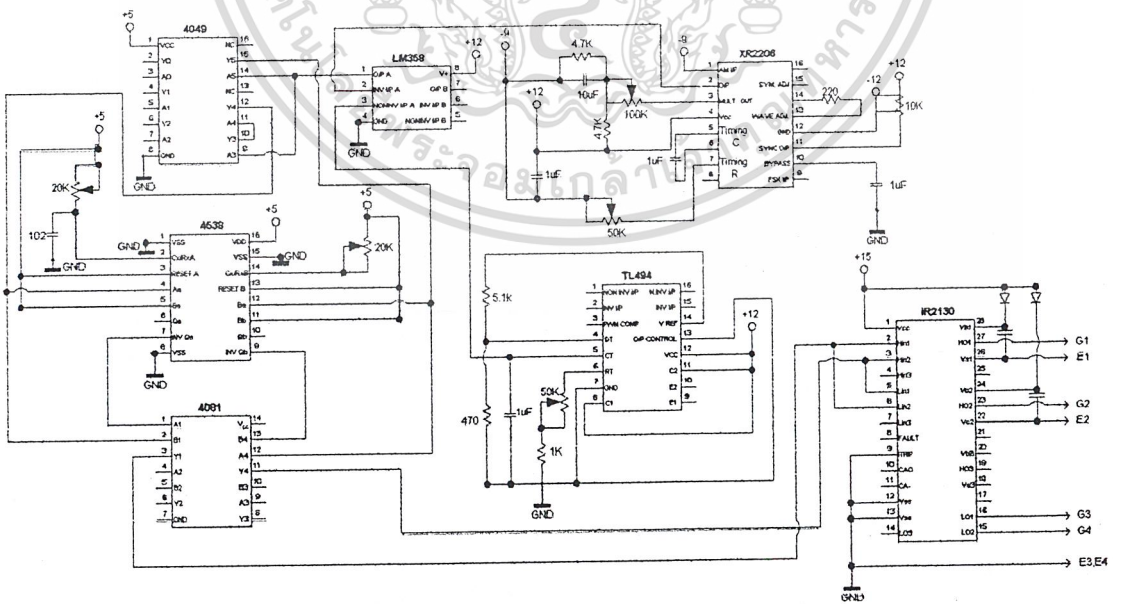
การทำงานของวงจรหน่วงเวลา

การทำงานของวงจรเป็นการนำสัญญาณเอาท์พุทจากไอซี TL494 ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็นสองชุดซึ่งทั้งสองชุดจะต้องมีสัญญาณต่างกัน 180 องศาโดยการใช้ไอซี เบอร์ 4049 ทำหน้าที่กลับสัญญาณ และมีไอซีเบอร์ 4538 ทำหน้าที่หน่วงสัญญาณจากขอบของอินพุทพัลส์ และสร้างเอาท์พุทพัลส์ที่สามารถปรับความกว้างได้โดยอุปกรณ์ภายนอกก็คือ C_x และ R_x ที่ขา RC สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากการหน่วงเวลาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณก่อนถูกหน่วงเวลาด้วยไอซีเบอร์ 4081 โดยที่ ถ้าสัญญาณทั้งสองมีลักษณะ HIGH เหมือนกันจะได้สัญญาณ HIGH และถ้าทั้งสองสัญญาณมีลักษณะต่างกันและทั้งสองสัญญาณมีลักษณะ LOW จะได้สัญญาณ LOW สัญญาณที่ได้ในแต่ละชุดจะต้องมีลักษณะต่างกันเพื่อป้องกันการทำงานพร้อมกันของสวิตช์ (Dead Time) ที่ต่อเป็น ฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ สัญญาณที่ได้นี้จะใช้ควบคุมการสวิตช์ของฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ มีลักษณะวงจรตามรูปที่ 3.5

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



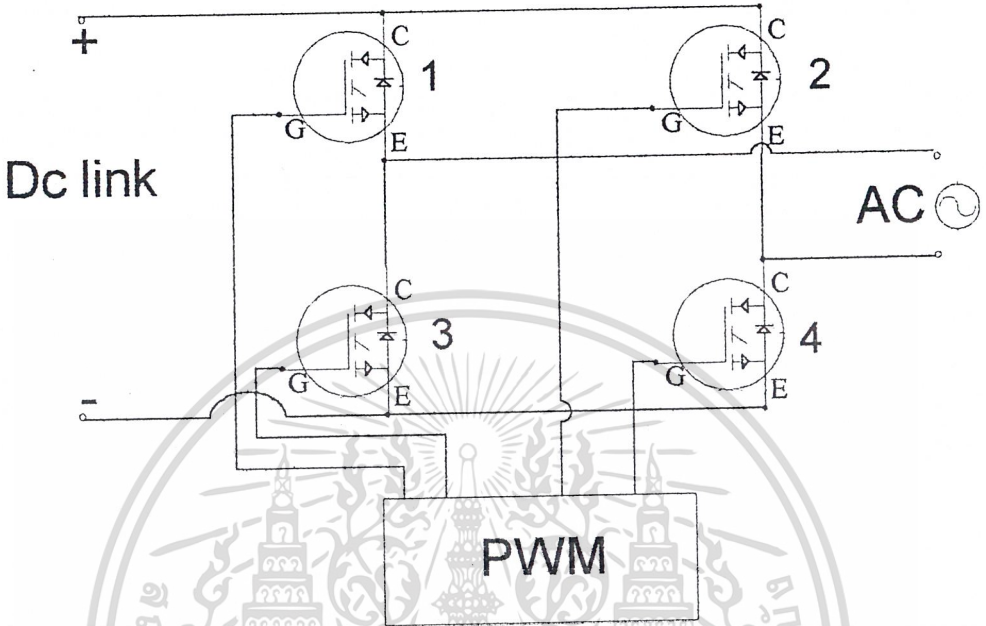
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรหน่วงเวลา



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรกำลัง



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรกำลัง

การทำงานของวงจรกำลังใช้การควบคุมจากวงจรควบคุมสัญญาณทริกที่ขาคดของไอจีบีที เมื่อไอจีบีทีที่ได้รับสัญญาณทริกจะทำให้มีกระแสไหล โดยไอจีบีที 1 และ 4 จะทำงานพร้อมกัน และ ไอจีบีที 2 และ 3 จะทำงานพร้อมกัน แต่ละคู่จะมีการทำงานไม่พร้อมกันจะสลับกันทำงานทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

3.5 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเอาต์พุตฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ของระบบ จ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 8V/220V 50VA

- หาขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง \sqrt{VA} และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Area = \frac{\sqrt{VA}}{5.58}$$

$$= 1.27 \text{ ตารางนิ้ว}$$

จากตารางขนาดแกนเหล็กในภาคผนวก ค เลือกแกนเหล็กขนาด D เท่ากับ 1.0625 นิ้ว หนา 1.5 นิ้ว มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 1.594 ตารางนิ้ว (1.028×10^{-3} ตารางเมตร) และจากตารางชนิดของแกนเหล็กในภาคผนวก ค เลือกแกนเหล็กชนิดเกรด 23ZH100 M-1 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 1.8 Tesla

- หาจำนวนรอบของขดลวดค้ำปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จำนวนรอบค้ำปฐมภูมิ} &= \frac{4}{4 \times 50 \times 1.8 \times 1.028 \times 10^{-3}} \\ &= 21.62 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ใช้ 22 รอบ

- หาจำนวนรอบของขดลวดค้ำทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จำนวนรอบค้ำทุติยภูมิ} &= \frac{N_1 \times E_2}{E_1} \\ &= \frac{35 \times 220}{24} \\ &= 605 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ใช้ 605 รอบ

- หาขนาดลวด โดยเลือกใช้ค่า 700 เซอร์คิวลาร์มิล / แอมป์

$$\begin{aligned} \text{กระแสอินพุตค้ำปฐมภูมิ} &= \frac{VA}{V} \\ &= \frac{50}{8} \\ &= 6.25 \end{aligned}$$

$$\text{ต้องให้ลวดมีขนาด } 700 \times 6.25 = 4,375 \text{ เซอร์คิวลาร์มิล}$$

จากตารางขนาดลวดภาคผนวก ค เลือกใช้ลวดเบอร์ 15 SWG

$$\begin{aligned} \text{กระแสเอาต์พุตค้ำทุติยภูมิ} &= \frac{50}{220} \\ &= 0.227 \end{aligned}$$

$$= 1.47 \text{ แอมป์}$$

$$\text{ต้องให้ลวดมีขนาด } 700 \times 1.47 = 161 \text{ เซอร์คิวลาร์มิล}$$

จากตารางขนาดลวดภาคผนวก ค เลือกใช้ลวดเบอร์ 29 SWG

- หาขนาดแกนเหล็กและบ๊อบบิ้น

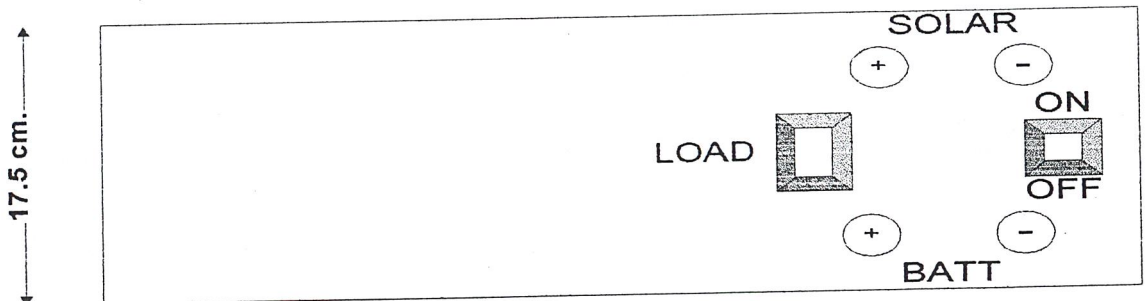
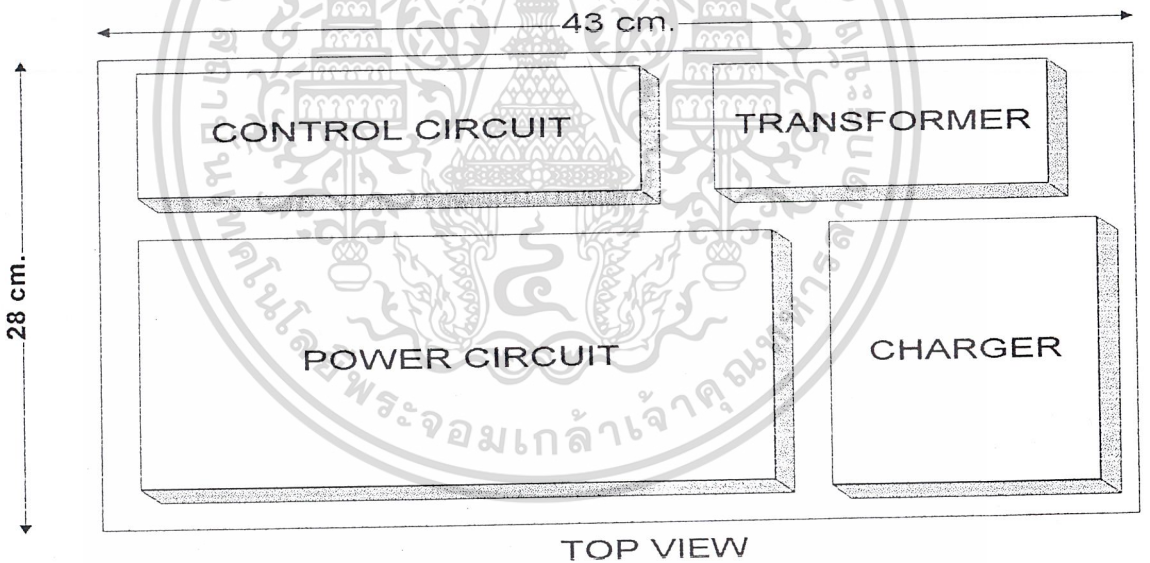
จากตารางภาคผนวก ค เลือกขนาดแกนเหล็กที่มีขนาดช่องกลาง 1.0625 นิ้ว และกำหนดให้มีความหนา 1.5 นิ้ว

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัด} &= 1.0625 \times 1.5 \\ &= 1.59 \text{ ตารางนิ้ว} \end{aligned}$$

เลือกขนาดบ๊อบบิ้นขนาด 1.0625×1.5 นิ้ว

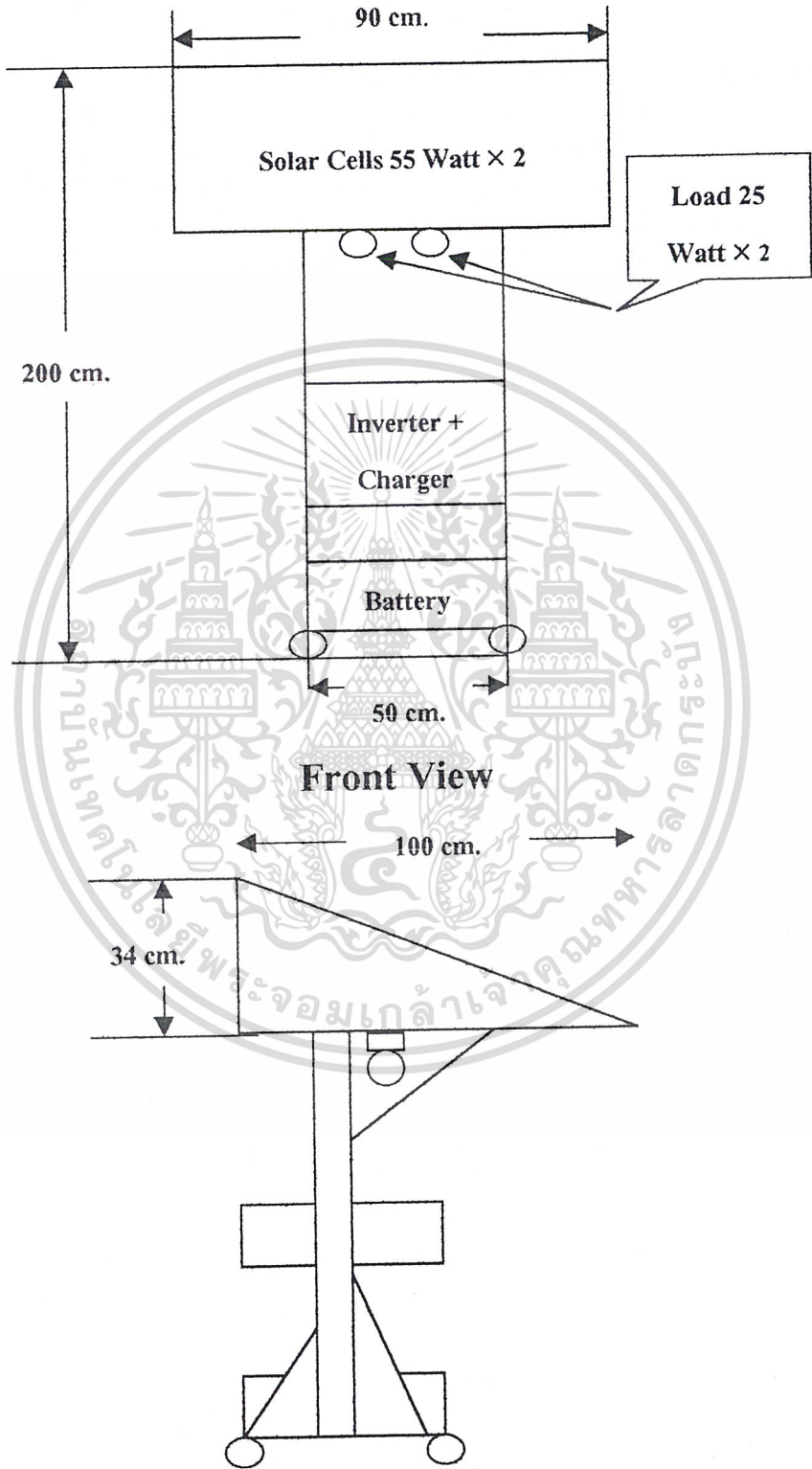
3.6 การจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง

ในโครงการนี้ได้มีการออกแบบนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มารวมกันไว้ในกล่อง เพื่อความสะดวกในการใช้งานและเคลื่อนย้าย ภายในกล่องประกอบด้วย อุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบชั้นวางโครงงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 3.9 รูปแสดงการจัดวางชิ้นงาน

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบหาเส้นแสดงคุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์

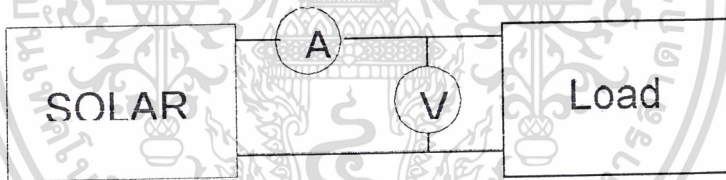
การทดสอบเพื่อหาเส้นแสดงคุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ (VI-Characteristic)

โดยทำการทดสอบตลอดวัน

อุปกรณ์การทดลอง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 watt จำนวน 2 แผง
2. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
3. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
4. แผงความต้านทาน

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงการทดลองหาเส้นแสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

วิธีการทดลอง

ทำการวัดค่ากระแสและแรงดันในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งวัดค่าแรงดันขณะเปิดวงจร , กระแสในขณะที่ลัดวงจร และแรงดันกับกระแสที่ความต้านทานต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.2 โอห์มถึง 28 โอห์ม โดยทำการทดลองทุกครั้งชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 08.00 น. – 15.30 น.

ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลองแรงดันขณะเปิดวงจรและกระแสที่ลัดวงจรที่เวลาต่าง ๆ

เวลา	V open circuit (V)	I short circuit (A)
8.30	19.32	2.25
9.00	18.20	2.4

เวลา	V open circuit (V)	I short circuit (A)
9.30	18.8	4.5
10.00	18.6	5.2
10.30	18.5	5.4
11.00	18.4	5.8
11.30	18.3	5.4
12.00	18.17	5.2
12.30	18.4	4.7
13.00	18.5	4.6
13.30	18.2	4.5
14.00	18.5	4.8
14.30	17.8	1.5
15.00	18.2	1.4
15.30	18.1	0.9

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแรงดันขณะเปิดวงจรและกระแสในขณะที่ยัดวงจรที่เวลาต่างๆ

4.1.2 ผลการทดลองแรงดันและกระแสโดยเปลี่ยนค่าโหลดความต้านทานเวลา 12.00 น.

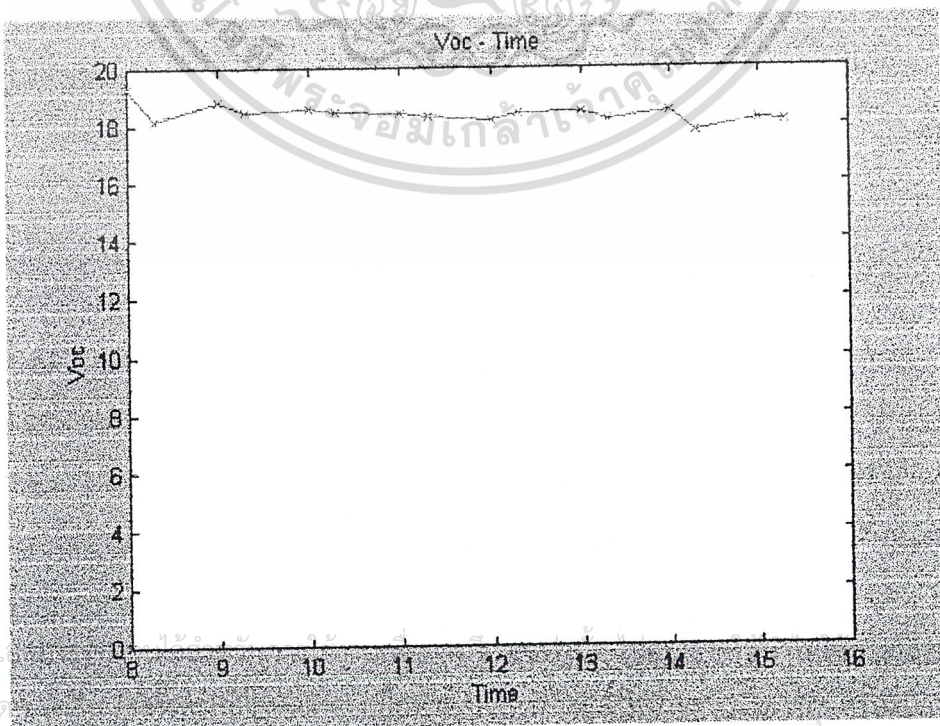
ลำดับ	R	V (V)	I (A)	ลำดับ	R	V (V)	I (A)
1	28	17.2	0.6	19	3.8	14.0	3.6
2	24	17.1	0.6	20	3.6	13.8	3.8
3	20	17.0	0.7	21	3.4	13.6	4.0
4	18	17.0	0.8	22	3.2	13.3	4.2
5	16	16.9	0.9	23	3	12.7	4.3
6	14	16.9	1.0	24	2.8	12.3	4.5
7	12	16.7	1.1	25	2.6	11.8	4.7
8	10	16.6	1.3	26	2.4	11.2	4.8
9	9	16.5	1.4	27	2.2	10.4	4.9

ลำดับ	R	V (V)	I (A)	ลำดับ	R	V (V)	I (A)
10	8	16.4	1.5	28	2	9.8	5.0
11	7	16.3	1.7	29	1.8	8.9	5.1
12	6	16.1	1.8	30	1.6	8.0	5.1
13	5	15.9	2.0	31	1.4	6.9	5.1
14	4.8	15.9	2.0	32	1.2	5.9	5.1
15	4.6	15.8	2.1	33	1	5.1	5.2
16	4.4	15.8	2.2	34	0.8	4.1	5.2
17	4.2	15.8	2.2	35	0.6	3.0	5.2
18	4	15.7	2.3	36	0.4	1.9	5.2

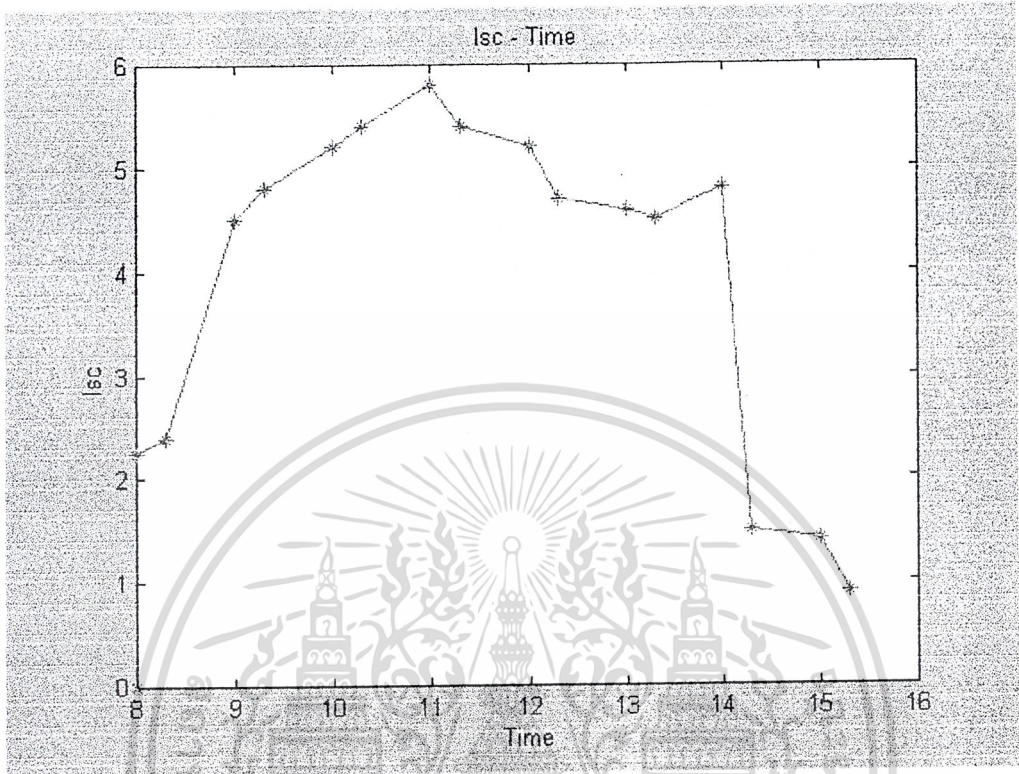
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแรงดันและกระแสโดยเปลี่ยนค่าโหลดความต้านทานเวลา 12.00 น.

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.1 นำมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Matlab เพื่อหาเส้นแสดงแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) และกระแสลัดวงจร (I_{sc}) ที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของ แรงดันเปิดวงจรกับเวลา



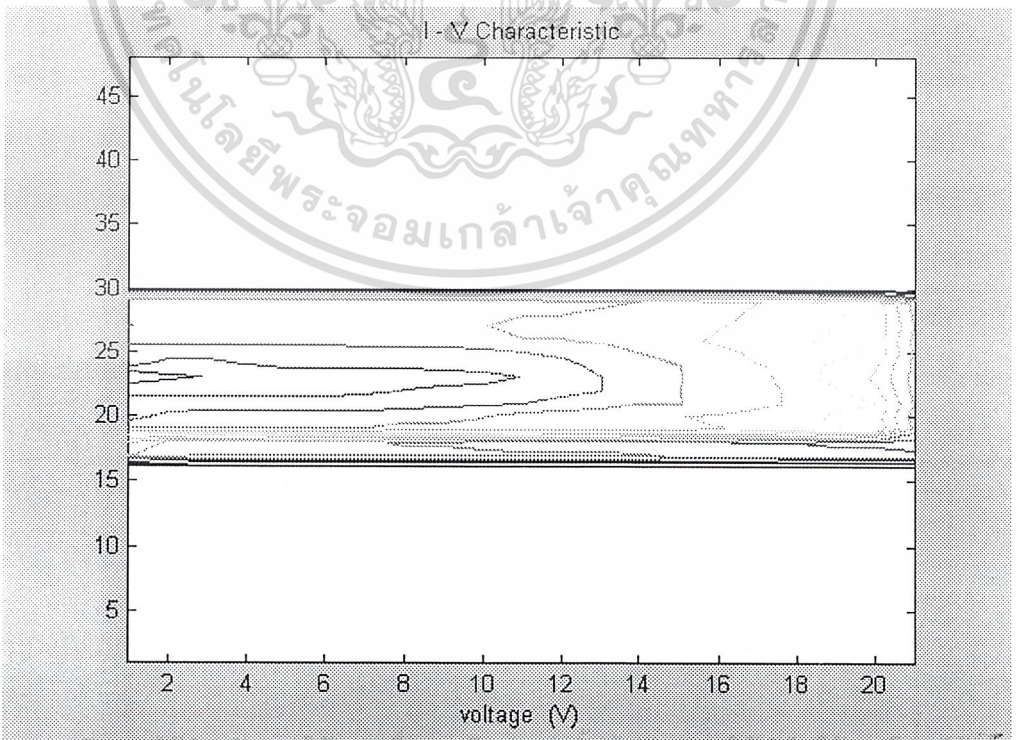
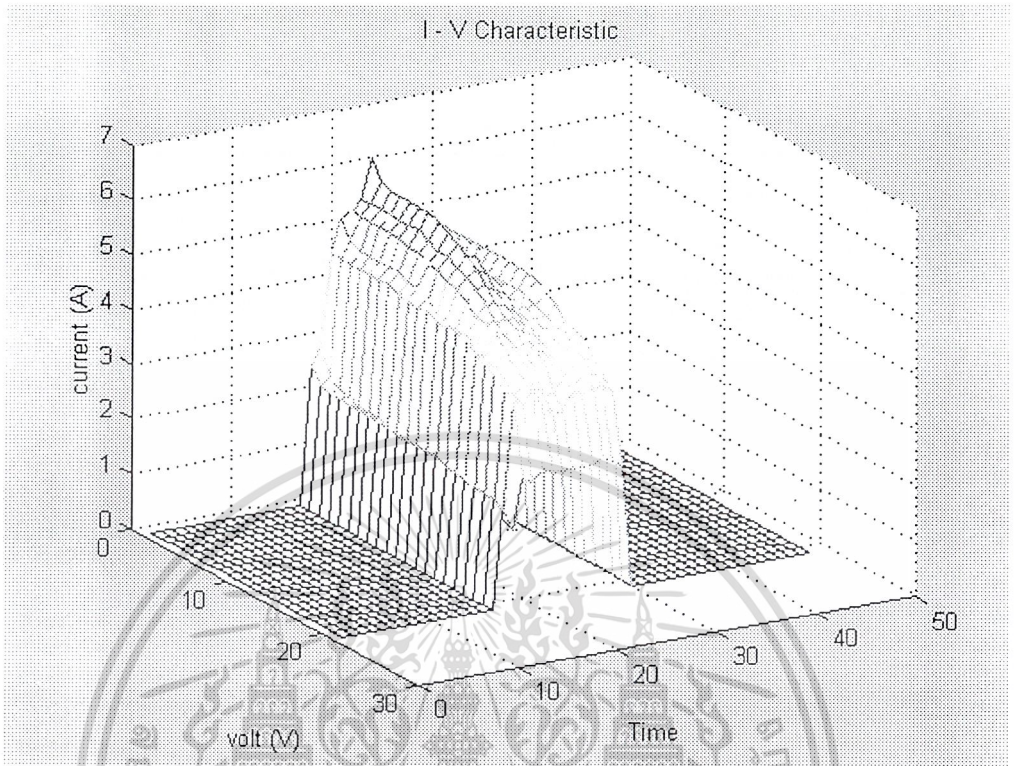
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสลัดวงจรกับเวลา

จากรูปกราฟที่ 4.2 พบว่าค่าแรงดันเบ็ดดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปโดยที่จะสังเกตได้ว่าจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาเข้าใกล้เวลา 12.00 น. หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเวลาประมาณ 14.00 น. หรืออุณหภูมิตกลงทำให้สามารถสรุปได้ว่าผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวว่า ค่าแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

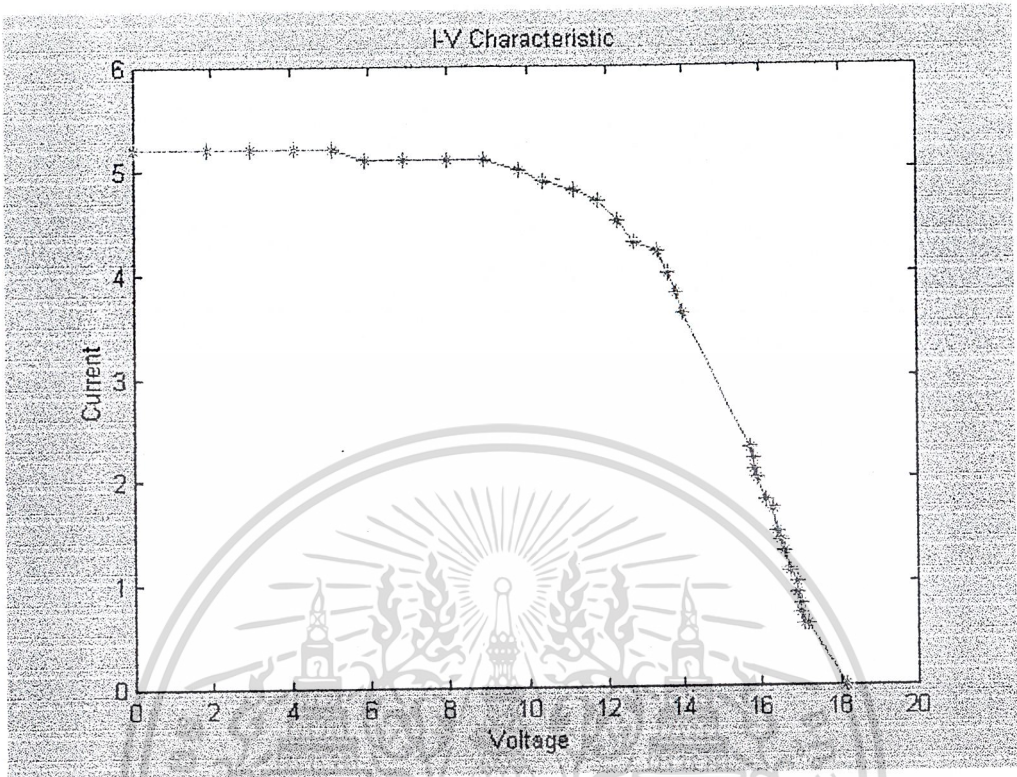
จากรูปกราฟที่ 4.3 พบว่าค่ากระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาโดยค่ากระแสลัดวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเข้าใกล้เวลา 12.00 น. หรือความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและจะลดลงอีกครั้งเมื่อเวลาประมาณ 14.30 น. หรือความเข้มแสงอาทิตย์ลดลง ทำให้สามารถสรุปได้ว่าผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวว่า ค่ากระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์

จากการทดสอบที่ค่าเวลาต่าง ๆ นำไปประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Matlab เพื่อหาเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารของโรงเรียนอาชีวศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวทศเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิได้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 4.4 เ็นแสดงคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.5 เส้นแสดงคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12.00 น.

จากรูปกราฟที่ 4.4 (a) เป็นเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส ที่ค่าเวลาต่าง ๆ กัน แสดงการทดสอบตั้งแต่เวลา 8.00 – 15.30 น. ส่วนรูปกราฟที่ 4.4 (b) เป็นการแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน(แกนนอน)และเวลา(แกนตั้ง) สามารถอธิบายจากกราฟได้ว่าที่ตำแหน่งที่มีความเข้มแสงเดียวกันจะได้เส้นกราฟที่มีสีเดียวกัน และความเข้มแสงจะมากหรือน้อยสามารถดูได้จากสีของรูปกราฟโดยความเข้มแสงจะมีค่ามากที่สุดจะแสดงด้วยสีแดงเข้มและความเข้มแสงที่ต่ำลงมาจะแสดงด้วยสีเหลือง เขียว น้ำเงินเข้ม ตามลำดับ และผลจากการทดสอบดังตารางที่ 4.2 และรูปกราฟที่ 4.5 จะเป็นผลการทดลองที่เวลา 12.00 น. ส่วนผลการทดลองโดยละเอียดจะสามารถอ่านได้ที่ภาคผนวก ง

4.2 การทดลองชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้ชุดชาร์จแบตเตอรี่

เป็นการทดลองชาร์จไฟจากแผงโซลาร์เซลล์ ผ่านชุดชาร์จแบตเตอรี่เข้าแบตเตอรี่เพื่อเก็บ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไฟฟ้าใช้จ่ายโหลดในเวลากลางคืน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อต้องการทดลองประสิทธิภาพในการชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ ของชุดชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่มีไฟเพียงพอที่จะจ่ายโหลดในเวลากลางคืนได้

อุปกรณ์การทำงาน

1. แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 55 Watt จำนวน 2 แผง
2. ชุดชาร์จแบตเตอรี่
3. แบตเตอรี่
4. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รูปแสดงการทดลอง



รูปที่ 4.6 การทดลองชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้ชุดชาร์จแบตเตอรี่

วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.6
2. วัดค่าแรงดันและกระแสก่อนผ่านชุดชาร์จทุก 1 ชั่วโมง
3. วัดค่าแรงดันและกระแสหลังผ่านชุดชาร์จทุก 1 ชั่วโมงเช่นเดียวกับข้อ 2
4. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

เวลา	$V_1(V)$	$I_1(A)$	$V_2(V)$	$I_2(A)$	$P_{in}(W)$	$P_{out}(W)$	Eff
8.30	13.2	3.6	12.1	3.5	47.52	42.35	0.89
9.30	13.4	3.8	12.3	3.7	50.92	45.51	0.89
10.30	13.8	4.75	12.6	4.6	65.55	57.96	0.88
11.30	14	5	12.7	4.5	70	57.15	0.82
12.30	13.9	4.6	12.8	4.5	63.94	57.6	0.90
13.30	14.2	5.1	12.85	4.5	72.42	57.82	0.80

เวลา	V_1	I_1	V_2	I_2	$P_{in}(W)$	$P_{out}(W)$	Eff
14.30	14	4.5	12.9	4.4	63	56.76	0.90
15.30	13.05	1.5	12.7	1.4	19.58	17.78	0.91
16.30	12.75	0.75	12.6	0.6	9.56	7.56	0.79

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่ซาร์จลงแบตเตอรี่โดยผ่านชุดซาร์จ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 ทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพของชุดซาร์จอยู่ในช่วงประมาณ 80-90% และเนื่องจากปริมาณแสงอาทิตย์ในแต่ละวันมีค่าไม่แน่นอน ดังเช่นตารางที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่าปริมาณแสงอาทิตย์จะลดลงมากตั้งแต่วันที่ 15.30 น. เป็นต้นไปเนื่องจากปริมาณเมฆค่อนข้างหนา ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุไฟไม่ได้เต็มที่ อาจส่งผลให้ไม่สามารถจ่ายโหลดได้ต่อเนื่องดังที่ได้ออกแบบเอาไว้ข้างต้น เพราะฉะนั้นถ้าปริมาณแสงมีมากเพียงพอตลอดทั้งวันแบตเตอรี่จะได้รับการประจุไฟฟ้าอย่างเพียงพอที่จะจ่ายโหลดต่อเนื่องได้ตามที่ออกแบบไว้

4.3 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

จุดประสงค์การทดลอง

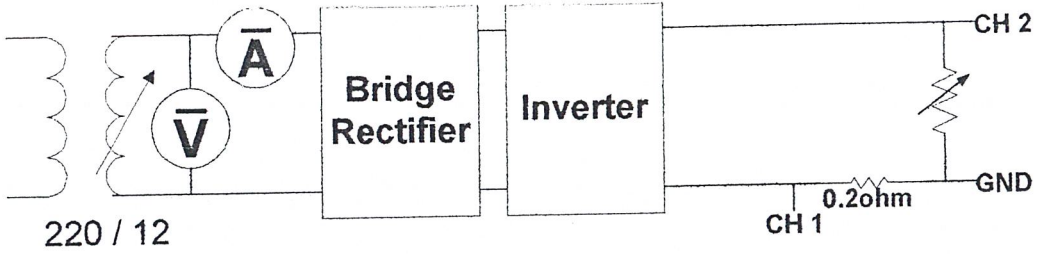
เพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการ ทั้งนี้ยังจำเป็นสำหรับการนำไปออกแบบหม้อแปลงด้วย

อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่
2. อินเวอร์เตอร์
3. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. Storage Scope
6. ความต้านทานขนาด 2 โอห์ม 1 ตัวและ 10 โอห์ม 25 ตัว

รูปแสดงการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงการทดสอบหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

วิธีการทดลอง

1. ต่อดังตามรูป 4.7
2. วัดค่าแรงดันขณะเปิดวงจร
3. ใช้โหลดเป็นความต้านทาน
4. บันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต
5. บันทึกค่าแรงดันและค่านวณกระแสด้านเอาต์พุตจาก Storage Scope
6. เปลี่ยนโหลดความต้านทานในข้อ 3 และบันทึกตามข้อ 4 และ 5
7. คำนวณประสิทธิภาพของ Inverter
8. คำนวณ Voltage Regulation ของ Inverter

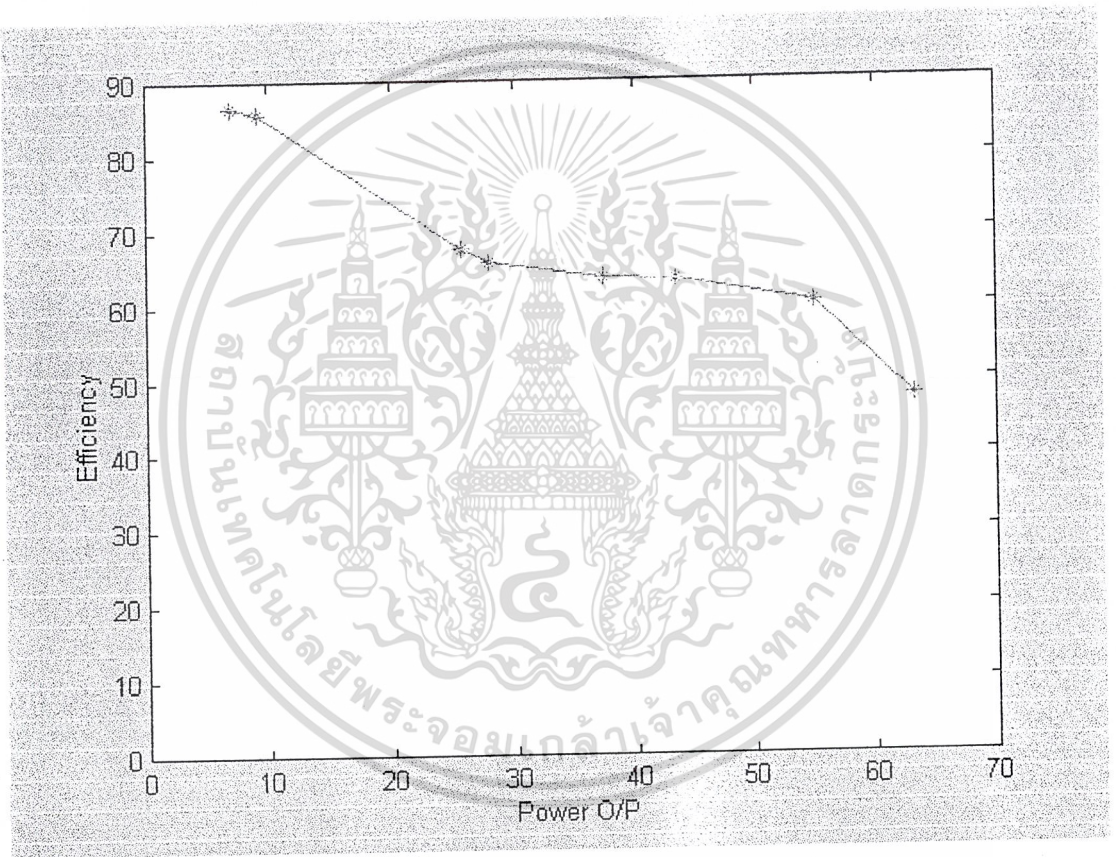
ผลการทดลอง

INPUT			OUTPUT			Eff	%Voltage Regulation
Voltage	Current	Power I/P	Voltage	Current	Power O/P		
12	0.7	8.4	9.26	0.75	6.95	86.68	14.73
12	0.9	10.8	9.07	1.02	9.25	85.66	16.48
12	3.17	38.04	7.8	3.3	25.74	67.6	28.37
12	3.55	42.6	7.55	3.7	27.97	65.6	30.67
12	4.9	58.8	7.4	5.05	37.37	63.55	32.04
12	5.7	68.4	7.25	5.8	43.27	63.25	33.49
12	7.6	91.2	6.78	8.1	54.91	60.21	37.74
12	11.1	133.2	5.9	10.7	63.13	47.39	45.82

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

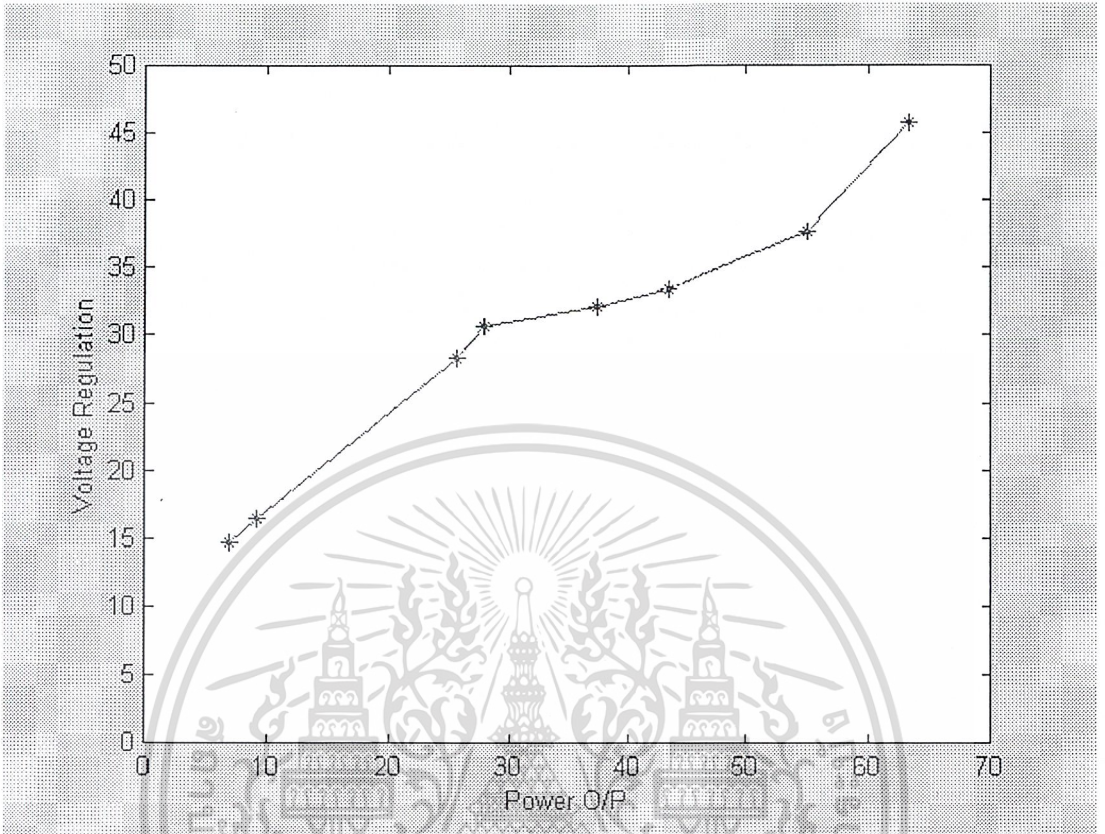
วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.1 นำมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Matlab เพื่อหาเส้นแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพต่อกำลังด้านเอาต์พุต และแสดงระหว่าง Voltage Regulation ต่อกำลังด้านเอาต์พุต ได้ดังรูป 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 เส้นแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพต่อกำลังด้านเอาต์พุตของ Inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 เส้นแสดงความสัมพันธ์ Voltage Regulation ต่อกำลังด้านเอาต์พุตของ Inverter

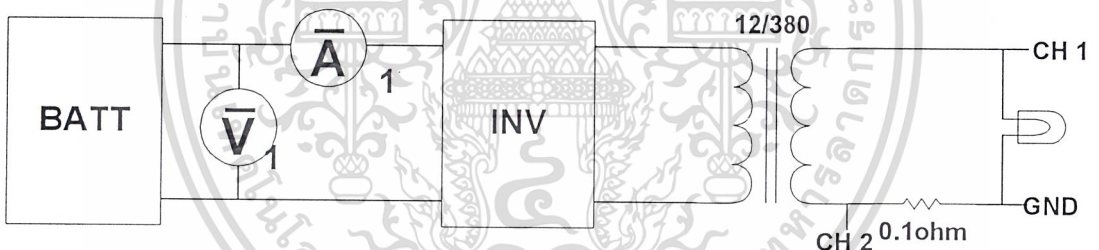
จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของ Inverter จะมีค่าลดลงเมื่อกำลังด้านเอาต์พุตมากขึ้น และจากรูปที่ 4.9 ค่า Voltage Regulation จะมีค่ามากขึ้นเมื่อกำลังด้านเอาต์พุตมากขึ้น

4.4 การทดสอบหาเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบจ่ายไฟ

วัตถุประสงค์ เพื่อหาเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดหลอดไฟที่ใช้ในการทดลอง
อุปกรณ์

1. แบตเตอรี่
2. อินเวอร์เตอร์
3. Displacement Factor Meter
4. Storage Scope
5. สายไฟ
6. ความต้านทานขนาด 0.1Ω
7. หลอดไฟไส้ขนาด 25 Watt จำนวน 2 หลอด

รูปแสดงการทดลอง



รูปที่ 4.10 วงจรการทดลองหาเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบจ่ายไฟ

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.10
2. วัดค่า displacement factor
3. ใช้ Storage Scope วัดขนาดฮาร์โมนิก
4. คำนวณหา distortion factor โดยใช้ program ช่วยคำนวณ
5. คำนวณหาเพาเวอร์แฟคเตอร์จาก

$$P.F. = \text{displacement factor} \times \text{distortion factor}$$

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ จากการใช้วัดด้วย displacement factor meter ได้ค่า = 1.00

f (kHz)	ΔP (dB)
1.04	-12.7
2.89	-10.8
2.93	-15
2.94	-9.2
2.97	-16.1
2.98	-8.9
2.99	-4.2
3.00	-16.7
3.03	-16.5
3.04	-9.4
3.08	-16.8
3.09	-11.8
4.02	-16.3
4.03	-8.6

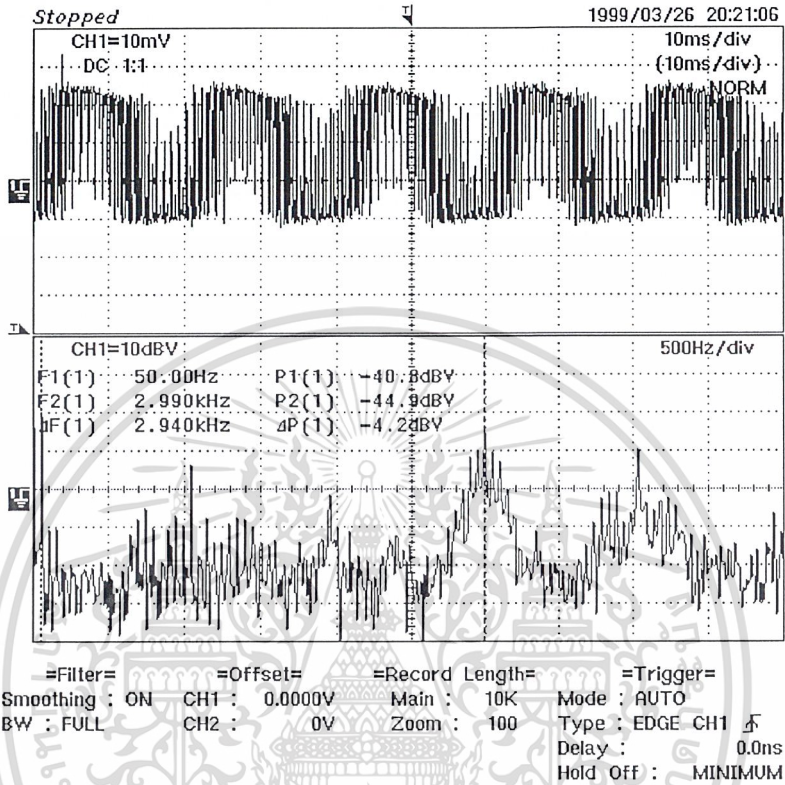
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่า ΔP ที่ความถี่ต่าง ๆ

จากการคำนวณโดยใช้ Program จะได้ distortion factor = 0.67

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองหาเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบจ่ายไฟ เหตุที่ต้องใช้การคำนวณแบบนี้เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของระบบมีลักษณะไม่เป็นสัญญาณชานี่ ทำให้เกิดฮาร์โมนิกขึ้นดังนั้นจึงต้องหา %THD มาเพื่อคำนวณหา distortion factor ซึ่งได้จากการวัดจากรูปสัญญาณเอาต์พุตด้วย Storage Scope แล้วนำไปเข้าโปรแกรมจะได้ distortion factor ออกมา แล้วนำไปคำนวณเพื่อหาเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบออกมา จะได้เพาเวอร์แฟคเตอร์ซึ่งมีค่าเป็น 0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น

4.5 การทดสอบหาคุณสมบัติรวมของระบบจ่ายไฟ

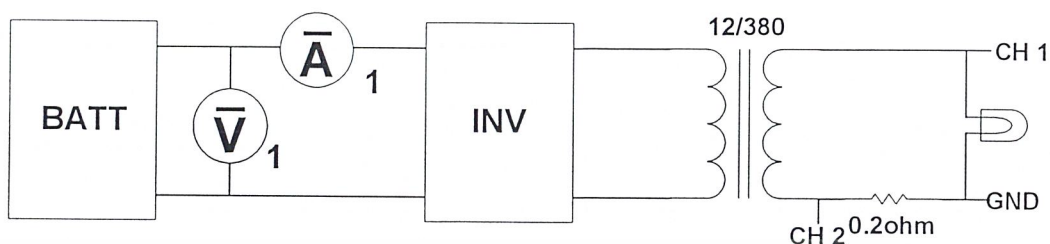
จุดประสงค์การทดลอง หาประสิทธิภาพรวมและโวลต์เตจเลกคูเลเตอร์ของวงจรรวมอุปกรณ์การทดลอง

1. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
3. Battery
4. Inverter
5. Storage Scope
6. หลอดเผาไส้ 25 W 4 หลอด

7. ความต้านทาน 0.1 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงการทดลอง



รูปที่ 4.12 รูปแสดงการทดลองหาค่าคุณสมบัติรวมของระบบจ่ายไฟ

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.12
2. เปลี่ยนจำนวนโหลดเผาไส้จาก 25 W ไปจนถึง 100 W
3. วัดค่ากระแสและแรงดันไฟตรง ตามข้อ 2
4. ใช้ Storage Scope จับค่าแรงดันคร่อมโหลดตลอดเผาไส้และ R (0.2 โอห์ม) ตามข้อ 2
5. คำนวณกระแสด้านไฟสลับ
6. คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ
7. คำนวณหา % Voltage Regulation

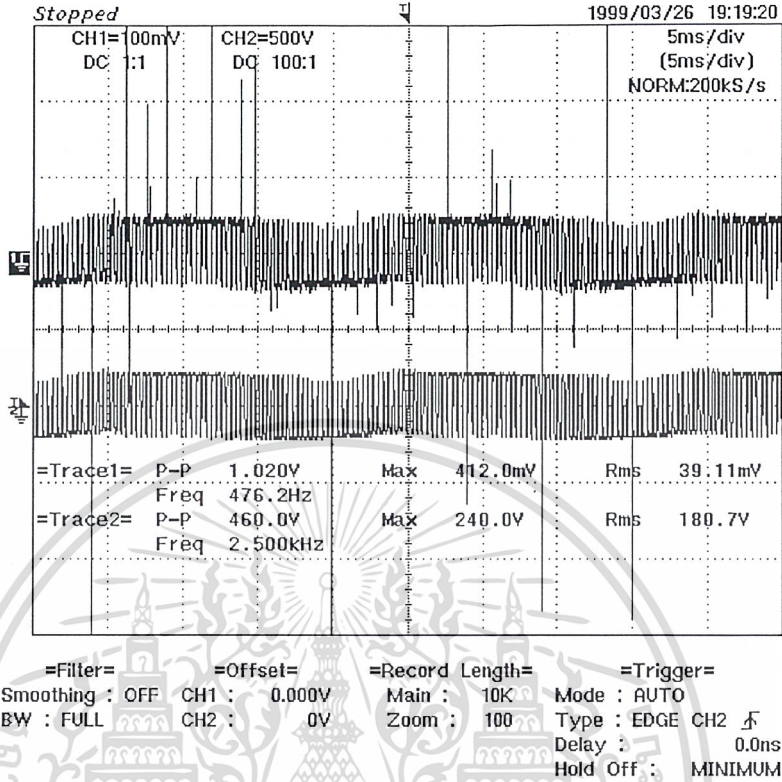
ผลการทดลอง

Load (Watt)	Input		Output		P i/p (Watt)	P o/p (Watt)	%V _{reg}	Eff (%)
	V _{in}	I _{in}	V _{out}	I _{out}				
0 (No load)	12.3	0.8	360.2	0	9.84	0	0	-
25	12.1	4	216	0.11	48.4	15.92	40.00	32.89
50	12.1	6.4	180.7	0.20	77.44	24.21	49.81	31.26
75	12.1	7.9	138.7	0.25	95.59	25.3	61.47	26.47
100	12	9.3	116.5	0.32	111.6	26.98	67.64	24.18

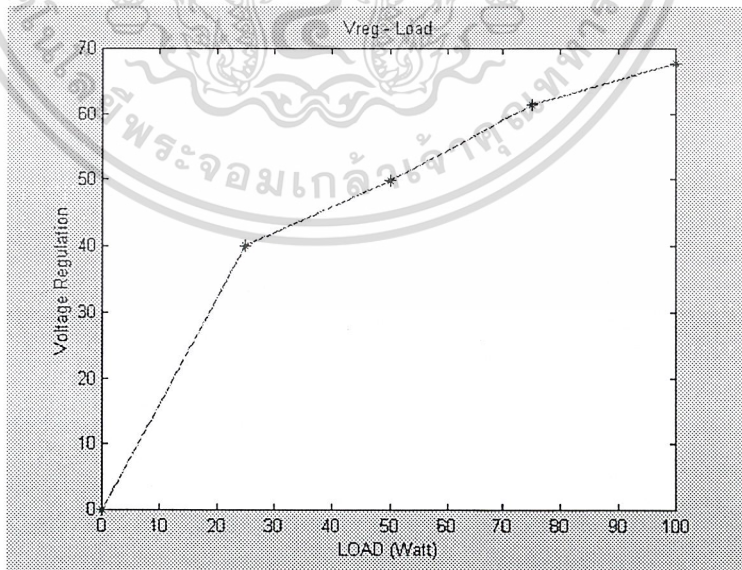
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติรวมของระบบจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่า วิกิสาระพัดผล จะมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

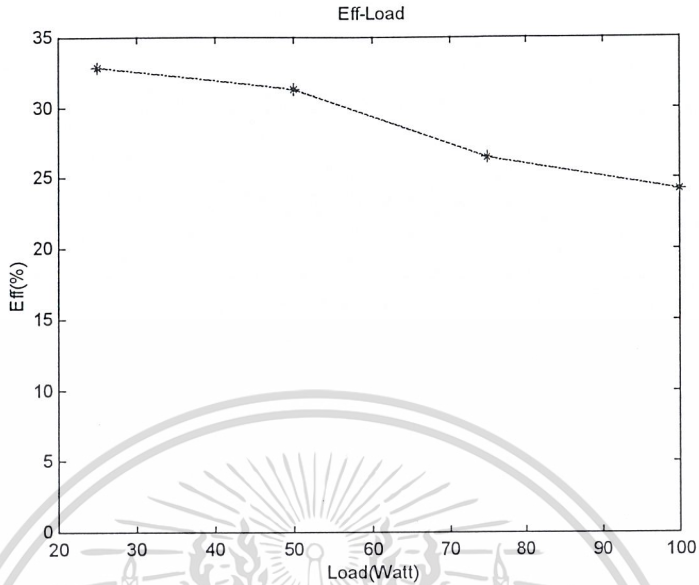


รูปที่ 4.13 แสดงการทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ขนาด 50 Watt



รูปที่ 4.14 รูปกราฟระหว่าง Voltage Regulation และโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 รูปกราฟระหว่าง ประสิทธิภาพ และ โหลด

จากผลการทดลองได้แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตขนาด 50 Watt สำหรับ โหลดขนาด 25 Watt, 75 Watt และ 100 Watt สามารถอ่านได้จากภาคผนวก ก จากรูปที่ 4.13 CH1 จะเป็นการวัดแรงดันคร่อมความต้านทาน 0.1Ω เพื่อนำไปหากระแสเอาต์พุต และ CH 2 เป็นการวัดแรงดันเอาต์พุตของระบบ และจากรูปที่ 4.14 แสดงรูปกราฟระหว่าง Voltage Regulation และ โหลดค่าต่าง ๆ ซึ่งจากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าประสิทธิภาพของระบบค่อนข้างต่ำ ทำให้ค่า Voltage Regulation ของระบบมีค่าสูงมาก

4.6 การทดสอบจ่ายโหลด

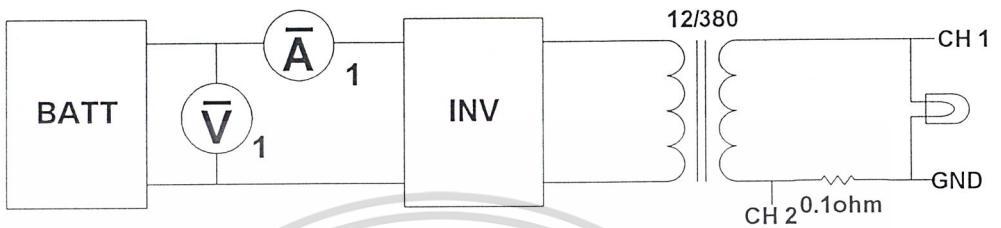
จุดประสงค์การทดลอง เพื่อแสดงว่าระบบสามารถใช้งานได้จริงในการจ่ายโหลดต่าง ๆ กัน

อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่
2. อินเวอร์เตอร์
3. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. Storage Scope

6. หลอดไฟขนาด 25 Watt จำนวน 2 หลอด

รูปแสดงการทดลอง



รูปที่ 4.16 รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลด

วิธีการทดลอง

1. ต้องจรงตามรูป Load หลอดเผาไส้ 25 W 2 หลอด ต่อความต้านทานค่าน้อย (0.1Ω) เพื่อวัดค่ากระแส
2. วัดค่ากระแสและแรงดันด้านไฟตรงทุก ๆ 1 ชั่วโมง
3. วัดค่าแรงดันตกคร่อมความต้านทาน 0.1Ω และแรงดันทางด้านไฟสลับพร้อมกับวัดค่าแรงดันไฟตรง
4. คำนวณหากะแสไฟที่ไหลในวงจรทางด้านไฟสลับ

$$I = \frac{V}{R}$$

5. คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ

$$Eff = \frac{V_{ac} I_{ac} \cos \theta}{V_{dc} I_{dc}}$$

6. คำนวณหา %Voltage Regulation จาก

$$V_{reg} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

การทดลองจ่ายโหลด 25 Watt 10 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	V_{dc} (V)	I_{dc} (A)	V_{ac} (V)	I_{ac} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Eff	% V_{reg}
1	12.3	4	246	0.11	49.2	18.13	36.85	31.67
2	12.25	3.9	244.1	0.11	47.78	17.99	37.65	32.19
3	12.25	3.8	241.5	0.11	46.45	17.80	38.32	32.92
4	12.2	3.75	239.2	0.11	45.75	17.63	38.53	33.56
5	12.15	3.65	238.5	0.11	44.34	17.58	39.64	33.75
6	12.1	3.6	237.6	0.11	43.56	17.51	40.20	34.00
7	12	3.55	236.4	0.10	42.6	15.84	37.18	34.33
8	12	3.5	235.5	0.10	42	15.78	37.57	34.58
9	11.95	3.45	235	0.11	41.23	17.32	42.01	34.72
10	11.95	3.45	234.9	0.10	41.23	15.74	38.17	34.75

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองจ่ายโหลดหลอดไฟขนาด 25 Watt 10 ชั่วโมง

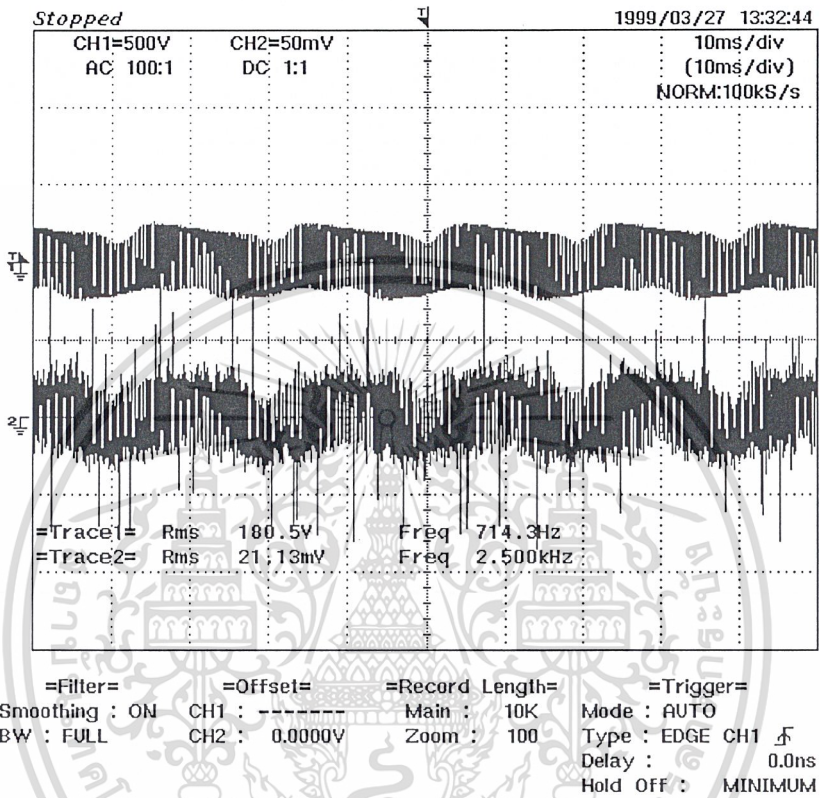
การทดลองจ่ายโหลด 50 Watt 10 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	V_{dc} (V)	I_{dc} (A)	V_{ac} (V)	I_{ac} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Eff	% V_{reg}
1	12.1	6.5	180.5	0.21	78.65	25.40	32.29	49.86
2	12.05	6.45	178.1	0.22	77.72	26.25	33.78	50.53
3	12	6.4	175	0.21	76.8	24.62	32.06	51.39
4	11.9	6.35	172.9	0.21	75.57	24.33	32.19	51.97
5	11.8	6.3	172.4	0.20	74.34	23.10	31.08	52.11
6	11.75	6.2	171.1	0.21	72.85	24.07	33.05	52.47
7	11.65	6.1	165.2	0.2	71.06	22.14	31.15	54.11
8	11.6	6.05	164.7	0.21	70.18	23.17	33.02	54.25
9	11.5	6	162.8	0.20	69	21.82	31.62	54.78
10	11.45	5.9	159.2	0.20	67.55	21.33	31.58	55.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นผู้ที่มีหนังสือขออนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

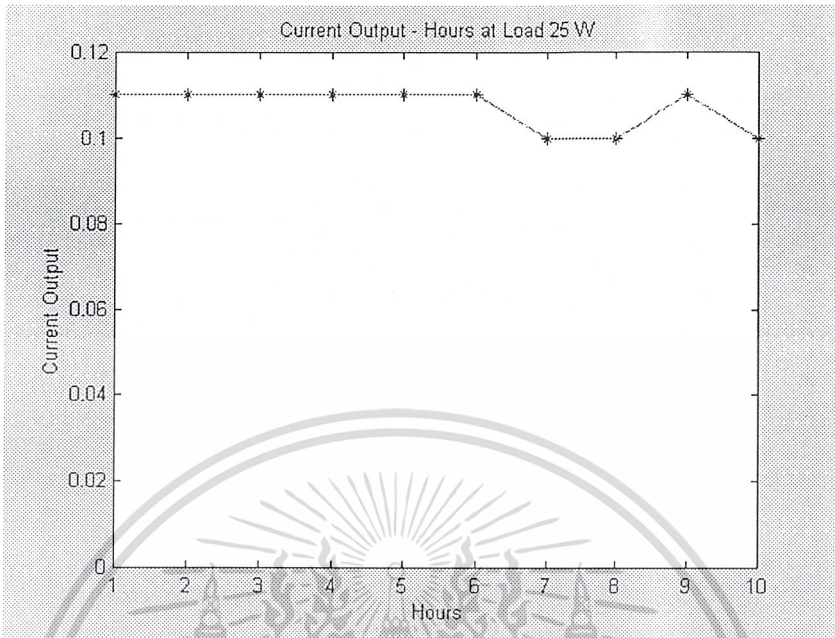
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองจ่ายโหลดหลอดไฟขนาด 50 Watt 10 ชั่วโมง

วิเคราะห์ผลการทดลอง

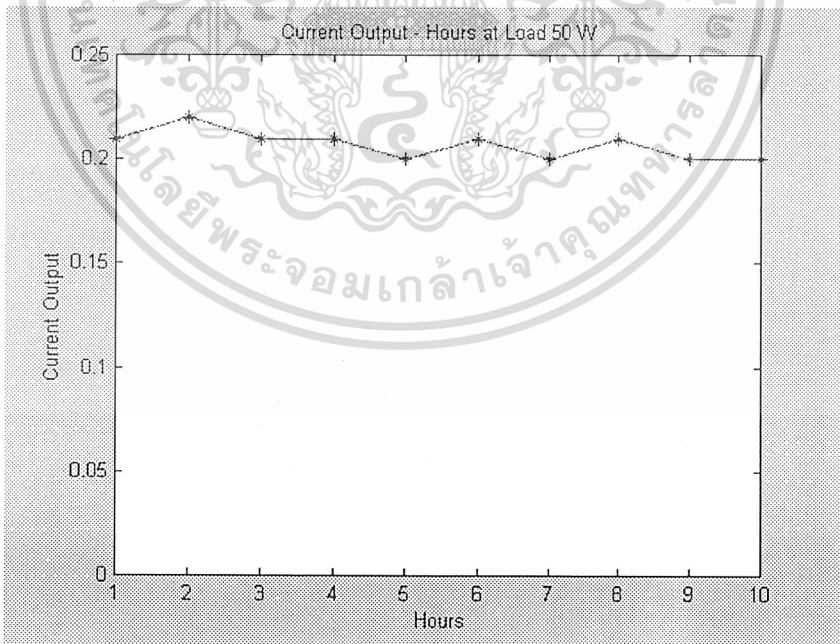


รูปที่ 4.17 แสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

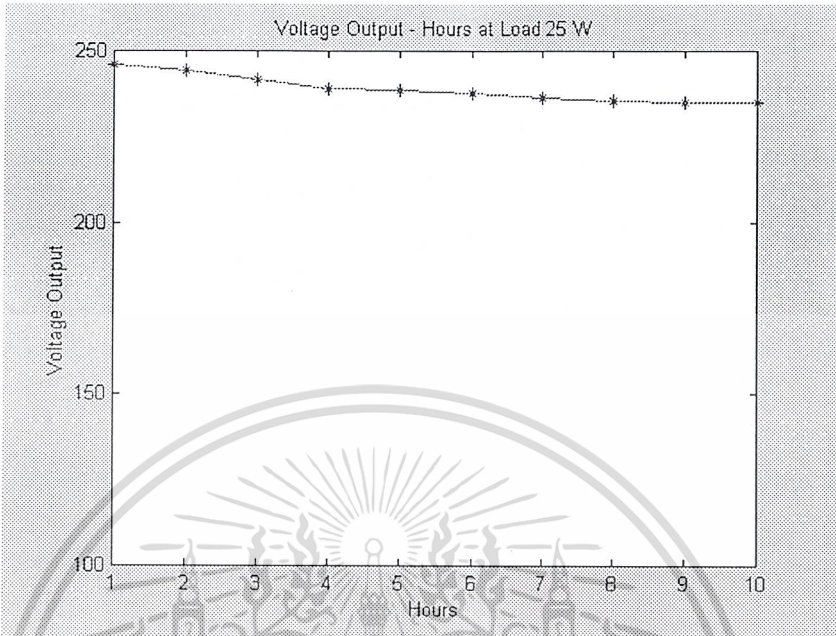


รูปที่ 4.18 รูปแสดงกระแสเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 Watt

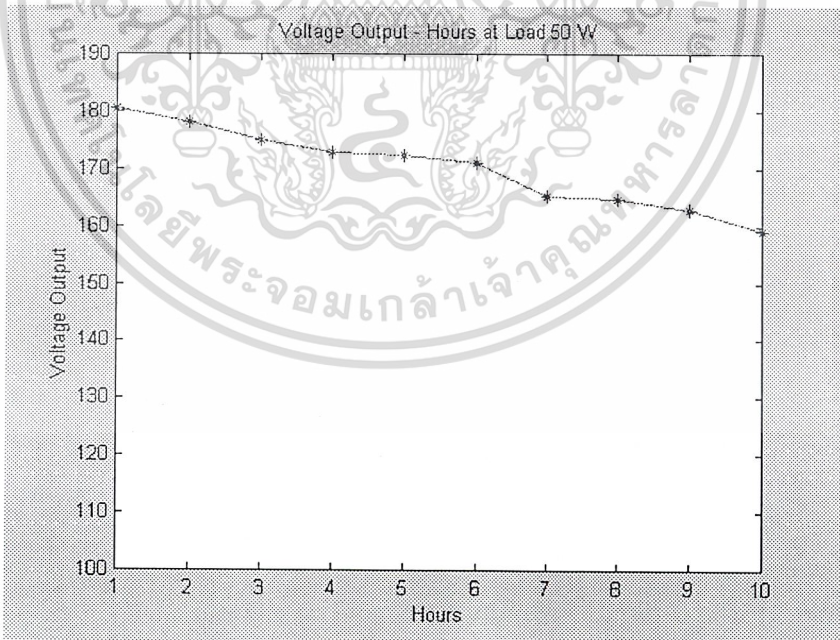


รูปที่ 4.19 รูปแสดงกระแสเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 50 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

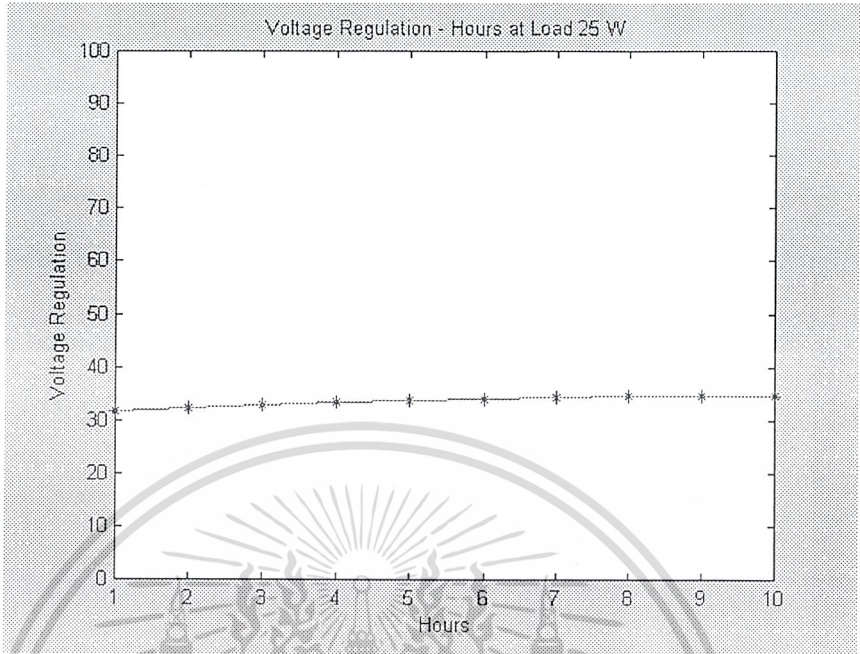


รูปที่ 4.20 รูปแสดงแรงดันเอาต์พุตและเวลาขณะจ่ายโหลดขนาด 25 Watt

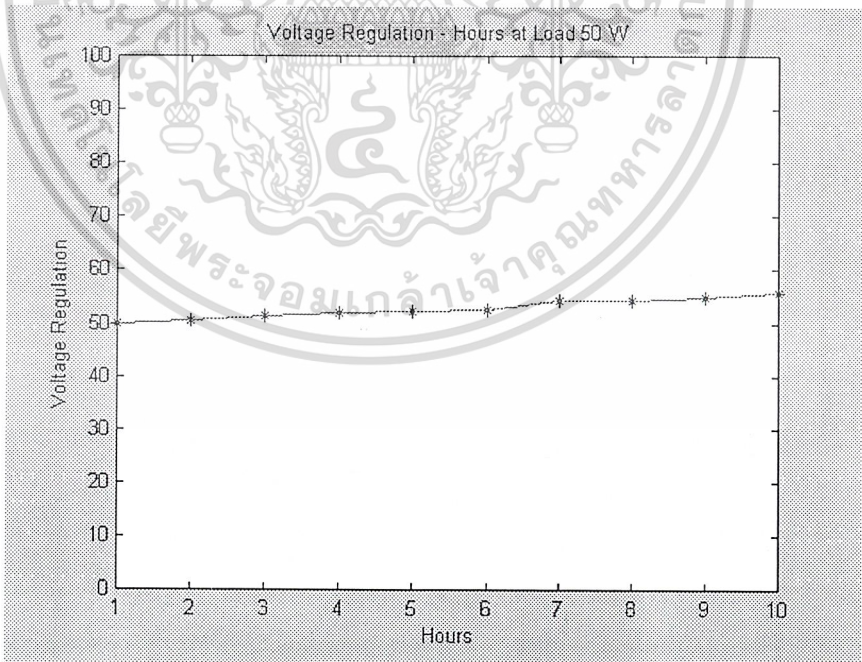


รูปที่ 4.21 รูปแสดงกระแสเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 50 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

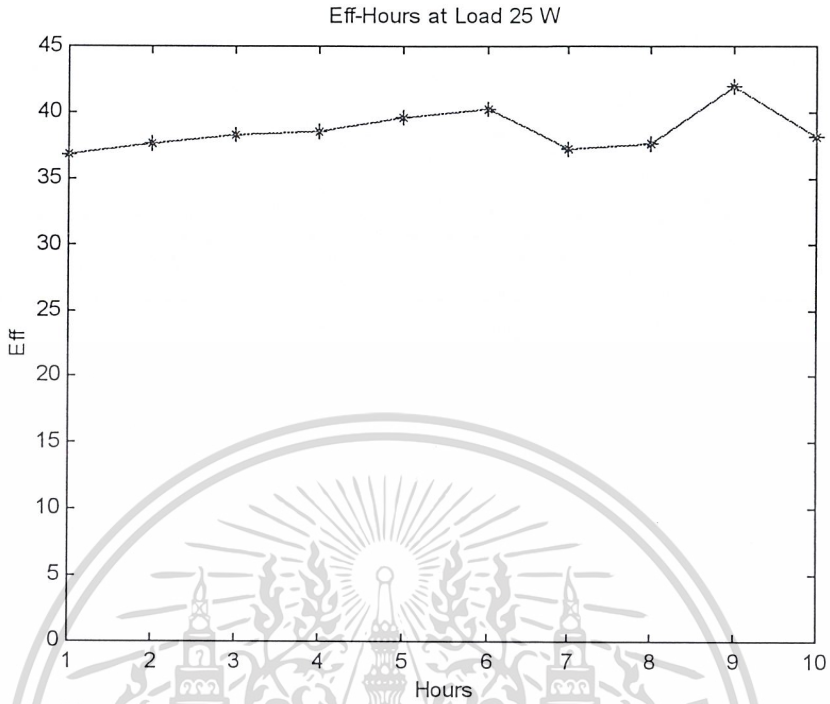


รูปที่ 4.22 รูปแสดง Voltage Regulation และเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 Watt

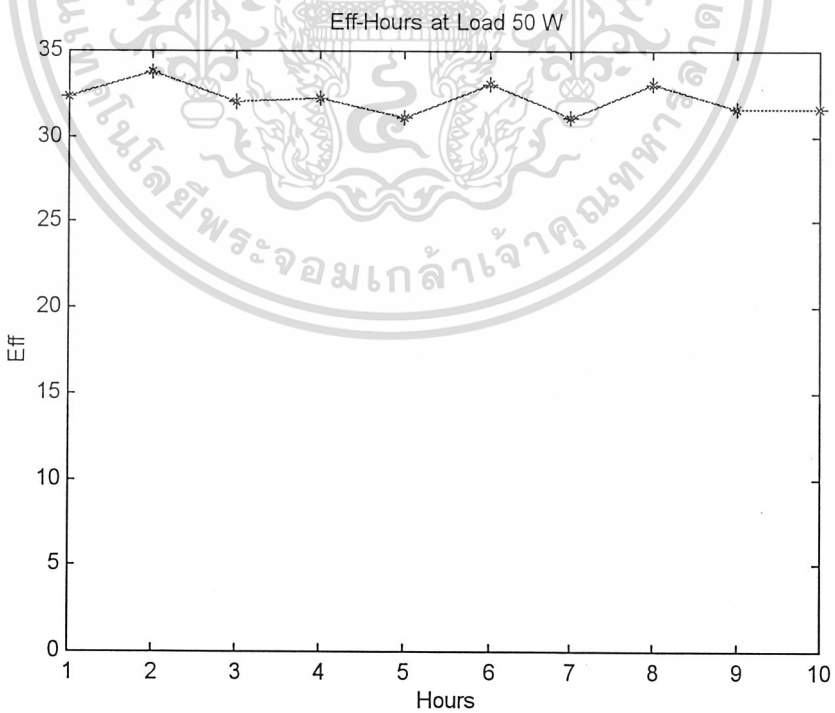


รูปที่ 4.23 รูปแสดง Voltage Regulation และเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 50 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 รูปแสดงประสิทธิภาพและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 Watt



รูปที่ 4.25 รูปแสดงประสิทธิภาพและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 50 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตโดยนโยบายด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองได้ทำการทดลองจ่ายโหลดขนาด 25 Watt และ 50 Watt โดยได้ยกรูปที่ 4.17 ซึ่งเป็นสัญญาณขณะจ่ายโหลดขนาด 50 Watt เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ส่วนรูปสัญญาณที่ได้จากการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 2-10 ชั่วโมงสามารถอ่านได้จากภาคผนวก ก

รูปที่ 4.18 และ 4.19 เป็นรูปกราฟระหว่างกระแสเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 และ 50 Watt ตามลำดับ เนื่องจากรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีลักษณะไม่เป็นไซน์ และมีความถี่สูง ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้แอมป์มิเตอร์ปกติวัดค่าได้ ต้องใช้แอมป์มิเตอร์ที่เป็น True R.M.S. แต่ในการทดลองนี้ได้อาศัยการต่อความต้านทานค่าน้อยแล้ววัดแรงดันตกคร่อมโดยอาศัย Storage Scope และ คำนวณกระแส

รูปที่ 4.20 และ 4.21 เป็นรูปกราฟระหว่างแรงดันเอาต์พุตและเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 และ 50 Watt ตามลำดับ ได้โดยอาศัย Storage Scope วัดค่าเช่นเดียวกับการวัดกระแสเอาต์พุต

รูปที่ 4.22 และ 4.23 เป็นรูปกราฟระหว่าง Voltage Regulation และเวลาที่จ่ายโหลดขนาด 25 และ 50 Watt ตามลำดับ จะเห็นว่าในการจ่ายโหลดขนาด 50 Watt จะมี Voltage Regulation สูงกว่า ในการจ่ายโหลดขนาด 25 Watt ซึ่งเหตุที่ค่า Voltage Regulation มีค่าสูงเนื่องจากประสิทธิภาพของระบบค่อนข้างต่ำซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.24 และ 4.25

บทที่ 5

บทวิจารณ์ และสรุป

ในโครงงานนี้สามารถแบ่งโครงงานออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ เริ่มจากส่วนที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เข้ามาในระบบคือ โซลาร์เซลล์ ในที่นี้ได้มีการทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้น เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส (V-I curve) , ความเข้มแสง และ อุณหภูมิ จะพบว่าเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น กระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าแรงดันจะแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไป และเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสจะไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยน แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การทดสอบโซลาร์เซลล์นี้นอกจากจะทราบคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์แล้วยังนำไปหาขนาดแบตเตอรี่ให้มีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งานได้ด้วย โดยหาจาก V-I curve ของโซลาร์เซลล์ โดยเก็บค่า V และ I ในช่วงเวลาต่างๆกันและโหลดต่างค่ากัน

เมื่อรับพลังงานมาจากแสงอาทิตย์ก็นำมาเก็บไว้ในแบตเตอรี่โดยใช้วงจรชาร์จแบตเตอรี่ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้คือ มีการเปรียบเทียบระหว่างแรงดันของแบตเตอรี่และ แรงดันอ้างอิง โดยถ้าแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงจะทำให้มีการชาร์จ แต่ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่สูงกว่าการชาร์จจะหยุดลงทันทีส่วนทางด้านกรป้องกันแบตเตอรี่ จะมีไดโอดเอาไว้อป้องกันกระแสย้อนกลับ และมีวงจรซึ่งจะตัดวงจรเมื่อแบตเตอรี่ต่ำ

ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ การเลือกใช้วงจรควบคุมแบบ SPWM จากการทดลองวัดรูปสัญญาณควบคุม สัญญาณรูปซายน์ที่จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อยมีการแกว่ง ทำให้ไม่สามารถเลือกใช้ค่าแอมพลิจูดมอดคูเลชั่นเท่ากับ 1 ได้เพราะจะทำให้เกิดการโอเวอร์มอดคูเลชั่น ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าแอมพลิจูดมอดคูเลชั่นเท่ากับ 0.8 ผลสัญญาณจากชุดวงจรควบคุมแรงดันขับเคลื่อนมีค่า 15 Vp-p ซึ่งมีการหน่วงเวลา Dead Time ไว้ 6 μ s ซึ่งโดยปกติแล้วเวลา Dead Time นิยมให้อยู่ในช่วง 0 - 6 μ s ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโหลดและสวิทซ์ซึ่ง สาเหตุที่เลือกใช้ 6 μ s เพราะเพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ ซึ่งก็ทำให้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ลดลง ดังนั้นในการพัฒนาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์นี้ยังสามารถทำได้โดยลดเวลา Dead Time ลงที่ความต้านทานปรับค่าได้ IC 4538 แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงโหลดต้องใจด้วย จากผลการทดลองวัดประสิทธิภาพและโวลต์เตจเลกคูเลชั่น

ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มโหลด ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องปรับปรุง ส่วนโวลต์เตจเรกคูเลชั่นจะแปรผันตามการเพิ่มของโหลด การพัฒนาในส่วนนี้จำเป็นต้องมีการป้อนสัญญาณเปรียบเทียบกลับ (Feedback Signal) เพื่อรักษาระดับแรงดัน

จากการทดลองจ่ายโหลด 25 W และ 50 W เป็นเวลา 10 ชั่วโมงขนาด Battery ที่ใช้ในวงจรสามารถจ่ายพลังงานได้เพียงพอ ทั้งนี้จำเป็นต้องได้รับการ Charge จากแผง Solar Cells โดยมีแสงแดดจ้าทั้งวัน จึงจะเพียงพอ

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในวงจรให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ทั้งนี้อาจทำได้โดยพัฒนาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเพื่อให้มีความแน่นอนของสัญญาณต่าง ๆ ในวงจรดียิ่งขึ้น

แรงดัน DC LINK ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้มีค่า 12 Volt ซึ่งทำให้หม้อแปลงต้องมีอัตราส่วน Transformer Ratio มีค่าสูง ซึ่งไม่เหมาะกับระบบที่มีพิกัดกำลังมาก แต่ในโครงงานนี้มีพิกัดกำลังน้อยจึงสามารถใช้ได้ ดังนั้นในระบบขนาดใหญ่จึงควรมีวงจรระดับแรงดัน DC LINK ของอินเวอร์เตอร์ด้วย

การเก็บผลคุณสมบัติของแผง Solar Cells ค่าความต้านทานแต่ละระดับที่ทดลองถึงแม้จะมีระยะห่างที่พอจะดูคุณสมบัติของแผง Solar Cells แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากการยากที่จะวัดผลที่ความต้านทานต่าง ๆ พร้อม ๆ กันจึงทำให้บางครั้งมีการเคลื่อนตัวของก้อนเมฆบังแสงแดดขณะเปลี่ยนโหลด

การวัดกระแสด้านกระแสกลับโดยใช้การคำนวณจากแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานจะมีความคลาดเคลื่อนได้ ควรจะใช้ True RMS Meter เป็นอุปกรณ์ในการวัดค่าแทน



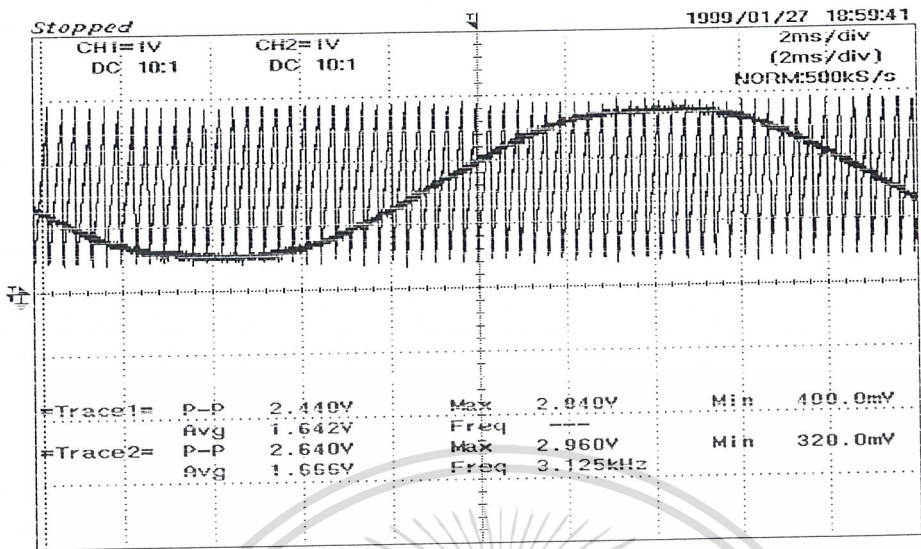
ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปสัญลักษณ์ของวงจรถวาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



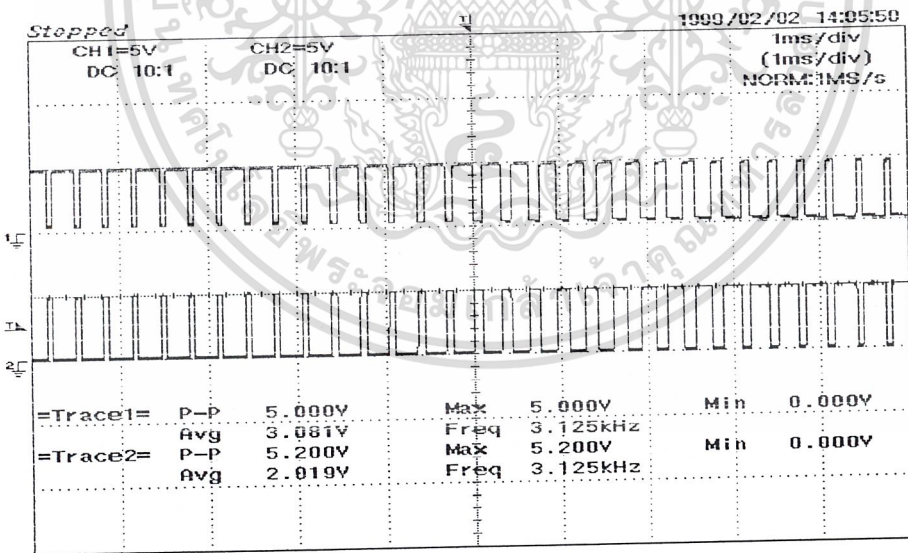
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL

=Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V

=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงการตัดกันของสัญญาณฟันเลื่อยและสัญญาณ Sinewave



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL

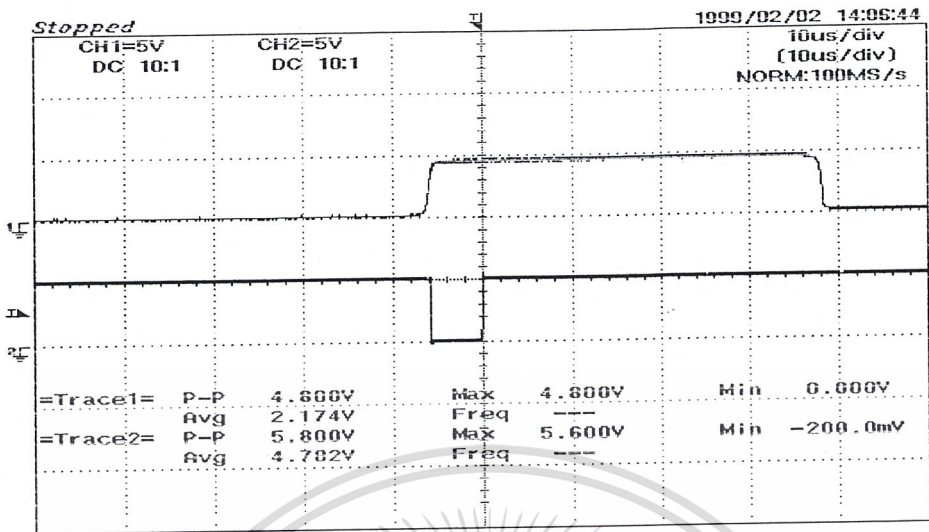
=Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V

=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงผลจากการตัดกันของสัญญาณฟันเลื่อยและสัญญาณ Sinewave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



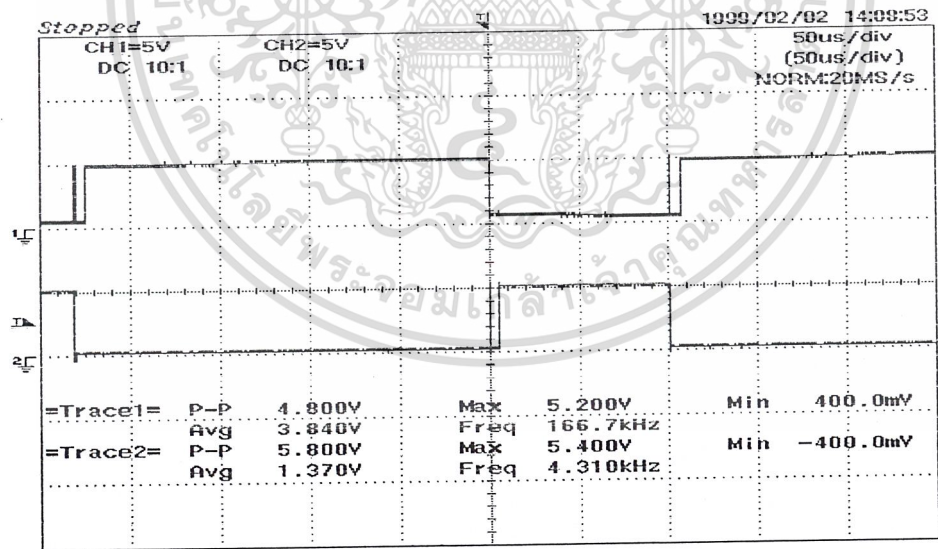
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL

=Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V

=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงการหน่วงเวลาด้วยไอซี 4538



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL

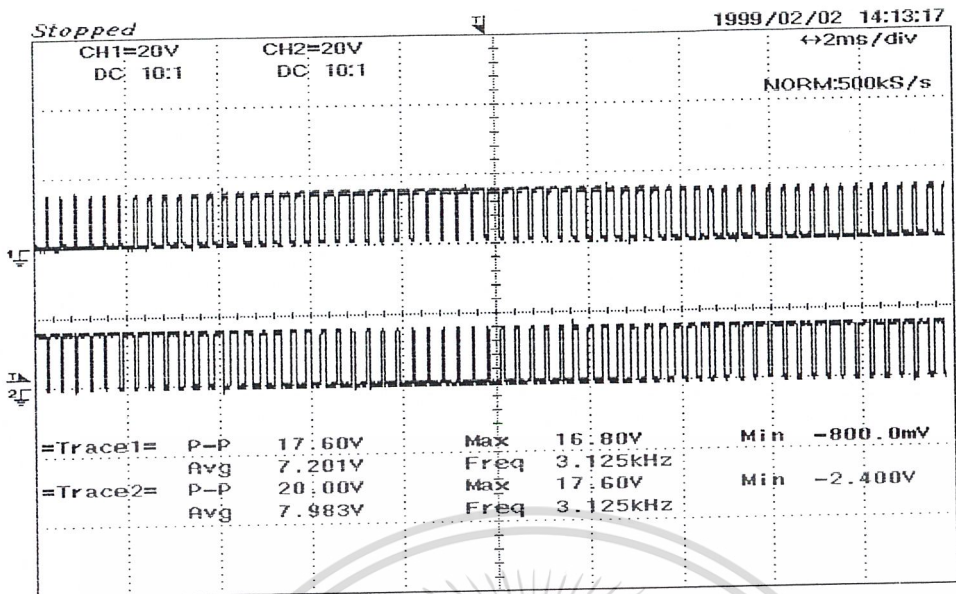
=Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V

=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

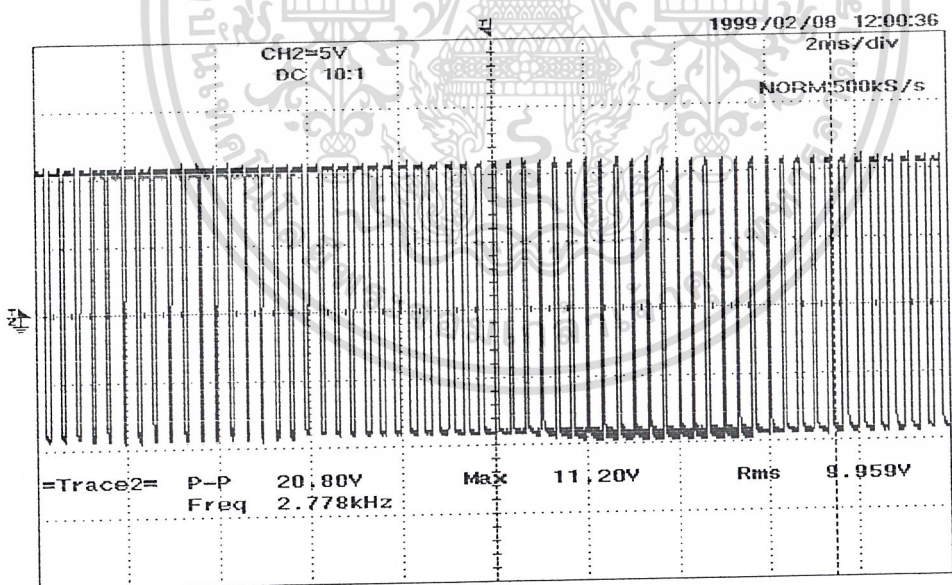
รูปแสดงสัญญาณพีดับบิวเอ็มที่ผ่านการสร้าง Dead Time แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

รูปแสดงสัญญาณขับขาเกตที่ได้ออกจากไอซี IR2130



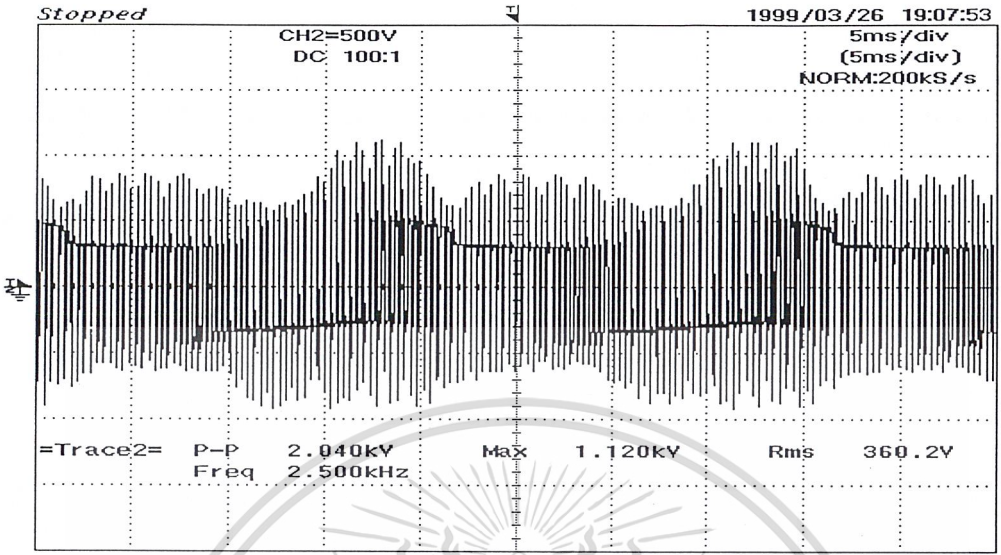
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงสัญญาณเอาท์พุทขณะ No-Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

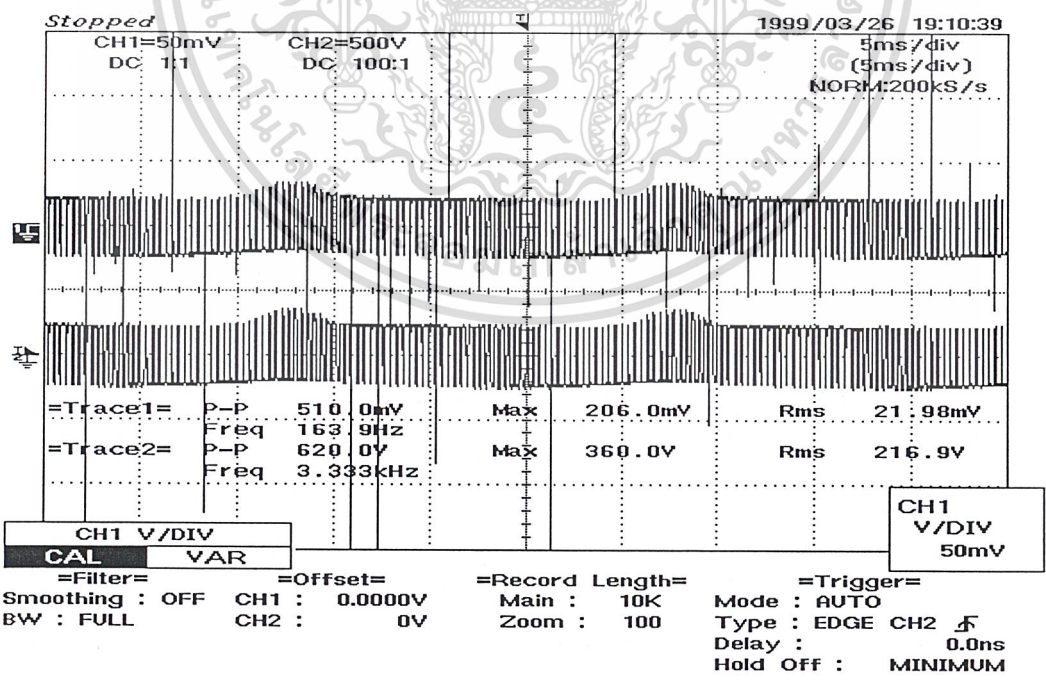


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



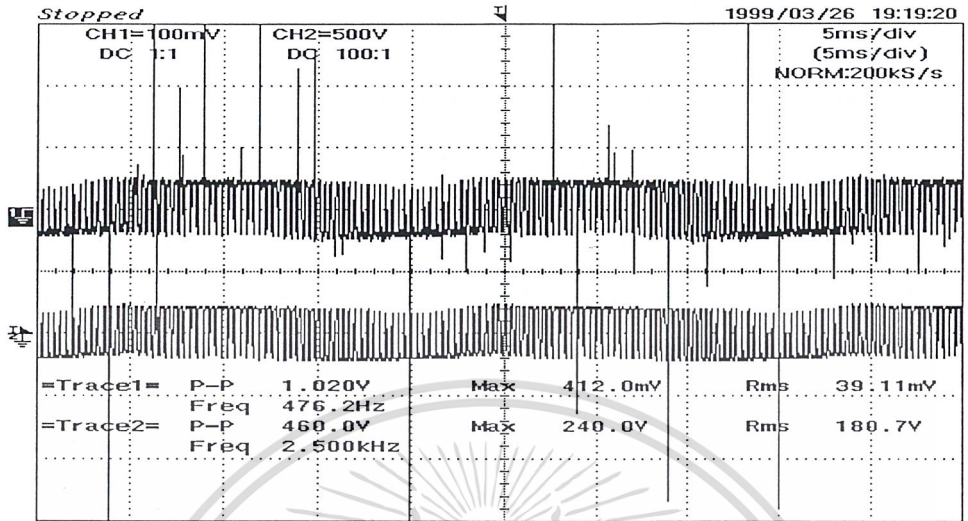
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 100
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงการทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ชนิดไร้โหลด



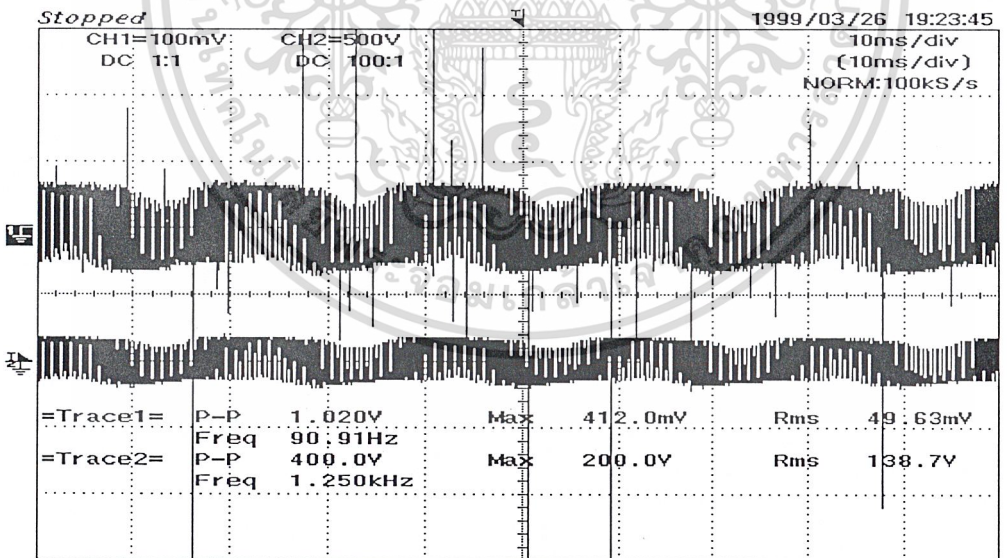
รูปแสดงการทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ชนิดต่อโหลดขนาด 25 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์หรือประสงค์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.000V CH2 : 0V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 100
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

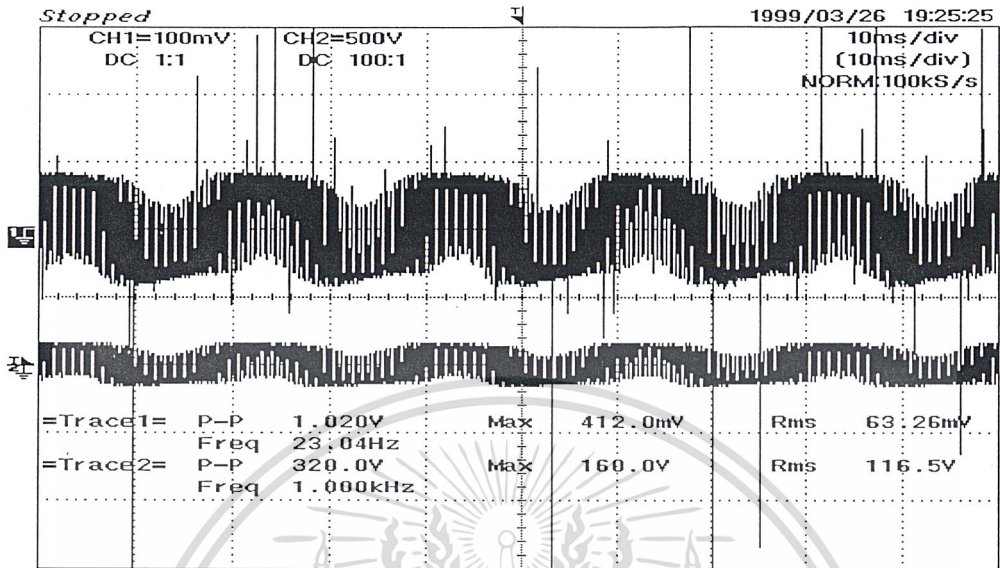
รูปแสดงการทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ขณะต่อโหลดขนาด 50 Watt



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.000V CH2 : 0V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 100
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงการทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ขณะต่อโหลดขนาด 75 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



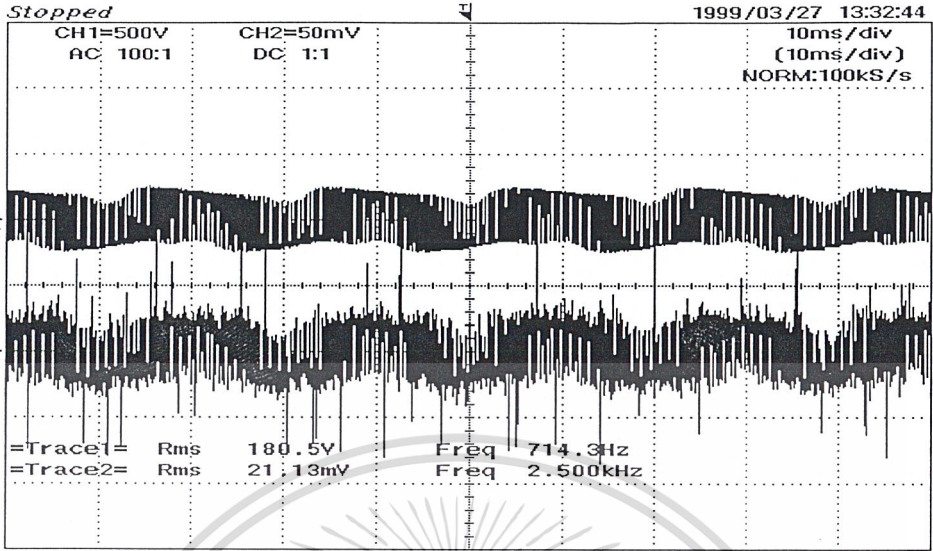
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL =Offset= CH1 : 0.000V CH2 : 0V =Record Length= Main : 10K Zoom : 100 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงการทดลองหาคุณสมบัติอินเวอร์เตอร์ขณะต่อโหลด 100 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

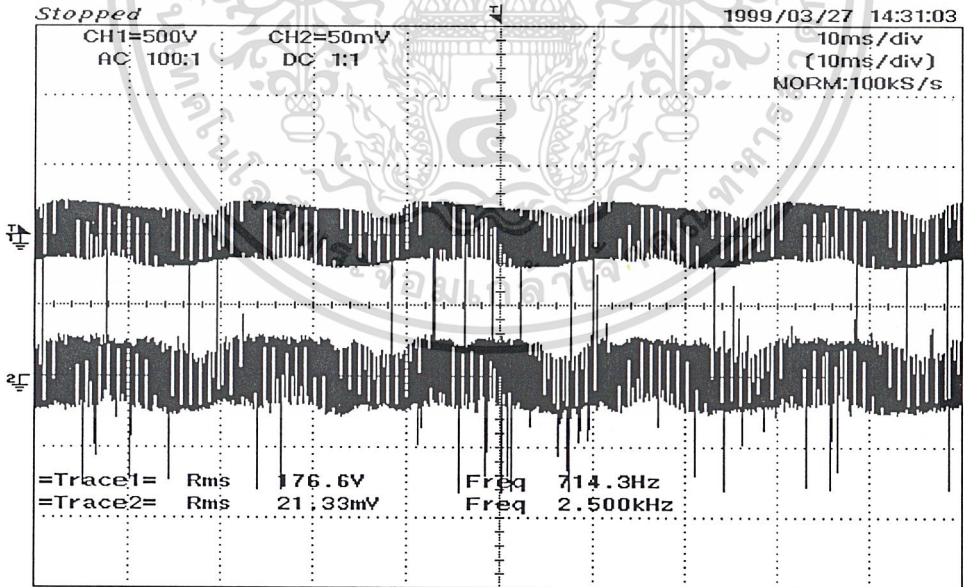


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
=Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 100
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

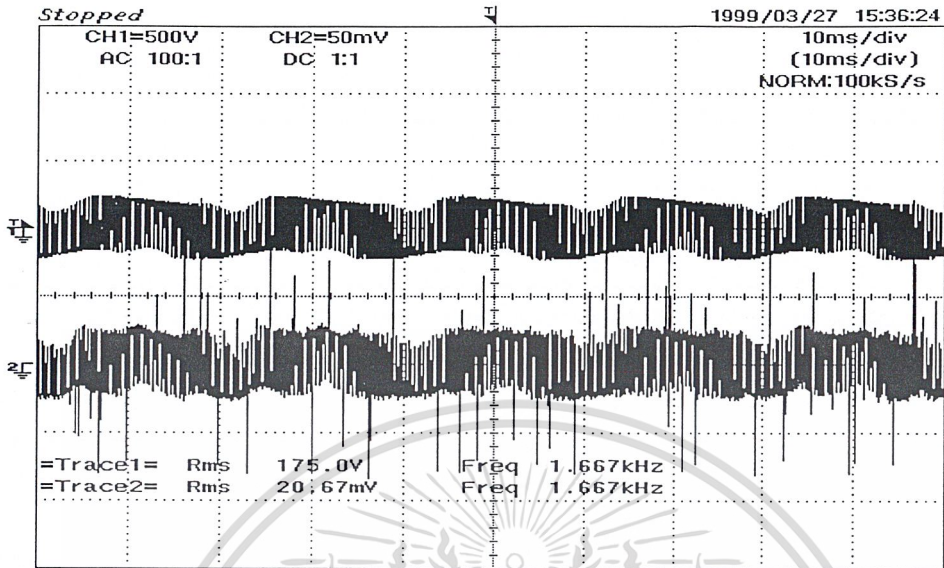
รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 1



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
=Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 100
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

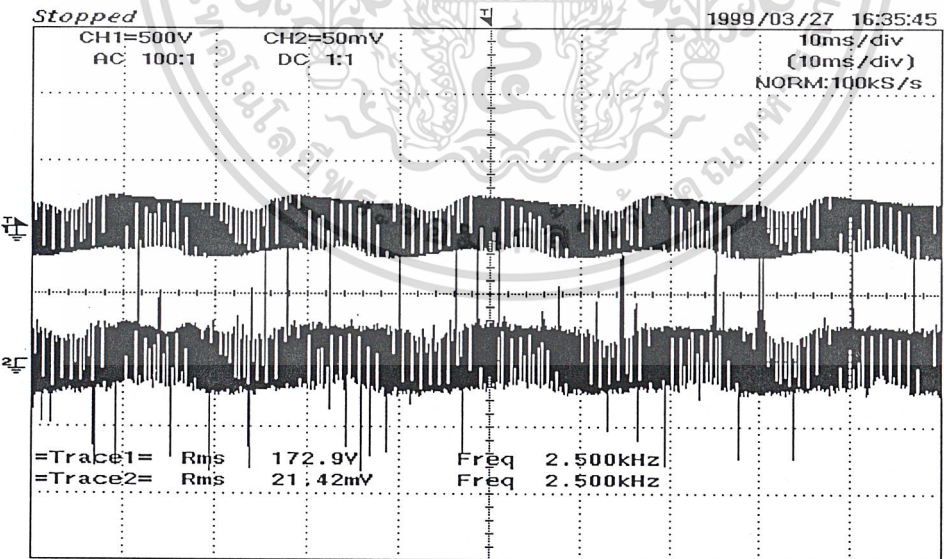
รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
=Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 100
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 \uparrow Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

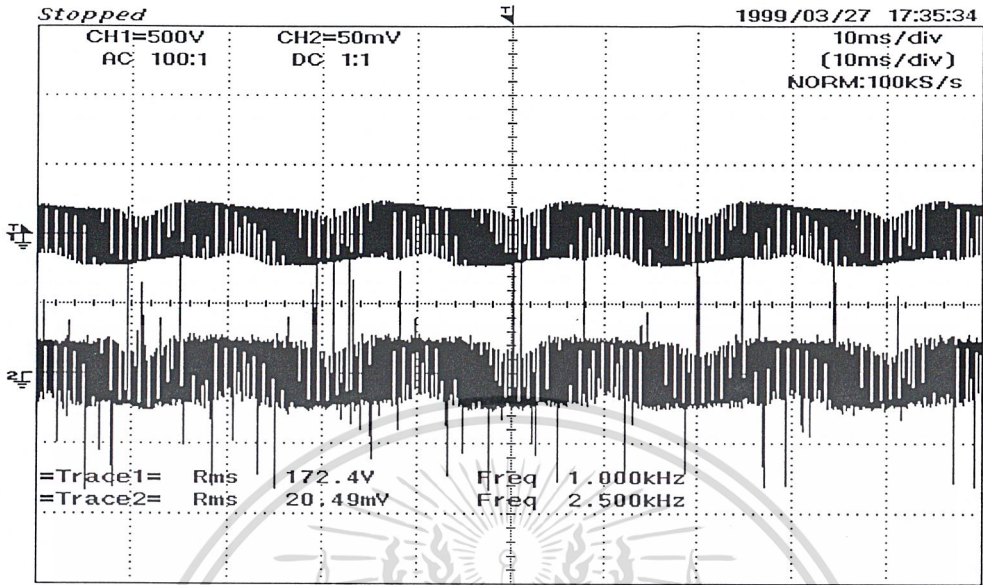
รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 3



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
=Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 100
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 \uparrow Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

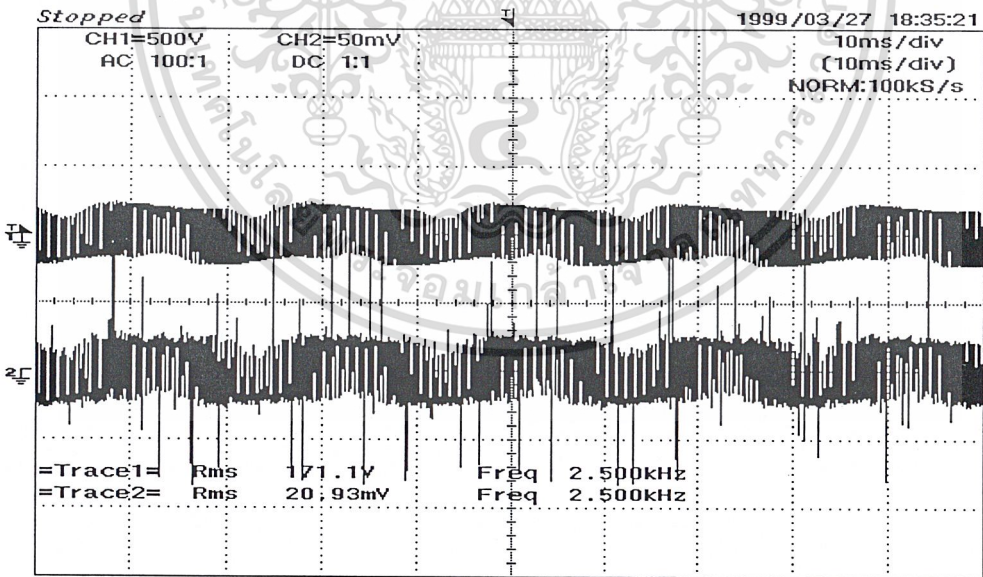
รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 100
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

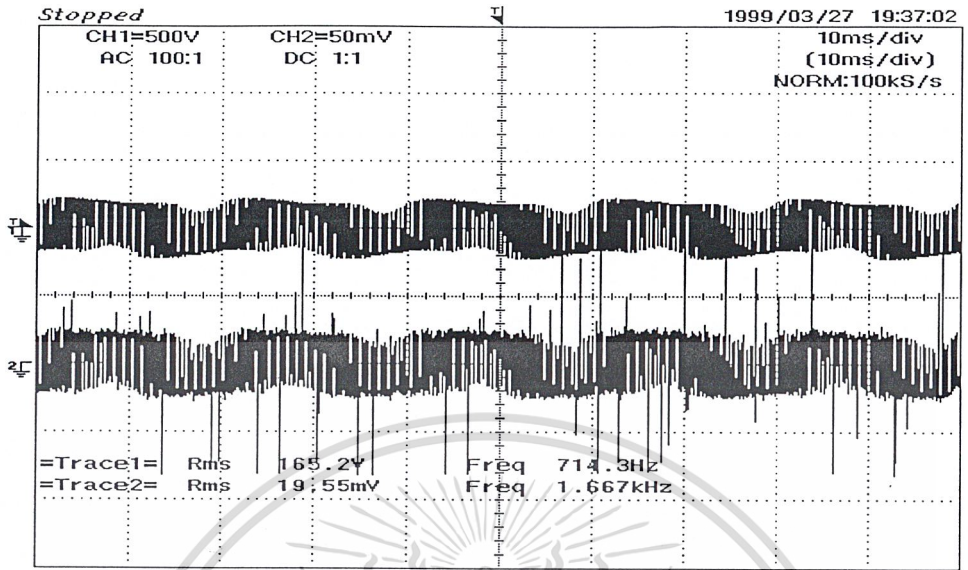
รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 5



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 100
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

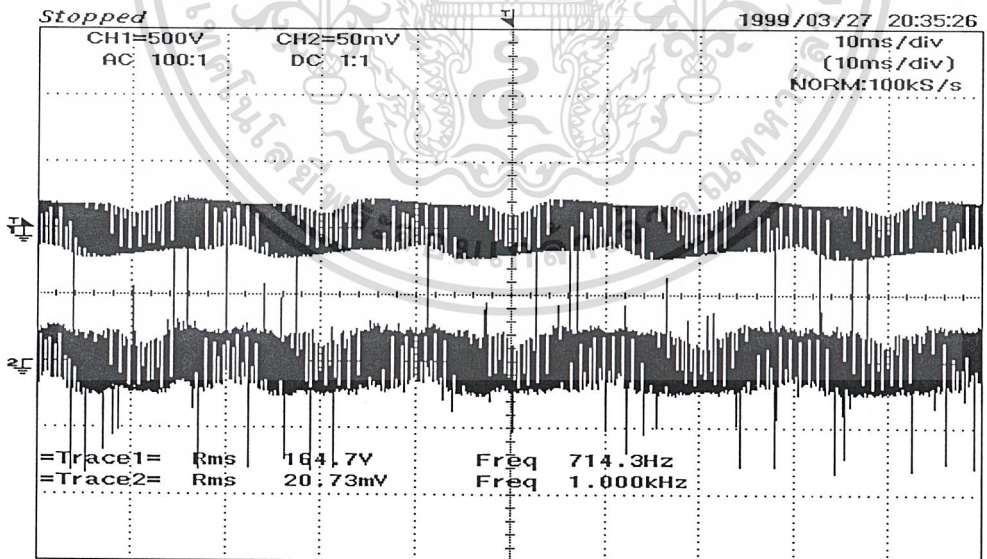
รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
=Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 100
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 \neq Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

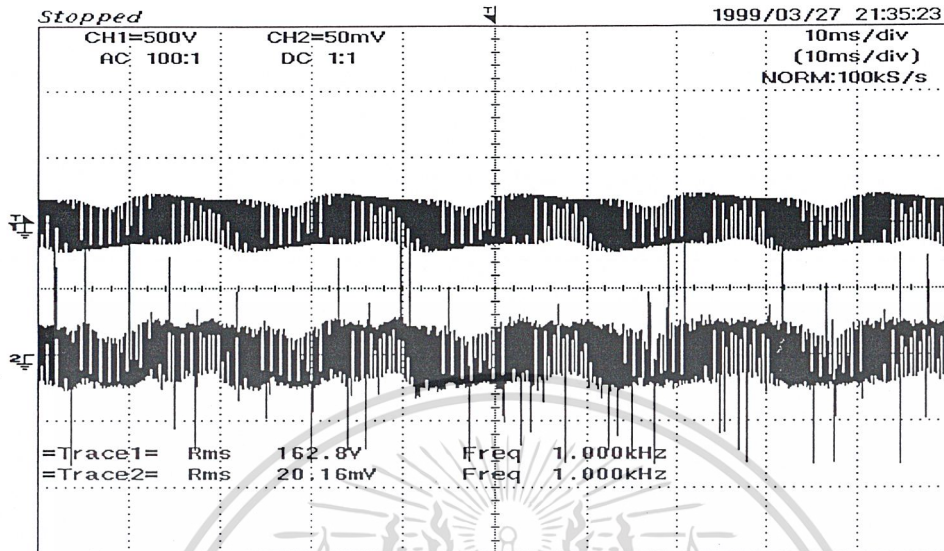
รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 7



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
=Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 100
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 \neq Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

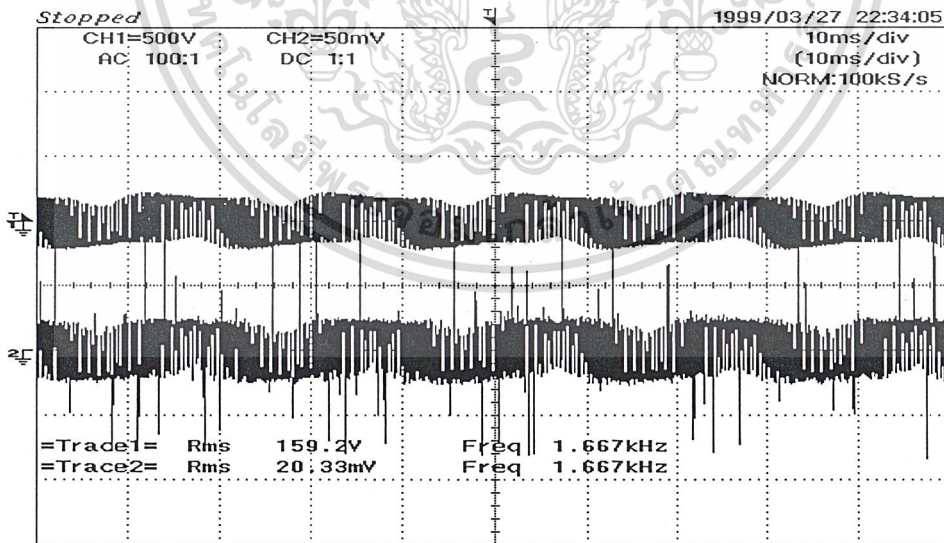
รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 100
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 ∇ Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 9



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : ----- CH2 : 0.0000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 100
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 ∇ Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปแสดงการทดลองจ่ายโหลดขนาด 50 Watt ชั่วโมงที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Designer's™ Data Sheet

Insulated Gate Bipolar Transistor with Anti-Parallel Diode

MGY30N60D

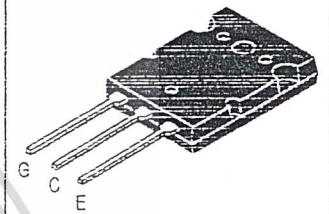
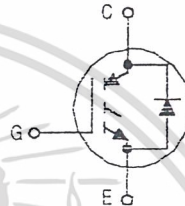
Motorola Preferred Device

N-Channel Enhancement-Mode Silicon Gate

This Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) is co-packaged with a soft recovery ultra-fast rectifier and uses an advanced termination scheme to provide an enhanced and reliable high voltage-blocking capability. Short circuit rated IGBT's are specifically suited for applications requiring a guaranteed short circuit withstand time such as Motor Control Drives. Fast switching characteristics result in efficient operations at high frequencies. Co-packaged IGBT's save space, reduce assembly time and cost.

IGBT & DIODE IN TO-264
30 A @ 90°C
50 A @ 25°C
600 VOLTS
SHORT CIRCUIT RATED

- Industry Standard High Power TO-264 Package (TO-3PBL)
- High Speed E_{off} : 60 μ s per Amp typical at 125°C
- High Short Circuit Capability - 10 μ s minimum
- Soft Recovery Free Wheeling Diode is included in the package
- Robust High Voltage Termination
- Robust RBSOA



CASE 340G-02, Style 5
TO-264

MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CES}	600	Vdc
Collector-Gate Voltage ($R_{GE} = 1.0 \text{ M}\Omega$)	V_{CGR}	600	Vdc
Gate-Emitter Voltage — Continuous	V_{GE}	± 20	Vdc
Collector Current — Continuous @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ — Continuous @ $T_C = 90^\circ\text{C}$ — Repetitive Pulsed Current (1)	I_{C25} I_{C90} I_{CM}	50 30 100	Adc Apk
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	PD	202 1.61	Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to 150	°C
Short Circuit Withstand Time ($V_{CC} = 360 \text{ Vdc}$, $V_{GE} = 15 \text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $R_G = 20 \Omega$)	t_{sc}	10	μ s
Thermal Resistance — Junction to Case - IGBT — Junction to Case - Diode — Junction to Ambient	$R_{\theta JC}$ $R_{\theta JD}$ $R_{\theta JA}$	0.62 1.41 35	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds	T_L	260	°C
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw		10 lbf•in (1.13 N•m)	

(1) Pulse width is limited by maximum junction temperature.

Designer's Data for "Worst Case" Conditions — The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. SOA Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-to-Emitter Breakdown Voltage (V _{GE} = 0 Vdc, I _C = 250 μAdc) Temperature Coefficient (Positive)	BV _{CES}	600	— 870	—	Vdc mV/°C
Zero Gate Voltage Collector Current (V _{CE} = 600 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc) (V _{CE} = 600 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc, T _J = 125°C)	I _{CES}	—	—	100 2500	μAdc
Gate-Body Leakage Current (V _{GE} = ± 20 Vdc, V _{CE} = 0 Vdc)	I _{GES}	—	—	250	nAdc

ON CHARACTERISTICS (1)

Collector-to-Emitter On-State Voltage (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 15 Adc) (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 15 Adc, T _J = 125°C) (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 30 Adc)	V _{CE(on)}	—	2.20 2.10 2.60	2.90 — 3.45	Vdc
Gate Threshold Voltage (V _{CE} = V _{GE} , I _C = 1 mAdc) Threshold Temperature Coefficient (Negative)	V _{GE(th)}	4.0	6.0 10	8.0	Vdc mV/°C
Forward Transconductance (V _{CE} = 10 Vdc, I _C = 30 Adc)	g _{fe}	—	15	—	Mhos

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Input Capacitance	(V _{CE} = 25 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc, f = 1.0 MHz)	C _{ies}	—	4280	—	pF
Output Capacitance		C _{oes}	—	225	—	
Transfer Capacitance		C _{res}	—	19	—	

SWITCHING CHARACTERISTICS (1)

Turn-On Delay Time	(V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 30 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μH, R _G = 20 Ω, T _J = 25°C) Energy losses include "tail"	t _{d(on)}	—	76	—	ns
Rise Time		t _r	—	80	—	
Turn-Off Delay Time		t _{d(off)}	—	348	—	
Fall Time		t _f	—	183	—	mJ
Turn-Off Switching Loss		E _{off}	—	0.98	1.28	
Turn-On Switching Loss		E _{on}	—	2.00	—	
Total Switching Loss		E _{ts}	—	2.98	—	
Turn-On Delay Time	(V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 30 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μH, R _G = 20 Ω, T _J = 125°C) Energy losses include "tail"	t _{d(on)}	—	73	—	ns
Rise Time		t _r	—	95	—	
Turn-Off Delay Time		t _{d(off)}	—	394	—	
Fall Time		t _f	—	418	—	mJ
Turn-Off Switching Loss		E _{off}	—	1.90	—	
Turn-On Switching Loss		E _{on}	—	3.10	—	
Total Switching Loss		E _{ts}	—	5.00	—	
Gate Charge	(V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 30 Adc, V _{GE} = 15 Vdc)	Q _T	—	150	—	nC
		Q ₁	—	30	—	
		Q ₂	—	45	—	

DIODE CHARACTERISTICS

Diode Forward Voltage Drop (I _{EC} = 15 Adc) (I _{EC} = 15 Adc, T _J = 125°C) (I _{EC} = 30 Adc)	V _{FEC}	—	1.30 1.10 1.45	1.80 — 2.05	Vdc
--	------------------	---	----------------------	-------------------	-----

(1) Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2%.

(continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — continued ($T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
DIODE CHARACTERISTICS — continued						
Reverse Recovery Time	$(I_F = 30\text{ A dc}, V_R = 360\text{ V dc}, dI_F/dt = 200\text{ A}/\mu\text{s})$	t_{rr}	—	153	—	ns
		t_a	—	82	—	
		t_b	—	71	—	
Reverse Recovery Stored Charge	Q_{RR}	—	2.3	—	μC	
Reverse Recovery Time	$(I_F = 30\text{ A dc}, V_R = 360\text{ V dc}, dI_F/dt = 200\text{ A}/\mu\text{s}, T_J = 125^\circ\text{C})$	t_{rr}	—	208	—	ns
		t_a	—	117	—	
		t_b	—	91	—	
Reverse Recovery Stored Charge	Q_{RR}	—	3.8	—	μC	
INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE						
Internal Emitter Inductance (Measured from the emitter lead 0.25" from package to emitter bond pad)	L_E	—	13	—	nH	

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

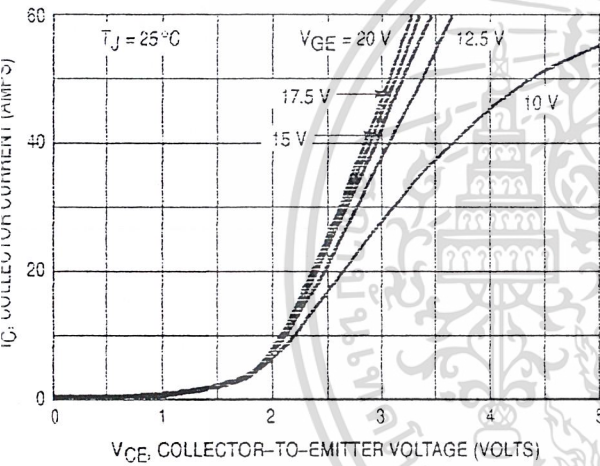


Figure 1. Output Characteristics, $T_J = 25^\circ\text{C}$

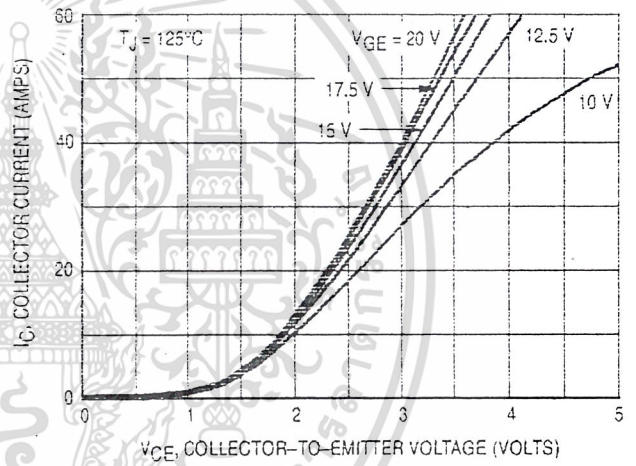


Figure 2. Output Characteristics, $T_J = 125^\circ\text{C}$

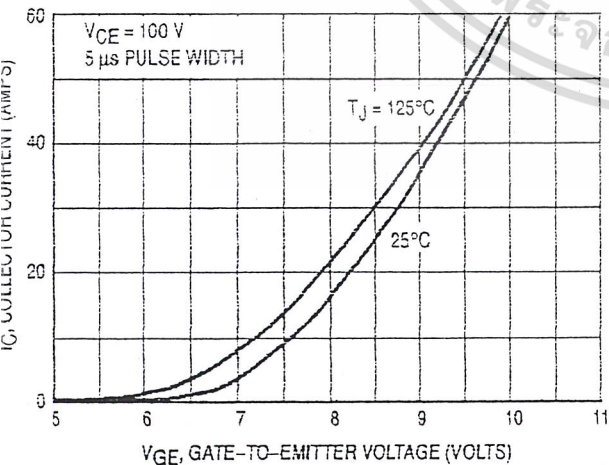


Figure 3. Transfer Characteristics

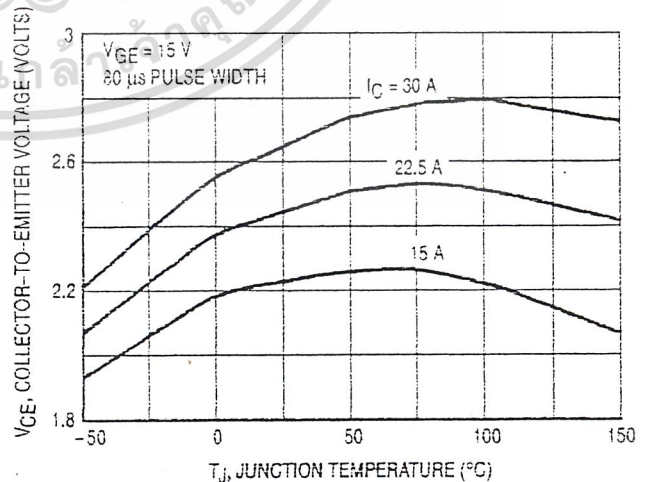


Figure 4. Collector-to-Emitter Saturation Voltage versus Junction Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

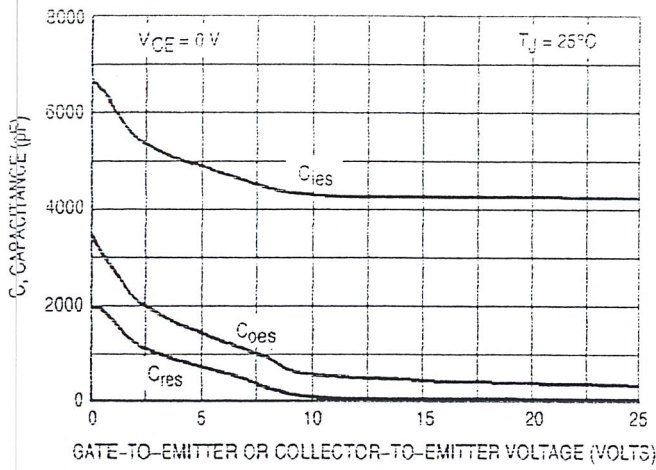


Figure 5. Capacitance Variation

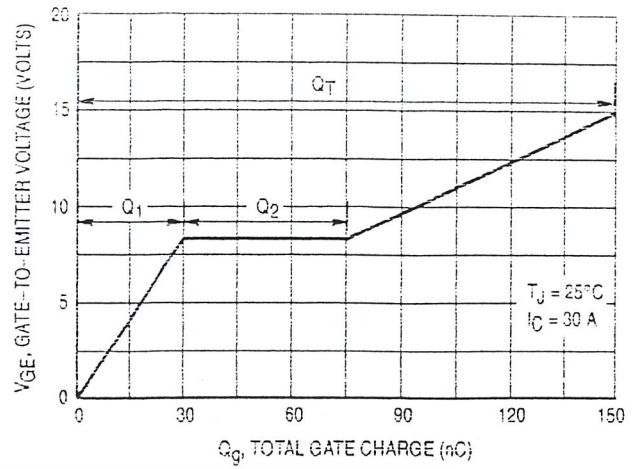


Figure 6. Gate-to-Emitter Voltage versus Total Charge

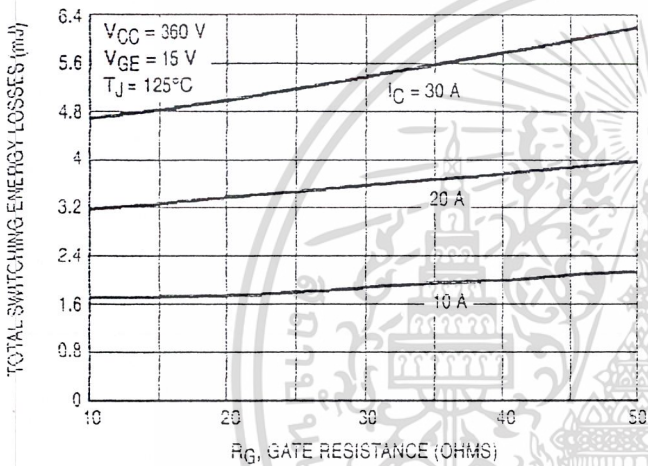


Figure 7. Total Switching Losses versus Gate Resistance

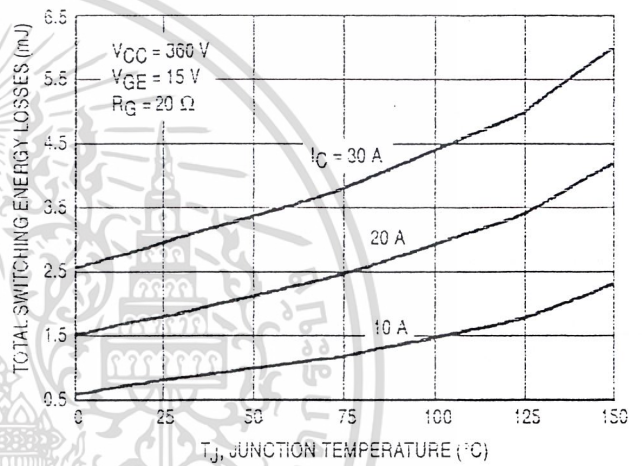


Figure 8. Total Switching Losses versus Junction Temperature

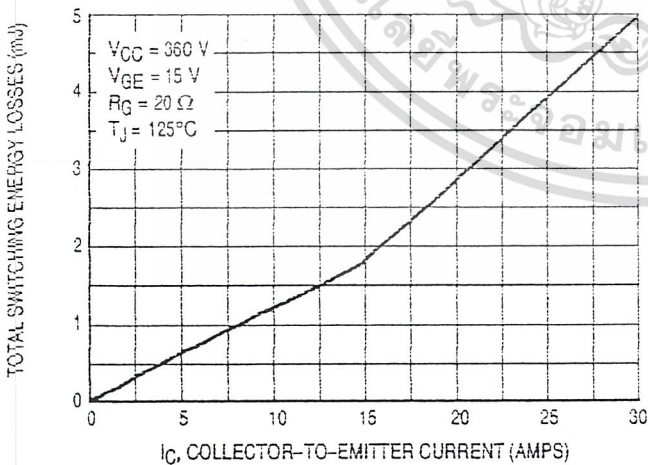


Figure 9. Total Switching Losses versus Collector-to-Emitter Current

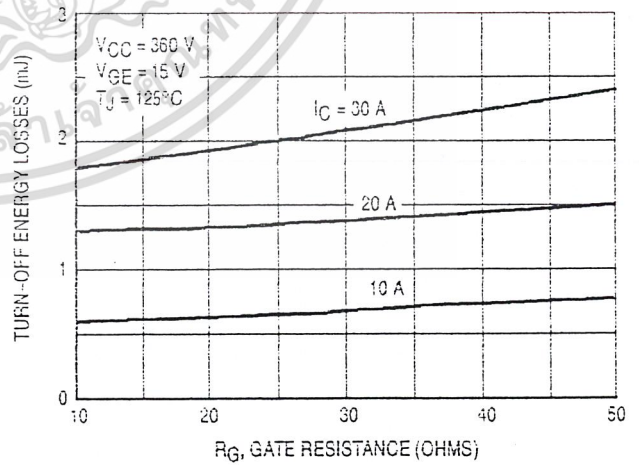


Figure 10. Turn-Off Losses versus Gate Resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

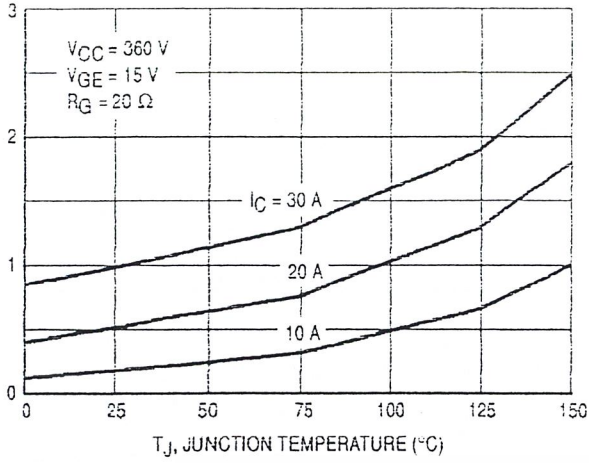


Figure 11. Turn-Off Losses versus Junction Temperature

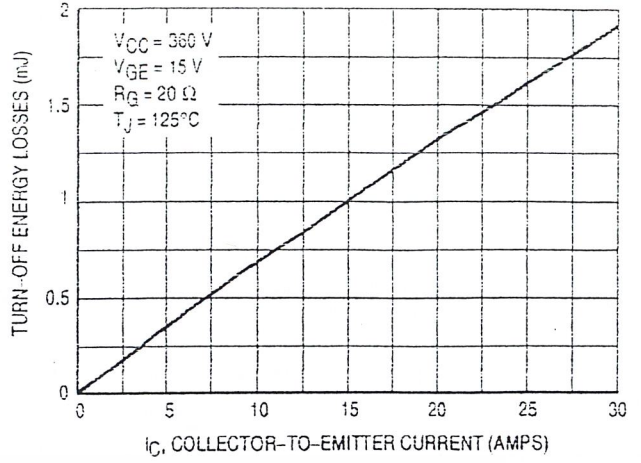


Figure 12. Turn-Off Losses versus Collector-to-Emitter Current

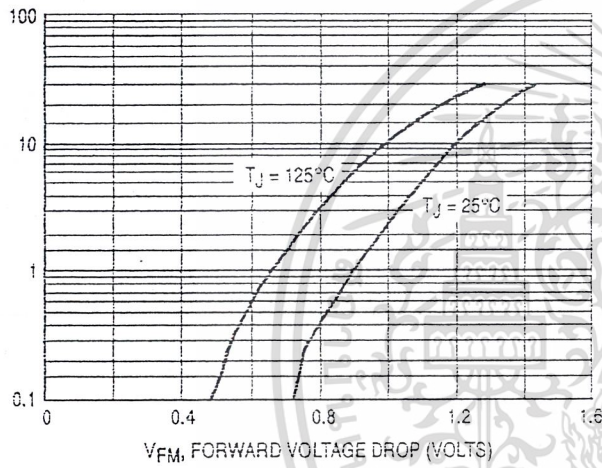


Figure 13. Typical Diode Forward Drop versus Instantaneous Forward Current

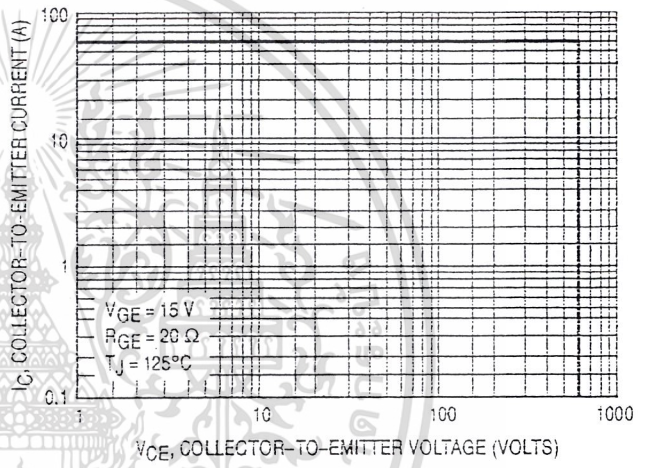
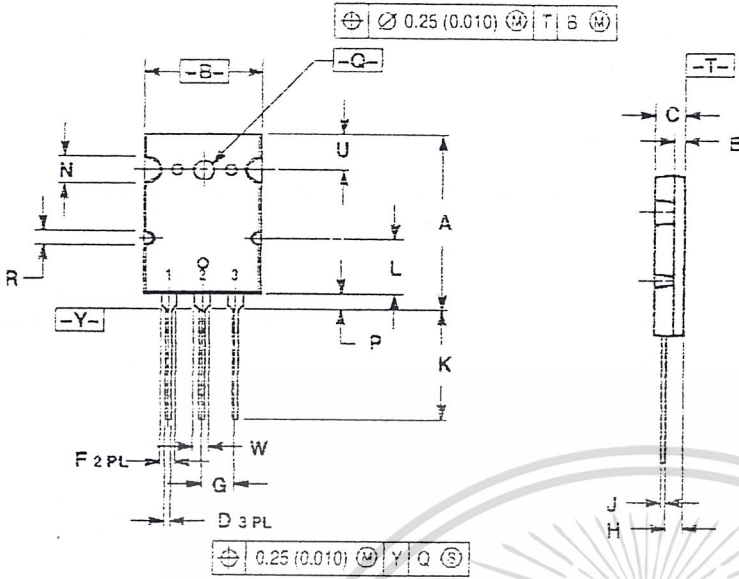


Figure 14. Reverse Biased Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1992.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	2.8	2.9	1.102	1.142
B	19.3	20.3	0.760	0.800
C	4.7	5.3	0.185	0.209
D	0.93	1.48	0.037	0.058
E	1.9	2.1	0.075	0.083
F	2.2	2.4	0.087	0.102
G	5.45 BSC		0.215 BSC	
H	2.6	3.0	0.102	0.118
J	0.43	0.78	0.017	0.031
K	17.6	18.6	0.693	0.740
L	11.0	11.4	0.433	0.449
N	3.95	4.75	0.156	0.187
P	2.2	2.6	0.087	0.102
Q	3.1	3.5	0.122	0.137
R	2.15	2.35	0.085	0.093
U	6.1	6.5	0.240	0.255
W	2.8	3.2	0.110	0.125

STYLE 5:
 PIN 1. GATE
 2. COLLECTOR
 3. EMITTER

CASE 340G-02
 TO-264
 ISSUE E

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution:
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.: Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

AFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
 INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.: 8B Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA





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 affect 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%

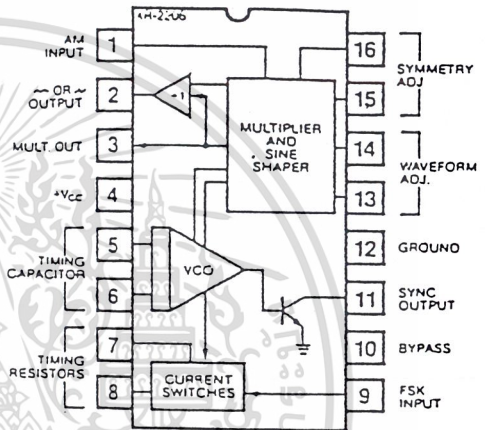
APPLICATIONS

- 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.



Integrated Systems, Inc., 750 Palomar Avenue, Sunnyvale, CA 94086 • (408) 732-7970 • Tlx: X 910-339-9233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่เห็น ยี่สิบห้า เมษายน ๒๕๒๕

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.		
GENERAL CHARACTERISTICS								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Self-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 > 10 k\Omega$
OSCILLATOR SECTION								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000 pF$, $R_1 = 1 k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50 \mu F$, $R_1 = 2 M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_0	$f_0 = 1/R_1 C$
Temperature Stability		± 10	± 50		± 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			$f_H = f_L$	$f_H \oplus R_1 = 1 k\Omega$ $f_L \oplus R_1 = 2 M\Omega$
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	μF	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 _{p-o}	
Output Impedance		600		600			Ω	
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								
Input 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 _{p-p}	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		μA	$V_{11} = 26V$
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

ไม่ได้รับลิขสิทธิ์, ทั้งนี้ บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารนี้ และขอสงวนสิทธิ์ในชื่อเอกสารทุกแห่งที่มีปรากฏบนเว็บไซต์

XR-2206

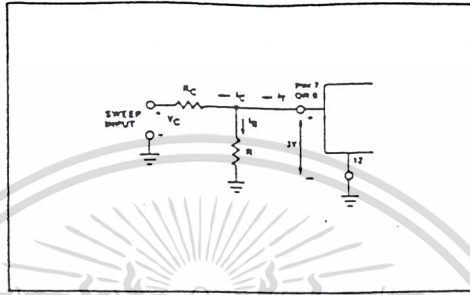


Figure 9: Circuit Connection for Frequency Sweep.

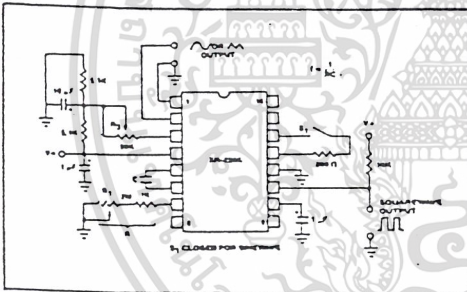


Figure 10: Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 2 for Choice of R_3 .)

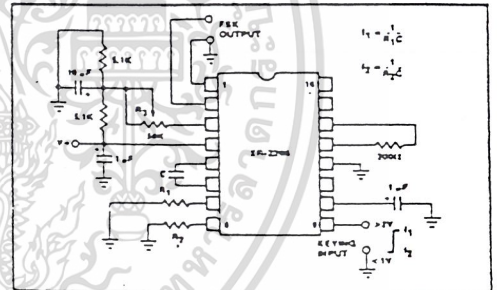


Figure 12: Sinusoidal FSK Generator.

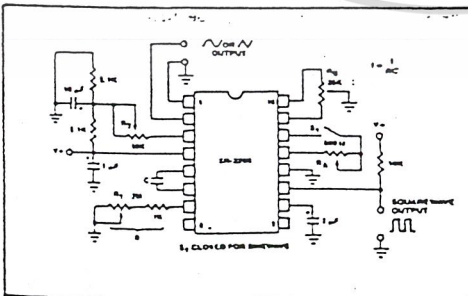


Figure 11: Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. (R_3 Determines Output Swing — See Figure 2.)

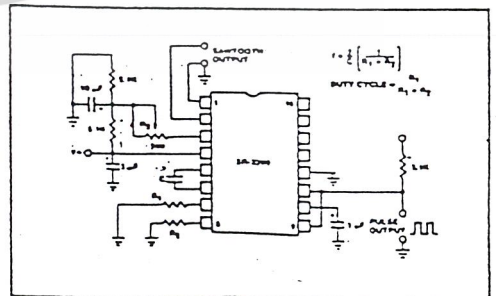


Figure 13: Circuit for Pulse and Ramp Generation.



MOTOROLA

TL494

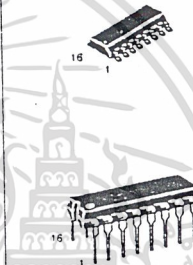
SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 7518
(SO-16)

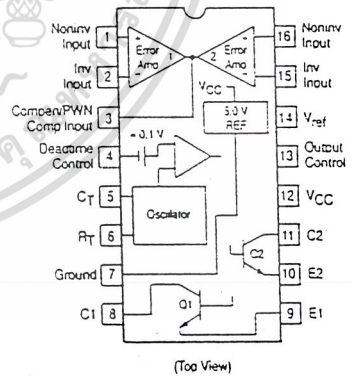
N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	42		V
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I _{C1} , I _{C2}	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	V _{IR}	-0.3 to +42		V
Power Dissipation @ T _A ≤ 45°C	P _D	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R _{θJA}	80		°C/W
Operating Junction Temperature	T _J	125		°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494I	T _A	0 to +70 -25 to +85		°C
Derating Ambient Temperature	T _A	45		°C

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
TL494CD	T _A = 0° to +70°C	SO-16
TL494CN		Plastic
TL494IN	T _A = -25° to +85°C	Plastic

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	-	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	-	-	200	mA
Amplified Input Voltage	V_{in}	-0.3	-	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	I_b	-	-	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	-	-	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	k Ω
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μ F
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ V, $C_T = 0.01$ μ F, $R_T = 12$ k Ω unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ$ C, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
REFERENCE SECTION					
Reference Voltage ($I_O = 1.0$ mA)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ($V_{CC} = 7.0$ V to 40 V)	Reg_{line}	-	2.0	25	mV
Load Regulation ($I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	Reg_{load}	-	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ($V_{ref} = 0$ V)	I_{SC}	15	35	75	mA
OUTPUT SECTION					
Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	-	2.0	100	μ A
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	-	-	-100	μ A
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ($V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter-Follower ($V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	- -	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL} I_{OCH}	- -	10 0.2	- 3.5	μ A mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_r	- -	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_f	- -	25 40	100 100	ns

NOTE: 2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

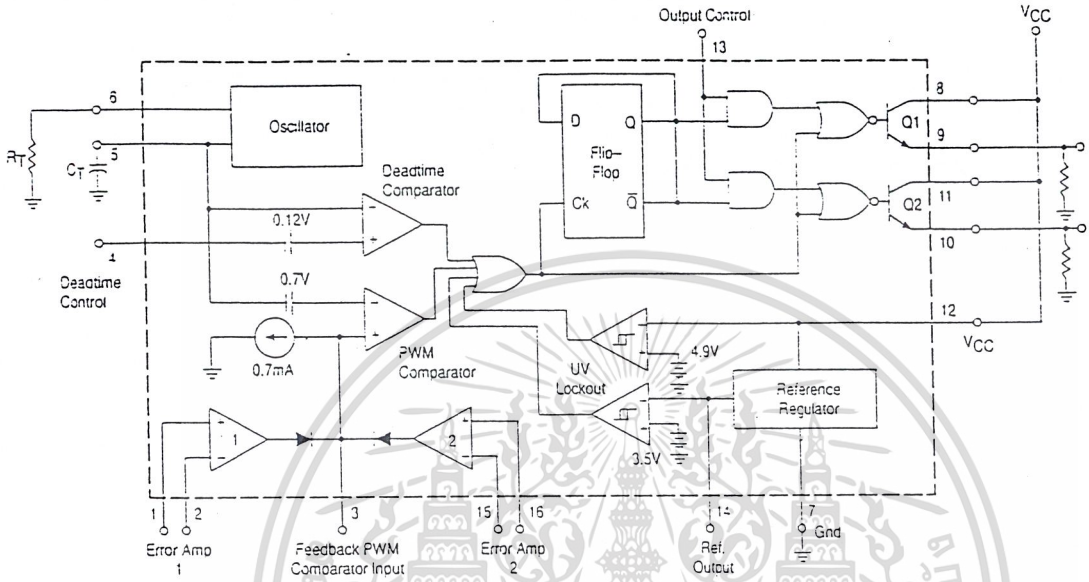
Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ERROR AMPLIFIER SECTION					
Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{IO}	-	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IO}	-	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IB}	-	-0.1	-1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range ($V_{CC} = 40\ \text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_{ICR}	-0.3 to $V_{CC}-2.0$			V
Open Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0\ \text{V}$, $V_O = 0.5\ \text{V}$ to $3.5\ \text{V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	A_{VOL}	70	95	-	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5\ \text{V}$ to $3.5\ \text{V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	f_C	-	350	-	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ($V_O = 0.5\ \text{V}$ to $3.5\ \text{V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	ϕ_m	-	65	-	deg.
Common Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40\ \text{V}$)	CMRR	65	90	-	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33\ \text{V}$, $V_O = 2.5\ \text{V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	PSRR	-	100	-	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	-	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_{O+}	2.0	-4.0	-	mA
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V_{TH}	-	2.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{Pin\ 3} = 0.7\ \text{V}$)	i_{i-}	0.3	0.7	-	mA
DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$ to $5.25\ \text{V}$)	I_{IB} (DT)	-	-2.0	-10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ($V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$) ($V_{Pin\ 4} = 0\ \text{V}$, $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	DC_{max}	45	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{th}	- 0	2.8 -	3.3 -	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	f_{osc}	-	40	-	kHz
Standard Deviation of Frequency* ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	σ_{osc}	-	3.0	-	%
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 7.0\ \text{V}$ to $40\ \text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	$\Delta f_{osc} (\Delta V)$	-	0.1	-	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}$ to T_{high}) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$)	$\Delta f_{osc} (\Delta T)$	-	-	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V_{CC} increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref} , All other inputs and outputs open) ($V_{CC} = 15\ \text{V}$) ($V_{CC} = 40\ \text{V}$)	I_{CC}	- -	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, $V_{Pin\ 4} = 2.0\ \text{V}$) ($V_{CC} = 15\ \text{V}$) (See Figure 12)		-	7.0	-	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{N \sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

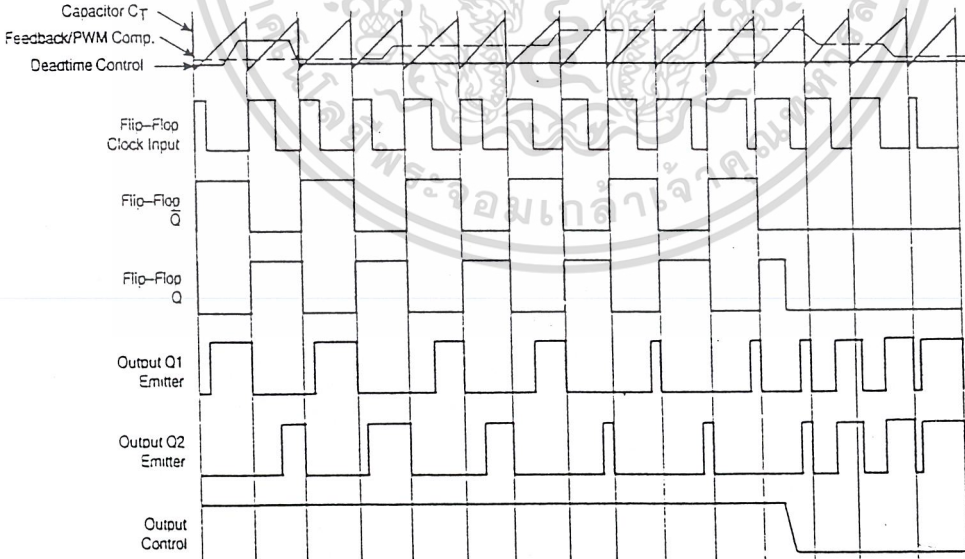
TL494

Figure 1. Representative Block Diagram



3

Figure 2. Timing Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

APPLICATIONS INFORMATION

Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components, R_T and C_T . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor C_T to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the Timing Diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the deadtime control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The deadtime control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output deadtime to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional deadtime may be imposed on the output by setting the deadtime-control input to a fixed voltage, ranging between 0 V to 3.3 V.

Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended PWM @ Q1 and Q2	1.0
@ V_{ref}	Push-pull Operation	0.5

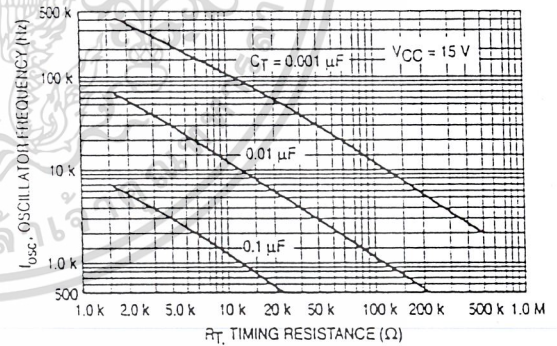
The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common mode input range from -0.3 V to ($V_{CC} - 2V$), and

may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor C_T is discharged, a positive pulse is generated on the output of the deadtime comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of $\pm 5.0\%$ with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance



TL494

Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

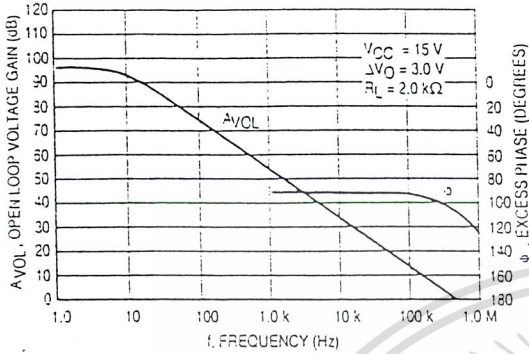


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

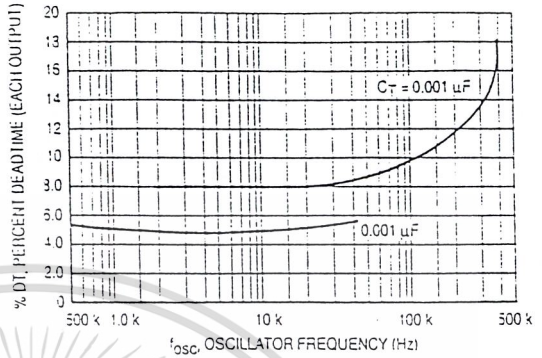


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

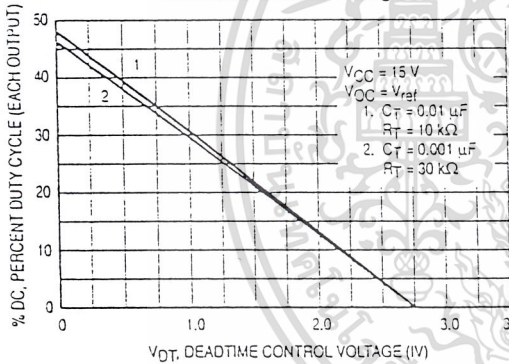


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

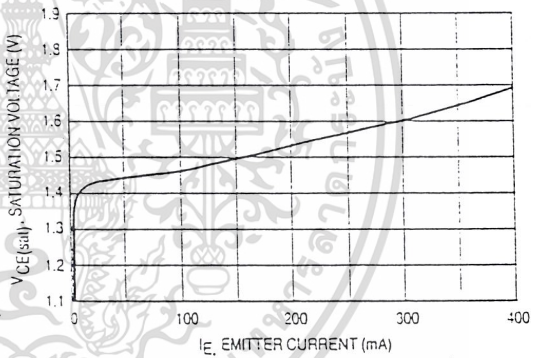


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

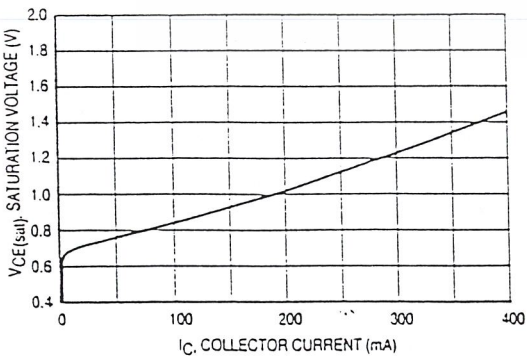


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage

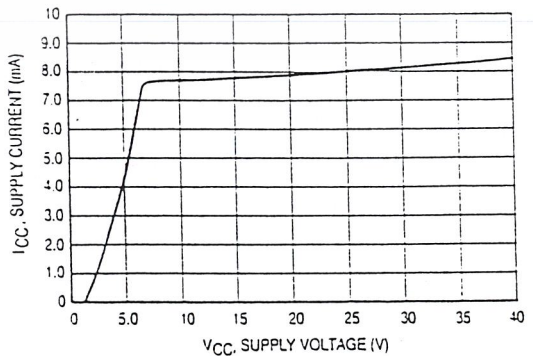


Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

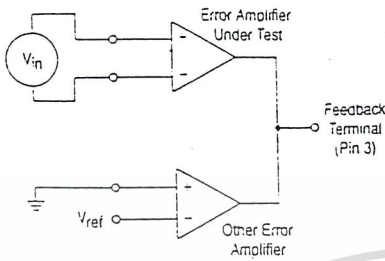


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

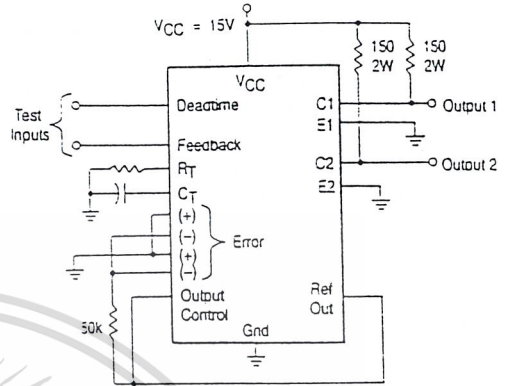


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

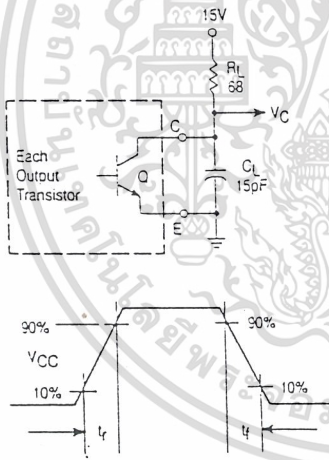


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform

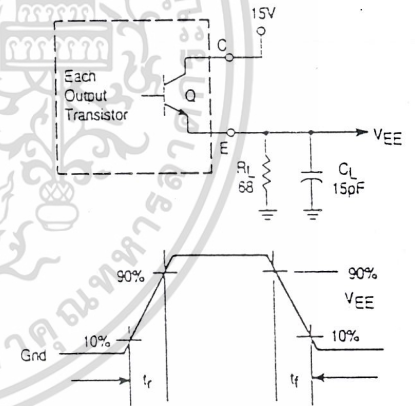
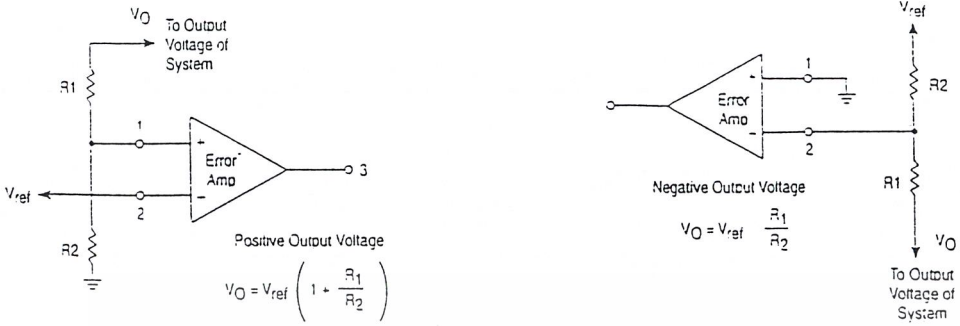


Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques



3

Figure 15. Deadtime Control Circuit

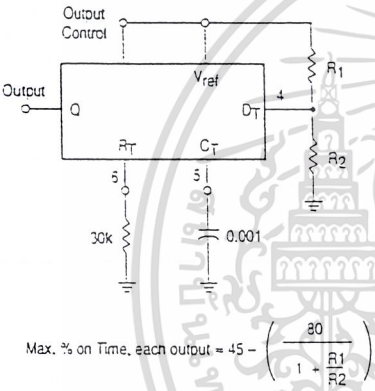


Figure 16. Soft-Start Circuit

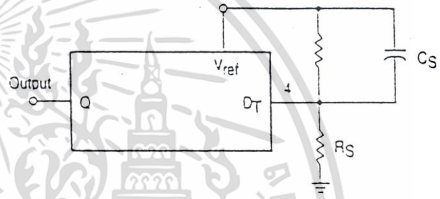
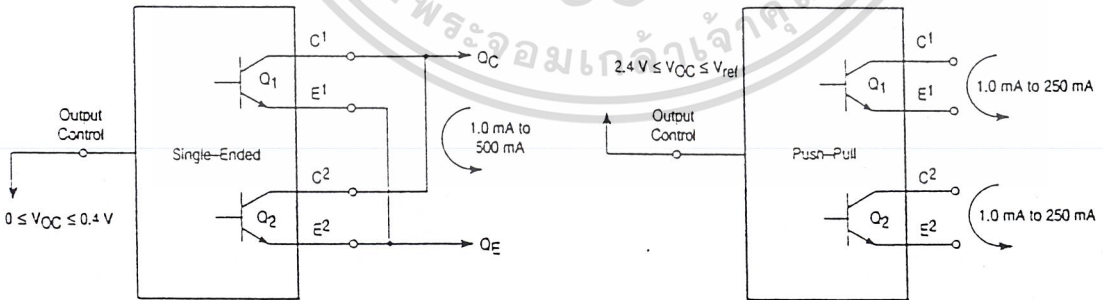


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

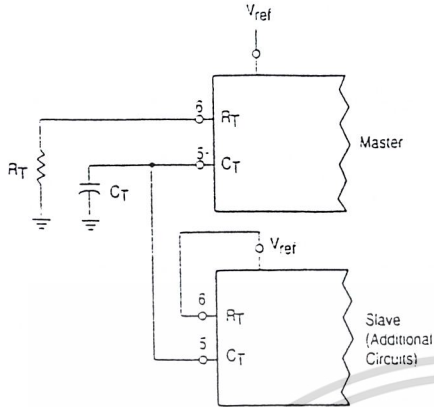


Figure 19. Operation with $V_{in} > 40\text{ V}$ Using External Zener

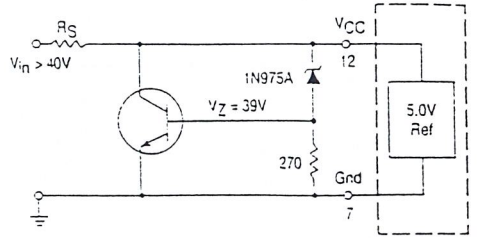
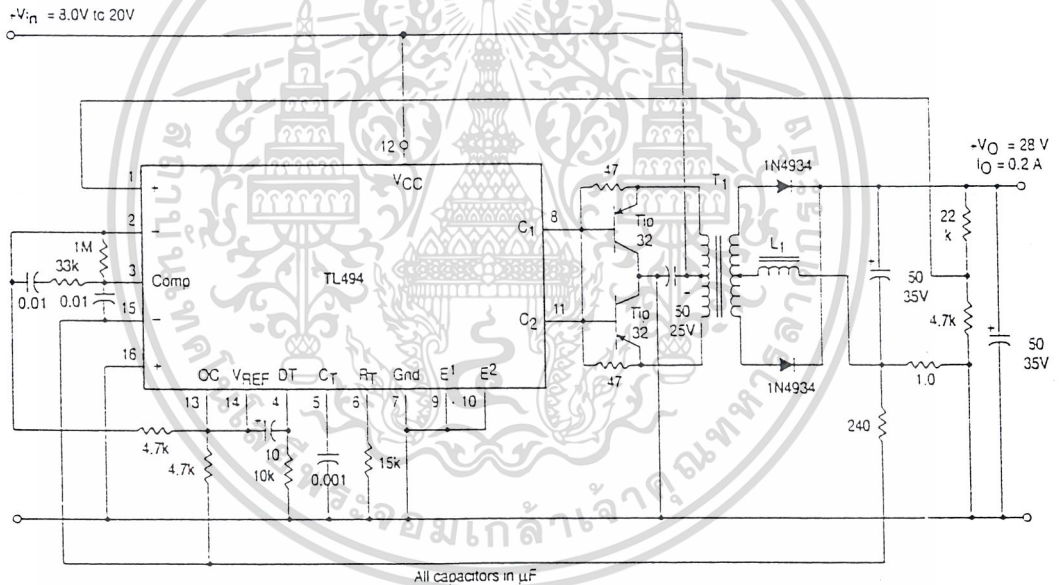


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

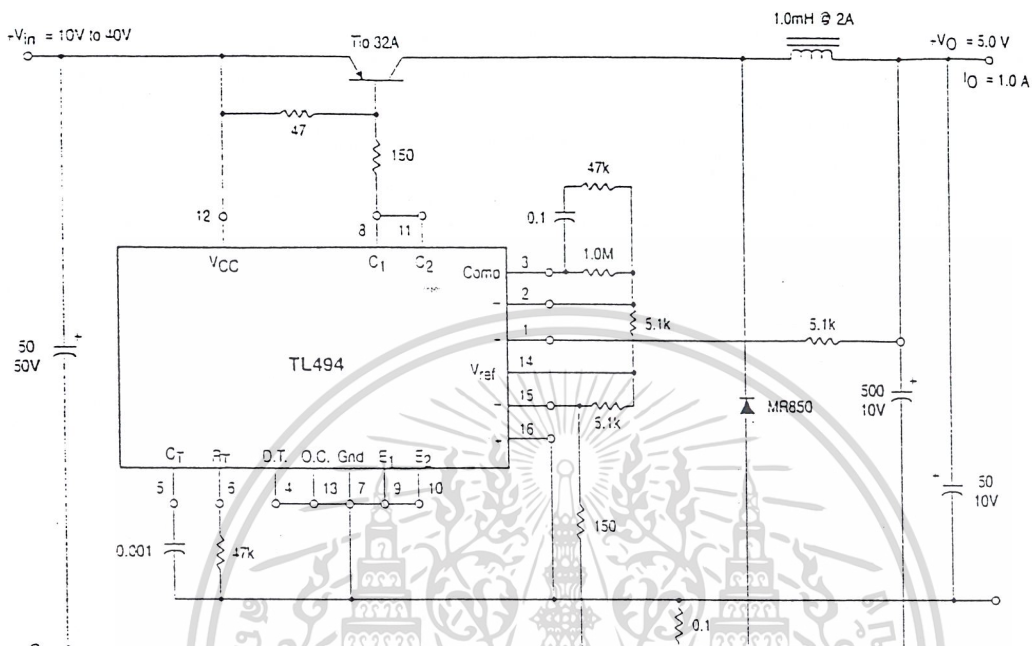


Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10\text{ V to } 40\text{ V}$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28\text{ V, } I_O = 1.0\text{ mA to } 1.0\text{ A}$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28\text{ V, } I_O = 1.0\text{ A}$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28\text{ V, } R_L = 0.1\ \Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{in} = 28\text{ V, } I_O = 1.0\text{ A}$	71%

L1 - 3.5 mH @ 0.3 A
 T1 - Primary: 20T C.T. #28 AWG
 Secondary: 120T C.T. #36 AWG
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

TL494

Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter



3

Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ mA to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	40 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	72%

IR2130

3-PHASE BRIDGE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for all channels
- Over-current shutdown turns off all six drivers
- Independent half-bridge drivers
- Matched propagation delay for all channels
- Outputs out of phase with inputs

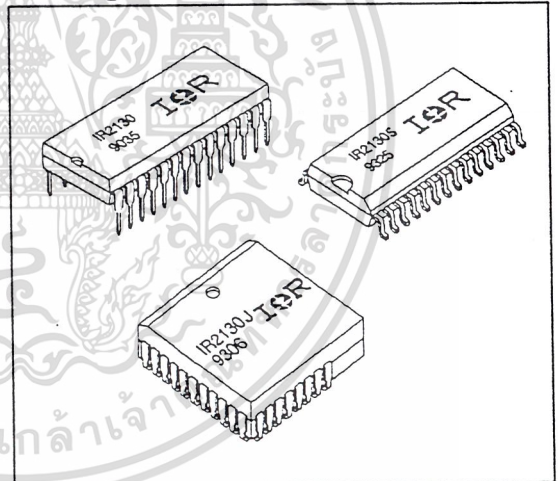
Product Summary

V_{OFFSET}	600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	200 mA / 420 mA
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off (typ.)}}$	675 & 425 ns
Deadtime (typ.)	2.5 μs

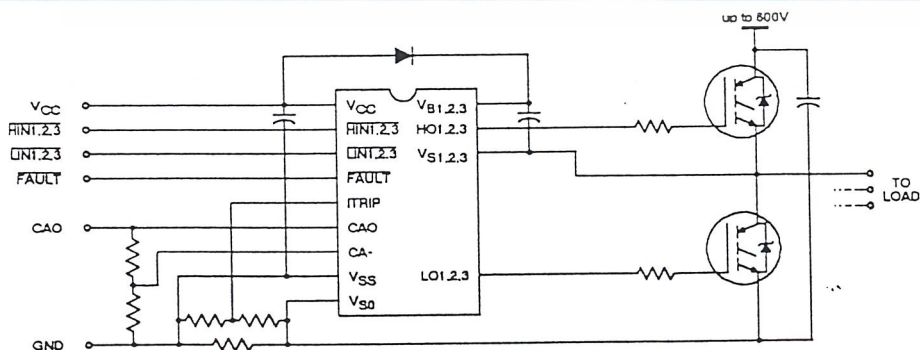
Description

The IR2130 is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with three independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC technology enables ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with 5V CMOS or LSTTL outputs. A ground-referenced operational amplifier provides analog feedback of bridge current via an external current sense resistor. A current trip function which terminates all six outputs is also derived from this resistor. An open drain FAULT signal indicates if an over-current or undervoltage shutdown has occurred. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use at high frequencies. The floating channels can be used to drive N-channel power MOSFETs or IGBTs in the high side configuration which operate up to 600 volts.

Packages



Typical Connection



Maximum Ratings

These ratings are absolute maximum ratings. Exceeding these ratings may damage the device. The Thermal Resistance and Power Dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is given in the following sections.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
$V_{IH1,2,3}$	High Side Floating Input Voltage	-0.5	5.2	V
$V_{I1,2,3}$	High Side Floating Offset Voltage	$V_{S1,2,3} - 2.3$	+80.3, +1.3	
$V_{HO1,2,3}$	High Side Floating Output Voltage	-5.1, 5.1	+80.3, +5.3	
V_{CD}	Low Side Output Voltage	-0.5	2.0	
V_S	Logic Fixed Supply Voltage	0.25	$V_{IC} + 0.3$	
$V_{LO1,2,3}$	Low Side Output Voltage	-0.3	$V_{CC} + 0.3$	
V_{IN}	Logic Input Voltage (HIN1,2,3, LIN1,2,3 & ITRIP)	$V_{SS} - 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	
V_{FLT}	FAULT Output Voltage	$3V_{CC} + 0$	$3V_{CC} + 0.3$	
V_{CAO}	Operational Amplifier Output Voltage	$V_{SS} - 0.3$	$V_{IC} + A0.3$	
V_{CA-}	Operational Amplifier Inverting Input Voltage	$3V_{CC} + 3$	$3V_{CC} + 1.1$	
P_e	Power Dissipation (28 Lead DIP)	—	50	V/mc
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction to Ambient (28 Lead DIP)	—	1.5	°C/W
	(28 Lead SOIC)	—	1.0	
	(44 Lead PLCC)	—	2.0	
T_J	Junction Temperature	—	150	°C
T_S	Storage Temperature	-55	150	
T_L	Lead Temperature (soldering)	—	300	

Recommended Operating Conditions

The Input/Output logic timing diagram is shown in Figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. All voltage parameters are absolute voltages referenced to V_{S0} . The V_S offset rating is tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in Figure 54.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
$V_{B1,2,3}$	High Side Floating Supply Voltage	$V_{S1,2,3} + 10$	$V_{S1,2,3} + 20$	V
$V_{S1,2,3}$	High Side Floating Offset Voltage	Note 1	600	
$V_{HO1,2,3}$	High Side Floating Output Voltage	$V_{S1,2,3}$	$V_{B1,2,3}$	
V_{CC}	Low Side and Logic Fixed Supply Voltage	10	20	
V_{SS}	Logic Ground	-5	5	
$V_{LO1,2,3}$	Low Side Output Voltage	0	V_{CC}	
V_{IN}	Logic Input Voltage (HIN1,2,3, LIN1,2,3 & ITRIP)	V_{SS}	$V_{SS} + 5$	
V_{FLT}	FAULT Output Voltage	V_{SS}	V_{CC}	
V_{CAO}	Operational Amplifier Output Voltage	V_{SS}	5	
V_{CA-}	Operational Amplifier Inverting Input Voltage	V_{SS}	5	
T_A	Ambient Temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of $(V_{S0} - 5V)$ to $(V_{S0} + 600V)$. Logic state held for V_S of $(V_{S0} - 5V)$ to $(V_{S0} - V_{BS})$.

Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS1,2,3}) = 15V, V_{S0,1,2,3} = V_{SS}, C_L = 1000 \text{ pF}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are defined in Figures 3 through 5.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
t_{on}	Turn-On Propagation Delay	11	500	675	850	ns	$V_{IN} = 0 \text{ \& } 5V$ $V_{S1,2,3} = 0 \text{ to } 600V$
t_{off}	Turn-Off Propagation Delay	12	300	425	550		
t_r	Turn-On Rise Time	13	—	80	125		
t_f	Turn-Off Fall Time	14	—	35	55		
t_{ITRIP}	ITRIP to Output Shutdown Prop. Delay	15	400	660	920		
t_{BI}	ITRIP Blanking Time	—	—	400	—		
t_{FIT}	ITRIP to FAULT Indication Delay	16	335	590	845	$V_{IN}, V_{ITRIP} = 0 \text{ \& } 5V$ $V_{ITRIP} = 1V$	
$t_{FIT,IN}$	Input Filter Time (All Six Inputs)	—	—	310	—		
t_{FITCLR}	LIN1,2,3 to FAULT Clear Time	17	6.0	9.0	12.0		
DT	Deadtime	18	1.3	2.5	3.7	$V_{IN}, V_{ITRIP} = 0 \text{ \& } 5V$ $V_{IN} = 0 \text{ \& } 5V$	μs
SR+	Operational Amplifier Slew Rate (+)	19	4.4	6.2	—		
SR-	Operational Amplifier Slew Rate (-)	20	2.4	3.2	—	$V/\mu s$	

Static Electrical Characteristics

$V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS1,2,3}) = 15V, V_{S0,1,2,3} = V_{SS}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all six logic input leads: HIN1,2,3 & LIN1,2,3. The V_O and I_O parameters are referenced to $V_{S0,1,2,3}$ and are applicable to the respective output leads: HO1,2,3 or LO1,2,3.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
V_{IH}	Logic "0" Input Voltage (OUT = LO)	21	2.2	—	—	V	
V_{IL}	Logic "1" Input Voltage (OUT = HI)	22	—	—	0.8		
$V_{IT,TH+}$	ITRIP Input Positive Going Threshold	23	400	490	580	mV	$V_{IN} = 0V, I_O = 0A$ $V_{IN} = 5V, I_O = 0A$
V_{OH}	High Level Output Voltage, $V_{BIAS} - V_O$	24	—	—	100		
V_{OL}	Low Level Output Voltage, V_O	25	—	—	100	μA	$V_B = V_S = 600V$ $V_{IN} = 0V \text{ or } 5V$
I_{LK}	Offset Supply Leakage Current	26	—	—	50		
I_{OBS}	Quiescent V_{BS} Supply Current	27	—	15	30	mA	$V_{IN} = 0V \text{ or } 5V$
I_{OCC}	Quiescent V_{CC} Supply Current	28	—	3.0	4.0		
I_{IN+}	Logic "1" Input Bias Current (OUT = HI)	29	—	450	650	μA	$V_{IN} = 0V$ $V_{IN} = 5V$
I_{IN-}	Logic "0" Input Bias Current (OUT = LO)	30	—	225	400		
I_{ITRIP+}	"High" ITRIP Bias Current	31	—	75	150	nA	ITRIP = 5V ITRIP = 0V
I_{ITRIP-}	"Low" ITRIP Bias Current	32	—	—	100		
V_{BSUV+}	V_{BS} Supply Undervoltage Positive Going Threshold	33	7.5	8.35	9.2	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} Supply Undervoltage Negative Going Threshold	34	7.1	7.95	8.8		
V_{CCUV+}	V_{CC} Supply Undervoltage Positive Going Threshold	35	8.3	9.0	9.7		
V_{CCUV-}	V_{CC} Supply Undervoltage Negative Going Threshold	36	8.0	8.7	9.4		
$R_{on,FLT}$	FAULT Low On-Resistance	37	—	55	75	Ω	

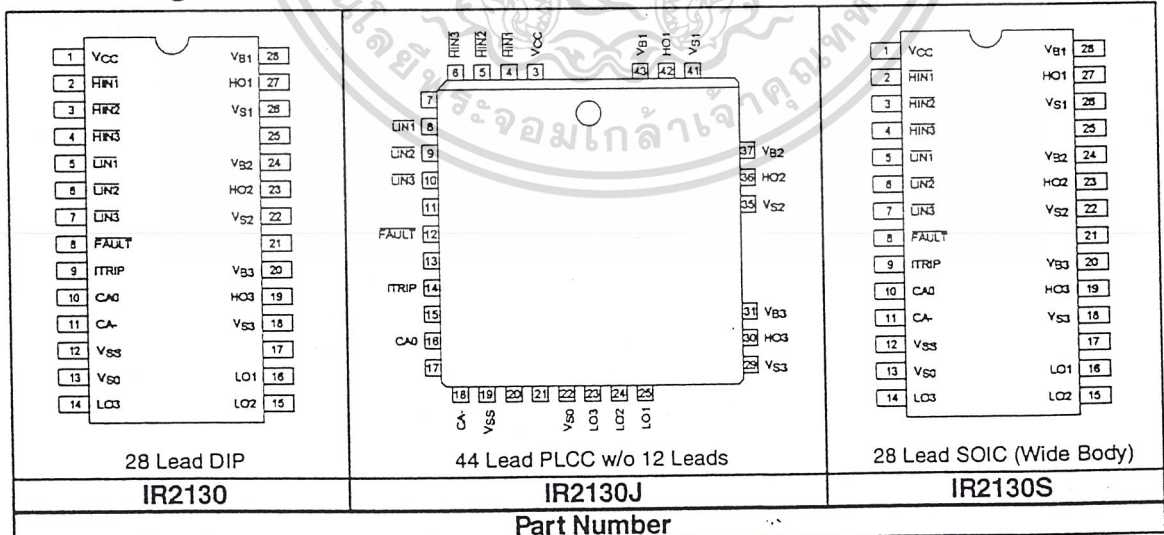
IR2130

Static Electrical Characteristics -- Continued

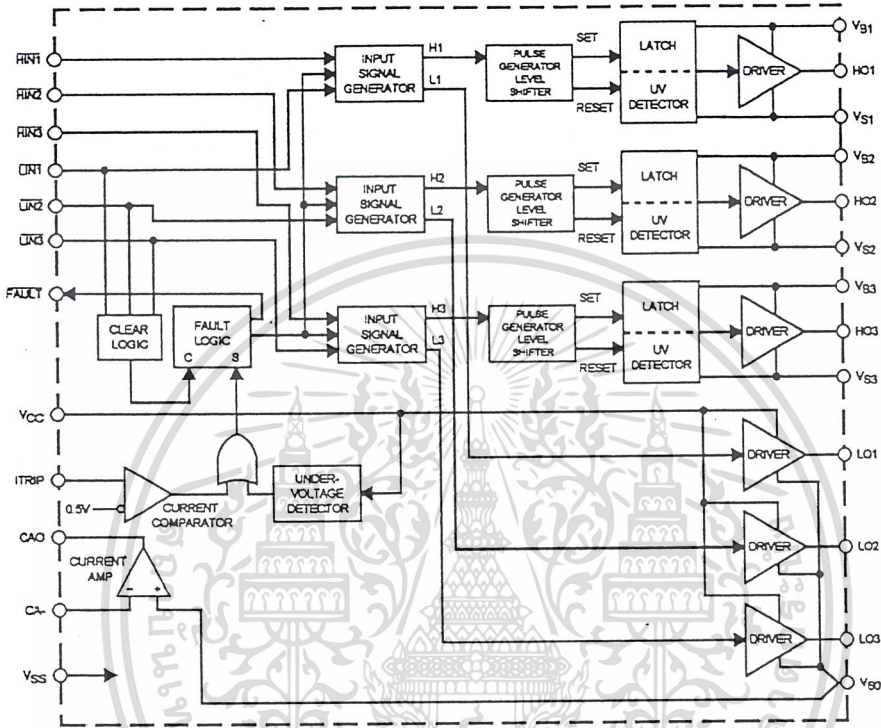
V_{BIAS} (V_{CC} , $V_{BS1,2,3}$) = 15V, $V_{S0,1,2,3}$ = V_{SS} and T_A = 25°C unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all six logic input leads: HIN1,2,3 & LIN1,2,3. The V_O and I_O parameters are referenced to $V_{S0,1,2,3}$ and are applicable to the respective output leads: HO1,2,3 or LO1,2,3.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
I_{O+}	Output High Short Circuit Pulsed Current	38	200	250	—	mA	$V_O = 0V, V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output Low Short Circuit Pulsed Current	39	420	500	—		$V_O = 15V, V_{IN} = 5V$ $PW \leq 10 \mu s$
V_{OS}	Operational Amplifier Input Offset Voltage	40	—	—	30	mV	$V_{S0} = V_{CA-} = 0.2V$
I_{CA-}	CA- Input Bias Current	41	—	—	4.0	nA	$V_{CA-} = 2.5V$
CMRR	Op. Amp. Common Mode Rejection Ratio	42	60	80	—	dB	$V_{S0} = V_{CA-} = 0.1V \& 5V$
PSRR	Op. Amp. Power Supply Rejection Ratio	43	55	75	—		$V_{S0} = V_{CA-} = 0.2V$ $V_{CC} = 10V \& 20V$
V_{OH_AMP}	Op. Amp. High Level Output Voltage	44	5.0	5.2	5.4	V	$V_{CA-} = 0V, V_{S0} = 1V$
V_{OL_AMP}	Op. Amp. Low Level Output Voltage	45	—	—	20	mV	$V_{CA-} = 1V, V_{S0} = 0V$
I_{SRC_AMP}	Op. Amp. Output Source Current	46	2.3	4.0	—	mA	$V_{CA-} = 0V, V_{S0} = 1V$ $V_{CAO} = 4V$
I_{SRC_AMP}	Op. Amp. Output Sink Current	47	1.0	2.1	—		$V_{CA-} = 1V, V_{S0} = 0V$ $V_{CAO} = 2V$
I_{O+_AMP}	Operational Amplifier Output High Short Circuit Current	48	—	4.5	6.5	mA	$V_{CA-} = 0V, V_{S0} = 5V$ $V_{CAO} = 0V$
I_{O-_AMP}	Operational Amplifier Output Low Short Circuit Current	49	—	3.2	5.2		$V_{CA-} = 5V, V_{S0} = 0V$ $V_{CAO} = 5V$

Lead Assignments



Functional Block Diagram



Lead Definitions

Lead Symbol	Description
HIN1,2,3	Logic inputs for high side gate driver outputs (HO1,2,3), out of phase
LIN1,2,3	Logic inputs for low side gate driver output (LO1,2,3), out of phase
FAULT	Indicates over-current or undervoltage lockout (low side) has occurred, negative logic
VCC	Low side and logic fixed supply
ITRIP	Input for over-current shutdown
CAO	Output of current amplifier
CA-	Negative input of current amplifier
VSS	Logic ground
Vb1,2,3	High side floating supplies
HO1,2,3	High side gate drive outputs
Vs1,2,3	High side floating supply returns
LO1,2,3	Low side gate drive outputs
Vs0	Low side return and positive input of current amplifier

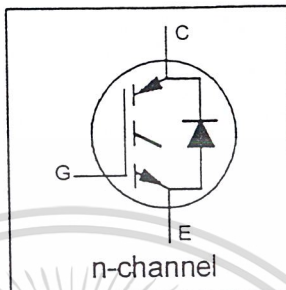
IRGPH40MD2

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR
WITH ULTRAFAST SOFT RECOVERY

Short Circuit Rated
Fast CoPack IGBT

DIODE Features

- Short circuit rated -10 μ s @125°C, $V_{GE} = 15V$
- Switching-loss rating includes all "tail" losses
- HEXFRED™ soft ultrafast diodes
- Optimized for medium operating frequency (1 to 10kHz)

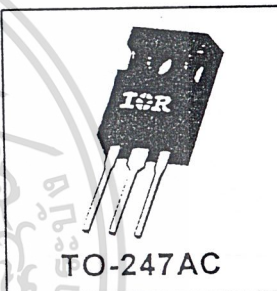


$V_{CES} = 1200V$
$V_{CE(sat)} \leq 3.4V$
@ $V_{GE} = 15V, I_C = 18A$

Description

Co-packaged IGBTs are a natural extension of International Rectifier's well known IGBT line. They provide the convenience of an IGBT and an ultrafast recovery diode in one package, resulting in substantial benefits to a host of high-voltage, high-current, applications.

These new short circuit rated devices are especially suited for motor control and other applications requiring short circuit withstand capability.



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
V_{CES} Collector-to-Emitter Voltage	1200	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$ Continuous Collector Current	31	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$ Continuous Collector Current	18	
I_{CM} Pulsed Collector Current $\text{\textcircled{1}}$	62	
I_{LM} Clamped Inductive Load Current $\text{\textcircled{2}}$	62	
$I_F @ T_C = 100^\circ C$ Diode Continuous Forward Current	8.0	
I_{FM} Diode Maximum Forward Current	62	μ s
t_{sc} Short Circuit Withstand Time	10	
V_{GE} Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
$P_D @ T_C = 25^\circ C$ Maximum Power Dissipation	160	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$ Maximum Power Dissipation	65	
T_J Operating Junction and T_{STG} Storage Temperature Range	-55 to +150	$^\circ C$
Soldering Temperature, for 10 sec.	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
Mounting Torque, 6-32 or M3 Screw.	10 lbf-in (1.1 N-m)	

Thermal Resistance

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$ Junction-to-Case - IGBT	—	—	0.77	$^\circ C/W$
$R_{\theta JC}$ Junction-to-Case - Diode	—	—	1.7	
$R_{\theta CS}$ Case-to-Sink, flat, greased surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-Ambient, typical socket mount	—	—	40	
Wt Weight	—	6 (0.21)	—	g (oz)

IRGPH40MD2



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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	
$V_{(BR)CES}$	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage ①	1200	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 250\mu A$	
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T_J$	Temp. Coeff. of Breakdown Voltage	—	1.1	—	$V^\circ\text{C}$	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0mA$	
$V_{CE(on)}$	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	—	2.3	3.4	V	$V_{GE} = 15V$ $I_C = 18A$	
		—	3.0	—			$I_C = 31A$
		—	2.8	—			$I_C = 18A, T_J = 150^\circ\text{C}$
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	5.5		$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$	
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T_J$	Temp. Coeff. of Threshold Voltage	—	-14	—	$mV^\circ\text{C}$	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$	
g_{fe}	Forward Transconductance ④	4.0	10	—	S	$V_{CE} = 100V, I_C = 18A$	
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	—	—	250	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V$	
		—	—	3500		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V, T_J = 150^\circ\text{C}$	
V_{FM}	Diode Forward Voltage Drop	—	2.6	3.3	V	$I_C = 8A$	
		—	2.3	3.0		$I_C = 8A, T_J = 150^\circ\text{C}$	
I_{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	—	—	± 100	nA	$V_{GE} = \pm 20V$	

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	
Q_g	Total Gate Charge (turn-on)	—	50	75	nC	$I_C = 18A$ $V_{CC} = 400V$	
Q_{ge}	Gate - Emitter Charge (turn-on)	—	11	21			
Q_{gc}	Gate - Collector Charge (turn-on)	—	15	30			
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	67	—	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_C = 18A, V_{CC} = 800V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega$ Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	
t_r	Rise Time	—	89	—			
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	340	930			
t_f	Fall Time	—	510	930			
E_{on}	Turn-On Switching Loss	—	2.1	—			
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	—	5.9	—	mJ		
E_{ts}	Total Switching Loss	—	8.0	13			
t_{sc}	Short Circuit Withstand Time	10	—	—	μs	$V_{CC} = 720V, T_J = 125^\circ\text{C}$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega, V_{CPK} < 1000V$	
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	64	—	ns	$T_J = 150^\circ\text{C}$ $I_C = 18A, V_{CC} = 800V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 10\Omega$ Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	
t_r	Rise Time	—	74	—			
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	550	—			
t_f	Fall Time	—	1200	—			
E_{ts}	Total Switching Loss	—	16	—			
L_E	Internal Emitter Inductance	—	13	—	nH	Measured 5mm from package	
C_{ies}	Input Capacitance	—	1400	—	pF	$V_{GE} = 0V$ $V_{CC} = 30V$ $f = 1.0MHz$	
C_{oes}	Output Capacitance	—	100	—			
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance	—	15	—			
t_{rr}	Diode Reverse Recovery Time	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	$I_F = 8A$ $V_R = 200V$ $di/dt = 200A/\mu s$
		—	106	160			
I_{rr}	Diode Peak Reverse Recovery Current	—	4.5	8.0	A	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	
		—	6.2	11			
Q_{rr}	Diode Reverse Recovery Charge	—	140	380	nC	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	
		—	335	880			
$di_{(rec)}/dt$	Diode Peak Rate of Fall of Recovery During t_b	—	133	—	A/ μs	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	
		—	85	—			

Notes: ① Repetitive rating; $V_{GE} = 20V$, pulse width limited by max. junction temperature.

② $V_{CC} = 80\%(V_{CES}), V_{GE} = 20V, L = 10\mu H, R_G = 10\Omega$

④ Pulse width 5.0 μs , single shot.

③ Pulse width $\leq 80\mu s$; duty factor $\leq 0.1\%$.

Refer to Section D - page D-13 for Package Outline 3 - JEDEC Outline TO-247AC

Hex Buffers/Logic-Level Down Converters

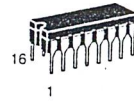
High-Performance Silicon-Gate CMOS

The MC54/74HC4049 consists of six inverting buffers, and the MC54/74HC4050 consists of six noninverting buffers. They are identical in pinout to the MC14049UB and MC14050B metal-gate CMOS buffers. The device inputs are compatible with standard CMOS outputs; with pullup resistors, they are compatible with LSTTL outputs.

The input protection circuitry on these devices has been modified by eliminating the V_{CC} diodes to allow the use of input voltages up to 15 volts. Thus, the devices may be used as logic-level translators that convert from a high voltage to a low voltage while operating at the low-voltage power supply. They allow MC14000-series CMOS operating up to 15 volts to be interfaced with High-Speed CMOS at 2 to 6 volts. The protection diodes to GND are Zener diodes, which protect the inputs from both positive and negative voltage transients.

- Output Drive Capability: 10 LSTTL Loads
- Outputs Directly Interface to CMOS, NMOS, and TTL
- Operating Voltage Range: 2 to 6 V
- Low Input Current: 5 μ A
- High Noise Immunity Characteristic of CMOS Devices
- In Compliance with the Requirements Defined by JEDEC Standard No. 7A
- Chip Complexity: 36 FETs or 9 Equivalent Gates (4049)
24 FETs or 6 Equivalent Gates (4050)

MC54/74HC4049 MC54/74HC4050



J SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620-10



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648-08



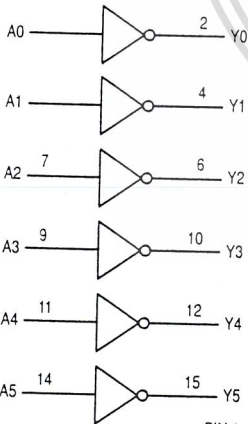
D SUFFIX
SOIC PACKAGE
CASE 751B-05

ORDERING INFORMATION

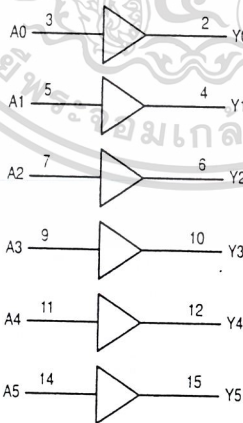
MC54HCXXXJ	Ceramic
MC74HCXXXN	Plastic
MC74HCXXXD	SOIC

LOGIC DIAGRAMS

HC4049
(INVERTING BUFFER)

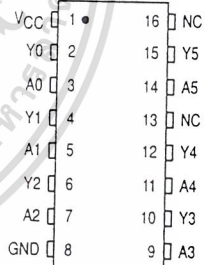


HC4050
(NONINVERTING BUFFER)



PIN 1 = V_{CC}
PIN 8 = GND
PINS 13, 16 = NO CONNECTION

PIN ASSIGNMENT



NC = NO CONNECTION

FUNCTION TABLE

A Input	Y Outputs	
	HC4049	HC4050
L	H	L
H	L	H



MAXIMUM RATINGS*

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	- 0.5 to + 7.0	V
V _{in}	DC Input Voltage (Referenced to GND)	- 1.5 to + 18	V
V _{out}	DC Output Voltage (Referenced to GND)	- 0.5 to V _{CC} + 0.5	V
I _{in}	DC Input Current, per Pin	± 20	mA
I _{out}	DC Output Current, per Pin	± 25	mA
I _{CC}	DC Supply Current, V _{CC} and GND Pins	± 50	mA
P _D	Power Dissipation in Still Air, Plastic or Ceramic DIP† SOIC Package†	750 500	mW
T _{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C
T _L	Lead Temperature, 1 mm from Case for 10 Seconds (Plastic DIP or SOIC Package) (Ceramic DIP)	260 300	°C

This device contains circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields referenced to the GND pin, only. Extra precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, the ranges $GND \leq V_{in} \leq 15 V$ and $GND \leq V_{out} \leq V_{CC}$ are recommended.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either GND or V_{CC}).

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the Recommended Operating Conditions.

† Derating — Plastic DIP: - 10 mW/°C from 65° to 125°C
Ceramic DIP: - 10 mW/°C from 100° to 125°C
SOIC Package: - 7 mW/°C from 65° to 125°C

For high frequency or heavy load considerations, see Chapter 2.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit	
V _{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	2.0	6.0	V	
V _{in}	DC Input Voltage (Referenced to GND)	0	V _{CC} to 15	V	
V _{out}	DC Output Voltage (Referenced to GND)	0	V _{CC}	V	
T _A	Operating Temperature, All Package Types	- 55	+ 125	°C	
t _r , t _f	Input Rise and Fall Time (Figure 1)	V _{CC} = 2.0 V V _{CC} = 4.5 V V _{CC} = 6.0 V	0 0 0	1000 500 400	ns

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V _{CC} V	Guaranteed Limit			Unit
				- 55 to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
V _{IH}	Minimum High-Level Input Voltage	V _{out} = V _{CC} - 0.1 V I _{out} ≤ 20 μA	2.0	1.5	1.5	1.5	V
			4.5	3.15	3.15	3.15	
			6.0	4.2	4.2	4.2	
V _{IL}	Maximum Low-Level Input Voltage	V _{out} = 0.1 V or V _{CC} - 0.1 V I _{out} ≤ 20 μA	2.0	0.3	0.3	0.3	V
			4.5	0.9	0.9	0.9	
			6.0	1.2	1.2	1.2	
V _{OH}	Minimum High-Level Output Voltage	V _{in} = V _{IH} I _{out} ≤ 20 μA	2.0	1.9	1.9	1.9	V
			4.5	4.4	4.4	4.4	
			6.0	5.9	5.9	5.9	
V _{OL}	Maximum Low-Level Output Voltage	V _{in} = V _{IH} or V _{IL} I _{out} ≤ 4.0 mA I _{out} ≤ 5.2 mA	4.5	3.98	3.84	3.70	V
			6.0	5.48	5.34	5.20	
			2.0	0.1	0.1	0.1	
V _{OL}	Maximum Low-Level Output Voltage	V _{in} = V _{IH} or V _{IL} I _{out} ≤ 20 μA	4.5	0.1	0.1	0.1	V
			6.0	0.1	0.1	0.1	
			2.0	0.1	0.1	0.1	
I _{in}	Maximum Input Leakage Current	V _{in} = V _{CC} or GND V _{in} = 15 V	6.0	± 0.1	± 1.0	± 1.0	μA
			6.0	0.5	5.0	5.0	
			6.0	2	20	40	
I _{CC}	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	V _{in} = 15 V or GND I _{out} = 0 μA	6.0	2	20	40	μA

NOTE: Information on typical parametric values can be found in Chapter 2.

Quad 2-Input AND Gate with LSTTL-Compatible Inputs

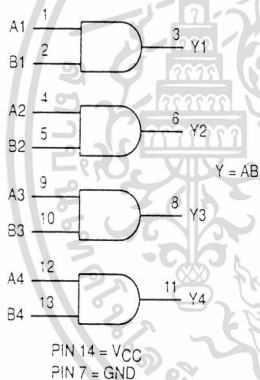
High-Performance Silicon-Gate CMOS

The MC54/74HCT08A may be used as a level converter for interfacing TTL or NMOS outputs to high-speed CMOS inputs.

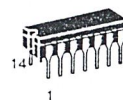
The HCT08A is identical in pinout to the LS08.

- Output Drive Capability: 10 LSTTL Loads
- TTL/NMOS-Compatible Input Levels
- Outputs Directly Interface to CMOS, NMOS and TTL
- Operating Voltage Range: 4.5 to 5.5 V
- Low Input Current: 1.0 μ A
- In Compliance with the Requirements Defined by JEDEC Standard No. 7A
- Chip Complexity: 40 FETs or 10 Equivalent Gates

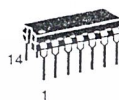
LOGIC DIAGRAM



MC54/74HCT08A



J SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632-08



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646-06

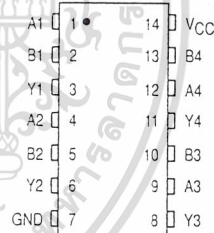


D SUFFIX
SOIC PACKAGE
CASE 751A-03

ORDERING INFORMATION

MC54HCTXXAJ	Ceramic
MC74HCTXXAN	Plastic
MC74HCTXXAD	SOIC

PIN ASSIGNMENT



FUNCTION TABLE

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

3



MAXIMUM RATINGS*

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	- 0.5 to + 7.0	V
V _{in}	DC Input Voltage (Referenced to GND)	- 1.5 to V _{CC} + 1.5	V
V _{out}	DC Output Voltage (Referenced to GND)	- 0.5 to V _{CC} + 0.5	V
I _{in}	DC Input Current, per Pin	± 20	mA
I _{out}	DC Output Current, per Pin	± 25	mA
I _{CC}	DC Supply Current, V _{CC} and GND Pins	± 50	mA
P _D	Power Dissipation in Still Air, Plastic or Ceramic DIP† SOIC Package†	750 500	mW
T _{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C
T _L	Lead Temperature, 1 mm from case for 10 Seconds (SOIC or Plastic DIP) (Ceramic DIP)	260 300	°C °C

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range GND ≤ (V_{in} or V_{out}) ≤ V_{CC}. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either GND or V_{CC}). Unused outputs must be left open.

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the Recommended Operating Conditions.

† Derating — Plastic DIP: - 10 mW/°C from 65° to 125°C
Ceramic DIP: - 10 mW/°C from 100° to 125°C
SOIC Package: - 7 mW/°C from 65° to 125°C

For high frequency or heavy load considerations, see Chapter 2.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
V _{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	4.5	5.5	V
V _{in} , V _{out}	DC Input Voltage, Output Voltage (Referenced to GND)	0	V _{CC}	V
T _A	Operating Temperature, All Package Types	- 55	+ 125	°C
t _r , t _f	Input Rise and Fall Time (Figure 1)	0	500	ns

3

DC CHARACTERISTICS FOR THE MC54/74HCT08A (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V _{CC} Volts	Guaranteed Limit						Unit	
				- 55 to 25°C		≤ 85°C		≤ 125°C			
				Min	Max	Min	Max	Min	Max		
V _{IH}	Minimum High-Level Input Voltage	V _{out} = 0.1 V or V _{CC} - 0.1 V I _{out} ≤ 20 μA	4.5 5.5	2.00 2.00		2.00 2.00		2.00 2.00		V	
V _{IL}	Maximum Low-Level Input Voltage	V _{out} = 0.1 V or V _{CC} - 0.1 V I _{out} ≤ 20 μA	4.5 5.5		0.80 0.80		0.80 0.80		0.80 0.80	V	
V _{OH}	Minimum High-Level Output Voltage	V _{in} = V _{IH} or V _{IL} I _{out} ≤ 20 μA	4.5 5.5	4.40 5.40		4.40 5.40		4.40 5.40		V	
V _{OL}	Maximum Low-Level Output Voltage	V _{in} = V _{IH} or V _{IL} I _{out} ≤ 20 μA	4.5 5.5		0.10 0.10		0.10 0.10		0.10 0.10		V
		V _{in} = V _{IH} or V _{IL} I _{out} ≤ 4.0 mA	4.5		0.26		0.33		0.40		V
I _{in}	Maximum Input Leakage Current	V _{in} = V _{CC} or GND	5.5		±0.10		±1.00		±1.00	μA	
I _{CC}	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	V _{in} = V _{CC} or GND I _{out} = 0 μA	5.5		1		10		40	μA	
ΔI _{CC}	Additional Quiescent Supply Current	V _{in} = 2.4 V, Any One Input V _{in} = V _{CC} or GND, Other Inputs I _{out} = 0 mA	5.5				≥ -55°C	25° to 125°C		mA	
							2.9	2.4		mA	

NOTE: Information on typical parametric values can be found in Chapter 2.



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.1 ตารางเทียบขนาดลวดสายไฟฟ้า

เบอร์ SWG	เส้นผ่าน- ศูนย์กลาง		เนื้อที่หน้าตัด		ทานกระแสได้ (A)		ไว้เป็นพิกัด ทานกระแสได้ (A)	น้ำหนักต่อ ความยาว 100 เมตร ลวดเปล่า (kg)	ความมิดต่อ ความยาว 100 เมตร (25 °C) (Ω)	เบอร์ AWG	
	นิ้ว	มม.	เซอร์คิว- ลาร์มิล	ตร.มม.	หุ้มยาง	ลวดเปล่า					
19/12	0	.324	8.23	105,500	54.186	125	200	-	47.925	.033	0
	1	.3	7.62	90,000	46.451	-	-	-	-	-	-
19/13	-	-	-	83,690	-	100	150	-	37.995	.042	1
	2	.276	7.06	77,176	89.874	-	-	-	-	-	-
19/15	3	.252	6.4	66,370	32.768	90	125	-	30.185	.052	2
19/16	4	.232	5.89	52,630	27.753	-	-	-	23.895	.066	3
	5	.212	5.38	41,740	23.155	70	90	-	18.960	.083	4
19/18	6	.192	4.86	33,100	18.251	-	-	-	15.030	.105	5 7/14
	7	.176	4.46	30,976	15.913	-	-	-	-	-	-
	8	.16	4.06	26,250	13.026	50	70	-	1.925	.133	6
	9	.144	3.66	20,766	10.716	-	-	-	9.45	.167	7
7/16	10	.128	3.24	16,510	8.398	35	50	-	7.5	.211	8
	11	.116	2.94	13,090	6.914	-	-	-	5.945	.266	9
7/18	12	.104	2.642	10,816	5.584	25	30	-	4.715	.335	10
	13	.092	2.336	8,234	4.365	-	-	-	3.738	.424	11
7/20	14	.08	2.03	6,530	3.296	20	25	232	2.965	.534	12
	15	.072	1.828	5,178	2.673	-	-	-	2.352	.673	13
7/22	16	.064	1.625	4,107	2.112	15	20	165	1.864	.850	14 3/18
1/16	17	.056	1.422	3,257	1.617	-	-	-	1.479	1.070	15 3/20
	-	-	-	2,583	-	6	10	-	1.173	1.350	16 3/22
1/18	18	.048	1.219	2,048	1.188	-	-	107	.93	1.703	17
	19	.04	1.061	1,624	.825	3	5	-	.738	2.148	18
	20	.036	.914	1,288	.668	-	-	70	.585	2.706	19
	21	.032	.812	1,022	.527	-	-	-	.464	3.412	20
	22	.028	.711	810.1	.404	-	-	48	.366	4.303	21
	23	.024	.61	624.4	.297	-	-	-	.292	5.125	22
	24	.022	.558	509.5	.249	-	-	33.4	.231	6.647	23
	25	.02	.508	404.0	.206	-	-	-	.183	8.630	24
	26	.018	.457	320.4	.167	-	-	24.7	.146	10.89	25
	27	.016	.406	254.1	.131	-	-	-	.115	13.728	26
	28	.0148	.376	201.5	.113	-	-	18.4	.091	17.292	27
	29	.0136	.346	184.9	.095	-	-	-	-	-	-
	30	.012	.304	159.8	.073	-	-	14.1	.073	21.783	28
	31	.011	.29	126.7	.067	-	-	-	.057	27.522	29
	32	.0102	.274	116.6	.06	-	-	11.5	-	-	-
	33	.01	.254	100.5	.051	-	-	-	.045	31.782	30
	34	.009	.228	81.0	.041	-	-	9.0	-	-	-
	35	.008	.203	79.7	.032	-	-	-	.036	43.758	31
	-	-	-	63.21	-	-	-	-	.029	55.176	32
	36	.0076	.193	50.13	.029	-	-	6.8	.023	69.564	33
	37	.0068	.172	39.75	.023	-	-	-	.018	87.714	34
	38	.0061	.155	31.52	.018	-	-	4.7	.014	110.716	35
	39	.0052	.132	25.0	.013	-	-	-	.011	139.59	36
	40	.0048	.121	-	.011	-	-	3.4	-	-	-
	41	.0044	.111	19.8	.0098	-	-	-	.009	175.89	37
	42	.004	.1	15.72	.008	-	-	2.6	.007	222.09	38
	43	.0036	.0914	12.47	.0066	-	-	-	.005	279.51	39
	44	.0032	.0812	9.89	.0052	-	-	1.65	.004	352.44	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางขนาดแกนเหล็กแผ่นหม้อแปลง

ลำดับ	วัดที่ใช้	A	B	C	D	E
1	0 - 200	$3 \frac{3}{4}$ "	$2 \frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$1 \frac{1}{16}$ "	$\frac{3}{4}$ "
2	200 - 400	$4 \frac{1}{2}$ "	3"	$\frac{5}{8}$ "	$1 \frac{1}{4}$ "	$\frac{3}{4}$ "
3	400 - 800	$5 \frac{1}{4}$ "	$3 \frac{1}{2}$ "	$\frac{7}{8}$ "	$1 \frac{3}{4}$ "	$\frac{7}{8}$ "
4	800 - 1500	6"	4"	1"	2"	1"
5	1500 - 2500	$7 \frac{1}{2}$ "	5"	$1 \frac{1}{4}$ "	$2 \frac{1}{2}$ "	$1 \frac{1}{4}$ "
6	2500 - 4000	9"	6"	$1 \frac{1}{2}$ "	3"	$1 \frac{1}{1}$ "

ตารางของเหล็กแผ่นมีตามท้องตลาดความยาวเป็นนิ้ว เมื่อได้ขนาดตามวัดที่ต้องการใช้แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อเข้าหลักเกณฑ์ในการหาน้ำหนักและพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NIPPON STEEL GRAIN - ORIENTED ELECTRICAL STEEL SHEETS

Thickness mm (In.)	grade	Maximum core loss				Minimum	Typical Core loss				Typical
		1.5T		1.7T		Induction	1.5T		1.7T		Induction
		50Hz w/kg	60Hz w/lb	50Hz w/kg	60Hz w/lb	at 800 A/m T	50Hz w/kg	60Hz w/lb	50Hz w/kg	60Hz w/lb	at800 A/m T
0.23 (0.009)	23ZDKH90	-	-	0.90	0.54	1.88	0.60	0.36	0.83	0.49	1.91
	23ZH95	-	-	0.90	0.54	1.88	0.63	0.37	0.87	0.51	1.92
	23ZH95	-	-	0.95	0.57	1.88	0.64	0.38	0.90	0.53	1.91
	23ZH100 M-0H	-	-	1.00	0.60	1.88	0.66	0.39	0.93	0.54	1.90
	M-1	0.71	0.42	1.06	0.63	1.80	0.69	0.40	1.02	0.59	1.86
	23Z110	-	-	1.10	0.66	1.80	0.70	0.41	1.06	0.61	1.85
	M-2	0.75	0.45	1.12	0.67	1.80	0.71	0.42	1.08	0.62	1.85
	M-3	0.79	0.47	1.18	0.70	1.80	0.76	0.44	1.12	0.65	1.84
	27ZDKH95	-	-	0.95	0.57	1.88	0.65	0.40	0.89	0.53	1.92
	27ZH95	-	-	0.95	0.57	1.88	0.69	0.41	0.93	0.55	1.92
0.27 (0.106)	27ZH100	-	-	1.00	0.60	1.88	0.70	0.42	0.96	0.57	1.91
	M-0H	-	-	1.03	0.62	1.86	0.72	0.43	0.99	0.59	1.91
	M-1H	-	-	1.09	0.65	1.88	0.74	0.44	1.03	0.61	1.90
	27ZH110	-	-	1.10	0.66	1.88	0.74	0.44	1.03	0.61	1.90
	27Z120	-	-	1.20	0.72	1.80	0.79	0.47	1.15	0.67	1.85
	M-3	0.83	0.49	1.21	0.72	1.80	0.80	0.47	1.17	0.68	1.85
	M-4	0.89	0.53	1.27	0.76	1.80	0.83	0.49	1.22	0.70	1.84
	27Z130	-	-	1.30	0.78	1.80	0.83	0.49	1.23	0.71	1.84
	30ZH100	-	-	1.00	0.60	1.88	0.73	0.44	0.98	0.58	1.92
	30ZH105 M-0H	-	-	1.05	0.63	1.88	0.74	0.44	1.01	0.60	1.91
0.30 (0.0118)	30ZH110	-	-	1.10	0.66	1.88	0.76	0.45	1.05	0.62	1.90
	M-1H	-	-	1.11	0.66	1.88	0.77	0.46	1.06	0.63	1.90
	M-2H	-	-	1.17	0.70	1.88	0.81	0.49	1.12	0.67	1.90
	30ZH120	-	-	1.20	0.72	1.88	0.81	0.49	1.12	0.66	1.90
	30Z120	-	-	1.20	0.72	1.80	0.82	0.49	1.17	0.69	1.85
	M-3	0.85	0.50	1.23	0.74	1.80	0.83	0.49	1.19	0.70	1.85
	30Z130	-	-	1.30	0.78	1.80	0.86	0.51	1.25	0.73	1.84
	M-4	0.90	0.54	1.32	0.79	1.80	0.86	0.51	1.24	0.73	1.84
	M-5	0.97	0.58	1.39	0.83	1.80	0.90	0.54	1.29	0.76	1.83
	30Z140	-	-	1.40	0.84	1.80	0.90	0.54	1.33	0.77	1.83
0.35 (0.0138)	35ZH115	-	-	1.15	0.69	1.88	0.86	0.52	1.14	0.68	1.93
	M-1H	-	-	1.16	0.69	1.88	0.87	0.53	1.15	0.69	1.93
	M-2H	-	-	1.22	0.72	1.88	0.90	0.54	1.19	0.73	1.92
	35ZH125	-	-	1.25	0.75	1.88	0.91	0.55	1.21	0.73	1.92
	M-3H	-	-	1.28	0.76	1.88	0.93	0.56	1.24	0.75	1.92
	35ZH135	-	-	1.35	0.81	1.88	0.95	0.57	1.27	0.77	1.91
	35Z135	-	-	1.35	0.81	1.80	0.94	0.56	1.33	0.79	1.84
	M-5	1.01	0.60	1.45	0.87	1.80	0.96	0.57	1.35	0.80	1.84
	35Z145	-	-	1.45	0.87	1.80	0.98	0.59	1.39	0.82	1.84
	35Z155	-	-	1.55	0.93	1.80	1.01	0.60	1.46	0.86	1.83
M-6	1.11	0.66	1.57	0.94	1.80	1.01	0.60	1.46	0.86	1.83	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในสถานศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงฝ่ายเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

●SIZE and From Tolerances					
Width	Thickness	Thickness Tolerance	Thickness Deviation in Crosswise Direction	Width Tolerance	Permissible Camber Per 2 Meters of Length
mm (in.)	mm (in.)	mm (mil)	mm (mil)	mm (in.)	mm (in.)
	0.23(0.009)	±0.02		+0.2	
150(6) or under		(±0.8)	0.02(0.8) or under	(+0.006)	
	0.27(0.0105)	±0.03		0	
		(±0.8)		+0.3	
	0.23(0.009)	±0.02	0.02(0.8) or under	(+0.012)	
over 150(6) to 400(16) incl.		(±0.8)		0	1.0(0.04) or under
	0.27(0.0106)	±0.03			
		(±1.2)		+0.5	
over 400(16) to 750(30) incl.	0.23(0.009)	±0.02	0.03(1.2) or under	(+0.020)	
		(±0.8)		0	
	0.27(0.0106)	±0.03			
		(±1.2)		0	
	0.23(0.009)	±0.02		+0.6	
over 750(30)		(±0.8)	0.03(1.2) or under	(+0.024)	
	0.27(0.0106)	±0.03		0	
		(±1.2)			

TYPICAL ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES													
Thickness mm (in.)	Grade	Assumed Density kg/cm ²	Resistivity Ω-m (x 10 ⁻⁸)	Core loss				Induction					
				Watt per kilogram		Watt per pound		T		T			
				50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	800 A/m	2500 A/m	800 A/m	2500 A/m		
0.23(0.009)	23ZDKH90	7.65	50	0.60	0.83	0.79	1.08	1.08	0.27	0.38	0.36	1.91	1.95
0.27(0.0106)	27ZDKH95		48	0.66	0.89	0.88	1.16	0.30	0.40	0.40	0.53	1.92	1.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL MEGCHANICAL PROPERTIES AND LAMINATION FACTORS

Grade	Tensile Strength				Yield Point				Elongation		Fardness HV [I]	Bending		
	N/mm ²		mV10 ³ [x10 ³]		N/mm ²		mV10 ² [x10 ²]		%			Teat Value		Lamination Factor
	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C	%	
23ZDKH90	363	412	53	60	353	373	51	54	8	28	189	15	8	97.5
27ZDKH95	353	412	51	60	343	373	50	54	9	32	182	19	11	98.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 8.00 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	18.37	0.5
2	24	18.24	0.6
3	20	18.1	0.7
4	18	17.7	0.8
5	16	17.7	0.95
6	14	17.4	1.0
7	12	17.2	1.2
8	10	16.5	1.3
9	9	16.2	1.4
10	8	15.9	1.4
11	7	15.3	1.6
12	6	14.4	1.6
13	5	13.3	1.65
14	4.8	13.3	1.7
15	4.6	13.0	1.75
16	4.4	12.9	1.8
17	4.2	12.8	1.8
18	4	12.5	1.8
19	3.8	7.6	1.9
20	3.6	7.1	1.9
21	3.4	6.8	1.9
22	3.2	6.5	1.95
23	3	6.2	2.0
24	2.8	6.0	2.0
25	2.6	5.7	2.1

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	5.3	2.1
27	2.2	4.9	2.1
28	2	4.5	2.1
29	1.8	4.2	2.1
30	1.6	3.8	2.15
31	1.4	3.3	2.15
32	1.2	2.9	2.15
33	1	2.5	2.15
34	0.8	2.1	2.15
35	0.6	1.7	2.2
36	0.4	1.2	2.2
37	0.2	0.8	2.25

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 8.30 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	16.1	0.5
2	24	15.5	0.5
3	20	14.8	0.6
4	18	14.0	0.65
5	16	13.3	0.7
6	14	12.5	0.75
7	12	11.5	0.8
8	10	10.3	0.8
9	9	9.8	0.8
10	8	9.3	0.8
11	7	8.8	0.9
12	6	8.2	0.95
13	5	7.7	1.0
14	4.8	8.4	1.1
15	4.6	8.8	1.2
16	4.4	9	1.3
17	4.2	9.4	1.35
18	4	9.5	1.4
19	3.8	5.7	1.5
20	3.6	5.6	1.5
21	3.4	5.5	1.6
22	3.2	5.2	1.6
23	3	5.0	1.65
24	2.8	4.8	1.7
25	2.6	4.5	1.7

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	4.3	1.8
27	2.2	4.1	1.8
28	2	3.9	1.85
29	1.8	3.8	1.95
30	1.6	3.5	2.0
31	1.4	3.1	2.0
32	1.2	2.8	2.1
33	1	2.4	2.1
34	0.8	2.1	2.1
35	0.6	1.7	2.2
36	0.4	1.3	2.25
37	0.2	0.8	2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถ้าทั้งหมัดมีให้ที่แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 9.00 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.9	0.5
2	24	17.8	0.65
3	20	17.7	0.7
4	18	17.6	0.7
5	16	17.6	0.9
6	14	17.5	1.0
7	12	17.4	1.2
8	10	17.2	1.3
9	9	17.1	1.4
10	8	17.0	1.6
11	7	16.5	1.7
12	6	16.1	1.9
13	5	15.9	2.0
14	4.8	15.9	2.1
15	4.6	15.9	2.1
16	4.4	15.8	2.2
17	4.2	15.8	2.3
18	4	15.8	2.3
19	3.8	14.0	3.6
20	3.6	13.8	3.7
21	3.4	13.4	3.9
22	3.2	13.0	4.0
23	3	12.5	4.4
24	2.8	12.1	4.2
25	2.6	11.5	4.3

ลำดับ	R	V (v11.5)	I (A)
26	2.4	10.8	4.3
27	2.2	10.0	4.3
28	2	9.1	4.4
29	1.8	8.5	4.4
30	1.6	7.6	4.4
31	1.4	6.8	4.4
32	1.2	5.8	4.5
33	1	4.9	4.5
34	0.8	4.2	4.5
35	0.6	3.3	4.5
36	0.4	2.4	4.5
37	0.2	1.5	4.5

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มม.เอียง 25°

เวลา 10.00 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.7	0.6
2	24	17.6	0.65
3	20	17.6	0.77
4	18	17.5	0.85
5	16	17.4	0.95
6	14	17.3	1.1
7	12	17.2	1.3
8	10	17.16	1.4
9	9	17.07	1.4
10	8	16.9	1.5
11	7	16.8	1.7
12	6	16.7	1.9
13	5	16.5	2.1
14	4.8	16.4	2.1
15	4.6	16.4	2.2
16	4.4	16.3	2.3
17	4.2	16.3	2.4
18	4	16.2	2.4
19	3.8	14.3	3.7
20	3.6	14.1	3.8
21	3.4	13.8	4.0
22	3.2	13.5	4.2
23	3	13.1	4.4
24	2.8	8.1	4.5
25	2.6	12.2	4.5

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	11.7	4.7
27	2.2	11.0	4.8
28	2	11.1	4.9
29	1.8	9.4	5.0
30	1.6	8.6	5.0
31	1.4	7.6	5.1
32	1.2	6.6	5.1
33	1	5.6	5.2
34	0.8	4.7	5.2
35	0.6	3.8	5.2
36	0.4	2.7	5.2
37	0.2	1.7	5.2

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 10.30 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.4	0.5
2	24	17.3	0.6
3	20	17.3	0.7
4	18	17.2	0.8
5	16	17.1	0.9
6	14	17.0	2
7	12	16.9	2
8	10	16.9	2
9	9	16.7	2.1
10	8	16.6	2.1
11	7	16.5	2.1
12	6	16.3	2.1
13	5	16.2	2.2
14	4.8	16.1	2.2
15	4.6	16.1	2.2
16	4.4	16.0	2.3
17	4.2	15.9	2.3
18	4	15.8	2.3
19	3.8	14.3	3.4
20	3.6	14.1	3.7
21	3.4	13.9	4.0
22	3.2	13.5	4.2
23	3	13.3	4.3
24	2.8	13.0	4.5
25	2.6	12.5	4.7

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	12.0	4.9
27	2.2	11.4	5.0
28	2	10.6	5.1
29	1.8	9.9	5.2
30	1.6	9.0	5.2
31	1.4	8.0	5.3
32	1.2	6.9	5.4
33	1	5.8	5.4
34	0.8	5.0	5.4
35	0.6	4.0	5.4
36	0.4	2.5	5.4
37	0.2	1.8	5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
และการพาณิชย์อื่น ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำแปลงเนื้อที่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 11.00 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.5	0.5
2	24	17.4	0.6
3	20	17.3	0.7
4	18	17.3	0.8
5	16	17.2	0.9
6	14	17.0	1.0
7	12	17.0	1.2
8	10	16.9	1.3
9	9	16.8	1.4
10	8	16.7	1.5
11	7	16.4	1.7
12	6	16.4	1.9
13	5	16.2	2.0
14	4.8	16.1	2.1
15	4.6	16.0	2.2
16	4.4	16.0	2.2
17	4.2	15.9	2.3
18	4	15.9	2.3
19	3.8	14.3	3.2
20	3.6	14.1	3.5
21	3.4	13.9	3.9
22	3.2	13.6	4.2
23	3	13.3	4.4
24	2.8	13.2	4.5
25	2.6	12.8	4.7

ลำดับ	R	V (v)	I (A4.9)
26	2.4	12.3	5.1
27	2.2	11.8	5.3
28	2	11.1	5.4
29	1.8	10.4	5.5
30	1.6	9.6	5.6
31	1.4	8.6	5.7
32	1.2	7.5	5.7
33	1	6.3	5.7
34	0.8	5.4	5.7
35	0.6	4.3	5.7
36	0.4	3.2	5.7
37	0.2	2.0	5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นแต่มีให้เหตุผลที่ถูกต้องและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^{\circ}\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มม.เอียง 25°

เวลา 11.30 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.4	0.5
2	24	17.3	0.6
3	20	17.2	0.7
4	18	17.1	0.9
5	16	17.1	0.9
6	14	17.0	0.9
7	12	17.0	1.1
8	10	16.8	1.3
9	9	16.7	1.4
10	8	16.6	1.5
11	7	16.5	1.7
12	6	16.3	1.8
13	5	16.2	2.0
14	4.8	16.1	2.1
15	4.6	16.1	2.2
16	4.4	16.1	2.2
17	4.2	16.0	2.3
18	4	16.0	2.3
19	3.8	14.2	3.3
20	3.6	14.0	3.5
21	3.4	13.9	4.0
22	3.2	13.7	4.1
23	3	13.3	4.3
24	2.8	13.0	4.3
25	2.6	12.6	4.6

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	12.0	4.8
27	2.2	11.5	5.0
28	2	10.8	5.2
29	1.8	10.8	5.2
30	1.6	9.0	5.2
31	1.4	8.0	5.2
32	1.2	6.8	5.2
33	1	5.8	5.2
34	0.8	5.0	5.2
35	0.6	4.1	5.3
36	0.4	3.1	5.4
37	0.2	1.9	5.4

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^{\circ}\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 12.00 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.2	0.6
2	24	17.1	0.6
3	20	17.0	0.7
4	18	17.0	0.8
5	16	16.9	0.9
6	14	16.9	1.0
7	12	16.7	1.1
8	10	16.6	1.3
9	9	16.5	1.4
10	8	16.4	1.5
11	7	16.3	1.7
12	6	16.1	1.8
13	5	15.9	2.0
14	4.8	15.9	2.0
15	4.6	15.8	2.1
16	4.4	15.8	2.2
17	4.2	15.8	2.2
18	4	15.7	2.3
19	3.8	14.0	3.6
20	3.6	13.8	3.8
21	3.4	13.6	4.0
22	3.2	13.3	4.2
23	3	12.7	4.3
24	2.8	12.3	4.5
25	2.6	11.8	4.7

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	11.2	4.8
27	2.2	10.4	4.9
28	2	9.8	5.0
29	1.8	8.9	5.1
30	1.6	8.0	5.1
31	1.4	6.9	5.1
32	1.2	5.9	5.1
33	1	5.1	5.2
34	0.8	4.1	5.2
35	0.6	3.0	5.2
36	0.4	1.9	5.2

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 12.30 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.4	0.6
2	24	17.4	0.7
3	20	17.3	0.7
4	18	17.2	0.8
5	16	17.2	0.9
6	14	17.1	1.0
7	12	17.0	1.2
8	10	17.0	1.3
9	9	16.9	1.4
10	8	16.7	1.5
11	7	16.4	1.7
12	6	16.3	1.8
13	5	16.1	2.0
14	4.8	16.0	2.1
15	4.6	16.0	2.1
16	4.4	15.9	2.2
17	4.2	15.8	2.2
18	4	15.7	2.3
19	3.8	13.7	3.5
20	3.6	13.3	3.6
21	3.4	12.8	3.7
22	3.2	12.6	3.8
23	3	12.2	4.0
24	2.8	12.2	4.2
25	2.6	11.8	4.3

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	11.2	4.4
27	2.2	10.4	4.5
28	2	9.6	4.5
29	1.8	8.9	4.6
30	1.6	8.1	4.6
31	1.4	7.2	4.6
32	1.2	6.3	4.6
33	1	5.4	4.7
34	0.8	4.6	4.7
35	0.6	3.6	4.7
36	0.4	2.7	4.7
37	0.2	1.8	4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรืออาจมีลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^{\circ}\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 13.00 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.5	0.6
2	24	17.5	0.7
3	20	17.4	0.7
4	18	17.3	0.8
5	16	17.3	0.9
6	14	17.2	1.0
7	12	17.1	1.2
8	10	16.9	1.3
9	9	16.7	1.4
10	8	16.6	1.5
11	7	16.5	1.6
12	6	16.3	1.8
13	5	16.1	2.0
14	4.8	16.1	2.1
15	4.6	16.0	2.2
16	4.4	16.1	2.2
17	4.2	15.9	2.3
18	4	15.8	2.4
19	3.8	14.1	3.6
20	3.6	13.8	3.7
21	3.4	13.5	3.8
22	3.2	13.2	4.0
23	3	12.8	4.1
24	2.8	12.3	4.2
25	2.6	11.8	4.3

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	11.2	4.4
27	2.2	10.2	4.4
28	2	9.5	4.4
29	1.8	8.9	4.5
30	1.6	8.1	4.5
31	1.4	7.2	4.5
32	1.2	6.2	4.5
33	1	5.2	4.5
34	0.8	4.4	4.5
35	0.6	3.7	4.5
36	0.4	2.8	4.5
37	0.2	1.7	4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรืออาจมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^{\circ}\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 13.30 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.1	0.5
2	24	17.1	0.6
3	20	17.0	0.7
4	18	17.1	0.8
5	16	17.1	0.9
6	14	17.0	1.0
7	12	17.0	1.1
8	10	16.9	1.3
9	9	16.9	1.4
10	8	16.9	1.5
11	7	16.7	1.7
12	6	16.4	1.8
13	5	16.2	2.1
14	4.8	16.1	2.1
15	4.6	16.1	2.2
16	4.4	16.1	2.2
17	4.2	16.0	2.2
18	4	16.0	2.3
19	3.8	14.2	3.6
20	3.6	13.9	3.7
21	3.4	13.6	3.9
22	3.2	13.2	4.0
23	3	12.8	4.2
24	2.8	12.4	4.2
25	2.6	11.8	4.3

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	11.1	4.4
27	2.2	10.3	4.5
28	2	9.4	4.5
29	1.8	8.7	4.5
30	1.6	7.8	4.5
31	1.4	6.9	4.5
32	1.2	6.0	4.5
33	1	5.1	4.5
34	0.8	4.3	4.5
35	0.6	3.5	4.5
36	0.4	2.5	4.5
37	0.2	1.6	4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ถือลิขสิทธิ์ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้ถือลิขสิทธิ์

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 14.00 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	17.6	0.5
2	24	17.5	0.6
3	20	17.5	0.7
4	18	17.4	0.8
5	16	17.3	0.8
6	14	17.1	1.0
7	12	17	1.1
8	10	16.8	1.3
9	9	16.7	1.4
10	8	16.6	1.5
11	7	16.3	1.6
12	6	16.2	1.8
13	5	16	2.0
14	4.8	16	2.0
15	4.6	15.9	2.1
16	4.4	15.8	2.1
17	4.2	15.7	2.2
18	4	15.7	2.2
19	3.8	13.9	3.5
20	3.6	13.5	3.6
21	3.4	13.5	3.9
22	3.2	13.5	4.1
23	3	13.1	4.2
24	2.8	12.8	4.3
25	2.6	12.4	4.5

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	11.8	4.6
27	2.2	11.1	4.7
28	2	10.3	4.8
29	1.8	9.5	4.8
30	1.6	8.5	4.8
31	1.4	7.4	4.8
32	1.2	6.4	4.8
33	1	5.5	4.8
34	0.8	4.7	4.8
35	0.6	3.7	4.8
36	0.4	2.8	4.8
37	0.2	1.8	4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ต้นฉบับนี้หายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^{\circ}\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 14.30 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	16.4	0.5
2	24	16.2	0.6
3	20	16.0	0.7
4	18	15.9	0.8
5	16	15.7	0.8
6	14	15.2	0.9
7	12	15.1	1
8	10	14.7	1.1
9	9	14.4	1.2
10	8	14.0	1.3
11	7	13.3	1.4
12	6	12.5	1.4
13	5	11.4	1.5
14	4.8	11.3	1.5
15	4.6	11.0	1.5
16	4.4	10.7	1.5
17	4.2	10.4	1.5
18	4	10.1	1.5
19	3.8	5.8	1.5
20	3.6	5.5	1.5
21	3.4	5.2	1.5
22	3.2	4.9	1.5
23	3	4.6	1.5
24	2.8	4.4	1.5
25	2.6	4.1	1.5

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	3.9	1.5
27	2.2	3.5	1.5
28	2	3.2	1.5
29	1.8	3	1.5
30	1.6	2.7	1.5
31	1.4	2.6	1.5
32	1.2	21.7	1.5
33	1	1.4	1.5
34	0.8	1.1	1.5
35	0.6	0.8	1.5
36	0.4	0.5	1.5

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 15.00 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	16.8	0.5
2	24	16.6	0.6
3	20	16.4	0.7
4	18	16.3	0.8
5	16	16.3	0.8
6	14	15.8	0.9
7	12	15.5	1
8	10	14.9	1.1
9	9	14.5	1.2
10	8	14.1	1.3
11	7	13.3	1.4
12	6	12.4	1.4
13	5	11.2	1.4
14	4.8	11	1.4
15	4.6	10.8	1.4
16	4.4	10.5	1.4
17	4.2	10.2	1.4
18	4	9.8	1.4
19	3.8	5.6	1.4
20	3.6	5.3	1.4
21	3.4	5	1.4
22	3.2	4.6	1.4
23	3	4.3	1.4
24	2.8	4.1	1.4
25	2.6	3.8	1.4

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	3.6	1.4
27	2.2	3.2	1.4
28	2	2.5	1.4
29	1.8	2.7	1.4
30	1.6	2.4	1.4
31	1.4	2.1	1.4
32	1.2	1.8	1.4
33	1	1.5	1.4
34	0.8	1.3	1.4
35	0.6	1	1.4
36	0.4	0.8	1.4
37	0.2	0.5	1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 10 ธันวาคม 2541

ตำแหน่ง KMITL ($\approx 13.3^\circ\text{N}$)

ขนาด 55 W x 2 มุมเอียง 25°

เวลา 15.30 น.

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
1	28	16.2	0.5
2	24	15.9	0.5
3	20	15.4	0.6
4	18	14.9	0.6
5	16	14.4	0.7
6	14	13.6	0.7
7	12	12.5	0.8
8	10	11.1	0.8
9	9	10.3	0.8
10	8	9.5	0.8
11	7	8.6	0.8
12	6	7.8	0.8
13	5	6.9	0.8
14	4.8	6.8	0.8
15	4.6	6.6	0.8
16	4.4	6.4	0.8
17	4.2	6.2	0.8
18	4	6.0	0.8
19	3.8	3.4	0.8
20	3.6	3.2	0.8
21	3.4	3.1	0.8
22	3.2	2.9	0.8
23	3	2.7	0.8
24	2.8	2.5	0.9
25	2.6	2.4	0.9

ลำดับ	R	V (v)	I (A)
26	2.4	2.2	0.9
27	2.2	2.0	0.9
28	2	1.8	0.9
29	1.8	1.7	0.9
30	1.6	1.5	0.9
31	1.4	1.3	0.9
32	1.2	1.1	0.9
33	1	1.0	0.9
34	0.8	0.8	0.9
35	0.6	0.7	0.9
36	0.4	0.5	0.9
37	0.2	0.3	0.9

เอกสารอ้างอิง

1. เกรียงศักดิ์ ฐานิกเกษตร, “110 โครงการไอซี,” สำนักพิมพ์พีสิกส์เซ็นเตอร์, 55 - 67, 2520
2. ชูเกียรติ วัฒนากุล, “สวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย,” บริษัท ซีอีดูเคชั่น จำกัด, 44 - 46, 2538
3. ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, “การออกแบบระบบแสงสว่าง,” บริษัท ซีอีดูเคชั่น จำกัด, 47 - 68, 2521
4. บริษัท ซีอีดูเคชั่น จำกัด, “คู่มือการพันหม้อแปลงและมอเตอร์,” 1 - 7, 2525
5. บริษัท บีพี ไทยโซลาร์คอร์ปอเรชั่น, “คู่มือการใช้และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์,” บริษัท บีพีไทยโซลาร์คอร์ปอเรชั่น, 1 - 19, 2530
6. มงคล ทองสงคราม, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง,” 145 - 148, 2536
7. สว่าง ประกายรุ่งทอง, “แบตเตอรี่และเครื่องชาร์จ,” บริษัท ซีอีดูเคชั่น จำกัด, 18 - 20, 2538
8. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, “ไฟฟ้าและอุตสาหกรรม,” บริษัทเทคโนโลยี มีเดีย จำกัด, 64 - 66, 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลงไปด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือดูแลเป็นอย่างดีจากอาจารย์ ศิริวัฒน์ โภธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยให้คำปรึกษาในด้านระบบการทำงานด้านอุปกรณ์ และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์

คณะผู้จัดทำ

15 มีนาคม 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้