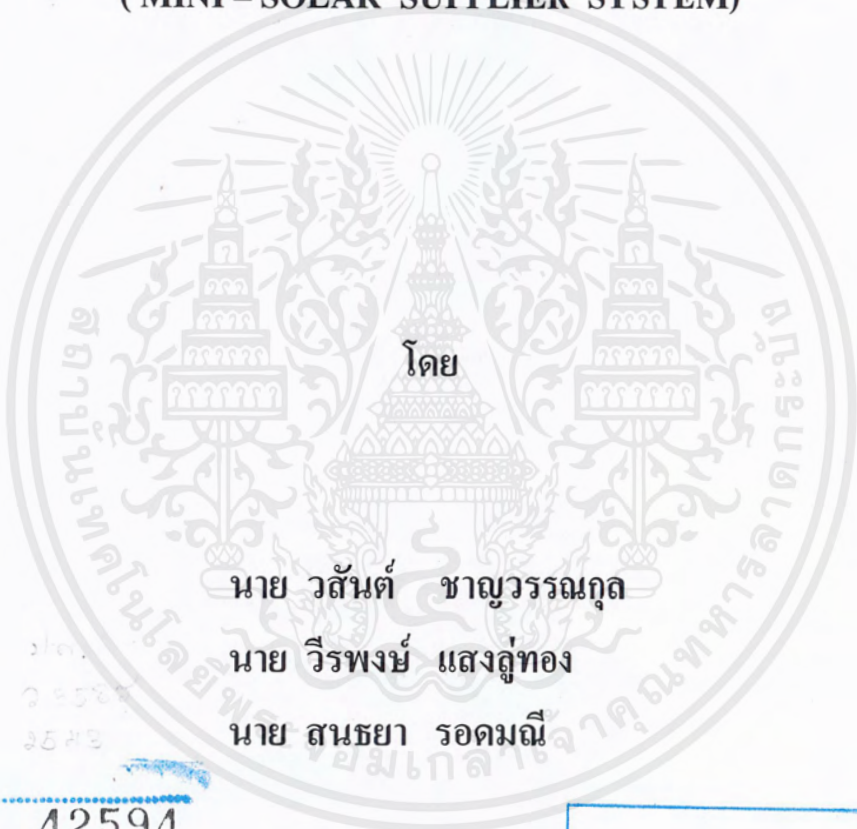




ปีการศึกษา 2543

ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าอิสระขนาดเล็กจากพลังงานแสงอาทิตย์
(MINI - SOLAR SUPPLIER SYSTEM)



โดย
นาย วสันต์ ชาญวรรณกุล
นาย วีรพงษ์ แสงคู่ทอง
นาย สนธยา รอดมณี

ปี
๒๕๔๓
๓๕๘๓

เลขหน้.....
เลขทะเบียน..... 42594
วัน, เดือน, ปี- 4 ส.ย. 2543

b.....
i.....

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ. ศิริวัฒน์ โภธิเวชกุล

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

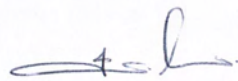
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าอิสระขนาดเล็กจาพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นายวสันต์ ชาลวรณกุล
2. นายวีรพงษ์ แสงคู่ทอง
3. นายสนธยา รอดมณี



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าอิสระขนาดเล็กโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

นาย วสันต์ ชาญวรรณกุล

นาย วีรพงษ์ แสงลู่ออง

นาย สนธยา รอดมณี

รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างระบบการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบตามลำพัง (Photovoltaic Stand Alone System) ซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 วัตต์ 2 แผง โดยเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านชุดอัดประจุไฟฟ้า (Battery Charger) โดยเก็บสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ในตอนกลางวัน แล้วในตอนกลางคืนจึงนำพลังงานจากแบตเตอรี่ไปส่งผ่านชุดป้องกันแบตเตอรี่จะตัดการทำงานเมื่อโวลต์ของแบตเตอรี่อ่อน แล้วจึงส่งพลังงานผ่านชุด อินเวอร์เตอร์ (ใช้ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งควบคุมด้วยเทคนิค Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) โดยใช้ คอนเวอร์เตอร์ แบบเต็มลูกคลื่น (Full - Bridge Converter) จะได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจึงยกระดับแรงดันด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการควบคุมแรงดัน โดยใช้วงจรควบคุมแรงดันป้อนกลับ (PI-CONTROL) เพื่อนำไปจ่ายโหลดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก 1 เฟส 50 Hz 220 โวลต์ มีพิกัดสูงสุด 50 วัตต์ใช้งานได้งาน 10 ชั่วโมง ต่อเนื่อง เพื่อใช้ในชนบทเช่นป้ายบอกทางเข้าหมู่บ้าน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mini – Solar Supplier System

Wasan Chanwannakul

Weerapong Saengloothong

Sontaya Rodmanee

Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul Advisor

2000

Abstract

This Project is based on the principle of Photovoltaic Stand Alone System. Solar cells 55 W 2 panels are used to produce the electrical energy. Battery is charged by DC voltage which receive from Solar Cells by charger circuit and energy from battery brings to low voltage cut off device circuit for protecting battery when battery is low voltage then DC voltage is inverted to AC voltage by full-bridge converter which controlled by using Sinusoidal Pulse Width Modulation Technique (SPWM) then AC voltage is stepped up by transformer and then voltage feedback control by PI control for supplying AC mini-load 1 Phase 50 Hz 220 V. The specified conditions are 50 watts rated for 10 hours continuous operation in order to using in rural areas such as an entrance signboard into village ,etc.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	V
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 โครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์	3
2.1 หลักการทำงาน	3
2.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	3
2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.4 ประโยชน์ของเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.5 ลักษณะสมบัติและตัวแปรสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.6 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.7 ผลกระทบของอุณหภูมิ	8
2.8 ฟิลแฟคเตอร์	8
2.9 บายพาสไดโอดและบล็อกกิ้งไดโอด	9
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบวงจรใช้งาน	10
3.1 แบตเตอรี่	10
3.2 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่	11
3.3 อินเวอร์เตอร์	15
3.4 การออกแบบตัวเก็บประจุกรองแรงดันอินพุท	20
3.5 วงจรกรองสัญญาณด้านเอาต์พุท	20
3.6 หม้อแปลงไฟฟ้า	22
3.7 วงจรป้องกันแบตเตอรี่	26
3.8 วงจรสร้างสัญญาณไซน์	26
3.9 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	27
3.10 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม	28
3.11 วงจรเดคไทม์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12	วงจรขับเคลื่อนไอจีบีที	29
3.13	การสร้างสัญญาณ PWM จากไอซี TL494	30
3.14	วงจรควบคุมป้อนกลับแบบพีไอ	31
3.15	วงจรไฟเลี้ยง	34
บทที่ 4	ผลการทดลอง	35
4.1	การทดลองหาเส้นแสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์	35
4.2	การทดลองการอัดประจุแบตเตอรี่โดยใช้วงจรอัดประจุ	60
4.3	การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	63
4.4	การหาคุณสมบัติเมื่อต่ออินเวอร์เตอร์กับหม้อแปลงเข้าด้วยกัน	66
4.5	การทดลองหาคุณสมบัติรวมของระบบ	71
4.6	การทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อทำการ จ่ายโหลดเป็นเวลา 10 ชม.	76
4.7	การทดสอบหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบจ่ายไฟ	79
4.8	การทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณ SPWM	82
4.9	การทดลองหาคุณสมบัติของหม้อแปลง	84
4.10	การทดลองใช้ระบบควบคุมแรงดันป้อนกลับ	87
4.11	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อใช้วงจรกรองความถี่ และไม่ใช้วงจรกรองความถี่	89
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์	94
	ภาคผนวก	
	กิตติกรรมประกาศ	
	เอกสารอ้างอิง	

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังการทำงานในตอนกลางวัน	2
รูปที่ 1.2 แผนผังการทำงานในตอนกลางคืน	2
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรม โครงสร้างของระบบ	3
รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	5
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร กระแสลัดวงจร ความเข้มแสง	5
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเปิดวงจร กระแสลัดวงจร กับ อุณหภูมิ	5
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ที่อุณหภูมิต่างกัน	6
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน	7
รูปที่ 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
รูปที่ 2.8 แผนผังแสดงการจัดเรียงแบบอนุกรมของโมดูล	9
รูปที่ 2.9 แผนผังแสดงการจัดเรียงแบบขนานของโมดูล	9
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงตัวอย่างระบบแผงวงจรเซลล์แสงอาทิตย์	10
รูปที่ 3.2 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่	12
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการประจุแบบแรงดันคงที่	13
รูปที่ 3.4 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่	14
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรกำลังของวงจรอินเวอร์เตอร์	15
รูปที่ 3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์	16
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรสับเบร้แบบอนุกรมและแบบขนาน	17
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรสับเบร้ที่ใช้ในการทดลอง	18
รูปที่ 3.9 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน	21
รูปที่ 3.10 สัญลักษณ์หม้อแปลง	22
รูปที่ 3.11 มอดูลด้านบนของหม้อแปลง	23
รูปที่ 3.12 ขนาดของตัวไอของหม้อแปลง	24
รูปที่ 3.13 วงจรป้องกันแบตเตอรี่	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14	วงจรสร้างสัญญาณไซน์	27
รูปที่ 3.15	วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	28
รูปที่ 3.16	วงจรเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม	28
รูปที่ 3.17	วงจรเคคไทม์	29
รูปที่ 3.18	วงจรจับเกต	29
รูปที่ 3.19	การตอบสนองแบบระบบเปิดของวงจรฟีดแบคคอนโทรล	32
รูปที่ 3.20	วงจรควบคุมป้อนกลับแบบพีไอ	33
รูปที่ 3.21	วงจรไฟเลี้ยง	34
รูปที่ 4.1	การทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	35
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 8.00 น.	47
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 8.30 น.	47
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 9.00 น.	48
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 9.30 น.	48
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 10.00 น.	49
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 10.30 น.	49
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 11.00 น.	50
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 11.30 น.	50
รูปที่ 4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 12.00 น.	51
รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 12.30 น.	51
รูปที่ 4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 13.00 น.	52
รูปที่ 4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 13.30 น.	52
รูปที่ 4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 14.00 น.	53
รูปที่ 4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 14.30 น.	53
รูปที่ 4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 15.00 น.	54
รูปที่ 4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 15.30 น.	54
รูปที่ 4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 16.00 น.	55
รูปที่ 4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 16.30 น.	55
รูปที่ 4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 17.00 น.	56
รูปที่ 4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 17.30 น.	56
รูปที่ 4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเปิดวงจรและเวลา	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสคังจรและเวลา	58
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงคังกับกระแสที่เวลา 13.00 น.	59
รูปที่ 4.25 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของวงจรรัดประจุ	60
รูปที่ 4.26 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	63
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับ โวลเตจเรกกูเลชัน	65
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับประสิทธิภาพ	65
รูปที่ 4.29 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์เมื่อคังกับหม้อแปลง	66
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง โหลดหลอดเผาไส้และประสิทธิภาพ	68
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง โวลเตจเรกกูเลชันและ โหลดหลอดเผาไส้	69
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง โหลดหลอดตะเกียบและประสิทธิภาพ	69
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง โวลเตจเรกกูเลชันและหลอดตะเกียบ	70
รูปที่ 4.34 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติรวมของระบบ	71
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและ โหลดหลอดเผาไส้	73
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง โวลเตจเรกกูเลชันและ โหลดหลอดเผาไส้	73
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่าง โหลดหลอดตะเกียบและประสิทธิภาพ	74
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่าง โวลเตจเรกกูเลชันและหลอดตะเกียบ	74
รูปที่ 4.39 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติรวมของระบบเมื่อจ่าย โหลดเป็นเวลา 10 ชม.	76
รูปที่ 4.40 วงจรการทดลองหาเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบจ่ายไฟ	79
รูปที่ 4.41 แสดงสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น	81
รูปที่ 4.42 วงจรการทดลองหาเพาเวอร์แฟคเตอร์ของส่วนวงจรควบคุม	82
รูปที่ 4.43 การทดลองหาคุณสมบัติของหม้อแปลง	84
รูปที่ 4.44 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้วงจรรองความคัง	89
รูปที่ 4.45 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของระบบเมื่อไม่ใช้วงจรรองความคัง	90

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนรอบกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด	25
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าแรงดันเบิควงจรและค่ากระแสลัดวงจรที่เวลาต่าง ๆ ใน 1 วัน	36
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 8.00 น.	37
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 8.30 น.	37
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 9.00 น.	38
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 9.30 น.	38
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 10.00 น.	39
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 10.30 น.	39
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 11.00 น.	40
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 11.30 น.	40
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 12.00 น.	41
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 12.30 น.	41
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 13.00 น.	42
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 13.30 น.	42
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 14.00 น.	43
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 14.30 น.	43
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 15.00 น.	44
ตารางที่ 4.17 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 15.30 น.	44
ตารางที่ 4.18 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 16.00 น.	45
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 16.30 น.	45
ตารางที่ 4.20 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 17.00 น.	46
ตารางที่ 4.21 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 17.30 น.	46
ตารางที่ 4.22 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่าง ๆ ที่เวลา 13.00 น.	58
ตารางที่ 4.23 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของวงจรอัดประจุ	61
ตารางที่ 4.23(ต่อ) แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของวงจรอัดประจุ	62
ตารางที่ 4.24 แสดงผลการทดลองหาคูณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	64
ตารางที่ 4.25 แสดงผลการทดลองหาคูณสมบัติของระบบเมื่อใช้หลอดเผาไส้	67
ตารางที่ 4.26 แสดงผลการทดลองหาคูณสมบัติของระบบเมื่อใช้หลอดตะเกียบ	67
ตารางที่ 4.27 แสดงผลการทดลองหาคูณสมบัติของระบบเมื่อใช้หลอดสปอร์ตไลท์	68
ตารางที่ 4.28 แสดงผลการทดลองหาคูณสมบัติของระบบเมื่อใช้หลอดเผาไส้	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.29 แสดงผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้หลอดตะเกียบ	72
ตารางที่ 4.30 แสดงผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้หลอดสปอร์ตไลท์	73
ตารางที่ 4.31 แสดงผลการทดลองเมื่อระบบรวมทำการจ่ายโหลคนาน 10 ชั่วโมง	77
ตารางที่ 4.32 แสดงผลการทดลองหาค่าฮาร์โมนิกของระบบรวม	80
ตารางที่ 4.33 แสดงผลการทดลองหาค่าฮาร์โมนิกของสัญญาณ SPWM	83
ตารางที่ 4.34 แสดงผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของหม้อแปลง	85
ตารางที่ 4.35 แสดงผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระบบเมื่อมีและไม่มี PI CONTROL	88
ตารางที่ 4.36 แสดงผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	91
ตารางที่ 4.37 แสดงผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของระบบเมื่อไม่ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	91
ตารางที่ 4.38 แสดงผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	92
ตารางที่ 4.39 แสดงผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของระบบเมื่อไม่ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	92

บทที่ 1

บทนำ

การผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน มีการผลิตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้ไฟฟ้าของประชาชนมีเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เพิ่มมากขึ้นอีกทั้งยังทำให้เกิดมลภาวะขึ้นอีกด้วย ทำให้มีการนำ เซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งอยู่ในการพัฒนาการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมือนกับใช้ทรัพยากรอื่น ๆ

แสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด และมีมากมายมหาศาล จึงมีการนำ เซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่เนื่องจาก เซลล์แสงอาทิตย์นี้มีราคาแพงมากจึงยังไม่เป็นที่นิยมใช้กันในประเทศไทย และยังไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทยจึงทำให้มีราคาแพง กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และมีขนาดของแรงดันและกระแสต่ำ จึงต้องนำไปแปลงเป็นค่าสูงก่อนนำไปใช้งาน และถ้านำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ เราจะต้องนำกระแสและแรงดันที่ได้แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อนจึงนำไปใช้งานได้

โครงการชิ้นนี้เป็นการศึกษาและทดลองระบบที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยการใช้ เอสพีดับบีวเอ็ม อินเวอร์เตอร์ ซึ่งโครงการชิ้นนี้ได้มีการพัฒนามาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 จากการจ่ายโหลดได้น้อยจนสามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มวงจร ฟีดแบคเข้าไป เพื่อไม่โวลต์ตกลงไปมาก ซึ่งโครงการชิ้นเก่าไม่มี ซึ่งจะทำให้สามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถนำไปใช้งานกับโหลดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นได้

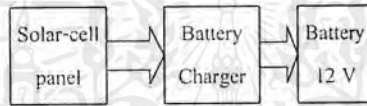
จุดประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาระบบการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
2. สร้างระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อจ่ายโหลดพลังงานกระแสสลับขนาด 1 เฟส 50 เฮิร์ต 220 โวลต์ และสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องเป็นระบบลำพังตัวเอง
3. ศึกษาคุณลักษณะของเบตเตอรี่และสร้างชุดอัดประจุเบตเตอรี่
4. ศึกษาและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์
5. สามารถควบคุมโวลต์เตจที่เอาท์พุทได้โดยใช้ วงจร ฟีดแบค
6. สามารถจ่ายโหลดได้นาน 10 ชม. ต่อเนื่อง

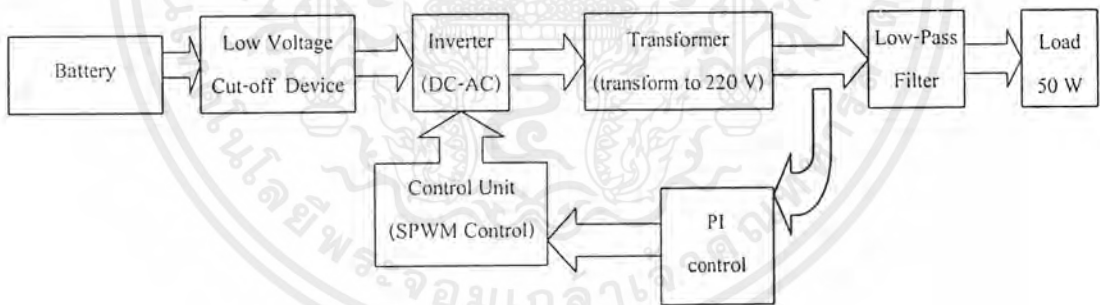
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการเบื้องต้นของระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ศึกษาในโครงการนี้ ในตอนกลางวันจะนำพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ด้วยชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ เพื่อเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ในเวลากลางคืนด้วยการแปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ที่ได้จากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต ด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ จะใช้วิธีควบคุมแบบ เอสพีดีบีวีเอ็ม และจะมีการยกกระดับแรงดันหลังจากผ่านอินเวอร์เตอร์โดยใช้วงจร พุช-พูล คอนเวอร์เตอร์ เมื่อสัญญาณผ่านวงจรนี้แล้วจะนำไปกรองสัญญาณให้เป็นสัญญาณไซน์แล้วจึงนำไปผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงใน บล็อกไดอะแกรมข้างล่าง



รูปที่ 1.1 แผนผังการทำงานในตอนกลางวัน



รูปที่ 1.2 แผนผังการทำงานในตอนกลางคืน

วัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ คือเนื่องจากในท้องถิ่นชนบทที่ห่างไกลและทุรกันดารไม่มีไฟฟ้าเข้าถึงและจำเป็นต้องปิดป้ายบอกทางในเวลากลางคืนเครื่องนี้จะนำไปใช้งานสถานที่ประเภทนั้น เพื่อความสะดวกในการติดตั้งไม่ต้องยุ่งยากในการเดินสายไฟจากการไฟฟ้าเข้าไปซึ่งถ้ามีงบประมาณในการดำเนินงานก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านได้ สิ่งสำคัญคือการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่สุดในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

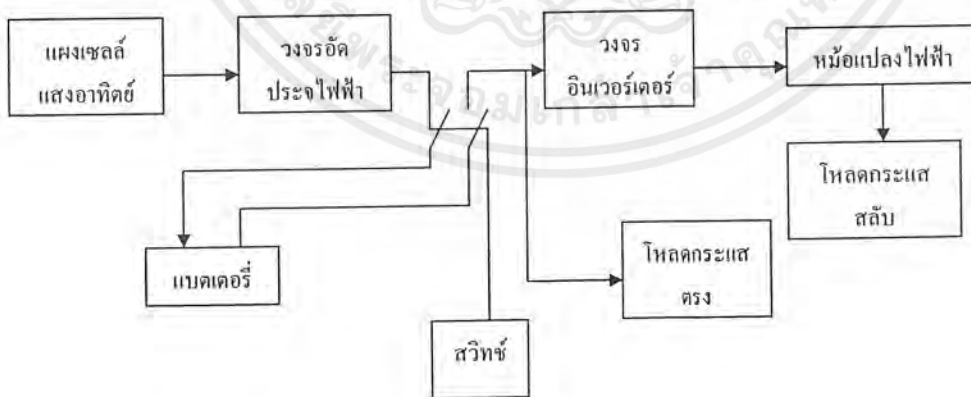
โครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 หลักการทำงาน

การทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะเริ่มต้นจากการที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ได้จะเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปทำการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ในช่วงเวลากลางวัน และนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปจ่ายโหลดในเวลากลางคืน โดยใช้สวิตช์แสงเป็นตัวตัดต่อการทำงาน การนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงและส่วนโหลดที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับก็จะนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับ หลังจากนั้นจะนำไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ไปผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อทำการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้ให้เป็น 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไป

2.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ

2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างหลักของพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ หัวต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทำจากซิลิกอนนั้นผลิตขึ้น โดยการนำแผ่นผลึกซิลิกอนหนาประมาณ 200-300 ไมครอน มาแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างหัวต่อพีเอ็น โดยมีความลึกของชั้นแพร่ซึมหรือหัวต่อประมาณ 0.3-0.5 ไมครอน จากนั้นนำหัวต่อพีเอ็นไปทำผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังด้วยเงินผิวสัมผัสทางด้านหน้ามีลวดลายเป็นรูปนิ้วมือหรือก้างปลาเพื่อให้เหลือพื้นที่รับแสงมากที่สุด ในขณะที่สามารถทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงมีประสิทธิภาพด้วย

2.4 ประโยชน์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์มีข้อดีหลายประการ ได้แก่

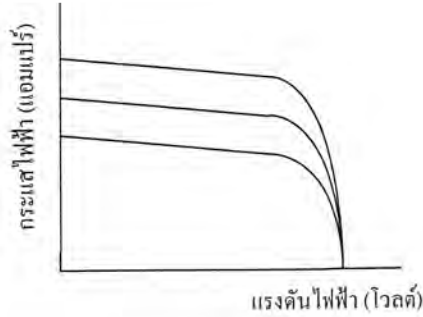
1. ความสามารถในการใช้งานที่ถาวร
2. ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในขณะที่ใช้งาน
3. ไม่มีของเสียเหลือใช้
4. ความสามารถแปรพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าได้โดยตรง
5. เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ
6. สะอาด ปราศจากมลพิษต่างๆ เช่น ควีน เสียง กลิ่น
7. ปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินในระหว่างใช้งาน เช่น ไม่เกิดปัญหาไฟไหม้ ไม่เป็นอันตรายต่อเด็กเหมือนเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ
8. ใช้งานได้ทุกสภาพพื้นที่และภูมิอากาศ เช่น กลางทะเล หุบเขา ทะเลทราย อวกาศ
9. สามารถทำงานได้โดยปราศจากคนดูแลและบำรุงรักษา เช่น ไม่ต้องติดเครื่อง ไม่ต้องเติมน้ำมัน
10. มีความเชื่อถือได้สูง

2.5 ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ประการ คือ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้กระแสที่คงที่ ทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กัน จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดให้พลังงานสูงสุด ณ ตำแหน่งที่วงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



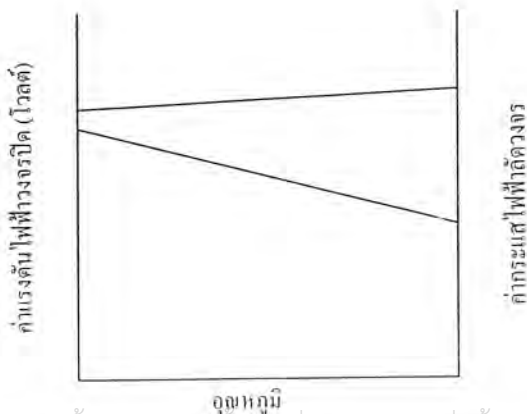
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2. กระแสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปรตามความเข้มแสง



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร กระแสลัดวงจร กับ ความเข้มแสง

3. กระแสจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเปิดวงจร , กระแสลัดวงจร กับ อุณหภูมิ

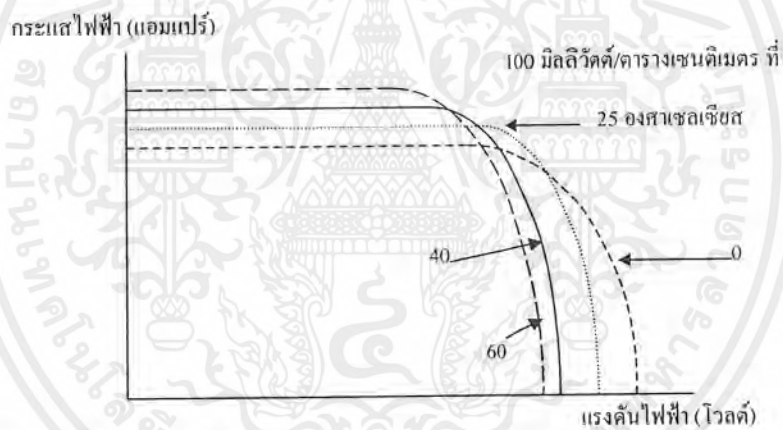
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ หัวต่อพีและเอ็นซึ่งมีกระแสแรงดันเช่นเดียวกับไดโอดโดยทั่วไป ค่ากระแสและแรงดันนี้ยังมีเงื่อนไขอื่นๆ ที่จะทำให้มันเปลี่ยนแปลงได้อีก

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อเปิดวงจรและไม่ได้ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

2. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ได้เมื่อต่อโหลดที่มีค่าถูกต้อง ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริง เซลล์ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย ดังนั้นอุณหภูมิของเซลล์จึงเพิ่มขึ้น ผลที่ติดตามมาคือ คุณสมบัติของเซลล์จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลง ดังรูป

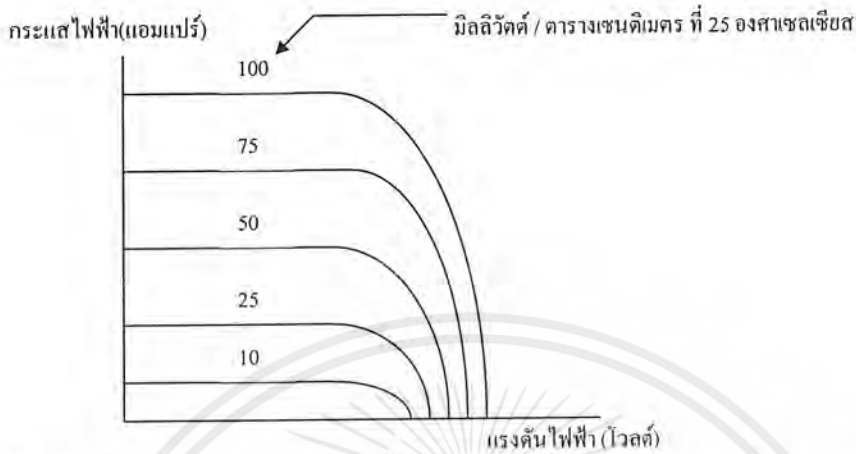


รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

3. ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร เป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์

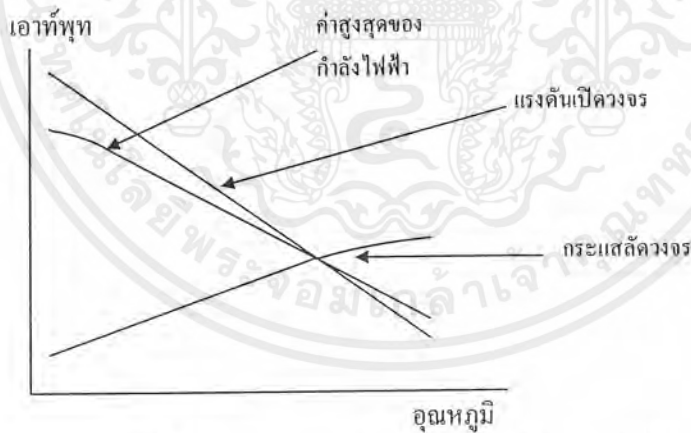
4. ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด เป็นปริมาณที่วัดได้ขณะเมื่อต่อโหลดที่มีค่าที่ถูกต้อง

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานจำเป็นต้องมีพลังงานมากระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลส์ ดังนั้นถ้าหากแสงที่ตกกระทบมีความเข้มสูงมาก ก็จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลส์สูงขึ้นด้วยจึงได้ว่าปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง ดังรูป



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

แต่ยังมีอุณหภูมิของเซลล์อีกสาเหตุหนึ่ง ที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น แต่จะเพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ซึ่งผลก็คือจะทำให้พลังงานลดลง เมื่อเซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังรูป



รูปที่ 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

5. ความเข้มแสงอาทิตย์วัดที่ มวลอากาศ = 0 (สภาพของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดย นาซา) จะได้ค่ามิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรส่วนความเข้มแสงอาทิตย์วัดที่ มวลอากาศ 2 (สภาพของแสงอาทิตย์บนพื้น โลก เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นผิวโลก) จะมีประมาณ 72-75 มิลลิวัตต์ ต่อ ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลอากาศ 1.5 ซึ่งนิยมใช้กันในการกำหนดสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ แสงอาทิตย์ที่วัดบนโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ความเข้มแสงจะมีค่า 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

2.7 ผลกระทบของอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าของกระแสที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเนื่องจากการทดลองของแบงค์แกป เอนเนอร์จี ของวัสคู

$$E_g(T) = E_g(0) - aT^2 / (T+b)$$

แต่ค่าแรงดันเปิดวงจร จะลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เพราะค่ากระแสอิ่มตัว เพิ่มขึ้นดังสมการ

$$I_0 = A_0 T^3 \exp[-E_g / K_b T]$$

ค่ากระแสอิ่มตัว คือกระแสของประจุพาหะส่วนน้อยที่เกิดจากการกระตุ้นของอุณหภูมิ

2.8 ฟิลแฟกเตอร์

ฟิลแฟกเตอร์ คือค่าอัตราส่วนระหว่าง ค่ากำลังสูงสุด กับ ค่ากระแสลัดวงจรคูณกับค่าแรงดันเปิดวงจร

$$FF = I_{max} V_{max} / I_{sc} V_{oc}$$

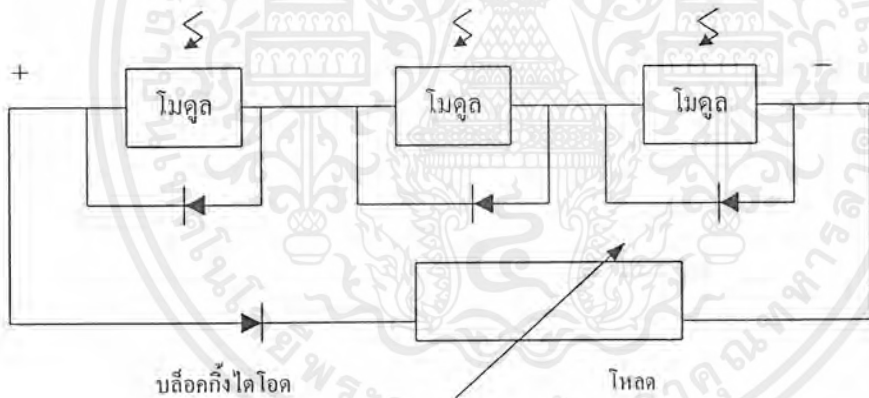
ซึ่งเอาไว้กำหนดรูปร่างของคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ (กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า) โดยถ้ามีค่ามากกว่า 0.7 จะถือว่าดี และค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับค่าความต้านทานที่ต่อขนานจะมีผลทำให้ค่า ฟิลแฟกเตอร์ลดลง โดยค่านี้จะมีประโยชน์ในการทำการตรวจสอบควบคุมคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

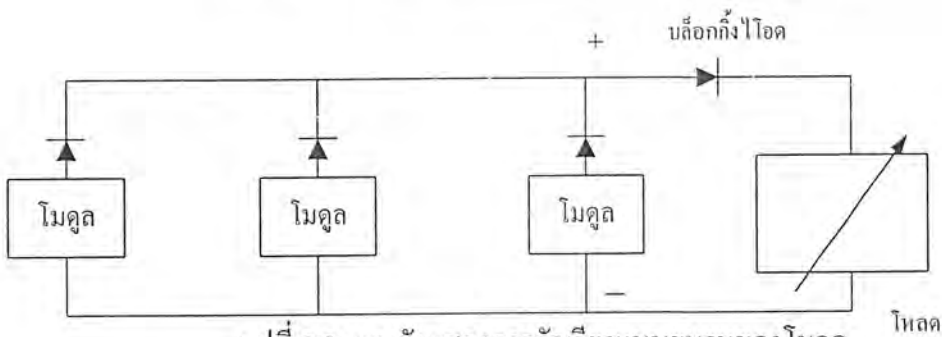
2.9 บายพาสไดโอดและบล็อกกิ้งไดโอด

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือการนำเอาโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ หลายๆ ตัวมาต่อกันเป็นกลุ่ม โดยอาจจะนำมาต่ออนุกรม หรือขนาน หรือทั้งสองอย่าง โดยแต่ละโมดูลจะประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ ตัวบายพาสไดโอด มีไว้สำหรับป้องกันในกรณีที่ โมดูลใด ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ เช่น ไม่มีแสงแดดเพราะโดนอะไรมาบังที่โมดูลนั้น จะทำให้เกิดความสูญเสียขึ้น โดยโมดูลนั้นจะกลายเป็นตัวดูดซับพลังงานแทนที่จะเป็นตัวผลิตพลังงาน ดังนั้นเมื่อเรามีบายพาสไดโอด จะทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลเข้าโมดูลนั้น ทำให้ไม่เกิดความสูญเสียและในการต่อบายพาสไดโอดจะนำมาต่อขนานกับแต่ละโมดูล การเลือกไดโอดชนิดนี้ควรมีค่า เทสโวลต์โวลต์แดง และมีค่าพิคกกระแสที่สูงพอที่จะสามารถนำกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตขึ้นได้

บล็อกกิ้งไดโอด มีไว้สำหรับป้องกันกระแสไฟจากภายนอก เช่น จากแบตเตอรี่ไหลย้อนกลับเข้ามาในเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ โดยการต่อบล็อกกิ้งไดโอดจะนำมาต่ออนุกรมดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.8 แผนผังแสดงการจัดเรียงแบบอนุกรมของ โมดูล



รูปที่ 2.9 แผนผังแสดงการจัดเรียงแบบขนานของ โมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบวงจรที่ใช้งาน

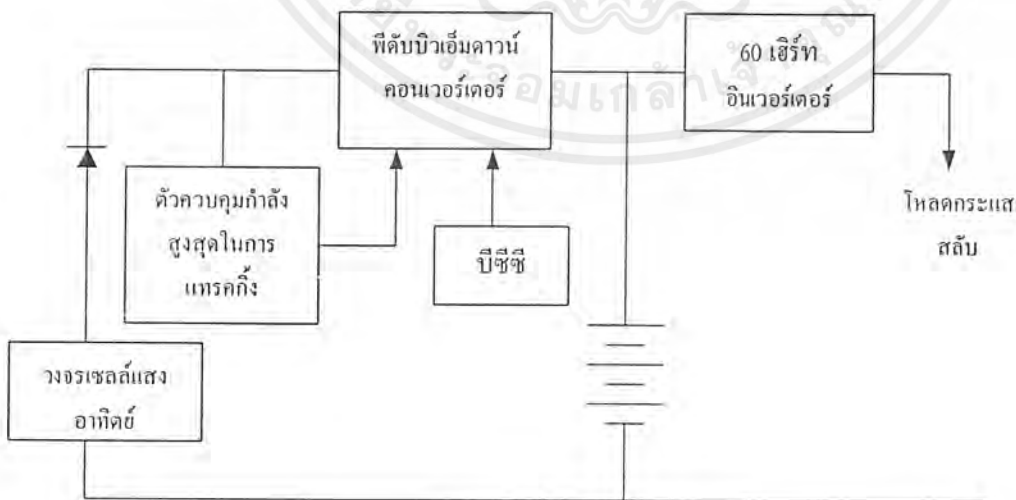
3.1 แบตเตอรี่

- หาจำนวนโหลดที่ใช้ทั้งหมดในช่วงที่มีแสงและไม่มีแสงโดยเฉพาะช่วงที่ไม่มีแสง ค่ากำลังที่ได้จะต้องหารด้วยประสิทธิภาพการชาร์จของแบตเตอรี่เสียก่อน เพราะช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแผงโซลาร์เซลล์จะช่วยจ่ายด้วย

$$\text{กำลังทั้งหมด} = [(\text{กำลังโหลด} \times \text{ชั่วโมงที่มีแสง}) + (\text{กำลังโหลด} \times \text{ชั่วโมงที่ไม่มีแสง})] / \eta$$

η คือ ประสิทธิภาพในการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

- หากำลังที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถจ่ายได้โดยหาได้จาก
พลังงานที่สามารถจ่ายได้ = พลังงานต่อแผง x จำนวนแผง x ค่าแควร์อินโซเลชัน
ค่าแควร์อินโซเลชัน เป็นค่าที่ใช้เพื่อประมาณค่าเอาท์พุทจากแผงโซลาร์เซลล์ ค่านี้จะคำนึงถึงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับผิวระนาบรวมทั้งปริมาณแสงที่ลดลงเนื่องจากเมฆหมอกที่ปกคลุมด้วย ซึ่งได้มาจากสถานีตรวจอากาศทั่วโลก
- หาขนาดแบตเตอรี่โดยนำแรงดันที่ใช้ไปหารค่าที่ได้จากด้านบนจะได้ค่า แอมป์-ฮาวร์ หารด้วย 20% จะได้ค่าแอมป์-ฮาวร์ของแบตเตอรี่ที่จะใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงตัวอย่างระบบแผงวงจรเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณขนาดแบตเตอรี่ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ต้องการจ่ายโหลด 50 วัตต์นาน 10 ชั่วโมง

ดังนั้น เพาเวอร์ โหลด = $50 \times 10 = 500$ วัตต์ชั่วโมง

ประสิทธิภาพของระบบ เป็น 80%

ดังนั้น เพาเวอร์อินพุต = $500/0.8 = 625$ วัตต์ชั่วโมง

ใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ดังนั้นจะได้ขนาดแบตเตอรี่ = $625/12 = 52.083$ แอมป์ชั่วโมงต่อ

วัน

ถ้าใช้ที่ 20% ของแบตเตอรี่ 52.083 แอมป์ชั่วโมงต่อวัน จะคำนวณได้ขนาดแบตเตอรี่ ดังนี้
ขนาดแบตเตอรี่ = $52.083/0.2 = 260.415$ แอมป์ชั่วโมงต่อวัน

ถ้าใช้ที่ 30% ของแบตเตอรี่ 52.083 แอมป์ชั่วโมงต่อวัน จะได้แบตเตอรี่ดังนี้
ขนาดแบตเตอรี่ = $52.083/0.3 = 173.61$ แอมป์ชั่วโมงต่อวัน

ถ้าใช้ที่ 40% ของแบตเตอรี่ 52.083 แอมป์ชั่วโมงต่อวัน จะได้แบตเตอรี่ดังนี้
ขนาดแบตเตอรี่ = $52.083/0.4 = 130.21$ แอมป์ชั่วโมงต่อวัน

ถ้าใช้ที่ 50% ของแบตเตอรี่ 52.083 แอมป์ชั่วโมงต่อวัน จะได้แบตเตอรี่ดังนี้
ขนาดแบตเตอรี่ = $52.083/0.5 = 104.17$ แอมป์ชั่วโมงต่อวัน

เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 100 แอมป์ชั่วโมง

คิดการจ่ายของแผง 2 แผง ๆ ละ 55 วัตต์ 7.2 ชั่วโมงได้ $110 \times 7.2 = 792$ วัตต์ชั่วโมง
และได้ กำลังทางด้านเอาต์พุต = $792 \times 0.8 = 633.6$ วัตต์ชั่วโมง

เพราะฉะนั้นใช้แผง 2 แผง จ่ายโหลด 50 วัตต์

3.2 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ขณะที่มีการเก็บประจุในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการประจุมีทิศทางที่กระแสจะจ่ายออกมา

E = แรงดันที่ทำการอัดประจุ

E_c = แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่

R_c = ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

I = กระแสที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่

$$E = E_c + IR$$

จะได้

$$I = (E - E_c) / R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าเท่ากับแรงดันประจุจะไม่มีกระแสไหลในวงจร ถ้าแรงดันที่แบตเตอรี่ต่ำกว่าแรงดันประจุจะทำให้กระแสไหล เพื่อเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่แต่ได้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงกว่าต่ำกว่าแรงดันประจุ จะทำให้ไม่มีกระแสไหลเพื่อเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่ประจุว่ามากหรือน้อย ถ้ากระแสในประจุมีปริมาณมากกว่าที่แบตเตอรี่จะทนได้อาจจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดหรือเสียหายได้ การลดปริมาณกระแสการประจุแบตเตอรี่ให้ต่ำลงทำได้โดยเอาความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปเพื่อกำจัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามต้องการ

ตัวแปรอีกตัวเกี่ยวกับการประจุแบตเตอรี่ก็คือการสูญเสียกำลังในตัวแบตเตอรี่ซึ่งก็คือการสูญเสียกำลังเนื่องจากความต้านทานนั่นเอง การสูญเสียนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ โดยที่ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีอยู่ 2 อย่าง คือ ประสิทธิภาพทางด้าน แอมป์ฮาวร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ทางผู้ผลิตสร้างมา ประสิทธิภาพนี้มักจะมีค่าประมาณ 90% โดยหาได้จาก

$$\text{AH eff.} = \text{Input Electrical Charge} / \text{Output Electrical Charge}$$

ประสิทธิภาพ วัตต์ ฮาวร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ใช้ โดยจะหาได้จาก

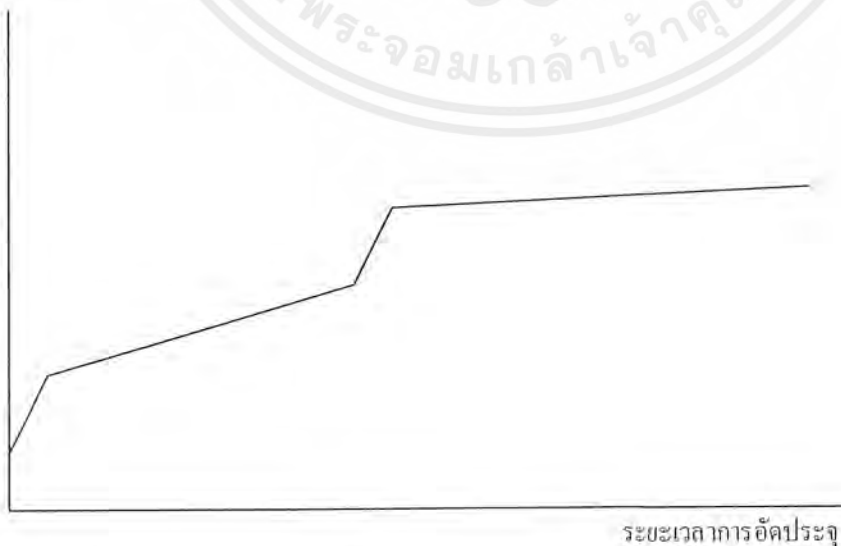
$$\text{WH eff.} = \% \text{AH eff.} * (\text{V}_{\text{discharge}} / \text{V}_{\text{charge}})$$

หลักการประจุแบตเตอรี่

การประจุแบตเตอรี่มีอยู่ 4 แบบใหญ่ๆ คือ

- 1) การประจุแบบกระแสคงที่ เป็นการประจุที่ใช้เวลานานสำหรับแบตเตอรี่ที่มีค่า แอมป์ฮาวร์ สูงๆ แต่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

โวลต์/ เซลล์

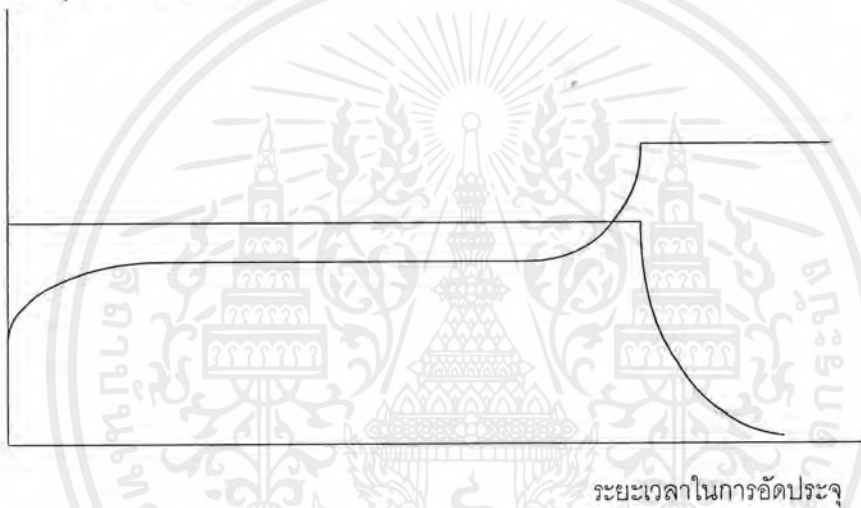


รูปที่ 3.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในการอัดประจุแบบกระแสคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) การประจุแบบแรงดันคงที่ เป็นการประจุที่ใช้เวลาน้อยแต่ใช้กระแสมาก ทำให้เกิดการสูญเสีย หรือความร้อนที่ตัวแบตเตอรี่ได้
- 3) การประจุโดยการเปลี่ยนระดับกระแส จะสามารถทำได้ง่ายเพราะเป็นการนำไฟกระแสสลับมาเรียงเป็นไฟกระแสตรงแล้วดึงกระแสมาประจุ แต่กระแสจะกระเพื่อมตามแรงดัน
- 4) การประจุโดยวิธีร่วม ในขั้นแรกจะทำการประจุกระแสสูงๆ เมื่อได้ระดับประจุตั้งต้นที่ต้องการก็เปลี่ยนเป็นกระแสคงที่ต่ำลงมาเพื่อควบคุมเวลาและประสิทธิภาพการประจุ

กระแสอัดประจุแรงดันแบตเตอรี่



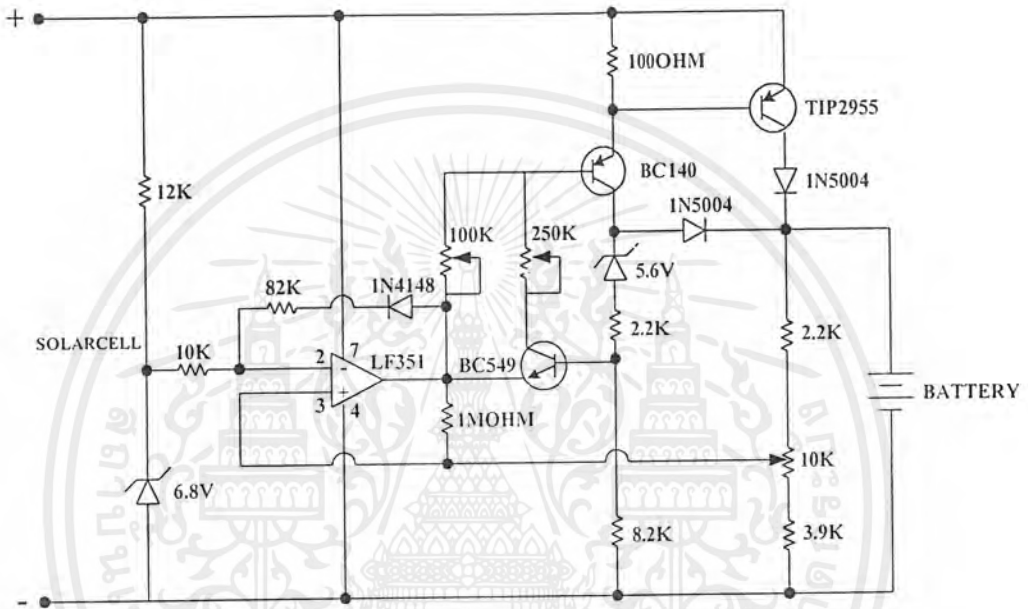
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการประจุแบบแรงดันคงที่

พารามิเตอร์ในการอัดประจุ

1. การชดเชยทางอุณหภูมิของการอัดประจุ โดยการอัดประจุจะปรับค่าแรงดันที่อัดประจุ ซึ่งต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิโดยการตรวจจับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม
2. เวลาที่อัดประจุเสร็จ เวลาที่แบตเตอรี่ถูกอัดประจุเต็มขึ้นอยู่กับสภาวะการคิซาร์จและลักษณะการอัดประจุ รวมทั้งอุณหภูมิด้วย
3. อุณหภูมิในขณะการอัดประจุ ควรทำการอัดประจุที่อุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในการอัดประจุมีประสิทธิภาพดีคือ ในช่วง 5 ถึง 30 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่กำหนด อาจทำให้การอัดประจุได้ไม่มากหรือร้อนเกินไป
4. การชาร์จประจุเกิน การอัดประจุเพิ่มขึ้นอีกหลังจากแบตเตอรี่อัดประจุเต็มแล้ว เรียกว่า โอเวอร์ชาร์จ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปวงจรแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ในโครงการเป็นดังนี้

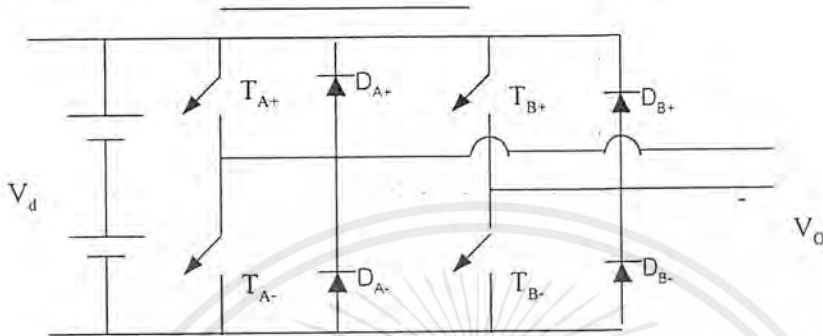


รูปที่ 3.4 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อินเวอร์เตอร์

ในโครงการนี้ใช้อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ในการแปลงแรงดันไฟตรงให้เป็นแรงดันไฟสลับ โดยทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นตัวสวิตช์ จะเป็น ไอจีบีที ดังแสดงในรูป



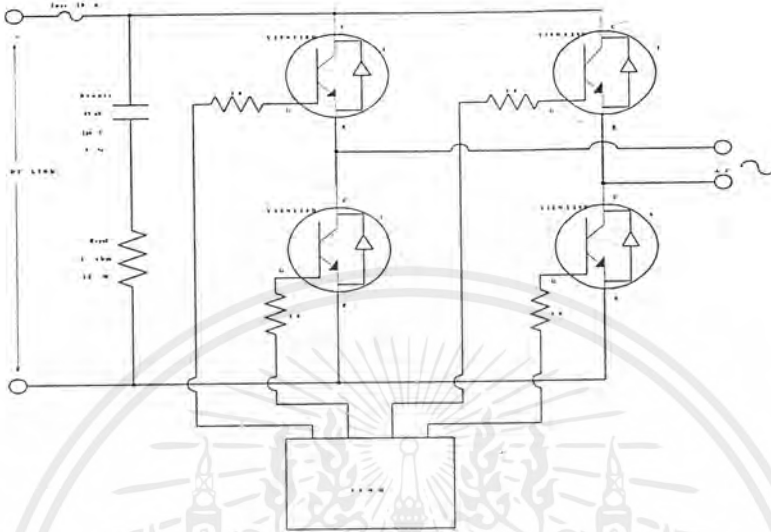
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรกำลังของวงจรอินเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรเราจะใช้สัญญาณควบคุม ไอจีบีที ทั้ง 4 ตัว เป็นแบบไบโพลาร์ สวิตช์ ซึ่ง คือ จะทำให้ไอจีบีที นำกระแสพร้อมกันเป็นคู่ โดย ไอจีบีที ที่อยู่บนกิ่งเดียวกันจะไม่นำกระแสพร้อมกันจากรูป 3.5 คือ ไอจีบีที ตัวที่ 1 กับ 3 จะทำงานพร้อมกันและเมื่อ 1 กับ 3 หยุดการนำกระแสแล้ว ไอจีบีที ตัวที่ 2 กับ 4 จะนำกระแสแทนที่และจะทำงานสลับกันไปเรื่อยๆ เอาที่พูดของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้ จะยังมีความถี่สูงป้อนอยู่จึงต้องมาผ่านวงจรกรองความถี่เสียก่อน ซึ่งวงจรกรองความถี่นี้ใช้วงจร แอลซีฟิตเตอร์ ในการกรองความถี่

ส่วนไดโอดที่ทำหน้าที่เป็นตัวคอมมิวเตตติ้งไดโอดให้กับวงจร โดย

1. ป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ขณะที่ ไอจีบีที เริ่มหยุดนำกระแสเนื่องจากความเหนี่ยวนำแฝงในตัวเหนี่ยวนำ โดยพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำนี้จะถูกถ่ายทอดไปยังภาคอินพุตด้วยคอมมิวเตตติ้งไดโอด จะไม่ทำให้เกิดแรงดันสไปค์ก็ต่อเมื่อ ไอจีบีที หยุดนำกระแส
2. เป็นการลดค่าแรงดันที่ตกคร่อม ไอจีบีที ขณะหยุดนำกระแส ที่มีผลมาจากตัวเหนี่ยวนำกลับขั้ว เพื่อป้องกัน ไอจีบีที

วงจรที่ใช้ในโครงการนี้เป็นดังรูปด้านล่าง

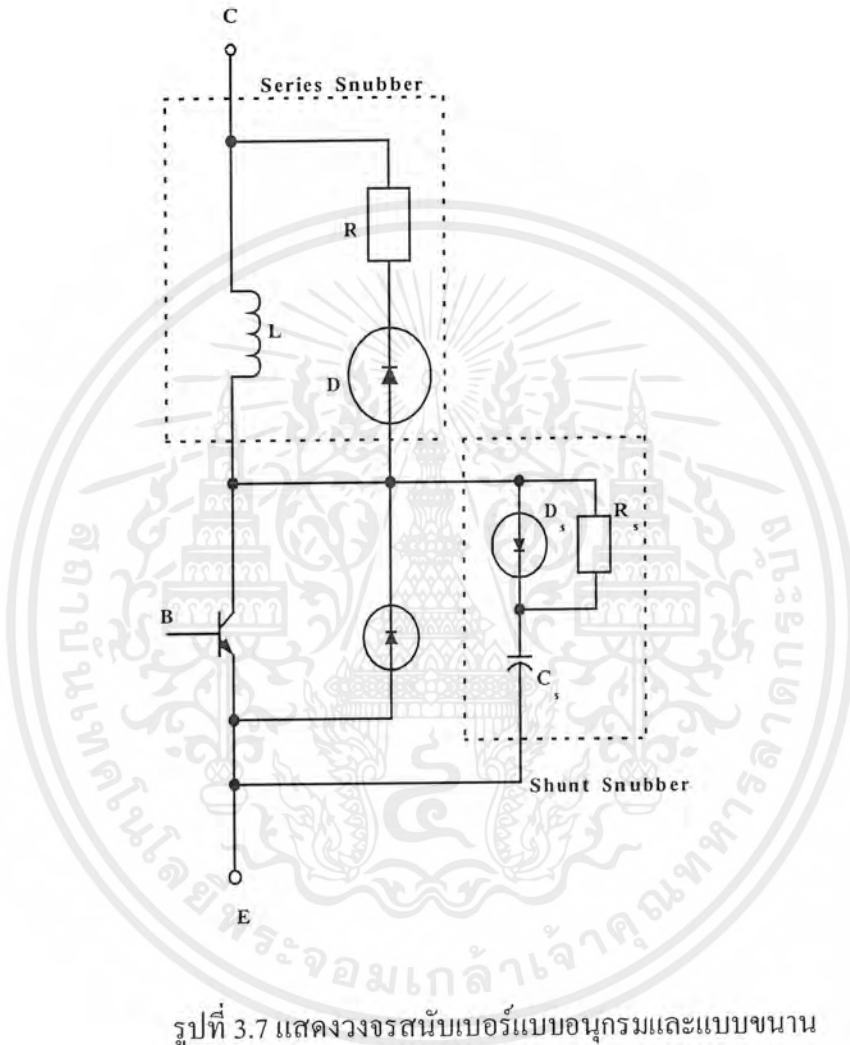


รูปที่ 3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์

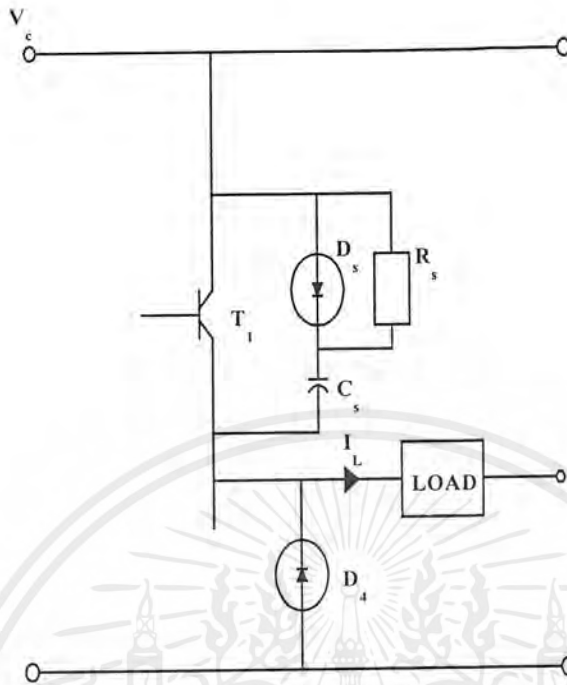
- การออกแบบวงจรสับเบอร์
 - วงจรสับเบอร์เป็นวงจรช่วยภายนอกที่ใส่เพิ่มเข้าไปให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัว เพื่อป้องกันไม่ให้พีคกระแสและแรงดันเกินค่าพิกัดโดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรหลัก
 - วงจรสับเบอร์มีทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน
 - โดยแบบอนุกรมจะช่วยลดสไปค์ของกระแส และลดกำลังการสูญเสียของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในขณะเริ่มนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนแบบขนานจะลดสไปค์ของแรงดัน และลดกำลังการสูญเสียของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในขณะที่เริ่มหยุดนำกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงวงจร snubber ที่ใช้ในการทดลอง

การทำงานของวงจร snubber

ขณะที่ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส สมมุติให้กระแสทรานซิสเตอร์ลดลงเป็นเชิงเส้น กระแสจะผ่าน D_s เข้ามาชาร์จประจุที่ C_s โดยค่าแรงดันตกคร่อมแสดงได้ด้วยสมการ

$$V_{CS} = 1/C_s \int I_L dt$$

$$V_{CS} = 1/C_s \int (I_L/t_f) dt$$

เมื่อ I_L คือ กระแสโหลด ; t_f คือ ฟูลไทม์

ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_s มีค่า V_{CD} ที่เวลา $t = t_f$

จะได้ว่า

$$V_{CD} = 0.5 (I_L \times t_f) / C_s$$

ดังนั้นค่าตัวเก็บประจุที่จะใช้ในการออกแบบควรมีค่า

$$C_s \geq (I_L \times t_f) / (2V_{CD})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเมื่อเวลาผ่าน t_f ไปแล้ว C_S ยังคงถูกชาร์จ ด้วยกระแสไหลดลคงที่ต่อไปทำให้แรงดันตกคร่อม C_S มีค่าสูงกว่าแหล่งจ่าย V_D เพราะมีตัวเหนี่ยวนำในวงจร และ ในที่สุดก็จะตกลงมาเท่ากับแหล่งจ่าย พลังงานที่เก็บสะสมไว้ใน C_S

$$E_{CS} = 0.5 C_S (V_D)^2$$

เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส นั่น ความต้านทาน R_S จะจำกัดค่ากระแสสวิชต์ค่าหนึ่งให้อยู่ในช่วงที่ปลอดภัย ถ้าให้ I_M คือค่ากระแสสูงสุดที่ทรานซิสเตอร์ยอมให้ผ่านได้โดยปลอดภัย และ I_L คือค่ากระแสไหลดลขณะนำกระแส และสมมติว่า R_S เท่านั้นที่จำกัดค่ากระแสสวิชต์ของตัวเก็บประจุ ดังนั้นค่า R_S หาได้จาก

$$R_S > \frac{V_D}{(I_M - I_L)}$$

จากสมการด้านบนเป็นการหาค่าอย่างน้อยที่สุดของ R_S โดยประมาณสำหรับค่า R_S ที่มากที่สุดสามารถหาได้จากช่วงคาบเวลาการนำกระแสที่น้อยที่สุด ($T_{ON(MIN)}$) ของทรานซิสเตอร์โดยไม่คิดผลของค่าตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมอยู่ การออกแบบคาบเวลานำกระแสน้อยที่สุดควรมีค่าน้อยเป็น 3 เท่าของค่าคงที่เวลา $R_S C_S$ ดังสมการ

$$T_{ON(MIN)} / 3R_S C_S$$

$$R_S < \frac{T_{ON(MIN)}}{3C_S}$$

นั่นคือ การออกแบบค่า R_S ควรมีค่าน้อยพอที่จะทำให้การคายประจุใน C_S เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อรวมสมการทั้งหมดจะได้ดังนี้

$$\frac{V_D}{(I_M - I_L)} \leq R_S \leq \frac{T_{ON(MIN)}}{3C_S}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแสดงให้เห็นว่าค่า R_s ควรเป็นค่าที่เหมาะสมเพื่อที่จะจำกัดกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ขณะเดียวกันควรเป็นค่าที่ให้ค่า $R_s C_s$ น้อยกว่าช่วงเวลานำกระแสของทรานซิสเตอร์ ทั้งนี้เราสามารถหาค่า R_s และ C_s ได้รวมทั้งหาค่าที่สูญเสียใน R_s ได้

3.4 การออกแบบตัวเก็บประจุกรองแรงดันอินพุท

ตัวเก็บประจุฟิลาเตอร์จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่มาจากแผงวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ให้เรียบมากขึ้น และช่วยให้ค่ากระแสที่มีค่าเพียงพอดำเนินการที่อินเวอร์เตอร์ต้องการโดยลดแรงดันกระแสเพื่อลดการชาร์จและคายประจุ ดังนั้นสามารถหาค่าของตัวเก็บประจุได้ดังนี้

จาก

$$i = C \, dV / dt$$

$$C_{\text{filter}} = I \, \Delta t / \Delta v_r$$

โดยที่ I คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส (แอมป์แปร์)

Δt คือ ช่วงเวลาในการเก็บประจุและคายประจุ

Δv_r คือค่าของแรงดันกระแสเพื่อที่เอาที่พุทของวงจรเรียงกระแส (โวลต์)

จากระบบค่ากระแสที่ออกจากแผงโซลาร์เซลล์

$$I = 5.17 \text{ แอมป์แปร์}$$

ความถี่ที่ใช้ในวงจร อินเวอร์เตอร์ = 5 กิโลเฮิร์ต

$$\Delta t = 1/f = 1/5k = 2 \times 10^{-4} \text{ (เก็บประจุทุกๆคาบเวลา)}$$

ค่าของ v_r ที่ยอมรับได้ให้

$$\Delta v_r = 1$$

จะได้

$$C_{\text{filter}} = (5.17 \times 10^{-4}) / 1 = 1034 \, \mu\text{F}$$

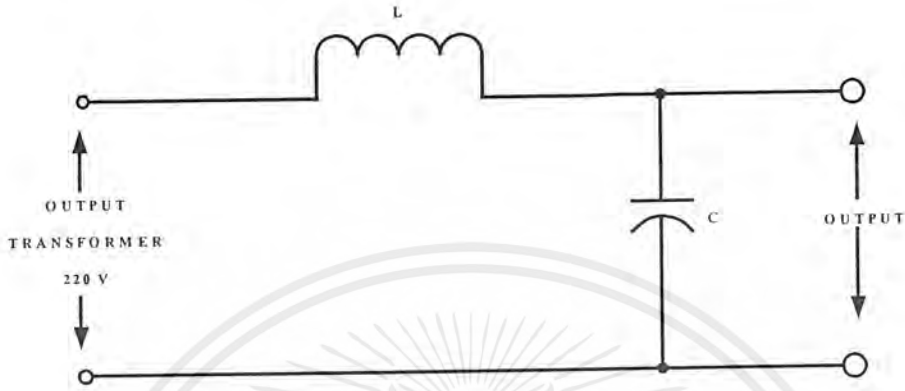
เลือกใช้ C 1000 μF 400 V ก็พอแล้ว (ที่มีอยู่)

3.5 วงจรกรองสัญญาณด้านเอาต์พุท

การเลือกตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในวงจรกรองสัญญาณมีความจำเป็นมาก ทั้งนี้เนื่องจากค่าตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุที่เหมาะสม จะทำให้แรงดันที่ออกมาจากวงจรกรองสัญญาณมีค่าไม่สูงจนเกินไป ซึ่งถ้าหากใช้ค่าที่ไม่เหมาะสมแล้ว จะทำให้เกิดโอเวอร์ชูทหรือแรงดันค่าสูงอาจทำให้วงจรเกิดความเสียหายได้ และยังทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมแรงดันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองสัญญาณจะนำ ตัวเหนี่ยวนำมาต่ออนุกรมกับตัวต้านทานจากนั้นก็ให้นำมาต่อ ขนานกับตัวเก็บประจุ ดังวงจรด้านล่าง



รูปที่ 3.9 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

โครงการนี้จะใช้วงจรที่กรองผ่านได้เฉพาะความถี่ต่ำ เนื่องจากวงจรสวิทช์ซึ่งที่ความถี่ 5 กิโลเฮิร์ต และจะออกแบบให้วงจรกรองคัทออฟที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ต เราต้องเลือกค่าความเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับความถี่คัทออฟ โดยมีวิธีในการคำนวณดังนี้

$$\frac{V_0}{Z_C} = \frac{V_o - V_m}{Z_L}$$

เมื่อแก้สมการแล้วจะได้สมการจากด้านบนเป็นดังนี้

$$\frac{V_0}{V_m} = \frac{-1/LC}{S^2 - 1/LC}$$

เราจะหาค่าตัวเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมได้จากสมการต่อไปนี้

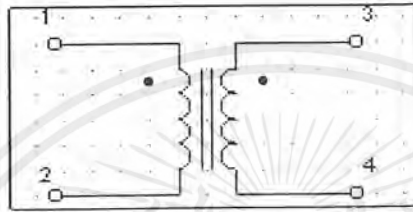
$$f = 1/2\pi \sqrt{LC}$$

ความถี่ที่เราจะใช้ความถี่คัทออฟในการคำนวณหาและจะเลือกตัวเก็บประจุมา 1 ค่า เพื่อจะคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำเพราะตัวเหนี่ยวนำนั้นเราจะมาทำการคำนวณรอบที่จะพันและจะหาขนาดของขดลวด รวมทั้งแกนที่จะนำมาพันตัวเหนี่ยวนำนี้

3.6 หม้อแปลงไฟฟ้า

- ทฤษฎีหม้อแปลง

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนขนาดของแรงดันไฟสลับจากแรงดันหนึ่งไปเป็นแรงดันไฟสลับขนาดที่ต้องการ โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด สัญลักษณ์ของหม้อแปลงเป็นดังนี้



รูปที่ 3.10 สัญลักษณ์หม้อแปลง

ขดลวดทางด้านซ้ายจ่ายเข้าหม้อแปลงตามรูปคือขั้ว 1 และ 2 เรียกว่า ขดปฐมภูมิ แรงดันไฟออกทางขั้ว 3 และ 4 เรียกว่า ขดทุติยภูมิ

หม้อแปลงตัวหนึ่งอาจมีขดลวดทุติยภูมิหลายๆ ขดก็ได้ เครื่องหมายจุด (•) ที่ปลายขดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟเข้าที่ขดปฐมภูมิกับขั้วทุติยภูมิ คือ ขั้วที่ 1 กับขั้วที่ 3 จะมีเฟสตรงกัน คือ ในขณะที่ศักดาไฟฟ้าขั้ว 1 สูงกว่า ขั้วที่ 2 ศักดาที่ขั้วออกที่ 3 จะสูงกว่าขั้วที่ 4 และในทำนองเดียวกัน ขณะที่ขั้ว 1 มีศักดาไฟฟ้าต่ำกว่าขั้วที่ 2 ขั้วที่ 3 ก็จะมีศักดาต่ำกว่าขั้วที่ 4 ด้วย

โดยสรุปแล้วหม้อแปลงจะรับพลังงานไฟฟ้าเข้าทางขดปฐมภูมิ สูญเสียเป็นพลังงานความร้อนไปบางส่วน และที่เหลือก็เป็นพลังงานไฟฟ้าออกที่ขั้วทุติยภูมิ หม้อแปลงจึงถูกบอกขนาดเป็นหน่วยกำลังที่มันถ่ายเทได้ ซึ่งคือ ค่ากำลังไฟฟ้าแรงดันไฟสลับ x กระแสสลับ

- การทำงานของหม้อแปลง

แรงดันไฟสลับที่จ่ายให้ที่ขดปฐมภูมิจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ขดปฐมภูมิซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา กล่าวคือ จากไม่มีสนามแม่เหล็กเลย ค่อยๆ มีมากขึ้นในทิศทางหนึ่งจนสูงสุด แล้วค่อยๆ ยุบตัวลดขนาดลงจนเป็นศูนย์ แล้วก็เพิ่มขึ้นอีกในทิศทางเหมือนครั้งแรก เป็นเช่นนี้สลับไปมาตามความถี่ของไฟสลับที่ป้อนเข้ามา ถ้ามีขดลวดอีกขดหนึ่งมาวางใกล้ๆ สนามแม่เหล็กนี้ สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจะตัดขดลวดนั้นเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในขดลวดนี้ได้ แรงดันนี้จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับจำนวนขดลวดที่มาวางไว้ใกล้ๆ และสนามแม่เหล็กไปตัดขดลวดนั้นได้มากน้อยเพียงใด เพื่อให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิมาตัดขดลวดทุติยภูมิมากๆ จึงทำให้ทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื่นอยู่บนแกนเหล็กอันเดียวกัน โดยแกนเหล็กนี้จะต่อกันอยู่อย่างครบวงจร คือมีเนื้อเหล็กตลอดวงจร จึงทำแกนขึ้น โดยแผ่นเหล็กรูปตัวอีและตัวไอ แล้วพันขดทั้งสองไว้ตรงกลาง

ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟที่ขดปฐมภูมิกับแรงดันไฟออกที่ขดทุติยภูมิ คือ

$$E_1 / E_2 = n_1 / n_2$$

เมื่อ E_1 = แรงดันไฟสลับเข้าที่ขดปฐมภูมิ

E_2 = แรงดันไฟสลับเข้าที่ขดทุติยภูมิ

n_1 = จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ

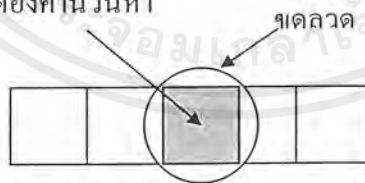
n_2 = จำนวนรอบของขดทุติยภูมิ

- การออกแบบหม้อแปลง

1. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของแกนกลาง จะหาพื้นที่หน้าตัดได้ต้องรู้ว่ากำลังของหม้อแปลงว่าจะให้จ่ายได้เท่าใด กำลังของหม้อแปลงก็คือ ผลคูณของกระแสและแรงดันที่หม้อแปลงตัวนี้จะจ่ายได้ นั่นคือ

$$\text{พื้นที่หน้าตัด} = \sqrt{VA / 5.58}$$

พื้นที่หน้าตัดที่ต้องคำนวณหา



รูปที่ 3.11 มองด้านบนของหม้อแปลง

2. หาจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ เอาพื้นที่หน้าตัดที่หาได้ในข้อ 1 มาคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิตามสูตร

$$N = \frac{E \times 10^8}{4 \times F \times B_m \times A}$$

โดย E คือ แรงดันขดปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F คือ แรงดันขดทุติยภูมิ

B_m คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงสุดที่ผ่านแกนเหล็กยังไม่อิ่มตัว

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนที่หาได้จากข้อ 1 (ตารางนี้)

3. หาจำนวนรอบของขดทุติยภูมิ หาได้จากสูตร

$$E_1 / E_2 = n_1 / n_2 \quad \text{ตามที่ได้อธิบายมาแล้ว}$$

โดย $E_1 =$ แรงดันขดปฐมภูมิ

$E_2 =$ แรงดันขดทุติยภูมิ

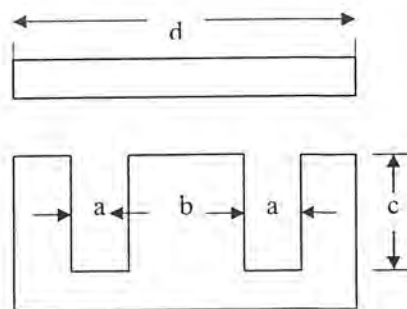
$n_1 =$ จำนวนรอบขดปฐมภูมิ

$n_2 =$ จำนวนรอบขดทุติยภูมิ

4. หาขนาดของลวดที่ใช้พัน

4.1 ข้อจำกัดทางด้านไฟฟ้า ข้อจำกัดทางด้านนี้คือ ลวดต้องไม่ร้อนเกินไป เมื่อจ่ายกระแสเต็มๆ ดังนั้นจึงหมายความว่าต้องไม่ให้ลวดรับกระแสมากเกินไป เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของลวด ตัวเลขที่ใช้กันมาก คือ 400-700 เซอร์คิวลัมมิว / แอมแปร์ ซึ่งถ้ากำหนดว่าจะใช้กระแสกี่แอมแปร์ก็สามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดได้ ตัวเลข 400-700 นี้แล้วแต่เราจะเลือกใช้ กล่าวคือถ้าเราเลือกตัวเลขน้อย เช่น 450 เซอร์คิวลัมมิว / แอมแปร์ จะได้ลวดขนาดเล็กกว่า ซึ่งอาจมีผลเสียด้านแรงกลเช่นกัน ถ้าเลือก 600 เซอร์คิวลัมมิว / แอมแปร์ จะได้ลวดขนาดใหญ่ขึ้น แต่หม้อแปลงจะมีแรงกลดีขึ้นแต่แพงกว่า

4.2 ข้อจำกัดด้านขนาด เนื่องจากลักษณะตัวแกนเหล็กเป็นรูปตัวอีและไอ ซึ่งมีช่องว่างเหลือไว้ให้พันลวด และมีผู้ผลิตขึ้นมาเป็นขนาดต่างๆ เนื่องจากเราไม่พันลวดลงบนแกนเลยโดยตรง แต่พันในบ๊อบบิ้น แล้วจึงเอาบ๊อบบิ้นมาสวมแกนตัวอี ซึ่งบ๊อบบิ้นก็มีขายเป็นขนาดต่างๆ ดังนั้นต้องเลือกขนาดบ๊อบบิ้นให้สวมแกนเหล็กพอดีแล้วเรียงแผ่นเหล็กซ้อนกันให้ได้พื้นที่ที่เราคำนวณเอาไว้ รายละเอียดขนาดของตัวอี และ ไอ จะมีสัดส่วน ดังนี้



รูปที่ 3.12 ขนาดของตัวอีไอของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a : b : c : d = 1 : 2 : 3 : 6$ จากอัตราส่วนนี้ถ้าทราบระยะด้านใดด้านหนึ่งย่อมคำนวณหาความยาวของด้านที่เหลือได้หมด แกนตัว อี ที่มีขายจะมีขนาดดังต่อไปนี้ (บอกขนาดของด้านบี เป็นมิลลิเมตร) คือ 10, 13, 16, 19, 20, 22, 25, 28, 32, 38, 45, 52, 63

ขนาดของลวดต้องเลือกให้ขดลวดทั้งหมดพันลงในบ็อบบิ้นแล้วสวมลงแกนได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่ามีพื้นที่หน้าตัดอยู่ที่เท่าใด

ตารางที่ 1.1 จะบอกว่าลวดทองแดงเบอร์ไหนเมื่อพันรอบแกนบ็อบบิ้นแล้วได้พื้นที่หน้าตัดของขดลวด 1 ตารางนิ้ว ต้องพันกี่รอบ เช่น ลวดเบอร์ 23 SWG ถ้าพันรอบแกนบ็อบบิ้น 1340 รอบ พื้นที่หน้าตัดจะมีขนาด 1 ตารางนิ้ว ดังนั้นถ้าบ็อบบิ้นสูง 1 นิ้ว ขดลวดจะอ้วนออกมา 1 นิ้ว

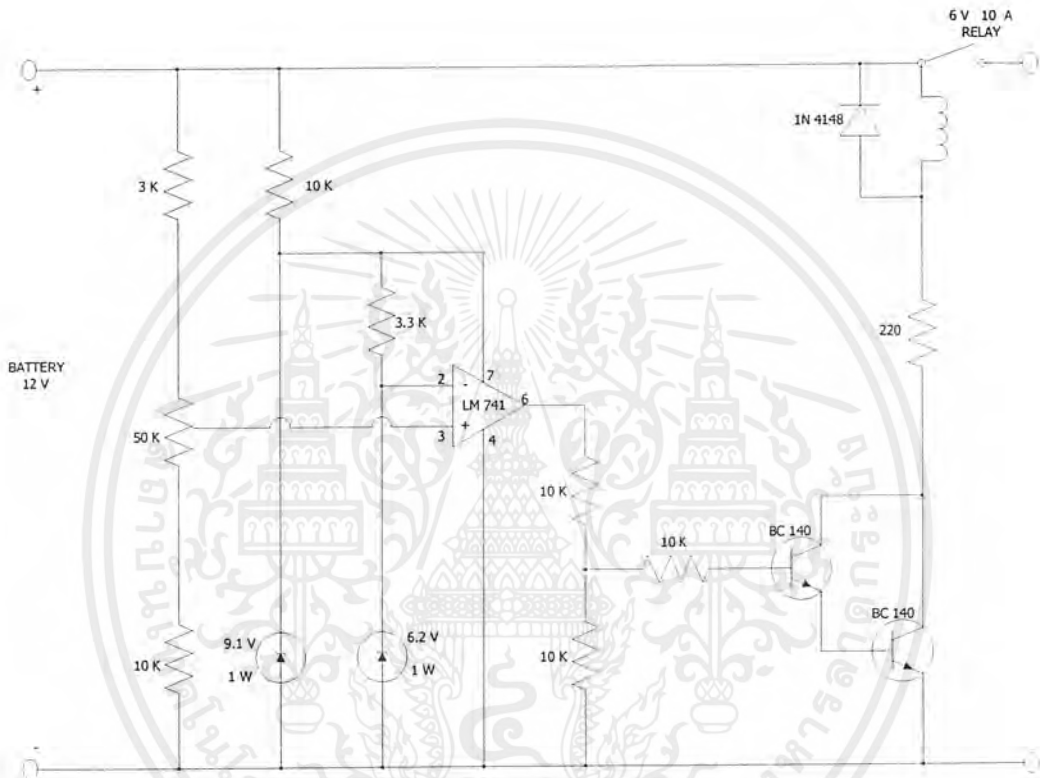
ตารางที่ 1.1 ตารางความสัมพันธ์ของจำนวนรอบกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด

ขนาดเบอร์ลวด SWG	จำนวนรอบ / พื้นที่หน้าตัด ขดลวด 1 ตารางนิ้ว	พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด 1 เส้น (เซอร์คิวลาร์มิล)
15	177	5178
16	221	4107
17	277	3257
18	437	2048
19	548	1524
20	681	1288
21	852	1022
22	1065	810.1
23	1340	624.4
24	1665	509.5
25	2100	404
26	2630	320.4
27	3320	254.1
28	4145	201.5
30	5250	104.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรป้องกันแบตเตอรี่

เป็นวงจรที่ใช้ป้องกันแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าค่าที่เราตั้งไว้ วงจรนี้จะตัดแบตเตอรี่ออกจากระบบเพื่อป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้เสียหาย ซึ่งสามารถแสดงวงจรได้ดังรูปต่อไปนี้

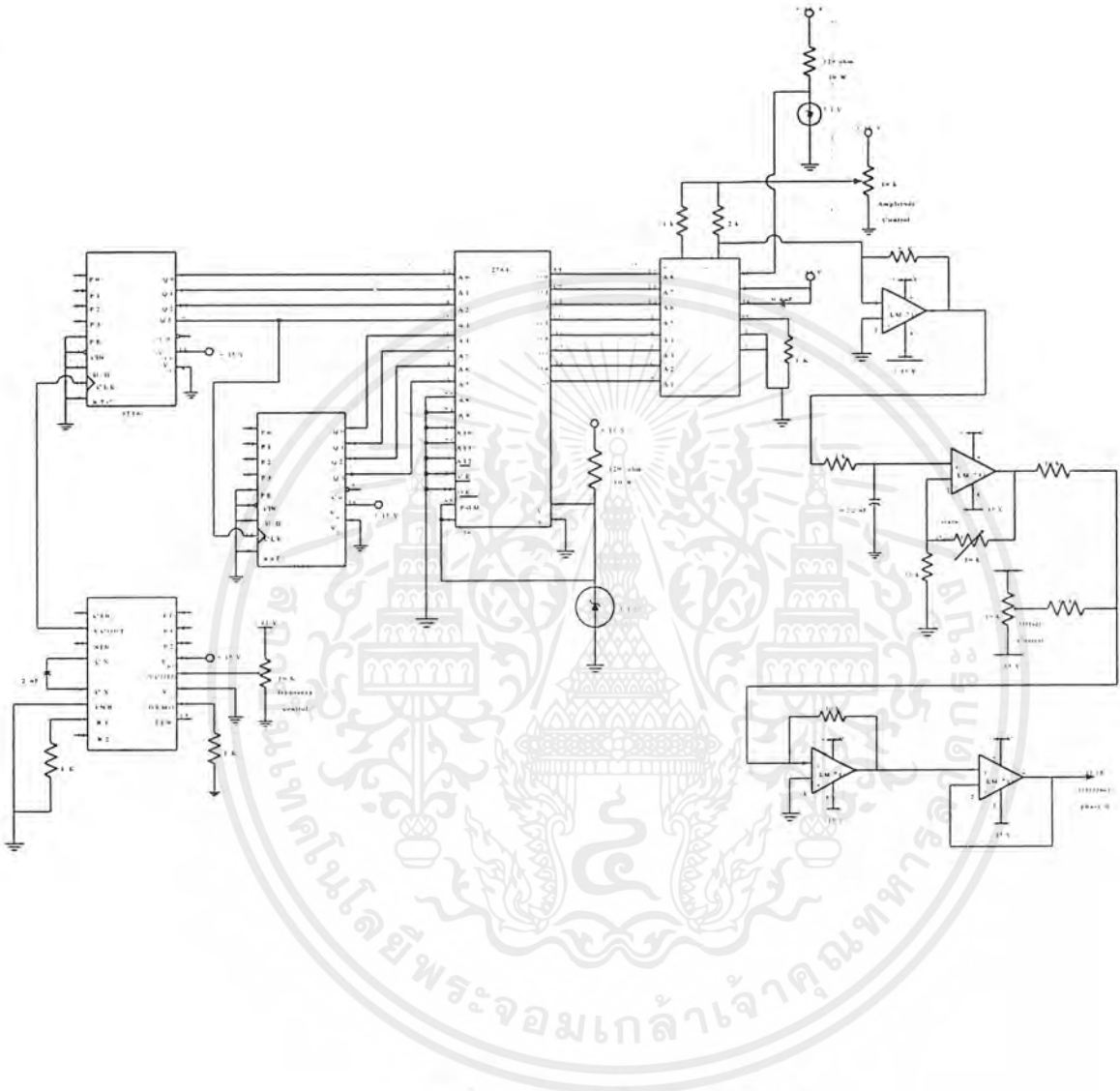


รูปที่ 3.13 วงจรป้องกันแบตเตอรี่

3.8 วงจรสร้างสัญญาณไชน่

เป็นการสร้างสัญญาณไชน่ โดยทำการเก็บข้อมูลของคลื่นรูปไชน่ อยู่ในรูป Look Up Table ไว้ในหน่วยความจำแบบ EPROM โดยแต่ละข้อมูลเป็นเลขดิจิตอลที่แทนค่าแอมพลิจูดของคลื่นไชน่ ที่แทนค่าที่มุมต่าง ๆ ค่าความละเอียดของคลื่นไชน่ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่เก็บไว้ ซึ่งวงจรที่ใช้แสดงได้ดังรูปข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

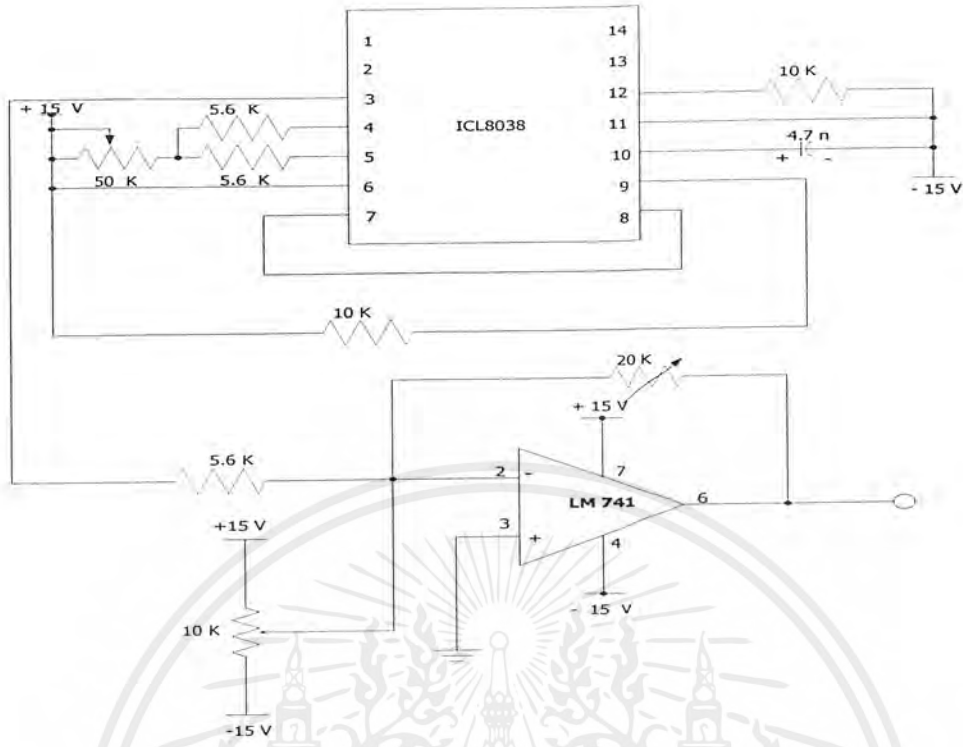


รูปที่ 3.14 วงจรสร้างสัญญาณไซน์

3.9 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

สัญญาณสามเหลี่ยมสร้างโดยใช้ IC เบอร์ ICL8038 ใช้ R ปรับค่าได้ เพื่อให้สามารถปรับความถี่ได้ตามต้องการ สามเหลี่ยมเอาท์พุทที่ออกมาจะนำมาผ่าน LM741 เพื่อให้สามารถเปลี่ยนระดับสัญญาณสามเหลี่ยมได้ สามารถแสดงรูปวงจรได้ดังรูปต่อไปนี้

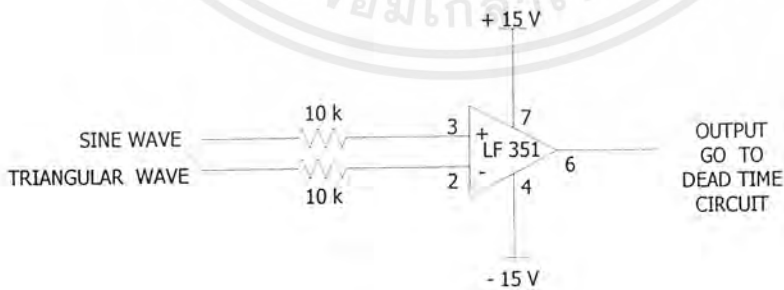
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

3.10 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม

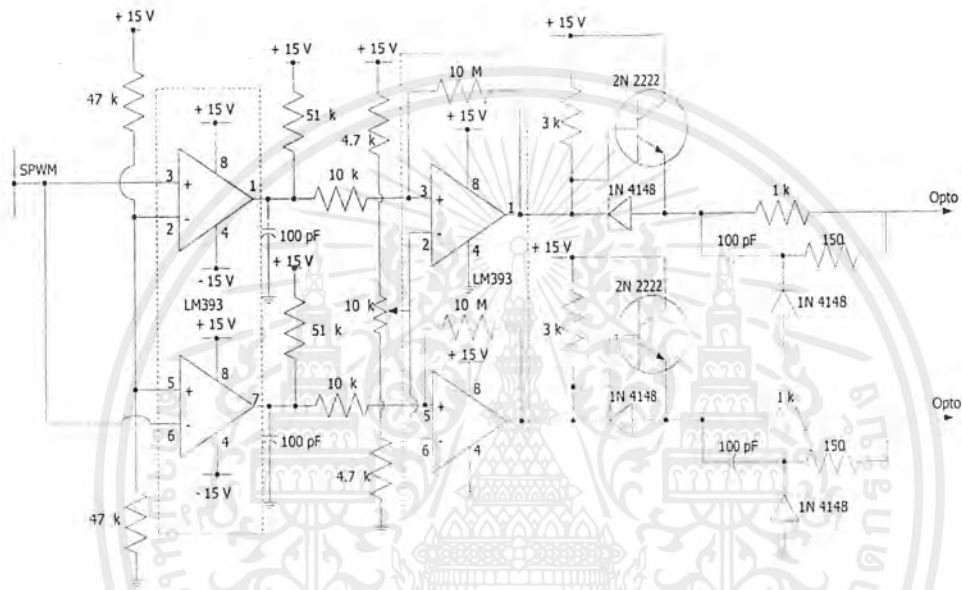
วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ Sine กับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้ในโครงการนี้ ใช้ไอซี LF 351 ทำการเปรียบเทียบสัญญาณ Sine ที่ได้จาก EPROM 2764 และสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จาก ICL8038 แล้วสัญญาณเปรียบเทียบที่ได้นี้จะไปเข้าวงจร Dead Time ต่อไป แสดงได้ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 3.16 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม

3.11 วงจรเดคไทม์

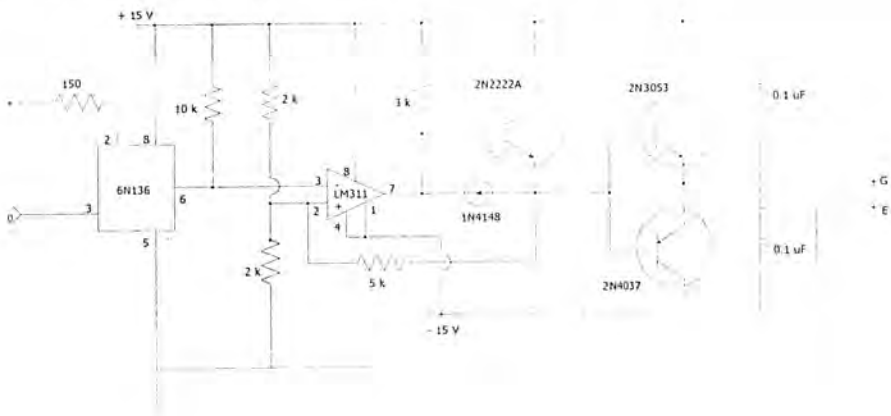
เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณ Sine กับสัญญาณสามเหลี่ยมนั้นยังไม่สามารถนำไปขับเคลื่อนไอจีบีทีได้โดยตรง จะต้องนำมาผ่านวงจรเดคไทม์ เพื่อให้สัญญาณที่จะไปขับเคลื่อนไอจีบีทีมีการหน่วงเวลาสั้นเพื่อไม่ให้ไอจีบีทีเสียหายเวลาใช้งาน ซึ่งวงจรเดคไทม์ที่ใช้ในโครงการนี้แสดงได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.17 วงจรเดคไทม์

3.12 วงจรขับเกตไอจีบีที

ใช้ไอซีเบอร์ 6N136 ซึ่งเป็นไอซีที่แยกกราวด์ของวงจรส่วนควบคุมกับวงจรกำลังออกจากกัน ซึ่งสัญญาณที่ผ่าน 6N136 นี้จะมีลักษณะกลับเฟส และจะใช้ไอซี LM311 ทำหน้าที่คอมพาราเตอร์เพื่อกลับเฟสให้เหมือนเดิมจากนั้นจึงผ่านทรานซิสเตอร์เพื่อขยายกระแสให้ไอจีบีทีทำงานได้ โดยจะแสดงวงจรได้ดังข้างล่างนี้



รูปที่ 3.18 วงจรขับเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 การสร้างสัญญาณ PWM จาก ไอซี เบอร์ TL494

หลักการทํางาน

- การทํางานของไอซีโดยส่วนมาก จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาท์พุท มาควบคุมช่วงเวลานํากระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ หรือ เพาเวอร์มอสเฟส เพื่อคงค่าแรงดันเอาท์พุทเป็นหลัก
- วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาท์พุทมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงของวงจร เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เอาท์พุท
- ความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปคลื่นฟันเลื่อยอีกครั้งหนึ่ง
- เอาท์พุทที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปคลื่นฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดดูเลชั่นของค่าแรงดันจากวงจรขยายความแตกต่าง E/A และของวงจร PWM
- ค่าความกว้างของพัลส์เป็นตัวกำหนดช่วงเวลานํากระแสของ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ หรือ เพาเวอร์มอสเฟตในอินเวอร์เตอร์
- ค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขา อินเวอร์ตติ้ง ผลต่างของค่าแรงดันเอาท์พุท จึงมีลักษณะกลับเฟส อยู่ 180 องศา
- เมื่อแรงดันเอาท์พุทมีค่ามากขึ้น แรงดันเอาท์พุทของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลง ความกว้างของพัลส์ที่เอาท์พุทของวงจร PWM มีค่าลดลงด้วย และช่วงเวลานํากระแสของ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ หรือ เพาเวอร์มอสเฟส ก็จะมีค่าลดลง
- ถ้าแรงดันเอาท์พุทมีค่าลดลง แรงดันเอาท์พุทของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าเพิ่มขึ้นความกว้างของพัลส์ที่เอาท์พุทของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น ช่วงเวลานํากระแสของ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ หรือ เพาเวอร์มอสเฟส สามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุทไว้ได้
- ไอซีเบอร์ TL494 เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM เนื่องจากเป็นไอซีที่ง่ายต่อการใช้งาน อีกทั้งมีการป้อนกลับจากเอาท์พุทด้วย จึงทำให้อินเวอร์เตอร์ที่ได้นั้นมีเสถียรภาพสูง

การกำหนดคาบเวลาการทำงานของไอซีเบอร์ TL494

- วงจรของ TL494 เป็นวงจร PWM ที่มีค่าความถี่คงที่
- คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์ กำหนดโดยค่า R_T และ C_T จากภายนอกที่ขาที่ 6 และขาที่ 5 ของไอซี
- ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้ดังนี้

$$T = R_T C_T / 1.1$$

การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของอินเวอร์เตอร์

- ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ ของไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา 5 กับแรงดันที่ขยายความแตกต่างทั้ง 2 ตัวที่ พีคิบบิวเอ็มคอมพารเตอเรอร์
- ส่วนนอร์เกท ที่ควบคุมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา C_K ของ ฟลิป-ฟลอป อยู่ในสถานะ “Low” เท่านั้น
- C_K จะเป็น “Low” ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจากวงจรขยายความแตกต่างทั้ง 2 ตัว
- แรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์ หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ ของไอซี จะลดลง
- แรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลง ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ ของไอซีจะเพิ่มขึ้น
- ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ ของไอซีนีสามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 จนถึง 3.5 โวลต์
- ส่วนวงจรขยายความแตกต่างทั้ง 2 จะมีช่วงอินพุตคอมมอน โหมด ตั้งแต่ -0.3 ถึง $(V_{CC} - 2)$ โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ได้
- วงจรขยายความแตกต่างทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ “High” โดยต่ออยู่ในลักษณะ OR ที่ขา นอน-อินเวอร์ตติง ของพีคิบบิวเอ็มคอมพารเตอเรอร์
- การต่อในลักษณะนี้ วงจรขยายความแตกต่างตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตต่ำสุดจะเป็นตัวควบคุมความกว้างของ เอาต์พุตพัลส์ ของไอซี

3.14 วงจรควบคุมป้อนกลับแบบพีไอ

สำหรับระบบควบคุมแบบป้อนกลับนี้จะใช้เพื่อรักษาระดับแรงดันที่จะจ่ายให้กับโหลดให้คงที่ที่ 220 โวลต์ และต้องตอบสนองให้ทันการเปลี่ยนแปลงของโหลดโดยในโครงงานนี้เลือกใช้ระบบควบคุมแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุผลที่เลือกใช้ระบบควบคุมแบบพีไอ เพราะโพรเซสเพลนท์ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดศูนย์ ซึ่งถ้าเลือกใช้ระบบควบคุมแบบพีเพียงอย่างเดียวเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของจุดเซตพอยท์หรือ โหลดเกิดการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่า สเตตคัสเตจ-เออเลอร์ ยังคงมีอยู่ซึ่งเรียกว่า ค่าออฟเซต และเพื่อที่จะกำจัดค่าออฟเซตนี้จึงต้องเพิ่มส่วนของไอ เข้าไปด้วย ส่วนของฟอร์เวิร์ด ซึ่งทำให้ค่า คอนโทรลเอฟฟอร์ตมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดจนกว่าค่า ความคลาดเคลื่อนจะเป็นศูนย์ซึ่งทำให้ กำจัดค่าออฟเซตได้ทั้งหมด

ค่าคอนโทรลเอฟฟอร์ตที่เกิดจากระบบควบคุมแบบพีไอ จะเป็นดังนี้

$$U_c = K[e + 1/T_i \int edt] = U_p + U_i$$

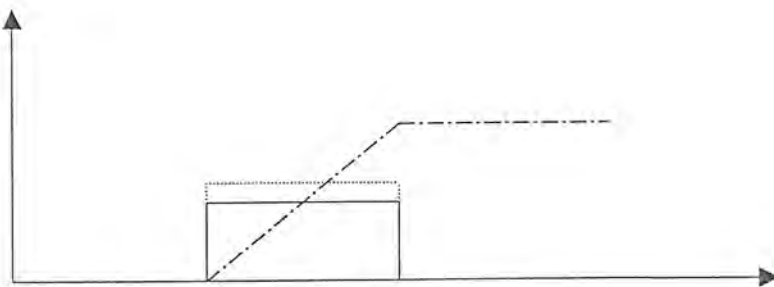
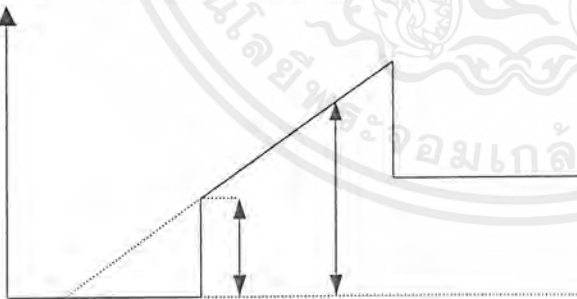
โดยที่เทอมพี, U_p คือ

$$U_p = Ke$$

และเทอมของไอ, U_i คือ

$$U_i = K/T_i \int edt$$

ซึ่งผลของรีเซ็ตแเอ็คชั่นจะเห็นได้อย่างชัดเจนโดยการพิจารณาการตอบสนองแบบระบบเปิดของ ระบบพีไอต่อค่าทรานเซียนด์เวียชัน ดังรูป



รูปที่ 3.19 การตอบสนองแบบระบบเปิดของวงจรพีไอ คอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนเริ่มต้นค่าดีไวชันจะเป็นศูนย์และเอาต์พุทของพีไอจะอยู่ที่ที่ค่าเม่นวลหลัง จากนั้นจะเกิดค่าสเตพเชนท์เกิดขึ้นโดยมีขนาดเท่ากับ E ซึ่งทำให้ค่าคอนโทรลเอฟฟอ์ท มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากส่วนที่ U_p ดังนี้

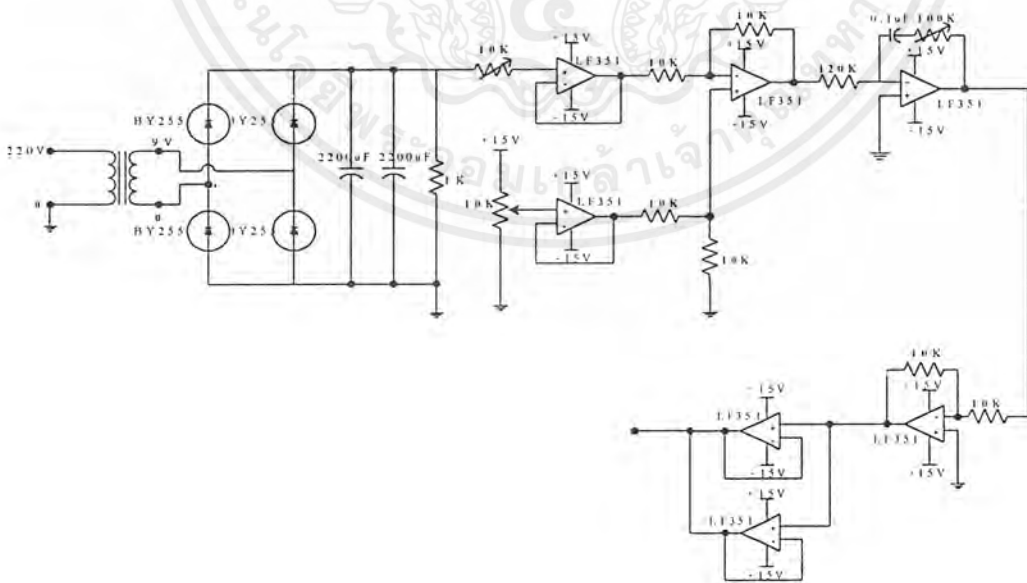
$$U_p = KE$$

ซึ่งค่า U_p นี้จะมีค่าคงที่เพื่อทำให้ค่าดีไวชันมีค่าคงที่ที่ E และส่วนของไอ จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่เปลี่ยนตามเวลาดังนี้

$$U_r = KE/T_r$$

ซึ่งค่าความชันของฟังก์ชันคือ KE/T_r โดยที่ค่า T_r โดยที่ค่าน้อยเท่าใหรยิ่งจะทำให้ค่าความชันของ U_r มากขึ้น และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกว่าค่าดีไวชันจะเป็นศูนย์ ณ จุดนี้ผลของไอจะหยุดเปลี่ยนแปลงและผลของพีก็ลดลงเท่ากับ KE ดังนั้นเอาต์พุทของระบบพีไอจะเปลี่ยนไปสู่ค่าใหม่แม้ว่าค่าดีไวชันจะเป็นศูนย์ ซึ่งผลที่ต้องการในการกำจัดค่าออฟเซ็ท

เมื่อนำระบบพีไอเข้ามาใช้ในระบบปิดมันจะทำให้ค่าคอนโทรลเอฟฟอ์ทมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจนกว่าดีไวชันจะเป็นศูนย์ สำหรับวงจรพีไอที่ใช้จะมีลักษณะดังนี้



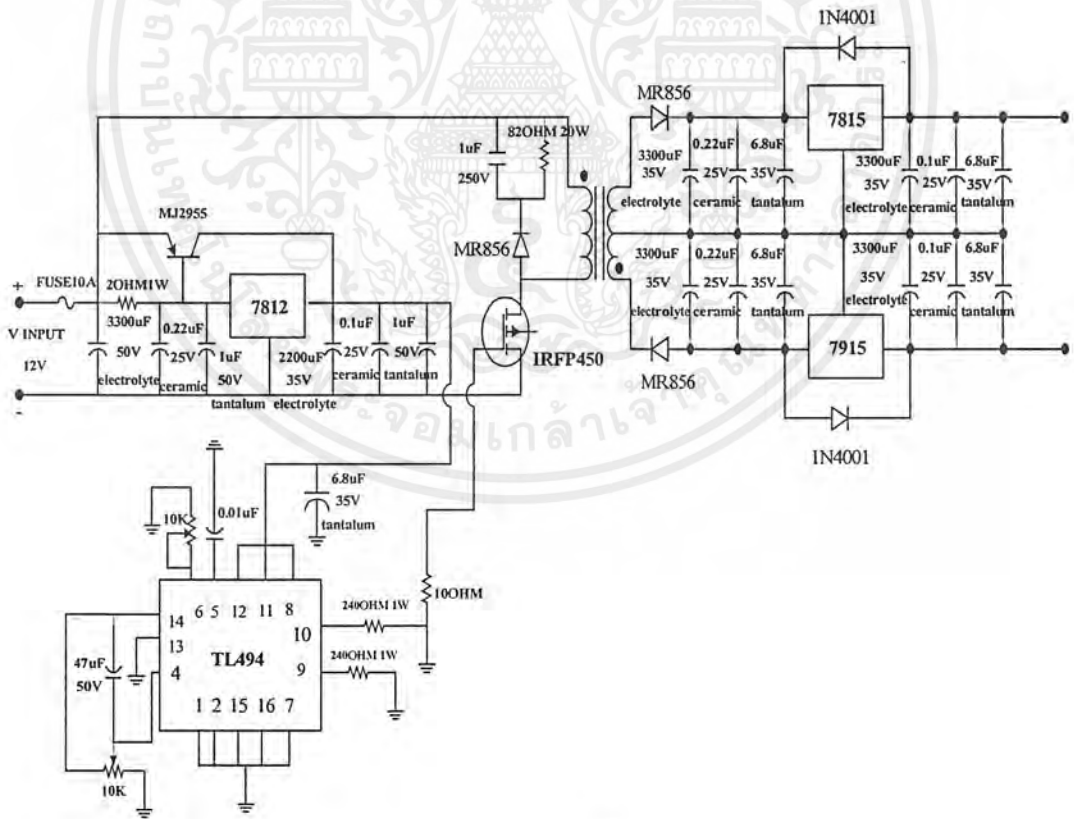
รูปที่ 3.20 วงจรควบคุมป้อนกลับแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสาเหตุที่ต้องใช้ความต้านทานชนิดปรับค่าได้ก็เพราะว่าไม่สามารถที่จะเขียนทรานเซอร์ฟังก์ชันของทั้งระบบได้จึงต้องอาศัยการปรับค่าความต้านทานในการปรับหาจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบและนอกจากนี้สัญญาณ $V_{feedback}$ และ $V_{reference}$ ก่อนที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน ควรผ่านบัพเฟอร์ก่อน เช่นเดียวกับกับสัญญาณ V_{output} ก่อนนำไปเข้าสู่วงจรสร้างสัญญาณไซน์ตรงตัวความต้านทานปรับค่าได้ที่ได้ใช้ปรับค่าขนาดของสัญญาณไซน์โดยนำไปแทนสัญญาณไฟกระแสดรงขนาด +15 โวลต์ก็ควรที่จะผ่านบัพเฟอร์เช่นกัน

3.15 วงจรไฟเลี้ยง

เนื่องจากในโครงงานนี้มี ไอซีต่าง ๆ ที่ต้องใช้ไฟเลี้ยงคงจึงต้องมีวงจรที่สามารถจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไอซีโดยเฉพาะ ซึ่งเป็นวงจร ฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์สามารถจ่ายไฟได้ +15 โวลต์ และ -15 โวลต์เป็นไฟ กระแสตรง ซึ่งแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.21 วงจรไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองหาเส้นแสดงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

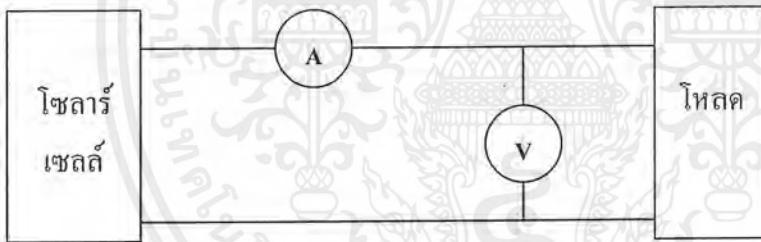
วัตถุประสงค์

การทดสอบเพื่อหาเส้นคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบตลอดทั้งวัน

อุปกรณ์การทดลอง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 วัตต์ 2 แผง
2. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
3. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
4. ค่าความต้านทานค่าต่าง ๆ 16 ค่า
5. สายไฟ

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.1 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

วิธีการทดลอง

1. ต่อดวงจรรูปที่ 4.1 โดยการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แผง ขนานกัน
2. ทำการวัดแรงดันขณะเปิดวงจรและวัดค่ากระแสเปิดวงจร
3. ทำการวัดค่าดังข้อ 2 ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง และทำการบันทึกค่านั้นด้วย
4. ทำการวัดค่าแรงดันและกระแส โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานค่าต่าง ๆ
5. บันทึกค่าแรงดันและกระแสของการต่อความต้านทานแต่ละค่าทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง

ผลการทดลอง

ค่าแรงดันเปิดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จากการทดลองที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

เวลา	แรงดันเปิดวงจร	กระแสลัดวงจร
8.00 น.	16.50	5.40
8.30 น.	17.34	5.33
9.00 น.	17.50	4.90
9.03 น.	17.80	4.90
10.00 น.	18.13	4.70
10.30 น.	18.34	4.67
11.00 น.	18.09	4.84
11.30 น.	18.97	4.08
12.00 น.	18.70	4.15
12.30 น.	18.55	4.20
13.00 น.	18.53	4.53
13.30 น.	18.12	4.25
14.00 น.	18.00	2.26
14.30 น.	17.98	2.27
15.00 น.	18.12	4.25
15.30 น.	18.07	1.87
16.00 น.	17.98	1.48
16.30 น.	17.91	1.13
17.00 น.	18.24	1.27
17.30 น.	17.33	0.45

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าแรงดันเปิดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรที่เวลาต่าง ๆ ใน 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากการเปลี่ยนค่าความต้านทานในการต่อเป็น โหลด เพื่อหาค่ากระแสและแรงดันที่ค่าความต้านทานต่าง ๆ แสดงผลการทดลองตามเวลาต่างๆ ดังนี้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.50	0.33	9	17.64	0.26
2	17.34	0.48	10	17.05	0.81
3	17.76	0.24	11	17.11	0.64
4	17.72	0.26	12	17.58	0.30
5	17.51	0.29	13	17.30	0.49
6	17.08	0.79	14	14.32	1.48
7	17.25	0.55	15	17.80	0.15
8	17.38	0.42	16	12.05	1.98

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่างๆ ที่เวลา 8.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	18.50	0.07	9	16.98	0.82
2	18.44	0.02	10	16.72	1.07
3	18.39	0.4	11	16.44	1.60
4	18.10	0.15	12	14.77	1.45
5	17.54	0.29	13	14.38	1.56
6	17.38	0.49	14	12.10	1.98
7	17.11	0.77	15	12.03	3.11
8	17.03	0.88	16	17.98	0.21

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่างๆ ที่เวลา 8.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	18.04	0.11
2	17.90	0.35
3	17.84	0.44
4	17.66	0.88
5	17.45	0.90
6	17.28	0.95
7	17.11	0.99
8	17.02	1.04

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	16.50	1.11
10	16.32	0.98
11	15.21	0.70
12	15.09	0.01
13	14.78	1.15
14	13.11	1.38
15	12.29	2.01
16	12.20	2.35

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่างๆ ที่เวลา 9.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	18.05	0.50
2	18.00	0.01
3	17.77	0.05
4	17.52	0.10
5	17.28	0.28
6	17.11	0.17
7	16.80	0.35
8	16.59	0.42

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	16.44	0.55
10	16.28	0.77
11	15.77	0.65
12	15.20	0.49
13	14.79	1.55
14	13.40	1.78
15	12.78	2.11
16	11.50	2.69

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่การเปลี่ยนความต้านทานค่าต่างๆ ที่เวลา 9.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	18.15	0.77	9	16.89	1.42
2	18.11	0.93	10	16.64	1.31
3	18.05	0.85	11	16.25	1.95
4	17.80	0.78	12	15.90	2.06
5	17.50	1.14	13	11.20	2.35
6	17.46	1.28	14	10.77	2.64
7	17.44	1.55	15	10.50	3.01
8	17.25	1.77	16	10.11	3.25

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าแรงดันและกระแสในการเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 10.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	18.00	0.40	9	16.45	0.1
2	17.70	0.01	10	16.34	0.11
3	17.29	0.01	11	16.14	0.16
4	17.18	0.01	12	16.01	1.06
5	17.00	0.02	13	16.00	0.17
6	16.87	0.06	14	15.85	1.60
7	16.70	0.04	15	15.05	0.59
8	16.69	0.08	16	11.10	3.60

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 10.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	18.10	0.17
2	18.00	0.08
3	17.80	0.17
4	17.45	0.01
5	17.30	0.03
6	17.03	0.20
7	16.88	0.21
8	16.87	0.30

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	16.76	0.35
10	16.70	0.56
11	16.50	0.74
12	16.48	0.82
13	15.95	1.07
14	15.60	1.60
15	13.77	2.78
16	7.25	3.57

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่าง ๆ ที่เวลา 11.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	18.24	0.01
2	17.85	0.01
3	17.51	0.02
4	17.46	0.01
5	17.28	0.07
6	17.12	0.15
7	17.09	0.19
8	17.02	0.29

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	16.93	0.34
10	16.71	0.52
11	16.50	0.72
12	16.10	1.05
13	13.55	2.35
14	13.09	2.64
15	6.36	3.00
16	3.60	3.11

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่าง ๆ ที่เวลา 11.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.96	0.01	9	17.13	0.35
2	17.79	0.01	10	16.90	0.53
3	17.60	0.02	11	16.68	0.4
4	17.58	0.01	12	16.42	1.07
5	17.48	0.07	13	14.36	2.50
6	17.33	0.15	14	13.68	2.75
7	17.31	0.19	15	7.25	3.44
8	17.19	0.29	16	3.72	3.23

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 12.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.66	0.01	9	16.38	0.73
2	17.45	0.03	10	16.23	0.8
3	17.43	0.02	11	16.20	1.07
4	17.21	0.08	12	13.43	2.37
5	17.00	0.30	13	13.41	2.74
6	17.00	0.20	14	10.12	2.85
7	16.95	0.35	15	6.00	2.90
8	16.77	0.55	16	3.80	3.40

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 12.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.58	0.01	9	16.63	0.53
2	17.47	0.02	10	16.44	0.81
3	17.26	0.03	11	16.35	0.73
4	17.09	0.20	12	16.26	1.07
5	17.04	0.08	13	14.44	2.55
6	16.92	0.16	14	14.31	2.91
7	16.83	0.29	15	9.78	4.73
8	16.76	0.35	16	5.01	4.53

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 13.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.61	0.03	9	16.34	0.87
2	17.42	0.01	10	16.24	0.73
3	17.28	0.02	11	16.12	0.84
4	17.11	0.08	12	14.33	1.56
5	16.97	0.16	13	14.04	2.85
6	16.79	0.29	14	10.49	3.87
7	16.77	0.35	15	8.33	4.01
8	16.60	0.53	16	4.77	4.21

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 13.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	18.03	0.01	9	16.77	0.29
2	17.47	0.01	10	16.29	0.72
3	17.30	0.02	11	16.20	0.8
4	17.21	0.08	12	15.84	1.04
5	17.15	0.03	13	11.55	2.04
6	13.97	0.16	14	8.72	2.22
7	16.94	0.20	15	4.92	2.35
8	16.91	0.35	16	4.7	3.31

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 14.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.55	0.01	9	15.97	0.51
2	17.29	0.01	10	15.52	0.69
3	17.07	0.03	11	15.31	0.76
4	16.96	0.08	12	14.38	0.94
5	16.73	0.20	13	7.91	1.21
6	16.64	0.16	14	5.9	1.20
7	16.47	0.29	15	3.75	2.21
8	16.39	0.34	16	2.52	1.19

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 14.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.64	0.01
2	17.33	0.03
3	17.24	0.02
4	17.08	0.08
5	17.02	0.2
6	16.90	0.16
7	16.69	0.29
8	16.61	0.34

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	16.54	0.53
10	16.06	0.71
11	15.91	0.78
12	15.56	1.02
13	15.59	1.85
14	15.5	2.72
15	4.16	1.97
16	2.39	2.03

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 15.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.43	0.01
2	17.26	0.01
3	17.18	0.02
4	17.08	0.07
5	16.90	0.15
6	16.89	0.19
7	16.63	0.33
8	16.62	0.28

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	16.20	0.57
10	15.82	0.69
11	15.69	0.76
12	14.92	0.97
13	6.64	1.33
14	5.50	1.37
15	2.85	1.38
16	1.56	1.33

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 15.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.58	0.01
2	17.33	0.01
3	17.06	0.03
4	16.98	0.07
5	16.67	0.15
6	16.60	0.19
7	16.45	0.28
8	16.35	0.33

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	15.87	0.5
10	15.22	0.67
11	14.77	0.72
12	13.78	0.89
13	6.06	1.03
14	5.15	1.02
15	4.38	1.02
16	2.27	1.03

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 16.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.24	0.01
2	17.09	0.01
3	17.00	0.02
4	16.85	0.07
5	16.62	0.15
6	16.59	0.19
7	16.15	0.35
8	15.52	0.48

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	14.76	0.65
10	14.51	0.70
11	12.08	0.78
12	10.15	0.95
13	4.97	0.84
14	4.35	0.85
15	2.02	0.90
16	1.15	0.91

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 16.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.45	0.01
2	17.39	0.01
3	17.23	0.02
4	16.95	0.19
5	16.83	0.15
6	16.53	0.28
7	16.50	0.33
8	15.94	0.50

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	15.57	0.68
10	14.99	0.74
11	13.58	0.88
12	5.94	1.01
13	5.39	1.07
14	5.05	0.07
15	2.28	1.07
16	1.23	1.02

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 17.00 น.

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	16.55	0.01
2	16.33	0.01
3	16.27	0.02
4	16.16	0.07
5	15.67	0.14
6	15.26	0.17
7	14.77	0.25
8	14.10	0.28

ลำดับ ที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
9	11.44	0.35
10	8.79	0.42
11	8.51	0.36
12	6.68	0.42
13	2.45	0.40
14	1.99	0.38
15	0.88	0.39
16	0.53	0.42

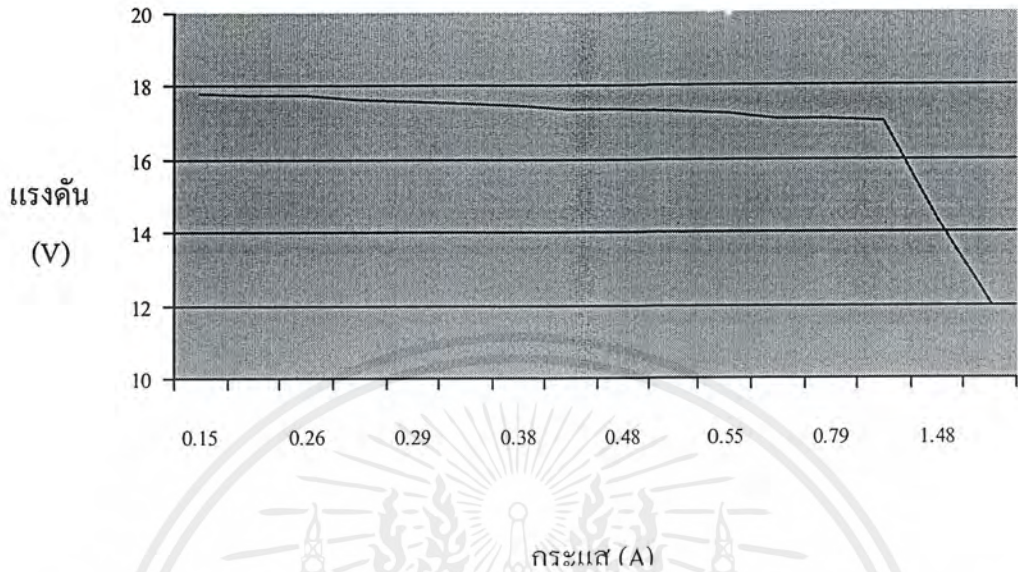
ตารางที่ 4.21 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 17.30 น.

หมายเหตุ: วันที่ทำการทดลองคือวันที่ 8 มีนาคม 2544 ตำแหน่ง KMIT'L (~13.3°N) มุมเอียง

25° ได้มีบางช่วงเวลาไม่มีแสงแดดทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามทฤษฎี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

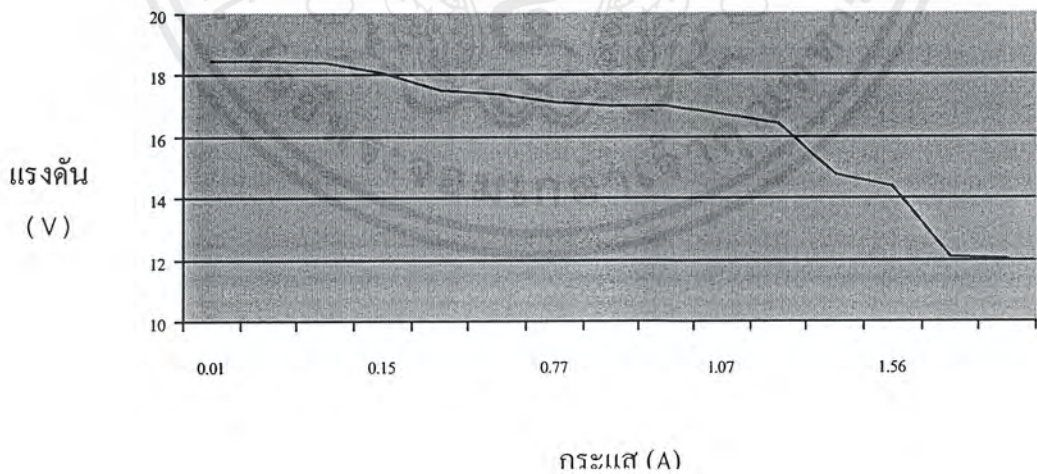
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.



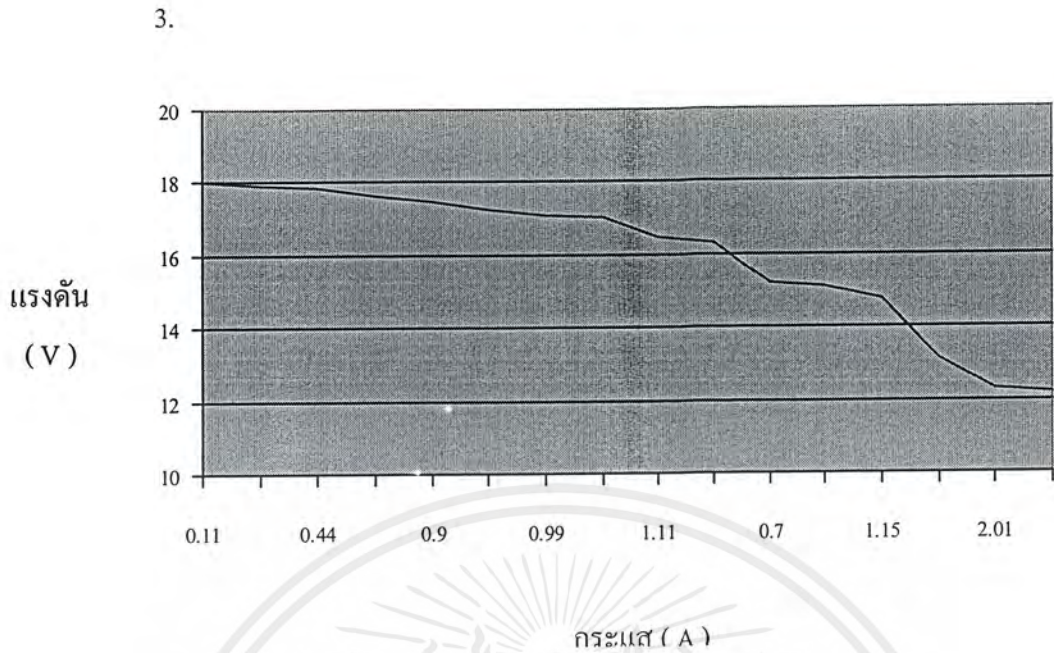
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 8.00 น.

2.

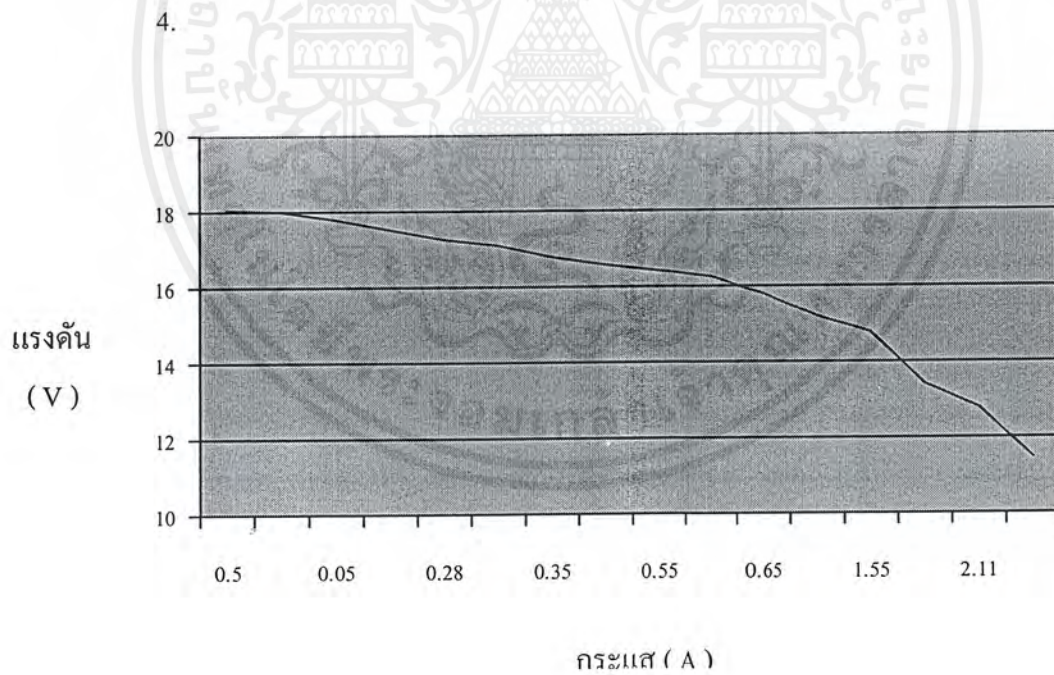


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 8.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



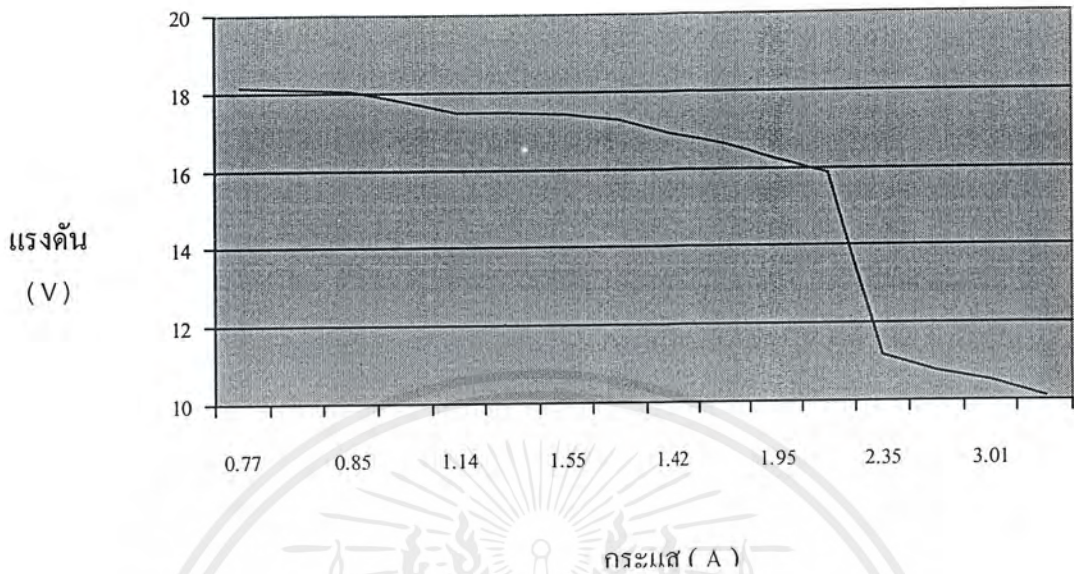
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 9.00 น.



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 9.30 น.

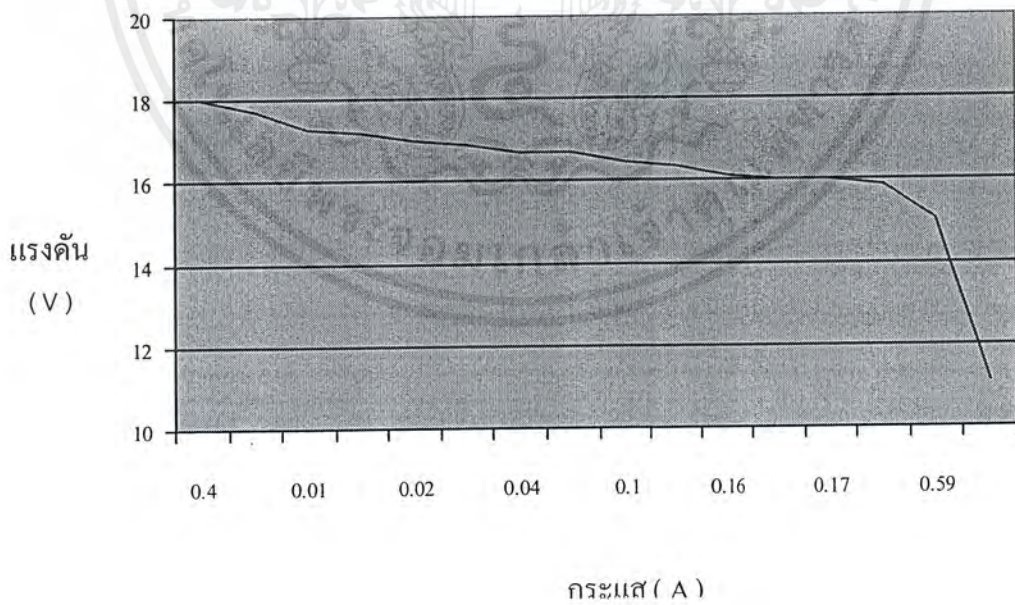
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 10.00 น.

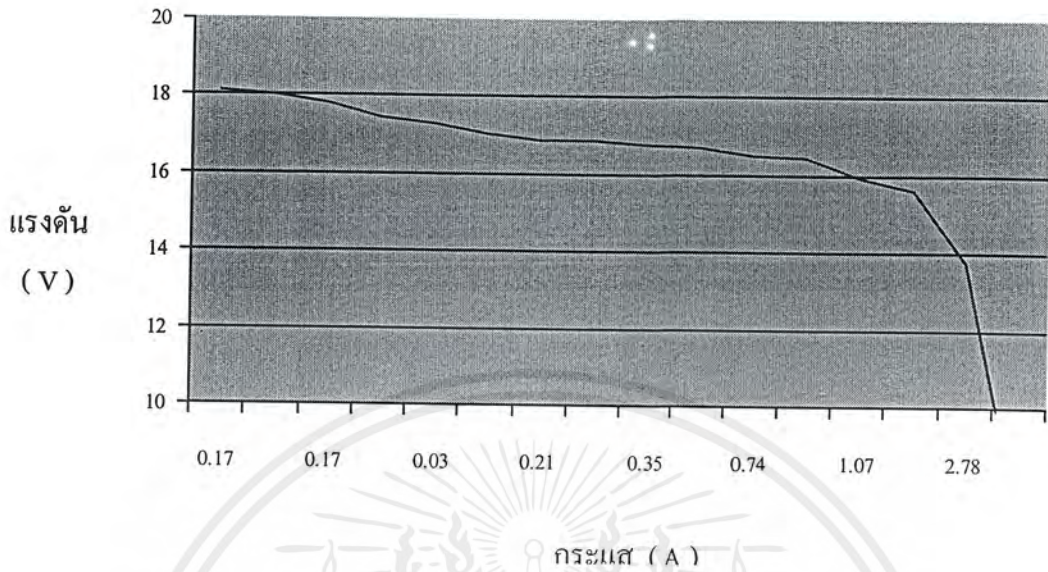
6.



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 10.30 น.

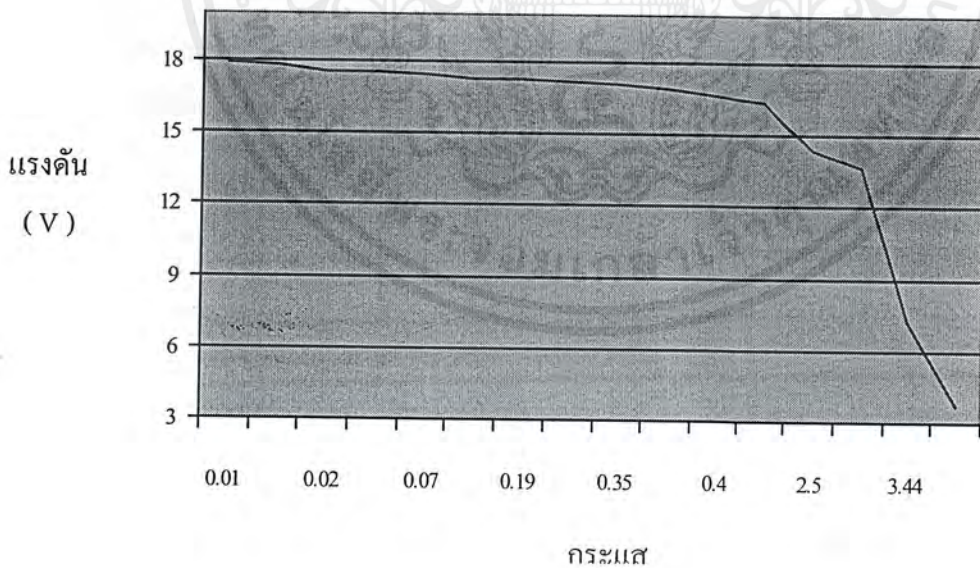
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 11.00 น.

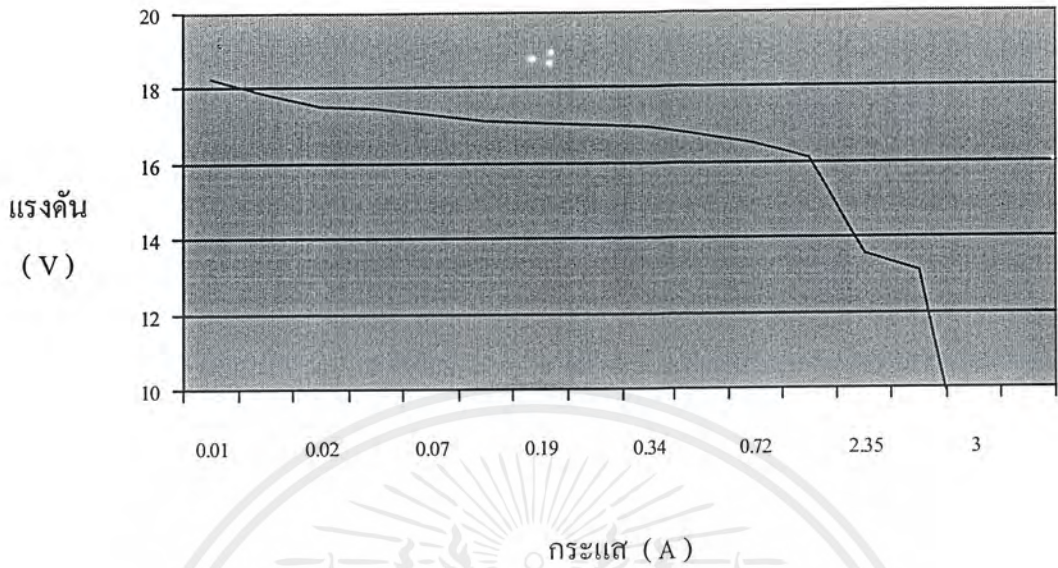
8.



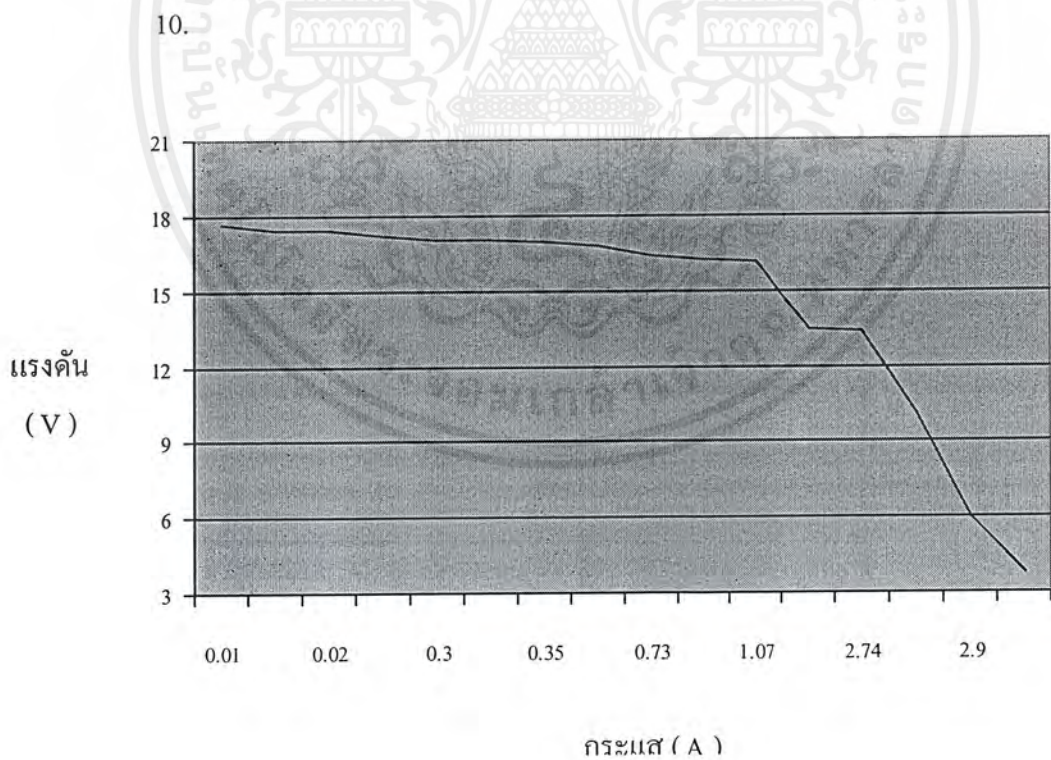
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 11.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.



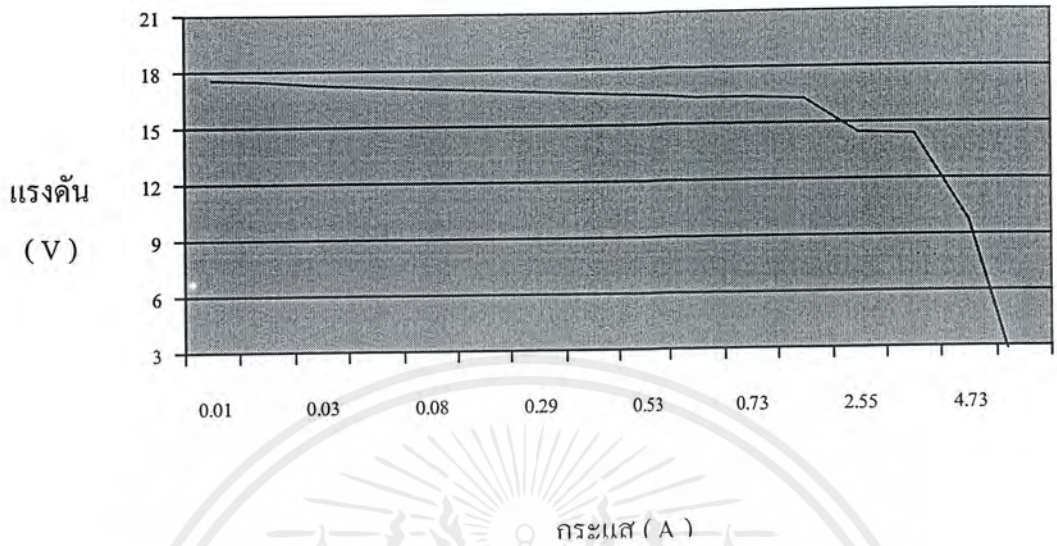
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 12.00 น.



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสที่เวลา 12.30 น.

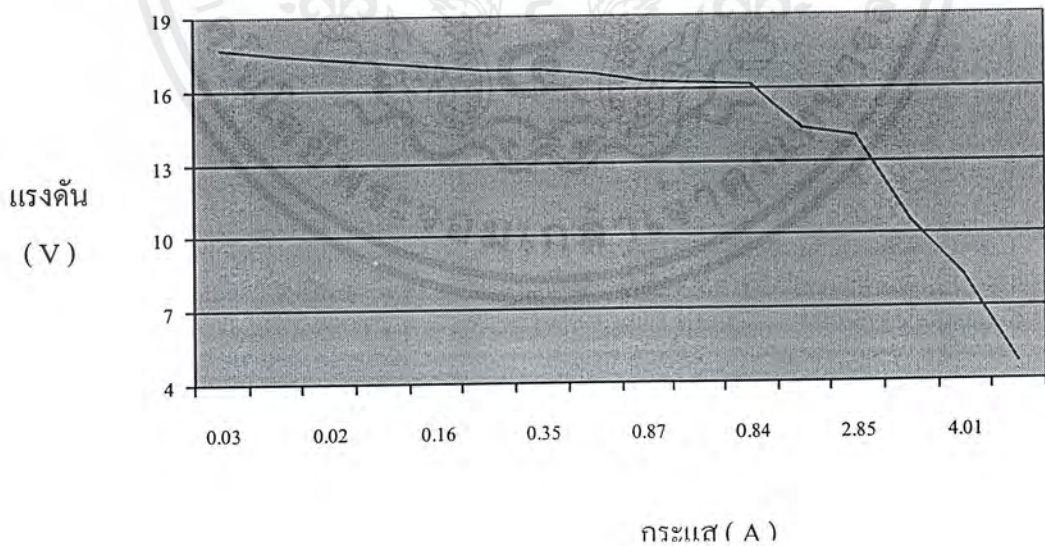
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 13.00 น.

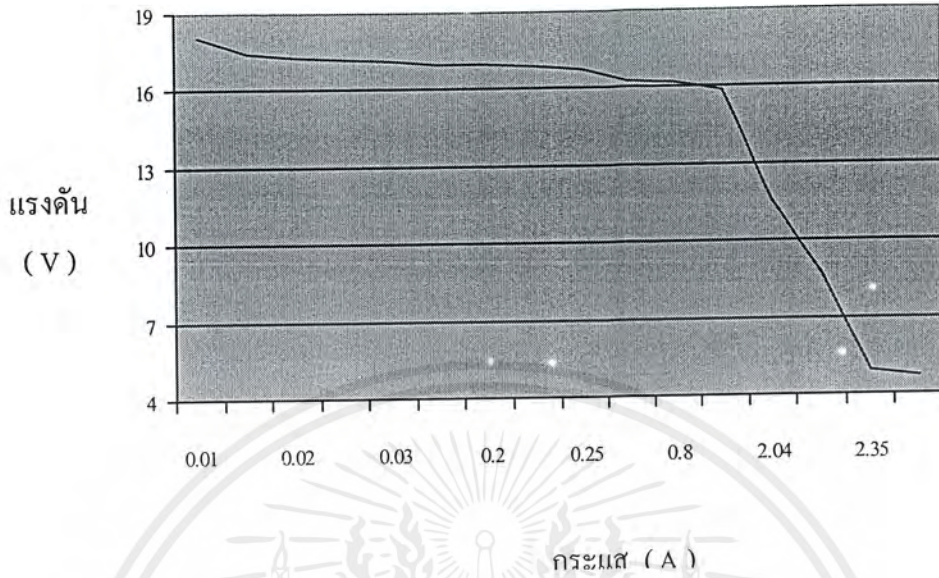
12.



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 13.30 น.

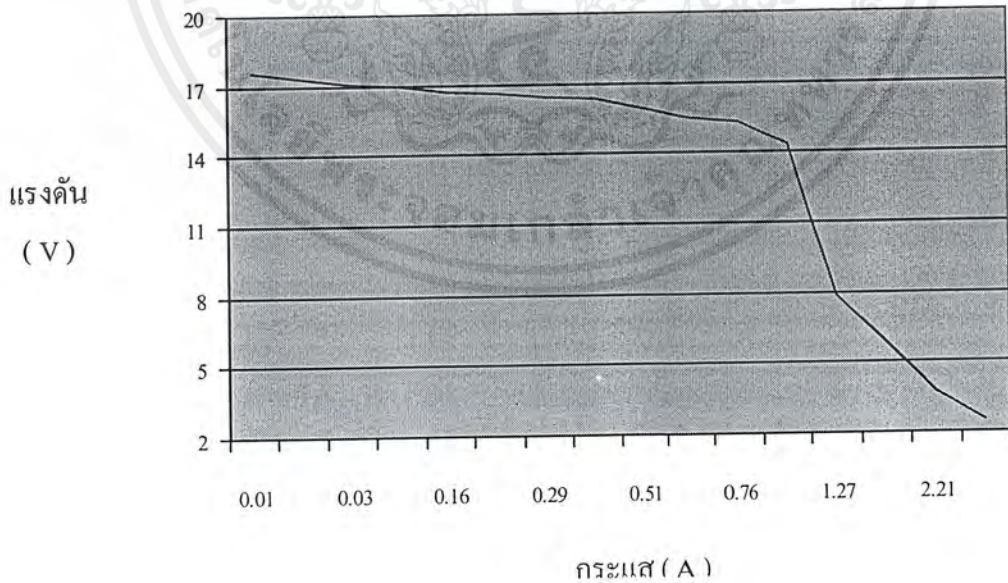
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 14.00 น.

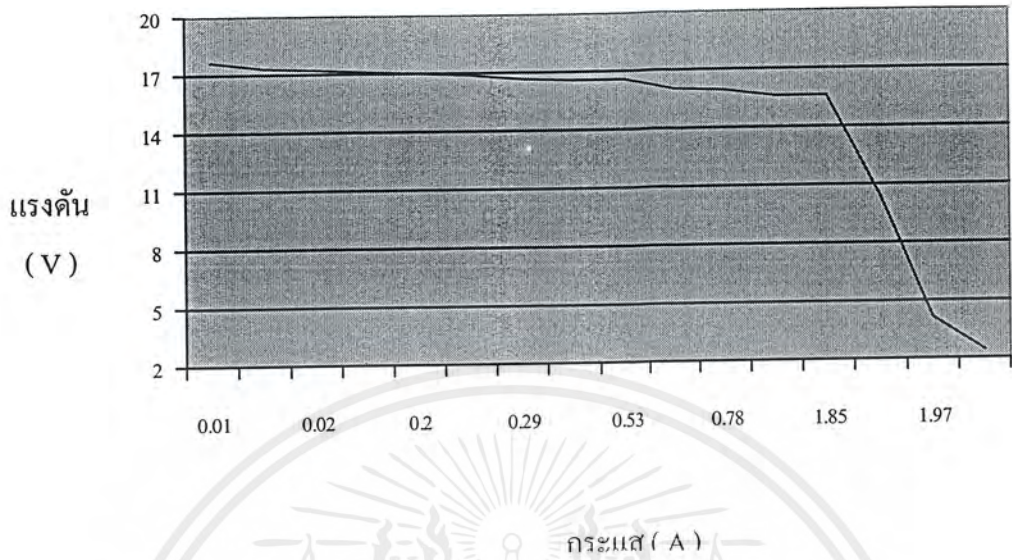
14.



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 14.30 น.

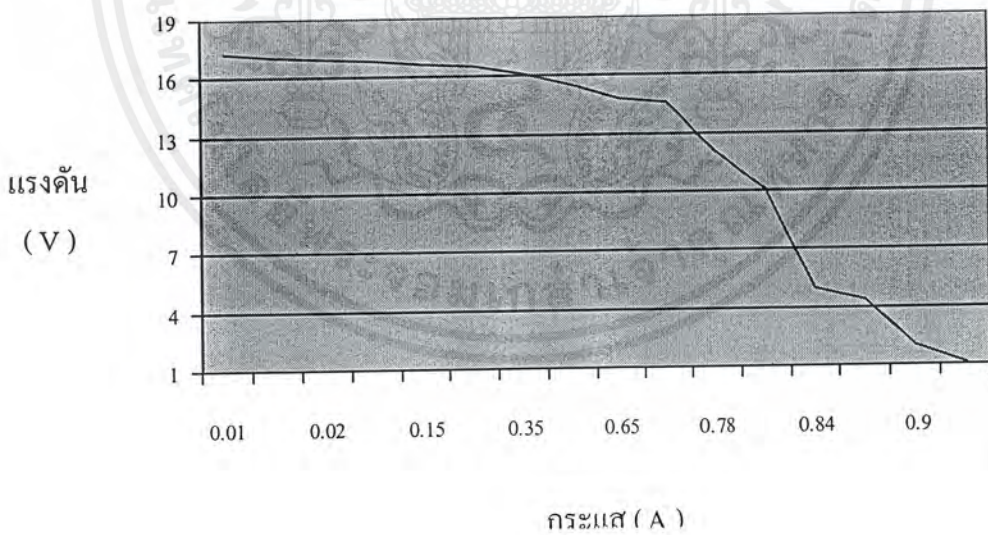
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.



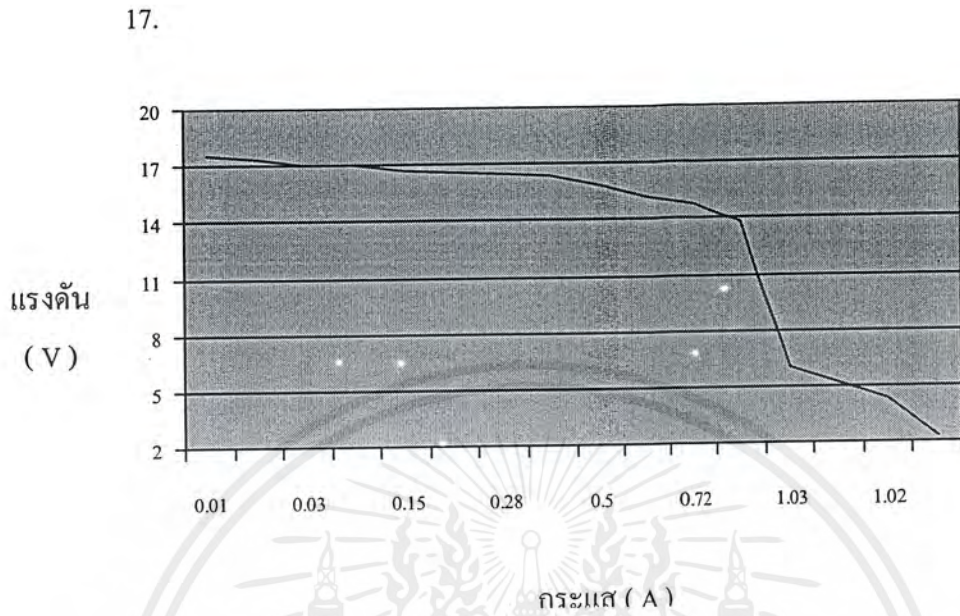
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 15.00 น.

16.

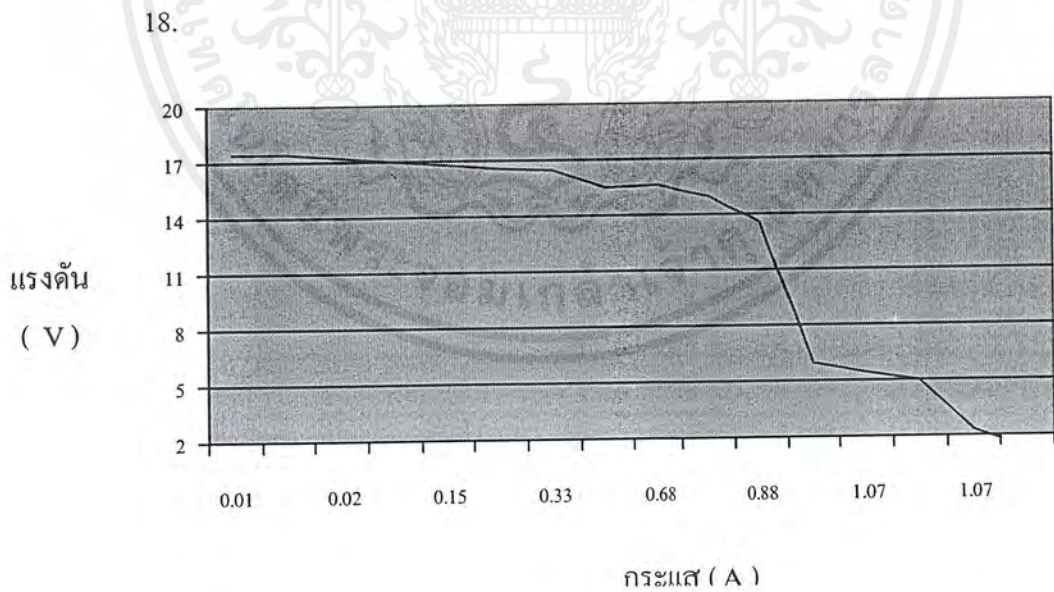


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 15.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



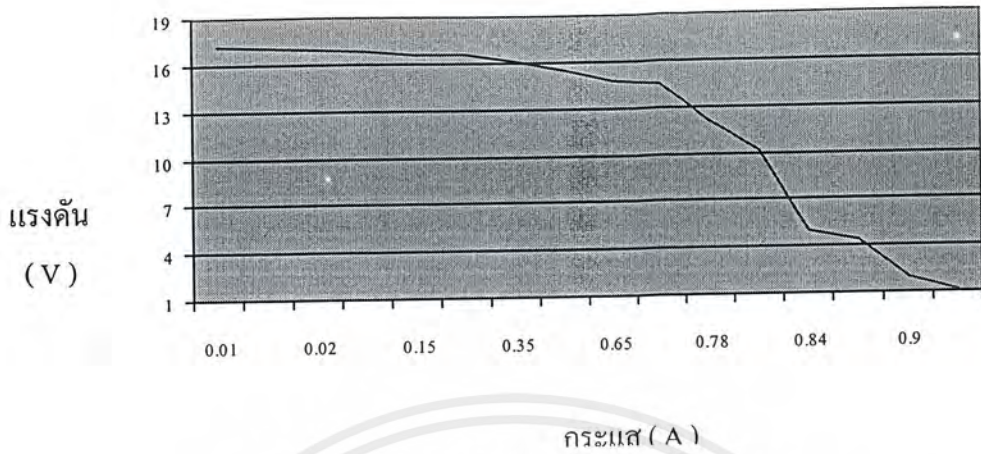
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 16.00 น.



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 16.30 น.

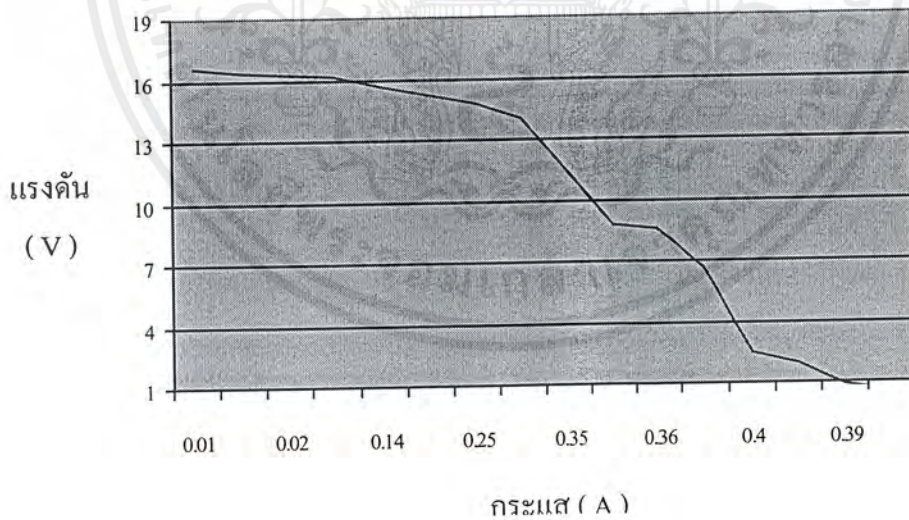
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19.



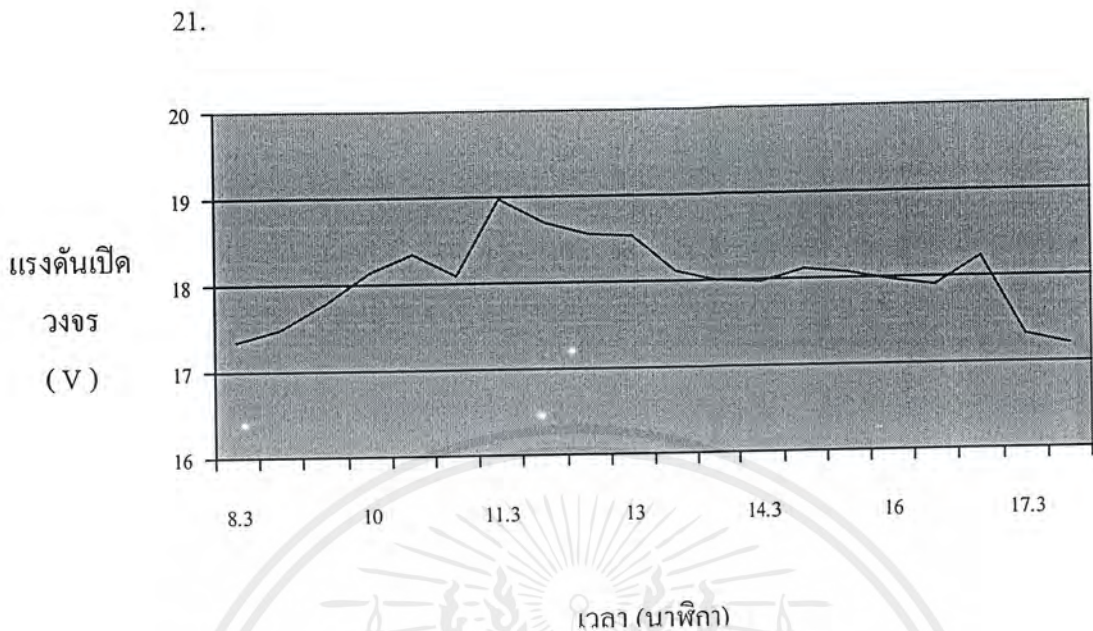
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 17.00 น.

20.



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 17.30 น.

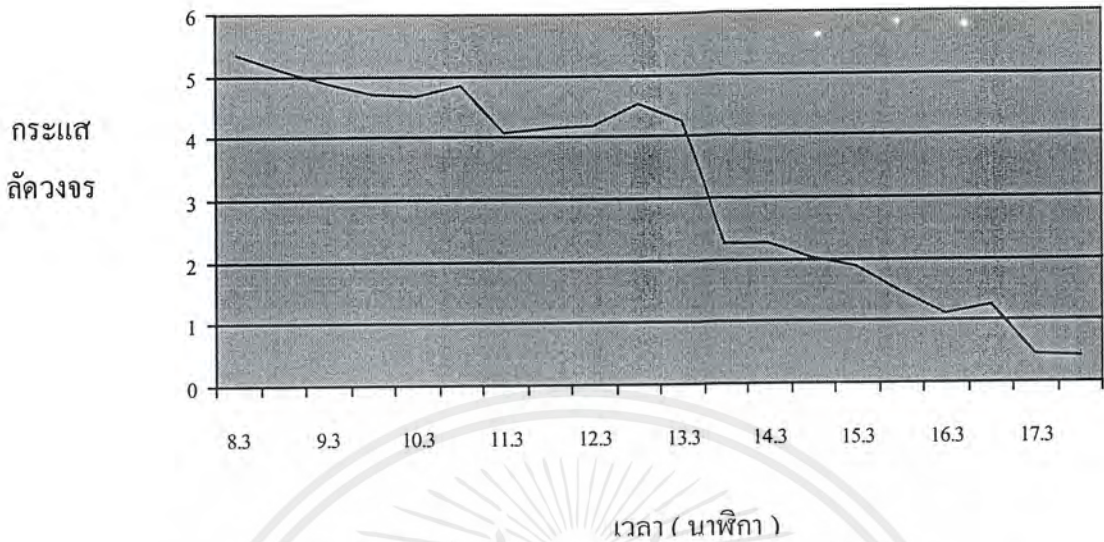
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเปิดวงจรและเวลา

จากรูปกราฟพบว่าแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไปโดย จากช่วงเวลา 8.30 น. ถึง 12.00 น. แนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นจะลดลงจนถึงช่วงเวลา ประมาณ 14.30 น. ก็จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งและจะลดลงเรื่อยๆ ในที่สุด ช่วง 17.00 น. เป็นต้นไป ซึ่งกล่าวได้ว่า ผลการทดลองนี้เป็นไปตามเซลล์แสงอาทิตย์คือแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอาจมีผลจากการที่ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ไม่แน่นอนทำให้เป็นอุปสรรคในการทดลอง

22.



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรและเวลา

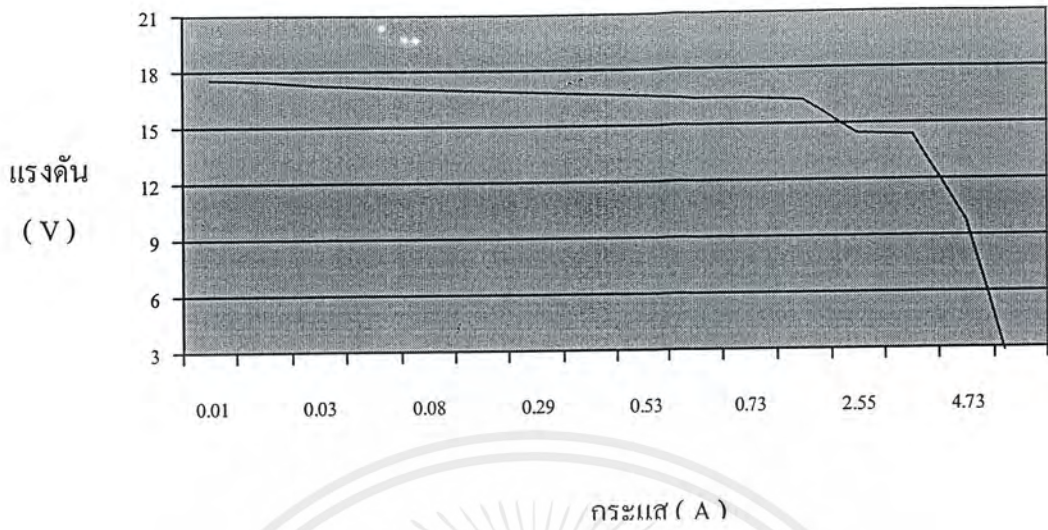
จากรูปกราฟจะพบว่าค่ากระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาโดยค่ากระแสลัดวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลา 11.30 น. ถึง 13.30 น. ซึ่งความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและจะลดลงในช่วง 13.45 น. ถึง 16.30 น. หรือความเข้มแสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งสรุปได้ว่า ผลการทดลองนี้เป็นไปตามทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวไว้ว่า ค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอาทิตย์

และในที่นี้จะนำผลการทดลองที่เวลา 13.00 น. มาแสดงเพราะจากการทดลองที่เวลานี้จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

ลำดับที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	ลำดับที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)
1	17.58	0.01	9	16.63	0.53
2	17.47	0.02	10	16.44	0.81
3	17.26	0.03	11	16.35	0.73
4	17.09	0.20	12	16.26	1.07
5	17.04	0.08	13	14.44	2.55
6	16.92	0.16	14	14.31	2.91
7	16.83	0.29	15	9.78	4.73
8	16.76	0.35	16	5.01	4.53

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าแรงดันและกระแสเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานต่างๆ ที่เวลา 13.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เวลา 13.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่โดยใช้วงจรอัดประจุ

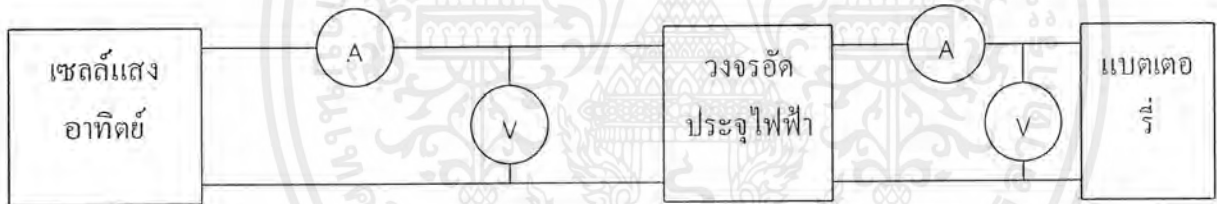
วัตถุประสงค์

เพื่อต้องการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรอัดประจุแบตเตอรี่และทำการอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เพื่อให้แบตเตอรี่มีไฟเพียงพอในการจ่ายโหลดได้ในตอนกลางคืน

อุปกรณ์การทดลอง

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55 วัตต์ 2 แผง
2. สายไฟ
3. ชูตอัดประจุไฟเข้าแบตเตอรี่
4. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
5. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.25 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของ วงจรอัดประจุ

วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.25
2. วัดค่าแรงดันและกระแสก่อนผ่านชูตอัดประจุทุก ๆ 15 นาที พร้อมบันทึกผล
3. วัดค่าแรงดันและกระแสหลังผ่านชูตอัดประจุทุก ๆ 15 นาที พร้อมบันทึกผล
4. หาประสิทธิภาพของวงจร
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

เวลา (น.)	อินพุท			เอาต์พุท			ประสิทธิภาพ %
	แรงดัน	กระแส	กำลัง	แรงดัน	กระแส	กำลัง	
8.00	11.30	2.09	23.617	11.50	2.05	23.58	99.84
8.15	12.09	2.10	25.39	12.02	2.09	25.12	98.94
8.30	12.11	2.15	26.04	12.20	2.12	25.86	99.30
8.45	12.35	2.09	25.81	12.18	2.00	24.36	94.38
9.00	12.77	2.25	28.73	12.35	2.18	26.92	93.70
9.15	12.98	2.11	27.39	12.05	2.25	27.11	98.98
9.30	13.54	2.34	31.68	12.28	2.10	25.79	81.41
9.45	13.72	2.29	31.42	12.07	2.18	26.31	83.74
10.00	13.70	2.32	31.48	12.15	2.21	26.85	84.49
10.15	14.02	2.55	35.75	12.11	2.15	26.04	72.84
10.30	14.10	2.48	34.97	12.24	2.40	29.38	84.01
10.45	14.15	2.44	34.53	12.42	2.42	30.06	87.05
11.00	14.21	2.53	35.93	12.51	2.52	31.53	87.75
11.15	14.22	2.49	35.41	12.54	2.44	30.60	86.42
11.30	14.35	2.51	36.02	12.60	2.46	31.00	86.06
11.45	14.62	2.23	32.60	12.70	2.11	26.80	82.21
12.00	14.58	2.26	32.95	12.72	2.21	28.11	85.31
12.15	15.31	2.35	35.98	12.70	2.24	28.45	79.07
12.30	14.16	2.39	34.92	12.66	2.34	29.62	84.82
12.45	14.97	2.51	37.57	12.73	2.39	30.42	80.97
13.00	14.87	2.54	37.77	12.88	2.33	30.01	79.45
13.15	15.03	2.58	38.78	12.94	2.42	31.31	80.74
13.30	15.13	2.39	36.16	12.99	2.34	30.40	84.10

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของวงจรอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (น.)	อินพุท			เอาต์พุท			ประสิทธิภาพ %
	แรงดัน	กระแส	กำลัง	แรงดัน	กระแส	กำลัง	
13.45	15.01	2.21	33.17	12.82	2.12	27.18	81.94
14.00	14.35	1.92	27.55	12.72	1.72	21.88	79.42
14.15	14.63	1.62	23.70	12.76	1.61	20.54	86.67
14.30	14.52	1.26	18.30	12.69	1.16	14.72	80.44
14.45	15.71	1.83	28.75	12.73	1.72	21.90	76.17
15.00	15.25	2.05	37.26	12.74	1.84	23.44	74.98
15.15	14.95	1.57	23.47	12.65	1.42	17.96	76.82
15.30	14.43	1.36	19.62	12.47	1.21	15.02	76.55
15.45	14.48	1.17	16.94	12.63	1.12	14.15	83.53
16.00	14.65	1.15	16.85	12.83	1.12	14.36	85.22
16.15	14.51	1.15	16.69	12.46	1.11	13.83	82.46
16.30	14.56	1.14	16.60	12.45	1.10	13.70	82.53
16.45	14.48	1.10	15.93	12.58	1.05	13.07	82.93
17.00	14.10	1.12	15.79	12.30	1.11	13.88	87.90
17.15	14.13	1.20	16.96	12.53	1.18	14.77	87.10
17.30	14.13	1.18	16.67	12.64	1.15	14.54	87.25

ตารางที่ 4.23 (ต่อ) ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของวงจรอัดประจุ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังตาราง จะพบว่าชุดอัดประจุที่ใช้ในโครงการมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง คือ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ช่วงเวลาที่มีแรงดันสูงจะทำให้กระแสสูงตามไปด้วย แต่ในวันที่ทดลองจะมีบางช่วงเวลาที่แดดจะอ่อนลงมากทำให้บางช่วงเวลาแรงดันที่น่าจะมากขึ้นกลับตกลง ถือเป็นอุปสรรคทางธรรมชาติ และกระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าคงที่ อยู่ในช่วง 1-3 แอมป์ ตลอดช่วงการอัดประจุ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและโวลเตจเรกกูเลชันของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโรงงาน และหากระแสของอินเวอร์เตอร์เมื่อต่อโหลดความต้านทานค่าต่าง ๆ

อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่ 12 โวลต์
2. สายไฟ
3. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
5. สโคปที่สามารถบันทึกกราฟได้
6. อินเวอร์เตอร์
7. ความต้านทานค่าต่าง ๆ

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.26 การทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 4.26 และบันทึกค่าแรงดันขณะเปิดวงจร
2. บันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุทในขณะที่ใช้ความต้านทานเป็นโหลด
3. บันทึกค่าแรงดันและคำนวณค่ากระแสด้านเอาต์พุทจากค่าที่ได้จาก สโคป ในขณะที่ใช้ค่าความต้านทานค่าเดียวกับการบันทึกค่าจากข้อ 2
4. เปลี่ยนค่าความต้านทานพร้อมทั้งบันทึกค่าตามการทดลองข้อ 2 และ 3
5. กำหนดหาประสิทธิภาพและโวลเตจเรกกูเลชันของอินเวอร์เตอร์
6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

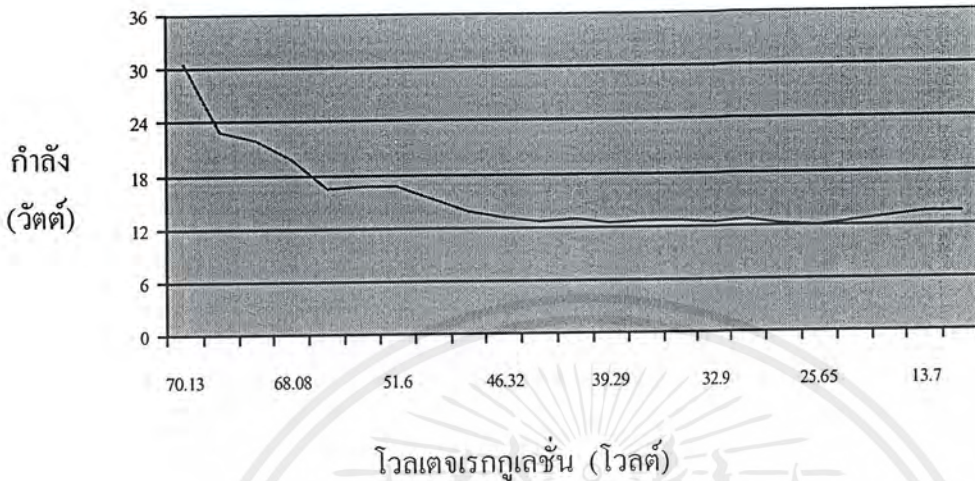
ผลการทดลอง

ลำดับ ที่	ความดัน ทาน (โอมห์)	อินพุท			เอาต์พุท			ประสิทธิ ภาพ (%)	โวลเตจเรกดู เลชั่น (%)
		แรงดัน	กระแส	กำลัง	แรงดัน	กระแส	กำลัง		
1	1	10.9	5.21	56.79	5.96	5.12	30.52	53.74	70.13
2	2	11.3	3.99	45.087	6.02	3.79	22.82	50.61	68.44
3	22	11.2	3.78	42.34	6.05	3.63	21.96	57.87	67.60
4	3	11.4	3.25	37.05	6.18	3.22	19.90	53.71	64.08
5	4.7	11.6	2.84	32.94	6.28	2.63	16.52	50.75	61.46
6	5	11.7	2.82	33.00	6.44	2.59	16.68	50.55	57.45
7	5.6	11.7	2.69	31.47	6.69	2.51	16.75	53.35	57.60
8	10	11.8	2.27	26.79	6.83	2.22	15.16	56.59	48.46
9	15	11.8	2.05	24.19	6.89	2.01	13.85	57.26	47.17
10	20	11.9	1.95	23.21	6.93	1.88	13.03	56.14	46.32
11	22	11.8	1.91	22.54	6.98	1.82	12.71	56.34	45.27
12	30	11.9	1.83	21.78	7.12	1.80	12.82	58.86	42.42
13	47	11.9	1.74	20.71	7.28	1.71	12.45	68.12	39.29
14	56	12.0	1.73	20.76	7.41	1.70	12.60	60.69	36.84
15	8	11.9	1.71	20.35	7.59	1.66	12.60	67.92	33.60
16	82	11.9	1.69	20.11	7.63	1.62	12.36	67.46	32.90
17	100	11.9	1.65	19.64	7.89	1.58	12.47	63.49	28.52
18	120	11.9	1.64	19.52	7.95	1.53	12.16	62.30	27.55
19	220	11.9	1.62	19.28	8.07	1.49	12.02	62.34	25.65
20	500	11.9	1.61	19.16	8.25	1.49	12.29	64.75	22.91
21	1k	11.9	1.59	18.92	8.77	1.48	12.98	68.61	15.62
22	5k	12.0	1.58	18.96	8.96	1.49	13.35	70.47	13.17
23	10k	12.0	1.57	18.84	9.19	1.45	13.33	70.73	10.34

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

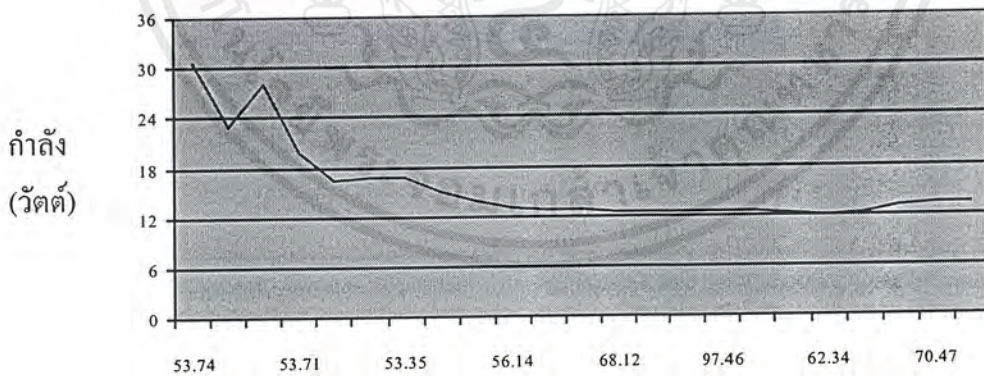
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับโวลเตจเรกกูเลชัน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังเพิ่มขึ้น โวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่ประสิทธิภาพยังไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อใส่โหลดเข้าไปจะทำให้แรงดันตกลง 5-6 โวลต์ เมื่อโหลดมีความต้านทานมากขึ้นแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะเพิ่มมากขึ้นและประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นด้วยดังกราฟต่อไปนี้



ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)

รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุตกับประสิทธิภาพ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จะมีค่าลดลงเมื่อกำลังทางด้านเอาต์พุตมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.4 หาคุณสมบัติเมื่ออินเวอร์เตอร์กับหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกัน

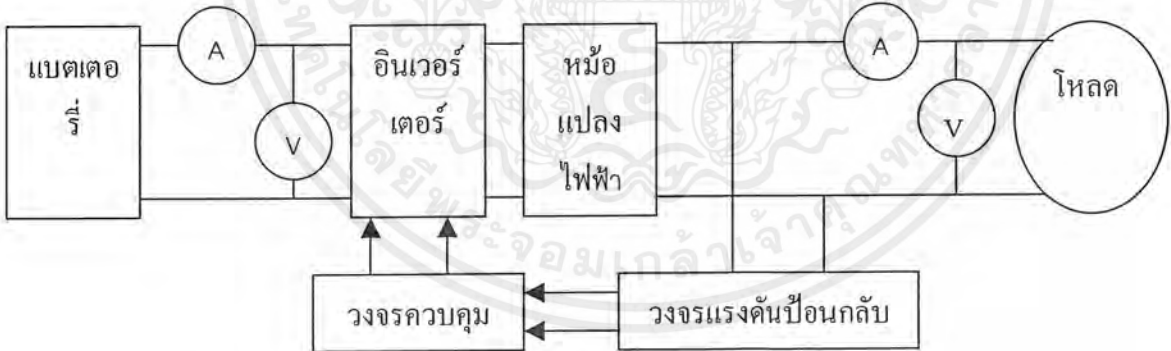
วัตถุประสงค์

เพื่อหาคุณสมบัติเมื่ออินเวอร์เตอร์กับหม้อแปลงไฟฟ้า

อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่ 12 โวลต์
2. สายไฟ
3. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. วงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรควบคุม
6. วงจรแรงดันป้อนกลับ
7. สโคปที่สามารถบันทึกกราฟได้
8. หม้อแปลงไฟฟ้า

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.29 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติเมื่ออินเวอร์เตอร์ต่อกับหม้อแปลงเพื่อจ่ายโหลด

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรทดสอบดังรูปที่ 4.29
2. วัดค่าแรงดันเปิดวงจรด้านเอาต์พุตโดยอ่านค่าจาก สโคป
3. นำโหลดมาต่อ
4. อ่านค่าจากมิเตอร์และบันทึกผลของแรงดันและกระแสด้านอินพุตจาก โวลต์มิเตอร์ และแอมป์มิเตอร์ ส่วนค่าแรงดันด้านเอาต์พุตอ่านจากสโคป และกระแสอ่านจากมิเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปลี่ยนค่าโหลดต่างๆ
6. หาประสิทธิภาพและโหลดเครื่องกวน
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

-เมื่อ โหลดเป็นหลอดเผาไส้

โหลด (วัตต์)	อินพุท			เอาต์พุท			ประสิทธิ ภาพ (%)	โหลดเครื่อง กวน (%)
	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)		
No-load	12.43	2.85	35.43	225	-	-	-	-
25	12.33	4.3	53.02	163.4	0.18	29.412	55.47	37.70
60	12.25	5.5	67.38	96.34	0.23	22.16	32.82	57.18
85	12.14	6.1	74.06	66.13	0.26	17.20	23.22	70.61
100	12.19	6.8	82.89	56.64	0.28	15.83	19.10	74.87

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้โหลดชนิดหลอดเผาไส้

-เมื่อ โหลดเป็นหลอดตะเกียบ

โหลด (วัตต์)	อินพุท			เอาต์พุท			ประสิทธิ ภาพ (%)	โหลดเครื่อง กวน (%)
	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)		
No-load	12.43	2.85	35.43	225	-	-	-	-
11	12.24	4.1	50.18	206.8	0.11	22.75	45.33	8.8
15	12.24	4.3	52.63	201.7	0.17	34.29	65.75	11.55
22	12.23	4.7	57.48	176.0	0.20	35.20	61.24	27.84
26	12.21	5.0	61.35	166.4	0.21	34.94	57.19	35.22
37	12.23	4.8	58.70	143.1	0.24	34.34	58.51	57.23

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้โหลดชนิดหลอดตะเกียบ, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

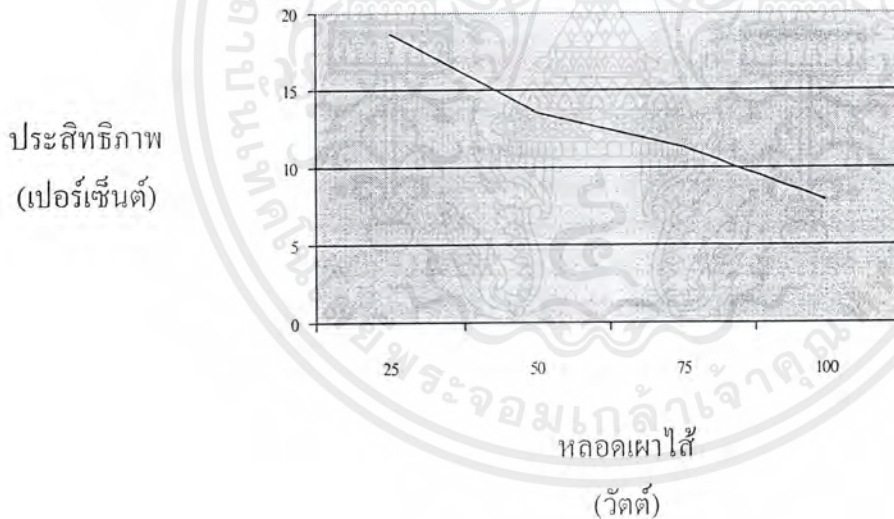
-เมื่อโหลดเป็นหลอดสปอร์ตไลท์

โหลด (วัตต์)	อินพุท			เอาต์พุท			ประสิทธิ ภาพ (%)	โวลเตจ เรกกูเลชัน (%)
	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)		
No-load	12.43	2.85	35.43	225	-	-	-	-
60	12.25	5.0	61.25	90.15	0.24	21.64	35.33	59.93

ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้โหลดเป็นสปอร์ตไลท์

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

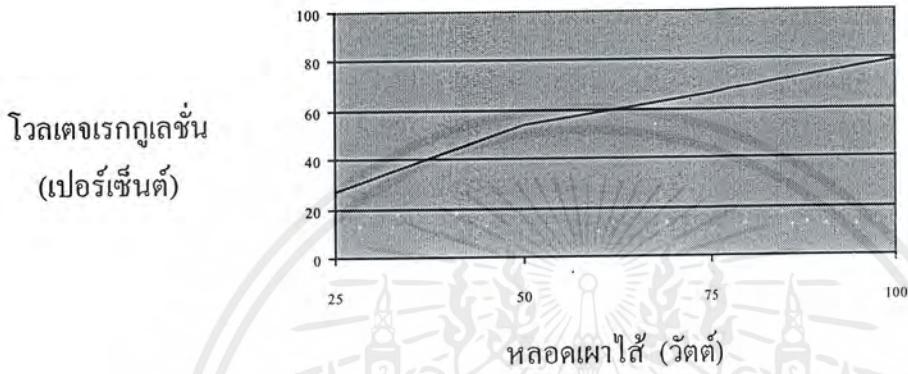
จากตารางที่ 4.25 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกับประสิทธิภาพได้ดังนี้



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดหลอดไฟและประสิทธิภาพ

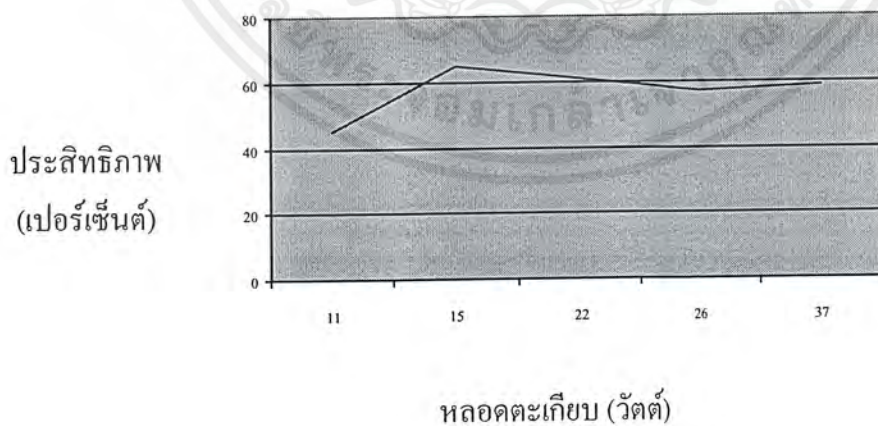
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.25 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกับโวลเตจเรกกูเลชันดังนี้



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างโวลเตจเรกกูเลชันและโหลดหลอดเผาไส้

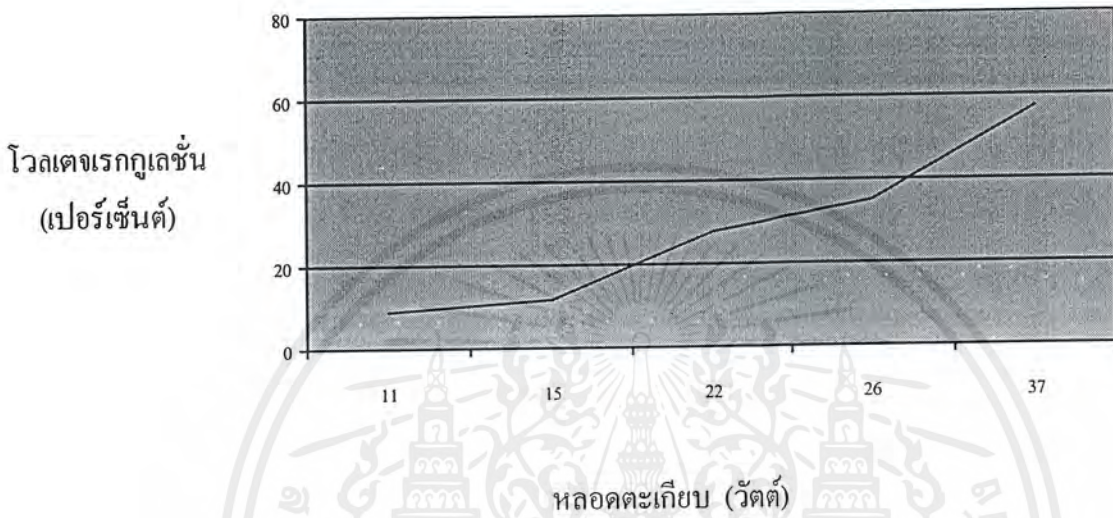
จากตารางที่ 4.26 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกับประสิทธิภาพได้ดังนี้



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับโหลดหลอดตะเกียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากตารางที่ 4.26 สามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง โวลเตจเรกกูเลชันกับ โหลดหาคัด
ตะเกียบได้ดังนี้



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง โวลเตจเรกกูเลชันกับโหลดตะเกียบ

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในโหลดชนิดเผาไส้เมื่อ โหลดมีค่าเพิ่มขึ้น ค่ากำลังเอาต์พุตจะมีค่าลดลงและประสิทธิภาพ
ซึ่งจะมีค่าลดลงมากในช่วงที่โหลดเพิ่มจาก 25 วัตต์ เป็น 60 วัตต์ และนอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่า
เปอร์เซ็นต์โวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วยเมื่อ โหลดเพิ่มขึ้น

ในโหลดชนิดหลอดตะเกียบเมื่อ โหลดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเล็กน้อย
โดยจะเพิ่มขึ้นในช่วงเพิ่มโหลดจาก 11 วัตต์เป็น 22 วัตต์ ทั้งนี้เพราะหลอดแต่ละหลอดมีค่าความ
ต้านทานไม่เท่ากันและมีวงจร PI CONTROL เข้ามาช่วยควบคุมการขยายตัวของสัญญาณ SPWM
นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์โวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าสูงสุดในช่วง
โหลดขนาด 37 วัตต์

กราฟค่าแรงดันเอาต์พุตในแต่ละค่าของการใช้หลอดเผาไส้และหลอดตะเกียบในการ
ทดลองนั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก

การทดลองที่ 4.5 การทดลองหาคุณสมบัติรวมของระบบ

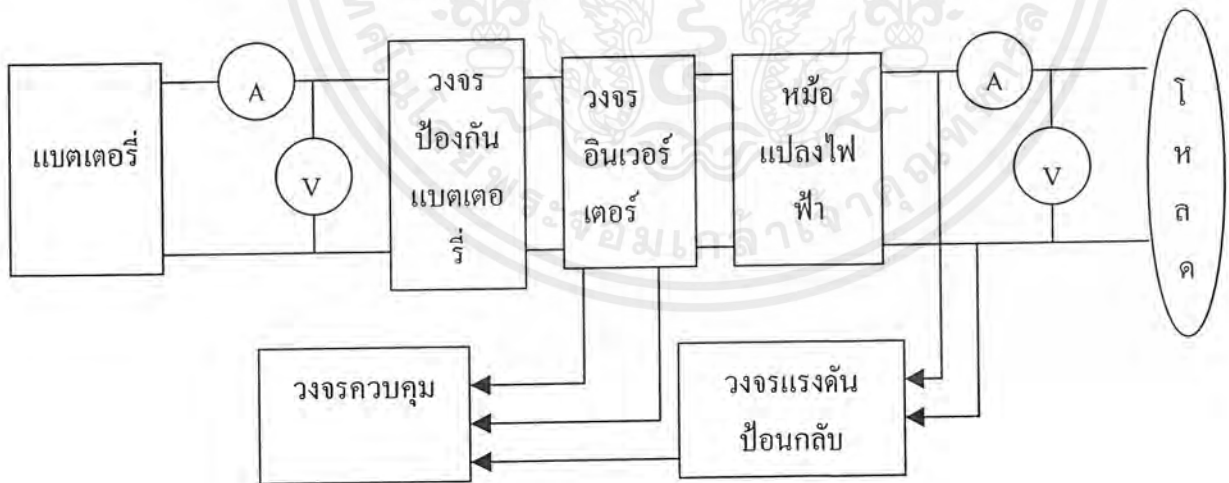
วัตถุประสงค์

เพื่อหาคุณสมบัติของระบบและสัญญาณจากเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากระบบรวม

อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่ 12 โวลต์
2. สายไฟ
3. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์
6. วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์
7. สโคปที่สามารถบันทึกกราฟได้
8. หม้อแปลงไฟฟ้า
9. วงจรแรงดันป้อนกลับ
10. วงจรป้องกันแบตเตอรี่

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.34 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติรวมของระบบ

วิธีการทดลอง

1. ต่อยังวงจรดังรูปที่ 4.34
2. ทำการวัดค่าแรงดันเปิดวงจรด้านอินพุตและเอาต์พุตโดยอ่านค่าจากมิเตอร์และทำการบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ต่อโหลดเข้าไปในวงจร
4. อ่านค่าแรงดันและกระแสเมื่อต่อโหลดเข้าไป และดูสัญญาณที่เอาท์พุทด้วย สโคป
5. เปลี่ยนโหลดค่าอื่น ๆ และทำตามข้อ 4
6. หาประสิทธิภาพของระบบ
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

-เมื่อใช้หลอดเผาไส้เป็นโหลด

ค่าโหลด (วัตต์)	อินพุท			เอาท์พุท			ประสิทธิภาพ(%)	โวลเตจเรกกูเลชั่น(%)
	แรงดัน	กระแส	กำลัง	แรงดัน	กระแส	กำลัง		
No-load	12.34	1.84	22.71	223.6	-	-	-	-
25	12.29	3.5	43.02	139.4	0.05	6.97	16.2	37.66
50	12.11	7.46	90.34	143.8	0.3	43.14	47.75	35.69
75	12.10	7.71	93.29	5.43	0.31	1.68	1.8	97.57
100	12.10	7.91	95.71	5.21	0.3	1.56	1.63	97.67

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อใช้หลอดเผาไส้เป็นโหลด

-เมื่อใช้หลอดตะเกียบเป็นโหลด

ค่าโหลด (วัตต์)	อินพุท			เอาท์พุท			ประสิทธิภาพ(%)	โวลเตจเรกกูเลชั่น(%)
	แรงดัน	กระแส	กำลัง	แรงดัน	กระแส	กำลัง		
No-load	12.34	1.84	22.71	223.6	-	-	-	-
11	12.30	3.5	43.1	156.6	0.11	17.23	39.98	42.78
15	12.27	3.8	46.63	149.7	0.15	22.46	48.17	49.37
22	12.27	3.9	47.85	152.9	0.18	27.52	57.51	46.24
26	12.25	4.3	52.68	151.8	0.21	31.88	60.51	47.30
37	12.24	4.3	52.63	150.2	0.23	34.55	65.65	48.87

ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองหาคุณสมบัติรวมของระบบรวมเมื่อใช้หลอดตะเกียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เมื่อโหลดเป็นโหลดสปอร์ตไลท์

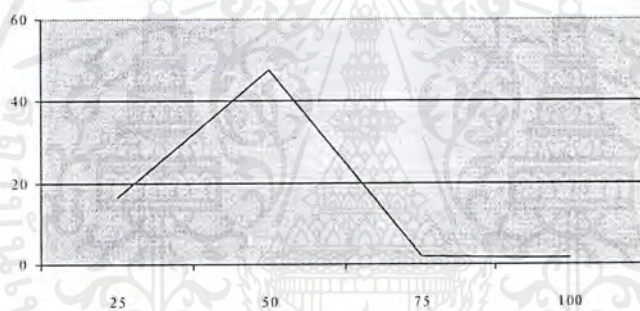
โหลด (วัตต์)	อินพุต			เอาต์พุต			ประสิทธิ ภาพ (%)	โวลเตจ เรกกูเลชัน (%)
	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)		
No-load	12.34	1.84	22.71	223.6	-	-	-	-
60	12.27	4.3	52.76	69.43	0.25	17.36	32.90	66.95

ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อใช้โหลดเป็นสปอร์ตไลท์

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.28 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของโหลดกับประสิทธิภาพได้ดังนี้

ประสิทธิภาพ
(เปอร์เซ็นต์)

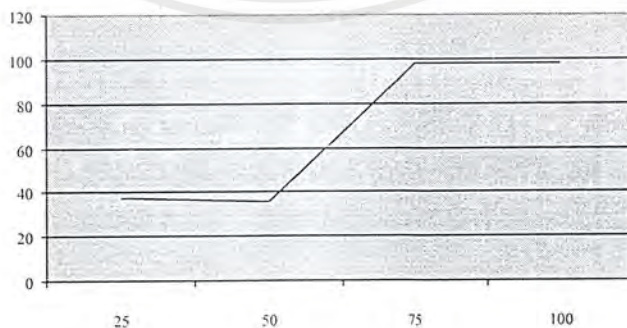


โหลดเผาไส้ (วัตต์)

รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและโหลดเผาไส้

จากตารางที่ 4.28 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโวลเตจเรกกูเลชันและโหลดดังนี้

โวลเตจเรกกูเลชัน
(เปอร์เซ็นต์)

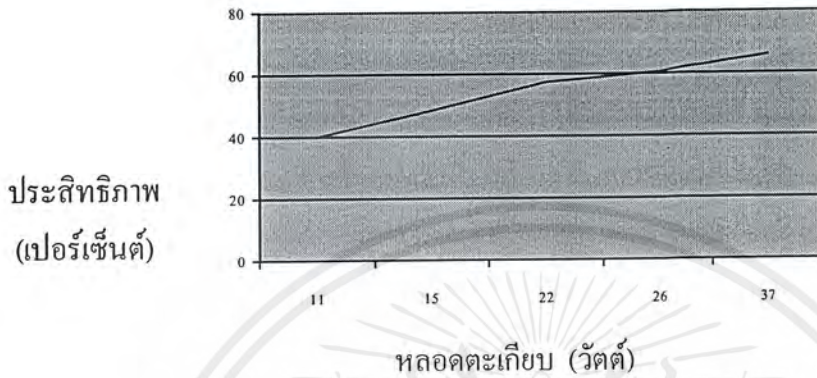


โหลดเผาไส้ (วัตต์)

รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างโวลเตจเรกกูเลชันและโหลดเผาไส้

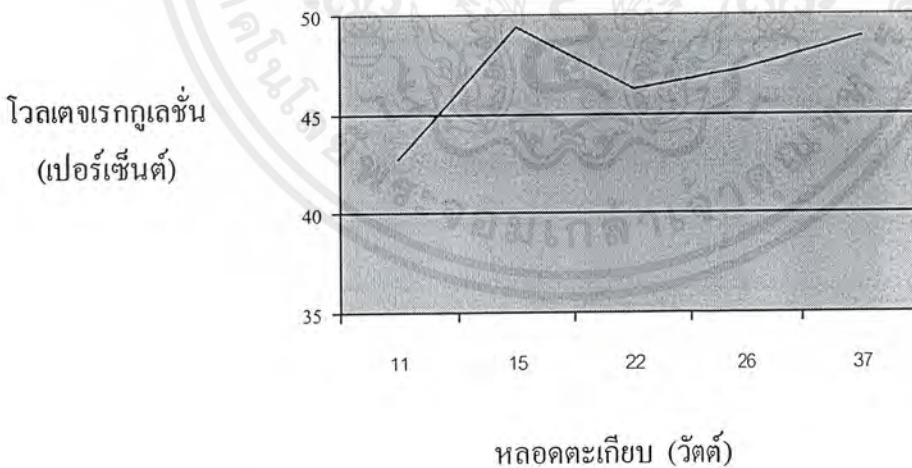
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.29 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับโหลดตลอด
ตะเกียบดังนี้



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและโหลดตลอดตะเกียบ

จากตารางที่ 4.29 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโวลเตจเรกกูเลชันและโหลดได้ดัง
นี้



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างโวลเตจเรกกูเลชันและโหลดตลอดตะเกียบ

ในโหลดชนิดโหลดเฉาใส่ เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพและกำลังเอาต์พุตจะมีค่าลด
ลง โดยจะมีค่าลดลงมากที่สุดในช่วงการเปลี่ยนจากโหลด 25 วัตต์เป็น 60 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ค่าโวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นมากที่สุดในช่วงการเปลี่ยนจากโหลด 25 วัตต์ เป็น 60 วัตต์ และจะสังเกตเห็นว่า โวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่ต่อวงจร Low Voltage Cut-Off device เพราะวงจรดังกล่าวช่วยให้แรงดันมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่เราตั้งไว้ ในขณะที่ไม่ต่อวงจรดังกล่าวนี้ ถ้าแรงดันต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ แบตเตอรี่ก็จะจ่ายไฟเรื่อยๆ ทำให้โวลเตจต่ำลง ส่งผลให้โวลเตจเรกกูเลชันเพิ่มขึ้น

ในโหลดชนิดโหลดตะเกียบ เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพราะวงจรแรงดันป้อนกลับ ยังสามารถช่วยขยายสัญญาณ SPWM ได้อยู่ โดยจะเพิ่มมากในช่วงโหลดเปลี่ยนจาก 11 วัตต์ เป็น 22 วัตต์ ส่วนค่าโวลเตจเรกกูเลชัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น

ซึ่งจากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ในช่วงที่ประสิทธิภาพมีค่าลดลงมากที่สุดนั้น ค่าโวลเตจเรกกูเลชันจะมีค่าเพิ่มมากที่สุด

กราฟค่าแรงดันเอาต์พุตในแต่ละค่าของการใช้โหลดเผาไส้และโหลดตะเกียบในการทดลองนั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก

การทดลองที่ 4.6 การทดลองหาคุณสมบัติของระบบรวมเมื่อทำการจ่ายโหลดเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

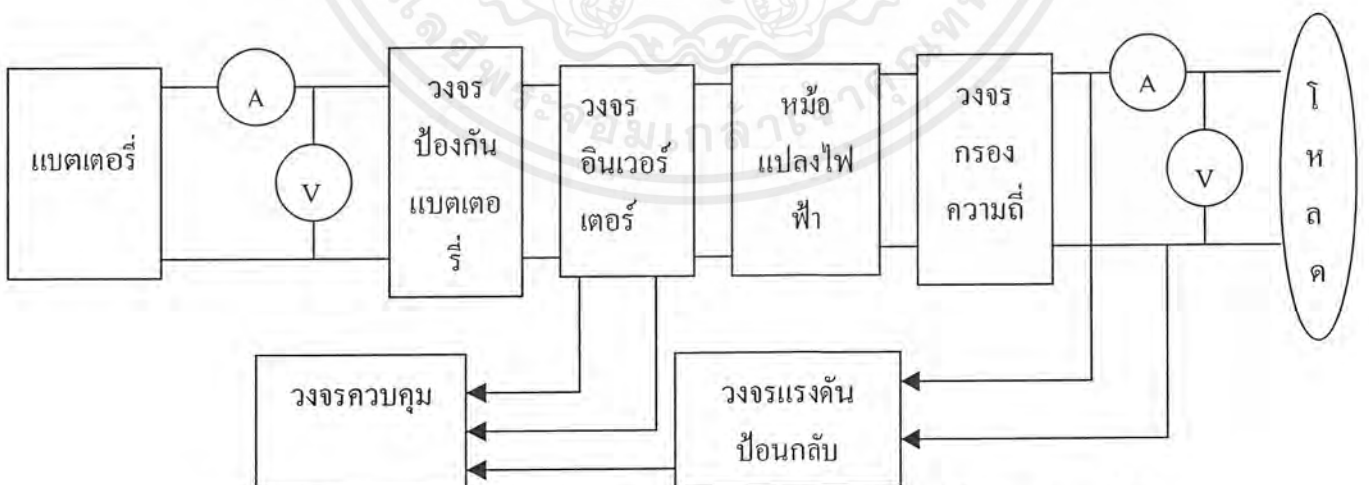
วัตถุประสงค์

เพื่อหาคุณสมบัติของระบบรวม เมื่อทำการจ่ายโหลดนาน 10 ชั่วโมง

อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่ 12 โวลต์
2. สายไฟ
3. วงจรป้องกันแบตเตอรี่
4. วงจรอินเวอร์เตอร์
5. หม้อแปลง
6. วงจรกรองความถี่
7. วงจรแรงดันป้อนกลับ
8. แอมป์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
9. โวลต์มิเตอร์ไฟกระแสตรง
10. สโคปที่สามารถบันทึกกราฟได้
11. หลอดเผาไส้ 25 วัตต์ 2 หลอด

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.39 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติรวมของระบบเมื่อจ่ายโหลดเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้หลอดเผาไส้ขนาด 25 วัตต์ 2 หลอดเป็นโหลด
3. อ่านค่ากระแสและแรงดันที่อินพุทและเอาต์พุทด้วยแอมป์มิเตอร์และ โวลต์มิเตอร์ตามรูป และบันทึกกราฟโดยใช้สโคปที่ทางด้านเอาต์พุท
4. ทำการบันทึกค่าดังข้อ 3 ทุก ๆ 1 ชั่วโมง
5. คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบและกระแสไฟที่ไหลในวงจทางด้านไฟสลับ

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

$$I = V / R$$

6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

ชั่วโมง ที่	อินพุท			เอาต์พุท			ประสิทธิภาพ (%)
	แรงดัน	กระแส	กำลัง	แรงดัน	กระแส	กำลัง	
0	12.24	6.5	79.56	151.6	0.21	31.84	40.02
1	12.12	6.4	77.57	143.5	0.21	30.14	38.86
2	12.08	6.4	77.31	148.7	0.20	29.74	38.47
3	12.02	6.3	7.73	148.3	0.19	28.18	37.21
4	11.93	6.0	71.58	146.7	0.20	29.34	40.99
5	11.78	5.8	68.32	137.9	0.18	24.82	36.33
6	11.71	5.72	66.98	134.7	0.16	21.55	32.17
7	11.66	5.70	66.46	133.1	0.17	22.63	34.05
8	11.61	5.62	65.25	132.8	0.17	22.58	34.61
9	11.56	5.59	64.62	125.3	0.15	18.80	29.09
10	11.55	5.58	64.45	120.8	0.14	16.91	26.24

ตารางที่ 4.31 แสดงผลการทดลองเมื่อระบบรวมทำการจ่ายโหลดนาน 10 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะพบว่าระบบสามารถจ่ายโหลดขนาด 50 วัตต์ ได้นาน 10 ชั่วโมงตาม วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้จริง และประสิทธิภาพของระบบรวมจะอยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ โดยจะมี ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 40.99 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงแรกนั้นแบตเตอรี่ยังมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูง และ ทางด้านเอาต์พุต ยังมีค่ามากที่สุดกว่าในทุก ๆ ช่วงของการทดลองด้วย ดังนั้นจึงทำให้มีค่าประสิทธิภาพ สูงที่สุด และเมื่อจ่ายโหลดไปนาน ค่าแรงดันด้านเอาต์พุต จะลดลงเรื่อย ๆ เพราะแรงดันของ แบตเตอรี่มีค่าลดลงทำให้ประสิทธิภาพของระบบรวมมีค่าลดลงด้วย

กราฟผลการทดลองสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดสอบหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบจ่ายไฟ

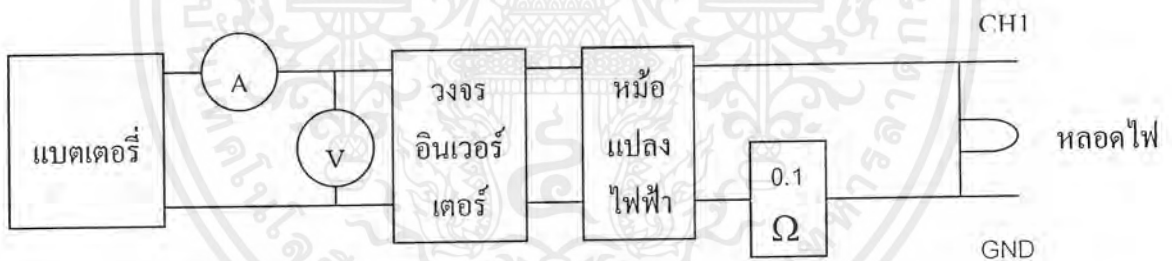
วัตถุประสงค์

เพื่อหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดหลอดไฟที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่ 12 โวลต์
2. วงจรอินเวอร์เตอร์
3. ความต้านทานขนาด 0.1 โอห์ม
4. สโคป
5. แอมป์มิเตอร์
6. โวลต์มิเตอร์
7. สายไฟ
8. หลอดไฟ

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.40 วงจรการทดลองหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบจ่ายไฟ

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.40
2. วัดค่า ดิสเพลสเมนต์ แฟกเตอร์ (Displacement Factor)
3. ใช้ สโคป วัดขนาดฮาร์โมนิก
4. คำนวณหา ดิสตอร์ชัน แฟกเตอร์ (Distortion Factor)
5. คำนวณหาเพาเวอร์แฟกเตอร์จาก

$$p.f. = \text{displacement factor} * \text{distortion factor}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จากการวัดด้วย Displacement Factor Meter ได้ค่า = 1.00

ความถี่ (กิโลเฮิร์ต)	ΔP (dB)
0.5	-40.6
10.5	-50.6
21	-32.1
30.5	-28.2
40	-23.5
51	-14.8
61	-28.6
71	-21.2
81.5	-24.2
90.5	-8.8
102	-23.8
112	-22.6
122.5	-16.0
130.5	-9.22

ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองหาค่าฮาร์โมนิกส์ของระบบรวม
จากการคำนวณจะได้ค่าคิสเตอร์ชั้น แฟลคเตอร์ = 0.62 ได้จากสูตรต่อไปนี้

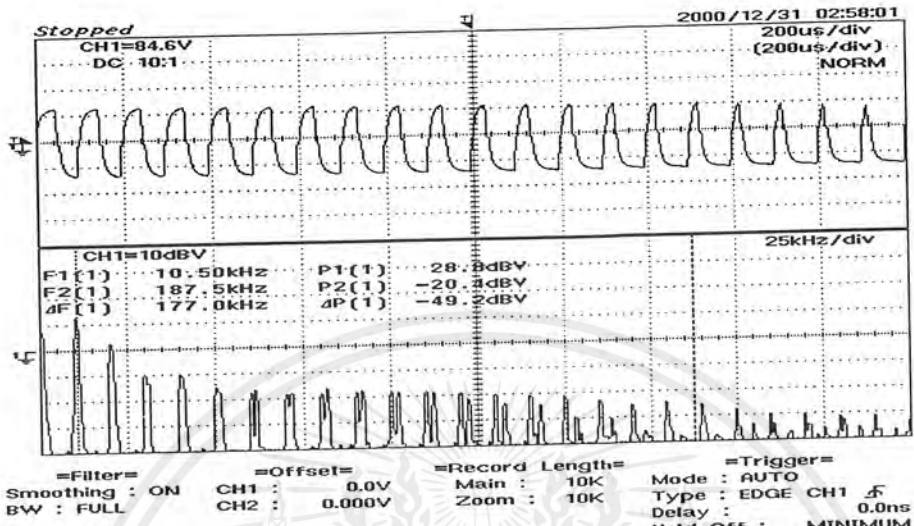
$$dBV = 20 \log V$$

$$\%THD = \sqrt{\sum_{n=2} V_n^2} / V_1$$

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหา เพาเวอร์ แฟลคเตอร์ ของระบบจ่ายไฟ เหตุที่ต้องใช้การคำนวณแบบนี้ เนื่องจากสัญญาณ เอาท์พุท ของระบบมีลักษณะไม่เป็นสัญญาณไซน์ ทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้น ดังนั้นจึงต้องหา คิสเตอร์ชั้น แฟลคเตอร์ ซึ่งการทดลองนี้ได้ค่า %THD = 0.62 และจากสูตรในวิธีการทดลองข้อ 5 ถ้าค่า คิสเพลสเมนต์ แฟลคเตอร์ = 1 ดังนั้นค่าเพาเวอร์แฟลคเตอร์จะเท่ากับ 0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 แสดงสัญญาณฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น

กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกซ์ของระบบสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก

4.8 การทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณ SPWM

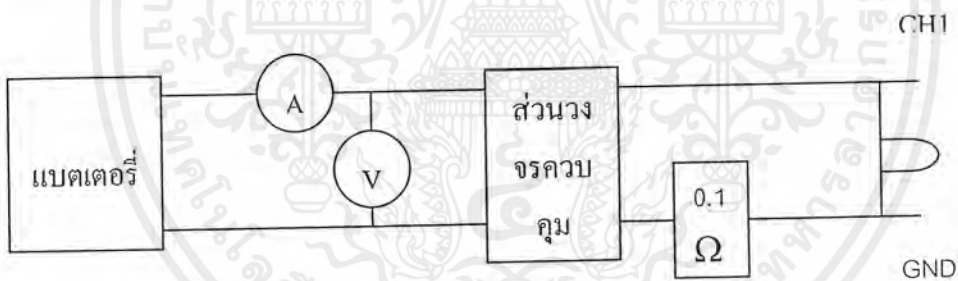
วัตถุประสงค์

เพื่อหาฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณ SPWM ที่ส่วนของวงจรควบคุม

อุปกรณ์การทดลอง

1. แบตเตอรี่ 12 โวลต์
2. ส่วนของวงจรควบคุมของอินเวอร์เตอร์
3. สายไฟ
4. สโคป
5. แอมป์มิเตอร์
6. โวลต์มิเตอร์
7. ความต้านทาน 0.1 โอห์ม

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.42 วงจรการทดลองหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ของส่วนวงจรควบคุม

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.42
2. วัดค่า ดิสเพลสเมนต์ แฟกเตอร์ (Displacement Factor)
3. ใช้ สโคป วัดขนาดฮาร์โมนิก
4. คำนวณหา ดิสตอร์ชัน แฟกเตอร์ (Distortion Factor)
5. คำนวณหาเพาเวอร์แฟกเตอร์จาก

$$\text{p.f.} = \text{displacement factor} * \text{distortion factor}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ความถี่ (กิโลเฮิรต์)	ΔP (dB)
0.5	-45.2
10	-43.6
20	-28.1
30	-19.9
40	-27.9
50	-25.5
59.5	-17.9
70	-24.9
79.5	-11.7
89.5	-16.0
99	-10.0
109.5	-18.5
119.5	-20.2
130	-23.0
139	-5.9

ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณ SPWM

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนของวงจรควบคุมจะมีส่วนสร้างสัญญาณ SPWM ในการควบคุม จึงได้หาฮาร์โมนิกส์ที่ส่วนของ SPWM ซึ่งได้คำนวณค่าของ %THD = 0.0487 ซึ่งสัญญาณมีฮาร์โมนิกส์สามารถดูได้จากผลการทดลองที่ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การทดลองหาคุณสมบัติของหม้อแปลง

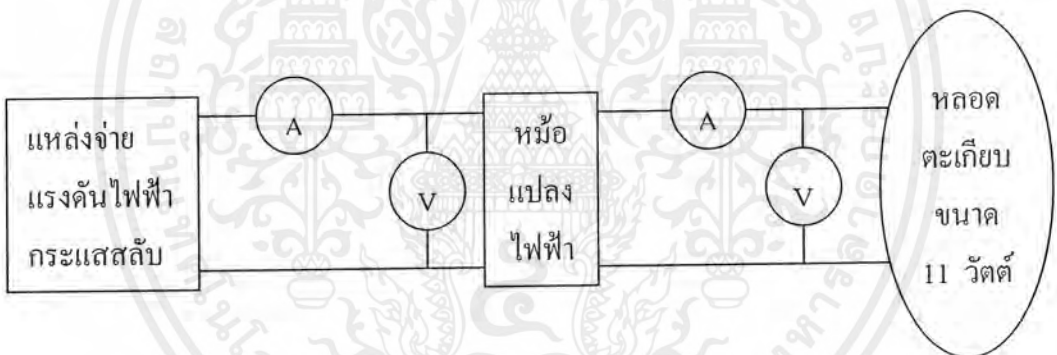
วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับและดูประสิทธิภาพของหม้อแปลงว่าสามารถจ่ายโหลดได้สูงสุดที่พิกัดเท่าไร

อุปกรณ์การทดลอง

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส (Variac)
2. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
3. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
4. หลอดตะเกียบขนาด 11 วัตต์

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.43 การทดลองหาคุณสมบัติของหม้อแปลง

วิธีการทดลอง

1. ต่อดวงจรรูปที่ 4.43
2. ปรับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่ 2 โวลต์พร้อมกับวัดค่าแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตแล้วบันทึกค่า
3. วัดค่าแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุต
4. ปรับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ไปเรื่อยๆ จนถึง 12 โวลต์
5. ทำตามข้อ 2 และ 3
6. กำหนดหาประสิทธิภาพและ โวลต์เดจเรกยูเลชัน
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ครั้งที่	อินพุท			เอาต์พุท			ประสิทธิภาพ(%)	โวลเตจเรกกูเลชั่น(%)
	แรงดัน	กระแส	กำลัง	แรงดัน	กระแส	กำลัง		
1	2.712	0.3	0.814	49	0.02	0.98	120	77.73
2	3.170	0.3	0.951	58	0.02	1.16	122	73.64
3	3.454	0.3	1.036	63	0.02	1.26	122	71.36
4	4.04	0.4	1.616	74	0.02	1.48	91.6	66.36
5	5.07	0.5	2.535	93	0.02	1.86	73.37	57.73
6	5.27	0.5	2.635	95	0.02	1.90	72.11	56.82
7	5.87	0.9	5.283	111	0.03	3.33	63.03	49.54
8	6.24	0.9	5.616	116	0.04	4.64	82.62	47.27
9	6.94	1.0	6.940	125	0.04	5	72.05	43.18
10	7.13	1.1	7.843	132	0.04	5.28	67.32	40.00
11	7.87	1.2	9.444	146	0.05	7.3	77.3	33.63
12	8.02	1.2	9.624	149	0.06	8.94	92.89	32.27
13	8.20	1.2	9.84	153	0.06	9.18	93.29	30.45
14	8.62	1.3	11.21	160	0.06	9	80.29	27.27
15	8.86	1.3	11.52	165	0.06	9.9	85.94	25.00
16	9.27	1.3	12.05	172	0.06	10.32	85.64	21.82
17	9.96	1.4	13.94	185	0.06	11.1	79.63	15.91
18	10.31	1.4	14.43	192	0.06	11.52	79.83	12.73
19	10.76	1.5	16.14	201	0.06	12.06	74.72	8.63
20	11.12	1.6	17.79	208	0.06	12.48	70.15	5.45
21	11.61	1.7	19.74	216	0.07	15.12	76.46	1.82
22	12.10	1.8	21.78	220	0.07	15.4	70.70	0

ตารางที่ 4.34 แสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไม่คงที่ เพราะในช่วงแรกแรงดันตรงขาเข้าหม้อแปลงไม่อยู่ในช่วงพิกัดของหม้อแปลงแต่ถึงช่วงทำการทดลองแรงดันขาเข้าหม้อแปลงจะเริ่มใกล้เคียงกับพิกัดของหม้อแปลง แต่เอาที่พิกัดของหม้อแปลงที่จะนำไปใช้ในโครงการนี้นั้น คือ 220 โวลต์ จะได้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงคือ 70.70 เปอร์เซ็นต์จะมีอยู่ช่วงหนึ่งที่หม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อจ่ายโหลด ขนาด 11 วัตต์ แล้วตกลงมาถึงพิกัดที่จะนำไปใช้งานที่ 220 โวลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 การทดลองใช้ระบบควบคุมแรงดันป้อนกลับ (PI CONTROL)

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการเปรียบเทียบการใช้ระบบควบคุมแรงดันป้อนกลับกับการที่ไม่มีระบบควบคุมแรงดันป้อนกลับ

อุปกรณ์การทดลอง

1. วงจรรวมทั้งหมดของระบบ
2. หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 /9 โวลต์
3. สโคปดิจิตอล
4. มัลติมิเตอร์
5. วงจรควบคุมแรงดันป้อนกลับ

วิธีการทดลอง

1. ป้อนไฟกระแสตรง เข้าอินเวอร์เตอร์ โดยทำการทดลองไม่ใส่ระบบควบคุมป้อนกลับ บันทึกค่าแรงดัน เอาท์พุท ที่ได้โดยการเพิ่ม โหลดขึ้นเรื่อย ๆ
2. ทำซ้ำตามข้อ 1 แต่ใส่ระบบควบคุมแรงดันป้อนกลับเข้าไป
3. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

ลำดับ ที่	ความ ต้านทาน (โอห์ม)	กรณีไม่มีระบบควบคุมป้อนกลับ				กรณีมีระบบควบคุมป้อนกลับ			
		แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	โวลเตจ เรกกู เลชั่น	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	โวลเตจ เรกกู เลชั่น
0	No-Load	224.9	-	-	-	-	-	-	-
1	106	25.04	0.20	5	88.87	28.42	0.26	7.39	87.36
2	220	47.1	0.18	8.48	79.06	51.8	0.23	11.91	76.96
3	320	48.3	0.17	8.21	78.52	52.2	0.22	11.48	76.78
4	440	78.9	0.13	10.26	64.92	80.3	0.16	12.85	64.29
5	500	85.2	0.12	10.22	62.12	88.6	0.15	13.29	60.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ที่	ความ ต้านทาน (โอห์ม)	กรณีไม่มีระบบควบคุมป้อนกลับ				กรณีมีระบบควบคุมป้อนกลับ			
		แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	โวลเตจ เรกกู เลชั่น	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	โวลเตจ เรกกูเล ชั่น
6	620	91.6	0.10	9.16	59.27	94.6	0.12	11.35	57.93
7	720	102.2	0.09	9.20	54.56	105	0.11	11.55	51.62
8	820	103.1	0.08	8.25	54.16	108.8	0.10	10.88	51.62
9	920	109.5	0.06	6.57	51.31	111.2	0.09	10	50.55
10	1k	119.4	0.05	5.97	46.91	121.6	0.07	8.51	45.93

ตารางที่ 4. 35 ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระบบเมื่อมีและไม่มี PI คอนโทรล

หมายเหตุ

คำนวณ % Voltage Regulation จาก

$$V_{reg} = (V_{NL} - V_{FL}) / V_{FL}$$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลอง จะเห็นได้ว่า ระบบเมื่อมีระบบควบคุมป้อนกลับ จะมีเสถียรภาพดีขึ้น แรงดันทางด้านเอาต์พุตก็ดีขึ้น และ โวลเตจเรกกูเลชั่นก็จะมีค่าลดลงด้วยส่งผลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อต่อวงจร PI คอนโทรลเข้าไป อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองนี้จะสังเกตได้ว่า ระบบควบคุมป้อนกลับนี้จะสามารถช่วยฟีดแบคระบบรวมและช่วยขยายแอมพลิจูดสัญญาณไซน์ อยู่ในช่วงค่าหนึ่ง ถ้าเลขจุด ๆ นั้น ไป แล้วนำโพลด์ที่มีค่ามากกว่าเดิมมาต่ออีกวงจรควบคุมป้อนกลับจะไม่สามารถขยายแอมพลิจูดสัญญาณไซน์ ส่งผลให้ค่าโวลเตจเรกกูเลชั่นมากขึ้นและวงจรนี้มีพิกัดถึงค่าความต้านทาน 1000 โอห์ม เท่านั้น ถ้าความต้านทานเกินจากนี้จะไม่สามารถ ฟีดแบค ได้ และเมื่อความต้านทานมากขึ้น แรงดันทางด้านเอาต์พุตก็จะมากขึ้นด้วย

กราฟแสดงสัญญาณสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก

การทดลองที่ 4.11 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้วงจรรองความถี่ และไม่ใช่วงจรรองความถี่

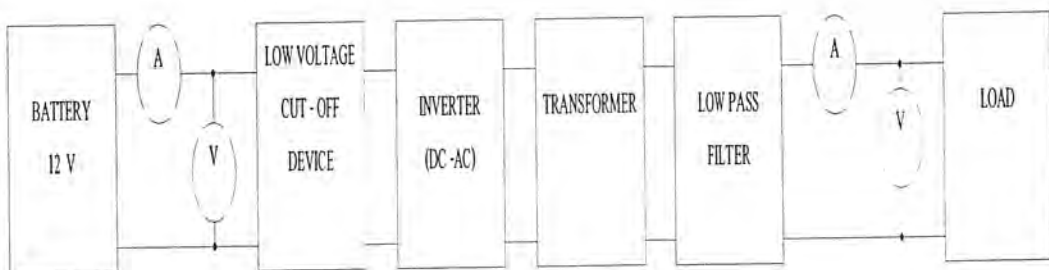
วัตถุประสงค์

เพื่อต้องการเปรียบเทียบผลของการใช้วงจรรองความถี่ต่ำผ่านและไม่ใช่วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน

อุปกรณ์การทดลอง

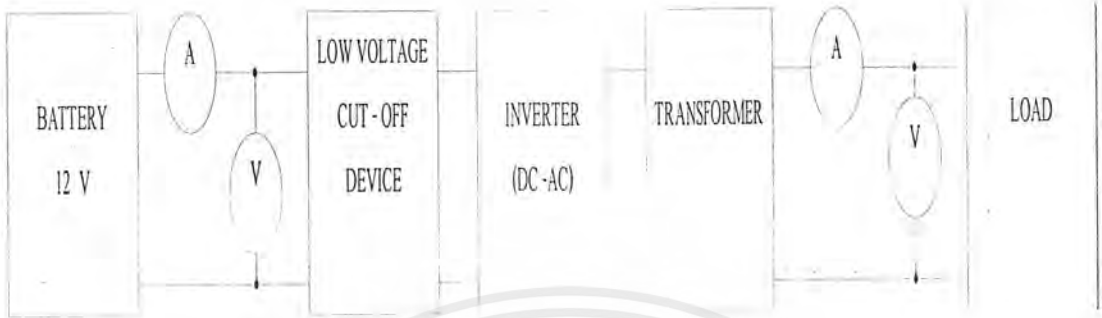
1. แบตเตอรี่ 12 V 100 AH
2. สายไฟ
3. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. แอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
6. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
7. ชุดวงจรป้องกันแบตเตอรี่
8. ชุดวงจรอินเวอร์เตอร์
9. หม้อแปลงไฟฟ้า 12/220 V
10. วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน
11. เครื่องสโคปดิจิตอล
12. หลอดเผาไส้ขนาด 25 วัตต์ จำนวน 1 หลอด , ขนาด 60 วัตต์ จำนวน 1 หลอด, ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
12. หลอดตะเกียบขนาด 11 วัตต์ จำนวน 2 หลอด, ขนาด 15 วัตต์ จำนวน 1 หลอด,

รูปการทดลอง



รูปที่ 4.44 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของระบบเมื่อไม่ใช้วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน

วิธีการทดลอง

1. ต่อดังรูปตามรูปที่ 4.44
2. ทำการวัดค่าแรงดันเปิดวงจรด้านเอาต์พุทโดยอ่านค่าจากโวลต์มิเตอร์
3. ใช้หลอดเผาไส้ขนาด 25 วัตต์เป็นโหลด
4. ทำการอ่านและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุทจากโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ ส่วนค่าแรงดันและกระแสด้านเอาต์พุทอ่านค่าจากโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.44
5. บันทึกกราฟผลการทดลองโดยใช้เครื่องสโคปดิจิตอล
6. เปลี่ยนจากโหลด 25 วัตต์ มาเป็น 60 วัตต์ และ 100 วัตต์ แล้วทำการบันทึกค่าตามข้อ 4 และข้อ 5
7. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนจากหลอดเผาไส้เป็นหลอดตะเกียบและทำการทดลองข้อ 4 และข้อ 5 ซึ่งจะทำการทดลองที่ 11 , 15 , 22 , 26 และ 37 วัตต์
8. ทำการทดลองซ้ำแบบเดิมโดยต่อดังรูปตามรูปที่ 4.45
9. หาประสิทธิภาพและโวลเตจเรกกูเลชัน
10. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ผลการทดลองเมื่อใช้โหลดเผาไส้เป็นโหลด

โหลด (W)	INPUT			OUTPUT			Efficiency (%)	Voltage regulation
	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)		
No-Load	12.38	4.5	55.71	218.8	-	-	-	-
25	12.26	3.0	78.91	162	0.13	21.06	57.26	35.06
60	12.18	4.3	63.13	83.57	0.17	14.21	26.93	61.81
85	12.14	5.2	52.76	52.30	0.21	10.98	17.39	76.10
100	12.14	6.5	36.78	42.12	0.25	10.53	13.47	80.75

ตารางที่ 4.36 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

โหลด (W)	INPUT			OUTPUT			Efficiency (%)	Voltage regulation
	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)		
No-Load	12.34	1.84	22.71	223.6	-	-	-	-
25	12.30	3.8	46.74	178.4	0.19	33.90	72.52	25.34
60	12.29	4.5	55.31	126.25	0.22	27.78	50.23	39.79
85	12.21	6.4	78.14	98.77	0.25	24.69	31.60	32.00
100	12.24	7.9	96.70	76.98	0.27	20.78	21.49	27.92

ตารางที่ 4.37 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อไม่ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองเมื่อใช้โหลดคะแนนเป็น โหลด

โหลด (W)	INPUT			OUTPUT			Efficiency (%)	Voltage regulation
	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)		
No-Load	12.38	4.5	55.71	218.8	-	-	-	-
11	12.36	3.7	45.73	201.3	0.12	24.16	52.83	8.69
15	12.29	3.9	47.93	198.5	0.14	27.79	57.98	18.23
22	12.28	4.3	52.80	173.3	0.19	32.93	62.37	26.26
26	12.24	4.5	55.08	163.3	0.22	35.93	65.32	33.99
37	12.22	4.9	59.88	151.9	0.24	36.46	60.85	47.15

ตารางที่ 4.38 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

โหลด (W)	INPUT			OUTPUT			Efficiency (%)	Voltage regulation
	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)		
No-Load	12.34	1.84	22.71	223.6	-	-	-	-
11	12.30	3.5	43.1	156.6	0.11	17.23	39.98	42.78
15	12.27	3.8	46.63	149.7	0.15	22.6	48.17	49.37
22	12.27	3.9	47.85	152.9	0.18	27.52	57.51	46.24
26	12.25	4.3	52.68	151.8	0.21	31.878	60.51	47.30
37	12.24	4.3	52.63	150.2	0.23	34.55	65.65	48.87

ตารางที่ 4.39 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อไม่ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนั้นสำหรับโหลดเผา
ได้เป็น โหลดจะวิเคราะห์ได้ว่า โวลเตจเอาท์พุทที่ได้มีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะโวลเตจจะครอปในวงจรรองความถี่ต่ำทำให้ประสิทธิภาพลดลงแต่มีผลคือทำให้สัญญาณดีขึ้นและหลอดสว่างขึ้นเล็กน้อย สำหรับหลอดตะเกียบนั้น จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อใช้วงจรรองความถี่ต่ำโวลเตจทางเอาต์พุตที่ได้จะมีค่ามากขึ้นทำให้หลอดสว่างขึ้นมาก แสงนวลตาและประสิทธิภาพดีขึ้น เพราะความต้านทานของหลอดตะเกียบมีค่าน้อยกว่าหลอดเผาไส้ นอกจากนี้ยังส่งผลให้สัญญาณที่ได้มีค่ามากขึ้นและดีกว่าสัญญาณหลอดเผาไส้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

จากวัตถุประสงค์ของโครงการนี้เพื่อจ่ายโหลดพลังงานกระแสสลับขนาด 1 เฟส 50 เอิร์ต 220 โวลต์ พิกัด 50 วัตต์ ใช้งานได้ 10 ชั่วโมงต่อเนื่องเป็นระบบ STAND ALONE โดยในโครงการนี้แบ่งโครงการออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่เริ่มจากส่วนที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เข้ามาในระบบ คือ โซลาร์เซลล์ ในที่นี้ได้มีการทดลองหาคูสมบัติเบื้องต้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส (V - I CURVE) , ความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ พบว่าเมื่อความเข้มสูงขึ้นกระแสจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นและแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้รู้ว่ากระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีค่าขึ้นอยู่กับความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลา การทดสอบโซลาร์เซลล์นอกจากจะทราบคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์แล้ว ยังนำไปหาขนาดแบตเตอรี่ให้มีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งานได้ด้วย โดยหาค่าจาก V-I CURVE ของโซลาร์เซลล์ โดยเก็บค่า V และ I ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน และโหลดต่างค่ากัน

เมื่อรับพลังงานมาจากแสงอาทิตย์ก็จะนำไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่โดยใช้วงจรชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งจากการทดลองจะให้ประสิทธิภาพค่อนข้างสูงนั่นคือ 80-85 เปอร์เซ็นต์ และมีกระแสที่ใช้ในการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ค่อนข้างคงที่ประมาณ 2-2.5 แอมป์ ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานขึ้นนอกจากนี้มีการป้องกันแบตเตอรี่จะมีไดโอดเอาไว้ป้องกันกระแสย้อนกลับและมีวงจรป้องกันแบตเตอรี่โดยที่จะตัดวงจรเมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้ไปจนต่ำกว่าค่าที่เราตั้งไว้จะทำให้รีเลย์ตัดการทำงานของวงจรออก

ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์เลือกใช้อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบการมีอดดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์โดยควบคุมแบบ SPWM จะสร้างสัญญาณไซน์มาเมื่ออดดูเลตกับสัญญาณสามเหลี่ยมเพราะเวลาต่อโหลดจะพ่นตัวเร็ว สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะเหมือนกับสัญญาณอ้างอิงคือสัญญาณไซน์เมื่อผ่านการกรองแล้ว และยังสามารถปรับความถี่สวิตซ์ซึ่งได้สูงโดยการปรับความถี่สัญญาณสามเหลี่ยม สำหรับฮาร์โมนิกสั่นใน SPWM จะช่วยลดฮาร์โมนิกส์ลำดับต่ำ แต่ลำดับ FUNDAMENTAL ไม่ค่อยดีนัก สำหรับวงจรกำลังอินเวอร์เตอร์จะใช้ IGBT เป็นสวิตซ์ซึ่งเพราะนำเอาข้อดีของมอสเฟตและไบโพลาร์จันชันทรานซิสเตอร์รวมเข้าไว้ด้วยกันคือทนแรงดันได้สูง มีกำลังสูงเสียบขณะนำกระแสได้น้อย และมีช่วงเวลาหยุดและนำกระแสได้รวดเร็วกว่า นอกจากนี้จะมีการตั้งค่า DEAD TIME ในช่วง 4 μ S เพื่อไม่ให้ IGBT ในกิ่งเดียวกันเกิดการ SHORT BRANCH ขึ้น จากการทดลองวัดประสิทธิภาพและโวลเตจเรกกูเลชันจะวิเคราะห์ได้ว่าประสิทธิภาพที่ลดลงเมื่อมีการเพิ่มโหลดและโวลเตจเรกกูเลชันจะแปรผันตามการเพิ่มขึ้นของโหลด แต่เมื่อมี

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

การป้อนสัญญาณเปรียบเทียบกับกลับโดยใช้วงจร PI CONTROL จะช่วยรักษาระดับแรงดันดีซีขึ้นทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น

สำหรับการทดลอง วงจรกรองสัญญาณความถี่จะวิเคราะห์ได้ว่า สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะที่ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้หลอดไฟสว่างขึ้น

จากการทดลองจ่ายโหลดเป็นเวลานาน 10 ชั่วโมงประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 25-30 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วงแรกจะมีประสิทธิภาพสูงเพราะแบตเตอรี่มีแรงดันสูงแต่เมื่อจ่ายโหลดนาน ๆ ไป แบตเตอรี่จะมีแรงดันตก ทำให้ประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นจำเป็นต้องได้รับการชาร์จจากแผงโซลาร์เซลล์ ในกลางวันโดยมีแสงแดดจ้าทั้งวันจึงจะเพียงพอ

ข้อแตกต่างระหว่างโครงงานโครงงานในปีนี้กับปีที่ผ่าน ๆ มา คือ มีการควบคุมสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตโดยใช้วงจร PI CONTROL และมีการสร้างไฟเลี้ยงโดยใช้วงจรวัดซึ่งที่มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ยังใช้ EPROM สร้างสัญญาณไซน์ทำให้สัญญาณไม่กระเพื่อมมีการกำหนด ADDRESS ที่แน่นอน วงจรอินเวอร์เตอร์มีเสถียรภาพในการทำงานค่อนข้างดีกว่าที่ผ่านมา มีวงจร LOW PASS FILTER ช่วยให้สัญญาณที่ได้เป็นไซน์มากขึ้น และสามารถขยับวงจรรวมกันให้มีขนาดเล็กกว่าโครงงานปีก่อน ๆ

ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะที่ใช้ในการปรับปรุงโครงงานต่อไป

ควรมีการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ในวงจรให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นทั้งนี้อาจทำได้โดยการใช้ MICROCONTROLLER ควบคุมเพื่อให้มีความแน่นอนของสัญญาณต่าง ๆ ดีขึ้น

แรงดัน DC LINK ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้มีค่า 12 โวลต์ซึ่งทำให้หม้อแปลงมีอัตราส่วน TURN RATIO มีค่าค่อนข้างสูง จึงทำให้หม้อแปลงมีขนาดใหญ่ กินกระแสมาก ซึ่งไม่เหมาะกับระบบที่มีพิกัดกำลังมากแต่ในโครงงานนี้สามารถใช้ได้ เพราะมีพิกัดไม่สูงจนเกินไป ดังนั้นในระบบขนาดใหญ่จึงควรมีการยกแรงดัน DC LINK ของอินเวอร์เตอร์ โดยอาจใช้วงจรรูด - ดึง PUSH - PULL CONVERTER ซึ่งต้องพันหม้อแปลงให้มีประสิทธิภาพดี เส้นลวดทนกระแสได้เยอะ

การเก็บผลคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ ถ้าความต้านทานแต่ละระดับที่ทดลองถึงแม้จะมีระยะห่างที่พอจะดูคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์แต่ยังมีความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากการยากที่จะวัดผลที่ความต้านทานต่าง ๆ พร้อม ๆ กันจึงทำให้บางครั้งมีผลคลาดเคลื่อนและมีอุปสรรคจากการเคลื่อนตัวของก้อนเมฆบังแสงแดดขณะเปลี่ยนโหลดซึ่งเป็นอุปสรรคในการเก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานปัญหาส่วนใหญ่เป็นเรื่องของจุดต่อต่าง ๆ ดังนั้นในการทำโครงการควรมีความละเอียดรอบคอบเมื่อมีการต่อหลาย ๆ จุดเข้าด้วยกัน ถ้าพบว่าจุดใดไม่มีสัญญาณออกมาก็ควรตรวจเช็คทีละจุดให้เรียบร้อย

ในการเก็บผลการทดลองควรรีใช้อุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรงและมีประสิทธิภาพมากเช่น การวัดกระแสทางด้านกระแสสลับควรรีใช้ TRUE RMS METER หรือ ใช้ RECORDER หรือ FLUKE METER ในการเก็บข้อมูล และในการกำหนดตำแหน่ง ADDRESS ให้กับ EPROM ควรรีใช้เครื่อง BURN ที่มีประสิทธิภาพ

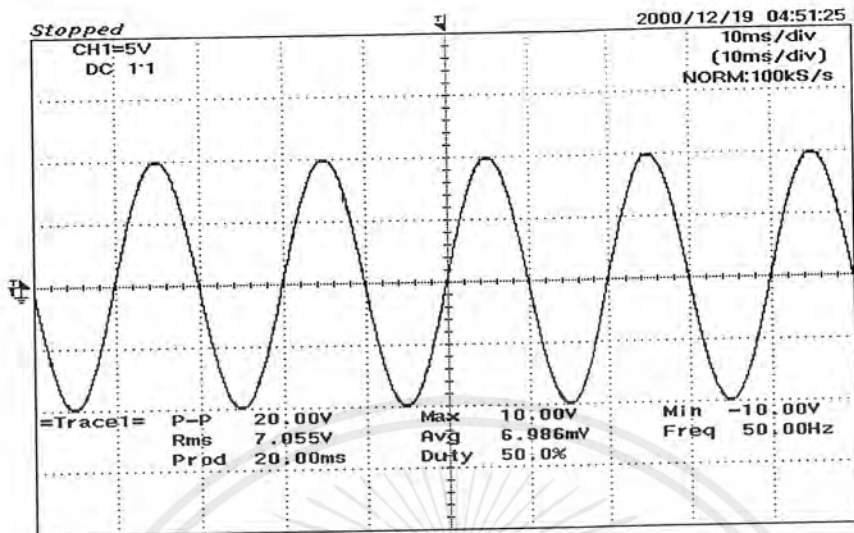
ในวงจรไฟเลี้ยงควรรีใช้ความพยายามในการเลือกค่า SNUBBER ให้เหมาะสมโดยไม่ทำให้ MOSFET ร้อน โดยให้ไปเก็บพลังงานไว้ในค่าความต้านทานแทน

นอกจากนี้วัตถุประสงค์ของโครงการนี้เพื่อจ่ายโหลดให้ได้นาน 10 ชั่วโมง ดังนั้นผู้ทำโครงการควรมีความพยายามและอดทนในการเก็บผลการทดลอง



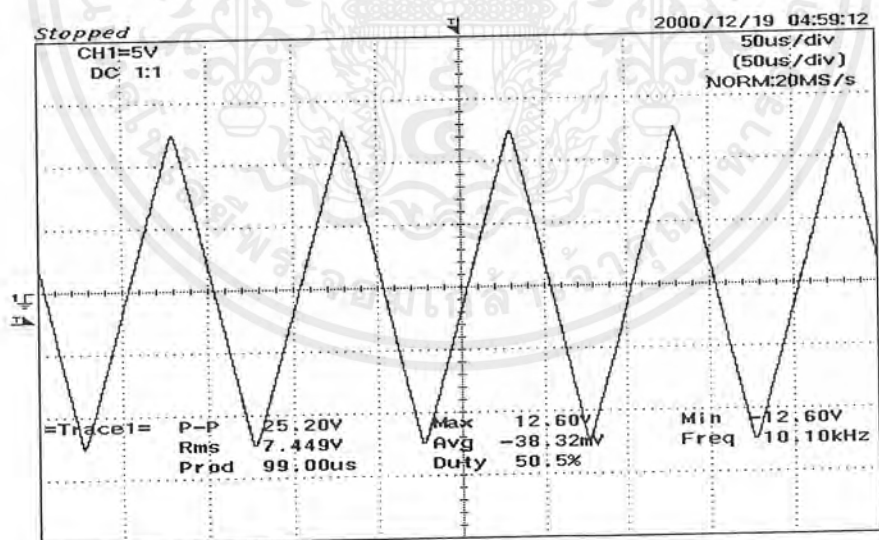


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

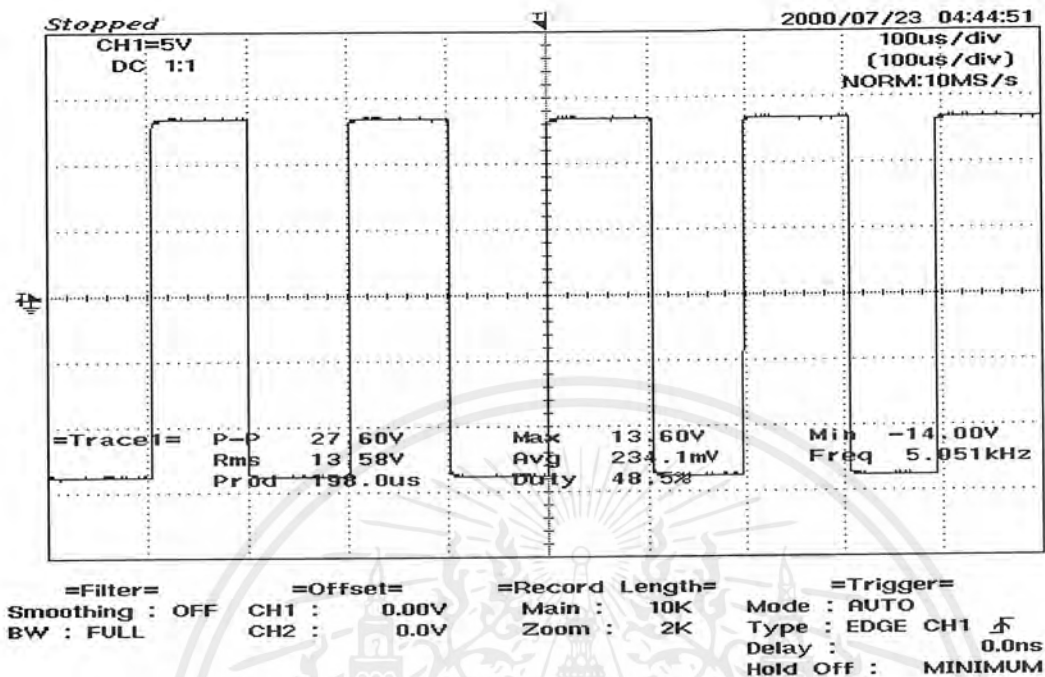
รูปที่ ก-1 กราฟผลการทดลองสัญญาณไซน์จากวงจรควบคุม



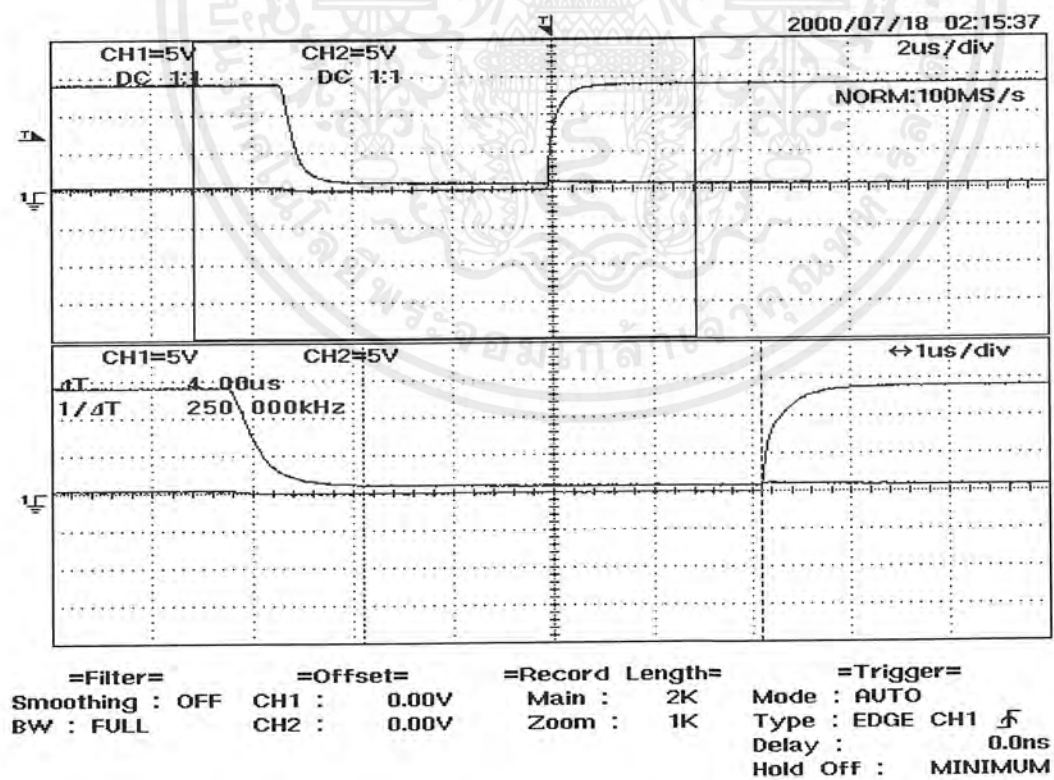
=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 $\overline{\text{F}}$ Delay : 0.0ns Hold OFF : MINIMUM

รูปที่ ก-2 กราฟผลการทดลองสัญญาณสามเหลี่ยมจากวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

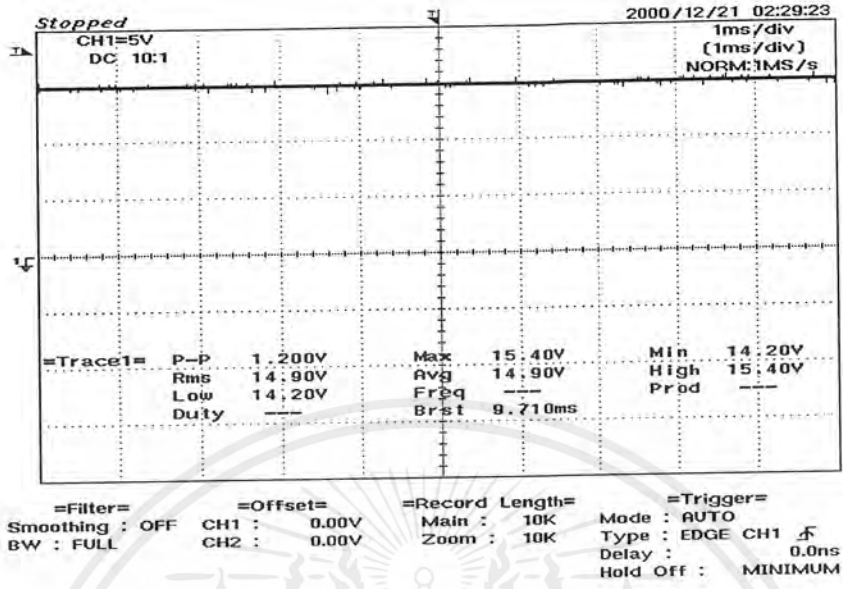


รูปที่ ก-3 กราฟผลการทดลองสัญญาณขับเกิดจากวงจรควบคุม

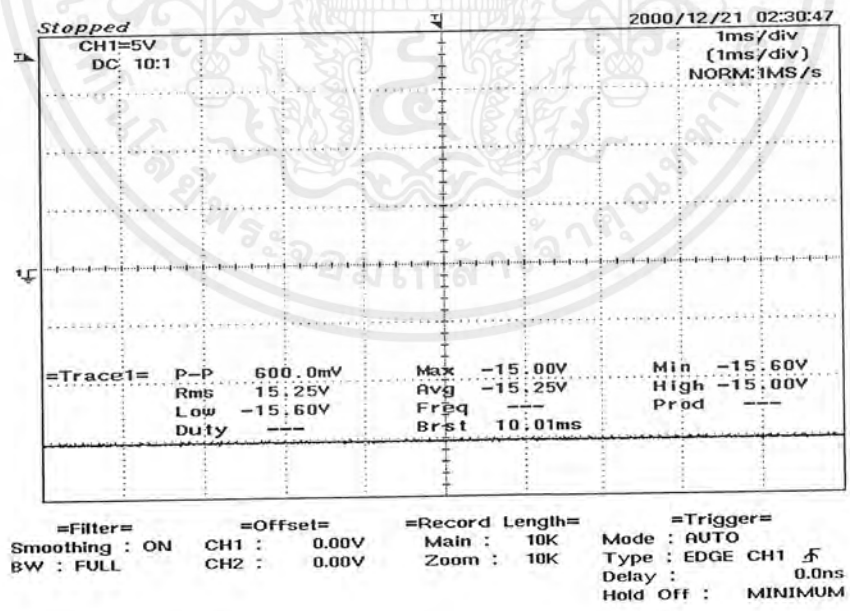


รูปที่ ก-4 กราฟผลการทดลองสัญญาณเคดไทม์จากวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

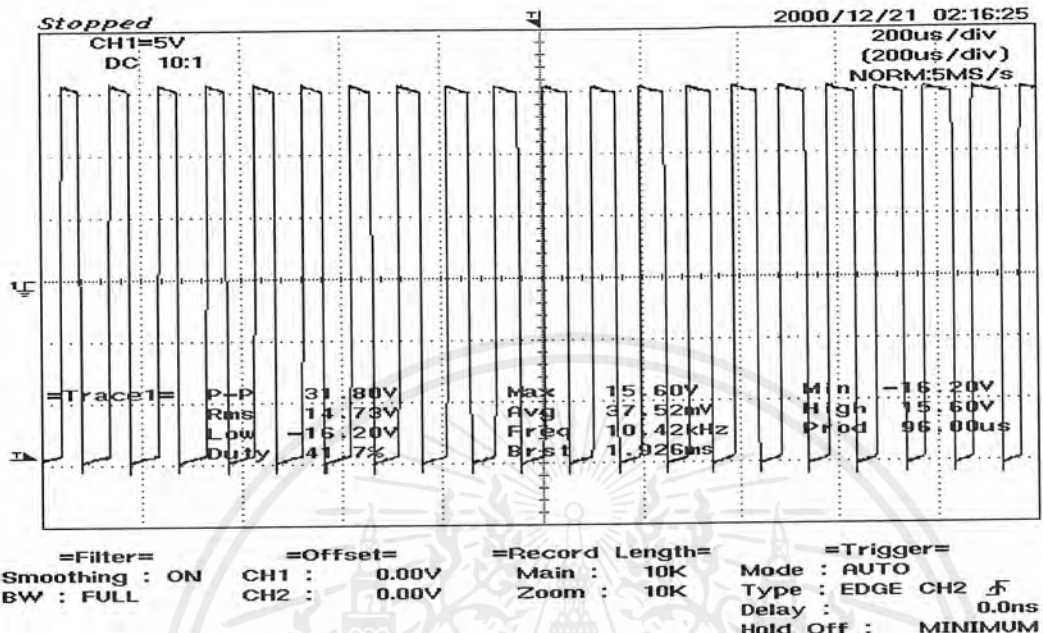


รูปที่ ก-5 กราฟผลการทดลองสัญญาณจากวงจรฟลายแบค

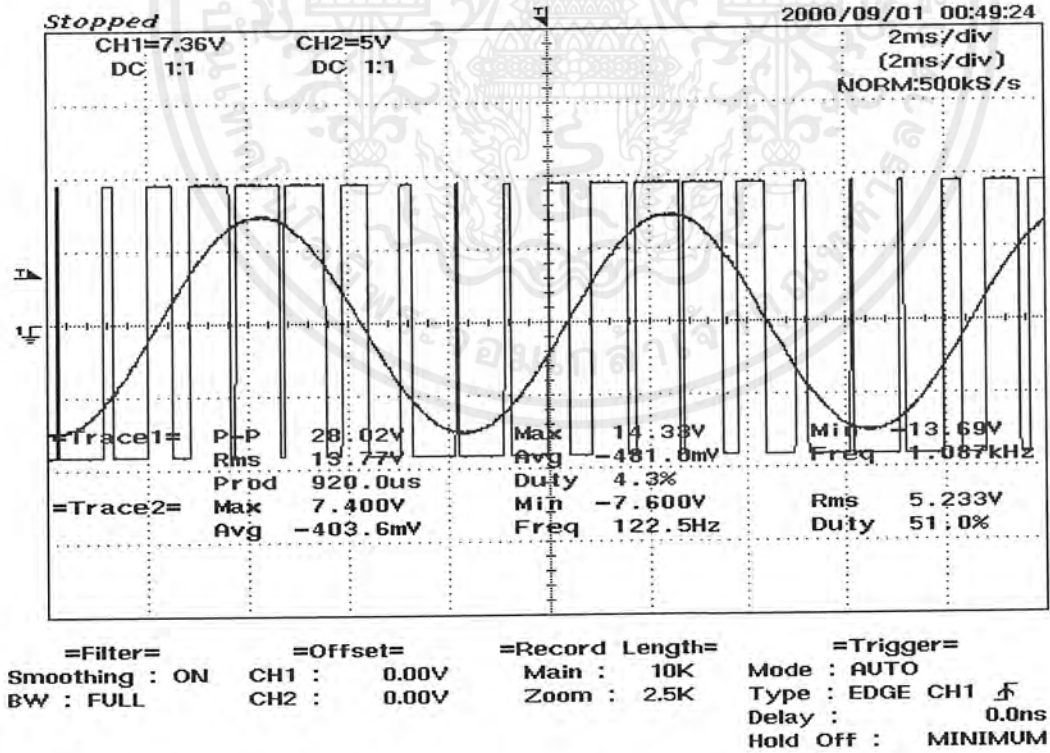


รูปที่ ก-6 กราฟผลการทดลองจากวงจรฟลายแบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

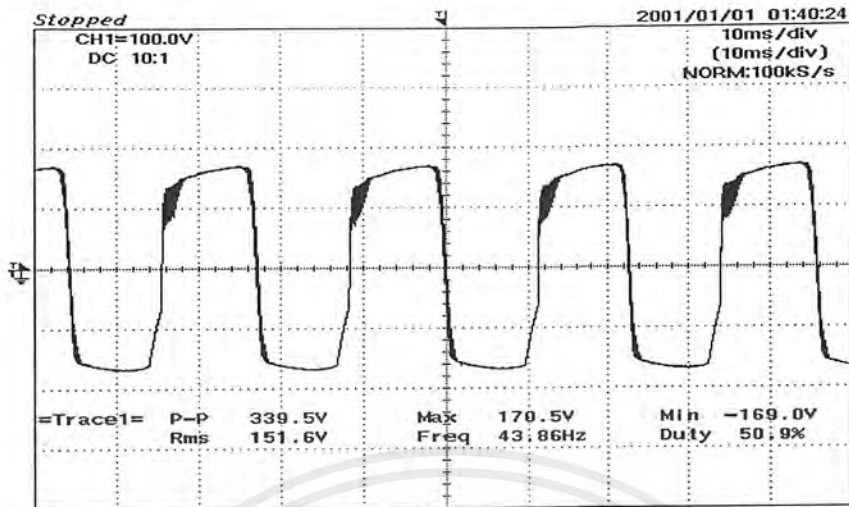


รูปที่ ก-7 กราฟสัญญาณจากวงจรอินเวอร์เตอร์



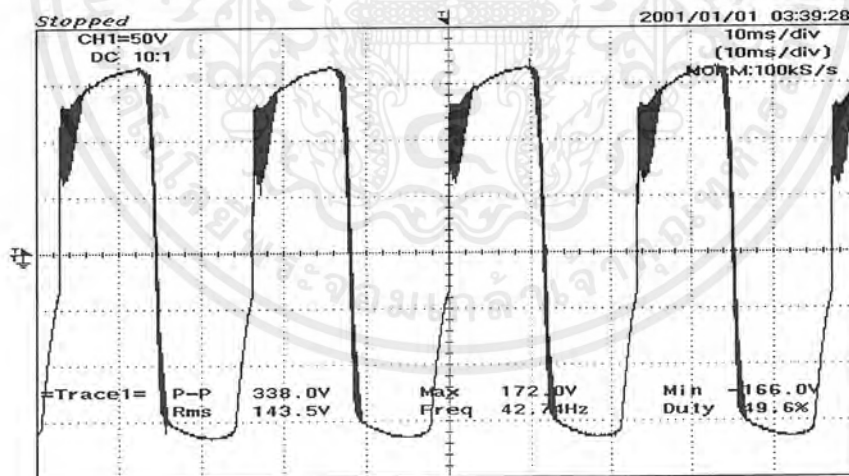
รูปที่ ก-8 กราฟสัญญาณเปรียบเทียบการมอดูเลตตามความกว้างพัลส์แบบไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

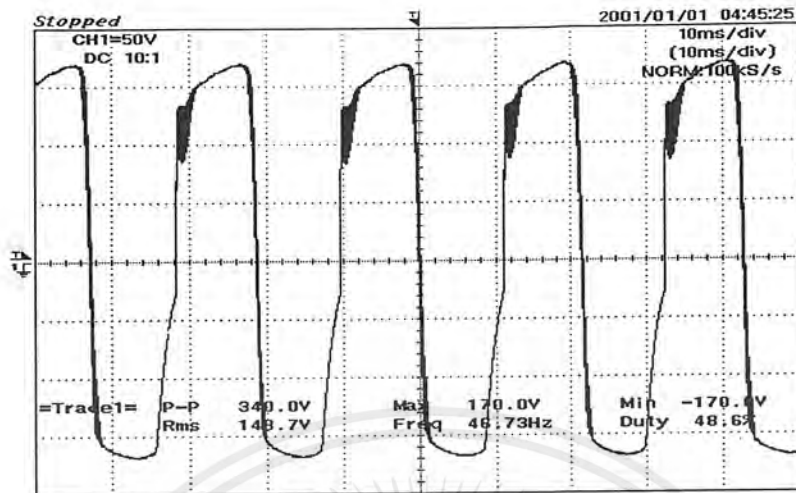
รูปที่ ก-8 กราฟผลการทดลองหาคณสมบัตินของระบบเมื่อจ่ายโหลด ชั่วโมงที่ 0



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

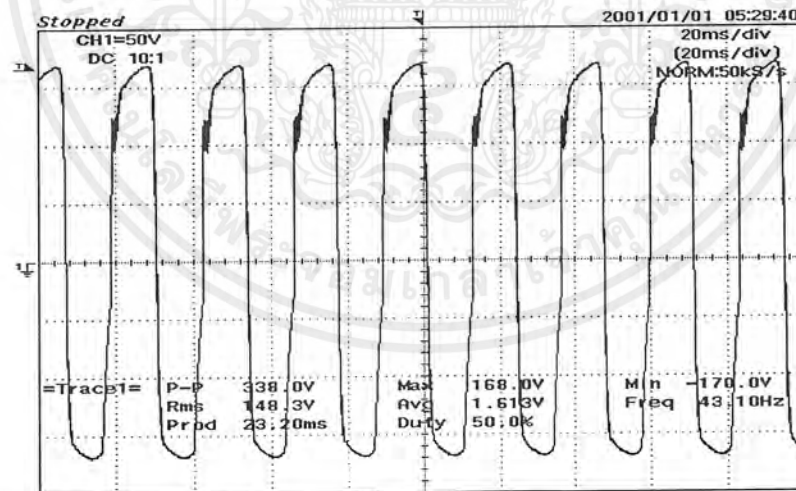
รูปที่ ก-9 กราฟผลการทดลองหาคณสมบัตินของระบบเมื่อจ่ายโหลด ชั่วโมงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

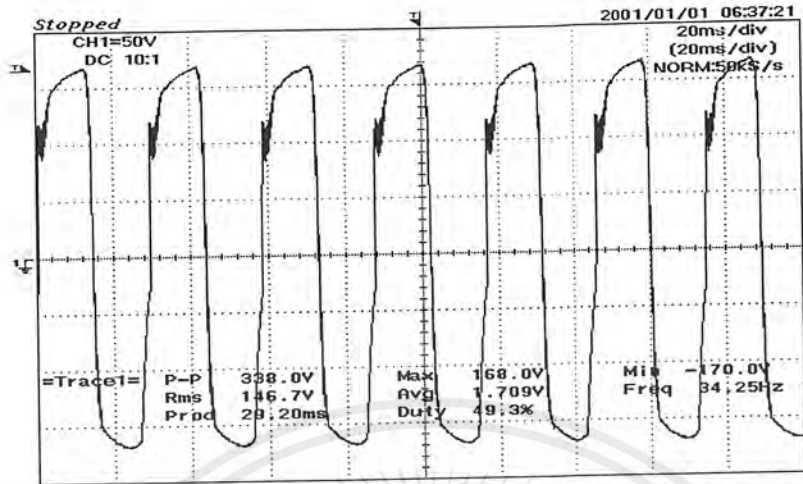
รูปที่ ก-10 กราฟผลการทดลองหาคณสมบัติของระบบเมื่อจ่าย โหลด ชั่วโมงที่ 2



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

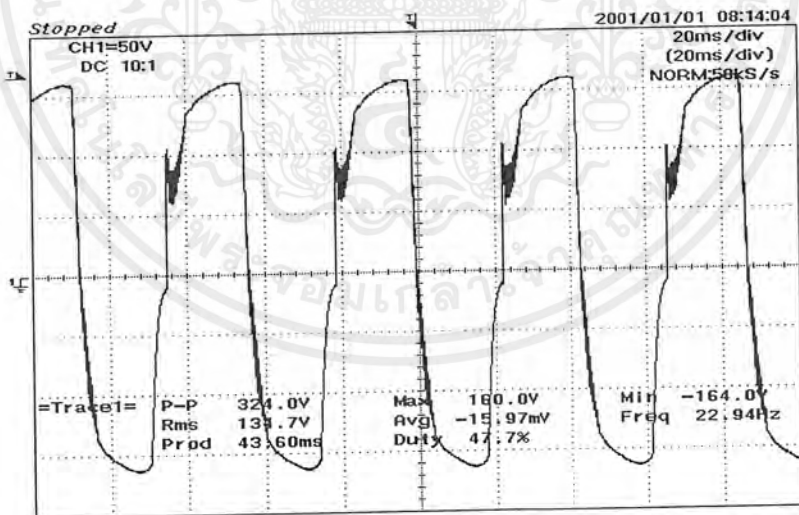
รูปที่ ก-11 กราฟผลการทดลองหาคณสมบัติของระบบเมื่อจ่าย โหลด ชั่วโมงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

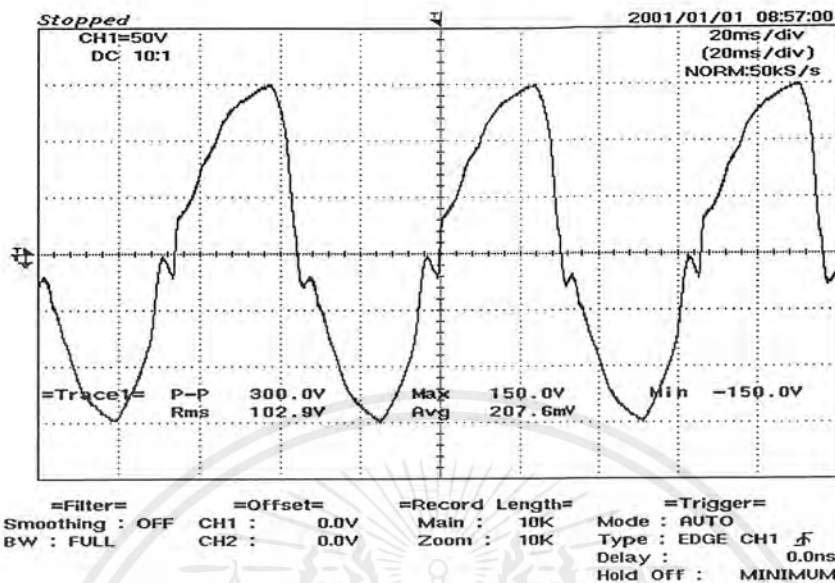
รูปที่ ก-12 กราฟผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของระบบเมื่อจ่ายโหลด ชั่วโมงที่ 4



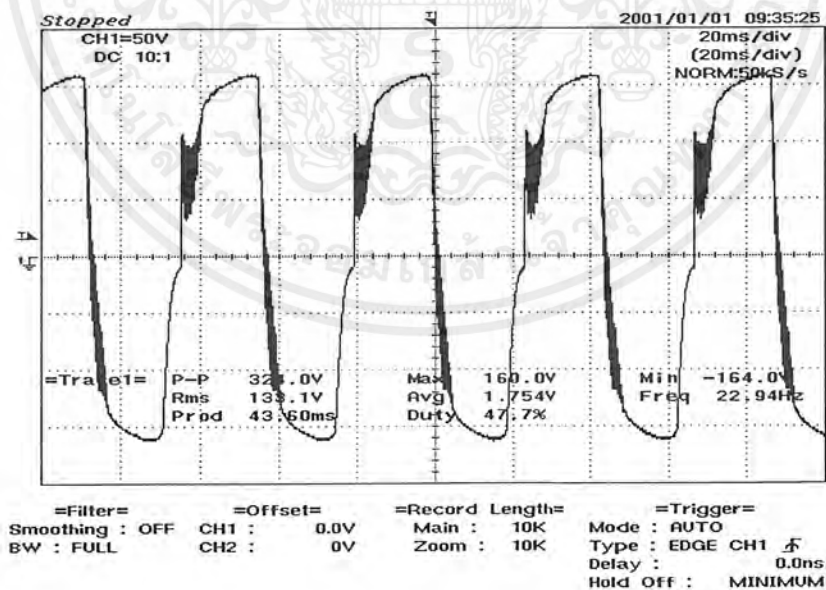
=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
=Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก- 13 กราฟผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติของระบบเมื่อจ่ายโหลด ชั่วโมงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

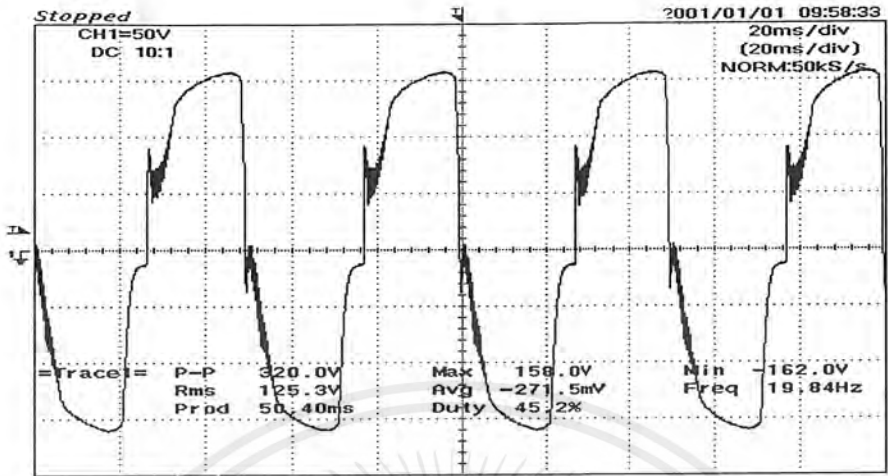


รูปที่ ก- 14กราฟผลการทดลองหาคณสมบัตินของระบบเมื่อย่างโหลด ชั่วโมงที่ 6



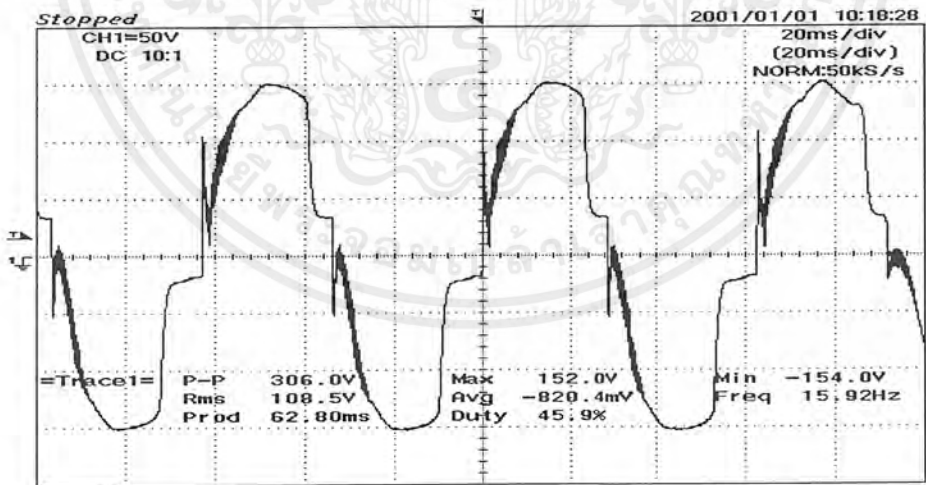
รูปที่ ก- 15 กราฟผลการทดลองหาคณสมบัตินของระบบเมื่อย่างโหลด ชั่วโมงที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

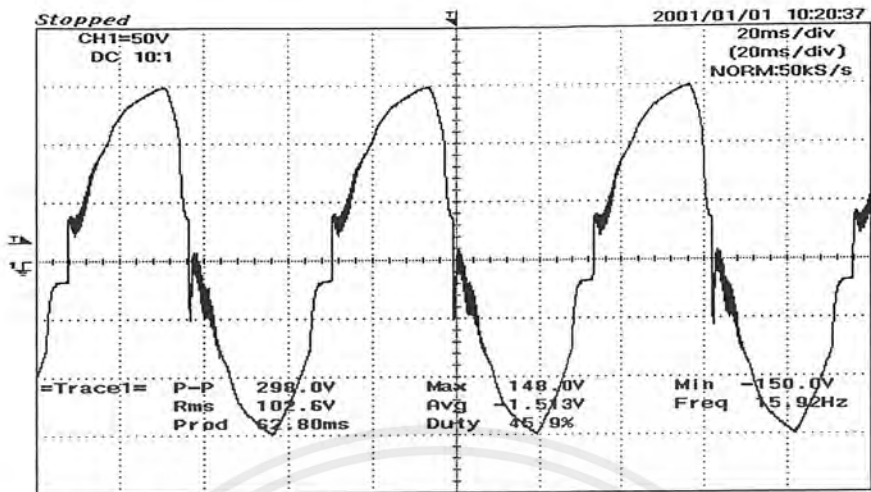
รูปที่ ก-16 กราฟผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อบ่าย โหลด ชั่วโมงที่ 8



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

รูปที่ ก-17 กราฟผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อบ่าย โหลด ชั่วโมงที่ 9

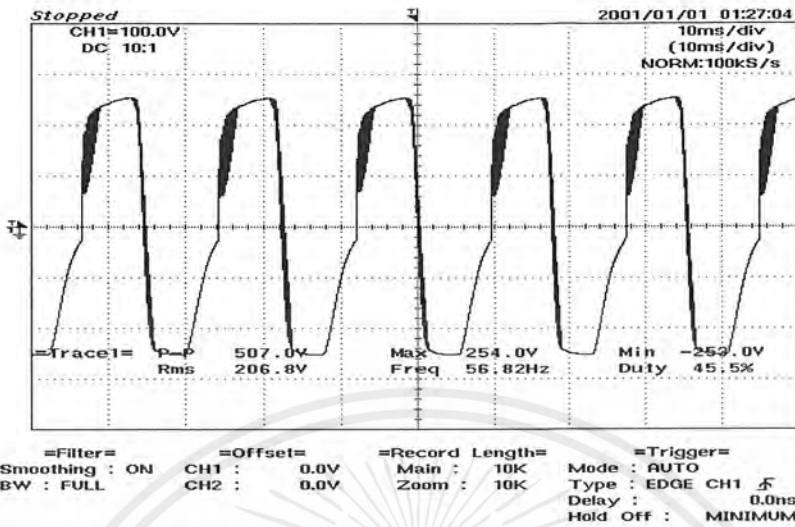
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

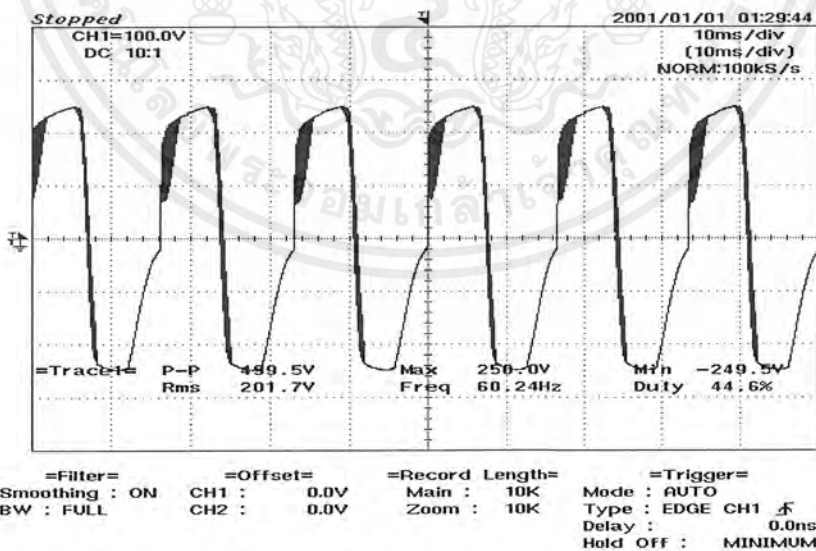
รูปที่ ก-18 กราฟผลการทดลองหาคุณสมบัติของระบบเมื่อจ่ายโหลด ชั่วโมงที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-19 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้หลอดตะเกียบ 11

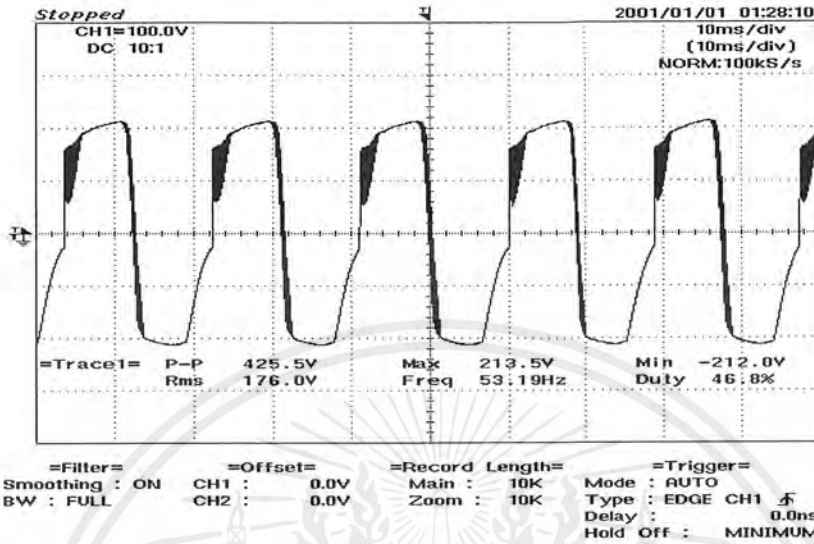
วัดที่



รูปที่ ก-20 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้หลอดตะเกียบ 15

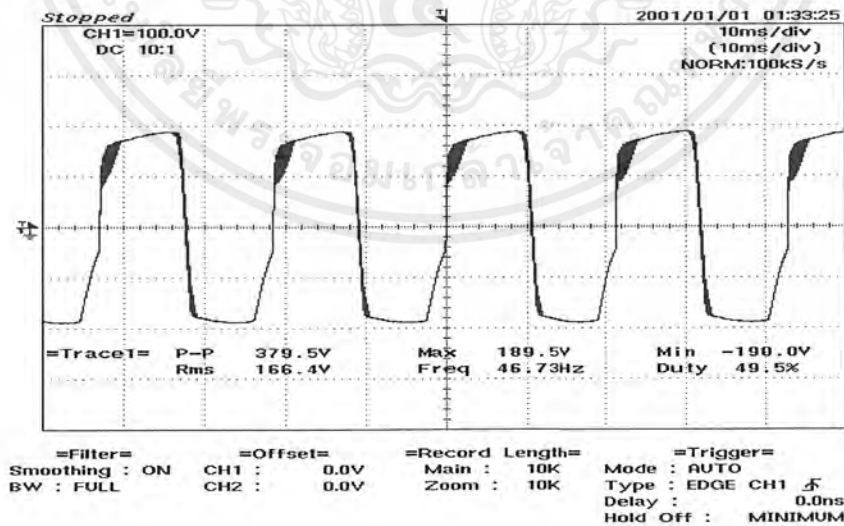
วัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-21 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้หลอดตะเกียบ 22

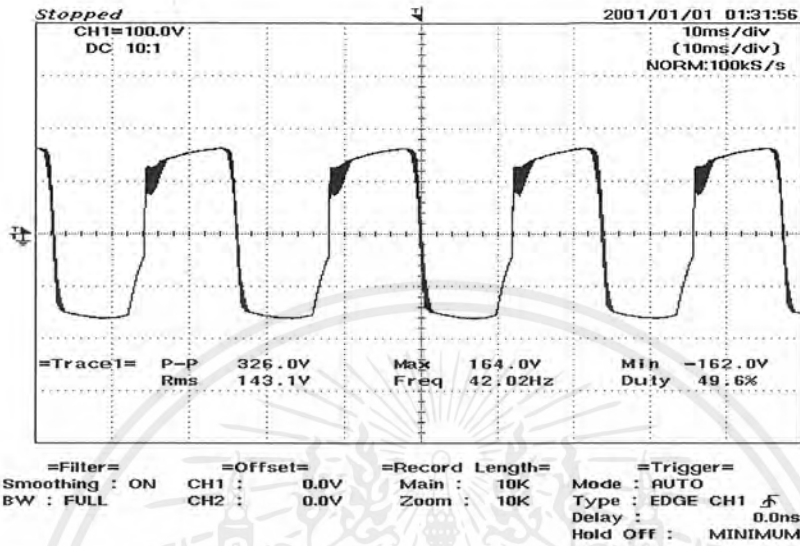
วัดที่



รูปที่ ก-22 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้หลอดตะเกียบ 26

วัดที่

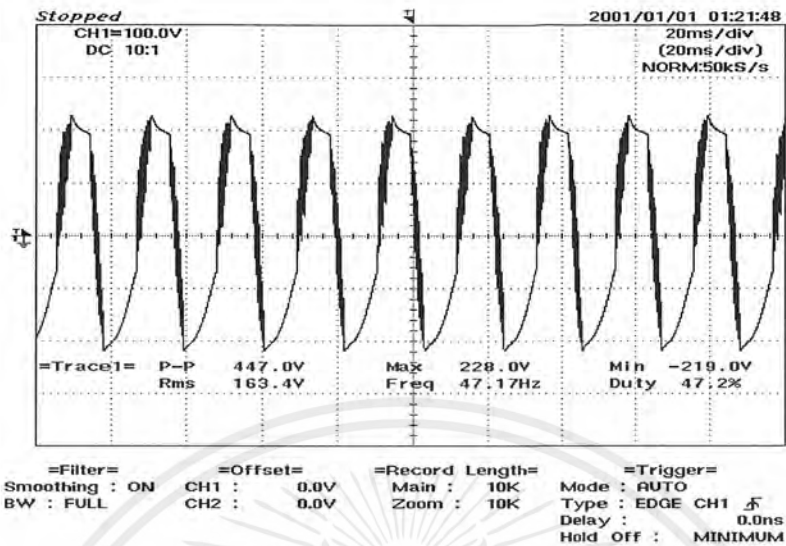
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



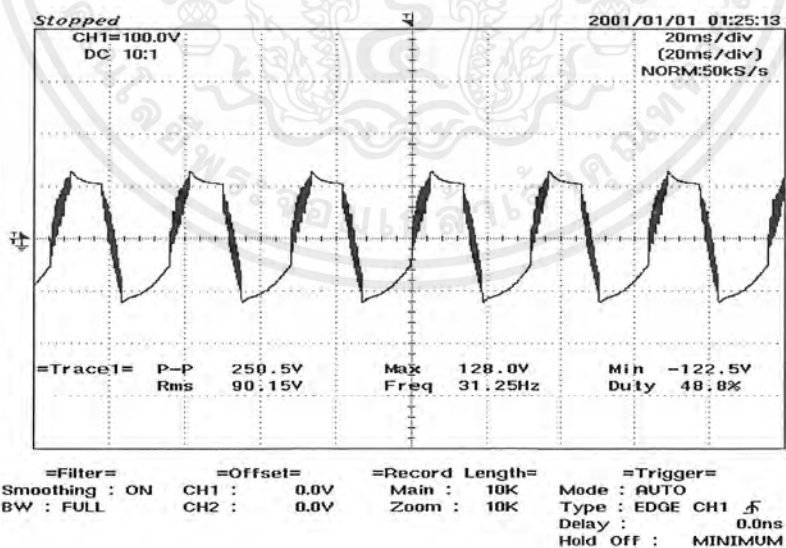
รูปที่ ก-23 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้หลอดตะเกียบ 37

วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

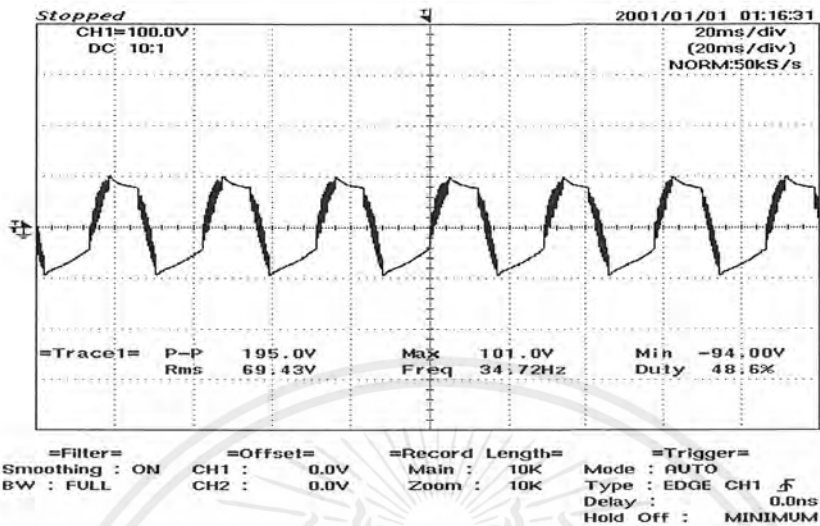


รูปที่ ก-24 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้โหลดเผาไส้ 25 วัตต์



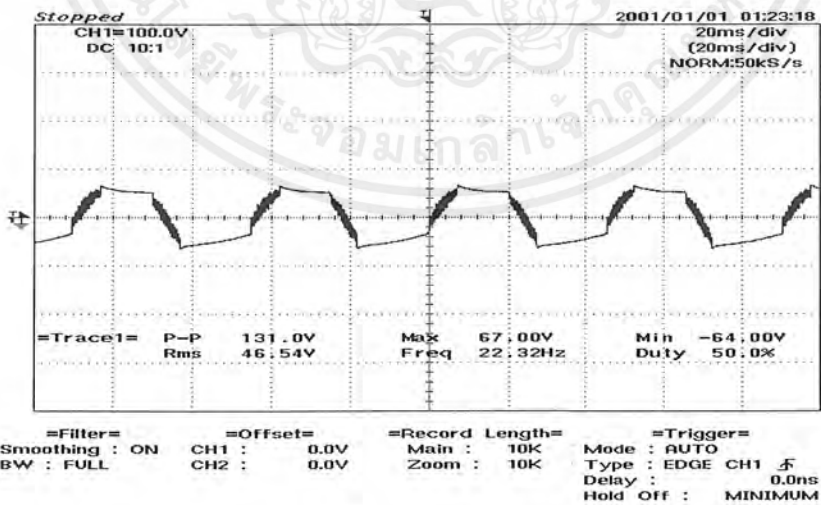
รูปที่ ก-25 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้โหลดเผาไส้ 60 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-26 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้หลอดเผาไส้ 85

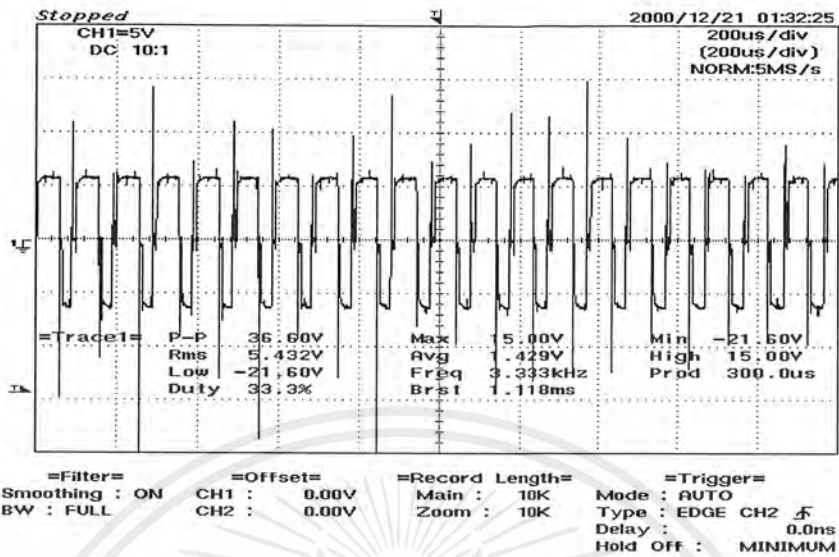
วัตต์



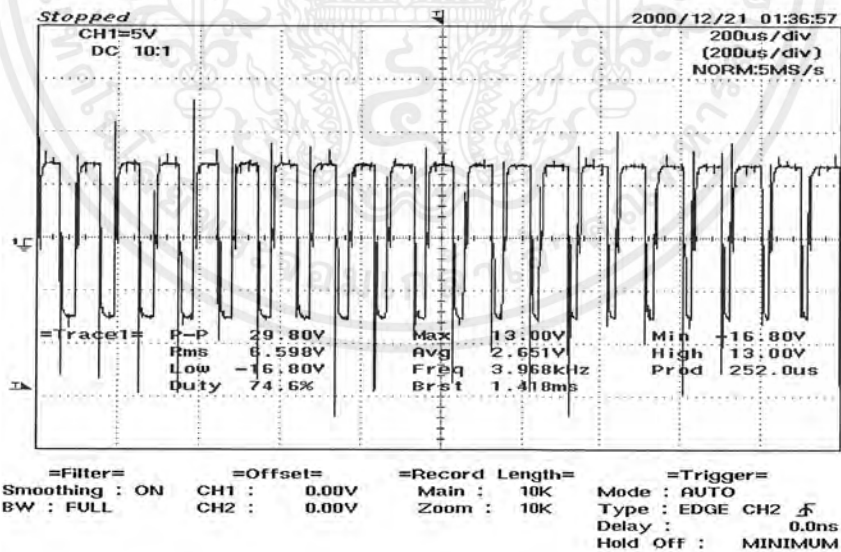
รูปที่ ก-27 กราฟผลการทดลองเมื่อต่อวงจรอินเวอร์เตอร์เข้ากับหม้อแปลงโดยใช้หลอดเผาไส้ 100

วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

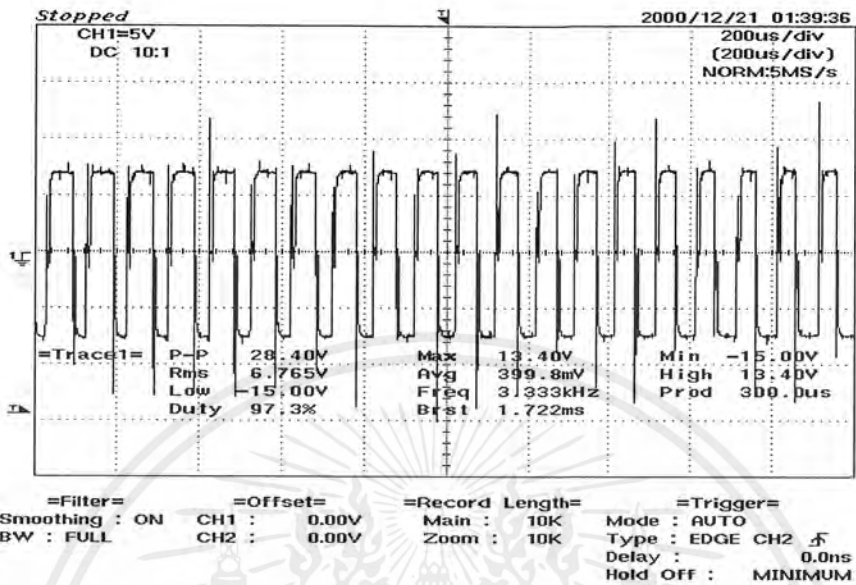


รูปที่ ก-28 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 1

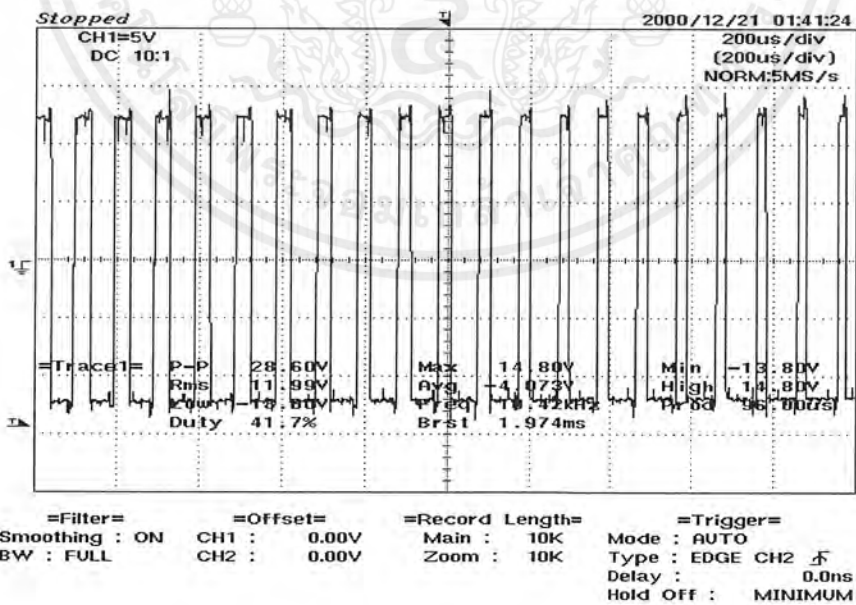


รูปที่ ก-29 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

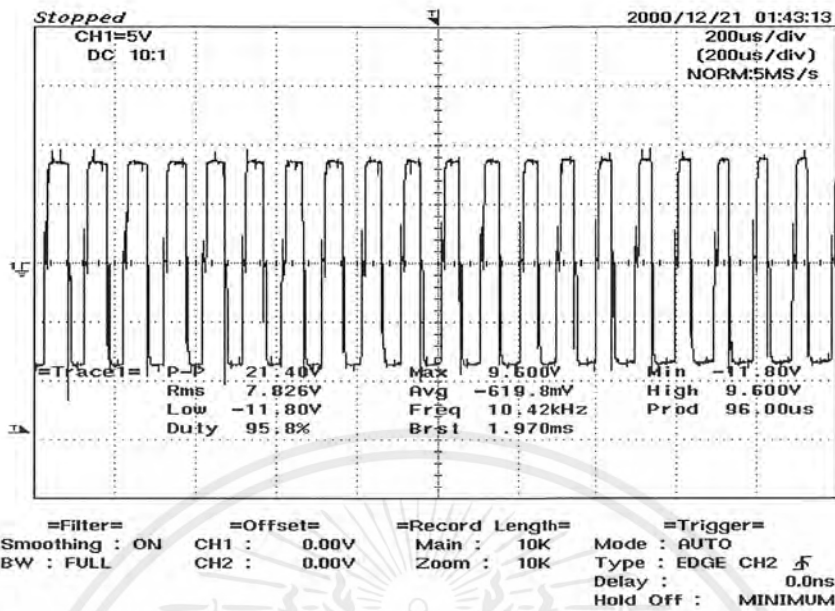


รูปที่ ก-30 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 3

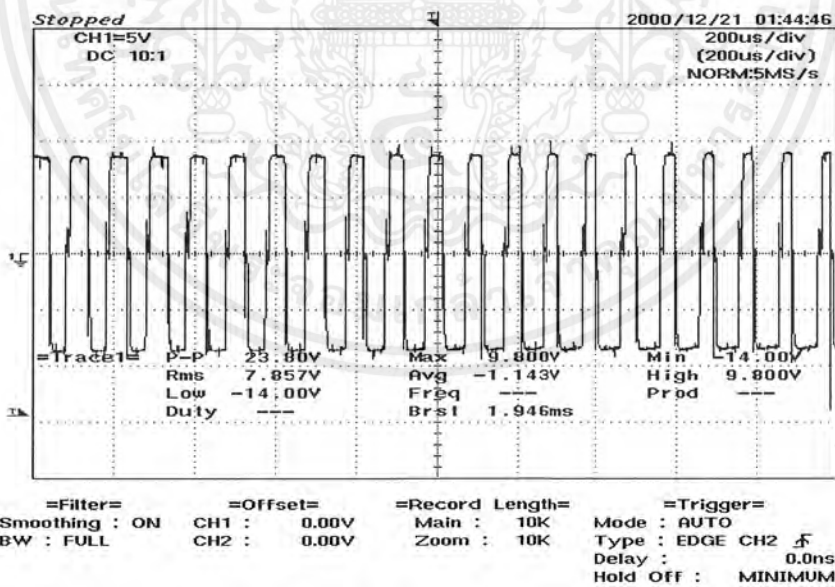


รูปที่ ก-31 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

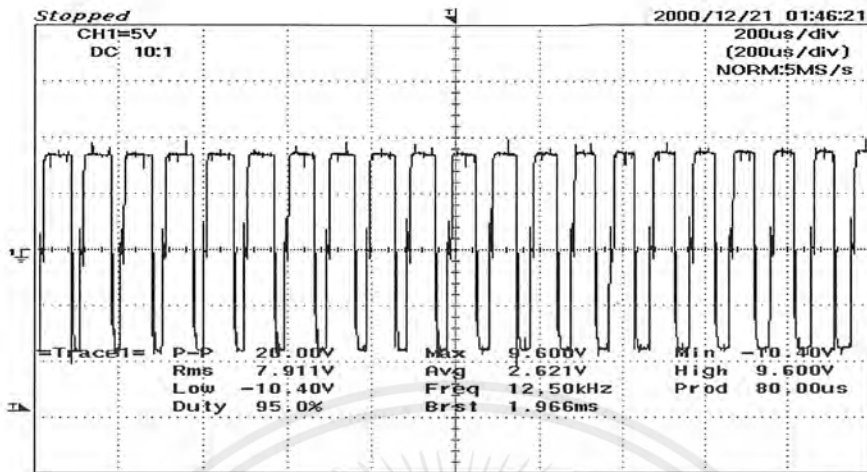


รูปที่ ก-32 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาค่าสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 5



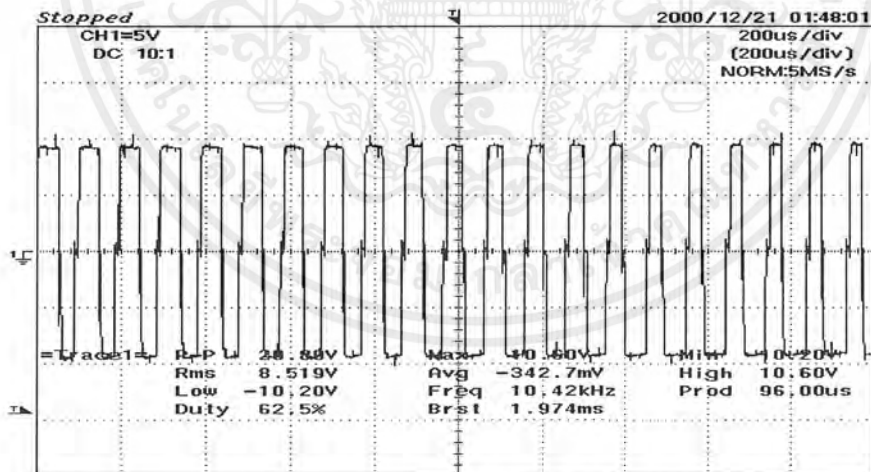
รูปที่ ก-33 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาค่าสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON 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

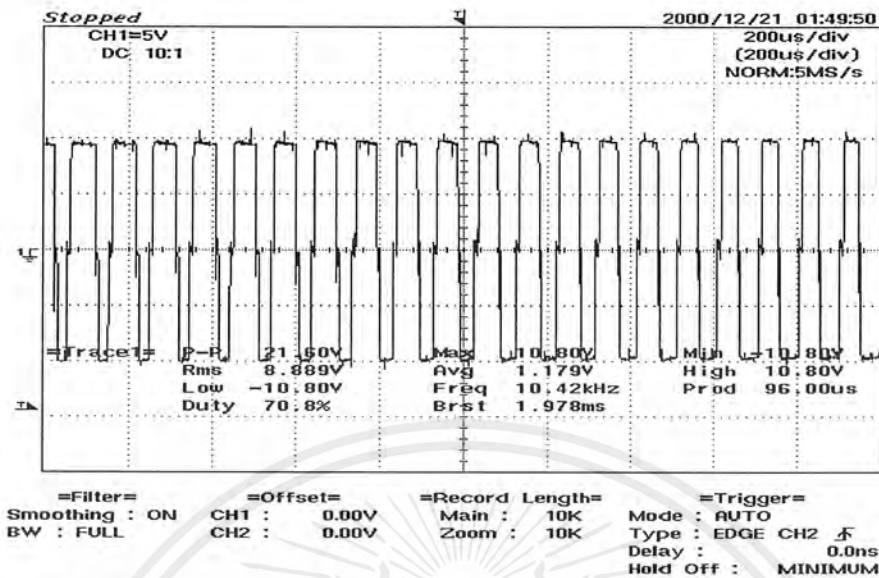
รูปที่ ก-34 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 7



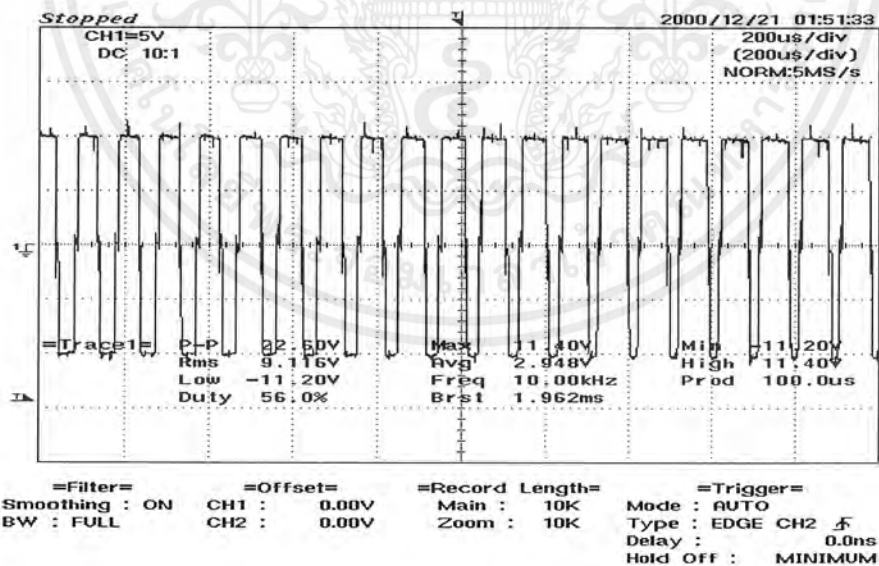
=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
=Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก-35 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

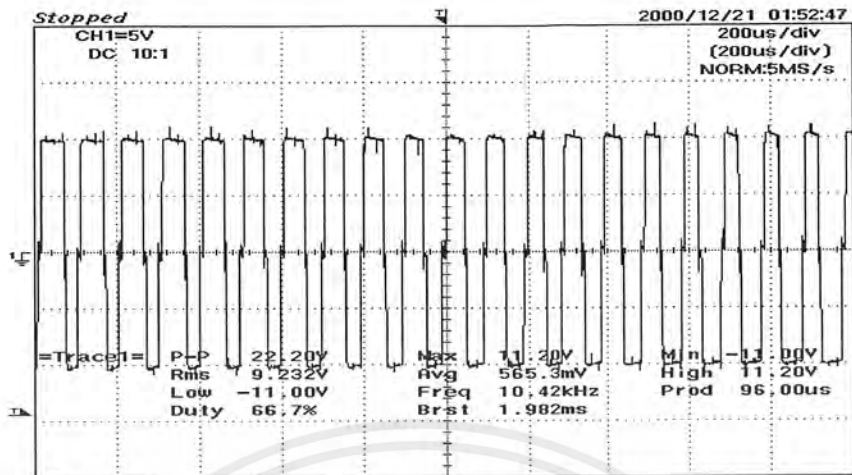


รูปที่ ก-36 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาค่าคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 9



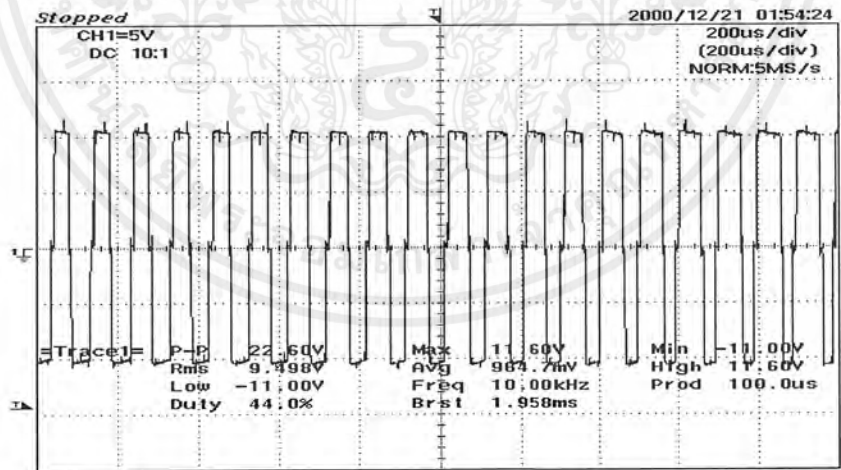
รูปที่ ก-37 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาค่าคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

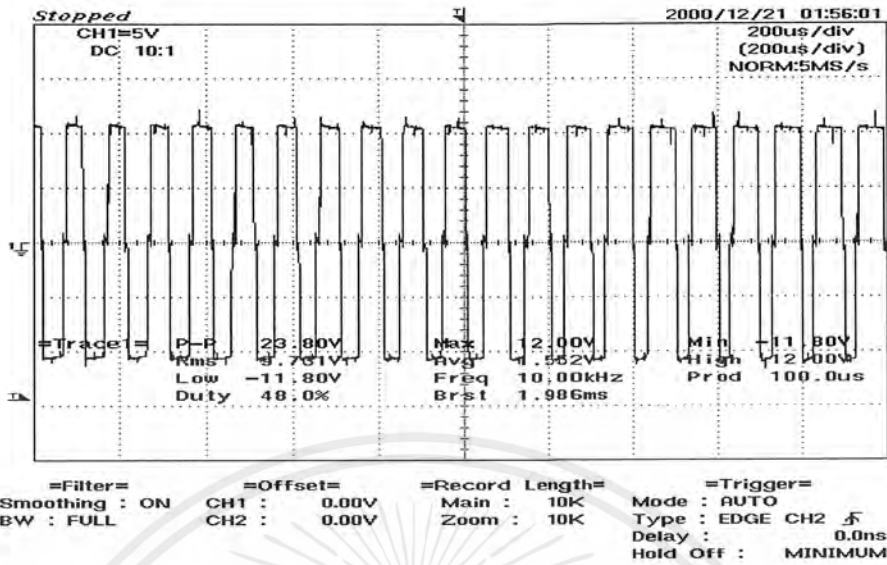
รูปที่ ก-38 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 11



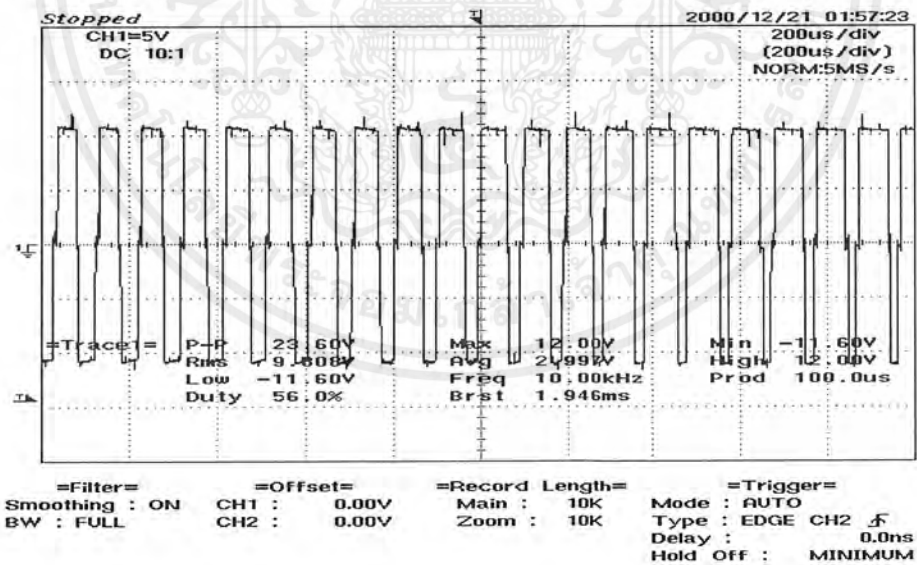
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH2 \neq
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก-39 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

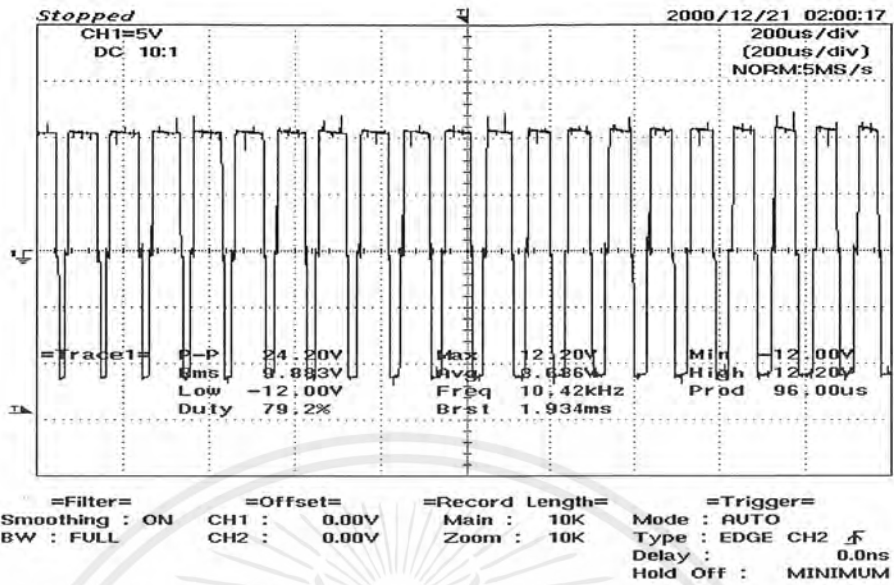


รูปที่ ก-40 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 13

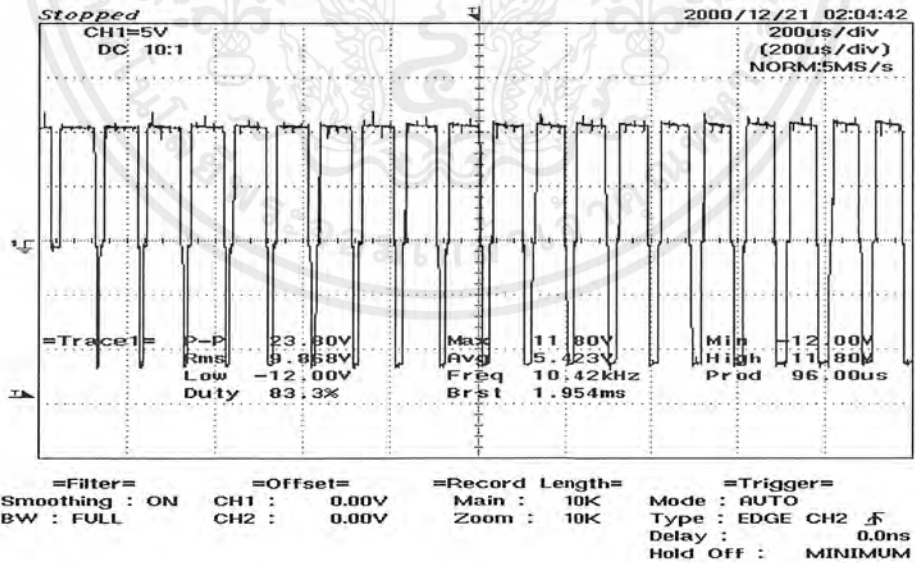


รูปที่ ก-41 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

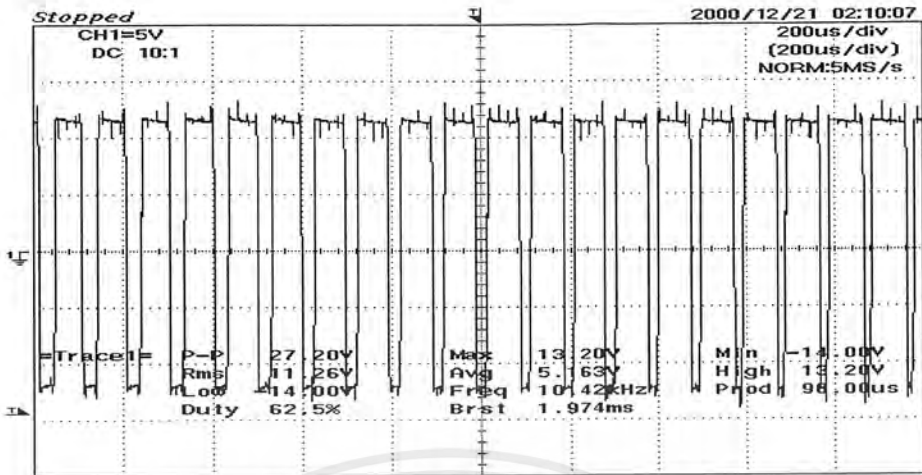


รูปที่ ก-42 กราฟผลการทดลองสัญญาณ ในการหาค่าคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 15



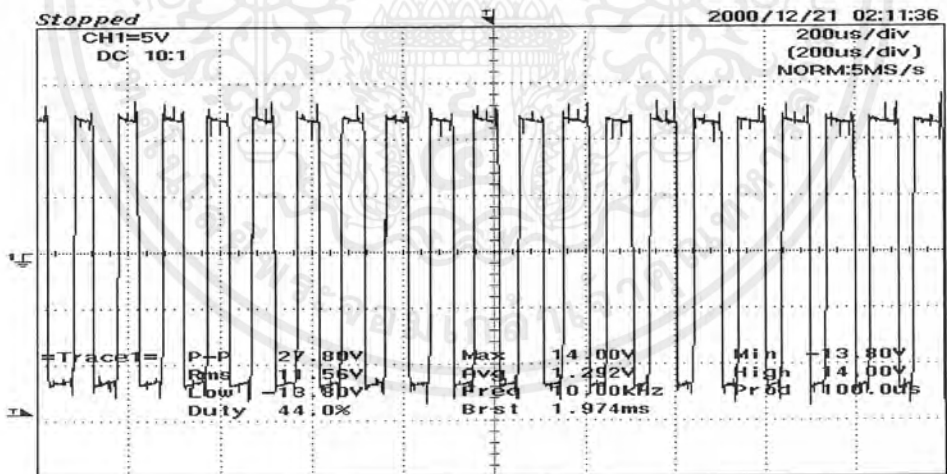
รูปที่ ก-43 กราฟผลการทดลองสัญญาณ ในการหาค่าคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON 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

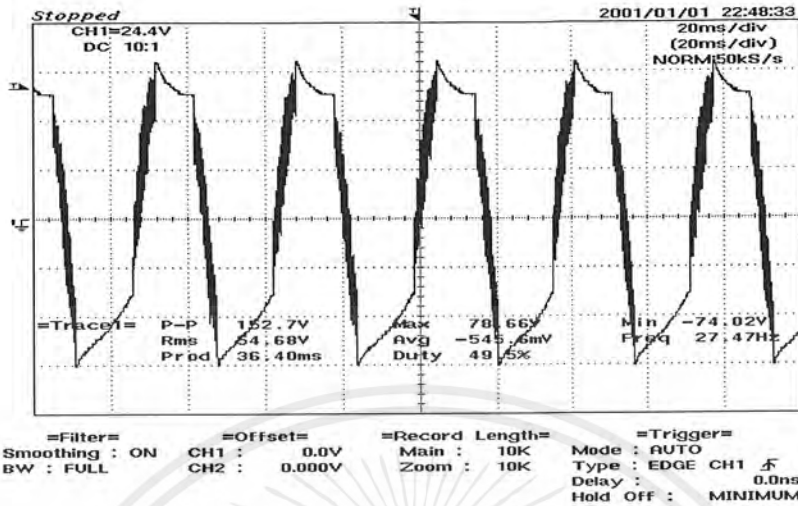
รูปที่ ก-44 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 17



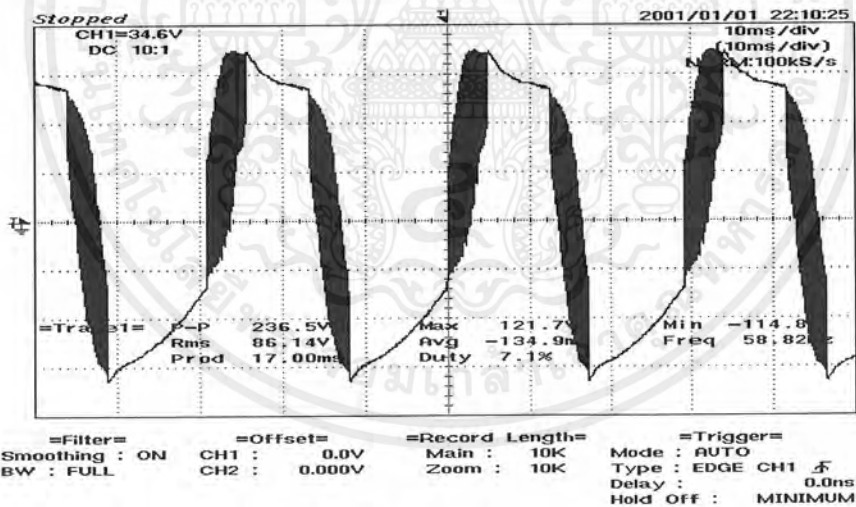
=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH2 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก-45 กราฟผลการทดลองสัญญาณในการหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

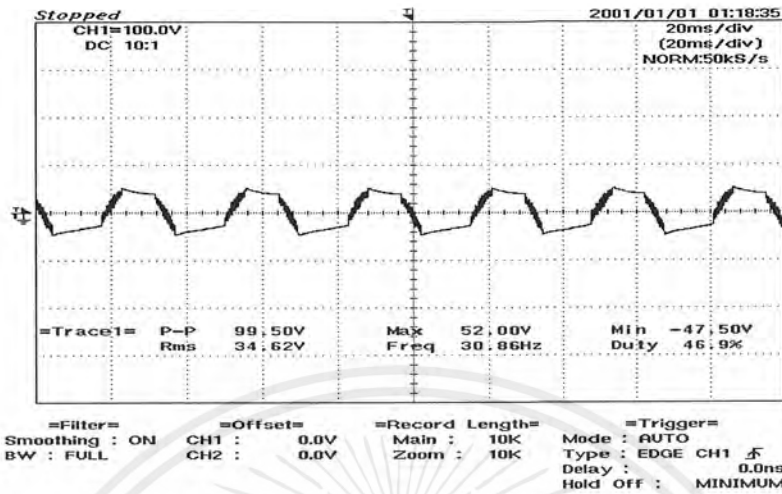


รูปที่ ก-46 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดเผาไส้ 85 วัตต์เป็นโหลด



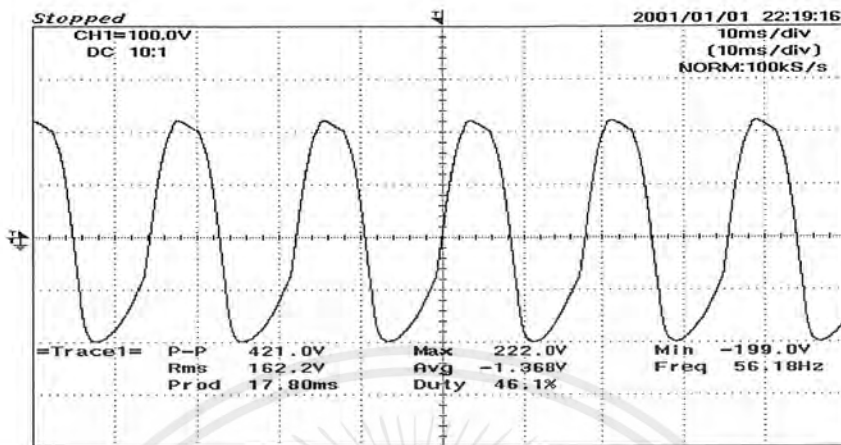
รูปที่ ก-47 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดเผาไส้ 60 วัตต์เป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



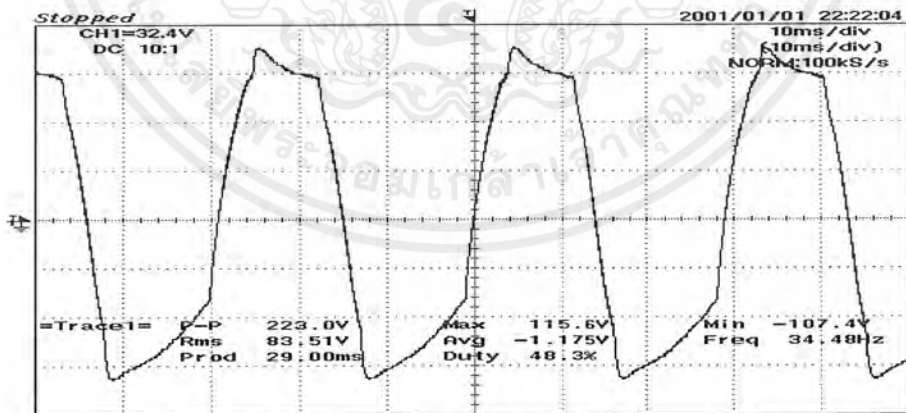
รูปที่ ก-48 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์โดยใช้โหลดเผาไส้ 100 วัตต์เป็น โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

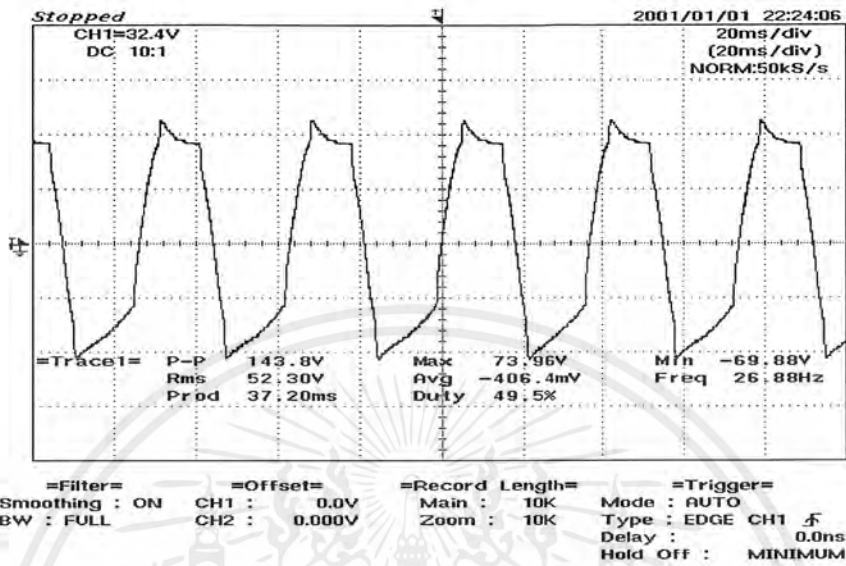
รูปที่ ก-49 กราฟผลการทดลองคุณสมบัติของระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดเผาไส้ 25 วัตต์ เป็นโหลด



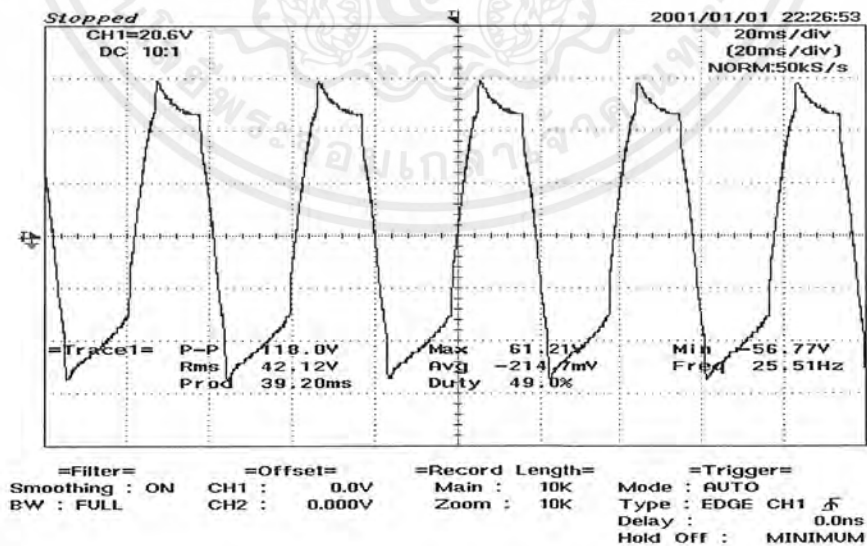
=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก-50 กราฟผลการทดลองคุณสมบัติของระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดเผาไส้ 60 วัตต์ เป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

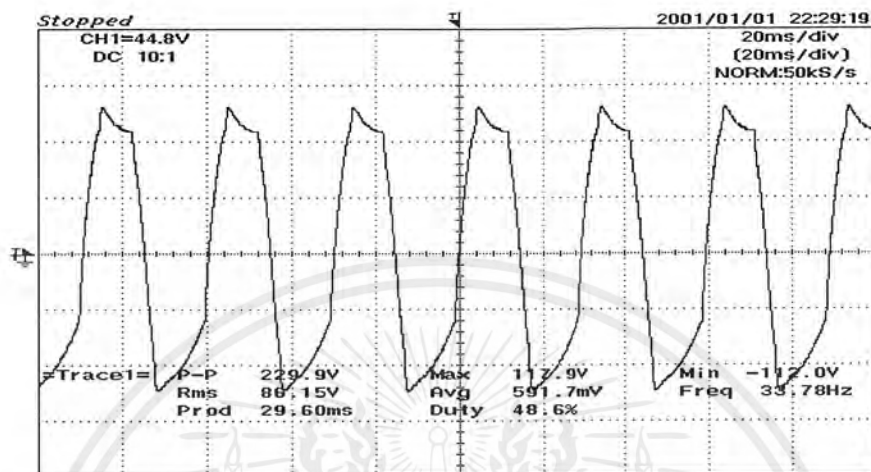


รูปที่ ก-51 กราฟผลการทดลองคุณสมบัติของระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดเผาไส้ 85 วัตต์ เป็นโหลด



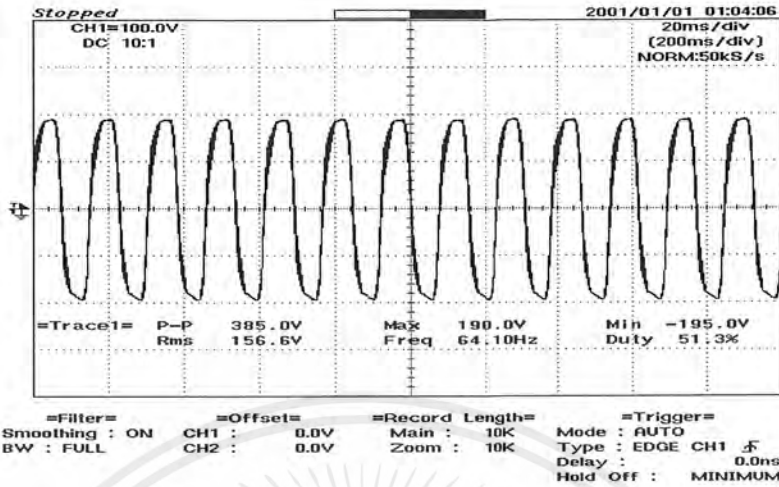
รูปที่ ก-52 กราฟผลการทดลองคุณสมบัติของระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดเผาไส้ 100 วัตต์ เป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

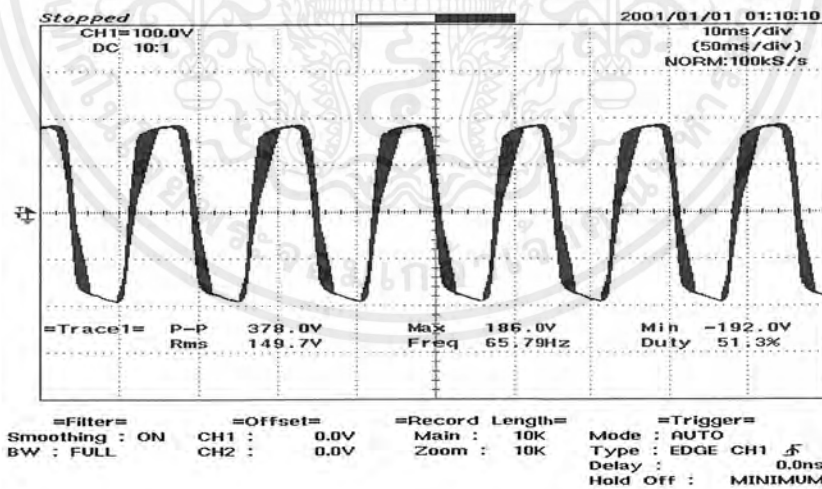


=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก-53 กราฟผลการทดลองคุณสมบัติของระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้สปอร์ตไลท์ 60 วัตต์ เป็นโหลด

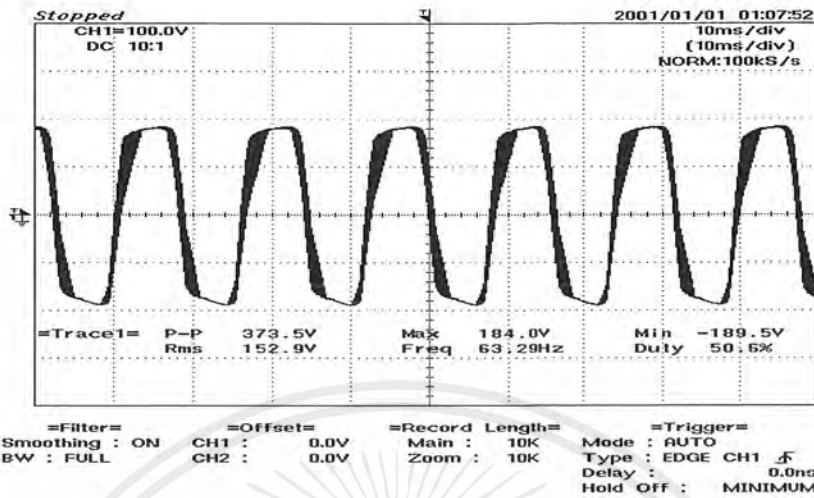


รูปที่ ก-54 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 11 วัตต์เป็นโหลด

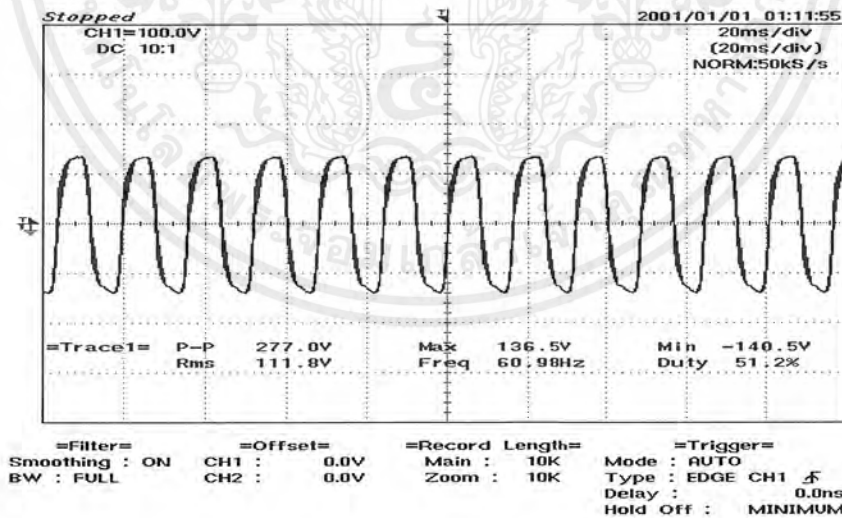


รูปที่ ก-55 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 15 วัตต์เป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

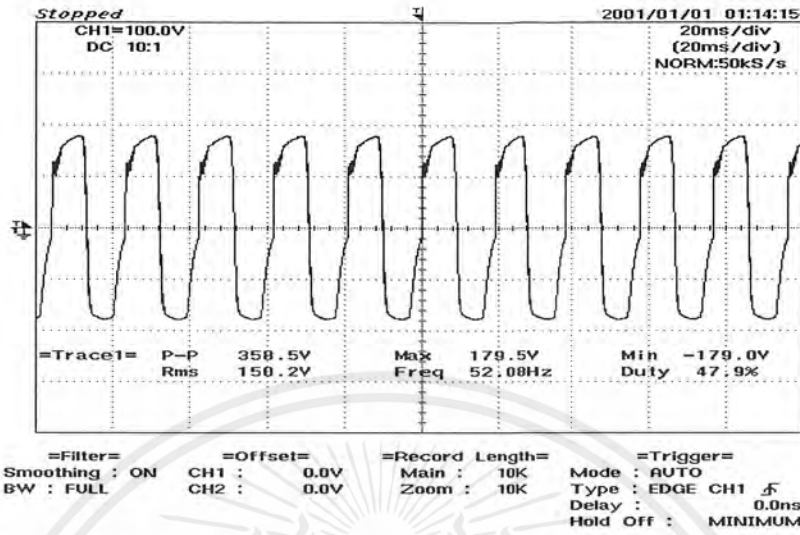


รูปที่ ก-56 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 22 วัตต์เป็นโหลด



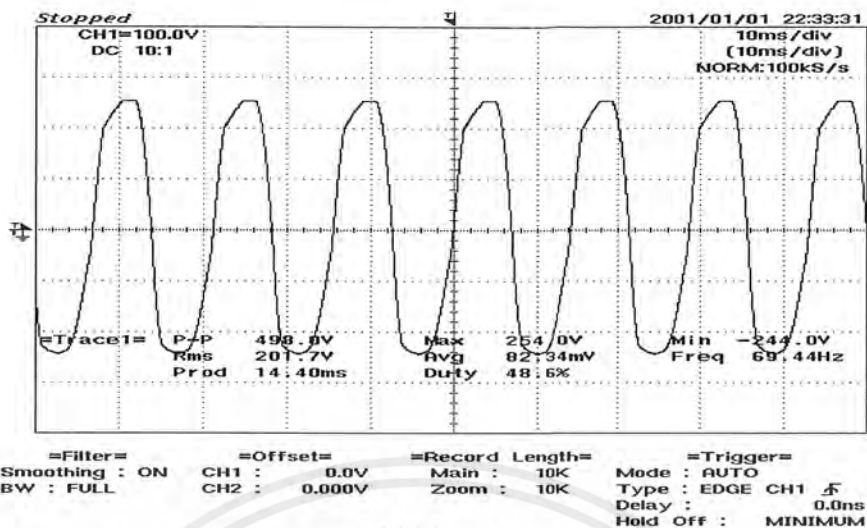
รูปที่ ก-57 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 26 วัตต์เป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

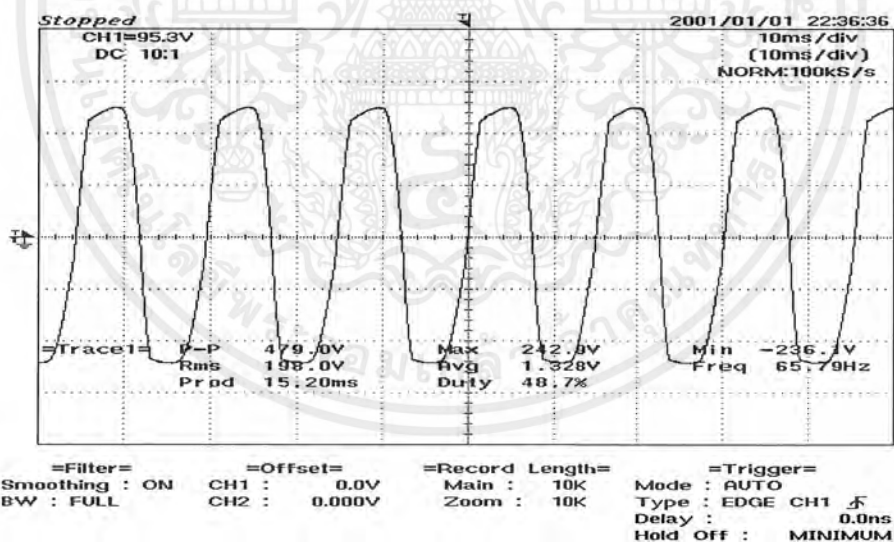


รูปที่ ก-58 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อไม่ผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 37 วัตต์เป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

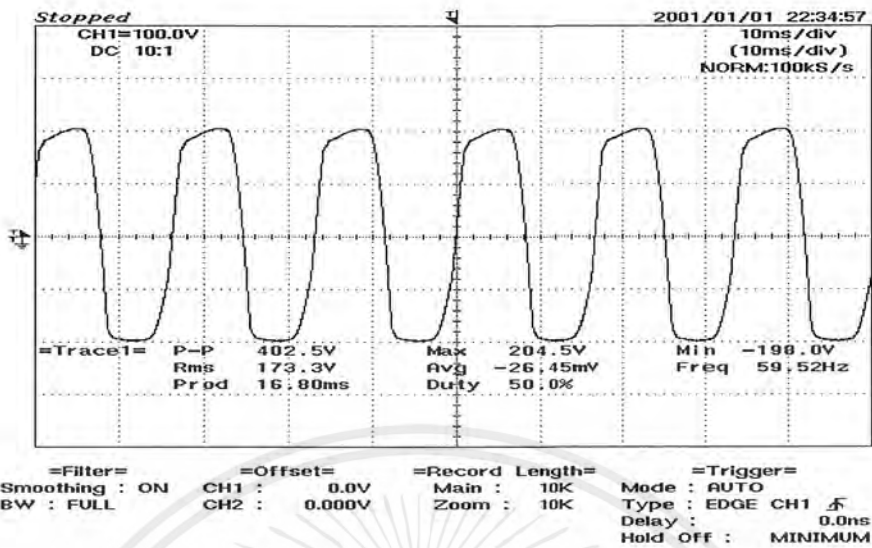


รูปที่ ก-59 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 11 วัตต์เป็นโหลด

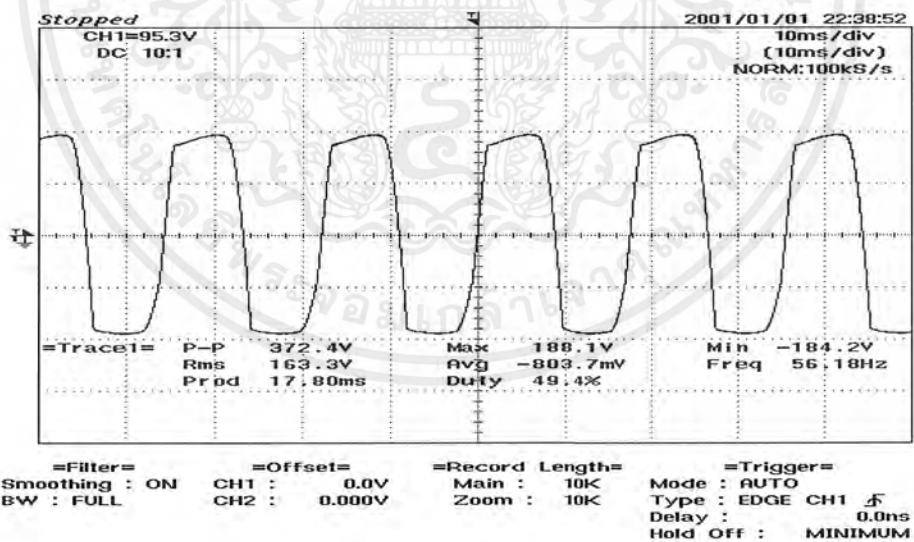


รูปที่ ก-60 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 15 วัตต์เป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

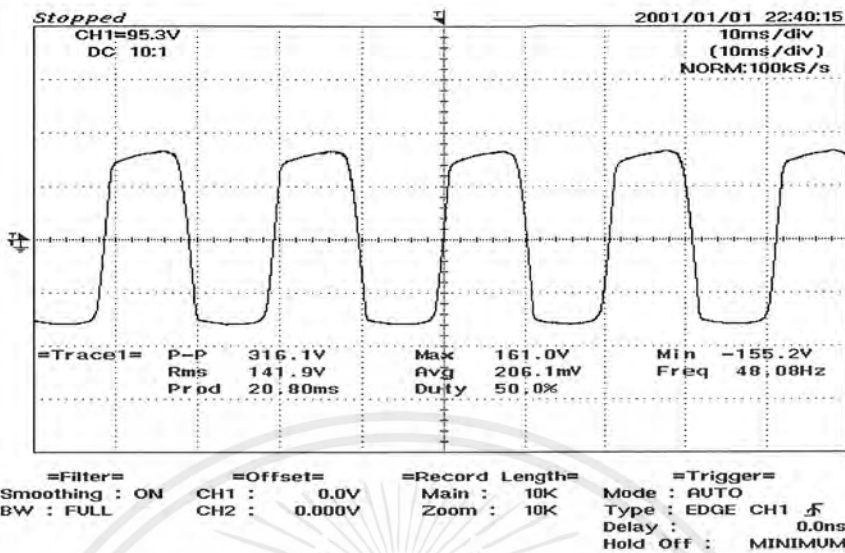


รูปที่ ก-61 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 22 วัตต์เป็นโหลด

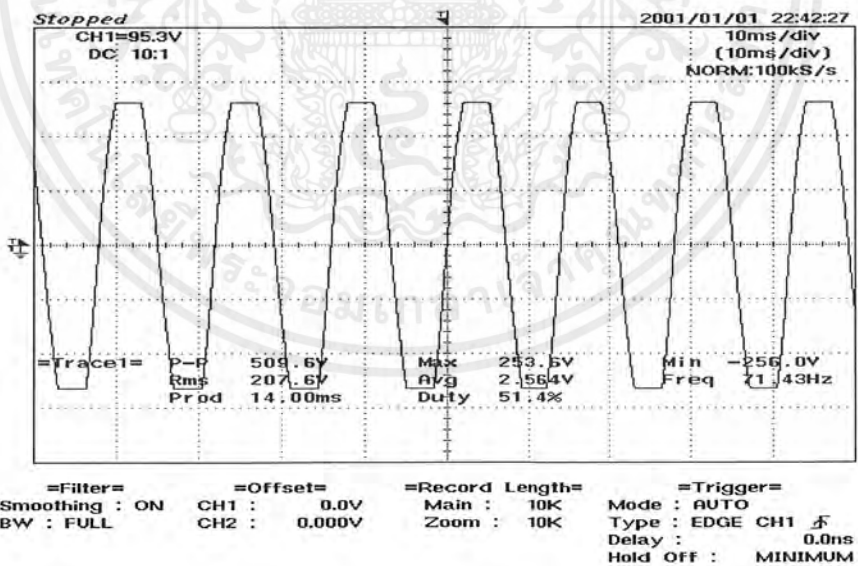


รูปที่ ก-62 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 26 วัตต์เป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

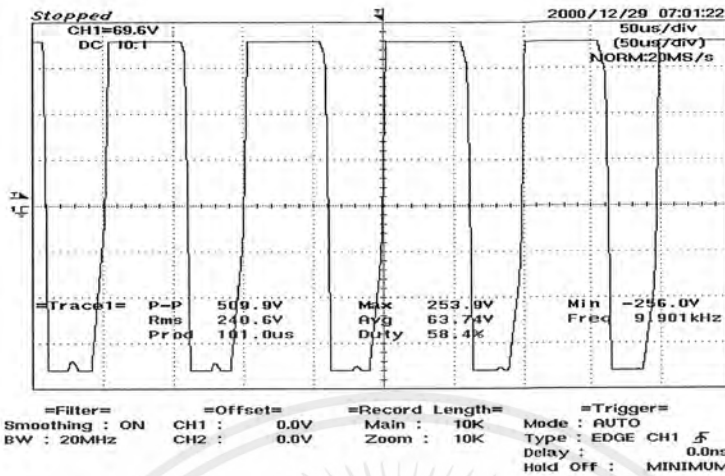


รูปที่ ก-63 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยใช้หลอดตะเกียบ 37 วัตต์เป็นโหลด

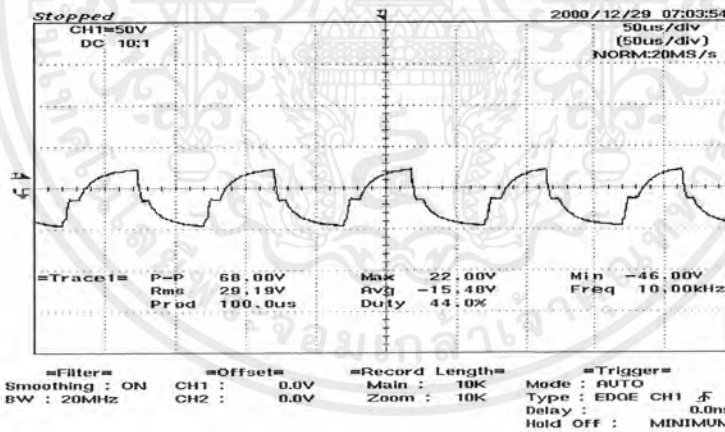


รูปที่ ก-64 กราฟผลการทดลองระบบเมื่อผ่านฟิลเตอร์โดยไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

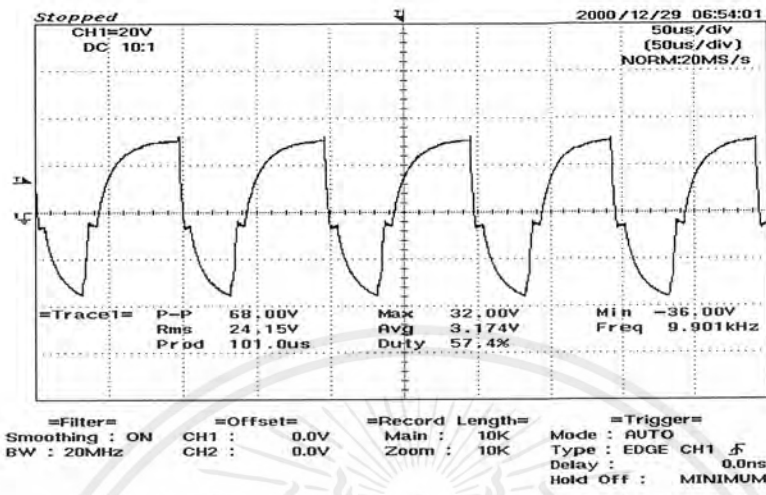


รูปที่ ก-65 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อมีวงจร PI ไม่มีโหลด

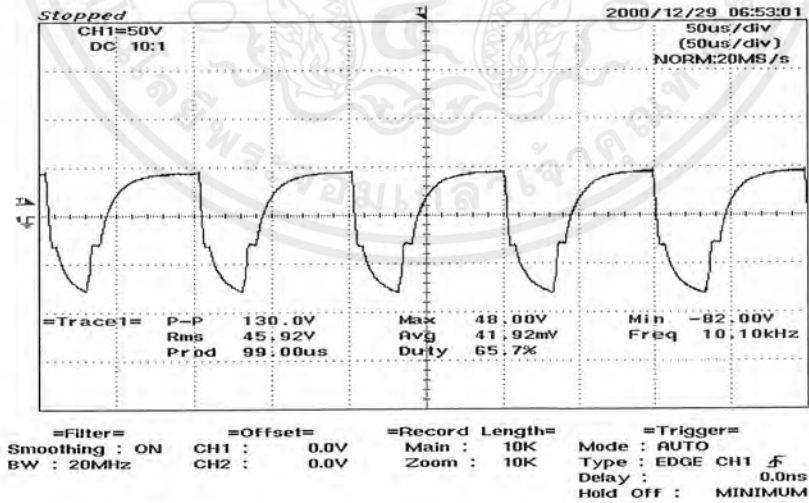


รูปที่ ก-66 ผลการทดลองเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

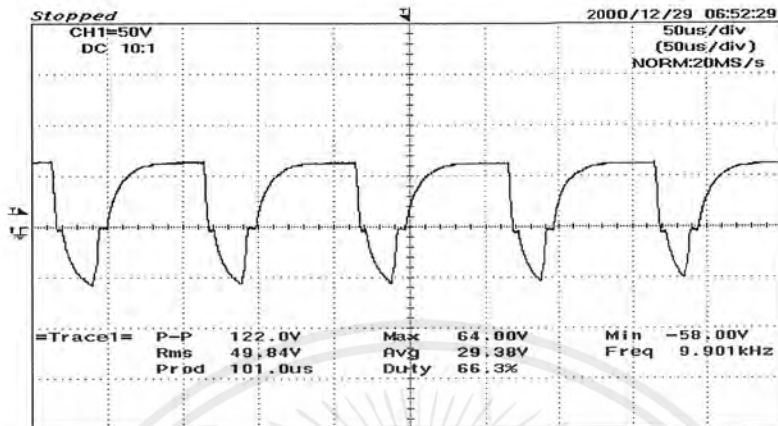


รูปที่ ก-67 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 2



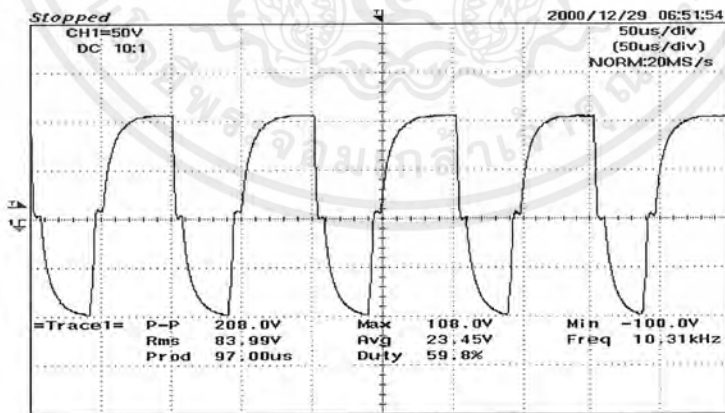
รูปที่ ก-68 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
=Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

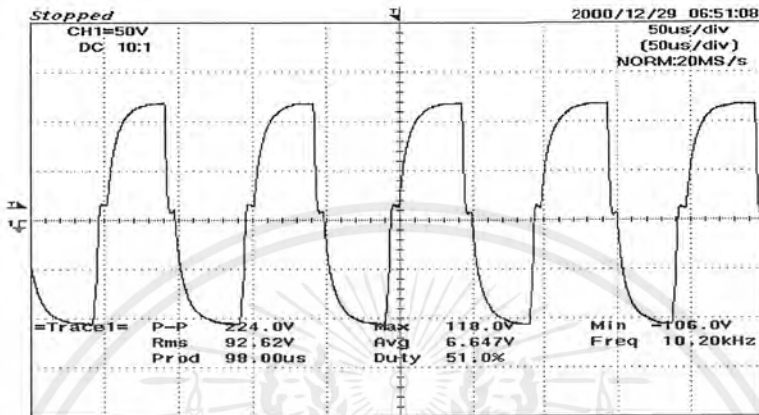
รูปที่ ก-69 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 4



=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
=Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

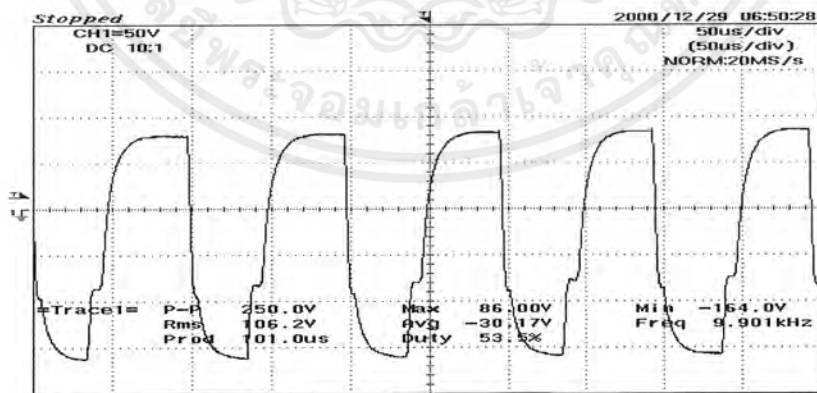
รูปที่ ก-70 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
=Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

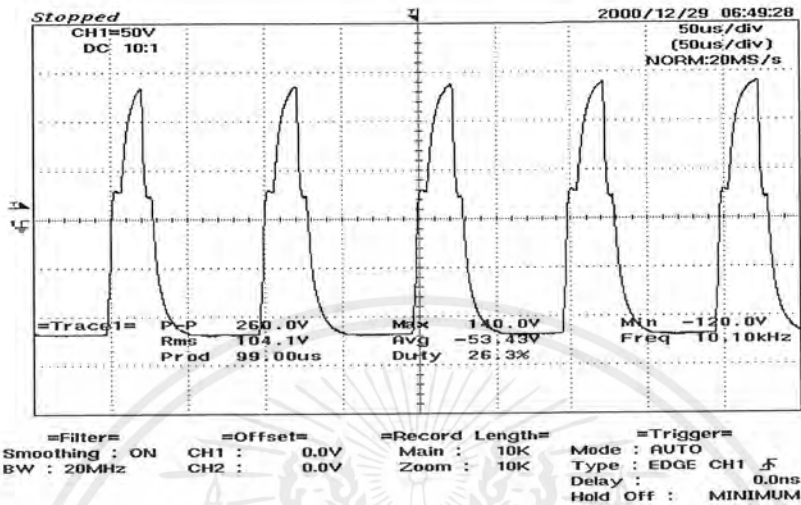
รูปที่ ก-71 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 6



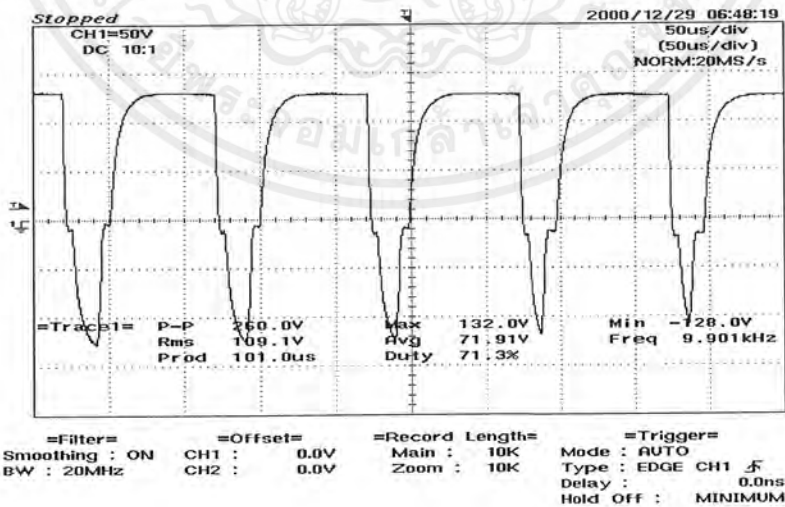
=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
=Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0V
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก-72 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

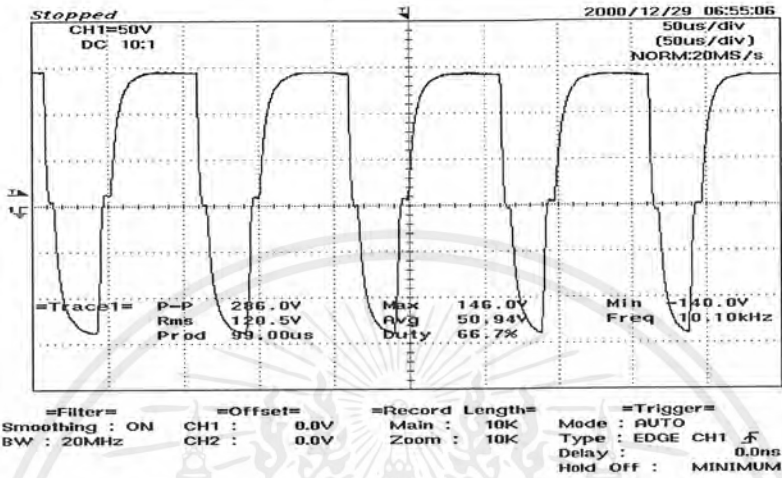


รูปที่ ก-73 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 8

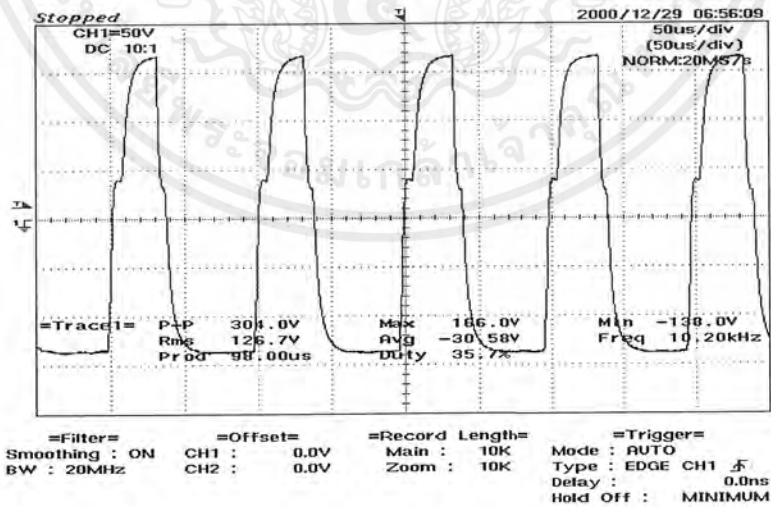


รูปที่ ก-74 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

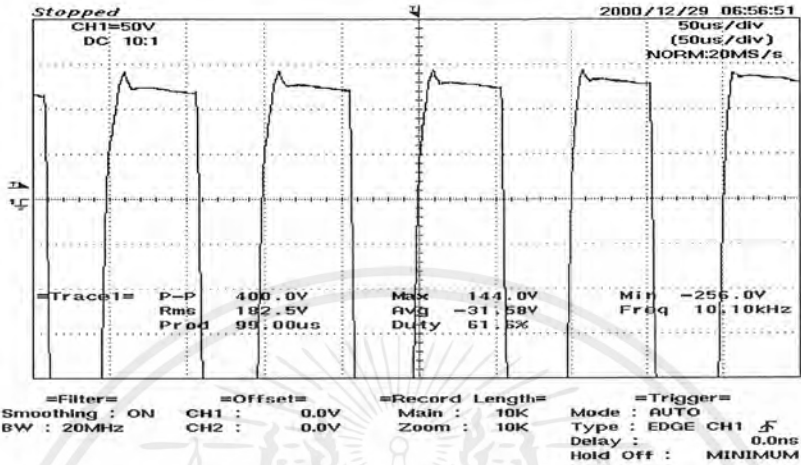


รูปที่ ก-75 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 10

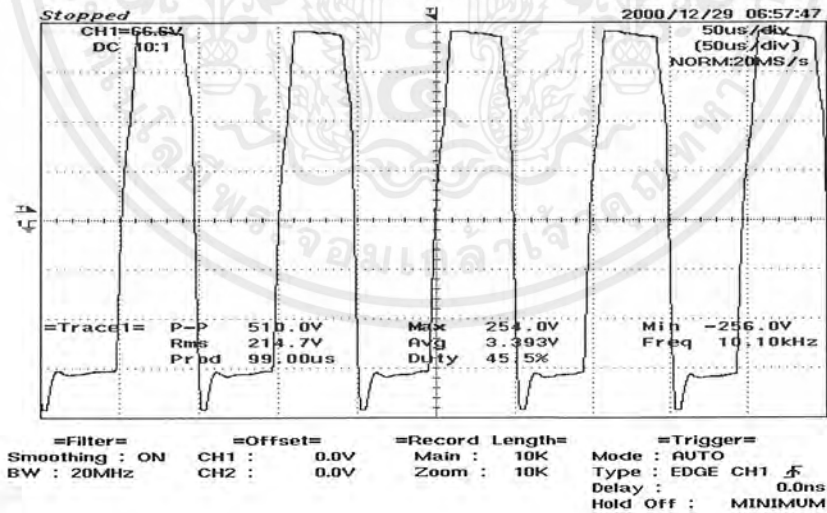


รูปที่ ก-76 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

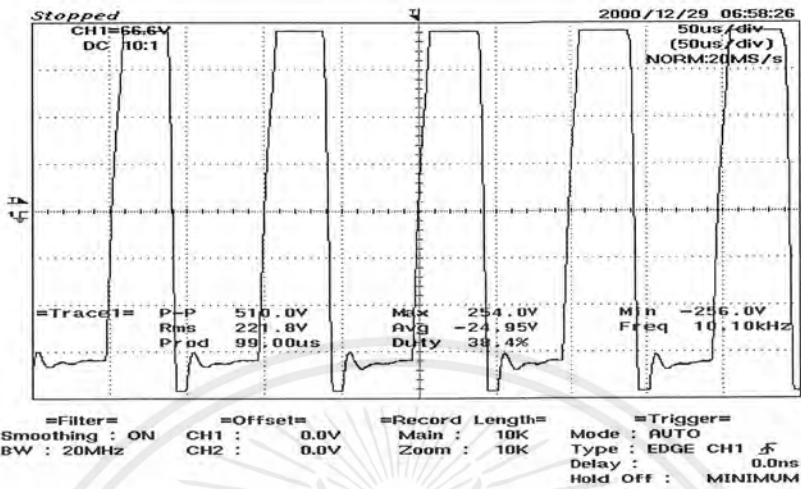


รูปที่ ก-77 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 12

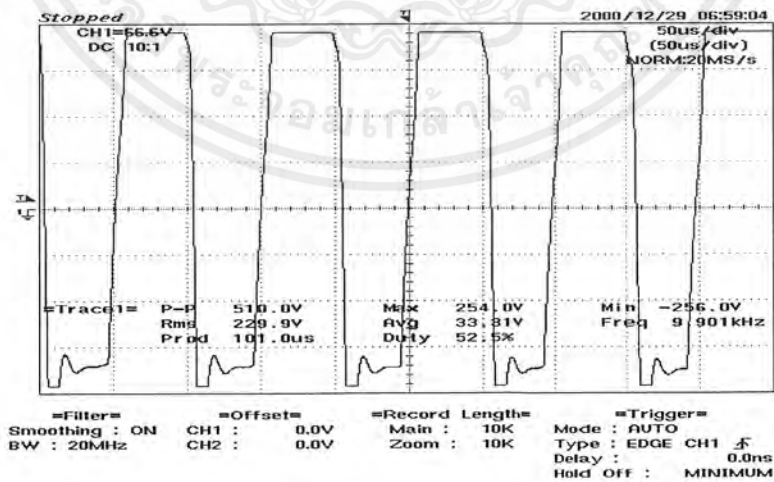


รูปที่ ก-78 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

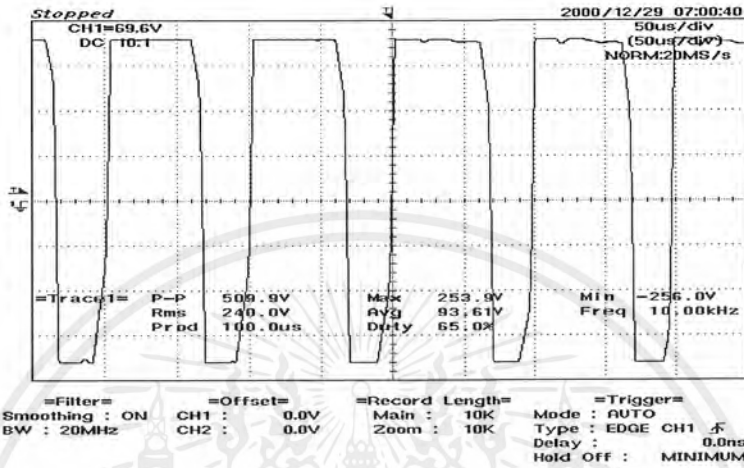


รูปที่ ก-79 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 14



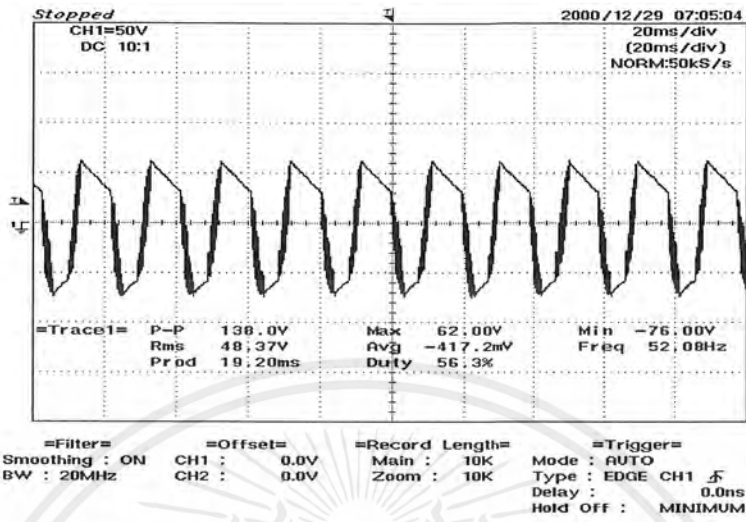
รูปที่ ก-80 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

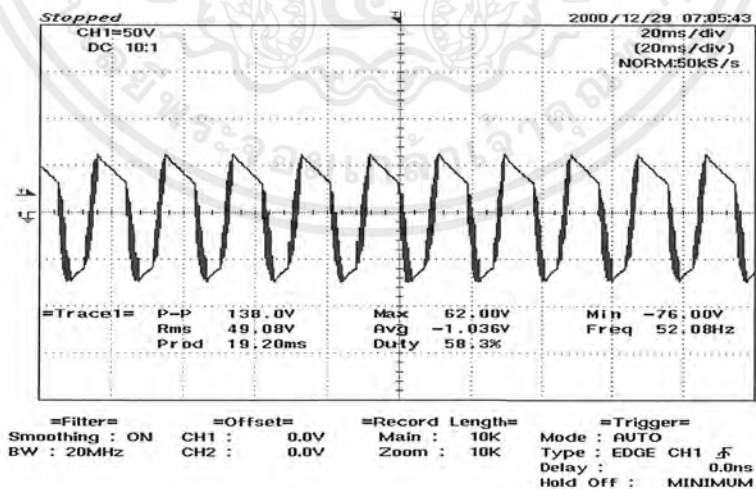


รูปที่ ก-81 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบเมื่อไม่มีวงจร PI ครั้งที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

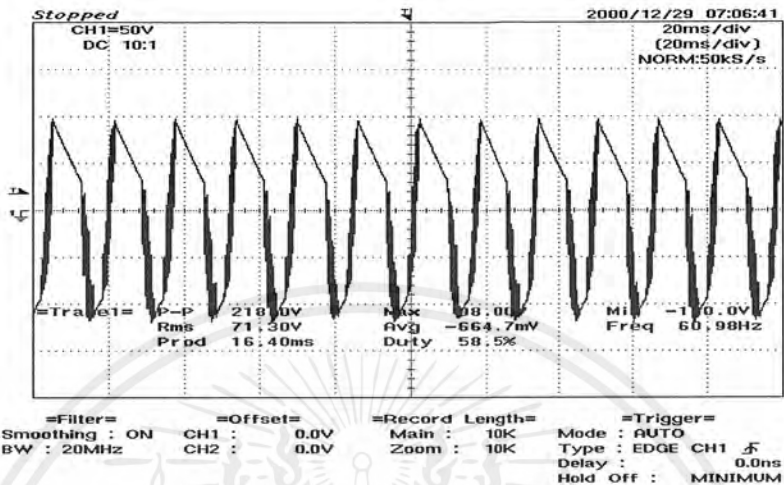


รูปที่ ก-82 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 1

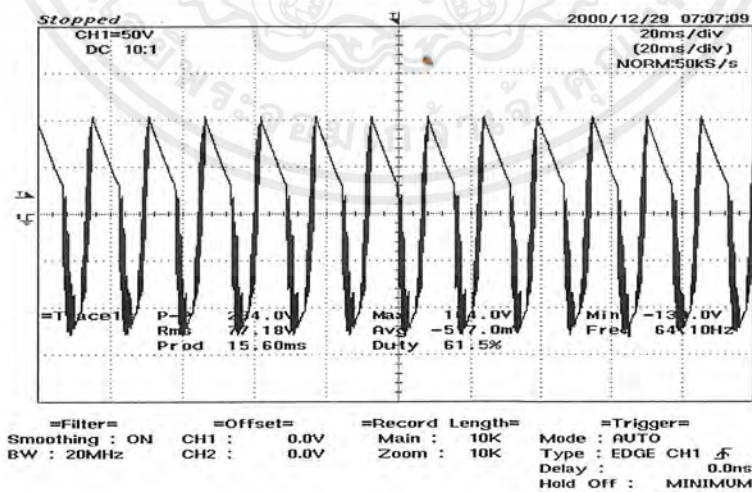


รูปที่ ก-83 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

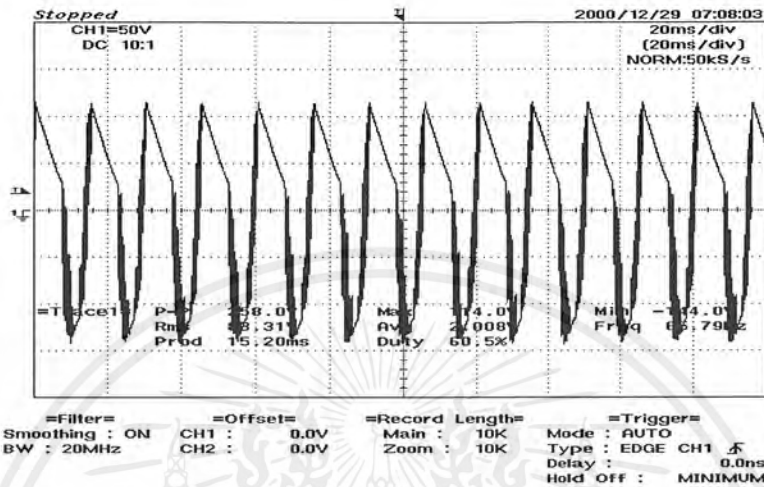


รูปที่ ก-84 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 3

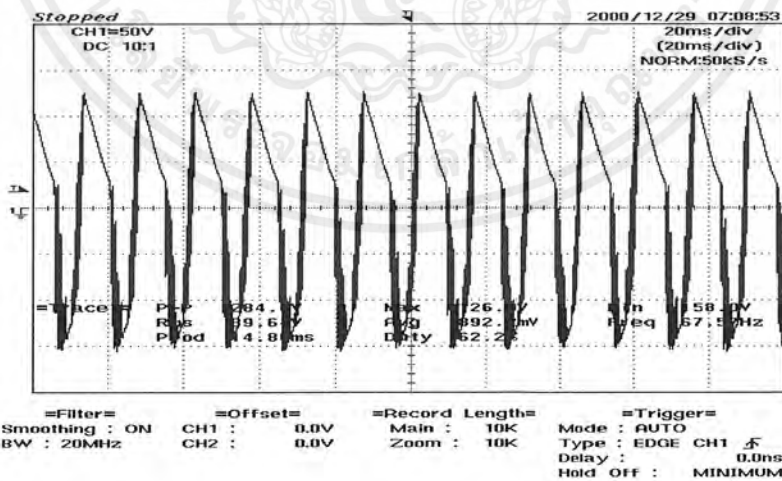


รูปที่ ก-85 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

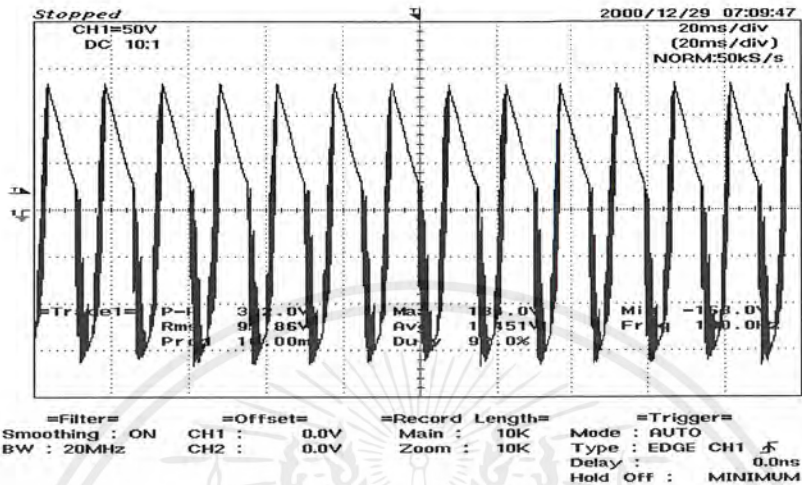


รูปที่ ก-86 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 5

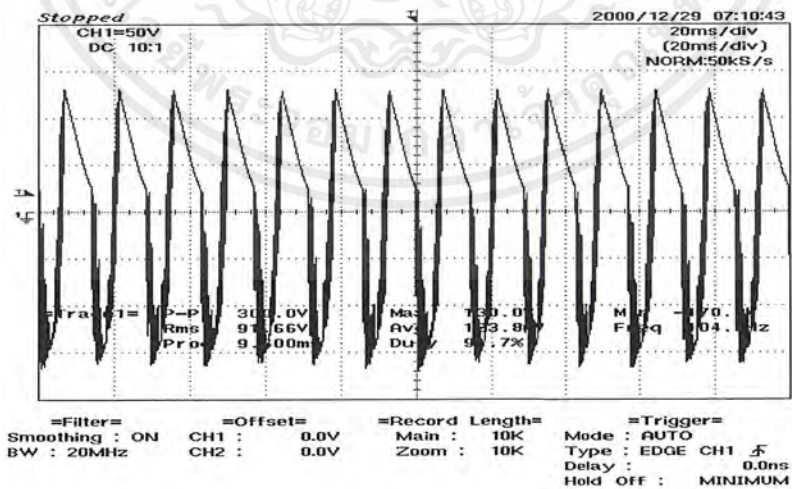


รูปที่ ก-87 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

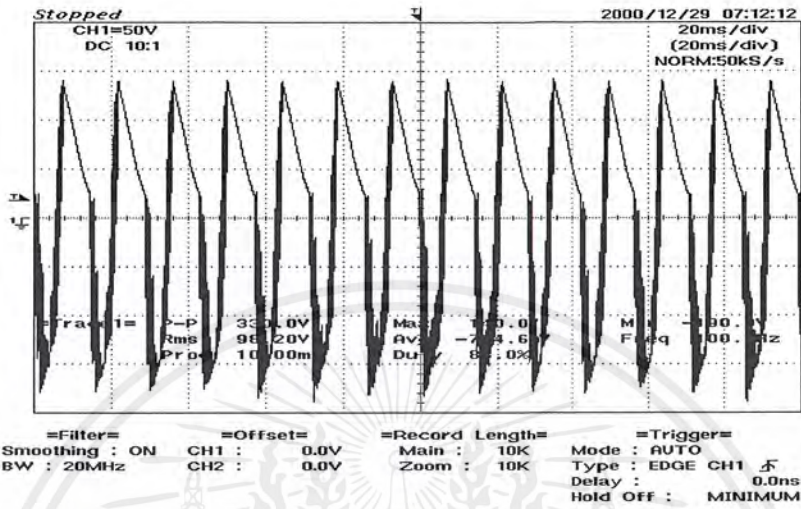


รูปที่ ก-88 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 7



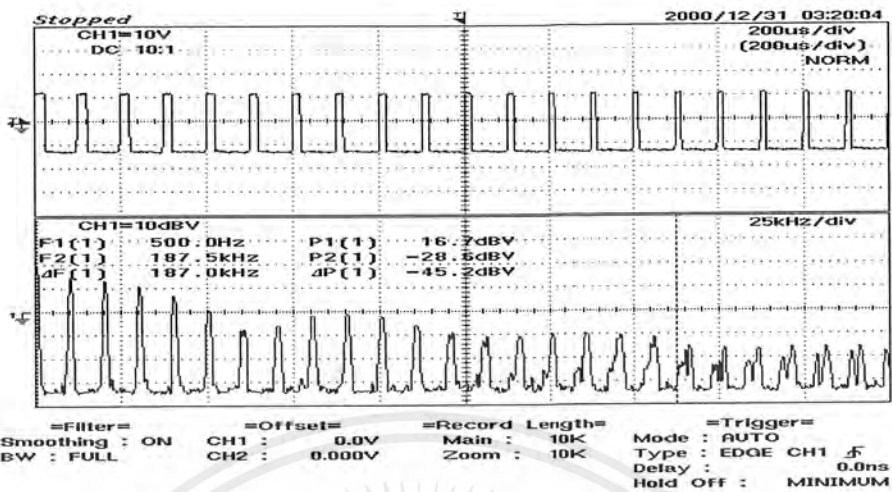
รูปที่ ก-89 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

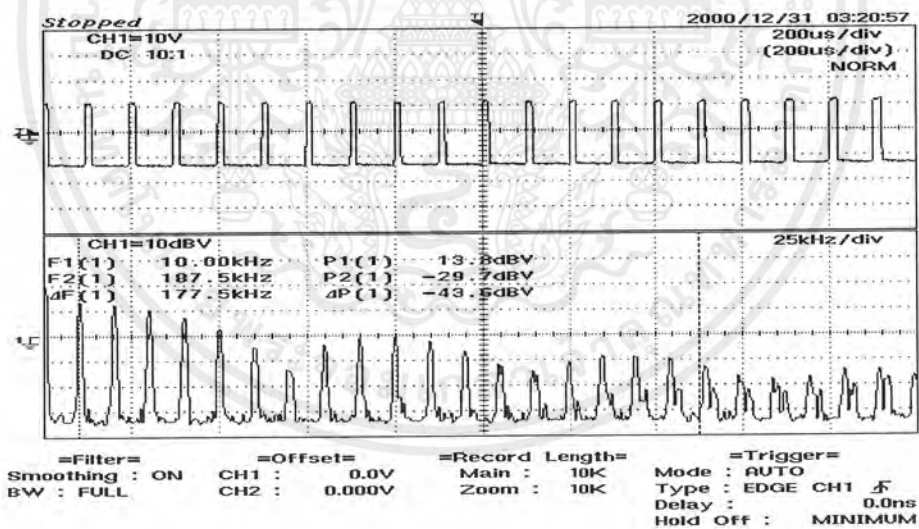


รูปที่ ก-90 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจร PI เข้าไปในระบบครั้งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

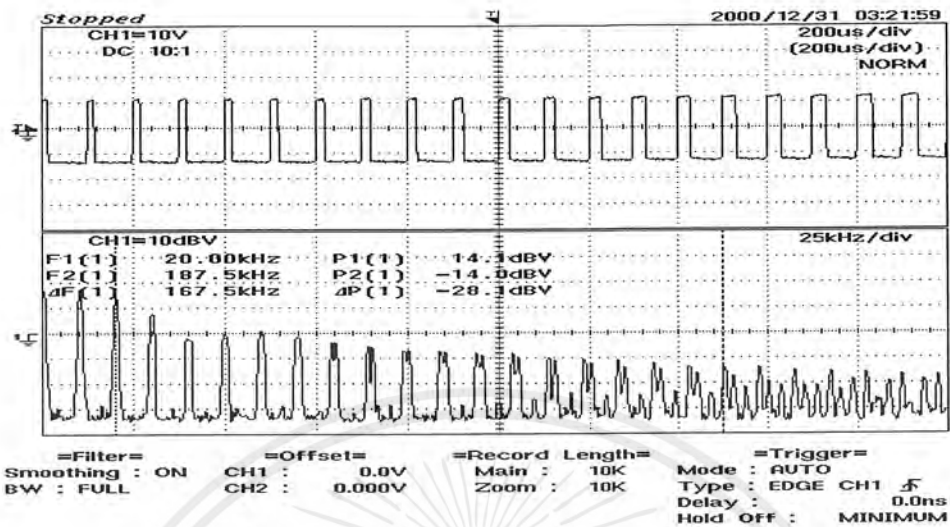


รูปที่ ก-91 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 1

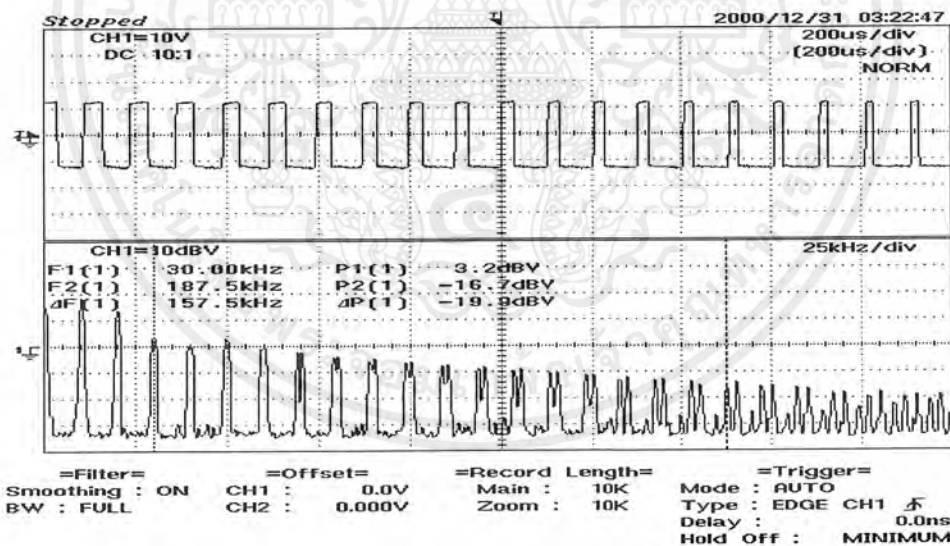


รูปที่ ก-92 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

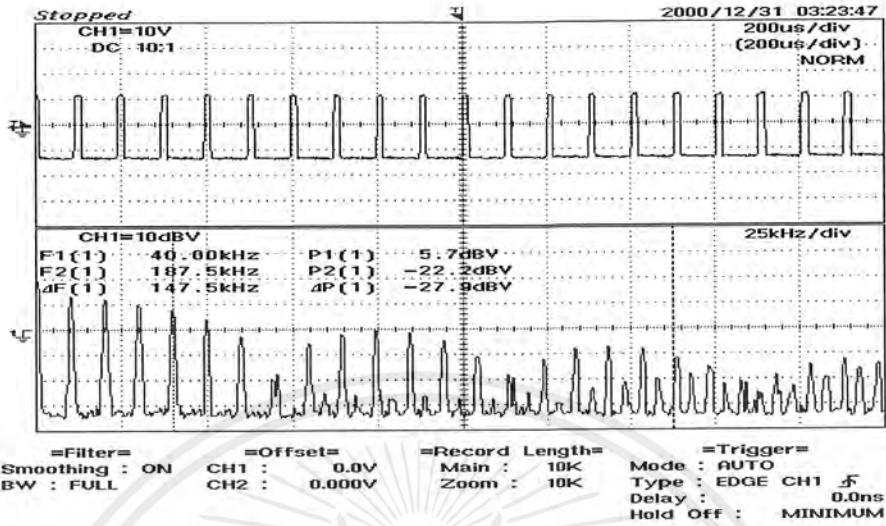


รูปที่ ก-93 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 3

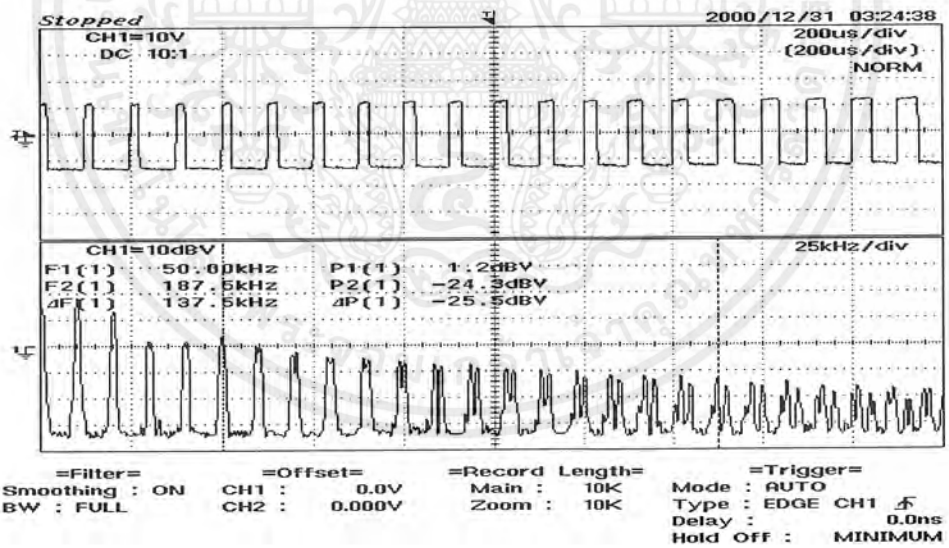


รูปที่ ก-94 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

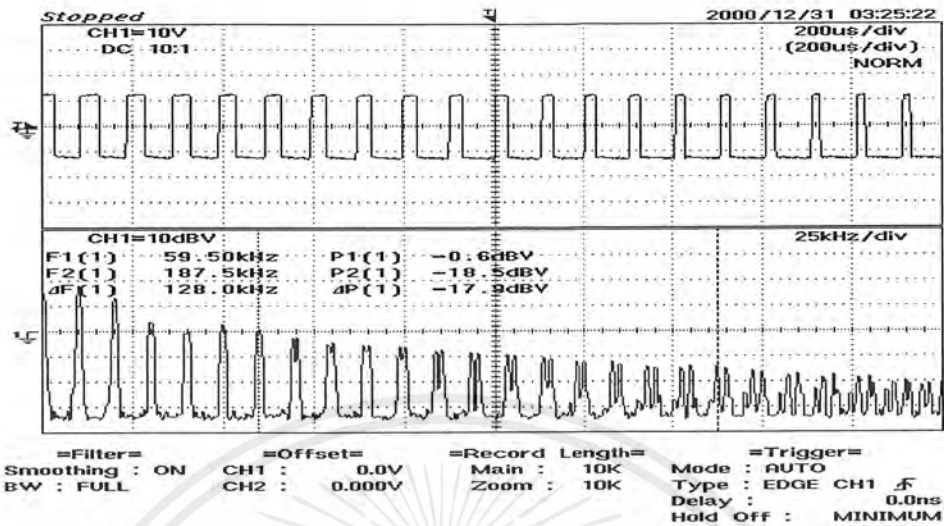


รูปที่ ก-95 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 5

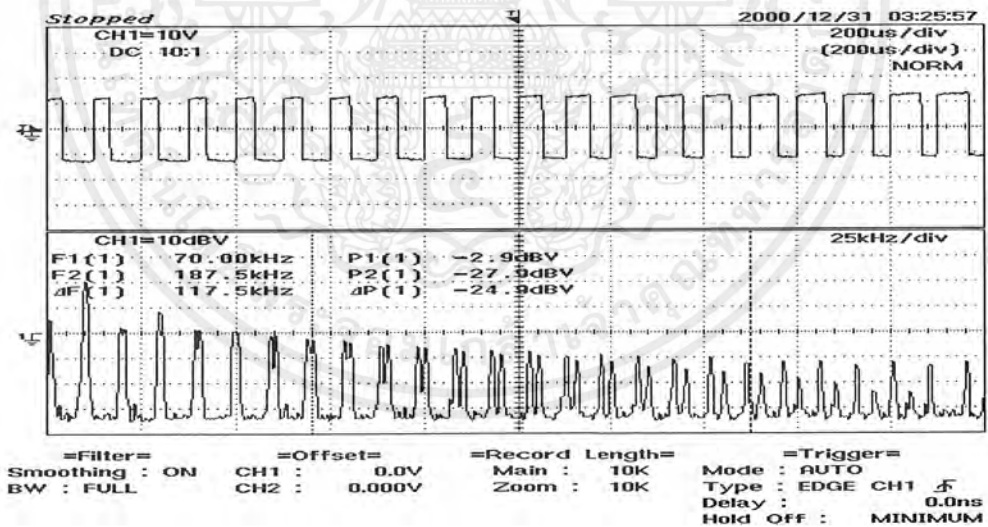


รูปที่ ก-96 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

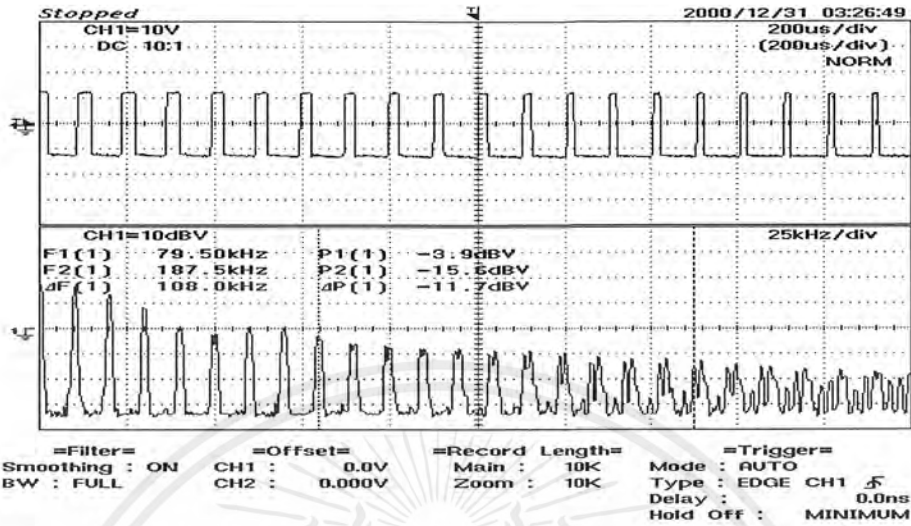


รูปที่ ก-97 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 7

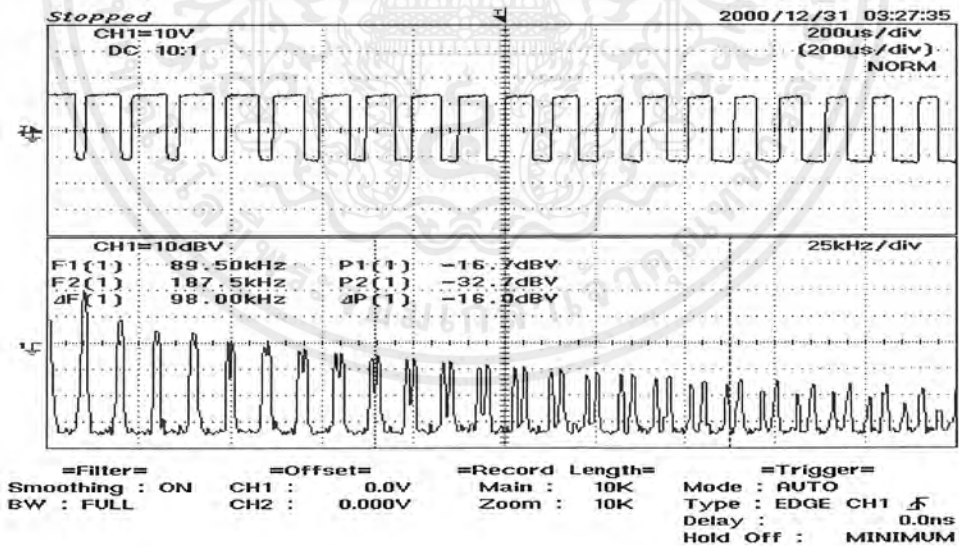


รูปที่ ก-98 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

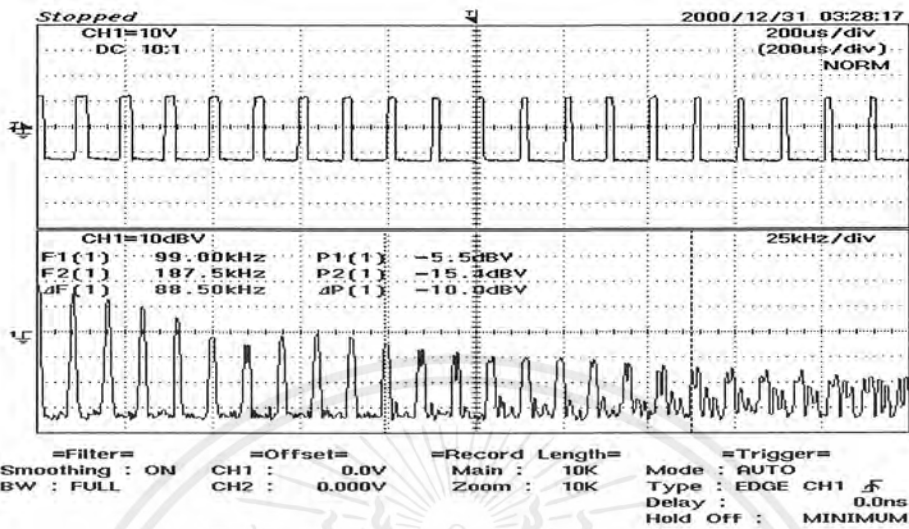


รูปที่ ก-99 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกสเปกตรัม SPWM ครั้งที่ 9

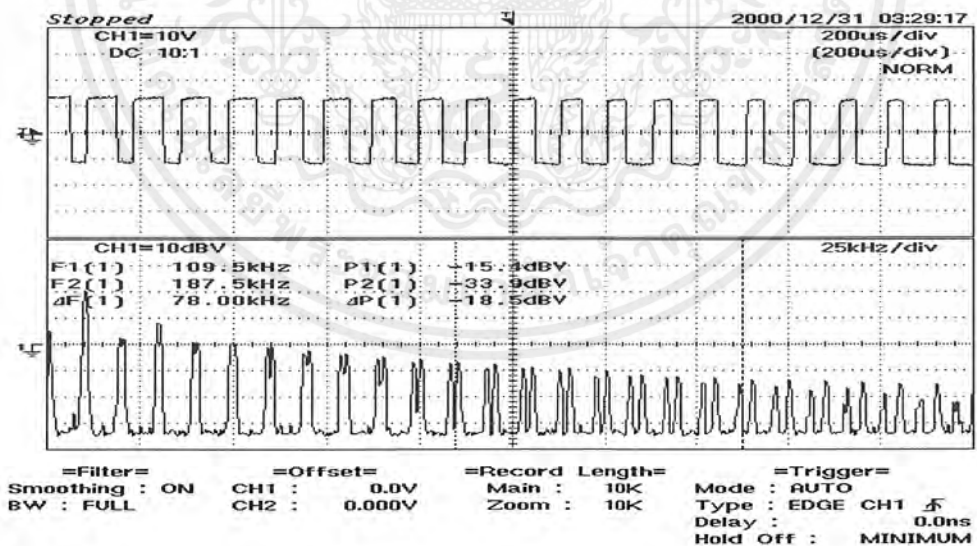


รูปที่ ก-100 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกสเปกตรัม SPWM ครั้งที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

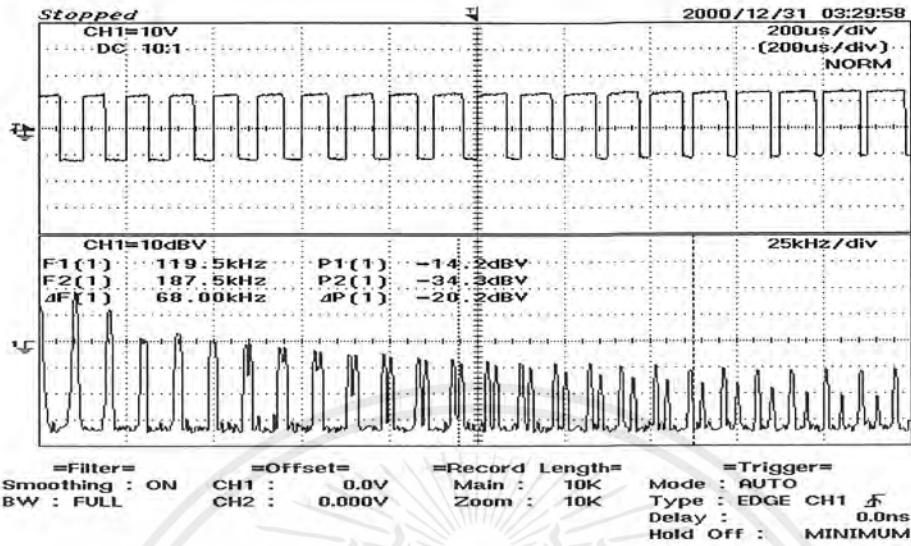


รูปที่ ก-101 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 11

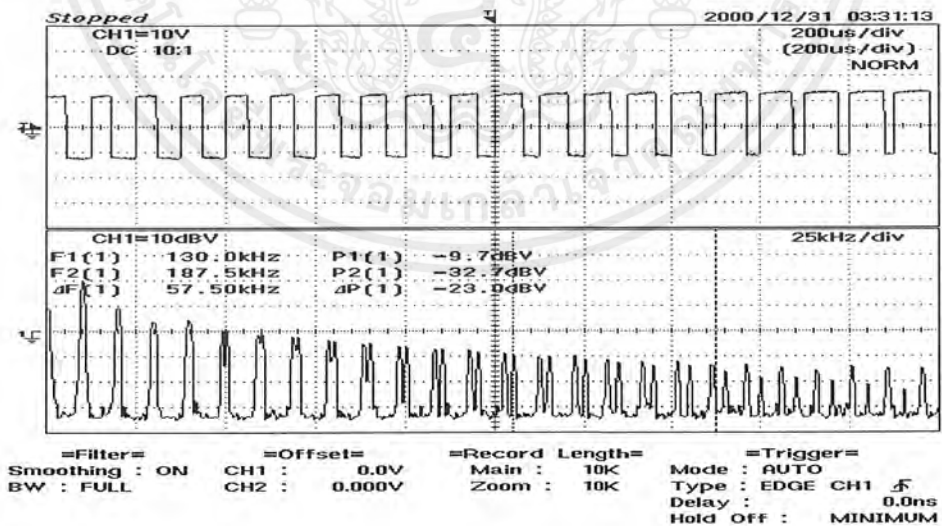


รูปที่ ก-102 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

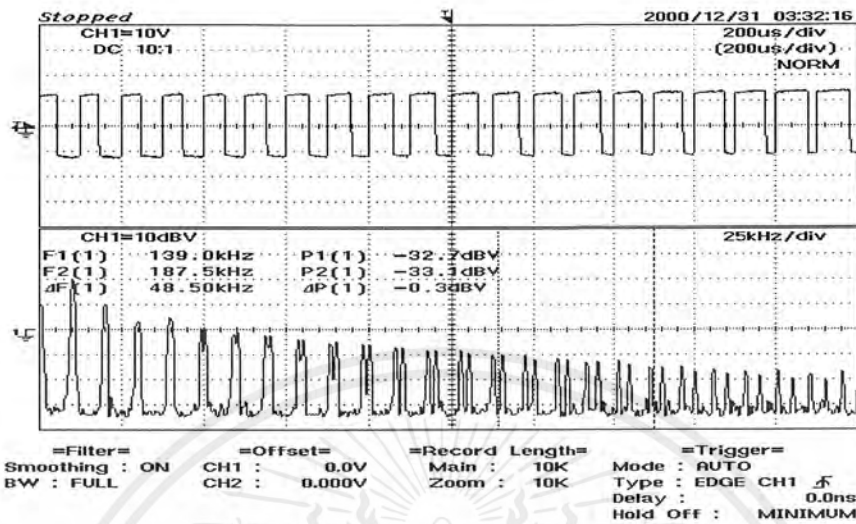


รูปที่ ก-103 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 13



รูปที่ ก-104 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครั้งที่ 14

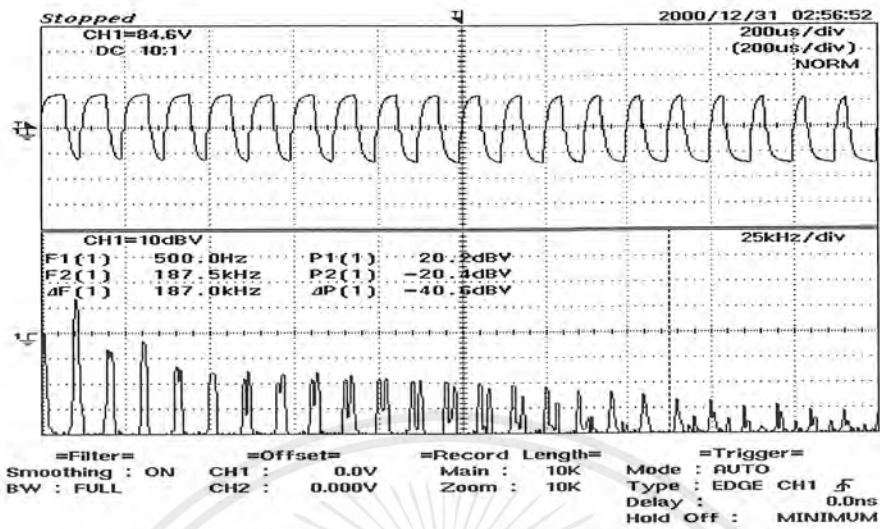
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



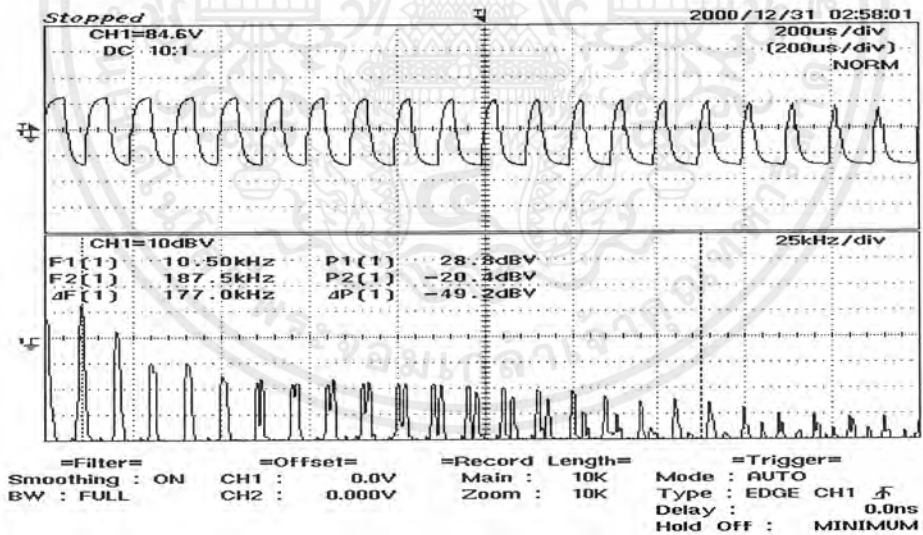
รูปที่ ก-105 กราฟผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ที่ SPWM ครึ่งที่ 15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

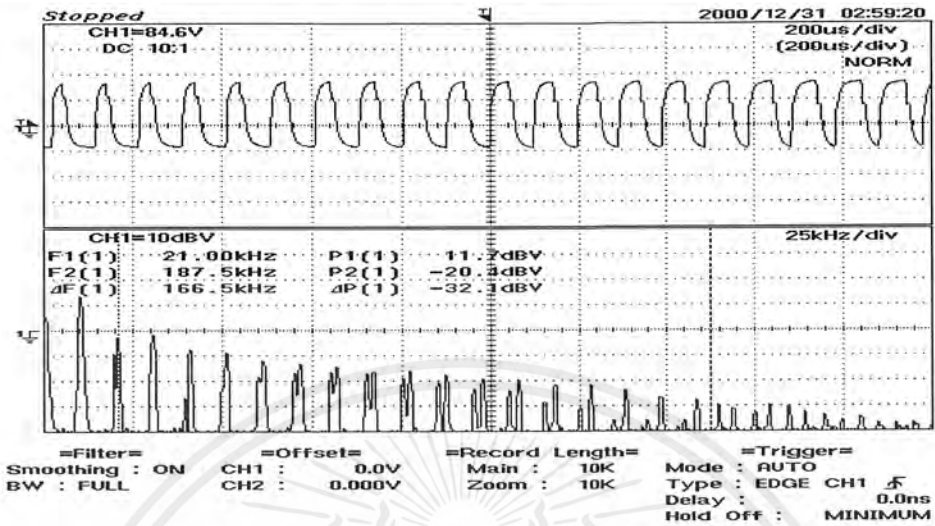


รูปที่ ก-106 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 1

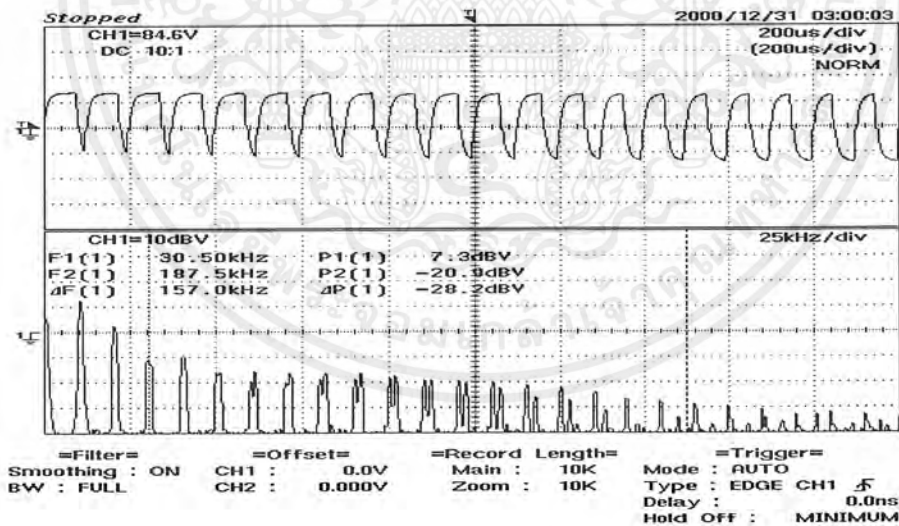


รูปที่ ก-107 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

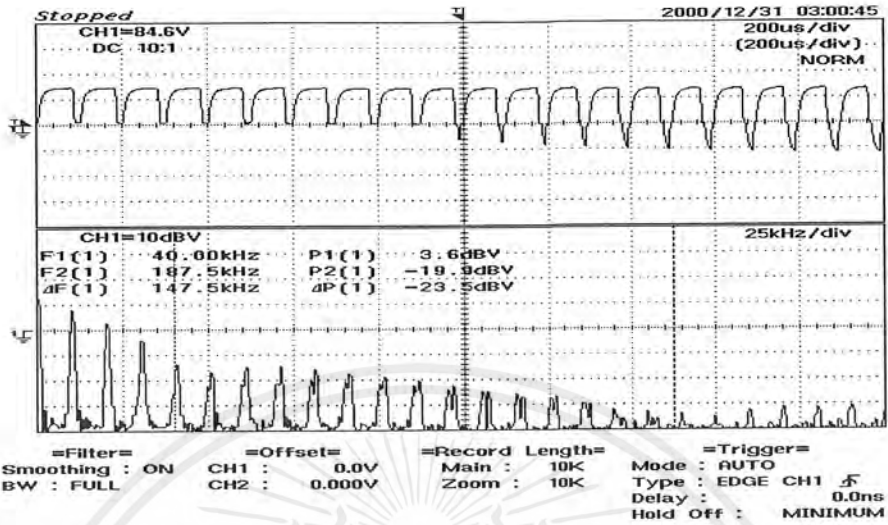


รูปที่ ก-108 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 3

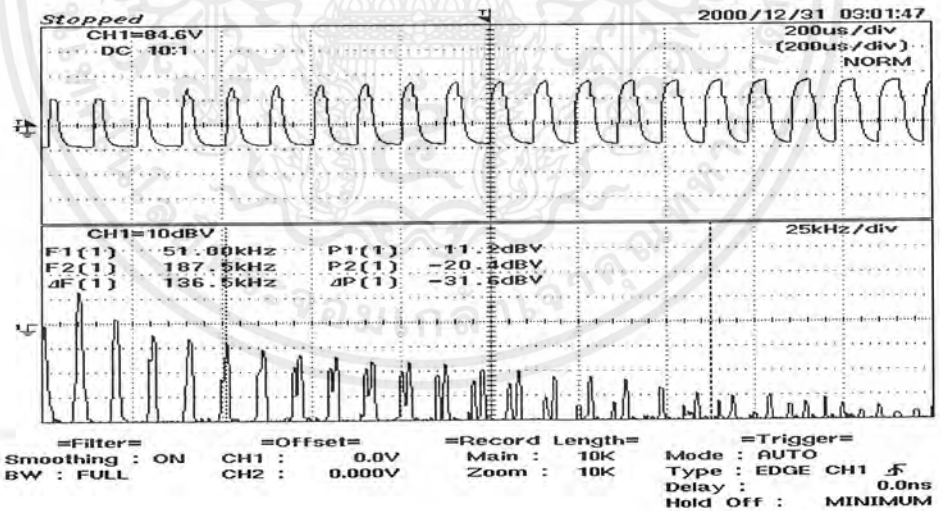


รูปที่ ก-109 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

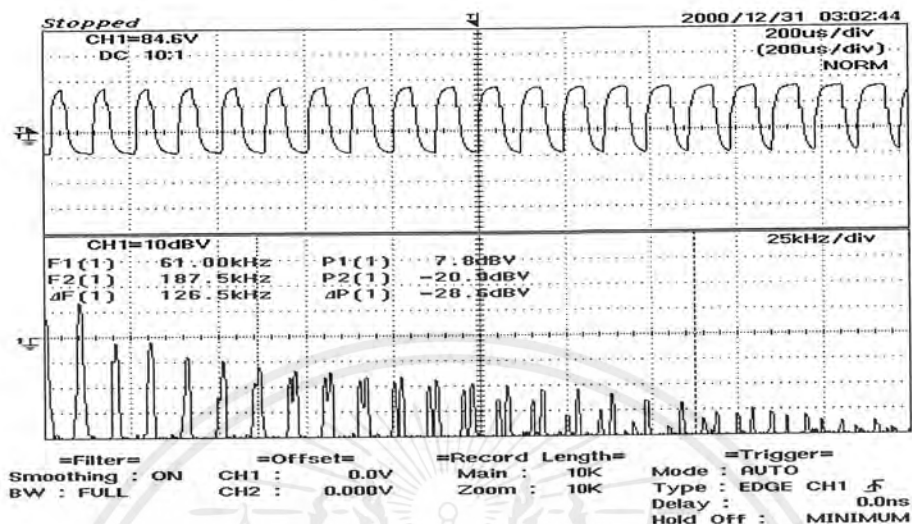


รูปที่ ก-110 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 5

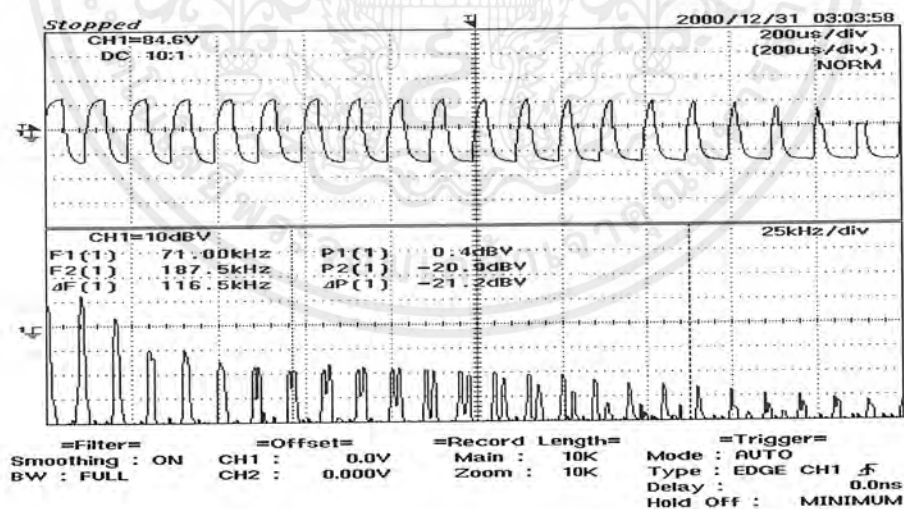


รูปที่ ก-111 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

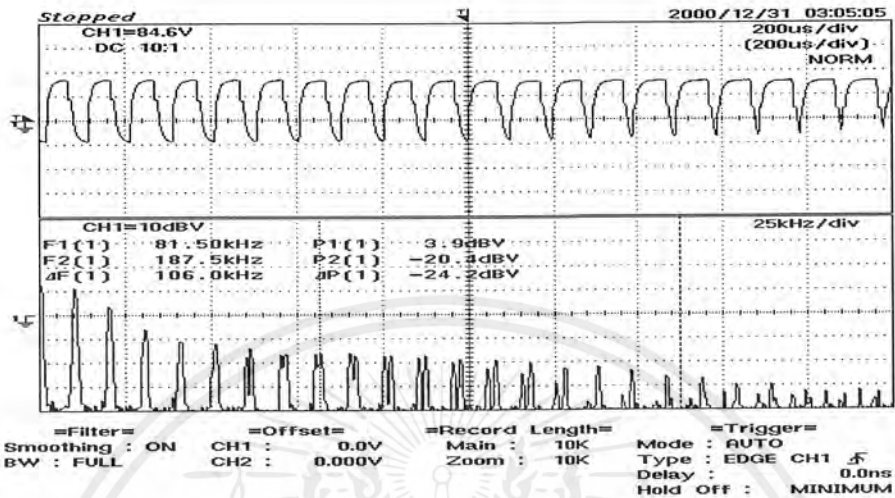


รูปที่ ก-112 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 7

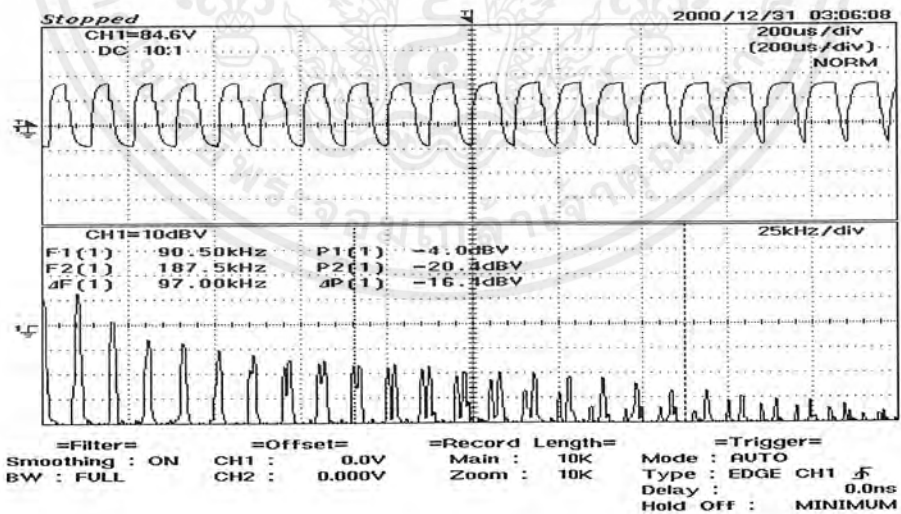


รูปที่ ก-113 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

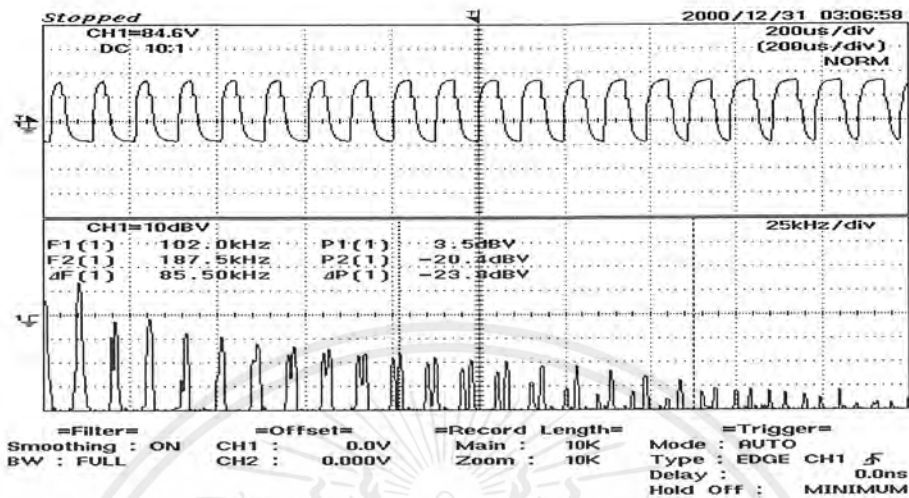


รูปที่ ก-114 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 9

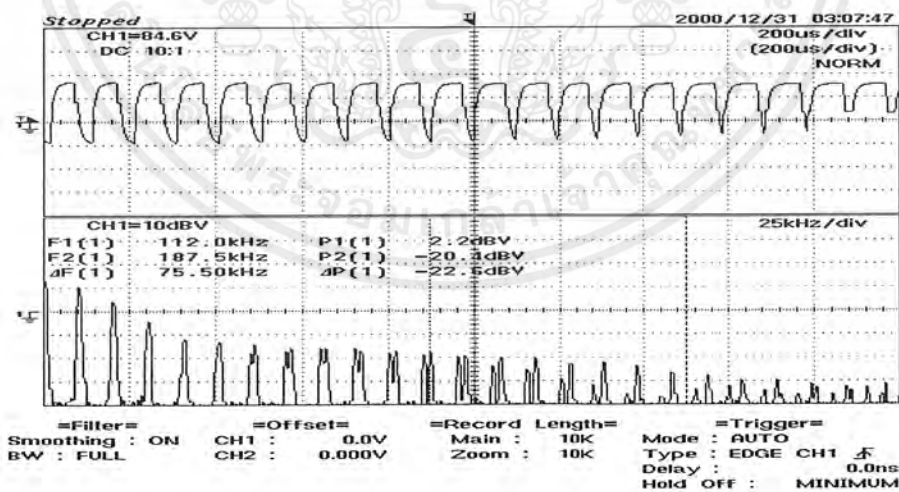


รูปที่ ก-115 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

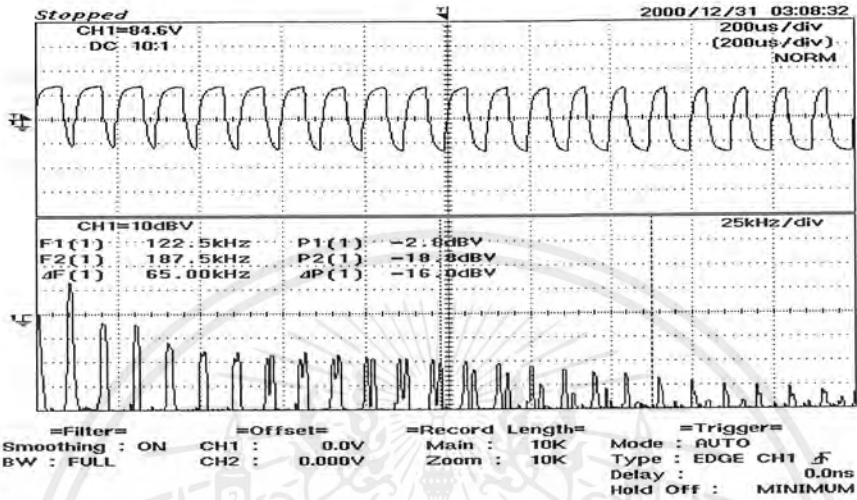


รูปที่ ก-116 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 11

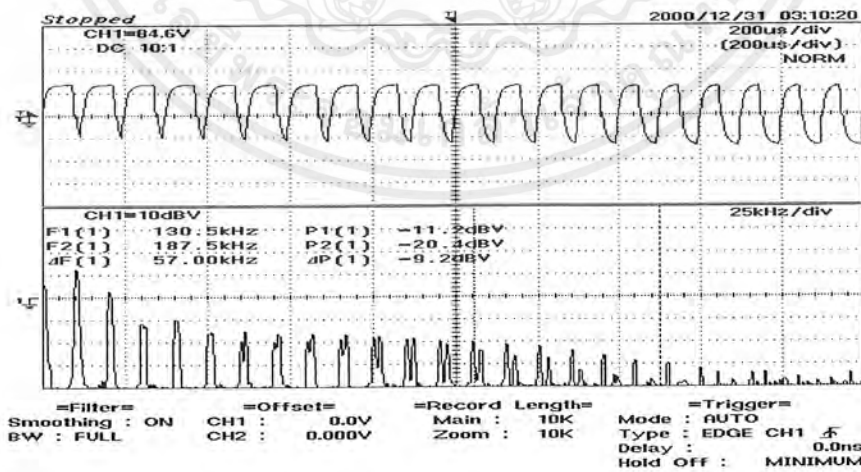


รูปที่ ก-117 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

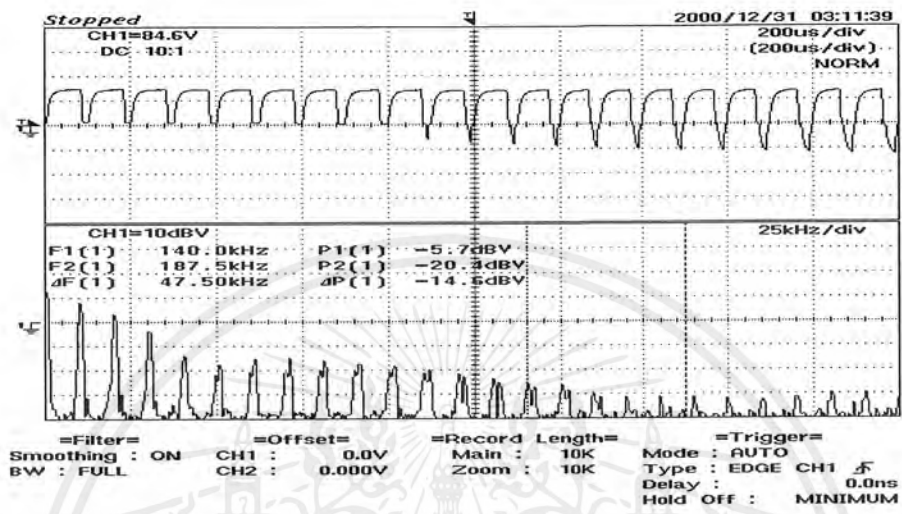


รูปที่ ก-118 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 13



รูปที่ ก-119 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

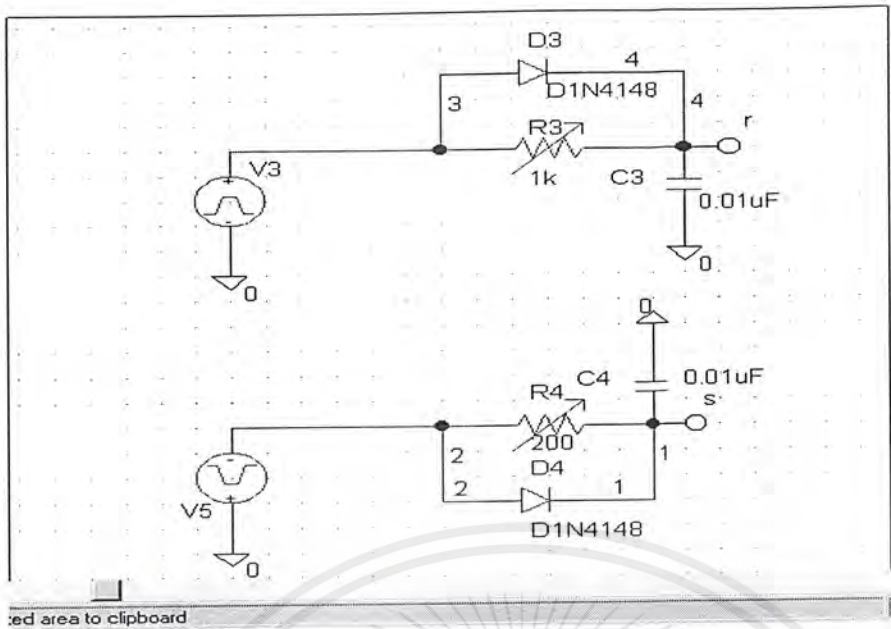


รูปที่ ก-120 กราฟแสดงผลการทดลองหาฮาร์โมนิกส์ของระบบรวมครั้งที่ 15

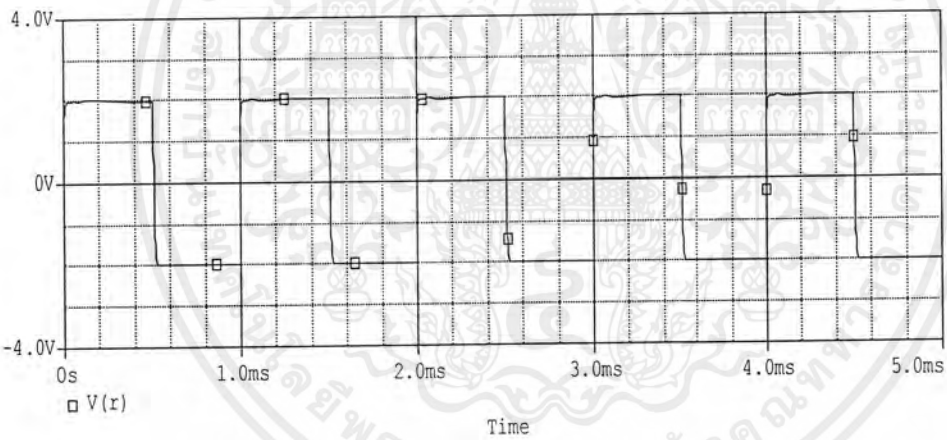
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



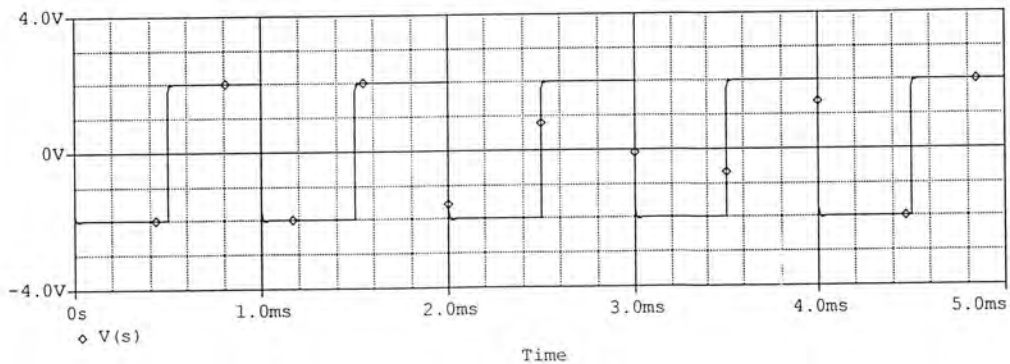
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-1 แสดงวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้วงจรเคดไทม์

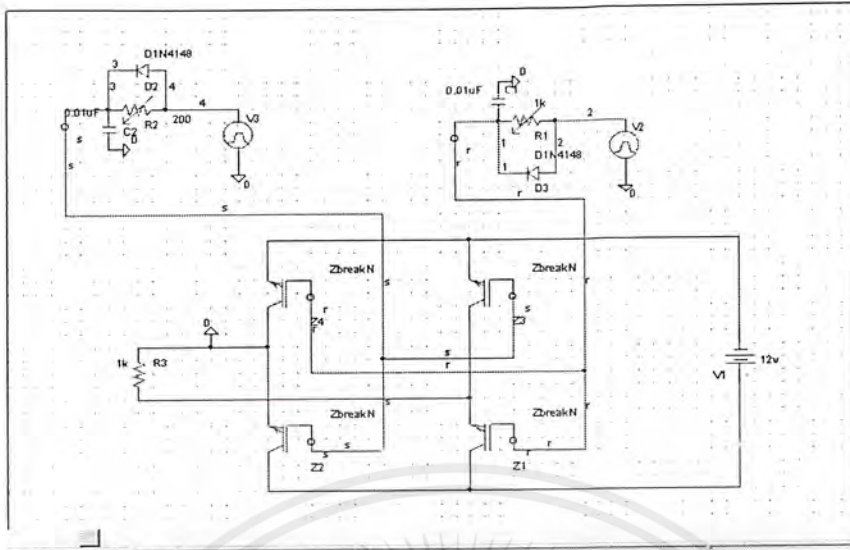


รูปที่ ข-2 แสดงผลของการวิเคราะห์ห้วงจรเคดไทม์

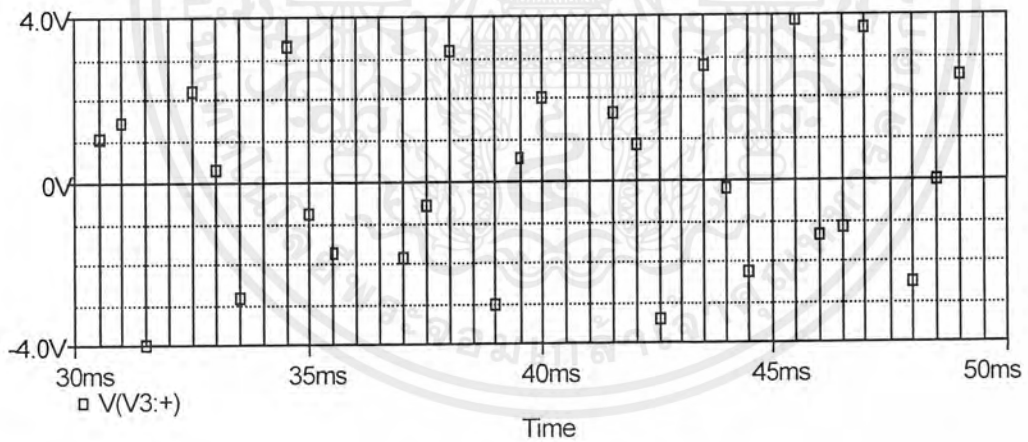


รูปที่ ข-2 (ต่อ) แสดงผลของการวิเคราะห์ห้วงจรเคดไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

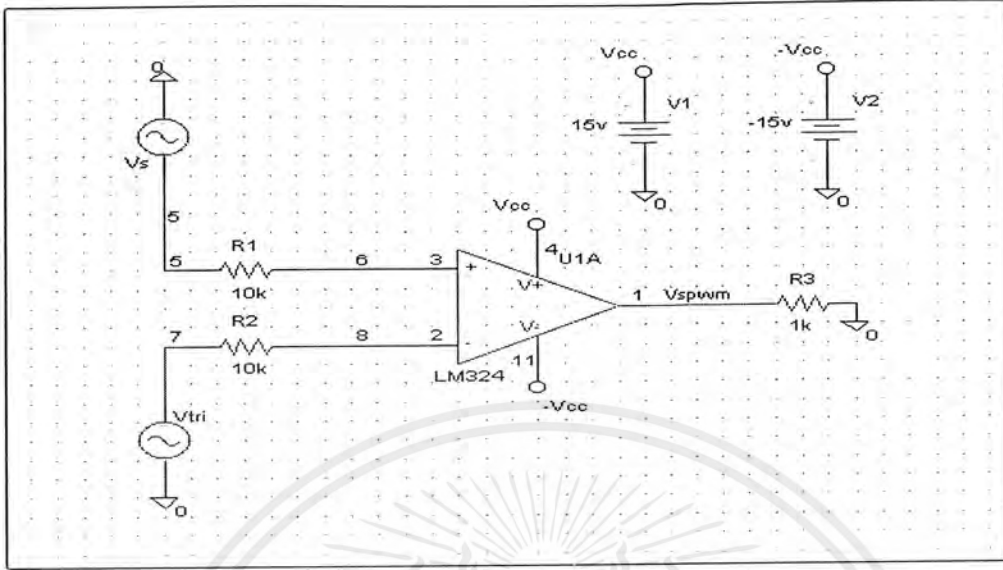


รูปที่ ข-3 แสดงรูปวงจรการวิเคราะห์ห้วงจรขั้วเบด

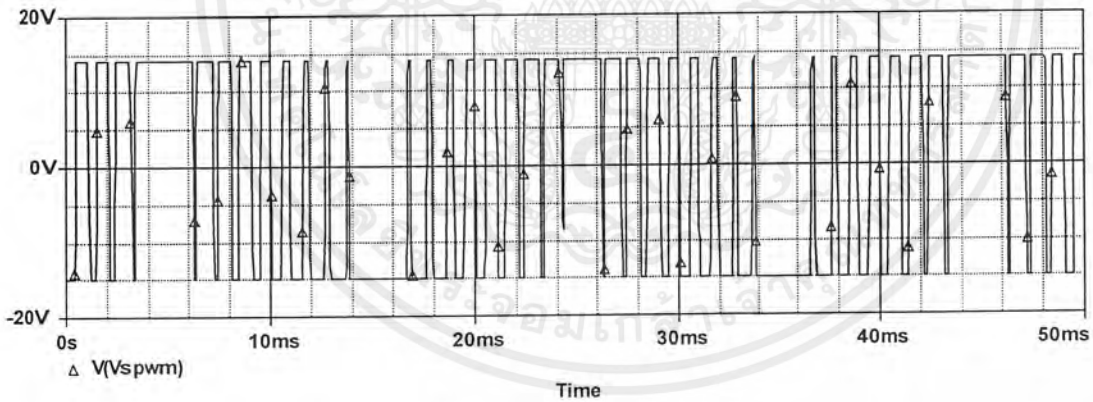


รูปที่ ข-4 แสดงผลของการวิเคราะห์ห้วงจรขั้วเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

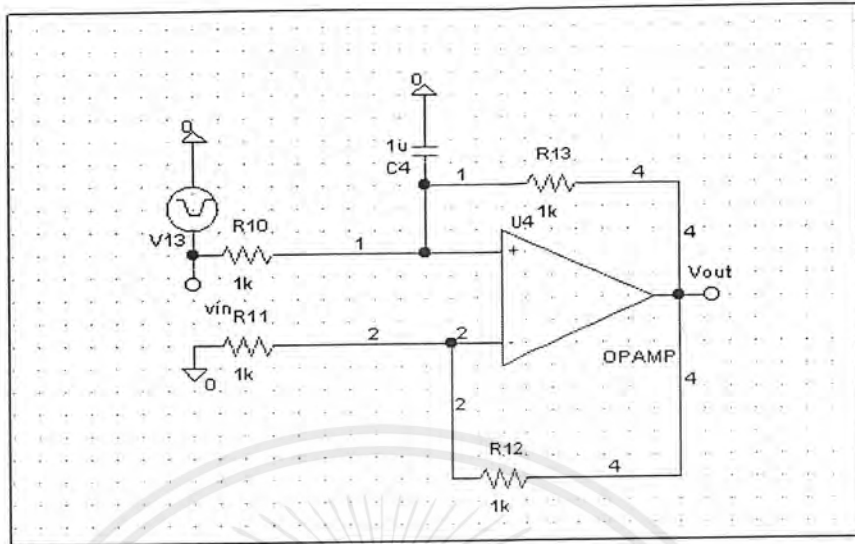


รูปที่ ข-5 แสดงวงจรในการวิเคราะห์หาสัญญาณ SPWM

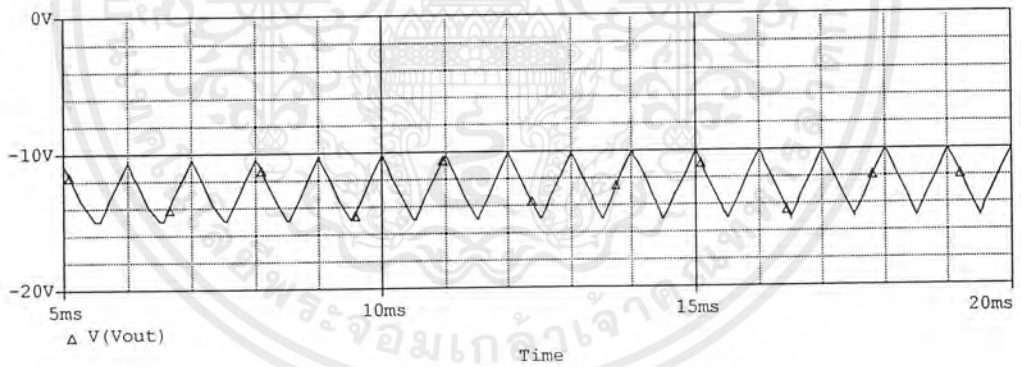


รูปที่ ข-6 ผลของสัญญาณ SPWM ที่ได้จากการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

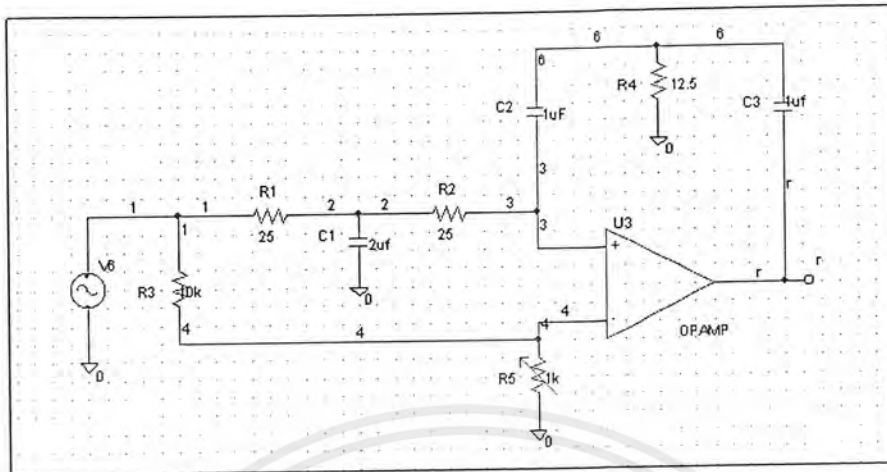


รูปที่ ข-7 แสดงวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสัญญาณสามเหลี่ยม

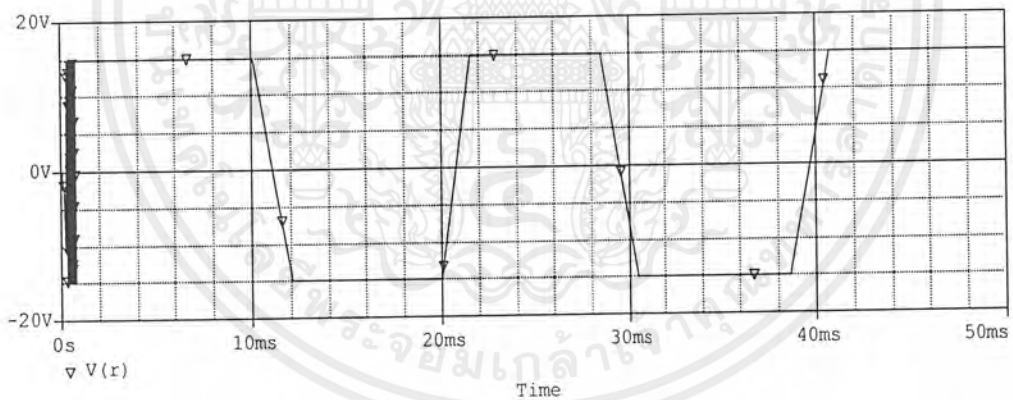


รูปที่ ข-8 แสดงผลของการวิเคราะห์สัญญาณสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-9 แสดงวงจรในการวิเคราะห์หาสัญญาณไซน์



รูปที่ ข-10 แสดงผลของสัญญาณไซน์ในการวิเคราะห์

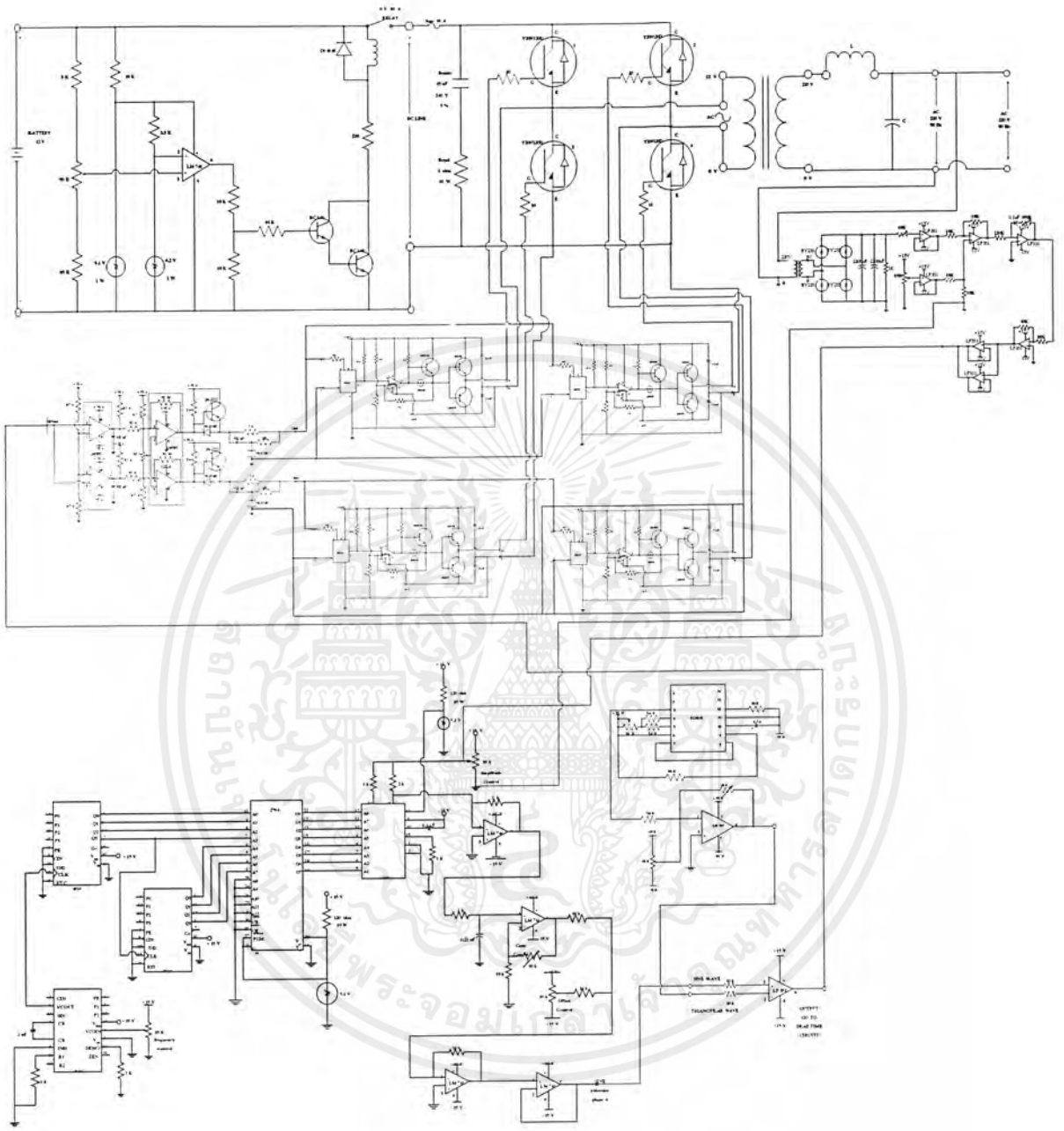
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

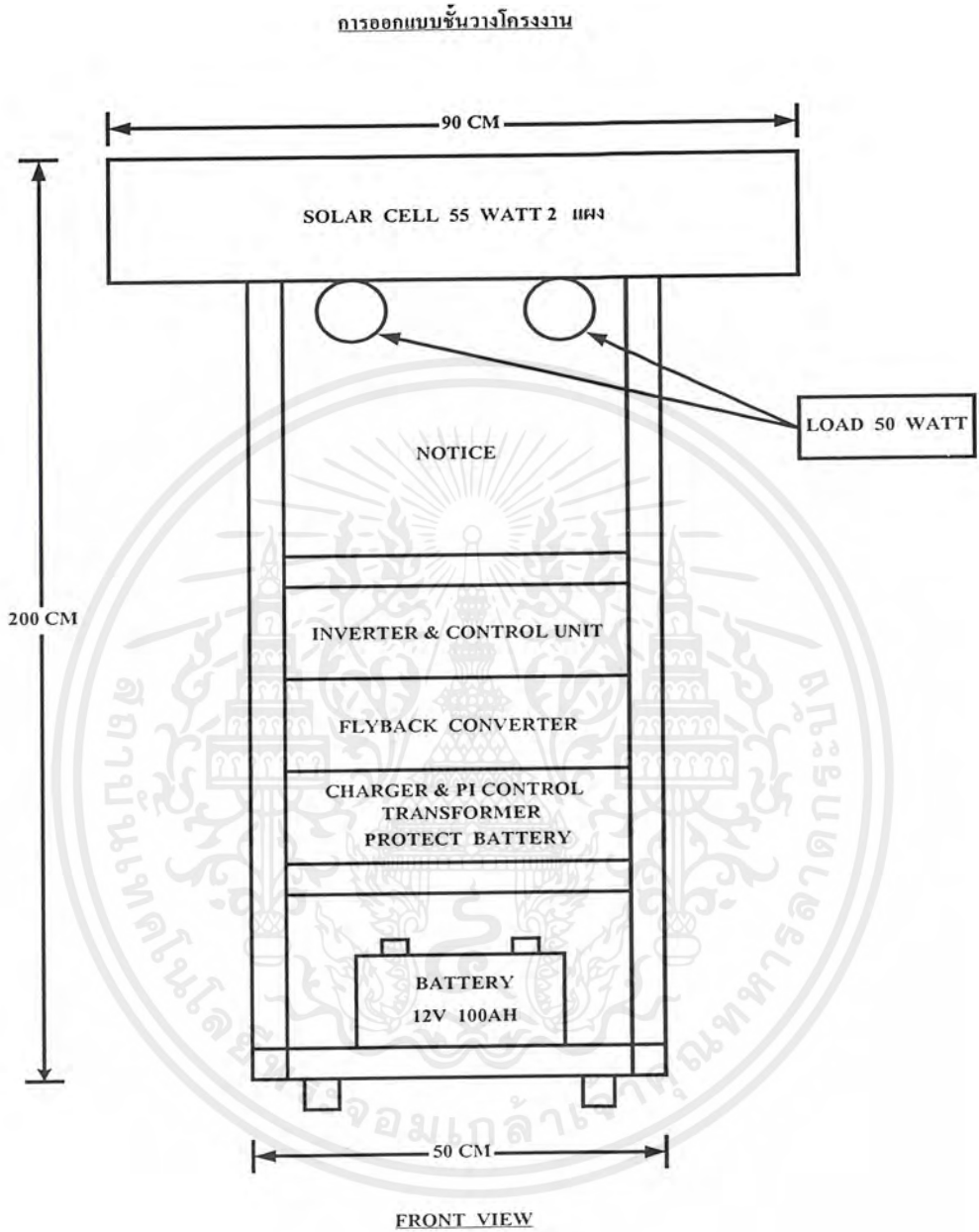
โครงสร้างของโครงการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



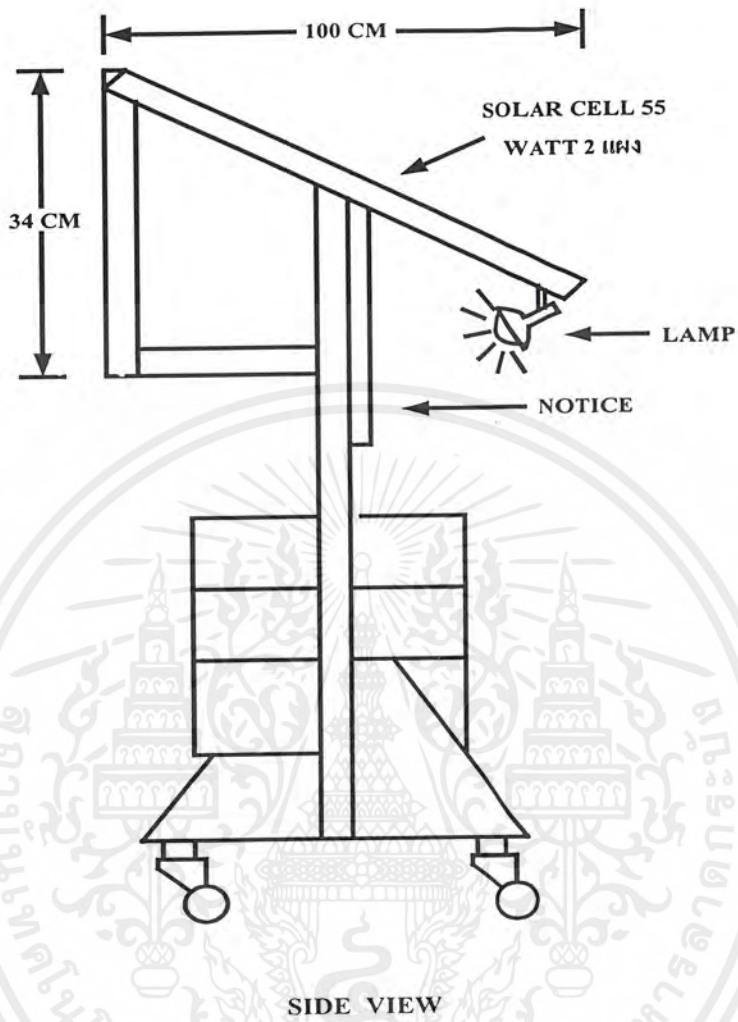
รูปที่ ค-1 แสดงวงจรรวมทั้งหมดของ โครงการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-2 แสดงโครงสร้างของชั้นวางวงจรเมื่อนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



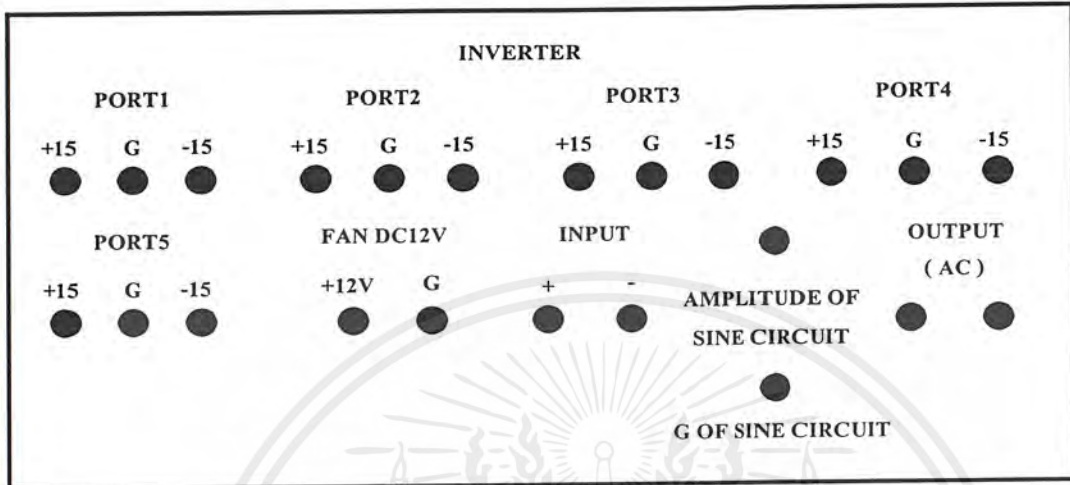
รูปแสดงการจัดงานชิ้นงาน

รูปที่ ค-3 แสดง โครงสร้างของชิ้นงานมองจากด้านข้าง

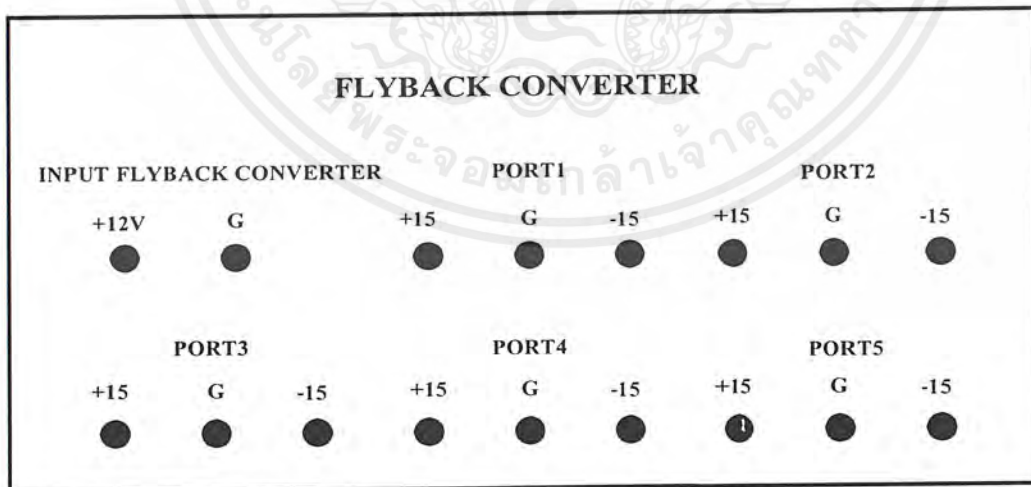
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านหน้ากล่อง

กล่องบน



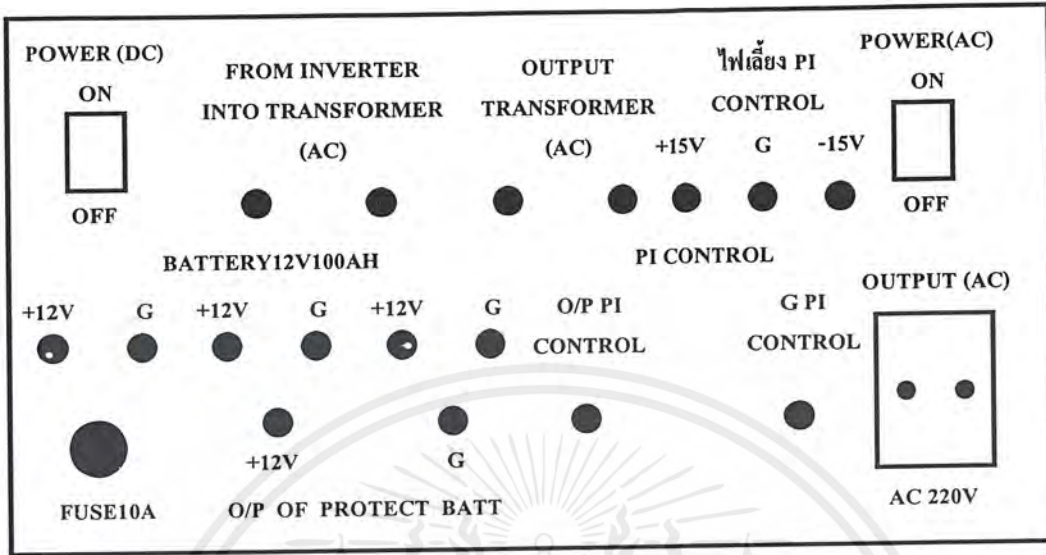
กล่องกลาง



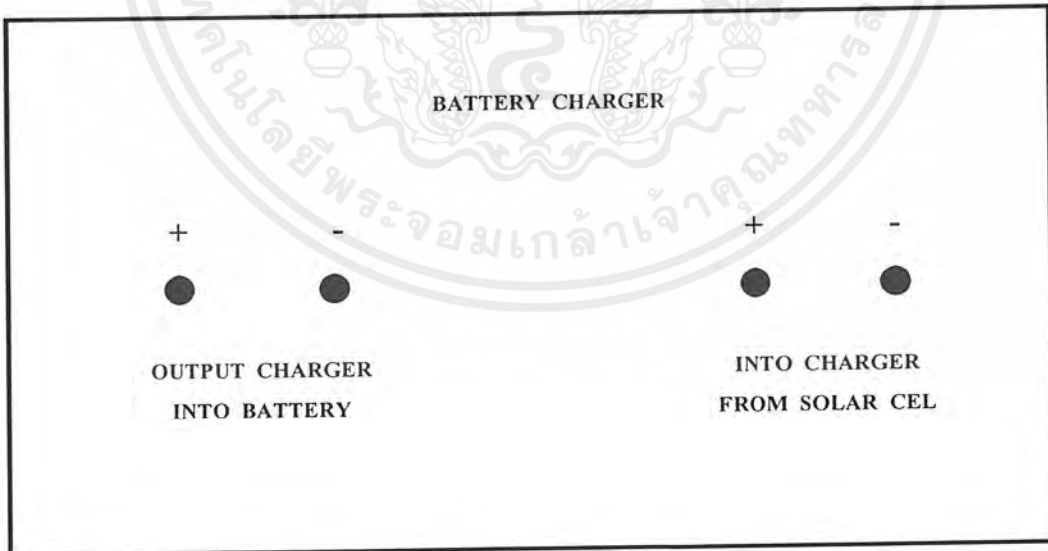
รูปที่ ค-4 รูปกล่องที่บรรจุวงจรมองจากทางด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่องล่าง



ด้านหลังกล่องล่าง



รูปที่ ค-5 แสดงรูปด้านหลังกล่องที่ใส่วงจรใน โครงการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

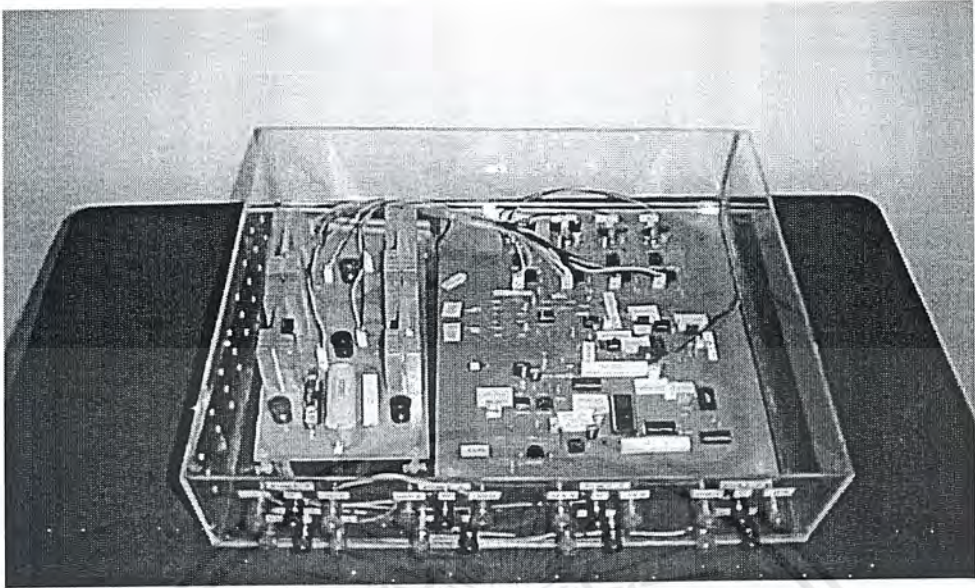


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-1 แสดงโครงงานระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

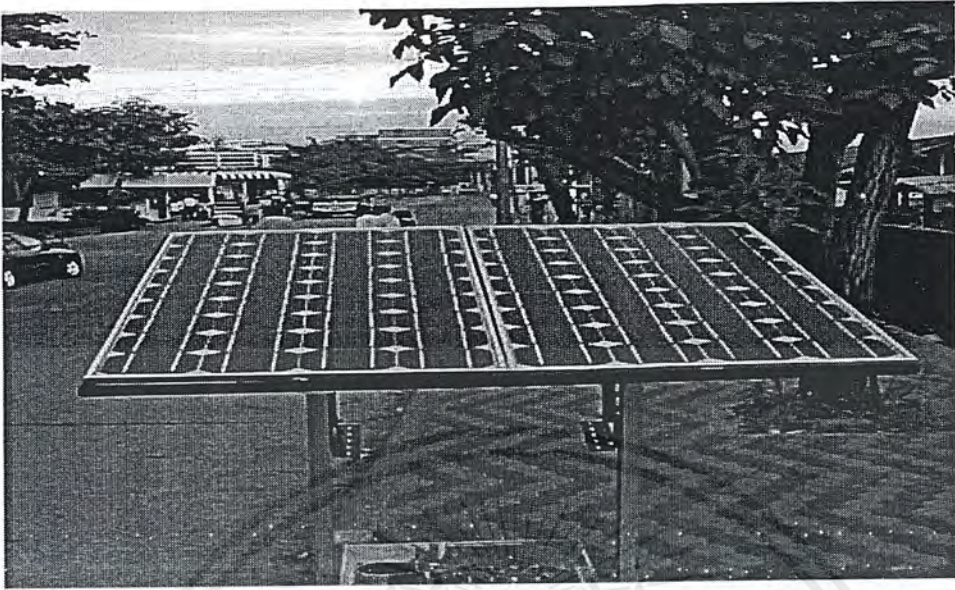


รูปที่ ง-2 รูปวงจรในส่วนของวงจรควบคุม

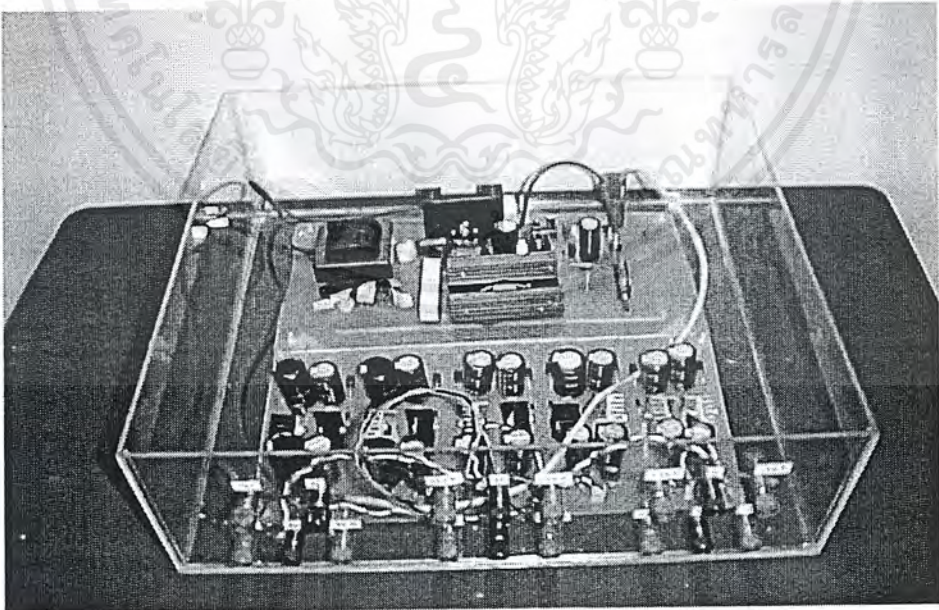


รูปที่ ง-3 แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการ ขนาด 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-4 แสดงแผง โซลาร์เซลล์ที่ใช้ในโครงการ ขนาด 50 วัตต์ 2 แผง



รูปที่ ง-5 รูปวงจร ไฟเลี้ยงที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-6 แสดงวงจรทั้งหมดที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.

Data Sheet ของไอซีที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit multiplying D/A converter

MC1508-8/1408-8

DESCRIPTION

The MC1508/MC1408 series of 8-bit monolithic digital-to-analog converters provide high-speed performance with low cost. They are designed for use where the output current is a linear product of an 8-bit digital word and an analog reference voltage

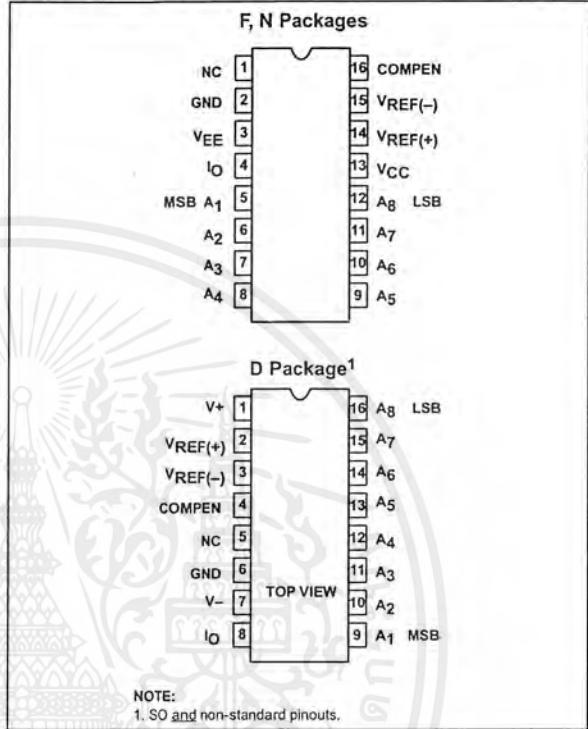
FEATURES

- Fast settling time — 70ns (typ)
- Relative accuracy $\pm 0.19\%$ (max error)
- Non-inverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High-speed multiplying rate 4.0mA/ μ s (input slew)
- Output voltage swing +0.5V to -5.0V
- Standard supply voltages +5.0V and -5.0V to -15V
- Military qualifications pending

APPLICATIONS

- Tracking A-to-D converters
- 2 1/2-digit panel meters and DVMs
- Waveform synthesis
- Sample-and-Hold
- Peak detector
- Programmable gain and attenuation
- CRT character generation
- Audio digitizing and decoding
- Programmable power supplies
- Analog-digital multiplication
- Digital-digital multiplication
- Analog-digital division
- Digital addition and subtraction
- Speech compression and expansion
- Stepping motor drive modems
- Servo motor and pen drivers

PIN CONFIGURATIONS



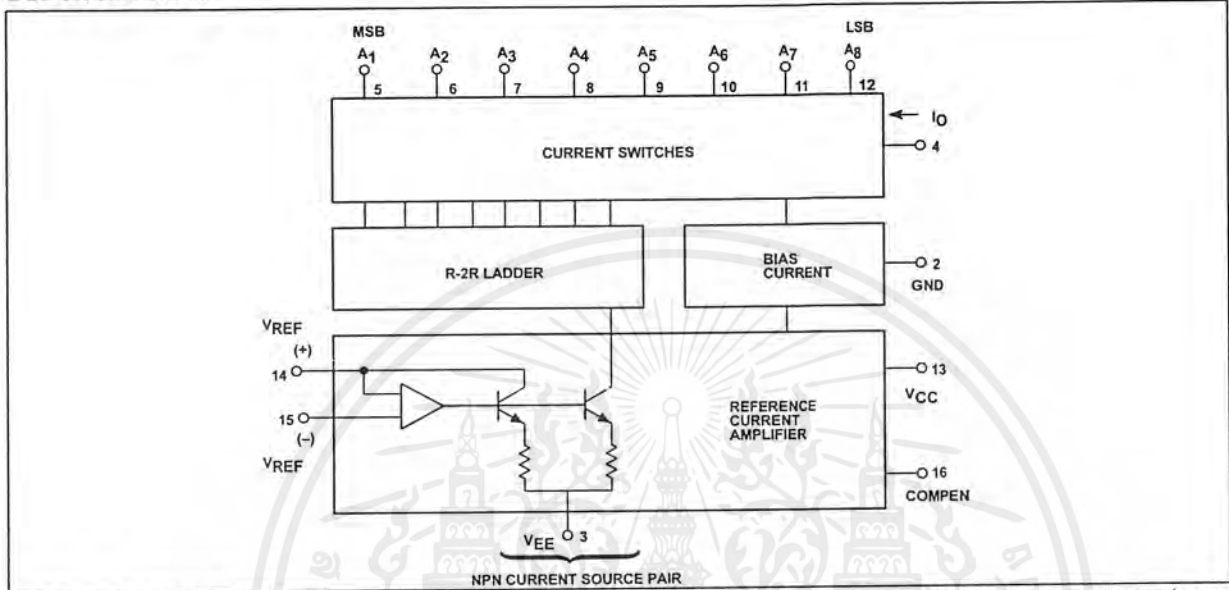
ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
16-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55 to +125°C	MC1508-8F	0582B
16-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0 to +70°C	MC1408-8F	0582B
16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	MC1408-8N	0406C
16-Pin Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	MC1408-8D	0005D

8-bit multiplying D/A converter

MC1508-8/1408-8

BLOCK DIAGRAM



CIRCUIT DESCRIPTION

The MC1508/MC1408 consists of a reference current amplifier, an R-2R ladder, and 8 high-speed current switches. For many applications, only a reference resistor and reference voltage need be added.

The switches are non-inverting in operation; therefore, a high state on the input turns on the specified output current component.

The switch uses current steering for high speed, and a termination amplifier consisting of an active load gain stage with unity gain

feedback. The termination amplifier holds the parasitic capacitance of the ladder at a constant voltage during switching, and provides a low impedance termination of equal voltage for all legs of the ladder.

The R-2R ladder divides the reference amplifier current into binary-related components, which are fed to the remainder current which is equal to the least significant bit. This current is shunted to ground, and the maximum output current is 255/256 of the reference amplifier current, or 1.992mA for a 2.0mA reference amplifier current if the NPN current source pair is perfectly matched.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT	
V _{CC}	Positive power supply voltage	+5.5	V	
V _{EE}	Negative power supply voltage	-16.5	V	
V _{5 - V₁₂}	Digital input voltage	0 to V _{CC}	V	
V ₀	Applied output voltage	-5.2 to +18	V	
I ₁₄	Reference current	5.0	mA	
V _{14, V₁₅}	Reference amplifier inputs	V _{EE} to V _{CC}		
P _D	Maximum power dissipation, T _A = 25°C (still-air) ¹	F package	1190	mW
		N package	1450	mW
		D package	1080	mW
T _{SOLD}	Lead soldering temperature (10 sec)	300	°C	
T _A	Operating temperature range	300	°C	
		MC1508	-55 to +125	°C
		MC1408	0 to +75	°C
T _{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	°C	

NOTES:

1. Derate above 25°C, at the following rates: F package at 9.5mW/°C; N package at 11.6mW/°C; D package at 8.6mW/°C

8-bit multiplying D/A converter

MC1508-8/1408-8

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Pin 3 must be 3V more negative than the potential to which R₁₅ is returned. V_{CC} = +5.0V_{DC}, V_{EE} = -15V_{DC}, V_{REF}/R₁₄ = 2.0mA unless otherwise specified. MC1508: T_A = -55°C to 125°C. MC1408: T_A = 0°C to 75°C, unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	MC1508-8			MC1408-8			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
E _r	Relative accuracy	Error relative to full-scale I _O , Figure 3			±0.19			±0.19	%
t _S	Settling time ¹	To within 1/2 LSB, includes t _{PLH} , T _A = +25°C, Figure 4		70			70		ns
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation delay time Low-to-High High-to-Low	T _A = +25°C, Figure 4		35	100		35	100	ns
TCI _O	Output full-scale current drift			-20			-20		ppm/°C
V _{IH} V _{IL}	Digital input logic level (MSB) High Low	Figure 5	2.0		0.8	2.0		0.8	V _{DC}
I _{IH} I _{IL}	Digital input current (MSB) High Low	Figure 5 V _{IH} = 5.0V V _{IL} = 0.8V		0 -0.4	0.04 -0.8		0 -0.4	0.04 -0.8	mA
I ₁₅	Reference input bias current	Pin 15, Figure 5		-1.0	-5.0		-1.0	-5.0	µA
I _{OR}	Output current range	Figure 5 V _{EE} = -5.0V V _{EE} = -7.0V to -15V	0 0	2.0 2.0	2.1 4.2	0 0	2.0 2.0	2.1 4.2	mA
I _O	Output current	Figure 5 V _{REF} = 2.000V, R ₁₄ = 1000Ω	1.9	1.99	2.1	1.9	1.99	2.1	mA
I _{O(min)}	Off-state	All bits low		0	4.0		0	4.0	µA
V _O	Output voltage compliance	E _r ≤ 0.19% at T _A = +25°C, Figure 5 V _{EE} = -5V V _{EE} below -10V		-0.6 +10 -5.5 +10	-0.55, +0.5 -5.0, +0.5		-0.6 +10 -5.5 +10	-0.55, +0.5 -5.0, +0.5	V _{DC}
SRI _{REF}	Reference current slew rate	Figure 6		8.0			8.0		mA/µs
PSRR(-)	Output current power supply sensitivity	I _{REF} = 1mA		0.5	2.7		0.5	2.7	µA/V
I _{CC} I _{EE}	Power supply current Positive Negative	All bits low, Figure 5		+2.5 -6.5	+2.2 -13		+2.5 -6.5	+2.2 -13	mA
V _{CCR} V _{EEER}	Power supply voltage range Positive Negative	T _A = +25°C, Figure 5	+4.5 -4.5	+5.0 -15	+5.5 -16.5	+4.5 -4.5	+5.0 -15	+5.5 -16.5	V _{DC}
P _D	Power dissipation	All bits low, Figure 5 V _{EE} = -5.0V _{DC} V _{EE} = -15.0V _{DC}		34 110	170 305		34 110	170 305	mW

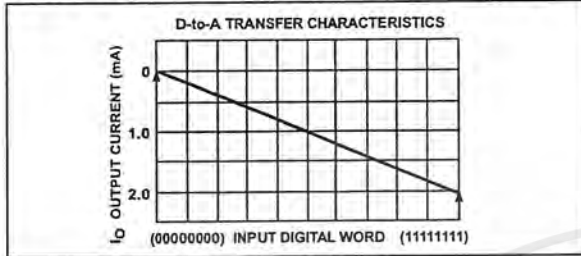
NOTES:

- All bits switched.

8-bit multiplying D/A converter

MC1508-8/1408-8

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



FUNCTIONAL DESCRIPTION

Reference Amplifier Drive and Compensation

The reference amplifier input current must always flow into Pin 14, regardless of the setup method or reference supply voltage polarity.

Connections for a positive reference voltage are shown in Figure 1. The reference voltage source supplies the full reference current. For bipolar reference signals, as in the multiplying mode, R_{15} can be tied to a negative voltage corresponding to the minimum input level. R_{15} may be eliminated and Pin 15 grounded, with only a small sacrifice in accuracy and temperature drift.

The compensation capacitor value must be increased with increasing values of R_{14} to maintain proper phase margin. For R_{14} values of 1.0, 2.5, and 5.0k Ω , minimum capacitor values are 15, 37, and 75pF. The capacitor may be tied to either V_{EE} or ground, but using V_{EE} increases negative supply rejection. (Fluctuations in the negative supply have more effect on accuracy than do any changes in the positive supply.)

A negative reference voltage may be used if R_{14} is grounded and the reference voltage is applied to R_{15} , as shown in Figure 2. A high input impedance is the main advantage of this method. The negative reference voltage must be at least 3.0V above the V_{EE} supply. Bipolar input signals may be handled by connecting R_{14} to a positive reference voltage equal to the peak positive input level at Pin 15.

Capacitive bypass to ground is recommended when a DC reference voltage is used. The 5.0V logic supply is not recommended as a reference voltage, but if a well regulated 5.0V supply which drives logic is to be used as the reference, R_{14} should be formed of two series resistors and the junction of the two resistors bypassed with 0.1 μ F to ground. For reference voltages greater than 5.0V, a clamp diode is recommended between Pin 14 and ground.

If Pin 14 is driven by a high impedance such as a transistor current source, none of the above compensation methods apply and the amplifier must be heavily compensated, decreasing the overall bandwidth.

Output Voltage Range

The voltage at Pin 4 must always be at least 4.5V more positive than the voltage of the negative supply (Pin 3) when the reference current is 2mA or less, and at least 8V more positive than the negative supply when the reference current is between 2mA and 4mA. This is necessary to avoid saturation of the output transistors, which would cause serious degradation of accuracy.

Philips Semiconductors MC1508/MC1408 does not need a range control because the design extends the compliance range down to

4.5V (or 8V — see above) above the negative supply voltage without significant degradation of accuracy. Philips Semiconductors MC1508/MC1408 can be used in sockets designed for other manufacturers' MC1508/MC1408 without circuit modification.

Output Current Range

Any time the full-scale current exceeds 2mA, the negative supply must be at least 8V more negative than the output voltage. This is due to the increased internal voltage drops between the negative supply and the outputs with higher reference currents.

Accuracy

Absolute accuracy is the measure of each output current level with respect to its intended value, and is dependent upon relative accuracy, full-scale accuracy and full-scale current drift. Relative accuracy is the measure of each output current level as a fraction of the full-scale current after zero-scale current has been nulled out. The relative accuracy of the MC1508/MC1408 is essentially constant over the operating temperature range because of the excellent temperature tracking of the monolithic resistor ladder. The reference current may drift with temperature, causing a change in the absolute accuracy of output current; however, the MC1508/MC1408 has a very low full-scale current drift over the operating temperature range.

The MC1508/MC1408 series is guaranteed accurate to within $\pm 1/2$ LSB at +25°C at a full-scale output current of 1.99mA. The relative accuracy test circuit is shown in Figure 3. The 12-bit converter is calibrated to a full-scale output current of 1.99219mA; then the MC1508/MC1408's full-scale current is trimmed to the same value with R_{14} so that a zero value appears at the error amplifier output. The counter is activated and the error band may be displayed on the oscilloscope, detected by comparators, or stored in a peak detector.

Two 8-bit D-to-A converters may not be used to construct a 16-bit accurate D-to-A converter. 16-bit accuracy implies a total of $\pm 1/2$ part in 65,536, or $\pm 0.00076\%$, which is much more accurate than the $\pm 0.19\%$ specification of the MC1508/MC1408.

Monotonicity

A monotonic converter is one which always provides an analog output greater than or equal to the preceding value for a corresponding increment in the digital input code. The MC1508/MC1408 is monotonic for all values of reference current above 0.5mA. The recommended range for operation is a DC reference current between 0.5mA and 4.0mA.

Settling Time

The worst case switching condition occurs when all bits are switched on, which corresponds to a low-to-high transition for all input bits. This time is typically 70ns for settling to within 1/2LSB for 8-bit accuracy. This time applies when $R_L < 500\Omega$ and $C_O < 25$ pF. The slowest single switch is the least significant bit, which typically turns on and settles in 65ns. In applications where the D-to-A converter functions in a positive going ramp mode, the worst-case condition does not occur and settling times less than 70ns may be realized.

Extra care must be taken in board layout since this usually is the dominant factor in satisfactory test results when measuring settling time. Short leads, 100 μ F supply bypassing for low frequencies, minimum scope lead length, good ground planes, and avoidance of ground loops are all mandatory.

8-bit multiplying D/A converter

MC1508-8/1408-8

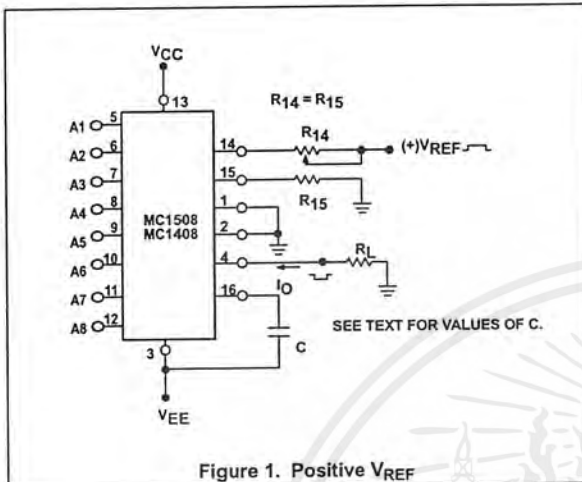


Figure 1. Positive VREF

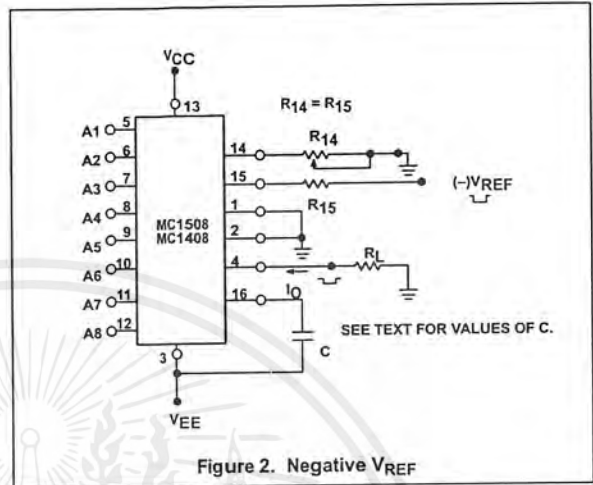


Figure 2. Negative VREF

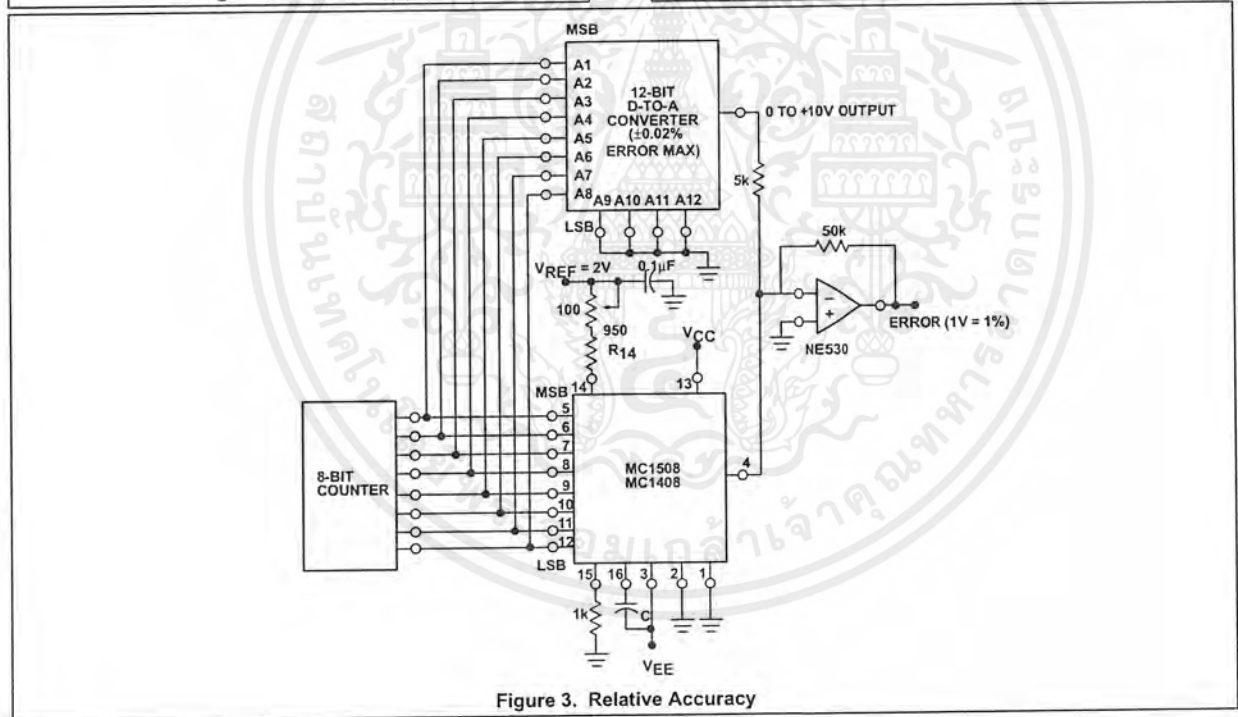


Figure 3. Relative Accuracy

8-bit multiplying D/A converter

MC1508-8/1408-8

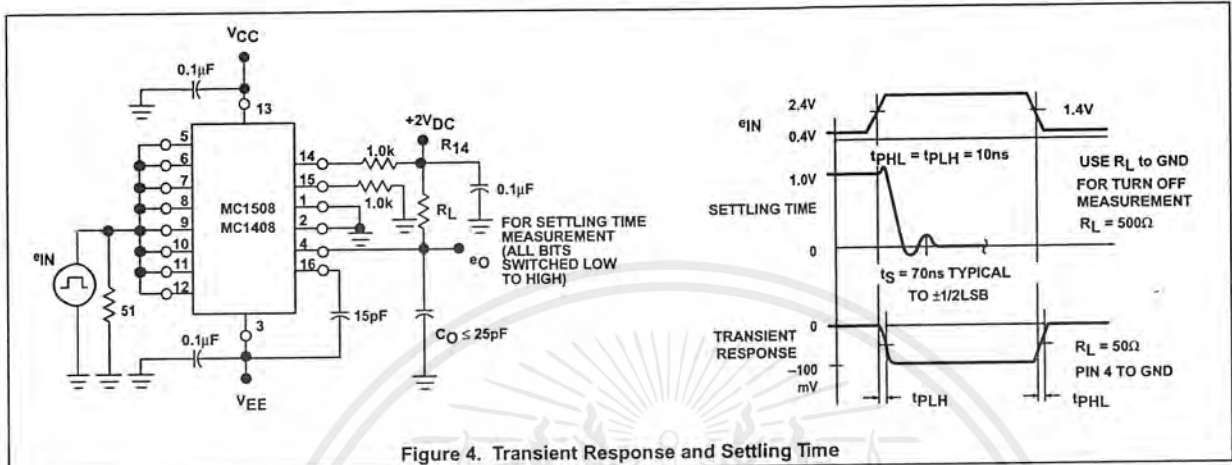


Figure 4. Transient Response and Settling Time

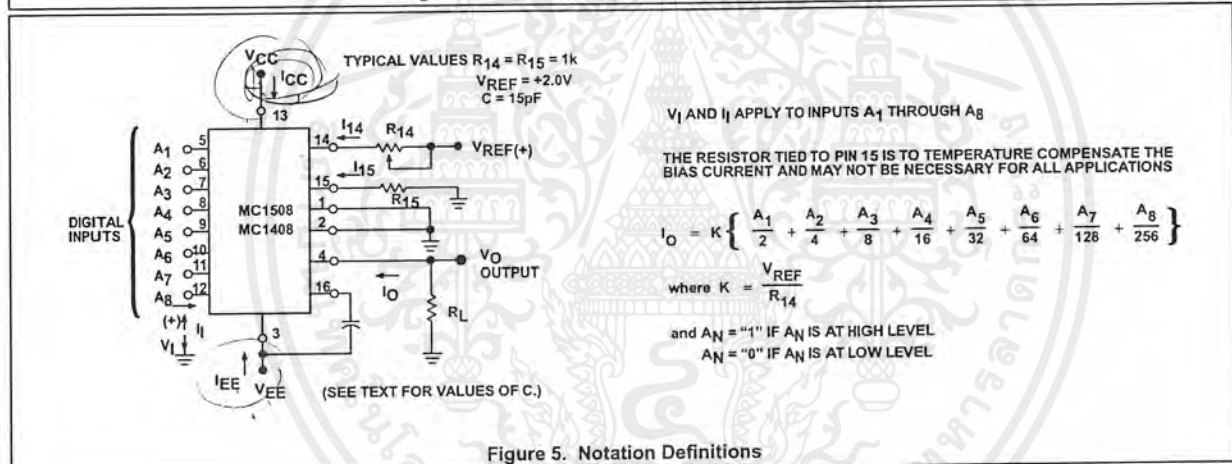


Figure 5. Notation Definitions

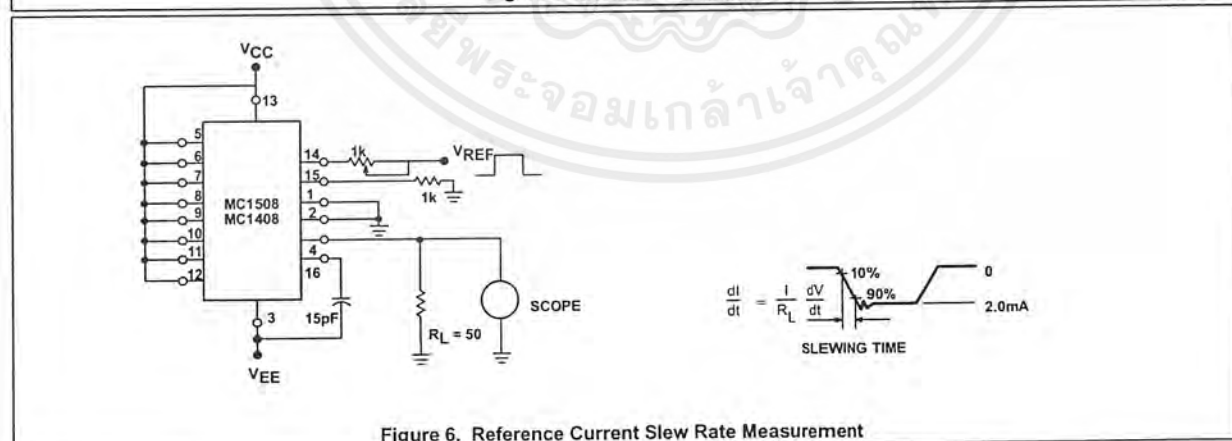
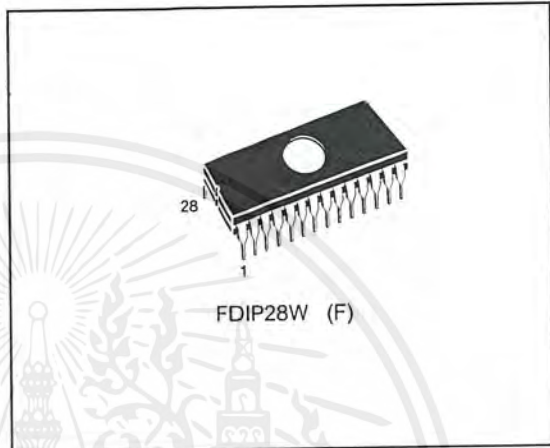


Figure 6. Reference Current Slew Rate Measurement

NMOS 64K (8K x 8) UV EPROM

- FAST ACCESS TIME: 180ns
- EXTENDED TEMPERATURE RANGE
- SINGLE 5V SUPPLY VOLTAGE
- LOW STANDBY CURRENT: 35mA max
- TTL COMPATIBLE DURING READ and PROGRAM
- FAST PROGRAMMING ALGORITHM
- ELECTRONIC SIGNATURE
- PROGRAMMING VOLTAGE: 12V



DESCRIPTION

The M2764A is a 65,536 bit UV erasable and electrically programmable memory EPROM. It is organized as 8,192 words by 8 bits.

The M27C64A is housed in a 28 pin Window Ceramic Frit-Seal Dual-in-Line package. The transparent lid allows the user to expose the chip to ultraviolet light to erase the bit pattern. A new pattern can then be written to the device by following the programming procedure.

Figure 1. Logic Diagram

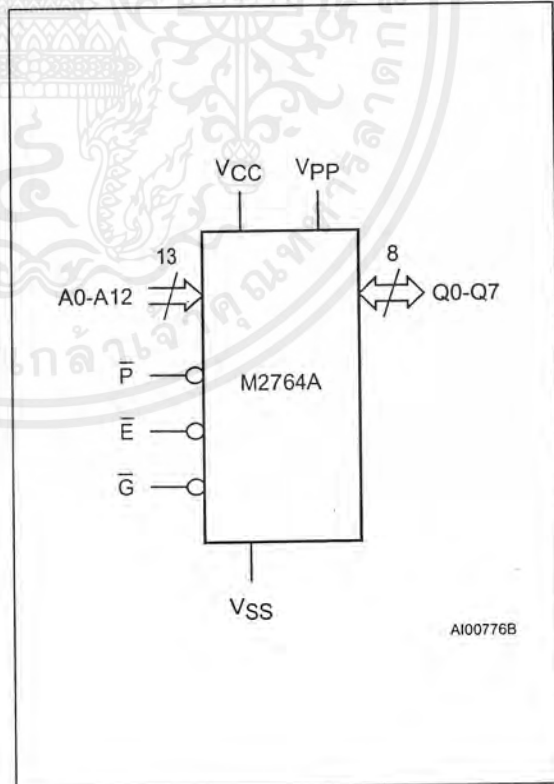


Table 1. Signal Names

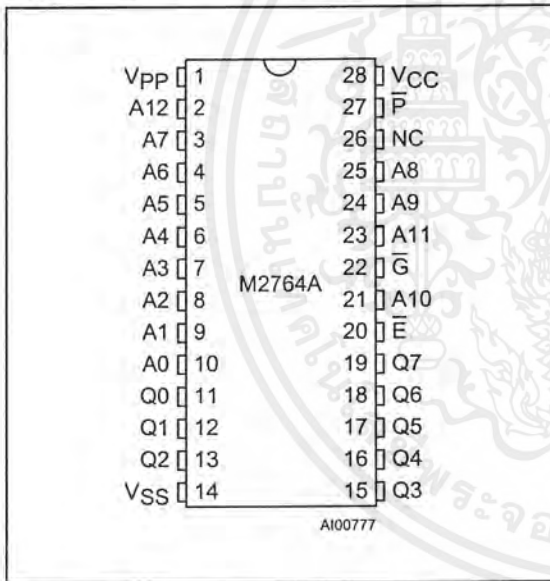
A0 - A12	Address Inputs
Q0 - Q7	Data Outputs
\bar{E}	Chip Enable
\bar{G}	Output Enable
\bar{P}	Program
V _{PP}	Program Supply
V _{CC}	Supply Voltage
V _{SS}	Ground

Table 2. Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit	
T _A	Ambient Operating Temperature	grade 1 grade 6	0 to 70 -40 to 85	°C
T _{BIAS}	Temperature Under Bias	grade 1 grade 6	-10 to 80 -50 to 95	°C
T _{STG}	Storage Temperature		-65 to 125	°C
V _{IO}	Input or Output Voltages		-0.6 to 6.5	V
V _{CC}	Supply Voltage		-0.6 to 6.5	V
V _{A9}	A9 Voltage		-0.6 to 13.5	V
V _{PP}	Program Supply		-0.6 to 14	V

Note: Except for the rating "Operating Temperature Range", stresses above those listed in the Table "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the Operating sections of this specification is not implied. Exposure to Absolute Maximum Rating conditions for extended periods may affect device reliability. Refer also to the SGS-THOMSON SURE Program and other relevant quality documents.

Figure 2. DIP Pin Connections



Warning: NC = Not Connected.

DEVICE OPERATION

The seven modes of operations of the M2764A are listed in the Operating Modes table. A single 5V power supply is required in the read mode. All inputs are TTL levels except for V_{PP} and 12V on A9 for Electronic Signature.

Read Mode

The M2764A has two control functions, both of which must be logically satisfied in order to obtain data at the outputs. Chip Enable (\bar{E}) is the power control and should be used for device selection. Output Enable (\bar{G}) is the output control and should be used to gate data to the output pins, independent of device selection.

Assuming that the addresses are stable, address access time (t_{AVQV}) is equal to the delay from \bar{E} to output (t_{ELQV}). Data is available at the outputs after the falling edge of \bar{G} , assuming that \bar{E} has been low and the addresses have been stable for at least $t_{AVQV} - t_{GLQV}$.

Standby Mode

The M2764A has a standby mode which reduces the maximum active power current from 75mA to 35mA. The M2764A is placed in the standby mode by applying a TTL high signal to the \bar{E} input. When in the standby mode, the outputs are in a high impedance state, independent of the \bar{G} input.

Two Line Output Control

Because EPROMs are usually used in larger memory arrays, the product features a 2 line control function which accommodates the use of multiple memory connection. The two line control function allows :

- a. the lowest possible memory power dissipation,
- b. complete assurance that output bus contention will not occur.

DEVICE OPERATION (cont'd)

For the most efficient use of these two control lines, \bar{E} should be decoded and used as the primary device selecting function, while \bar{G} should be made a common connection to all devices in the array and connected to the \overline{READ} line from the system control bus.

This ensures that all deselected memory devices are in their low power standby mode and that the output pins are only active when data is desired from a particular memory device.

System Considerations

The power switching characteristics of fast EPROMs require careful decoupling of the devices. The supply current, I_{CC} , has three segments that are of interest to the system designer: the standby current level, the active current level, and transient current peaks that are produced by the falling and rising edges of \bar{E} . The magnitude of the transient current peaks is dependent on the capacitive and inductive loading of the device at the output. The associated transient voltage peaks can be suppressed by complying with the two line output control and by properly selected decoupling capacitors. It is recommended that a $1\mu\text{F}$ ceramic capacitor be used on every device between V_{CC} and V_{SS} . This should be a high frequency capacitor

of low inherent inductance and should be placed as close to the device as possible. In addition, a $4.7\mu\text{F}$ bulk electrolytic capacitor should be used between V_{CC} and V_{SS} for every eight devices. The bulk capacitor should be located near the power supply connection point. The purpose of the bulk capacitor is to overcome the voltage drop caused by the inductive effects of PCB traces.

Programming

When delivered (and after each erasure for UV EPROM), all bits of the M2764A are in the "1" state. Data is introduced by selectively programming "0s" into the desired bit locations. Although only "0s" will be programmed, both "1s" and "0s" can be present in the data word. The only way to change a "0" to a "1" is by ultraviolet light erasure.

The M2764A is in the programming mode when V_{PP} input is at 12.5V and \bar{E} and \bar{P} are at TTL low. The data to be programmed is applied, 8 bits in parallel, to the data output pins. The levels required for the address and data inputs are TTL.

Fast Programming Algorithm

Fast Programming Algorithm rapidly programs M2764A EPROMs using an efficient and reliable method suited to the production programming environment. Programming reliability is also ensured as the incremental program margin of each byte is continually monitored to determine when it has

Table 3. Operating Modes

Mode	\bar{E}	\bar{G}	\bar{P}	A9	V_{PP}	Q0 - Q7
Read	V_{IL}	V_{IL}	V_{IH}	X	V_{CC}	Data Out
Output Disable	V_{IL}	V_{IH}	V_{IH}	X	V_{CC}	Hi-Z
Program	V_{IL}	V_{IH}	V_{IL} Pulse	X	V_{PP}	Data In
Verify	V_{IL}	V_{IL}	V_{IH}	X	V_{PP}	Data Out
Program Inhibit	V_{IH}	X	X	X	V_{PP}	Hi-Z
Standby	V_{IH}	X	X	X	V_{CC}	Hi-Z
Electronic Signature	V_{IL}	V_{IL}	V_{IH}	V_{ID}	V_{CC}	Codes Out

Note: X = V_{IH} or V_{IL} , V_{ID} = $12V \pm 0.5\%$.

Table 4. Electronic Signature

Identifier	A0	Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1	Q0	Hex Data
Manufacturer's Code	V_{IL}	0	0	1	0	0	0	0	0	20h
Device Code	V_{IH}	0	0	0	0	1	0	0	0	08h

AC MEASUREMENT CONDITIONS

Input Rise and Fall Times $\leq 20\text{ns}$
 Input Pulse Voltages 0.45V to 2.4V
 Input and Output Timing Ref. Voltages 0.8V to 2.0V

Note that Output Hi-Z is defined as the point where data is no longer driven.

Figure 3. AC Testing Input Output Waveforms

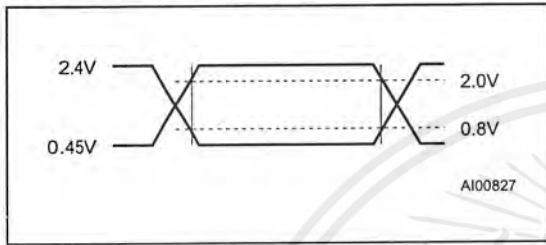


Figure 4. AC Testing Load Circuit

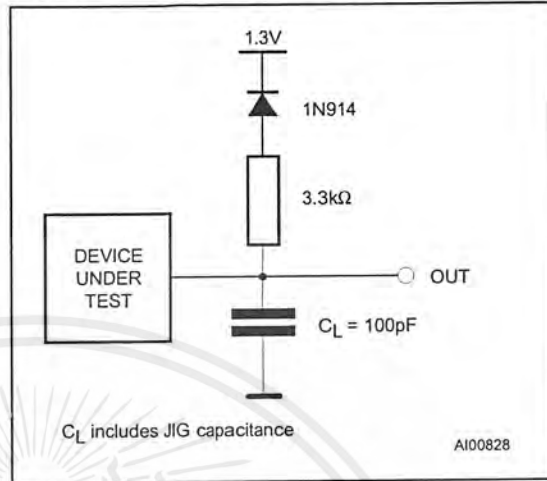


Table 5. Capacitance⁽¹⁾ (TA = 25 °C, f = 1 MHz)

Symbol	Parameter	Test Condition	Min	Max	Unit
C _{IN}	Input Capacitance	V _{IN} = 0V		6	pF
C _{OUT}	Output Capacitance	V _{OUT} = 0V		12	pF

Note: 1. Sampled only, not 100% tested.

Figure 5. Read Mode AC Waveforms

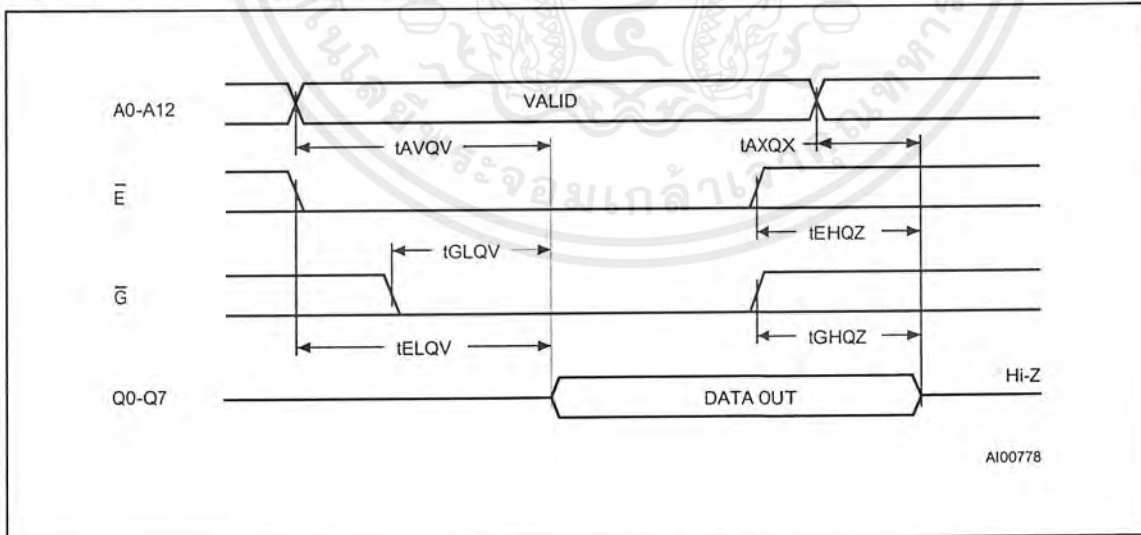


Table 6. Read Mode DC Characteristics (1)(T_A = 0 to 70 °C or -40 to 85 °C; V_{CC} = 5V ± 5% or 5V ± 10%; V_{PP} = V_{CC})

Symbol	Parameter	Test Condition	Min	Max	Unit
I _{LI}	Input Leakage Current	0 ≤ V _{IN} ≤ V _{CC}		±10	μA
I _{LO}	Output Leakage Current	V _{OUT} = V _{CC}		±10	μA
I _{CC}	Supply Current	$\bar{E} = V_{IL}, \bar{G} = V_{IL}$		75	mA
I _{CC1}	Supply Current (Standby)	$\bar{E} = V_{IH}$		35	mA
I _{PP}	Program Current	V _{PP} = V _{CC}		5	mA
V _{IL}	Input Low Voltage		-0.1	0.8	V
V _{IH}	Input High Voltage		2	V _{CC} + 1	V
V _{OL}	Output Low Voltage	I _{OL} = 2.1mA		0.45	V
V _{OH}	Output High Voltage	I _{OH} = -400μA	2.4		V

Note: 1. V_{CC} must be applied simultaneously with or before V_{PP} and removed simultaneously or after V_{PP}.**Table 7A. Read Mode AC Characteristics (1)**(T_A = 0 to 70 °C or -40 to 85 °C; V_{CC} = 5V ± 5% or 5V ± 10%; V_{PP} = V_{CC})

Symbol	Alt	Parameter	Test Condition	M2764A						Unit
				-1		-2, -20		blank, -25		
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	
t _{AVQV}	t _{ACC}	Address Valid to Output Valid	$\bar{E} = V_{IL}, \bar{G} = V_{IL}$		180		200		250	ns
t _{ELQV}	t _{CE}	Chip Enable Low to Output Valid	$\bar{G} = V_{IL}$		180		200		250	ns
t _{GLQV}	t _{OE}	Output Enable Low to Output Valid	$\bar{E} = V_{IL}$		65		75		100	ns
t _{EHQZ} ⁽²⁾	t _{DF}	Chip Enable High to Output Hi-Z	$\bar{G} = V_{IL}$	0	55	0	55	0	60	ns
t _{GHQZ} ⁽²⁾	t _{DF}	Output Enable High to Output Hi-Z	$\bar{E} = V_{IL}$	0	55	0	55	0	60	ns
t _{AXQX}	t _{OH}	Address Transition to Output Transition	$\bar{E} = V_{IL}, \bar{G} = V_{IL}$	0		0		0		ns

Table 7B. Read Mode AC Characteristics (1)(T_A = 0 to 70 °C or -40 to 85 °C; V_{CC} = 5V ± 5% or 5V ± 10%; V_{PP} = V_{CC})

Symbol	Alt	Parameter	Test Condition	M2764A				Unit
				-3		-4		
				Min	Max	Min	Max	
t _{AVQV}	t _{ACC}	Address Valid to Output Valid	$\bar{E} = V_{IL}, \bar{G} = V_{IL}$		300		450	ns
t _{ELQV}	t _{CE}	Chip Enable Low to Output Valid	$\bar{G} = V_{IL}$		300		450	ns
t _{GLQV}	t _{OE}	Output Enable Low to Output Valid	$\bar{E} = V_{IL}$		120		150	ns
t _{EHQZ} ⁽²⁾	t _{DF}	Chip Enable High to Output Hi-Z	$\bar{G} = V_{IL}$	0	105	0	130	ns
t _{GHQZ} ⁽²⁾	t _{DF}	Output Enable High to Output Hi-Z	$\bar{E} = V_{IL}$	0	105	0	130	ns
t _{AXQX}	t _{OH}	Address Transition to Output Transition	$\bar{E} = V_{IL}, \bar{G} = V_{IL}$	0		0		ns

Notes: 1. V_{CC} must be applied simultaneously with or before V_{PP} and removed simultaneously or after V_{PP}.

2. Sampled only, not 100% tested.

Table 8. Programming Mode DC Characteristics ⁽¹⁾
 ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$; $V_{CC} = 6\text{V} \pm 0.25\text{V}$; $V_{PP} = 12.5\text{V} \pm 0.3\text{V}$)

Symbol	Parameter	Test Condition	Min	Max	Units
I_{LI}	Input Leakage Current	$V_{IL} \leq V_{IN} \leq V_{IH}$		± 10	μA
I_{CC}	Supply Current			75	mA
I_{PP}	Program Current	$\bar{E} = V_{IL}$		50	mA
V_{IL}	Input Low Voltage		-0.1	0.8	V
V_{IH}	Input High Voltage		2	$V_{CC} + 1$	V
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{OL} = 2.1\text{mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High Voltage	$I_{OH} = -400\mu\text{A}$	2.4		V
VA9	A9 Voltage		11.5	12.5	V

Note: 1. V_{CC} must be applied simultaneously with or before V_{PP} and removed simultaneously or after V_{PP} .

Table 9. Programming Mode AC Characteristics ⁽¹⁾
 ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$; $V_{CC} = 6\text{V} \pm 0.25\text{V}$; $V_{PP} = 12.5\text{V} \pm 0.3\text{V}$)

Symbol	Alt	Parameter	Test Condition	Min	Max	Units
t_{AVPL}	t_{AS}	Address Valid to Program Low		2		μs
t_{QVPL}	t_{DS}	Input Valid to Program Low		2		μs
t_{VPHPL}	t_{VPS}	V_{PP} High to Program Low		2		μs
t_{VCHPL}	t_{VCS}	V_{CC} High to Program Low		2		μs
t_{ELPL}	t_{CES}	Chip Enable Low to Program Low		2		μs
t_{PLPH}	t_{PW}	Program Pulse Width (Initial)	Note 2	0.95	1.05	ms
t_{PLPH}	t_{OPW}	Program Pulse Width (Overprogram)	Note 3	2.85	78.75	ms
t_{PHOx}	t_{DH}	Program High to Input Transition		2		μs
t_{QXGL}	t_{OES}	Input Transition to Output Enable Low		2		μs
t_{GLQV}	t_{OE}	Output Enable Low to Output Valid			150	ns
$t_{GHQZ}^{(4)}$	t_{DFP}	Output Enable High to Output Hi-Z		0	130	ns
t_{GHAX}	t_{AH}	Output Enable High to Address Transition		0		ns

Notes: 1. V_{CC} must be applied simultaneously with or before V_{PP} and removed simultaneously or after V_{PP} .

2. The Initial Program Pulse width tolerance is $1\text{ ms} \pm 5\%$.

3. The length of the Over-program Pulse varies from 2.85 ms to 78.95 ms, depending of the multiplication value of the iteration counter.

4. Sampled only, not 100% tested.

Figure 6. Programming and Verify Modes AC Waveforms

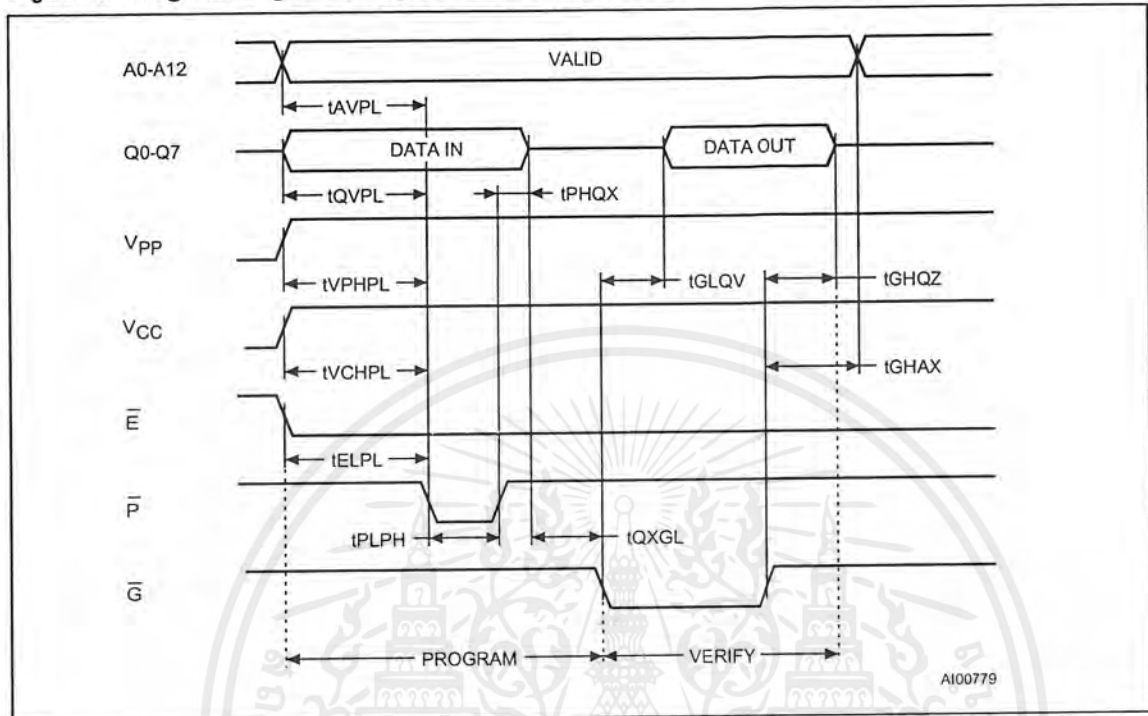
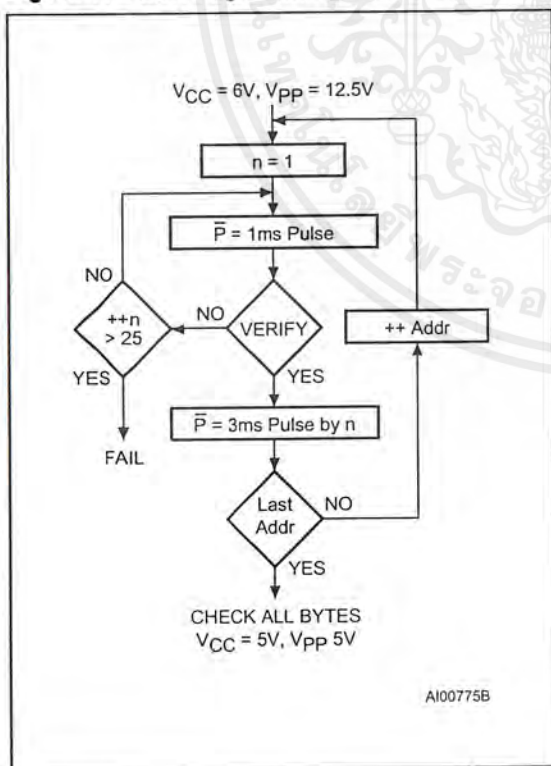


Figure 7. Fast Programming Flowchart



DEVICE OPERATION (cont'd)

been successfully programmed. A flowchart of the M2764A Fast Programming Algorithm is shown on the last page. The Fast Programming Algorithm utilizes two different pulse types: initial and over-program.

The duration of the initial \bar{P} pulse(s) is 1ms, which will then be followed by a longer overprogram pulse of length 3ms by n (n is equal to the number of the initial one millisecond pulses applied to a particular M2764A location), before a correct verify occurs. Up to 25 one-millisecond pulses per byte are provided for before the overprogram pulse is applied.

The entire sequence of program pulses and byte verifications is performed at V_{CC} = 6V and V_{PP} = 12.5V. When the Fast Programming cycle has been completed, all bytes should be compared to the original data with V_{CC} = 5V and V_{PP} = 5V.

Program Inhibit

Programming of multiple M2764A in parallel with different data is also easily accomplished. Except for \bar{E} , all like inputs (including \bar{G}) of the parallel M2764A may be common. A TTL low pulse applied to a M2764A's \bar{E} input, with V_{PP} at 12.5V, will program that M2764A. A high level \bar{E} input inhibits the other M2764As from being programmed.

Program Verify

A verify should be performed on the programmed bits to determine that they were correctly programmed. The verify is accomplished with $\bar{G} = V_{IL}$, $\bar{E} = V_{IL}$, $\bar{F} = V_{IH}$ and $V_{PP} = 12.5V$.

Electronic Signature

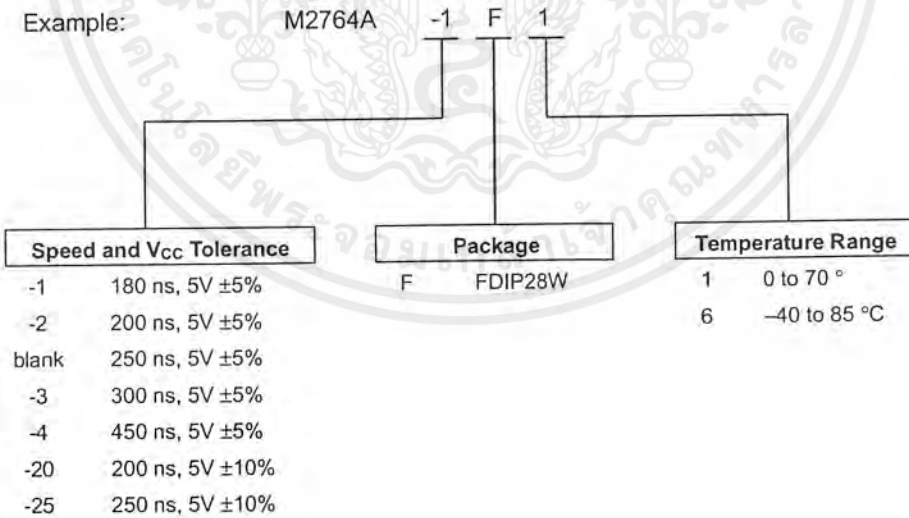
The Electronic Signature mode allows the reading out of a binary code from an EPROM that will identify its manufacturer and type. This mode is intended for use by programming equipment to automatically match the device to be programmed with its corresponding programming algorithm. This mode is functional in the $25^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ ambient temperature range that is required when programming the M2764A.

To activate this mode, the programming equipment must force 11.5V to 12.5V on address line A9 of the M2764A. Two identifier bytes may then be sequenced from the device outputs by toggling address line A0 from V_{IL} to V_{IH} . All other address lines must be held at V_{IL} during Electronic Signature mode. Byte 0 ($A0 = V_{IL}$) represents the manufacturer code and byte 1 ($A0 = V_{IH}$) the device identifier code. For the SGS-THOMSON M2764A, these two identifier bytes are given below.

ERASURE OPERATION (applies to UV EPPROM)

The erasure characteristic of the M2764A is such that erasure begins when the cells are exposed to light with wavelengths shorter than approximately 4000 Å. It should be noted that sunlight and some type of fluorescent lamps have wavelengths in the 3000-4000 Å range. Research shows that constant exposure to room level fluorescent lighting could erase a typical M2764A in about 3 years, while it would take approximately 1 week to cause erasure when exposed to direct sunlight. If the M2764A is to be exposed to these types of lighting conditions for extended periods of time, it is suggested that opaque labels be put over the M2764A window to prevent unintentional erasure. The recommended erasure procedure for the M2764A is exposure to short wave ultraviolet light which has wavelength 2537 Å. The integrated dose (i.e. UV intensity x exposure time) for erasure should be a minimum of 15 W-sec/cm². The erasure time with this dosage is approximately 15 to 20 minutes using an ultraviolet lamp with 12000 μW/cm² power rating. The M2764A should be placed within 2.5 cm (1 inch) of the lamp tubes during the erasure. Some lamps have a filter on their tubes which should be removed before erasure.

ORDERING INFORMATION SCHEME



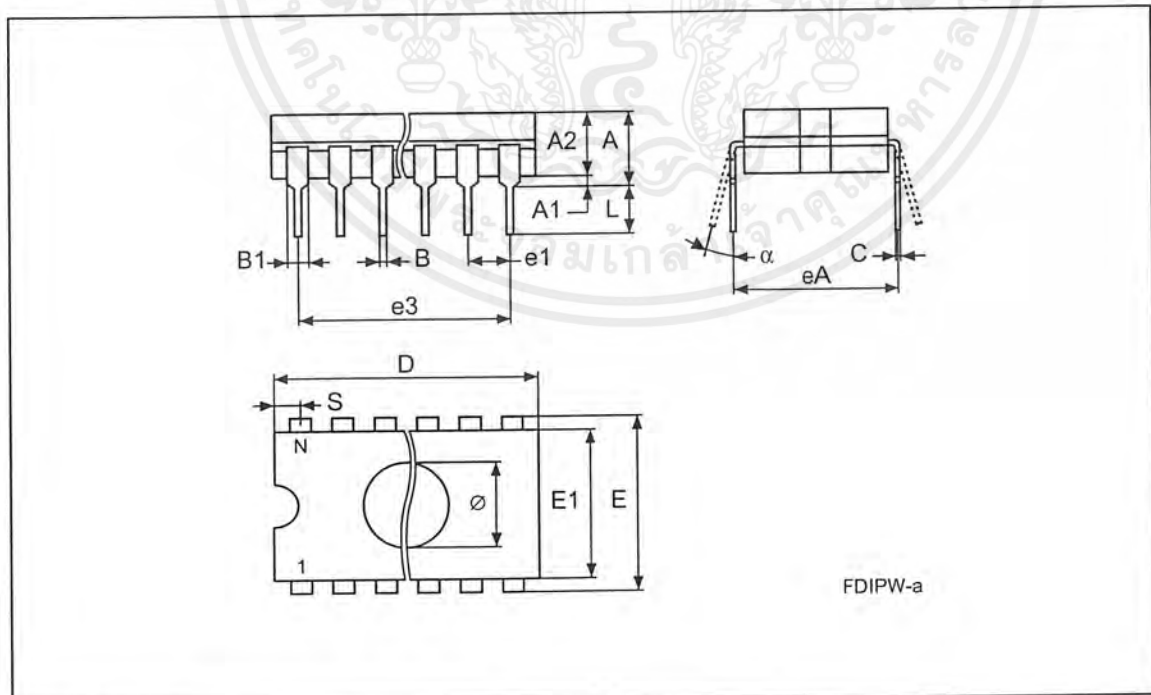
For a list of available options (Speed, V_{CC} Tolerance, Package, etc...) refer to the current Memory Shortform catalogue.

For further information on any aspect of this device, please contact SGS-THOMSON Sales Office nearest to you.

FDIP28W - 28 pin Ceramic Frit-seal DIP, with window

Symb	mm			inches		
	Typ	Min	Max	Typ	Min	Max
A			5.71			0.225
A1		0.50	1.78		0.020	0.070
A2		3.90	5.08		0.154	0.200
B		0.40	0.55		0.016	0.022
B1		1.17	1.42		0.046	0.056
C		0.22	0.31		0.009	0.012
D			38.10			1.500
E		15.40	15.80		0.606	0.622
E1		13.05	13.36		0.514	0.526
e1	2.54	—	—	0.100	—	—
e3	33.02	—	—	1.300	—	—
eA		16.17	18.32		0.637	0.721
L		3.18	4.10		0.125	0.161
S		1.52	2.49		0.060	0.098
∅	7.11	—	—	0.280	—	—
α		4°	15°		4°	15°
N		28			28	

FDIP28W



Drawing is not to scale



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1995 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

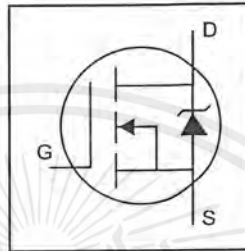
Australia - Brazil - China - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF520N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

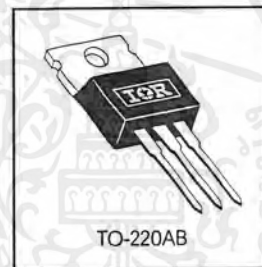


$V_{DSS} = 100V$
$R_{DS(on)} = 0.20\Omega$
$I_D = 9.7A$

Description

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

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



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	9.7	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	6.8	
I_{DM}	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{D}}$	38	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	48	W
	Linear Derating Factor	0.32	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy $\text{\textcircled{Q}}$	91	mJ
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{D}}$	5.7	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	4.8	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{D}}$	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	3.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

IRF520N

International
IOR Rectifier

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.20	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.7A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	2.7	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 5.7A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$ $V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	25	nC	$I_D = 5.7A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	4.8	nC	$V_{DS} = 80V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	11	nC	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	4.5	—	ns	$V_{DD} = 50V$ $I_D = 5.7A$ $R_G = 22\Omega$ $R_D = 8.6\Omega$, See Fig. 10 ④
t_r	Rise Time	—	23	—		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	32	—		
t_f	Fall Time	—	23	—		
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	330	—	pF	$V_{GS} = 0V$ $V_{DS} = 25V$ $f = 1.0MHz$, See Fig. 5
C_{oss}	Output Capacitance	—	92	—		
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	54	—		



Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	9.7	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	38		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 5.7A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	99	150	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 5.7A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	390	580	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② $V_{DD} = 25V$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 4.7mH$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 5.7A$. (See Figure 12)

③ $I_{SD} \leq 5.7A, di/dt \leq 240A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$

④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

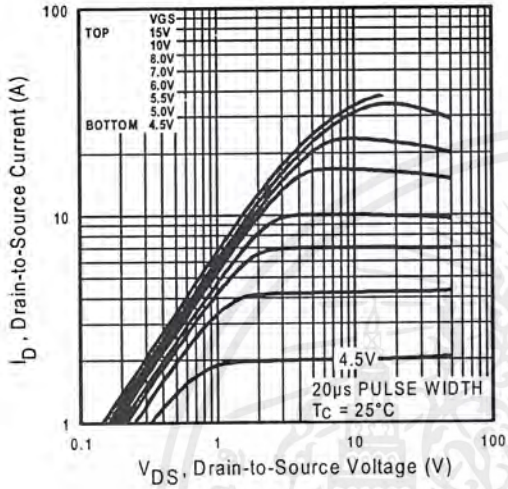


Fig 1. Typical Output Characteristics

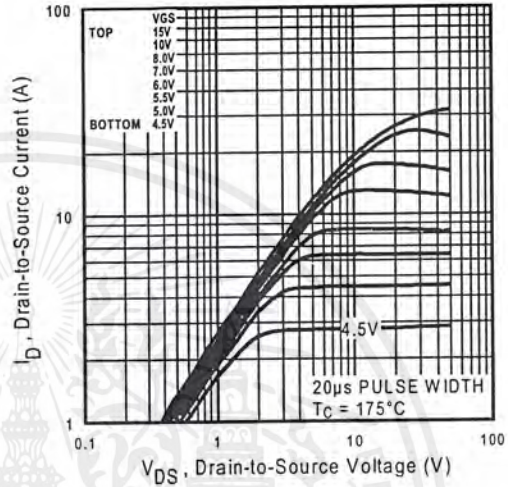


Fig 2. Typical Output Characteristics

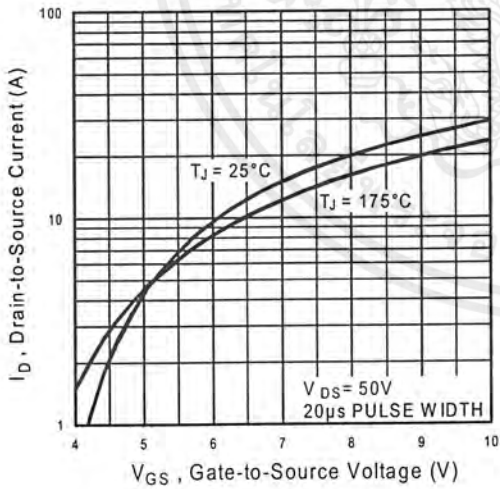


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

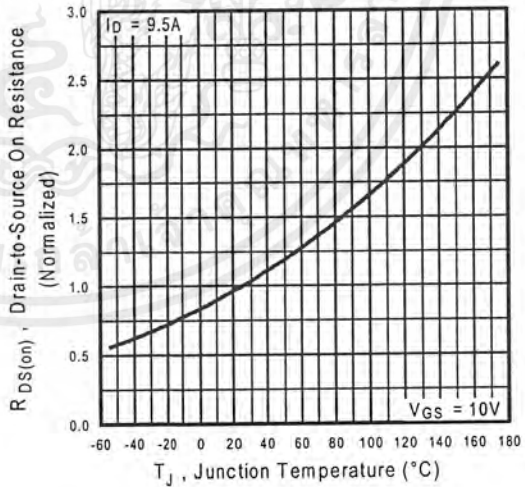


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

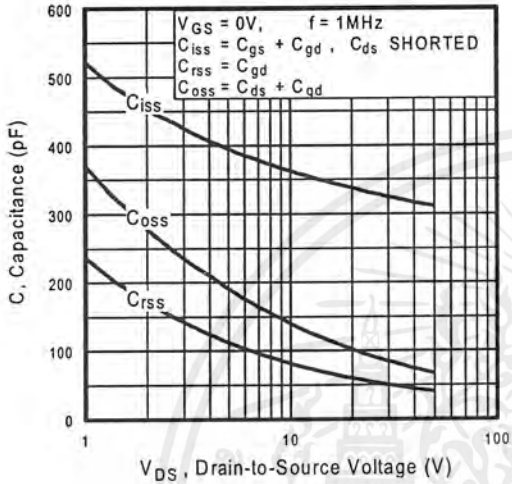


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

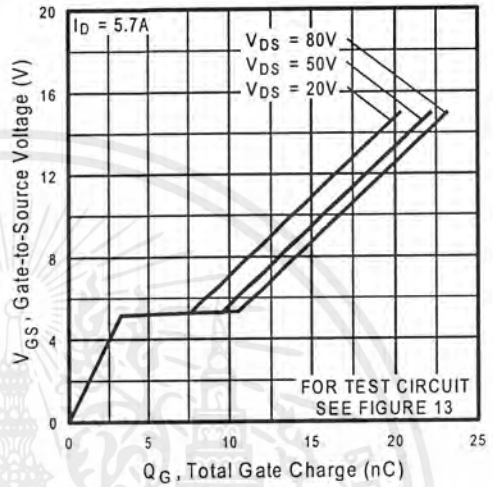


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

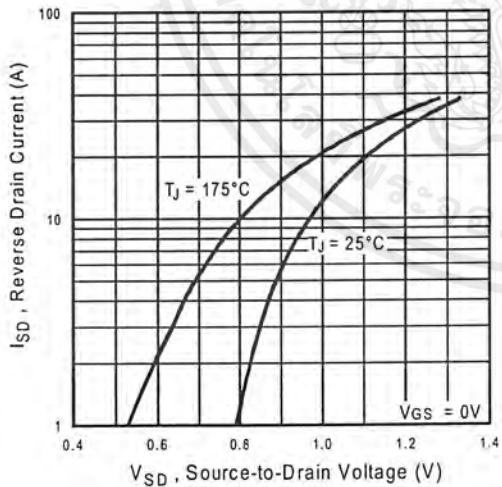


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

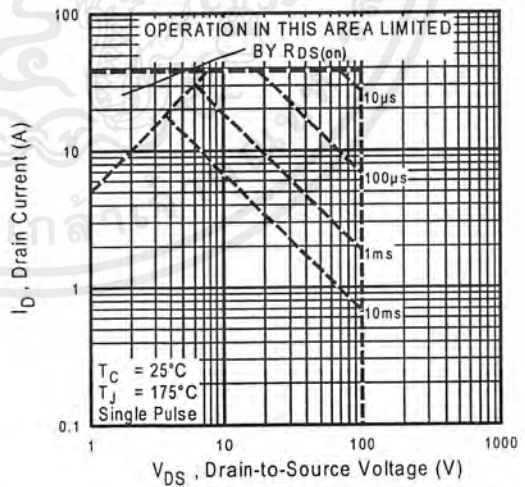


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

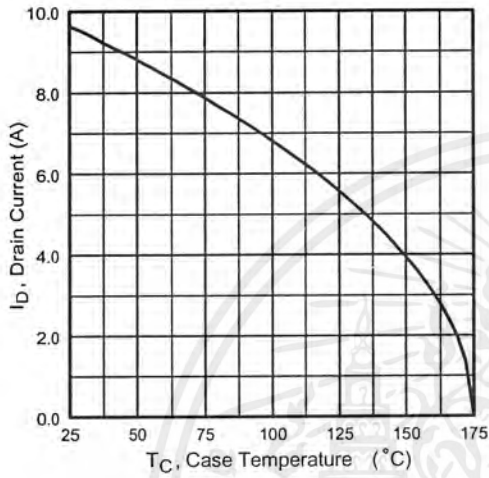


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

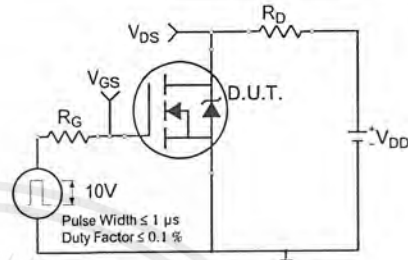


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

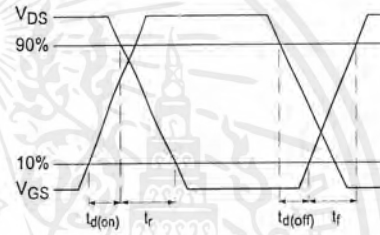


Fig 10b. Switching Time Waveforms

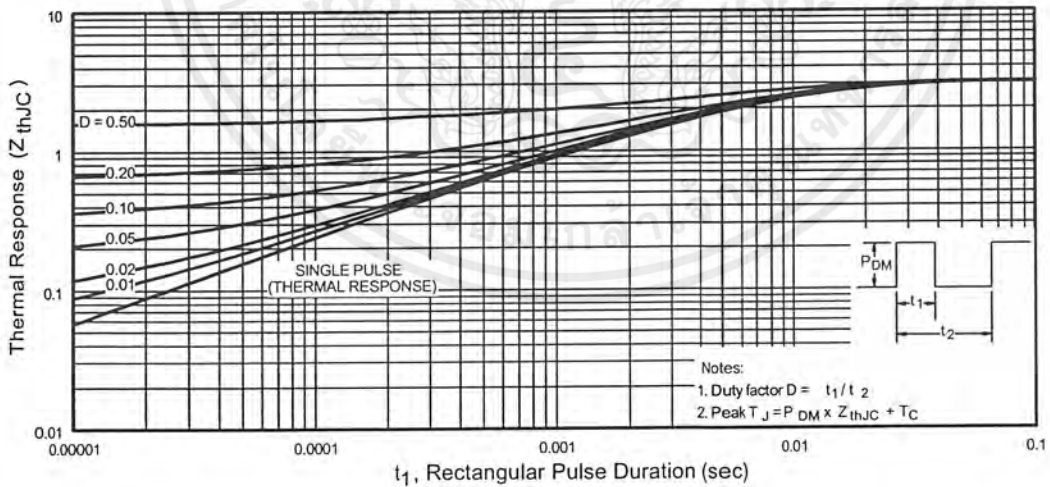


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

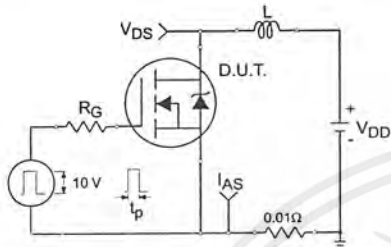


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

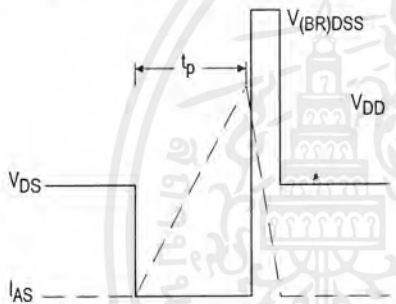


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

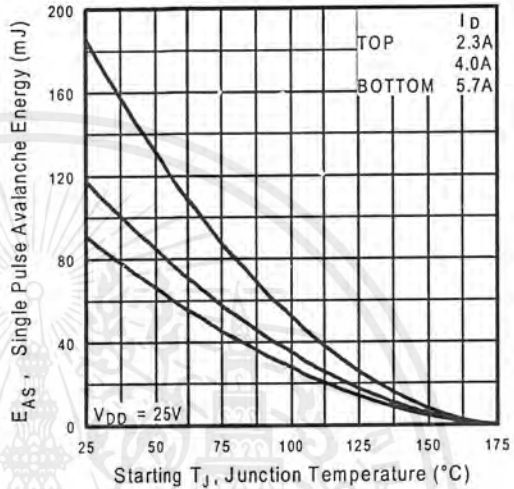


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

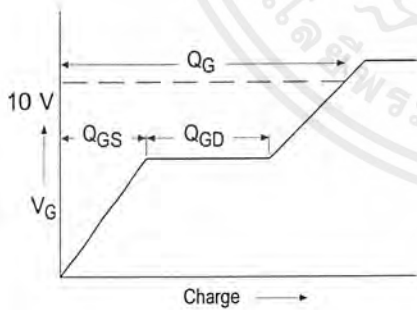


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

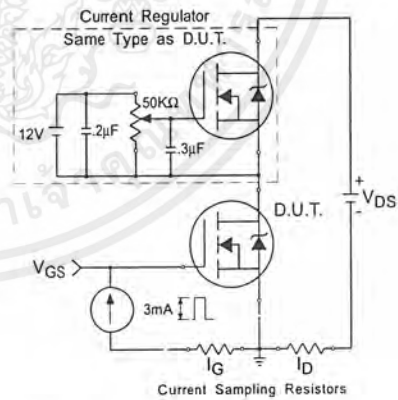


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

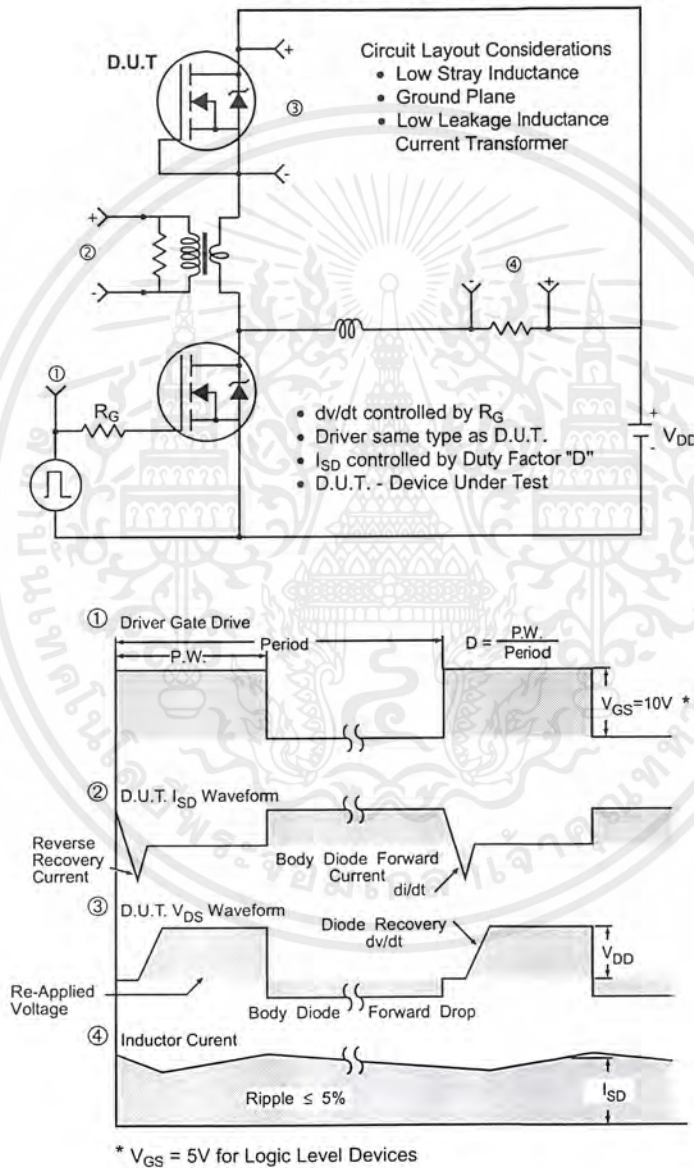


Fig 14. For N-Channel HEXFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

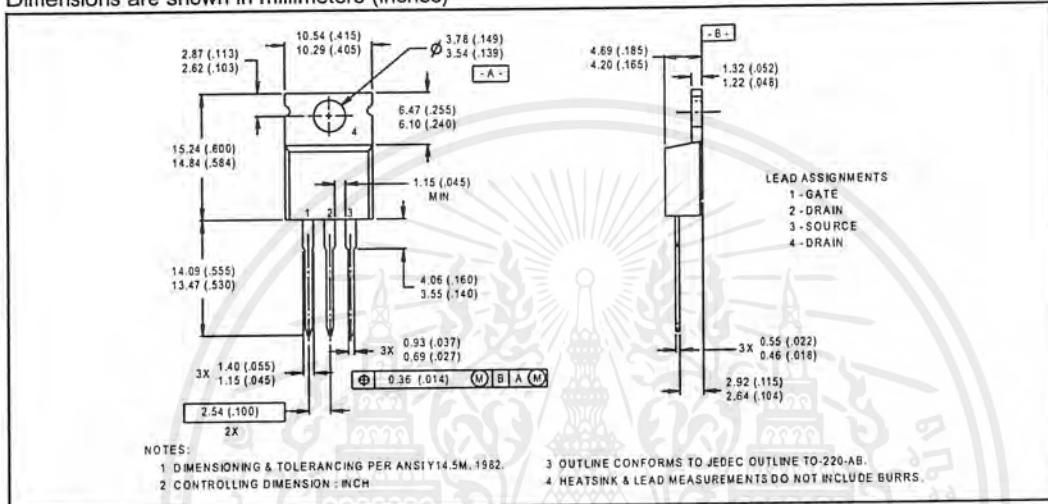
IRF520N

International
IR Rectifier

Package Outline

TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)

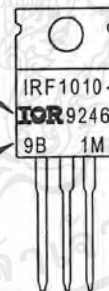


Part Marking Information

TO-220AB

EXAMPLE : THIS IS AN IRF1010
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 9B1M

INTERNATIONAL
RECTIFIER
LOGO



PART NUMBER

DATE CODE
(YYWW)
YY = YEAR
WW = WEEK

ASSEMBLY
LOT CODE

International
IR Rectifier

WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331
EUROPEAN HEADQUARTERS: Hurst Green, Oxted, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1883 732020

IR CANADA: 7321 Victoria Park Ave., Suite 201, Markham, Ontario L3R 2Z8, Tel: (905) 475 1897

IR GERMANY: Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590

IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111

IR FAR EAST: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086

IR SOUTHEAST ASIA: 315 Outram Road, #10-02 Tan Boon Liat Building, Singapore 0316 Tel: 65 221 8371

<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 5/98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Precision Waveform Generator/ Voltage Controlled Oscillator

November 1996

Features

- Low Frequency Drift with Temperature . . . 250ppm/°C
- Low Distortion 1% (Sine Wave Output)
- High Linearity 0.1% (Triangle Wave Output)
- Wide Frequency Range 0.001Hz to 300kHz
- Variable Duty Cycle 2% to 98%
- High Level Outputs TTL to 28V
- Simultaneous Sine, Square, and Triangle Wave Outputs
- Easy to Use - Just a Handful of External Components Required

Description

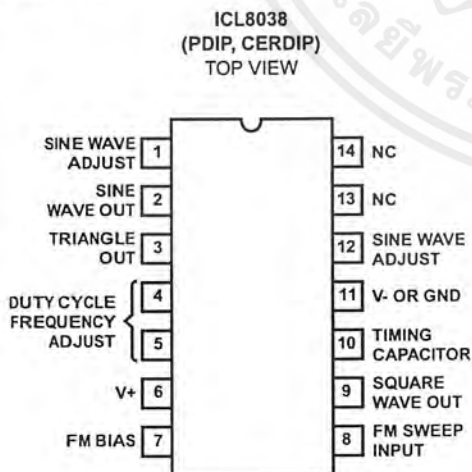
The ICL8038 waveform generator is a monolithic integrated circuit capable of producing high accuracy sine, square, triangular, sawtooth and pulse waveforms with a minimum of external components. The frequency (or repetition rate) can be selected externally from 0.001Hz to more than 300kHz using either resistors or capacitors, and frequency modulation and sweeping can be accomplished with an external voltage. The ICL8038 is fabricated with advanced monolithic technology, using Schottky barrier diodes and thin film resistors, and the output is stable over a wide range of temperature and supply variations. These devices may be interfaced with phase locked loop circuitry to reduce temperature drift to less than 250ppm/°C.

Ordering Information

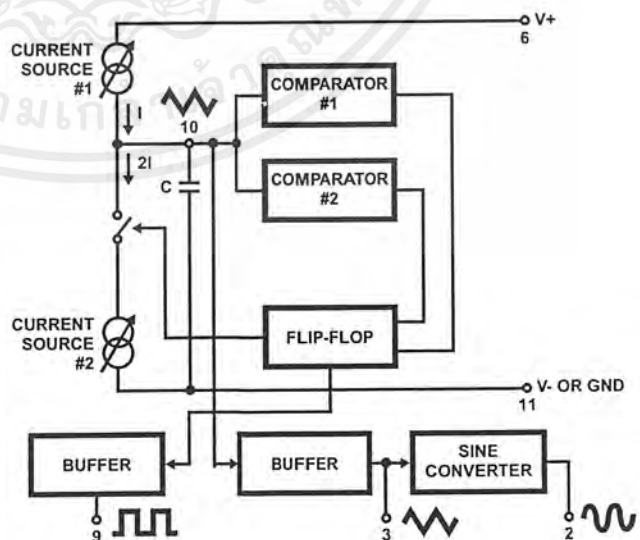
PART NUMBER	STABILITY	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL8038CCPD	250ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
ICL8038CCJD	250ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038BCJD	180ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038ACJD	120ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038BMJD (Note)	350ppm/°C (Max)	-55 to 125	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038AMJD (Note)	250ppm/°C (Max)	-55 to 125	14 Ld CERDIP	F14.3

NOTE: Add /883B to part number if 883 processing is required.

Pinout



Functional Diagram



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper IC Handling Procedures.

File Number 2864.2

Copyright © Harris Corporation 1996

8-153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V- to V+)	36V
Input Voltage (Any Pin)	V- to V+
Input Current (Pins 4 and 5)	25mA
Output Sink Current (Pins 3 and 9)	25mA

Operating Conditions

Temperature Range	
ICL8038AM, ICL8038BM	-55°C to 125°C
ICL8038AC, ICL8038BC, ICL8038CC	0°C to 70°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
CERDIP Package	75	20
PDIP Package	115	N/A
Maximum Junction Temperature (Ceramic Package)	175°C	
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C	

Electrical Specifications $V_{SUPPLY} = \pm 10V$ or $+20V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 10k\Omega$, Test Circuit Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC(BM)			ICL8038AC(AM)			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage Operating Range	V_{SUPPLY} V+	Single Supply	+10	-	+30	+10	-	+30	+10	-	+30	V
		V+, V-	Dual Supplies	±5	-	±15	±5	-	±15	±5	-	±5
Supply Current	I_{SUPPLY}	$V_{SUPPLY} = \pm 10V$ (Note 2)	8038AM, 8038BM	-	-	-	12	15	-	12	15	mA
			8038AC, 8038BC, 8038CC	-	-	-	12	20	-	12	20	mA
FREQUENCY CHARACTERISTICS (All Waveforms)												
Max. Frequency of Oscillation	f_{MAX}		100	-	-	100	-	-	100	-	-	kHz
Sweep Frequency of FM Input	f_{SWEEP}		-	10	-	-	10	-	-	10	-	kHz
Sweep FM Range		(Note 3)	-	35:1	-	-	35:1	-	-	35:1	-	
FM Linearity		10:1 Ratio	-	0.5	-	-	0.2	-	-	0.2	-	%
Frequency Drift with Temperature (Note 5)	$\Delta f/\Delta T$	8038AC, 8038BC, 8038CC	0°C to 70°C	-	250	-	-	180	-	-	120	ppm/°C
		8038AM, 8038BM	-55°C to 125°C	-	-	-	-	350	-	-	250	ppm/°C
Frequency Drift with Supply Voltage	$\Delta f/\Delta V$	Over Supply Voltage Range	-	0.05	-	-	0.05	-	-	0.05	-	%/V
OUTPUT CHARACTERISTICS												
Square Wave												-
Leakage Current	I_{OLK}	$V_g = 30V$	-	-	1	-	-	1	-	-	1	μA
Saturation Voltage	V_{SAT}	$I_{SINK} = 2mA$	-	0.2	0.5	-	0.2	0.4	-	0.2	0.4	V
Rise Time	t_R	$R_L = 4.7k\Omega$	-	180	-	-	180	-	-	180	-	ns
Fall Time	t_F	$R_L = 4.7k\Omega$	-	40	-	-	40	-	-	40	-	ns
Typical Duty Cycle Adjust (Note 6)	ΔD		2		98	2		98	2		98	%
Triangle/Sawtooth/Ramp												-
Amplitude	$V_{TRIANGLE}$	$R_{TRI} = 100k\Omega$	0.30	0.33	-	0.30	0.33	-	0.30	0.33	-	$\times V_{SUPPLY}$
Linearity			-	0.1	-	-	0.05	-	-	0.05	-	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

Electrical Specifications $V_{SUPPLY} = \pm 10V$ or $+20V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 10k\Omega$, Test Circuit Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC(BM)			ICL8038AC(AM)			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Output Impedance	Z_{OUT}	$I_{OUT} = 5mA$	-	200	-	-	200	-	-	200	-	Ω
Sine Wave Amplitude	V_{SINE}	$R_{SINE} = 100k\Omega$	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	$\times V_{SUPPLY}$
THD	THD	$R_S = 1M\Omega$ (Note 4)	-	2.0	5	-	1.5	3	-	1.0	1.5	%
THD Adjusted	THD	Use Figure 4	-	1.5	-	-	1.0	-	-	0.8	-	%

NOTES:

2. R_A and R_B currents not included.
3. $V_{SUPPLY} = 20V$; R_A and $R_B = 10k\Omega$, $f \cong 10kHz$ nominal; can be extended 1000 to 1. See Figures 5A and 5B.
4. $82k\Omega$ connected between pins 11 and 12, Triangle Duty Cycle set at 50%. (Use R_A and R_B .)
5. Figure 1, pins 7 and 8 connected, $V_{SUPPLY} = \pm 10V$. See Typical Curves for T.C. vs V_{SUPPLY} .
6. Not tested, typical value for design purposes only.

Test Conditions

PARAMETER	R_A	R_B	R_L	C	SW_1	MEASURE
Supply Current	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Current Into Pin 6
Sweep FM Range (Note 7)	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Open	Frequency at Pin 9
Frequency Drift with Temperature	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Frequency at Pin 3
Frequency Drift with Supply Voltage (Note 8)	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Frequency at Pin 9
Output Amplitude (Note 10)						
Sine	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Pk-Pk Output at Pin 2
Triangle	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Pk-Pk Output at Pin 3
Leakage Current (Off) (Note 9)	10k Ω	10k Ω		3.3nF	Closed	Current into Pin 9
Saturation Voltage (On) (Note 9)	10k Ω	10k Ω		3.3nF	Closed	Output (Low) at Pin 9
Rise and Fall Times (Note 11)	10k Ω	10k Ω	4.7k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Duty Cycle Adjust (Note 11)						
Max	50k Ω	$\sim 1.6k\Omega$	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Min	$\sim 25k\Omega$	50k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Triangle Waveform Linearity	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 3
Total Harmonic Distortion	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 2

NOTES:

7. The hi and lo frequencies can be obtained by connecting pin 8 to pin 7 (f_{HI}) and then connecting pin 8 to pin 6 (f_{LO}). Otherwise apply Sweep Voltage at pin 8 ($2/3 V_{SUPPLY} + 2V$) $\leq V_{SWEEP} \leq V_{SUPPLY}$ where V_{SUPPLY} is the total supply voltage. In Figure 5B, pin 8 should vary between 5.3V and 10V with respect to ground.
8. $10V \leq V+ \leq 30V$, or $\pm 5V \leq V_{SUPPLY} \leq \pm 15V$.
9. Oscillation can be halted by forcing pin 10 to +5V or -5V.
10. Output Amplitude is tested under static conditions by forcing pin 10 to 5V then to -5V.
11. Not tested; for design purposes only.

ICL8038

Test Circuit

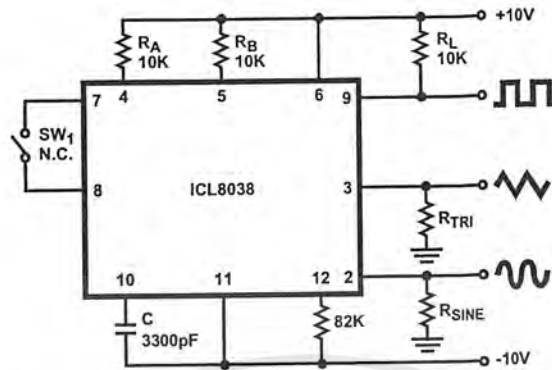
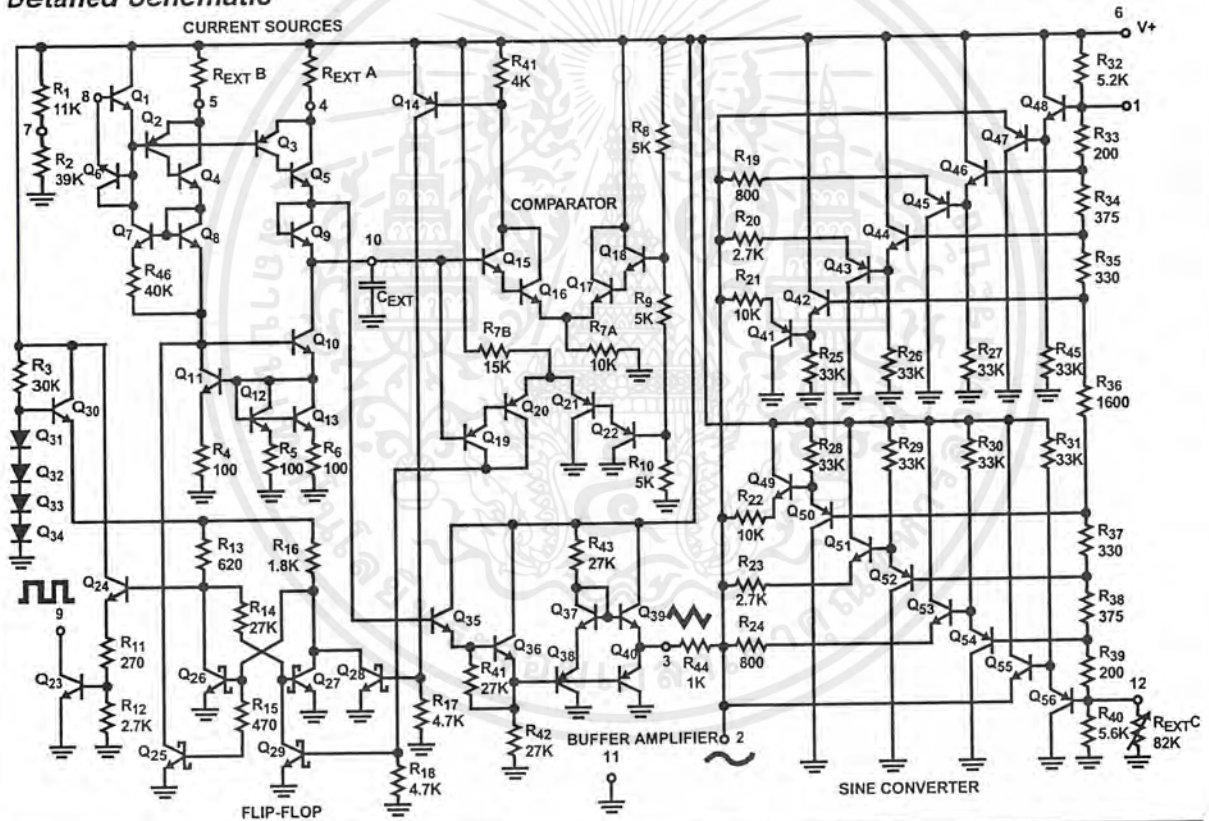


FIGURE 1. TEST CIRCUIT

Detailed Schematic



Application Information (See Functional Diagram)

An external capacitor C is charged and discharged by two current sources. Current source #2 is switched on and off by a flip-flop, while current source #1 is on continuously. Assuming that the flip-flop is in a state such that current source #2 is off, and the capacitor is charged with a current I , the voltage across the capacitor rises linearly with time. When this voltage reaches the level of comparator #1 (set at $2/3$ of the supply voltage), the flip-flop is triggered, changes states, and releases current source #2. This current source normally carries a current $2I$, thus the capacitor is discharged with a net-current I and the voltage

across it drops linearly with time. When it has reached the level of comparator #2 (set at $1/3$ of the supply voltage), the flip-flop is triggered into its original state and the cycle starts again.

Four waveforms are readily obtainable from this basic generator circuit. With the current sources set at I and $2I$ respectively, the charge and discharge times are equal. Thus a triangle waveform is created across the capacitor and the flip-flop produces a square wave. Both waveforms are fed to buffer stages and are available at pins 3 and 9.

ICL8038

The levels of the current sources can, however, be selected over a wide range with two external resistors. Therefore, with the two currents set at values different from I and $2I$, an asymmetrical sawtooth appears at Terminal 3 and pulses with a duty cycle from less than 1% to greater than 99% are available at Terminal 9.

The sine wave is created by feeding the triangle wave into a nonlinear network (sine converter). This network provides a decreasing shunt impedance as the potential of the triangle moves toward the two extremes.

Waveform Timing

The *symmetry* of all waveforms can be adjusted with the external timing resistors. Two possible ways to accomplish this are shown in Figure 3. Best results are obtained by keeping the timing resistors R_A and R_B separate (A). R_A controls the rising portion of the triangle and sine wave and the 1 state of the square wave.

The magnitude of the triangle waveform is set at $1/3 V_{SUPPLY}$; therefore the rising portion of the triangle is,

$$t_1 = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times 1/3 \times V_{SUPPLY} \times R_A}{0.22 \times V_{SUPPLY}} = \frac{R_A \times C}{0.66}$$

The falling portion of the triangle and sine wave and the 0 state of the square wave is:

$$t_2 = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times 1/3 V_{SUPPLY}}{2(0.22) \frac{V_{SUPPLY}}{R_B} - 0.22 \frac{V_{SUPPLY}}{R_A}} = \frac{R_A R_B C}{0.66(2R_A - R_B)}$$

Thus a 50% duty cycle is achieved when $R_A = R_B$.

If the duty cycle is to be varied over a small range about 50% only, the connection shown in Figure 3B is slightly more convenient. A $1k\Omega$ potentiometer may not allow the duty cycle to be adjusted through 50% on all devices. If a 50% duty cycle is required, a $2k\Omega$ or $5k\Omega$ potentiometer should be used.

With two separate timing resistors, the frequency is given by:

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{\frac{R_A C}{0.66} \left(1 + \frac{R_B}{2R_A - R_B} \right)}$$

or, if $R_A = R_B = R$

$$f = \frac{0.33}{RC} \text{ (for Figure 3A)}$$

Neither time nor frequency are dependent on supply voltage, even though none of the voltages are regulated inside the integrated circuit. This is due to the fact that both currents and thresholds are direct, linear functions of the supply voltage and thus their effects cancel.

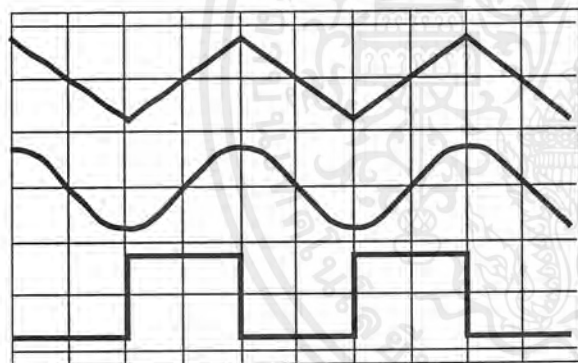


FIGURE 2A. SQUARE WAVE DUTY CYCLE - 50%

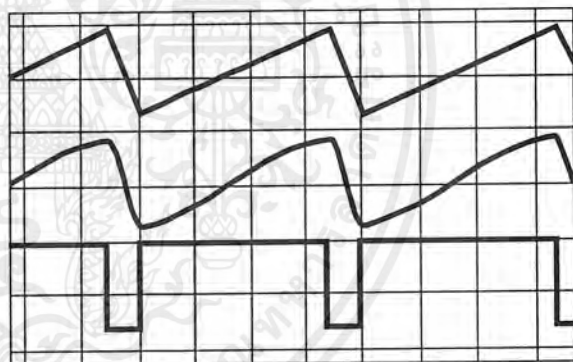


FIGURE 2B. SQUARE WAVE DUTY CYCLE - 80%

FIGURE 2. PHASE RELATIONSHIP OF WAVEFORMS

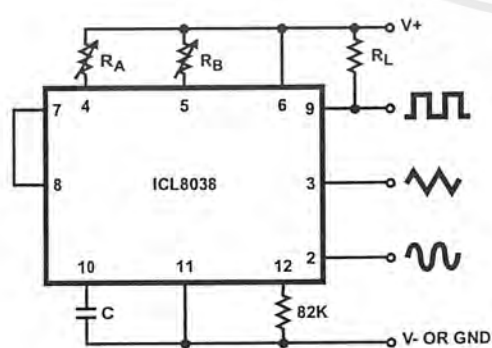


FIGURE 3A.

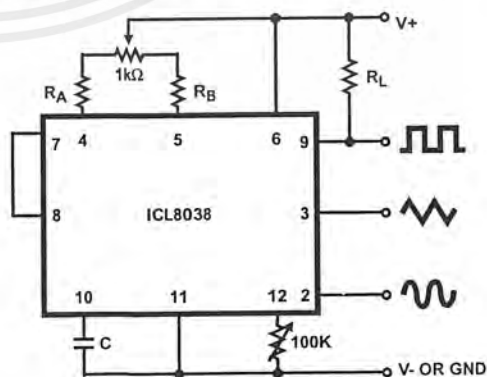


FIGURE 3B.

FIGURE 3. POSSIBLE CONNECTIONS FOR THE EXTERNAL TIMING RESISTORS

ICL8038

Reducing Distortion

To minimize sine wave distortion the 82kΩ resistor between pins 11 and 12 is best made variable. With this arrangement distortion of less than 1% is achievable. To reduce this even further, two potentiometers can be connected as shown in Figure 4; this configuration allows a typical reduction of sine wave distortion close to 0.5%.

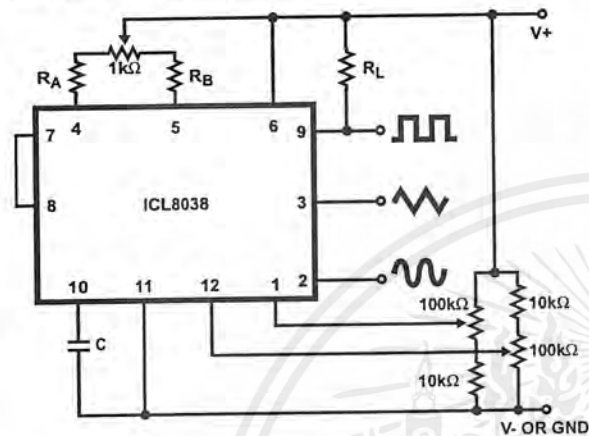


FIGURE 4. CONNECTION TO ACHIEVE MINIMUM SINE WAVE DISTORTION

Selecting RA, RB and C

For any given output frequency, there is a wide range of RC combinations that will work, however certain constraints are placed upon the magnitude of the charging current for optimum performance. At the low end, currents of less than 1μA are undesirable because circuit leakages will contribute significant errors at high temperatures. At higher currents ($I > 5\text{mA}$), transistor betas and saturation voltages will contribute increasingly larger errors. Optimum performance will, therefore, be obtained with charging currents of 10μA to 1mA. If pins 7 and 8 are shorted together, the magnitude of the charging current due to RA can be calculated from:

$$I = \frac{R_1 \times (V+ - V-)}{(R_1 + R_2)} \times \frac{1}{R_A} = \frac{0.22(V+ - V-)}{R_A}$$

R_1 and R_2 are shown in the Detailed Schematic.

A similar calculation holds for R_B .

The capacitor value should be chosen at the upper end of its possible range.

Waveform Out Level Control and Power Supplies

The waveform generator can be operated either from a single power supply (10V to 30V) or a dual power supply ($\pm 5\text{V}$ to $\pm 15\text{V}$). With a single power supply the average levels of the triangle and sine wave are at exactly one-half of the supply voltage, while the square wave alternates between V+ and ground. A split power supply has the advantage that all waveforms move symmetrically about ground.

The square wave output is not committed. A load resistor can be connected to a different power supply, as long as the applied voltage remains within the breakdown capability of the waveform generator (30V). In this way, the square wave

output can be made TTL compatible (load resistor connected to +5V) while the waveform generator itself is powered from a much higher voltage.

Frequency Modulation and Sweeping

The frequency of the waveform generator is a direct function of the DC voltage at Terminal 8 (measured from V+). By altering this voltage, frequency modulation is performed. For small deviations (e.g. $\pm 10\%$) the modulating signal can be applied directly to pin 8, merely providing DC decoupling with a capacitor as shown in Figure 5A. An external resistor between pins 7 and 8 is not necessary, but it can be used to increase input impedance from about 8kΩ (pins 7 and 8 connected together), to about $(R + 8\text{k}\Omega)$.

For larger FM deviations or for frequency sweeping, the modulating signal is applied between the positive supply voltage and pin 8 (Figure 5B). In this way the entire bias for the current sources is created by the modulating signal, and a very large (e.g. 1000:1) sweep range is created ($f = 0$ at $V_{\text{SWEEP}} = 0$). Care must be taken, however, to regulate the supply voltage; in this configuration the charge current is no longer a function of the supply voltage (yet the trigger thresholds still are) and thus the frequency becomes dependent on the supply voltage. The potential on Pin 8 may be swept down from V+ by $(1/3)V_{\text{SUPPLY}} - 2\text{V}$.

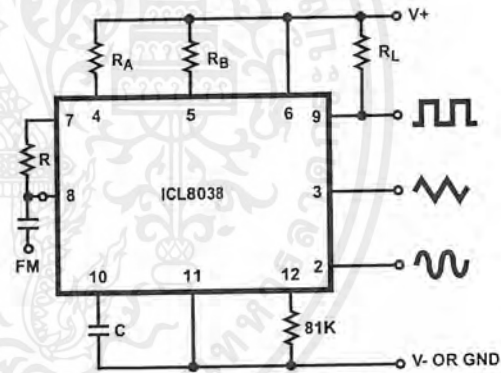


FIGURE 5A. CONNECTIONS FOR FREQUENCY MODULATION

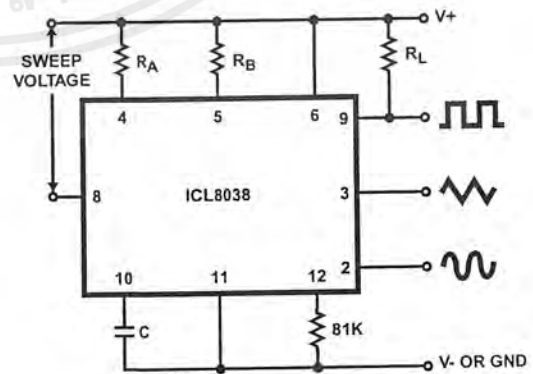


FIGURE 5B. CONNECTIONS FOR FREQUENCY SWEEP

Typical Applications

The sine wave output has a relatively high output impedance (1kΩ Typ). The circuit of Figure 6 provides buffering, gain and amplitude adjustment. A simple op amp follower could also be used.

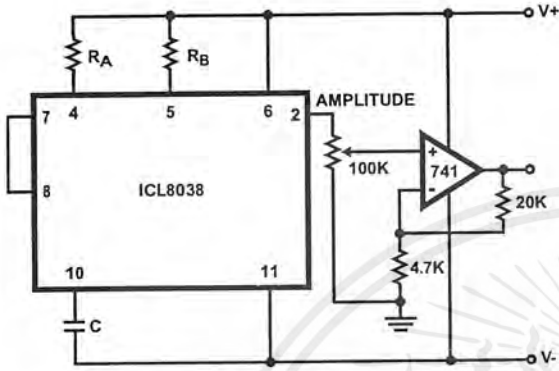


FIGURE 6. SINE WAVE OUTPUT BUFFER AMPLIFIERS

With a dual supply voltage the external capacitor on Pin 10 can be shorted to ground to halt the ICL8038 oscillation. Figure 7 shows a FET switch, diode ANDed with an input strobe signal to allow the output to always start on the same slope.

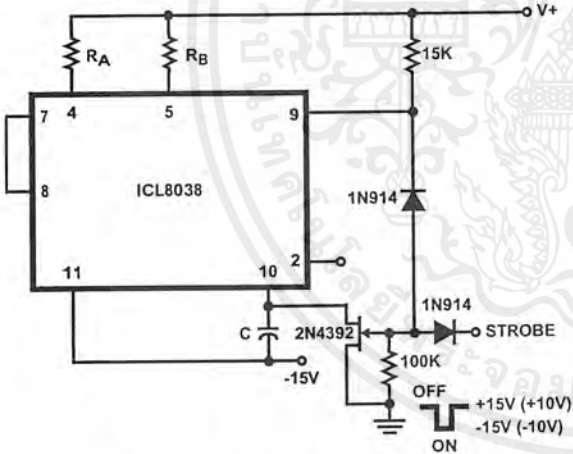


FIGURE 7. STROBE TONE BURST GENERATOR

To obtain a 1000:1 Sweep Range on the ICL8038 the voltage across external resistors R_A and R_B must decrease to nearly zero. This requires that the highest voltage on control Pin 8 exceed the voltage at the top of R_A and R_B by a few hundred mV. The Circuit of Figure 8 achieves this by using a diode to lower the effective supply voltage on the ICL8038. The large resistor on pin 5 helps reduce duty cycle variations with sweep.

The linearity of input sweep voltage versus output frequency can be significantly improved by using an op amp as shown in Figure 9.

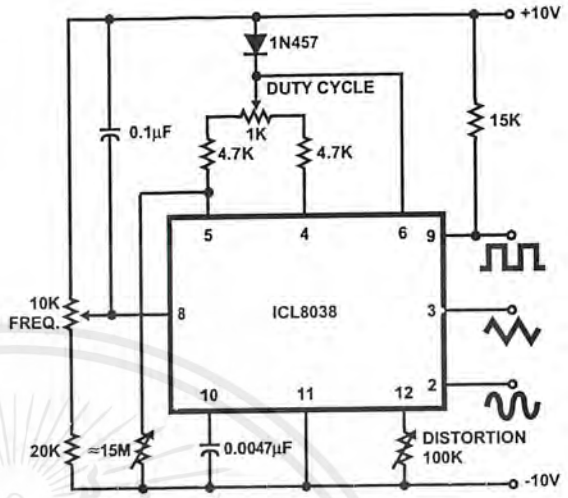


FIGURE 8. VARIABLE AUDIO OSCILLATOR, 20Hz TO 20kHz

ICL8038

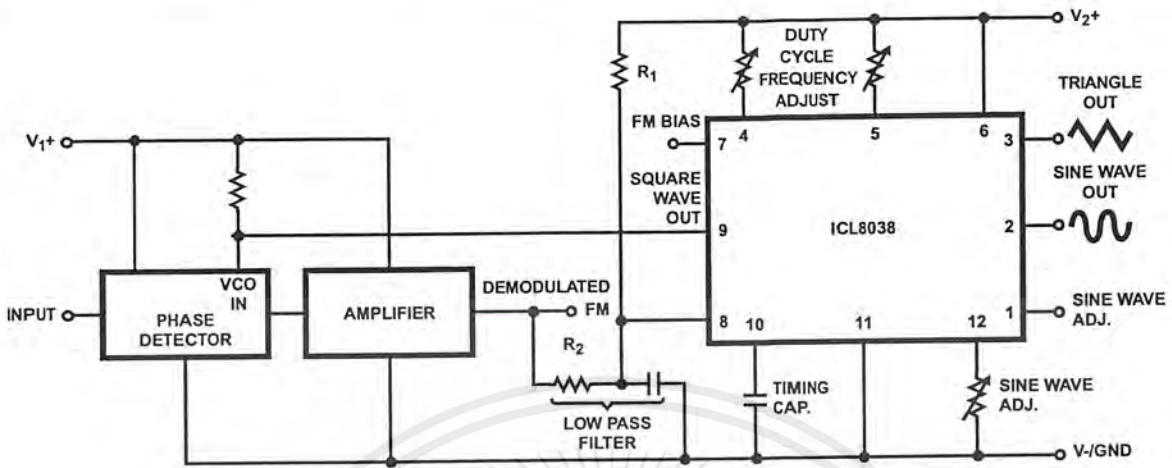


FIGURE 9. WAVEFORM GENERATOR USED AS STABLE VCO IN A PHASE-LOCKED LOOP

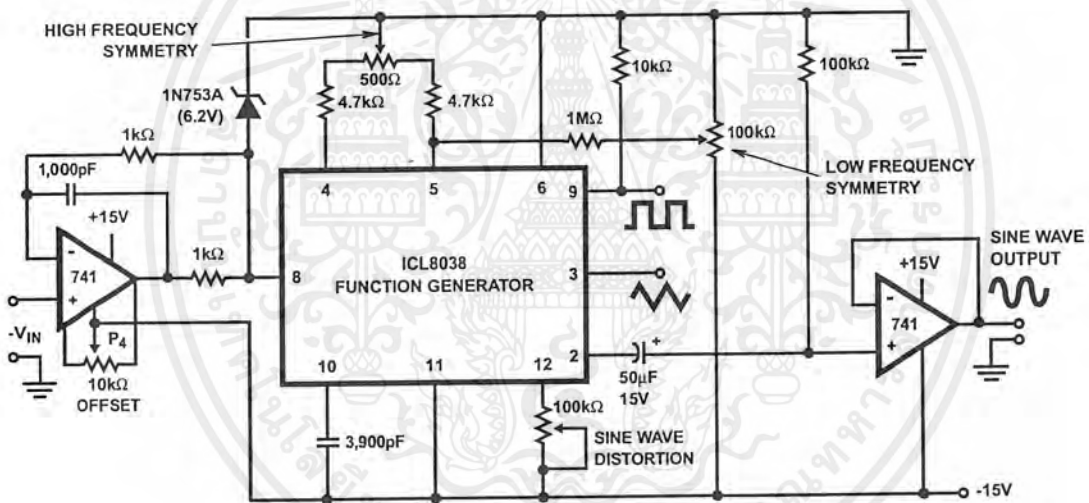


FIGURE 10. LINEAR VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR

Use in Phase Locked Loops

Its high frequency stability makes the ICL8038 an ideal building block for a phase locked loop as shown in Figure 10. In this application the remaining functional blocks, the phase detector and the amplifier, can be formed by a number of available ICs (e.g., MC4344, NE562, HA2800, HA2820).

In order to match these building blocks to each other, two steps must be taken. First, two different supply voltages are used and the square wave output is returned to the supply of the phase detector. This assures that the VCO input voltage will not exceed the capabilities of the phase detector. If a smaller VCO signal is required, a simple resistive voltage divider is connected between pin 9 of the waveform generator and the VCO input of the phase detector.

Second, the DC output level of the amplifier must be made compatible to the DC level required at the FM input of the waveform generator (pin 8, 0.8V+). The simplest solution here is to provide a voltage divider to V+ (R_1 , R_2 as shown) if the amplifier has a lower output level, or to ground if its level is higher. The divider can be made part of the low-pass filter.

This application not only provides for a free-running frequency with very low temperature drift, but is also has the unique feature of producing a large reconstituted sinewave signal with a frequency identical to that at the input.

For further information, see Harris Application Note AN013, "Everything You Always Wanted to Know About the ICL8038".

ICL8038

Definition of Terms

Supply Voltage (V_{SUPPLY}). The total supply voltage from $V+$ to $V-$.

Supply Current. The supply current required from the power supply to operate the device, excluding load currents and the currents through R_A and R_B .

Frequency Range. The frequency range at the square wave output through which circuit operation is guaranteed.

Sweep FM Range. The ratio of maximum frequency to minimum frequency which can be obtained by applying a sweep voltage to pin 8. For correct operation, the sweep voltage should be within the range:

$$\left(\frac{2}{3} V_{SUPPLY} + 2V\right) < V_{SWEEP} < V_{SUPPLY}$$

FM Linearity. The percentage deviation from the best fit straight line on the control voltage versus output frequency curve.

Output Amplitude. The peak-to-peak signal amplitude appearing at the outputs.

Saturation Voltage. The output voltage at the collector of Q_{23} when this transistor is turned on. It is measured for a sink current of 2mA.

Rise and Fall Times. The time required for the square wave output to change from 10% to 90%, or 90% to 10%, of its final value.

Triangle Waveform Linearity. The percentage deviation from the best fit straight line on the rising and falling triangle waveform.

Total Harmonic Distortion. The total harmonic distortion at the sine wave output.

Typical Performance Curves

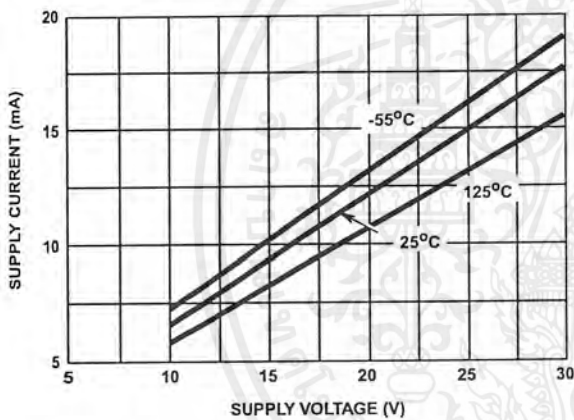


FIGURE 11. SUPPLY CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

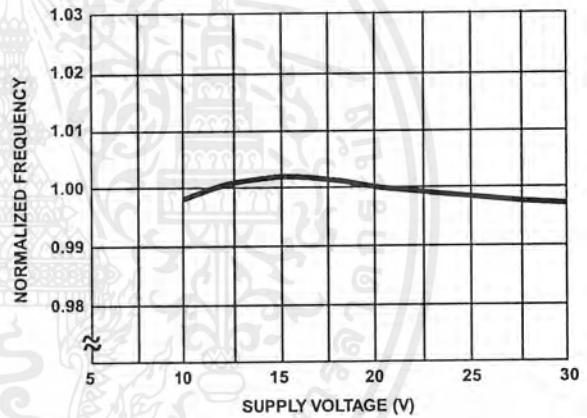


FIGURE 12. FREQUENCY vs SUPPLY VOLTAGE

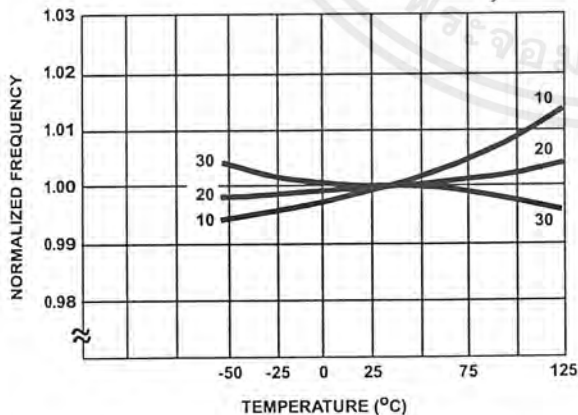


FIGURE 13. FREQUENCY vs TEMPERATURE

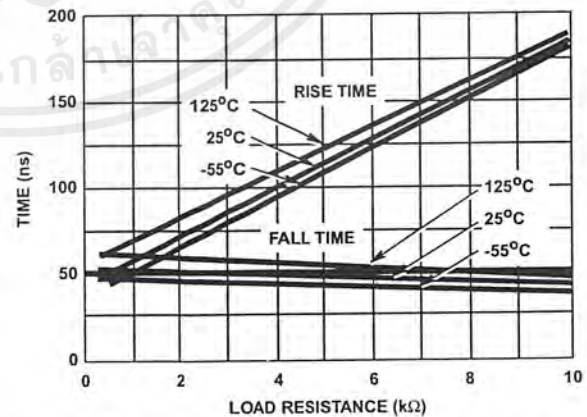


FIGURE 14. SQUARE WAVE OUTPUT RISE/FALL TIME vs LOAD RESISTANCE

Typical Performance Curves (Continued)

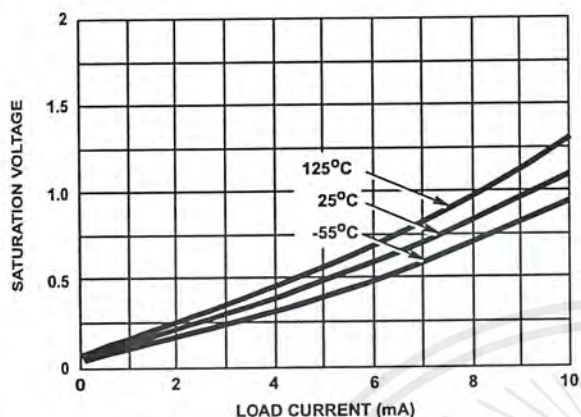


FIGURE 15. SQUARE WAVE SATURATION VOLTAGE vs LOAD CURRENT

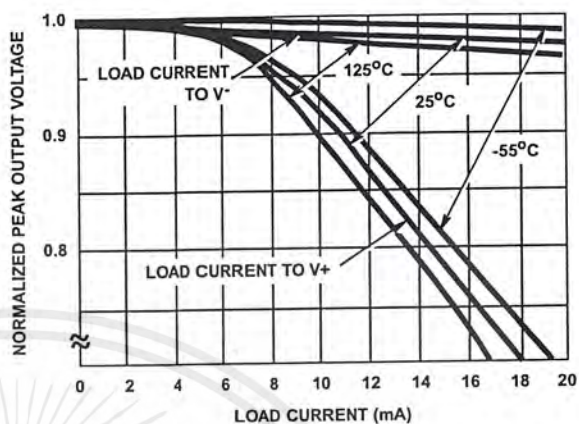


FIGURE 16. TRIANGLE WAVE OUTPUT VOLTAGE vs LOAD CURRENT

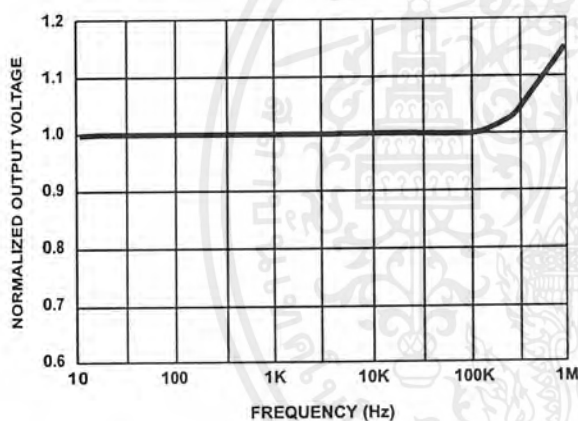


FIGURE 17. TRIANGLE WAVE OUTPUT VOLTAGE vs FREQUENCY

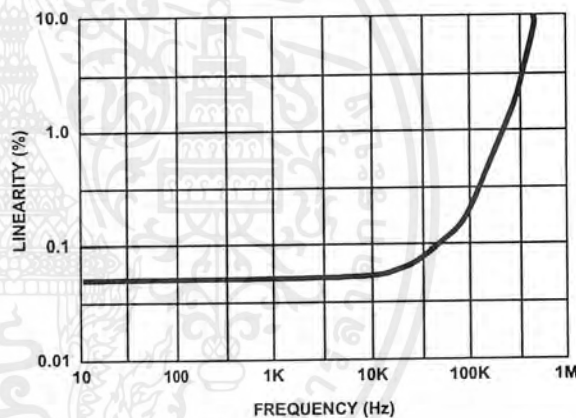


FIGURE 18. TRIANGLE WAVE LINEARITY vs FREQUENCY

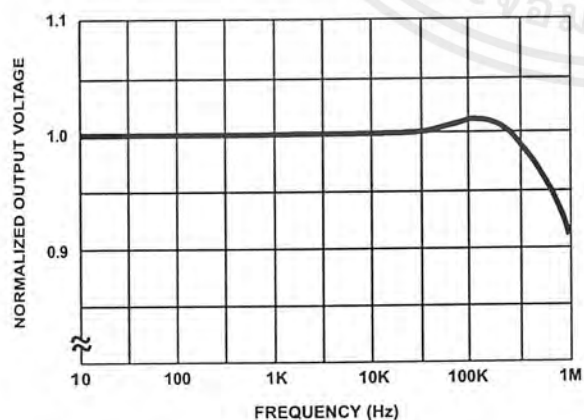


FIGURE 19. SINE WAVE OUTPUT VOLTAGE vs FREQUENCY

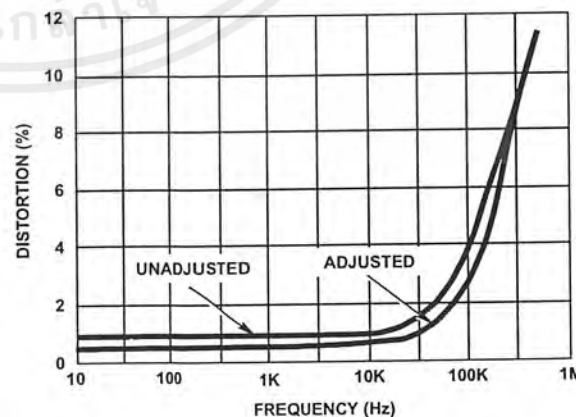


FIGURE 20. SINE WAVE DISTORTION vs FREQUENCY

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

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

DESCRIPTION

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

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

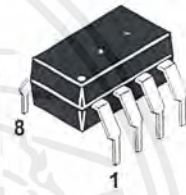
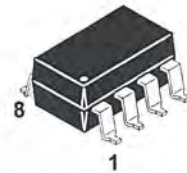
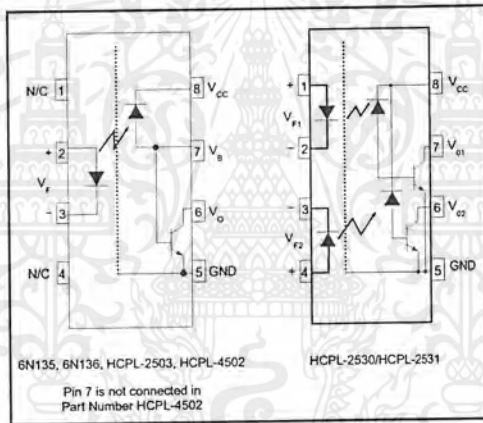
An internal noise shield provides superior common mode rejection of 10kV/ μ s. An improved package allows superior insulation permitting a 480 V working voltage compared to industry standard of 220 V.

FEATURES

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

APPLICATIONS

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



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

Parameter	Symbol	Value	Units
Storage Temperature	T_{STG}	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	T_{OPR}	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
EMITTER			
DC/Average Forward Input Current Each Channel (Note 1)	I_F (avg)	25	mA
Peak Forward Input Current (50% duty cycle, 1 ms P.W.) Each Channel (Note 2)	I_F (pk)	50	mA
Peak Transient Input Current - ($\leq 1 \mu\text{s}$ P.W., 300 pps)	I_F (trans)	1.0	A
Reverse Input Voltage Each Channel	V_R	5	V
Input Power Dissipation (6N135/6N136 and HCPL-2503/4502) (HCPL-2530/2531) Each Channel (Note 3)	P_D	100 45	mW
DETECTOR			
Average Output Current Each Channel	I_O (avg)	8	mA
Peak Output Current Each Channel	I_O (pk)	16	mA
Emitter-Base Reverse Voltage (6N135, 6N136 and HCPL-2503 only)	V_{EBR}	5	V
Supply Voltage	V_{CC}	-0.5 to 30	V
Output Voltage	V_O	-0.5 to 20	V
Base Current (6N135, 6N136 and HCPL-2503 only)	I_B	5	mA
Output power (6N135, 6N136, HCPL-2503, HCPL-4502) (Note 4) (HCPL-2530, HCPL-2531) Each Channel	P_D	100 35	mW

SINGLE-CHANNEL 6N135, 6N136 HCPL-2503 HCPL-4502	DUAL-CHANNEL HCPL-2530 HCPL-2531
--	---

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 0$ to 70°C Unless otherwise specified)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameter	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ**	Max	Unit
EMITTER							
Input Forward Voltage	($I_F = 16 \text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_F			1.45	1.7	V
	($I_F = 16 \text{ mA}$)				1.8		
	Input Reverse Breakdown Voltage	($I_R = 10 \mu\text{A}$)	B_{VR}		5.0		V
Temperature coefficient of forward voltage	($I_F = 16 \text{ mA}$)	$(\Delta V_F / \Delta T_A)$			-1.6		mV/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR							
Logic high output current	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = V_{CC} = 5.5 \text{ V}$) ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{OH}	All		0.001	0.5	μA
	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = V_{CC} = 15 \text{ V}$) ($T_A = 25^\circ\text{C}$)		6N135		0.005	1	
			6N136				
			HCPL-4502				
($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = V_{CC} = 15 \text{ V}$)	All		50				
Logic low supply current	($I_F = 16 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$) ($V_{CC} = 15 \text{ V}$)	I_{CCL}	6N135		120	200	μA
	($I_{F1} = I_{F2} = 16 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$) ($V_{CC} = 15 \text{ V}$)		6N136				
			HCPL-4502				
			HCPL-2503				
			HCPL-2530		200	400	
			HCPL-2531				
Logic high supply current	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$, $V_{CC} = 15 \text{ V}$) ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{CCH}	6N135			1	μA
			6N136				
			HCPL-4502				
			HCPL-2503				
	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$) ($V_{CC} = 15 \text{ V}$)		6N135			2	
			6N136				
($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$) ($V_{CC} = 15 \text{ V}$)	HCPL-4502						
	HCPL-2503						
			HCPL-2530		0.02	4	
			HCPL-2531				

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

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

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

TRANSFER CHARACTERISTICS (T_A = 0 to 70°C Unless otherwise specified)

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

** All typicals at T_A = 25°C

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

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

SWITCHING CHARACTERISTICS ($T_A = 0$ to 70°C unless otherwise specified., $V_{CC} = 5\text{ V}$)

Parameter	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ**	Max	Unit
Propagation delay time to logic low	$T_A = 25^\circ\text{C}$, ($R_L = 4.1\text{ k}\Omega$, $I_F = 16\text{ mA}$) (Note 6) (Fig. 7)	T_{PHL}	6N135		0.45	1.5	μs
			HCPL-2530				
	$(R_L = 1.9\text{ k}\Omega$, $I_F = 16\text{ mA}$) (Note 7) (Fig. 7) $T_A = 25^\circ\text{C}$		6N136		0.45	0.8	μs
			HCPL-4502 HCPL-2503 HCPL-2531				
Propagation delay time to logic high	$T_A = 25^\circ\text{C}$, ($R_L = 4.1\text{ k}\Omega$, $I_F = 16\text{ mA}$) (Note 6) (Fig. 7)	T_{PLH}	6N135			2.0	μs
			HCPL-2530				
	$(R_L = 1.9\text{ k}\Omega$, $I_F = 16\text{ mA}$) (Note 7) (Fig. 7) $T_A = 25^\circ\text{C}$		6N136			1.0	μs
			HCPL-4502 HCPL-2503 HCPL-2531				
Common mode transient immunity at logic high	$(I_F = 0\text{ mA}$, $V_{CM} = 10\text{ V}_{P-P}$, $R_L = 4.1\text{ k}\Omega$) (Note 8) (Fig. 8) $T_A = 25^\circ\text{C}$	$ CM_H $	6N135		10,000		$\text{V}/\mu\text{s}$
			HCPL-2530				
	$(I_F = 0\text{ mA}$, $V_{CM} = 10\text{ V}_{P-P}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$, ($R_L = 1.9\text{ k}\Omega$) (Note 8) (Fig. 8)		6N136		10,000		$\text{V}/\mu\text{s}$
			HCPL-4502 HCPL-2503 HCPL-2531				
Common mode transient immunity at logic low	$(I_F = 16\text{ mA}$, $V_{CM} = 10\text{ V}_{P-P}$, $R_L = 4.1\text{ k}\Omega$) (Note 8) (Fig. 8) $T_A = 25^\circ\text{C}$	$ CM_L $	6N135		10,000		$\text{V}/\mu\text{s}$
			HCPL-2530				
	$(I_F = 16\text{ mA}$, $V_{CM} = 10\text{ V}_{P-P}$) ($R_L = 1.9\text{ k}\Omega$) (Note 8) (Fig. 8)		6N136		10,000		$\text{V}/\mu\text{s}$
			HCPL-4502 HCPL-2503 HCPL-2531				

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

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

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

ISOLATION CHARACTERISTICS (T_A = 0 to 70°C Unless otherwise specified)

Characteristics	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
Input-output insulation leakage current	(Relative humidity = 45%) (T _A = 25°C, t = 5 s) (V _{I-O} = 3000 VDC) (Note 9)	I _{I-O}			1.0	μA
Withstand insulation test voltage	(RH ≤ 50%, T _A = 25°C) (Note 9) (t = 1 min.)	V _{ISO}	2500			V _{RMS}
Resistance (input to output)	(Note 9) (V _{I-O} = 500 VDC)	R _{I-O}		10 ¹²		Ω
Capacitance (input to output)	(Note 9) (f = 1 MHz)	C _{I-O}		0.6		pF
DC Current gain	(I _O = 3 mA, V _O = 5 V)	HFE		150		
Input-Input Insulation leakage current	(RH ≤ 45%, V _{I-I} = 500 VDC) (Note 10) t = 5 s, (HCPL-2530/2531 only)	I _{I-I}		0.005		μA
Input-Input Resistance	(V _{I-I} = 500 VDC) (Note 10) (HCPL-2530/2531 only)	R _{I-I}		10 ¹¹		Ω
Input-Input Capacitance	(f = 1 MHz) (Note 10) (HCPL-2530/2531 only)	C _{I-I}		0.03		pF

** All typicals at T_A = 25°C

NOTES

- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 0.8 mA/°C.
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 1.6 mA/°C.
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 0.9 mW/°C.
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 2.0 mW/°C.
- Current Transfer Ratio is defined as a ratio of output collector current, I_O, to the forward LED input current, I_F, times 100%.
- The 4.1 kΩ load represents 1 LSTTL unit load of 0.36 mA and 6.1kΩ pull-up resistor.
- The 1.9 kΩ load represents 1 TTL unit load of 1.6 mA and 5.6 kΩ pull-up resistor.
- Common mode transient immunity in logic high level is the maximum tolerable (positive) dV_{CM}/dt on the leading edge of the common mode pulse signal V_{CM}, to assure that the output will remain in a logic high state (i.e., V_O > 2.0 V). Common mode transient immunity in logic low level is the maximum tolerable (negative) dV_{CM}/dt on the trailing edge of the common mode pulse signal, V_{CM}, to assure that the output will remain in a logic low state (i.e., V_O < 0.8 V).
- Device is considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 are shorted together and Pins 5, 6, 7 and 8 are shorted together.
- Measured between pins 1 and 2 shorted together, and pins 3 and 4 shorted together.

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

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

Fig. 1 Normalized CTR vs. Forward Current

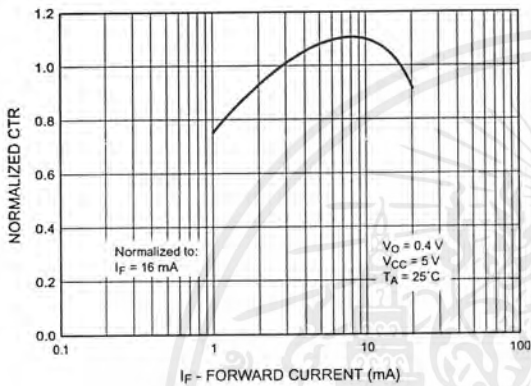


Fig. 2 Normalized CTR vs. Temperature

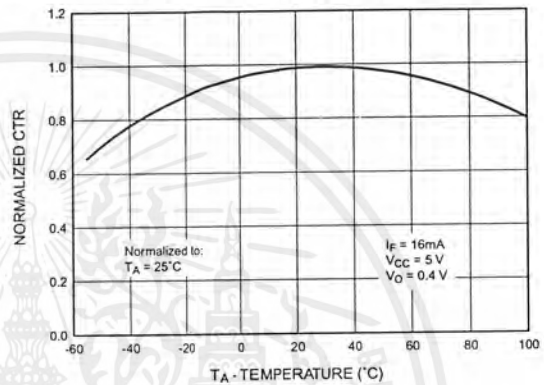


Fig. 3 Output Current vs. Output Voltage

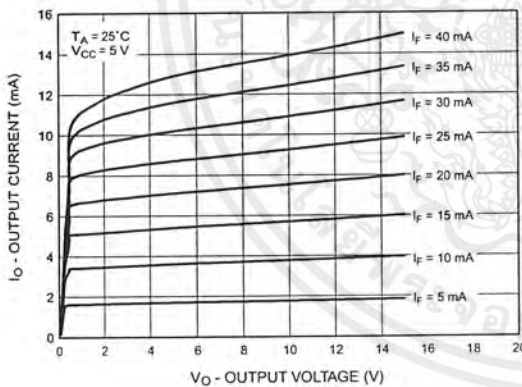


Fig. 4 Logic High Output Current vs. Temperature

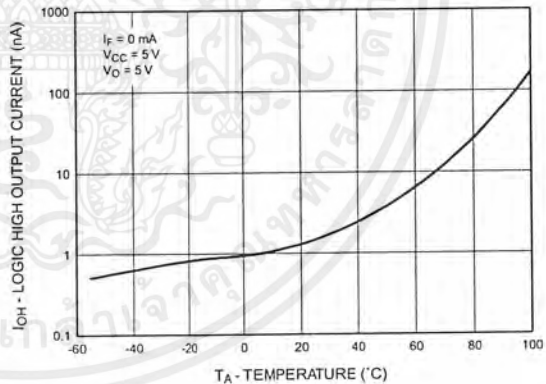


Fig. 5 Propagation Delay vs. Temperature

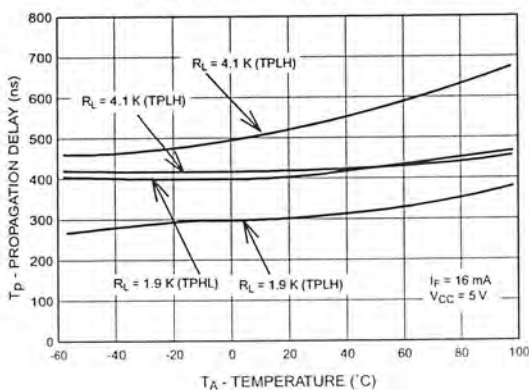
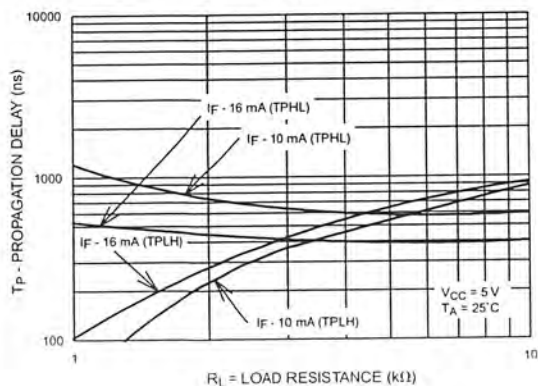


Fig. 6 Propagation Delay vs. Load Resistance



SINGLE-CHANNEL 6N135, 6N136 HCPL-2503 HCPL-4502	DUAL-CHANNEL HCPL-2530 HCPL-2531
---	---

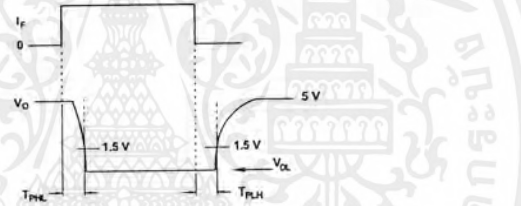
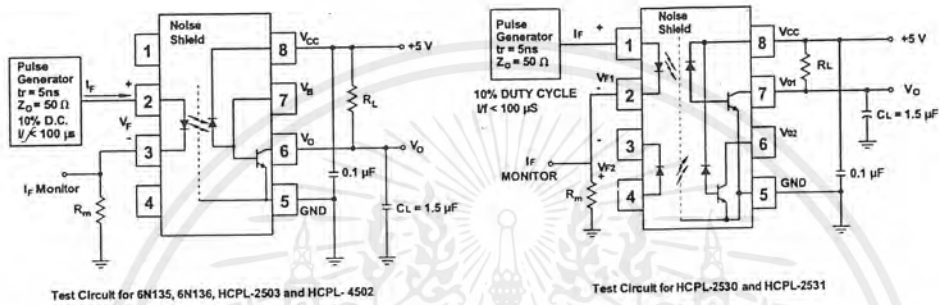


Fig. 7 Switching Time Test Circuit

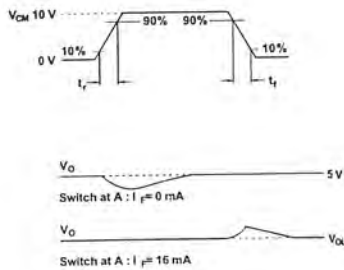
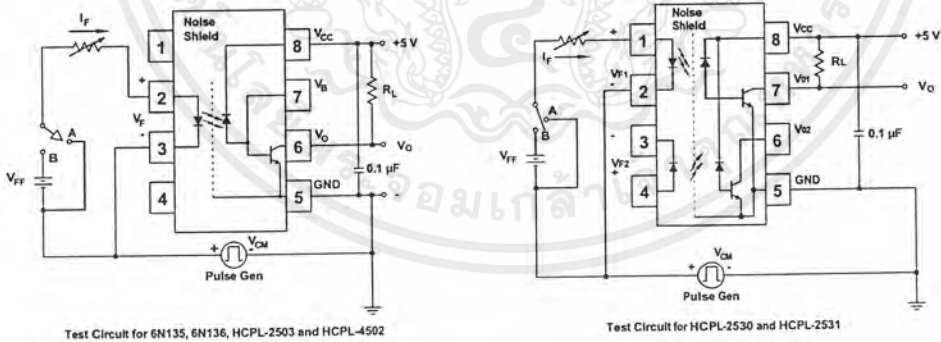
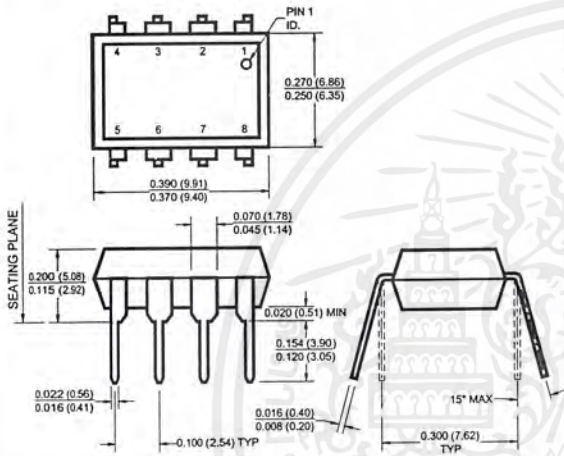


Fig. 8 Common Mode Immunity Test Circuit

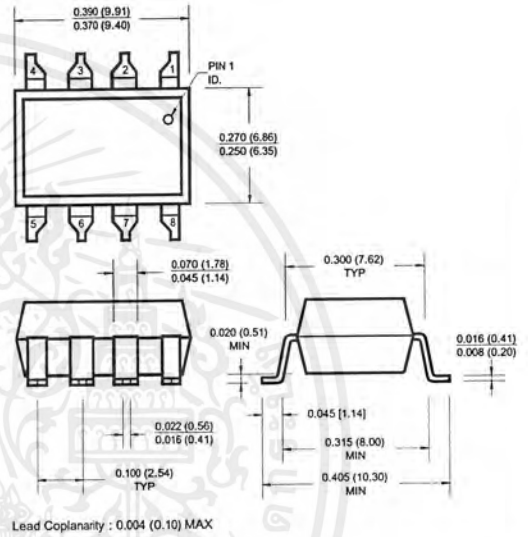
SINGLE-CHANNEL
6N135, 6N136
HCPL-2503
HCPL-4502

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

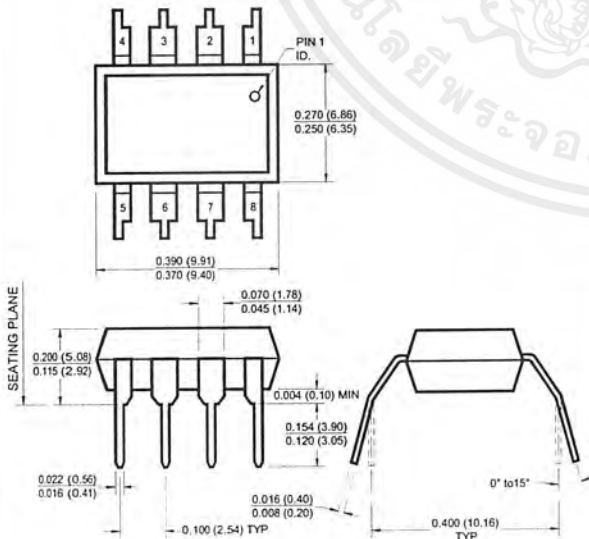
Package Dimensions (Through Hole)



Package Dimensions (Surface Mount)



Package Dimensions (0.4" Lead Spacing)



NOTE

All dimensions are in inches (millimeters)

www.qtopto.com

Call QT Optoelectronics for more information or the phone number of your nearest distributor.

United States 800-533-6786 • France 33 [0] 1.45.18.78.78 • Germany 49 [0] 89/96.30.51 • United Kingdom 44 [0] 1296 394499 • Asia/Pacific 603-7352417

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200004A

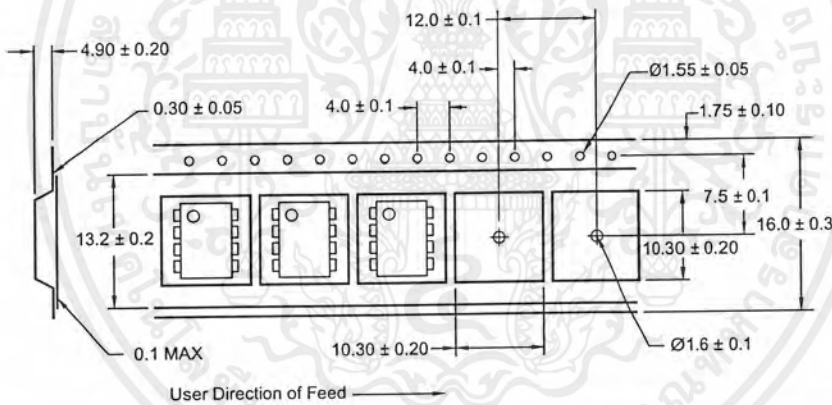
SINGLE-CHANNEL
6N135, 6N136
HCPL-2503
HCPL-4502

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

ORDERING INFORMATION

Option	Order Entry Identifier	Description
R2	.R2	Opto Plus Reliability Conditioning
S	.S	Surface Mount Lead Bend
SD	.SD	Surface Mount; Tape and reel
SDL	.SDL	Surface Mount; Tape and reel
W	.W	0.4" Lead Spacing

QT Carrier Tape Specifications ("D" Taping Orientation)



Corporate Headquarters
QT Optoelectronics
610 North Mary Avenue
Sunnyvale, CA 94086
(408) 720-1440 Phone
(408) 720-0848 Fax

North American Sales
QT Optoelectronics
16775 Addison Rd., Suite 200
Addison, TX 75001
(972) 447-1300 Phone
(972) 447-0784 Fax

European Sales
Quality Technologies Deutschland GmbH
Max-Huber-Strasse 8
D-85737 Ismaning, Germany
49 [0] 89/96.30.51 Phone
49 [0] 89/96.54.74 Fax

European Sales
QT Optoelectronics
"Le Levant"
2, rue du Nouveau Bercy
F-94277-CHARENTON-LE PONT Cedex
FRANCE
33 [0] 1.45.18.78.78 Phone
33 [0] 1.43.75.77.57 Fax

Asia/Pacific Sales
QT Optoelectronics
B613, 6th Floor
East Wing, Wisma Tractors
Jalan SS16/1, Subang Jaya
47500 Petaling Jaya
Selangor Darul Eshan, Malaysia
603/735-2417 Phone
603/736-3382 Fax

European Sales
Quality Technologies (U.K) Ltd.
10, Prebendal Court, Oxford Road
Aylesbury, Buckinghamshire
HP19-3EY United Kingdom
44 [0] 1296/30.44.99 Phone
44 [0] 1296/39.24.32 Fax

www.qtopto.com

Call QT Optoelectronics for more information or the phone number of your nearest distributor.

United States 800-533-6786 • France 33 [0] 1.45.18.78.78 • Germany 49 [0] 89/96.30.51 • United Kingdom 44 [0] 1296 394499 • Asia/Pacific 603-7352417

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

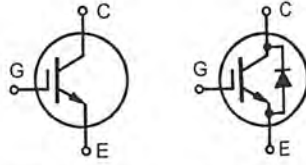
200004A

High Voltage IGBT with optional Diode

IXDH 20N120
IXDH 20N120 D1

$V_{CES} = 1200\text{ V}$
 $I_{C25} = 38\text{ A}$
 $V_{CE(sat)} \text{ typ} = 2.4\text{ V}$

Short Circuit SOA Capability
Square RBSOA



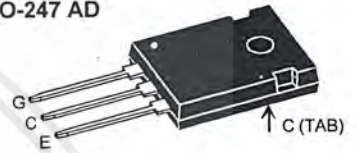
IXDH 20N120

IXDH 20N120 D1

Preliminary Data

Symbol	Conditions	Maximum Ratings	
V_{CES}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	1200	V
V_{CGR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C ; $R_{GE} = 20\text{ k}\Omega$	1200	V
V_{GES}	Continuous	± 20	V
V_{GEM}	Transient	± 30	V
I_{C25}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	38	A
I_{C90}	$T_C = 90^\circ\text{C}$	25	A
I_{CM}	$T_C = 90^\circ\text{C}$, $t_p = 1\text{ ms}$	50	A
RBSOA	$V_{GE} = \pm 15\text{ V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$, $R_G = 82\ \Omega$ Clamped inductive load, $L = 30\text{ mH}$	$I_{CM} = 35$ $V_{CEK} < V_{CES}$	A
t_{SC} (SCSOA)	$V_{GE} = \pm 15\text{ V}$, $V_{CE} = V_{CES}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$ $R_G = 82\ \Omega$, non repetitive	10	μs
P_c	$T_C = 25^\circ\text{C}$	IGBT	200 W
		Diode	75 W
T_J		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
T_{stg}		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
Maximum lead temperature for soldering 1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s		300	$^\circ\text{C}$
M_d	Mounting torque	1.1/10	Nm/lb.in.
Weight		6	g

TO-247 AD



G = Gate,
C = Collector,

E = Emitter
TAB = Collector

Features

- NPT IGBT technology
- low saturation voltage
- low switching losses
- square RBSOA, no latch up
- high short circuit capability
- positive temperature coefficient for easy paralleling
- MOS input, voltage controlled
- optional ultra fast diode
- International standard package

Advantages

- Space savings
- High power density

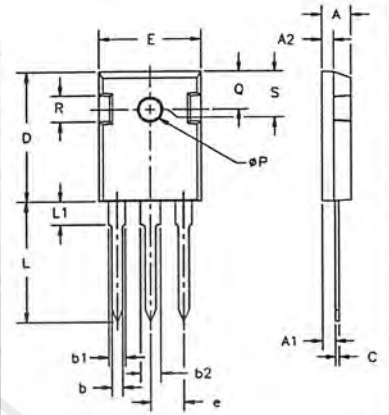
Typical Applications

- AC motor speed control
- DC servo and robot drives
- DC choppers
- Uninterruptible power supplies (UPS)
- Switch-mode and resonant-mode power supplies

Symbol	Conditions	Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
$V_{(BR)CES}$	$V_{GE} = 0\text{ V}$	1200		V
$V_{GE(th)}$	$I_C = 0.6\text{ mA}$, $V_{CE} = V_{GE}$	4.5		6.5 V
I_{CES}	$V_{CE} = V_{CES}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		1 mA
		$T_J = 125^\circ\text{C}$	2	mA
I_{GES}	$V_{CE} = 0\text{ V}$, $V_{GE} = \pm 20\text{ V}$			$\pm 500\text{ nA}$
$V_{CE(sat)}$	$I_C = 20\text{ A}$, $V_{GE} = 15\text{ V}$	2.4		3 V

Symbol	Conditions	Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
C_{ies}	$V_{CE} = 25\text{ V}, V_{GE} = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$		1000	pF
C_{oes}			150	pF
C_{res}			70	pF
Q_g	$I_C = 20\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}, V_{CE} = 0.5 V_{CES}$		70	nC
$t_{d(on)}$	Inductive load, $T_J = 125^\circ\text{C}$ $I_C = 20\text{ A}, V_{GE} = \pm 15\text{ V},$ $V_{CE} = 600\text{ V}, R_G = 82\ \Omega$		100	ns
t_r			75	ns
$t_{d(off)}$			500	ns
t_f			70	ns
E_{on}			3.1	mJ
E_{off}		2.4	mJ	
R_{thJC}				0.63 K/W
R_{thCK}	Package with heatsink compound	0.25		K/W

TO-247 AD Outline



Dim.	Millimeter		Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	4.7	5.3	.185	.209
A ₁	2.2	2.54	.087	.102
A ₂	2.2	2.6	.059	.098
b	1.0	1.4	.040	.055
b ₁	1.65	2.13	.065	.084
b ₂	2.87	3.12	.113	.123
C	.4	.8	.016	.031
D	20.80	21.46	.819	.845
E	15.75	16.26	.610	.640
e	5.20	5.72	0.205	0.225
L	19.81	20.32	.780	.800
L1		4.50		.177
øP	3.55	3.65	.140	.144
Q	5.89	6.40	0.232	0.252
R	4.32	5.49	.170	.216
S	6.15	BSC	242	BSC

Reverse Diode (FRED) [D1 version only]		Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
Symbol	Conditions	min.	typ.	max.
V_F	$I_F = 20\text{ A}, V_{GE} = 0\text{ V}$ $I_F = 20\text{ A}, V_{GE} = 0\text{ V}, T_J = 125^\circ\text{C}$	2.6	2.8	V
I_F	$T_C = 25^\circ\text{C}$ $T_C = 90^\circ\text{C}$			33 A 20 A
I_{RM}	$I_F = 20\text{ A}, -di_F/dt = 400\text{ A}/\mu\text{s}, V_R = 600\text{ V}$		15	A
t_{rr}	$V_{GE} = 0\text{ V}, T_J = 125^\circ\text{C}$		200	ns
t_{rr}	$I_F = 1\text{ A}, -di_F/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}, V_R = 30\text{ V}, V_{GE} = 0\text{ V}$		40	ns
R_{thJC}				1.6 K/W

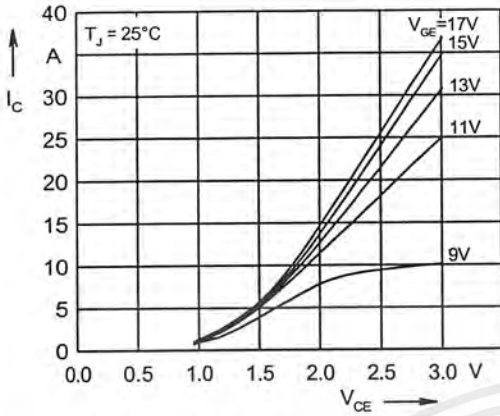


Fig. 1 Typ. output characteristics

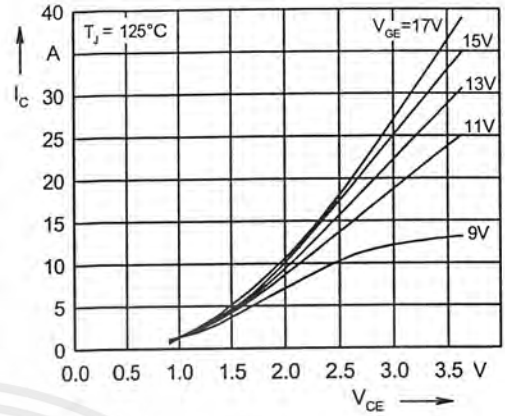


Fig. 2 Typ. output characteristics

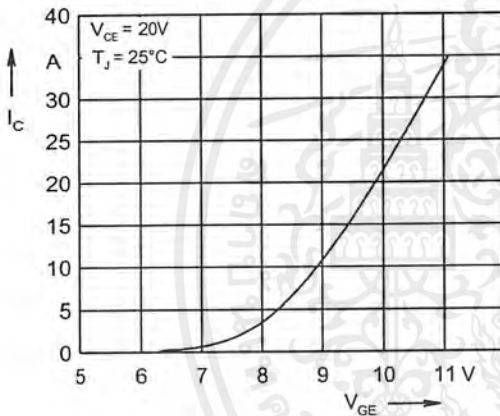


Fig. 3 Typ. transfer characteristics

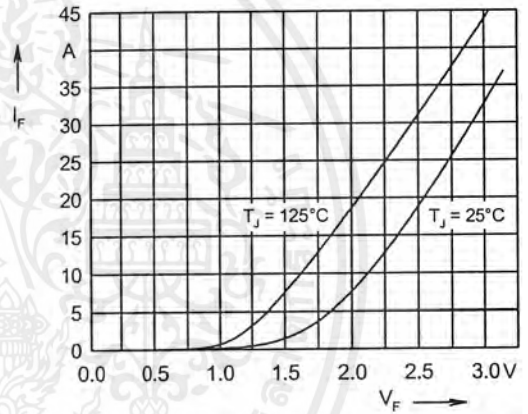


Fig. 4 Typ. forward characteristics of free wheeling diode (D1 version only)

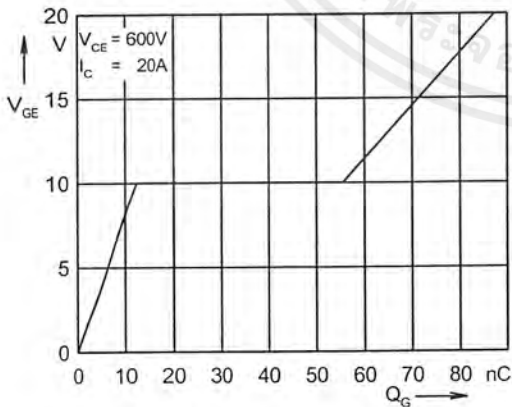


Fig. 5 Typ. turn on gate charge

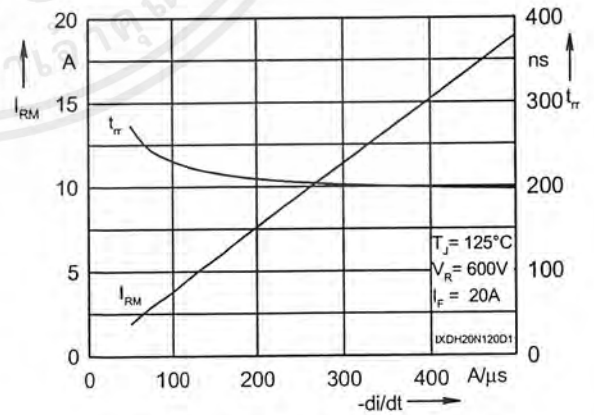


Fig. 6 Typ. turn off characteristics of free wheeling diode (D1 version only)

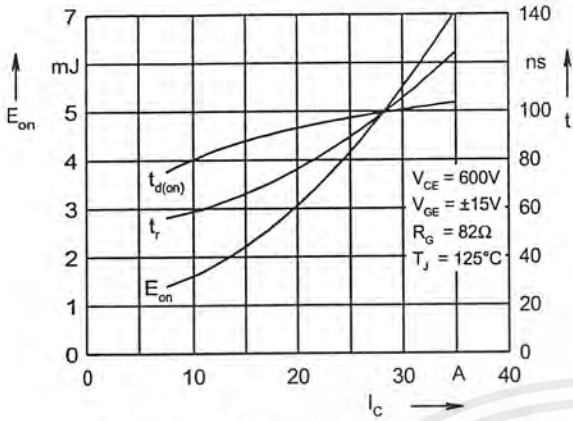


Fig. 7 Typ. turn on energy and switching times versus collector current

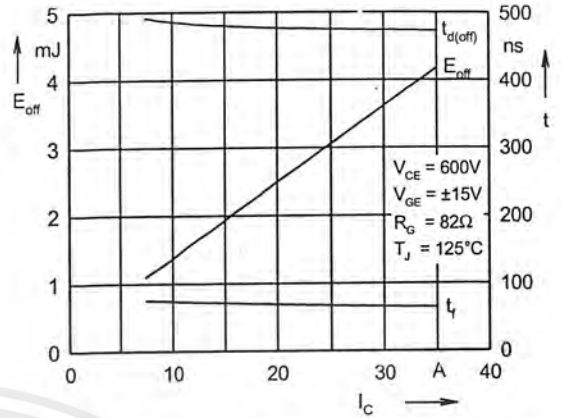


Fig. 8 Typ. turn off energy and switching times versus collector current

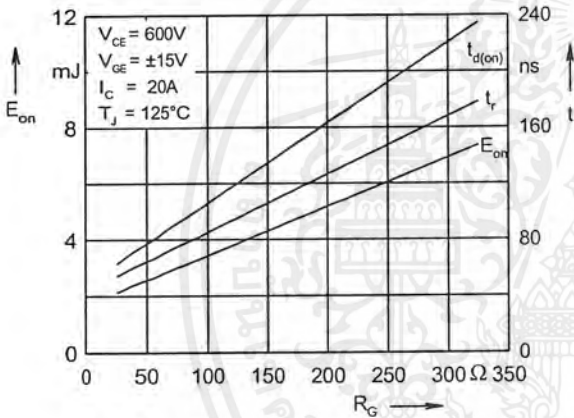


Fig. 9 Typ. turn on energy and switching times versus gate resistor

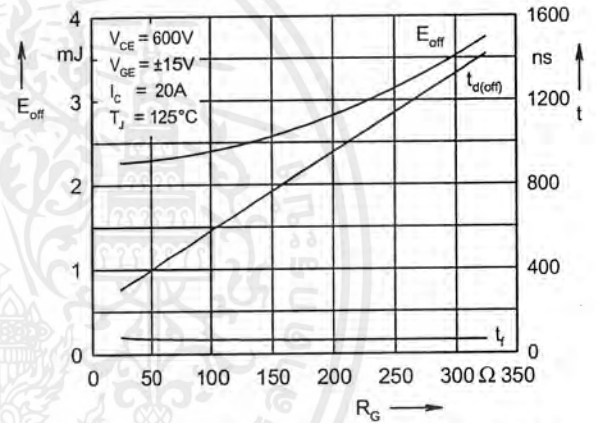


Fig. 10 Typ. turn off energy and switching times versus gate resistor

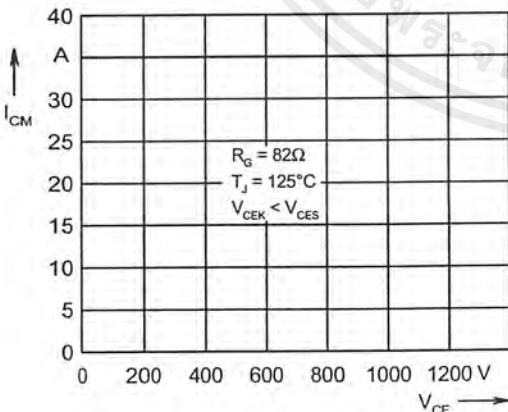


Fig. 11 Reverse biased safe operating area RBSOA

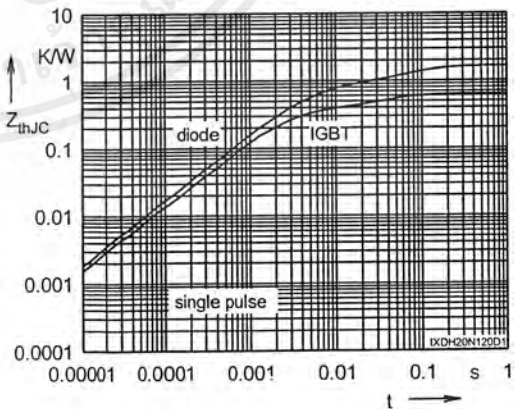


Fig. 12 Typ. transient thermal impedance



IRFP460

N - CHANNEL 500V - 0.22 Ω - 20 A - TO-247 PowerMESH™ MOSFET

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRFP460	500 V	< 0.27 Ω	20 A

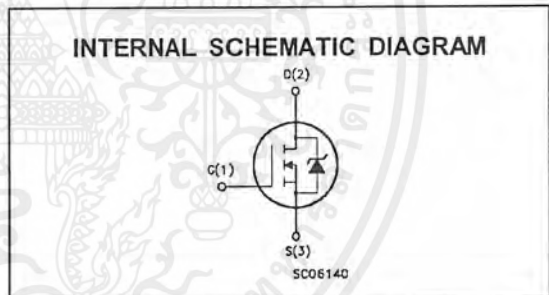
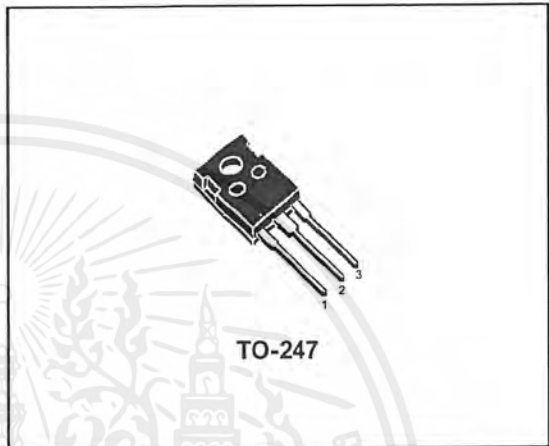
- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.22 Ω
- EXTREMELY HIGH dv/dt CAPABILITY
- 100% AVALANCHE TESTED
- VERY LOW INTRINSIC CAPACITANCES
- GATE CHARGE MINIMIZED

DESCRIPTION

This power MOSFET is designed using the company's consolidated strip layout-based MESH OVERLAY™ process. This technology matches and improves the performances compared with standard parts from various sources.

APPLICATIONS

- HIGH CURRENT SWITCHING
- UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS)
- DC/DC CONVERTERS FOR TELECOM, INDUSTRIAL, AND LIGHTING EQUIPMENT.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	500	V
V _{DGR}	Drain- gate Voltage (R _{GS} = 20 kΩ)	500	V
V _{GS}	Gate-source Voltage	± 20	V
I _D	Drain Current (continuous) at T _c = 25 °C	20	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _c = 100 °C	13	A
I _{DM} (*)	Drain Current (pulsed)	80	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _c = 25 °C	250	W
	Derating Factor	2	W/°C
dv/dt(1)	Peak Diode Recovery voltage slope	3.5	V/ns
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	°C
T _j	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

(*) Pulse width limited by safe operating area

(1) I_{SD} ≤ 20 A, di/dt ≤ 160 A/μs, V_{DD} ≤ V_{(BR)DSS}, T_J ≤ T_{JMAX}

IRFP460

THERMAL DATA

$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	0.5	$^{\circ}C/W$
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	30	$^{\circ}C/W$
$R_{thc-sink}$	Thermal Resistance Case-sink	Typ	0.1	$^{\circ}C/W$
T_I	Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose		300	$^{\circ}C$

AVALANCHE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Max Value	Unit
I_{AR}	Avalanche Current, Repetitive or Not-Replicative (pulse width limited by T_j max)	20	A
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy (starting $T_j = 25^{\circ}C$, $I_D = I_{AR}$, $V_{DD} = 50 V$)	1000	mJ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified)

OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source Breakdown Voltage	$I_D = 250 \mu A$ $V_{GS} = 0$	500			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{GS} = 0$)	$V_{DS} = \text{Max Rating}$ $V_{DS} = \text{Max Rating}$ $T_c = 125^{\circ}C$			10 100	μA μA
I_{GSS}	Gate-body Leakage Current ($V_{DS} = 0$)	$V_{GS} = \pm 20 V$			± 100	nA

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 250 \mu A$	2	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{GS} = 10V$ $I_D = 12 A$		0.22	0.27	Ω
$I_{D(on)}$	On State Drain Current	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $V_{GS} = 10 V$	20			A

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$g_{fs} (*)$	Forward Transconductance	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $I_D = 12 A$	13			S
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 25 V$ $f = 1 MHz$ $V_{GS} = 0$		4200		pF
C_{oss}	Output Capacitance			500		pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance			50		pF

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

SWITCHING ON

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on Time	$V_{DD} = 250\text{ V}$ $I_D = 10\text{ A}$ $R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit, figure 1)		32		ns
t_r	Rise Time			15		ns
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DD} = 400\text{ V}$ $I_D = 20\text{ A}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$		100	130	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge			21		nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge			37		nC

SWITCHING OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_r(V_{off})$	Off-voltage Rise Time	$V_{DD} = 400\text{ V}$ $I_D = 20\text{ A}$ $R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit, figure 5)		20		ns
t_f	Fall Time			25		ns
t_c	Cross-over Time			47		ns

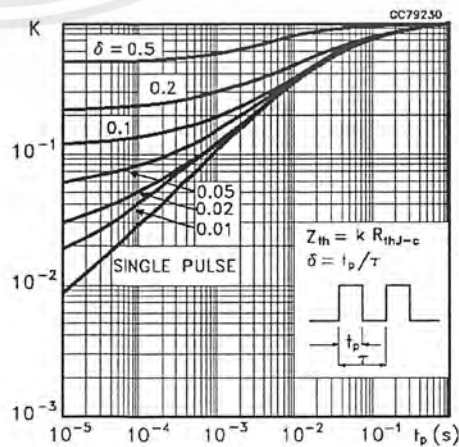
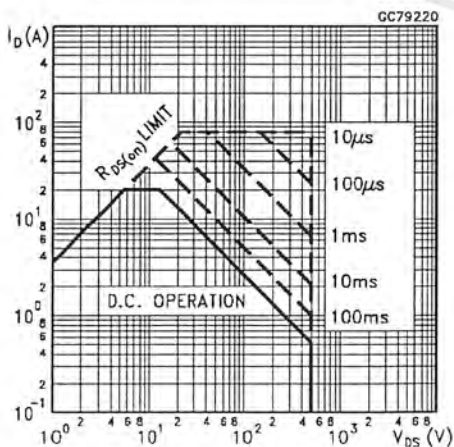
SOURCE DRAIN DIODE

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD}	Source-drain Current				20	A
$I_{SDM}(\bullet)$	Source-drain Current (pulsed)				80	A
$V_{SD}(\ast)$	Forward On Voltage	$I_{SD} = 20\text{ A}$ $V_{GS} = 0$			1.6	V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$I_{SD} = 20\text{ A}$ $di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{DD} = 100\text{ V}$ $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$ (see test circuit, figure 3)		700		ns
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge			9		μC
I_{RRM}	Reverse Recovery Current			25		A

(*) Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %
 (•) Pulse width limited by safe operating area

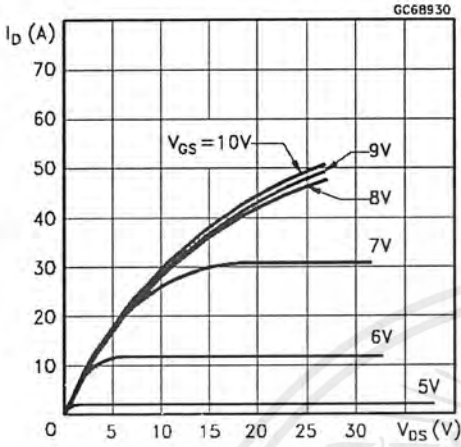
Safe Operating Area

Thermal Impedance

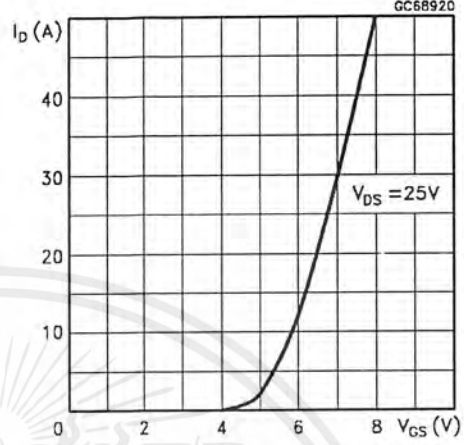


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

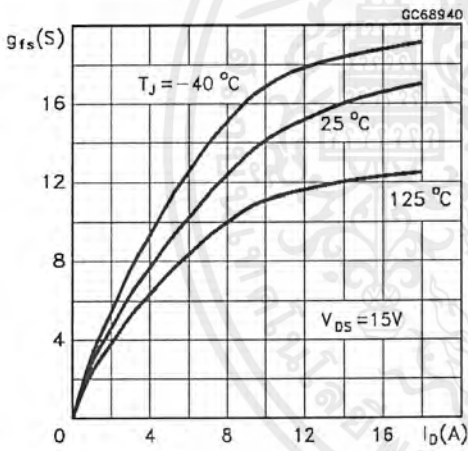
Output Characteristics



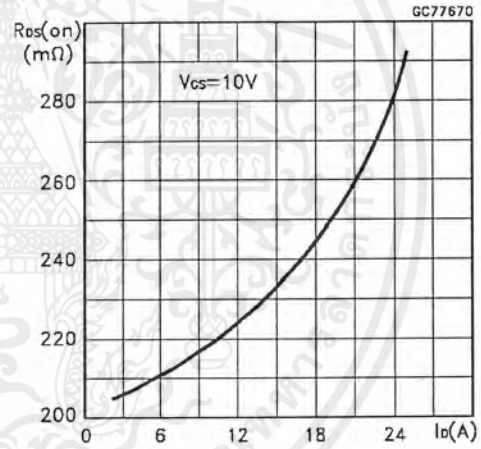
Transfer Characteristics



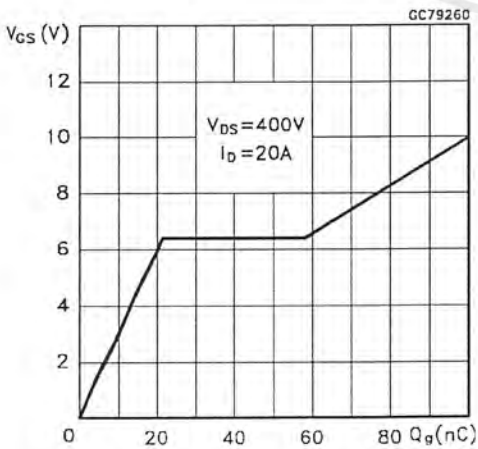
Transconductance



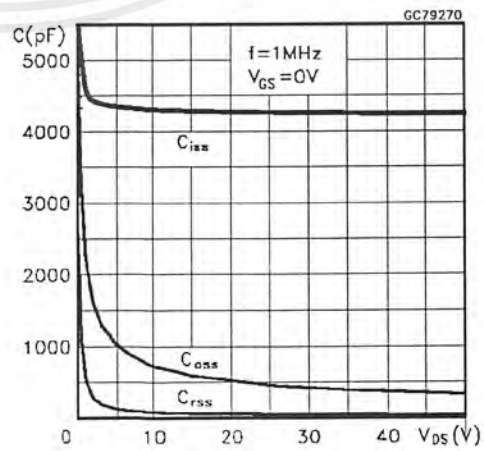
Static Drain-source On Resistance



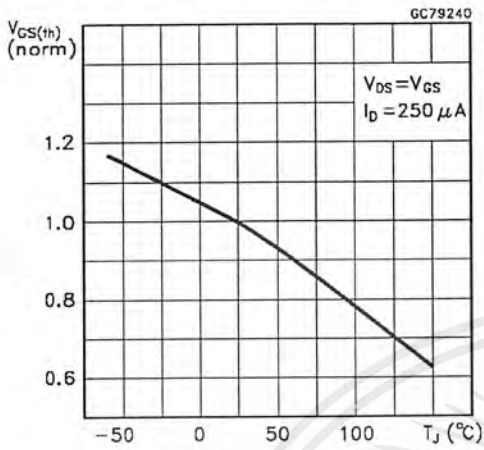
Gate Charge vs Gate-source Voltage



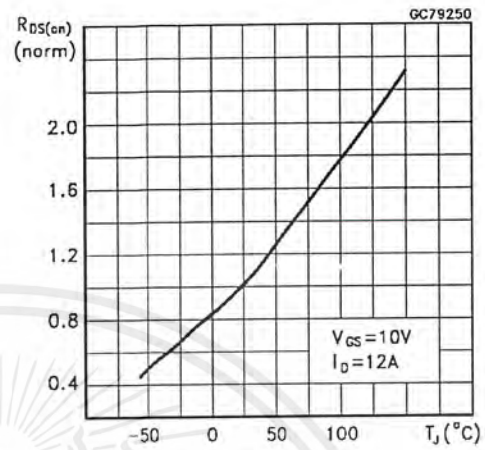
Capacitance Variations



Normalized Gate Threshold Voltage vs



Normalized On Resistance vs Temperature



Source-drain Diode Forward Characteristics

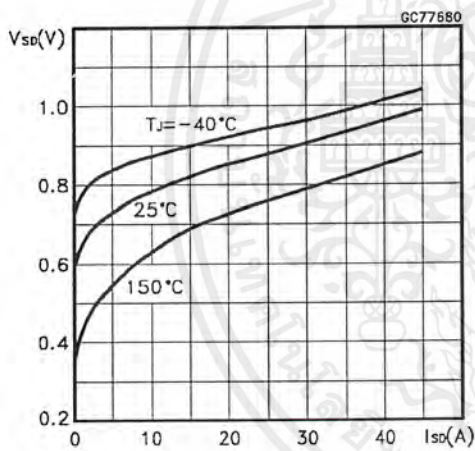


Fig. 1: Unclamped Inductive Load Test Circuit

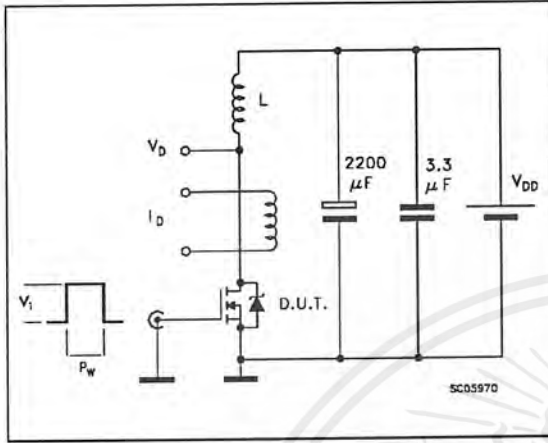


Fig. 1: Unclamped Inductive Waveform

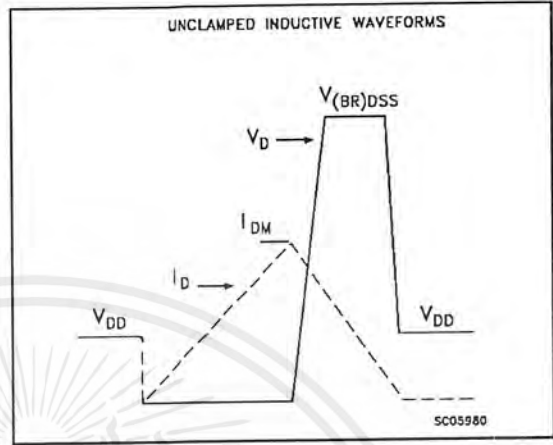


Fig. 3: Switching Times Test Circuits For Resistive Load

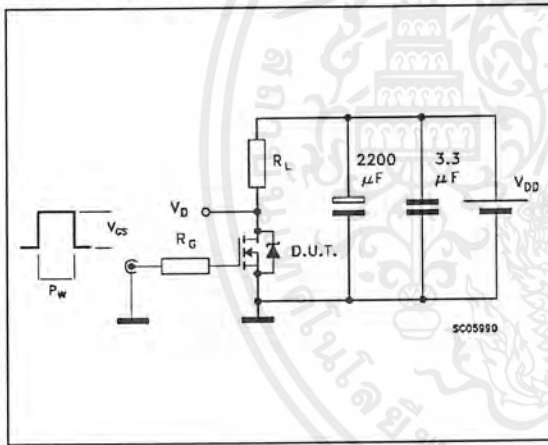


Fig. 4: Gate Charge test Circuit

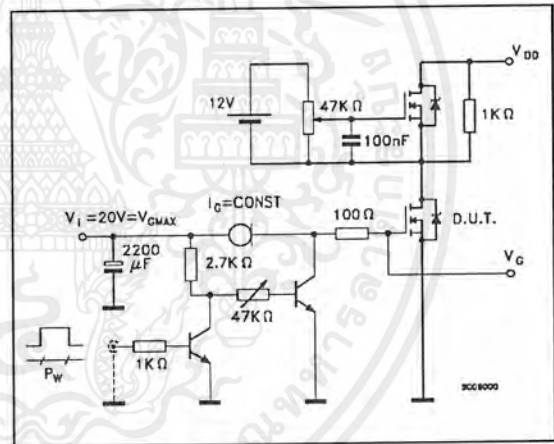
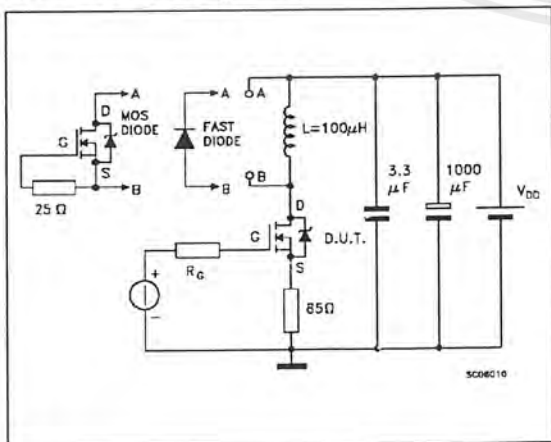
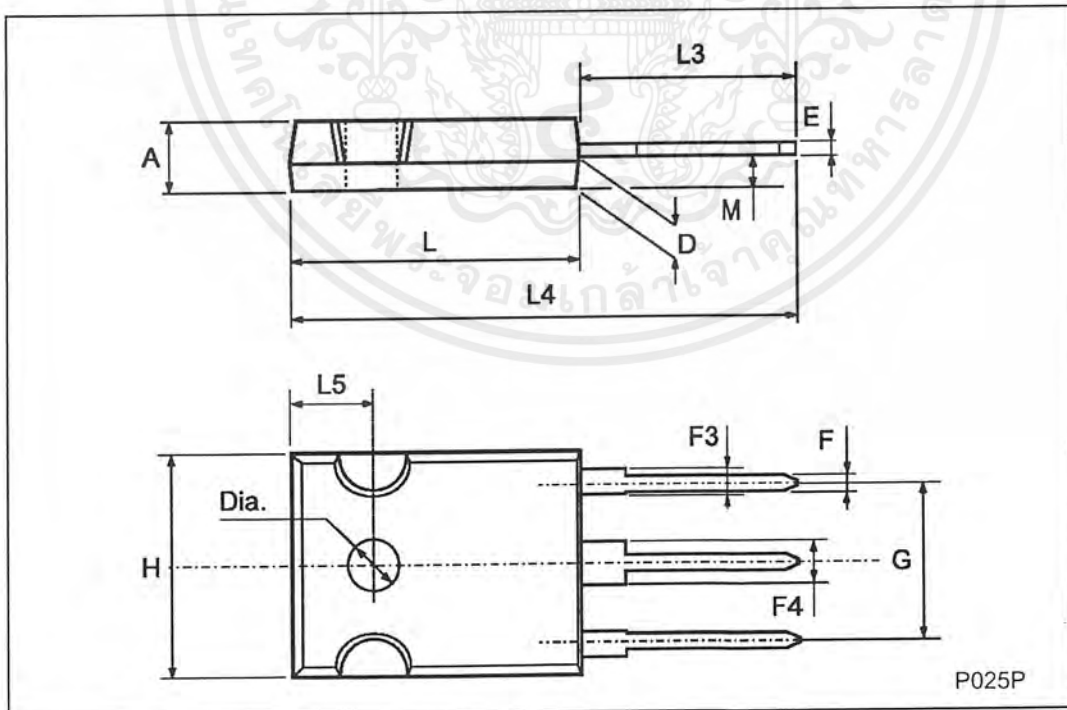


Fig. 5: Test Circuit For Inductive Load Switching And Diode Recovery Times



TO-247 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.7		5.3	0.185		0.209
D	2.2		2.6	0.087		0.102
E	0.4		0.8	0.016		0.031
F	1		1.4	0.039		0.055
F3	2		2.4	0.079		0.094
F4	3		3.4	0.118		0.134
G		10.9			0.429	
H	15.3		15.9	0.602		0.626
L	19.7		20.3	0.776		0.779
L3	14.2		14.8	0.559	0.413	0.582
L4		34.6			1.362	
L5		5.5			0.217	
M	2		3	0.079		0.118
Dia	3.55		3.65	0.140		0.144





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 1998 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือดูแลเป็นอย่างดีจากอาจารย์ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยให้คำปรึกษาในด้านระบบการทำงาน ด้านอุปกรณ์ และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง ที่ให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ตัง พี่ติ พี่สัส พี่โก้ พี่โรมัส พี่แสบ และพี่บอย ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านตลอดการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณพี่เอ และพี่โต้ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เล่นเวลาทำโปรเจก

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในห้องโปรเจก อ. ศิริวัฒน์ และเพื่อน ๆ 4B ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ , ให้คำแนะนำ , ให้กำลังใจ และให้อุปกรณ์ในการทำโปรเจกเวลาคับขัน

ขอขอบคุณเพื่อนกอล์ฟที่อุดหนุนช่วยเหลือมาช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์แม้จะไม่ได้เกี่ยวข้องอะไรก็ตาม

ขอขอบคุณ PIRCH และ ICQ ที่ช่วยแก้เหงาคลายเครียดในยามท้อแท้

ขอขอบคุณ โลกที่ช่วยสร้างเธอขึ้นมา

ขอขอบคุณ SEVEN- ELEVEN ข้างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , ร้านก๋วยเตี๋ยว 10 บาทในซอยจินดา , ร้านข้าวขาหมูหน้าหอราชพฤกษ์ , ร้านจิ้มจุ่ม และตลาดหัวตะเข้ ที่มีอาหารอร่อย ๆ ที่ช่วยให้พวกเราได้อิ่มหน้าสำราญยามค่ำคืน

ขอขอบคุณ BARCADI ที่ช่วยให้เรามีแรงทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สุวัฒน์ ตัน “เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์ิงเพาเวอร์ซัพพลาย” เอนเทลไทย, 2 มิถุนายน 2538
2. Daniel W. hart “Introduction to Power Electronics” Prentice – Hall international , INC , 1997
3. Ned Mohan , Tore M. Undeland and William P. Robbins “Power Electronics” ,Second Edition, John Wiley & Sons , INC , New York,1995
4. เกียรติศักดิ์ ฐานิกเกษตร , “ 110 โครงการไอซี “ , สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์,55-67,2520
5. ชูเกียรติ วัฒนากุล, “ สวิตซ์ิงเพาเวอร์ซัพพลาย”,บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,44-46,2538
6. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,“คู่มือการผันหม้อแปลงและมอดูเลเตอร์”, 1-7 , 2525
7. มงคล ทองสงคราม , “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”,พรศิระการพิมพ์,P 145-148 ,P 161-162,P 171-176, 2536
8. สว่าง ประกายรุ่งทอง , “เบตเตอร์และเครื่องชาร์จ”, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,หน้า 18-20,2538
9. ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ , รวมบทความ “ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ” , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน, หน้า 86-92 , 2538
10. ธนาวุฒิ ไกรฤทธิ์กุล , “รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์เล่ม 3” , กองบรรณาธิการวารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฝ่ายหนังสือ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,หน้า 68-72,2521
11. สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์ และ อุเทน คำน่าน , “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1”,บริษัท สำนักพิมพ์โกลบอลวิชั่น จำกัด, หน้า 2-60 , 2540
12. Electronics Toolkit , Geoff Phillips
13. Pspice Simulation of Power Electronics Circuits : an introductor guide , Raymond Ramshaw and Derek Schuurman
14. Switching Power Supply Design, Abraham I. Pressman
15. Switchmode Power Supply Handbook , Keith H. Billings
16. Principles of Power Electronics, John G. Kassakian, Martin F. Schlecht, George C. Verghese

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. ดร. มงคล เดชนกรินทร์, ดร. ชาตรี ศรีไพพรรณ, “อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน”, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
18. ปรินญาณีพนธ์ “ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก (Mini – Solar Energy System)”, 2541
19. ปรินญาณีพนธ์ “ระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก (Mini – Solar Energy System)”, 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้